



Investigating the probability of climate change by rainfall and temperature trend analysis using the Man-Kendall method (Case study: Karaj Dam basin)

Firouz Ghasemzadeh¹, Ali Sadrzadeh^{2*}, Saeed Naghdi³, Mojtaba Noury⁴

Abstract

Over the past few decades, many parts of Iran have experienced severe climate events such as droughts and floods, which have a significant impact on water resources in the country. On the other hand, considering the main part of Tehran's water supply through surface water resources and lake dams around it, the issue of the effect of changing the water resources of these lakes and especially the Karaj dam as one of the most important sources of water supply in Tehran is of great importance. In this research, the climatic parameters of two Sierra and Nesa stations located at the upstream of the Karaj dam basin (Amirkabir) were investigated using the Man-Kendall method. The results indicate that the number of days with little rainfall (less than 5 mm), which has no effect on surface water and underground water, has increased. This phenomenon, together with the annual increase recorded by the Nisa station, can lead to severe water crises in the region.

Keywords: *Climate Change, Mann- Kendall, Siera Station, Nesa Station, Karaj Dam Basin.*

¹ PhD. Graduate of Hydraulic Structures & Head of Water Resources Balance & Combination Group, Alborz Regional Water Authority, Karaj, Iran. Email: F.GH.WATER@GMAIL.COM.(Alborz Regional Water Authority, Karaj, Iran; 026-33342300(132)-09197011391)

² M.Sc. Student of Water Resources Engineering, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: A.SADRZADEH@UT.AC.IR

³ Director of Water Resources Studies, Alborz Regional Water Authority, Karaj, Iran. Email: SAEEDNAGHDI175@GMAIL.COM

⁴ Head of Applied Research Group, Iran Water Resources Management Company, Tehran, Iran. Email: MOJTABANOURY@GMAIL.COM



بررسی احتمال تغییر اقلیم با تحلیل روند بارندگی و دما به روش من-کندال (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد کرج)

فیروز قاسم‌زاده^۵، علی صدرزاده^۶، سعید نقدی^۷، مجتبی نوری^۸

چکیده

در طی چند دهه اخیر، بسیاری از بخش‌های ایران با وقایع اقلیمی شدیدی نظیر خشکسالی و سیلاب مواجه شده‌اند که تأثیر به‌سزایی بر منابع آب کشور دارد. از طرفی باتوجه به تأمین قسمت عمده آب شهر تهران از طریق منابع آبهای سطحی و دریاچه سدهای اطراف آن، موضوع تأثیر تغییر اقلیم بر میزان آب این دریاچه‌ها و به‌خصوص دریاچه سد کرج به‌عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین آب شهر تهران، اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. در این تحقیق پارامترهای اقلیمی دو ایستگاه سیرا و نسأ واقع در بالادست حوضه آبریز سد کرج (امیرکبیر) با استفاده از روش "من-کندال" مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که تعداد روزهای بارش اندک (کمتر از پنج میلی‌متر) که تأثیری بر منابع آب سطحی و زیرزمینی ندارد؛ افزایش یافته است. همچنین این پدیده به همراه افزایش دمای سالانه ثبت شده توسط ایستگاه نسأ، می‌تواند باعث وقوع بحران‌های شدید آبی در منطقه گردد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، من-کندال، ایستگاه سیرا، ایستگاه نسأ، حوضه آبریز سد کرج.

^۵ دانش‌آموخته دکترای مهندسی آب و رئیس گروه تلفیق و بیلان شرکت آب منطقه‌ای البرز. ایمیل: F.GH.WATER@GMAIL.COM (آدرس: کرج،

مهرشهر، بلوار ارم، خیابان بوستان، شرکت آب منطقه‌ای البرز؛ تلفن ۰۲۶۳۳۳۴۳۰۰ - داخلی ۱۳۲؛ ۰۹۱۹۷۰۱۱۳۹۱)

^۶ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران. ایمیل: A.SADRZADEH@UT.AC.IR

^۷ مدیر دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای البرز. ایمیل: SAEEDNAGHDI175@GMAIL.COM

^۸ رئیس گروه تحقیقات کاربردی شرکت مدیریت منابع آب ایران. ایمیل: MOJTABANOURY@GMAIL.COM

مقدمه

اقلیم یک منطقه به طور کلی نتیجه تأثیر توأم پدیده‌های هواشناسی است و حالت متوسط هوا را در یک نقطه دلخواه بدست می‌دهد. بدین معنا که متوسط کمیت‌های هواشناسی با حذف فاکتور زمان، وضع اقلیم یک منطقه را تعیین می‌کند (علیزاده، ۱۳۸۷). به عبارت دیگر اقلیم، شرایط متوسط آب و هوایی برای یک محدوده خاص و یک دوره خاص است. اقلیم کره زمین عمدتاً بدلیل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای که در نتیجه صنعتی‌شدن کشورها و تغییر الگوی زندگی از نظر تولید و مصرف انرژی حاصل شده، در حال تغییر است (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). براساس تعریف کمیته بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، تغییر اقلیم عبارت است از تغییر برگشت‌ناپذیر در متوسط شرایط آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلند مدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (Karamuz and Araqi-Nezhad, 2005).

تغییر اقلیم باعث تغییر در شرایط متوسط پارامترهای اقلیمی بویژه درجه حرارت و بارش در مناطق مختلف جهان می‌شود (Darabi et al., 2016). افزایش درجه حرارت و تغییر میزان و الگوی بارش از بارزترین پیامدهای تغییر اقلیم در سراسر کره زمین است (Koochaki et al., 2007). در نتیجه با تحلیل سری‌های زمانی دما و بارش در یک دوره زمانی بلندمدت می‌توان تغییرات اقلیمی را مطالعه، بررسی و ردیابی نمود (Yousefi and Hejjam, 2012). یکی از روش‌های شاخص به منظور تحلیل سری‌های زمانی هواشناسی و هیدرولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آنها با استفاده از آزمون‌های آماری است. وجود روند در سری‌های زمانی آب و هواشناسی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر

اقلیم یا تأثیر عوامل انسانی باشد (Brooks and Carrthers, 1953).

در زمینه تعیین روند متغیرهای بارش و دما در دنیا تحقیقات مختلفی در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه انجام شده است. به عنوان مثال: Jin et al (۲۰۱۳)، روند تغییرات دما (حداکثر، حداقل و متوسط دما) و بارش را در شمال‌شرقی هندوستان در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه مورد ارزیابی قرار دادند. وو و همکاران (۲۰۱۶)، روند تغییرات ماهانه و سالانه دما و بارش را در حوضه رودخانه دادو چین بررسی کردند. Al-Tamimi (۲۰۱۳)، چگونگی روند تغییر متوسط سالانه دما در شهرهای بغداد، بصره، موصل و القائم عراق را بررسی کرد. Tourjai and Arkan (۲۰۰۶)، وجود یا عدم وجود روند در سری‌های متوسط بارش سالانه و مجموع بارش ماهانه را در ترکیه مورد مطالعه قرار دادند. Langobardi and Villani (۲۰۱۰)، روند فصلی و سالانه زمانی و پراکنش فضایی بارش را در منطقه مدیترانه بررسی نمودند. Tiscilla et al. (۲۰۱۱)، به ارزیابی روند تغییرات بیشینه و کمینه دمای سالانه و فصلی در استان لیمپوپو آفریقای جنوبی پرداختند. Karmashu (۲۰۱۲)، روند تغییرات سالانه دما و بارش را در شمال ایالات متحده ارزیابی کرد. Maqoui et al. (۲۰۱۳)، روند سری‌های زمانی دما (کمینه، متوسط و بیشینه) و بارندگی سالانه را در سه ناحیه منتخب استرالیا مورد تحلیل و ارزیابی قرار دادند. Gutiérrez-Ruacho et al. (۲۰۱۰)، وجود یا عدم وجود روند در سری‌های زمانی سالانه بارندگی و دما (کمینه و بیشینه) را در شمال‌غربی مکزیک مطالعه کردند.

در کشور ما نیز تحقیقاتی در زمینه تحلیل و ارزیابی روند سری‌های زمانی دما و بارش صورت گرفته است. از جمله: Azizi and Roshani (۲۰۰۸)، به مطالعه تغییر اقلیم در ۶ ایستگاه واقع در سواحل

به منظور تعیین روند یا اصطلاحاً آشکارسازی روند در سری‌های زمانی متغیرهای آب و هواشناسی از آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک مختلفی استفاده می‌شود. آزمون من-کندال نمونه‌ای از آزمون‌های ناپارامتری است که توسط من (Mann) و کندال (Kendall) ارائه شده‌است (Serrano, 1999) و بطور گسترده در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار برده می‌شود (Lettenmaier, 1994). در آزمون من-کندال، علاوه بر آشکارسازی روند (افزایشی یا کاهش) سری‌های زمانی متغیرها، نقاط جهش (تغییر ناگهانی) نیز شناسایی می‌شوند. از جمله نقاط قوت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها است (Turgay and Ercan, 2006). این آزمون همانند سایر آزمون‌های آماری، بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌شود. پذیرفته شدن فرض صفر به منزله تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است و پذیرش فرض یک بر وجود روند معنی‌دار در سری داده‌ها دلالت دارد (Motiee and McBean, 2009).

در تحقیق حاضر، به منظور آشکارسازی روند در سری‌های زمانی بارش و میانگین دما در ایستگاه‌های سیرا و نساً واقع در بالادست حوضه آبریز سد کرج (امیرکبیر) از آزمون من-کندال در مقیاس فصلی و سالانه استفاده شده است. علاوه بر تحلیل اطلاعات بارش سالانه، بارش فصلی، میانگین دمای سالانه و میانگین دمای فصلی، وجود یا عدم وجود روند در سری‌های زمانی روزهای بارش اندک (بارش کمتر از ۵ میلیمتر) به عنوان بارش‌هایی که تأثیر چندانی در پتانسیل آبی ندارند و قبل از وارد

جنوبی دریای خزر به روش من-کندال در دوره آماری ۴۰ ساله پرداختند. Kaviani and Asakareh (۲۰۰۵)، روند بارش در ایستگاه استان اصفهان را در یک دوره ۱۰۳ ساله با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری مورد ارزیابی قرار دادند. Ketirai et al. (۲۰۰۷)، به بررسی روند تغییرات روزانه بارندگی ۳۸ ایستگاه منتخب ایران در طول دوره آماری ۲۰۰۱-۱۹۶۰ پرداختند. Feizi et al. (۲۰۱۵)، روند کمینه و بیشینه دما و میانگین بارش را در مقیاس فصلی در ایران مورد بررسی قرار دادند. Vafakhah et al. (۲۰۱۲)، به تحلیل روند سالانه و فصلی بارندگی و دما در حوضه آبخیز کشف‌رود پرداختند. Darabi et al. (۲۰۱۶)، روند تغییرات میانگین سالانه، میانگین کمینه و بیشینه دما و رطوبت نسبی را در استان قم مورد مطالعه قرار دادند. Khushravesht et al. (۲۰۱۵)، روند تغییرات پارامترهای بارش و دما را در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در حوضه نکارود با استفاده از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری ارزیابی کردند. Modarresi et al. (۲۰۱۰)، روند موجود در پارامترهای بارش، دمای بیشینه و کمینه را در مقیاس فصلی و سالانه در حوضه گرگانرود-قره‌سو مطالعه کردند. Bahak (۲۰۱۳)، به منظور بررسی احتمال تغییر اقلیم استان کرمان روند تغییرات میانگین بارش و میانگین، کمینه و بیشینه درجه حرارت را مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه ارزیابی کردند. Ebrahimi and Kordvani (۲۰۱۴)، سری زمانی داده‌های سالانه بارندگی و هر سه پارامتر دمای متوسط، دمای بیشینه و کمینه در تالاب انزلی به روش من-کندال مورد مطالعه قرار گرفتند. Farsadnia et al. (۲۰۱۲)، چگونگی روند تغییرات در مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته و میانگین بارندگی سالانه را در استان مازندران با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار داد.

شدن به پیکره آبی تبخیر می‌شوند در مقیاس سالانه مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

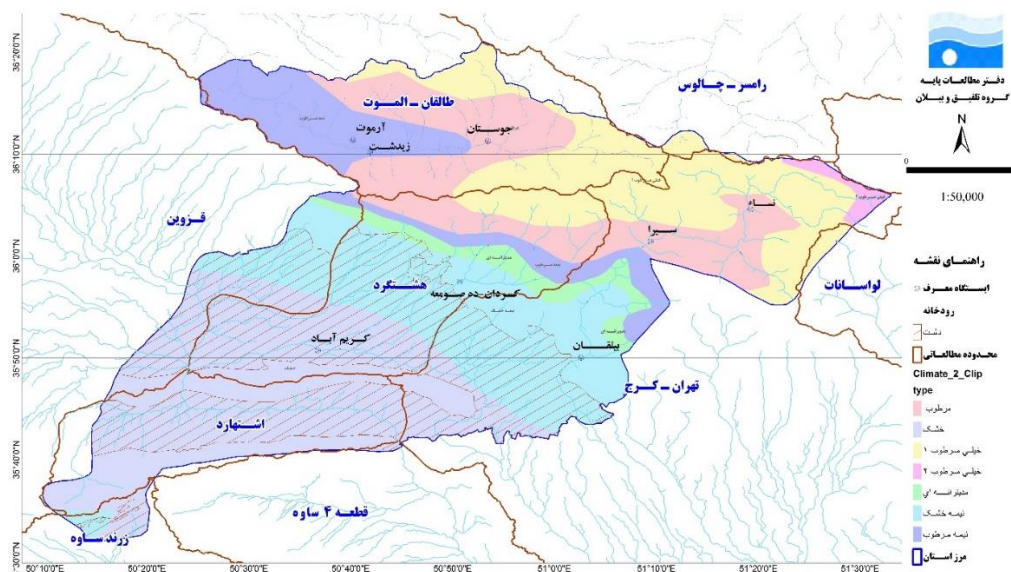
محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز سد کرج با مساحت ۷۶۴ کیلومترمربع در بخش شرقی استان البرز قرار دارد و از نظر سیاسی بین شهرستان‌های چالوس، نوشهر و تهران واقع شده است. این حوضه یک منطقه کاملاً کوهستانی بوده که حداکثر ارتفاع به ۴۷۴۷ متر و حداقل ارتفاع به ۱۶۷۶ متر می‌رسد. بخشی از جاده مهم کرج-چالوس که استان‌های تهران و البرز را به استان مازندران متصل می‌کند از میان این حوضه می‌گذرد. این حوضه بدلیل دربرداشتن سد کرج بعنوان یکی از مهمترین منابع تأمین آب کلان شهر تهران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همانطور که قبلاً بیان شد به میانگین آب و هوای یک منطقه در طول زمان، اقلیم آن منطقه می‌گویند و میانگین زمانی که نشان‌دهنده اقلیم یک منطقه باشد به طور معمول ۳۰ سال توسط سازمان هواشناسی بین‌المللی^۹ (WMO) تعریف شده است. تغییر اقلیم نیز اشاره به تغییر در میانگین خصوصیات اقلیمی (با استفاده از آزمون‌های آماری) برای مدت طولانی یا دهه‌ها دارد. بنابراین در مطالعه حاضر به منظور بررسی رخداد تغییر اقلیم در حوضه سد کرج از اطلاعات ثبت شده توسط ایستگاه‌های سیرا و نساً واقع در بالادست سد در فواصل زمانی سال ۶۳-۱۳۶۲ تا سال ۹۳-۱۳۹۲ استفاده شد. مشخصات ایستگاه‌های مذکور در جدول ۱ و موقعیت آنها در شکل ۱ ارائه شده است.

⁹ World meteorological organization

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

معرف پارامتر	محدوده مطالعاتی		سال تاسیس	مشخصات جغرافیایی			ایستگاه		ردیف
	کد	نام		ارتفاع	عرض	طول	نوع	نام	
بارش، درجه حرارت، رطوبت نسبی	۴۱۳۳	تهران-کرج	۱۳۴۷	۲۲۰۳	۳۵-۰۴-۳۶	۵۲-۱۹-۵۱	تبخیرسنجی	نساء	۱
بارش	۴۱۳۳	تهران-کرج	۱۳۴۶	۱۷۹۰	۲۵-۰۱-۳۶	۲۴-۰۹-۵۱	باران سنج	سیرا	۲



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی سیرا و نساء به تفکیک واقع شدن در دشت یا ارتفاعات و اقلیم منطقه

مدت، نقاط جهش و نقاط شروع روند از روش من-کندال مقطعی که ترکیبی از دو سری زمانی $U(t)$ و $U'(t)$ است استفاده شد. برای محاسبه این سری‌های زمانی، مراحل زیر انجام داده شد:

۱- در یک ستون، سری زمانی صعودی به نام Row که از یک شروع می‌شود، تهیه می‌شود.

۲- در ستون دوم سری زمانی داده‌های مورد بررسی به ترتیب صعودی بر اساس سال یا ماه مرتب می‌شود. ستون سوم، تاریخ داده‌ها خواهد بود.

۳- محاسبه Rank. در ستون چهارم، رتبه هر یک از مقادیر سری زمانی مورد نظر نسبت به کل

پس از استخراج و ذخیره کلیه داده‌های مورد نیاز از ایستگاه‌های فوق‌الذکر، رفع نواقص و بازسازی داده‌های آماری صورت گرفت. ایستگاه نساء در سال ۶۵-۶۶ دارای خلاء آماری بارش و دما و همچنین در سال ۶۳-۶۴ فقط دارای خلاء آماری دما بود لذا اطلاعات مربوط به این سال‌ها مورد بازسازی قرار گرفت ولی در مجموع در دوره آماری ۳۰ ساله مورد بررسی، اطلاعات ایستگاه‌های نساء و سیرا از وضعیت خوبی برخوردار بودند. در نتیجه برای بازسازی آمار ایستگاه نساء، یک رابطه رگرسیونی مابین داده‌های ایستگاه سیرا و نساء بدست آورده شد.

در مرحله بعد به منظور بررسی روند و تعیین نوع آن، شناسایی روندهای مقطعی و کوتاه

سری زمانی سنجیده می‌شود. دقت شود که رتبه یک مربوط به کوچکترین عدد در سری زمانی است..

۴- محاسبه t_i . این سری زمانی تابعی از شمارش Rank است. به صورتیکه در هر ردیف این سری زمانی، تعداد اعداد بزرگتر از ردیف Rank مذکور شمرده می‌شود.

۵- محاسبه E_i . با استفاده از رابطه (۱) صورت می‌گیرد:

$$E_i = \frac{\text{Row} \times (\text{Row} - 1)}{4} \quad (1)$$

۶- محاسبه واریانس ردیف از طریق رابطه

$$V_i = \frac{\text{Row} \times (\text{Row} - 1) \times (2 \times \text{Row} + 5)}{72} \quad (2)$$

۷- محاسبه سری تجمعی t_i . این سری زمانی Zt_i نامیده می‌شود.

۸- محاسبه آماره‌های $U(t)$ با استفاده از رابطه زیر:

$$U(t) = \frac{(Zt_i - E_i)}{\sqrt{V_i}}$$

۹- برای تهیه آماره‌های $U'(t)$ تمام مراحل قبل را با توجه به نکات زیر تکرار می‌کنیم:

ستون Row تغییر نمی‌کند و از یک شروع می‌شود. در ستون دوم سری زمانی داده‌های مورد بررسی به ترتیب نزولی بر اساس سال یا ماه مرتب می‌شود. آماره محاسبه شده در ضریب (۱-) ضرب می‌شود. تا آماره $U'(t)$ بدست آید. ترسیم سری‌های زمانی $U(t)$ و $U'(t)$ محور افقی، زمان خواهد بود. اگر

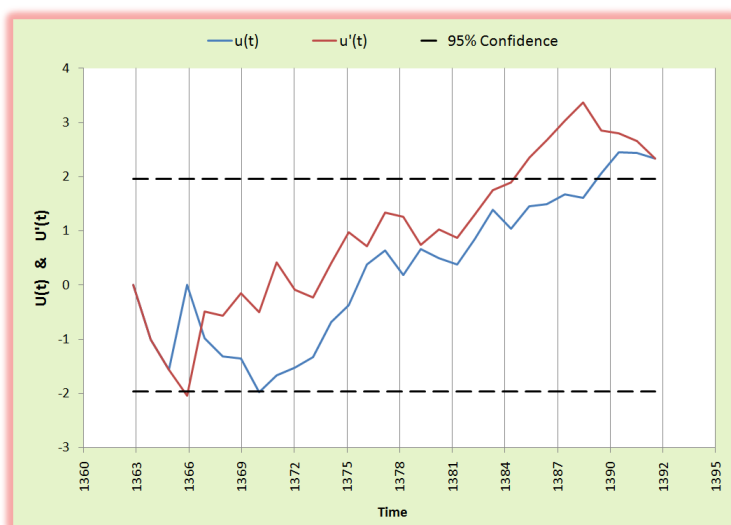
در نمودار مذکور منحنی‌های U و U' چندین بار از روی یکدیگر عبور کنند و داخل محدوده اطمینان با سطح معنی‌داری ۹۵ درصد $[+1/96, -1/96]$ باشند، روند وجود نخواهد داشت و تقاطع نمودارها در بازه مذکور صرفاً نشانگر وقوع جهش است اما در صورتیکه خارج از محدوده اطمینان همدیگر را قطع کنند، بیانگر وجود روند در سری زمانی است. بسته به مثبت یا منفی بودن محل نقطه تقاطع، روند صعودی یا نزولی خواهد بود. پس از ترسیم نمودار U و U' ، وقوع روند در بررسی هر سری داده تشخیص و سری زمانی مربوط به آن داده نیز ترسیم شد و سپس با برآزش یک رابطه خطی، وضعیت روند تغییرات استخراج گردید. برای مقایسه وضعیت تغییرات، در نمودارهای سری زمانی، متوسط سری نیز با یک خط افقی ارائه شد. شایان ذکر است که منظور از ترسیم خط روند، پیش‌بینی کمیت پارامتر در مقابل زمان نیست، بلکه هدف از آن به تصویر کشیدن روند و شیب تغییرات افزایشی یا کاهش سری زمانی است. در ادامه به تحلیل پارامترهای بارش، تعداد روزهای بارش اندک و دما در سطح ایستگاه‌های نسا و سیرا پرداخته شده‌است و نمودارهای مربوط به پارامترهایی که دارای روند بودند، گزارش شده‌است.

نتایج و بحث

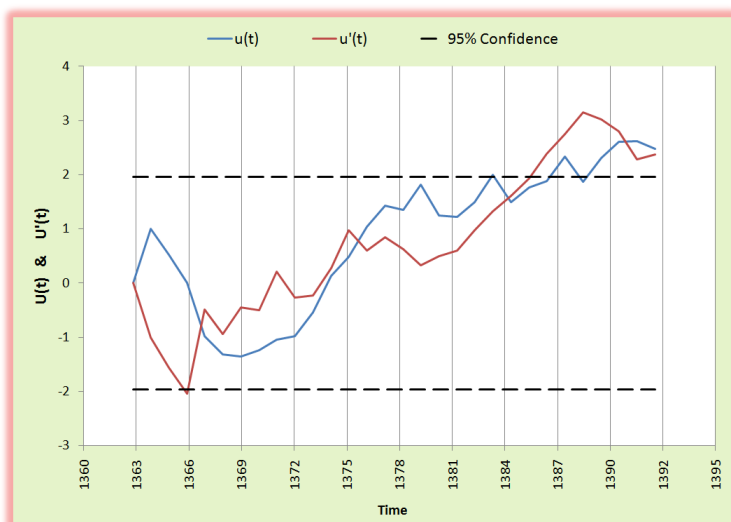
نتایج تحلیل بارش

در این بخش اطلاعات بارش در قالب سری‌های فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشانگر وقوع جهش در اغلب سری‌های زمانی و وقوع روند در چند سری زمانی بود

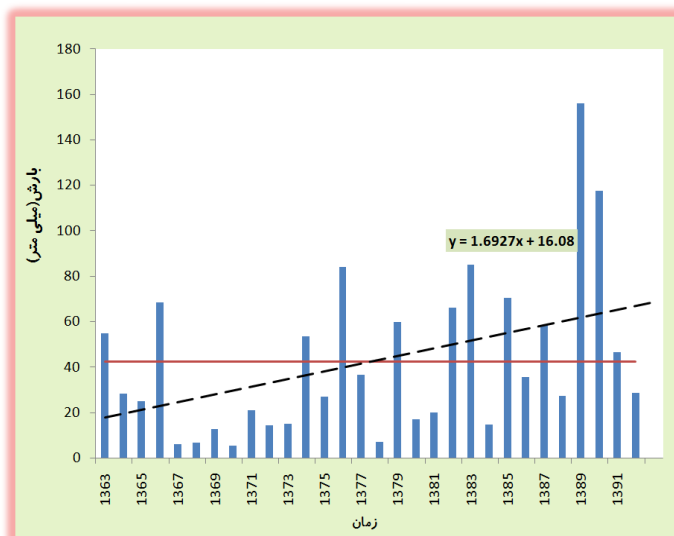
(جدول‌های ۲ و ۳) که شکل‌های مربوط به سری‌های دارای روند در شکل‌های زیر ارائه شده‌است:



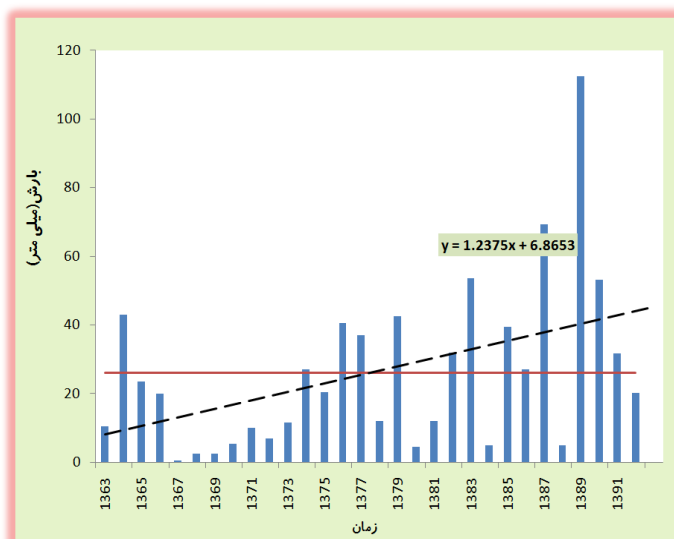
شکل ۲- تغییرات U و U' در دامنه $(+1/96, -1/96)$ در ایستگاه نساً برای بارش فصل تابستان دوره ۳۰ سال اخیر



شکل ۳- تغییرات U و U' در دامنه $(+1/96, -1/96)$ در ایستگاه سیرا برای بارش فصل تابستان در دوره ۳۰ سال اخیر



شکل ۴- تغییرات بارش فصل تابستان ایستگاه باران سنجی نسا در دوره ۳۰ ساله اخیر



شکل ۵- تغییرات بارش فصل تابستان ایستگاه باران سنجی سیرا در دوره ۳۰ ساله اخیر

تابستانی قوی بویژه در سال‌های ۸۹-۹۰ و ۹۰-۹۱ شده‌است. نکته مهم اینست که دو ایستگاه فوق در حوضه سد کرج و در بازه داخل استان البرز قرار دارند و از نظر منطقه‌ای نیز نزدیک به هم قرار گرفته‌اند و شاید دلیل عمده روند مشابه در دو ایستگاه را واقع شدن در یک حوضه و در نزدیکی هم دانست. بارش‌های تابستانه چون اغلب بصورت رگبار هستند لذا افزایش در بارش‌های این فصل می‌تواند بطور

در نمودارهای فوق مشاهده می‌شود که در دو ایستگاه نسا و سیرا، سری زمانی ۳۰ ساله بارش تابستانه دارای روند افزایشی بوده و بارش در این منطقه در فصل تابستان دوره آماری مورد بررسی، دارای افزایش بوده‌است. با توجه به این نمودارها مشاهده می‌شود که مقادیر بارش فصل تابستان در طول دوره آماری دارای نوسانات شدید است و این نوسانات در سال‌های اخیر باعث وقوع بارشهای

بر اینکه این آبها غیر قابل استحصال خواهد بود، احتمال خسارات جانی و مالی نیز افزایش خواهد یافت.

موقت بحران آبی را در برخی مناطق محدود کاهش دهد ولی در مجموع اگر ابزاری نظیر سدها برای مهار آب حاصل از این بارش‌ها وجود نداشته باشد، علاوه

جدول ۲- نتایج تحلیل روند مربوط به بارش سالانه

ردیف	ایستگاه		محدوده مطالعاتی		وجود روند	وجود جهش	نرخ تغییرات (شیب خط روند + :افزایشی، - :کاهش)
	نام	نوع	کد	نام			
۱	نساء	تبخیرسنجی	۳۳۲-۴۱	تهران-کرج	ندارد	دارد	ندارد
۲	سیرا	بارانسنج	۱۰۱-۴۱	تهران-کرج	ندارد	دارد	ندارد

جدول ۳- نتایج تحلیل روند مربوط به بارش فصلی

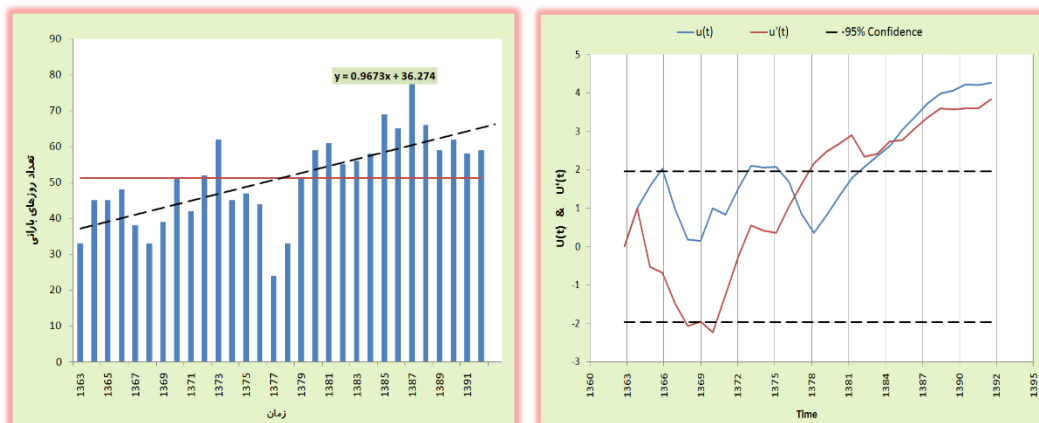
ردیف	ایستگاه		محدوده مطالعاتی		وجود روند در فصل				وجود جهش				نرخ تغییرات (شیب خط روند + :افزایشی، - :کاهش)			
	نام	نوع	کد	نام	کد	پاییز	بهار	تابستان	زمستان	پاییز	بهار	تابستان	پاییز	بهار	تابستان	زمستان
۱	نساء	تبخیرسنجی	۳۳۲-۴۱	تهران-کرج	۴۱۳۳	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	افزایشی
۲	سیرا	بارانسنج	۱۰۱-۴۱	تهران-کرج	۴۱۳۳	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	افزایشی

شده‌است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، جهش در سری‌های زمانی به وفور اتفاق افتاده ولی وقوع روند در تعداد محدودتری اتفاق افتاده است. در ادامه نمودارهای مربوط به سری‌های دارای روند به همراه تحلیل اثر آن در منطقه ارائه می‌شود:

بعد از استخراج روندهای مربوط به سری‌های زمانی مقادیر بارش، نوبت به تحلیل سری‌های زمانی روزهای با مقدار بارندگی مشخص رسید. در این بخش سری‌های زمانی مربوط به تعداد روزهای کمتر از ۵ میلیمتر با روش من-کندال مورد آزمون قرار گرفت. نتایج این آزمون در جدول ۴ ارائه



شکل ۶- روند تغییرات تعداد روزهای بارانی کمتر از ۲ میلیمتر در ایستگاه سیرا



شکل ۷- روند تغییرات تعداد روزهای بارانی کمتر از ۵ میلیمتر در ایستگاه سیرا



شکل ۸- روند تغییرات تعداد کل روزهای بارانی در ایستگاه سیرا

پتانسیل آبی منابع در منطقه این ایستگاه باشد. بررسی‌های صورت گرفته در وضع موجود منابع آب منطقه این ایستگاه، که همانا بالادست سد کرج است، موید این مطلب بوده‌است که میزان پتانسیل آبی در این منطقه و آبخوان‌های پایین‌دست آن کاهش یافته‌است فلذا اثرات تغییراقلیم صورت گرفته در حوضه سد کرج در منطقه بروز یافته‌است.

بررسی نمودارهای فوق نشانگر وقوع روند افزایشی در تعداد روزهای با بارش کمتر از ۵ میلیمتر در ایستگاه سیرا است. از آنجا که بارش سالانه این ایستگاه بدون روند بوده‌است لذا این افزایش در تعداد روزهای بارانی بدین معنی خواهد بود که افزایش تعداد روزهای بارانی همراه با بارش‌های کم مقدار بوده‌است که این اتفاق می‌تواند منجر به کاهش



شکل ۹- روند تغییرات تعداد روزهای بارانی کمتر از ۲ میلیمتر در ایستگاه نساء

تحلیل اطلاعات میزان بارش و تعداد روزهای بارانی در ایستگاه‌های بالادست سد کرج بطور مشترک روند افزایشی برای بارش‌های تابستانه را نشان می‌دهد. این تغییر در زمان وقوع بارش‌ها از طرفی می‌تواند باعث کاهش بحران‌های آبی در فصل تابستان گردد ولی از طرف دیگر چنین اتفاقی باعث کاهش ذخایر برفی که بعنوان پتانسیل بسیار خوبی برای آب قابل استحصال محسوب می‌گردد، بشود. از طرف دیگر افزایش تعداد روزهای با بارش‌های اندک در منطقه باعث کاهش ورود نزولات جوی به پیکره‌های آبی می‌شود که می‌تواند باعث کاهش سرانه آب در منطقه گردد.

ایستگاه نساء نیز که در حوضه سد کرج قرار دارد، دارای روند افزایشی در روزهای بارانی کمتر از ۲ میلیمتر بوده است که استقرار این ایستگاه و ایستگاه سیرا در بالادست سد کرج و وقوع روند افزایشی در هر دو ایستگاه برای بارش‌های کمتر از ۲ میلیمتر می‌تواند حاکی از تغییرات اقلیمی در منطقه و وقوع بارش‌هایی که تأثیر چندانی در پتانسیل آبی ندارند، باشد. این عامل می‌تواند باعث کاهش در ذخایر سطحی و زیرزمینی منطقه شود که از اثرات مشهود آن می‌توان به کاهش آبدی چشمه‌ها در منطقه و کاهش ذخایر آب پشت سد کرج اشاره نمود. بطور کلی

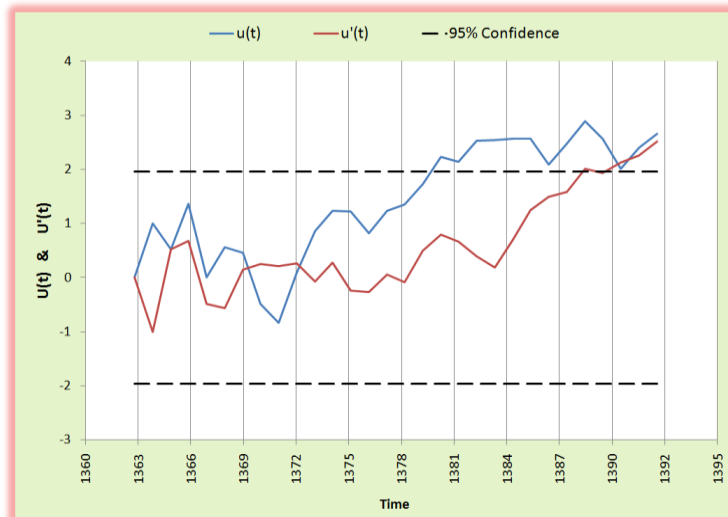
جدول ۳- نتایج تحلیل روند مربوط به تعداد روزهای دارای بارش با مقادیر معین

ردیف	ایستگاه		محدوده مطالعاتی		وجود روند		وجود جهش		نرخ تغییرات (شیب خط روند + افزایشی، - کاهش)	
	نام	نوع	کد	نام	کد	کمتر از ۲ میلیمتر	کمتر از ۵ میلیمتر	کمتر از ۲ میلیمتر	کمتر از ۵ میلیمتر	کمتر از ۲ میلیمتر
۱	نساء	تبخیرسنجی	۳۳۲-۴۱	تهران- کرج	۴۱۳۳	دارد	ندارد	دارد	دارد	افزایشی
۲	سیرا	بارانسنج	۱۰۱-۴۱	تهران- کرج	۴۱۳۳	دارد	دارد	دارد	دارد	افزایشی

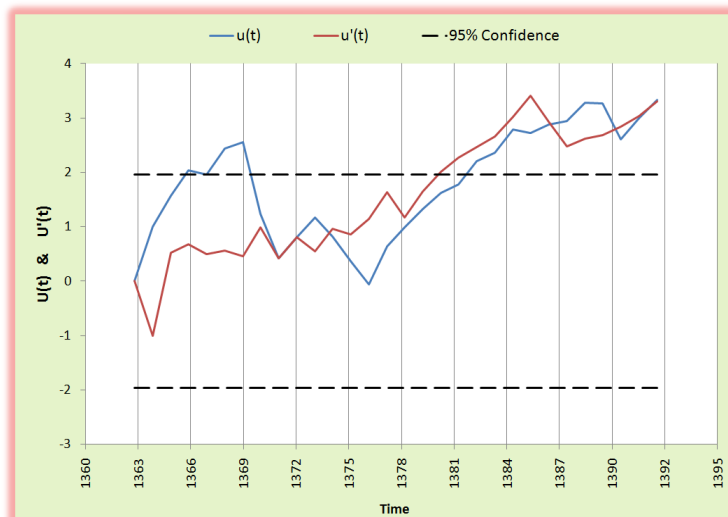
نتایج تحلیل دما

ایستگاه‌هایی که در آنها روندی در تغییرات دما مشاهده گردید، نمودار سری زمانی و میانگین درازمدت آن نیز ترسیم شد تا بتوان روند مذکور را مشاهده نمود. نمودارهای زیر در بردارنده نتایج حاصل از این بررسی می‌باشد:

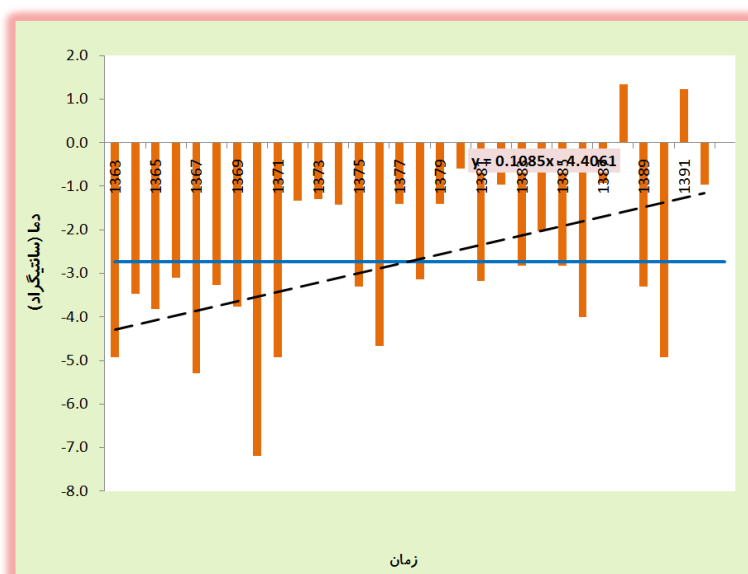
پس از تحلیل سری‌های زمانی بارش سالانه، بارش فصلی، سری‌های زمانی میانگین دمای سالانه و فصلی نیز مشابه سری‌های زمانی بارش تحلیل شد و روندهای موجود در این پارامتر استخراج گردید.



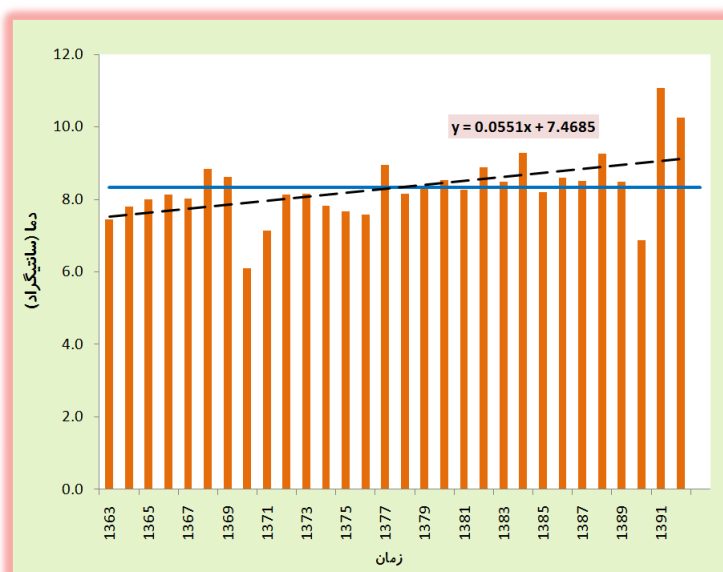
شکل ۱۰- تغییرات U و U' در دامنه $(+1/96, -1/96)$ برای میانگین دمای زمستان در ایستگاه نسا در دوره ۳۰ سال اخیر



شکل ۱۱- تغییرات U و U' در دامنه $(+1/96, -1/96)$ برای میانگین دمای سالانه در ایستگاه نسا در دوره ۳۰ سال اخیر



شکل ۱۲- تغییرات دمای فصل زمستان و خط روند آن در دوره سی ساله اخیر برای ایستگاه نسا



شکل ۱۳- تغییرات دمای سالانه و خط روند آن در دوره سی ساله اخیر برای ایستگاه نسا

فصل زمستان ذوب شده و از دسترس خارج گردند و حتی اگر در پشت سد نیز ذخیره گردند، ممکن است در اثر بارش‌های بهاره و پر شدن سد، مجبور به تخلیه آن به پایین‌دست شویم.

نتیجه‌گیری

پس از تحلیل تغییرات دو کمیت بارش و دما در ایستگاه‌های سیرا و نسا شکل ۱۴ به منظور

بررسی وضعیت تغییرات دمایی در ایستگاه نسا نشانگر اینست که دمای فصل زمستان و دمای سالانه روند افزایشی دارند. افزایش دمای زمستانه باعث آب شدن برف‌ها در فصل زمستان شده که این عامل باعث می‌شود این ذخایر ارزشمند بجای ذوب شدن تدریجی در فصل بهار و بهره‌برداری از آب حاصل از آنها برای مصارف کشاورزی و شرب، در

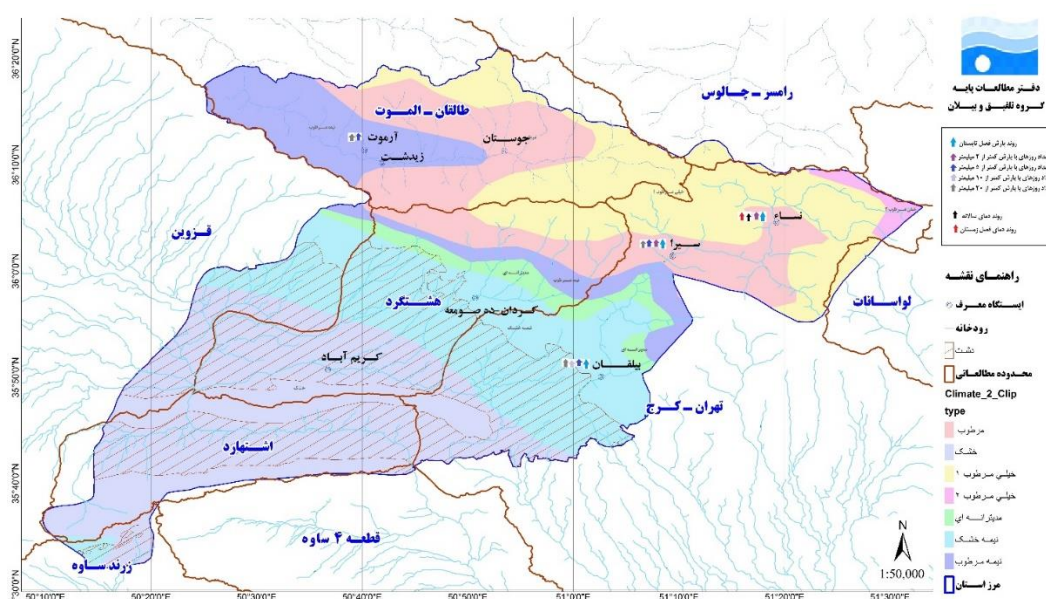
نمایش وضعیت تغییرات پارامترهای مورد بررسی تهیه شد. در این نقشه هریک از پارامترها با یک پیکان با رنگ متمایز نشان داده شده است و از آنجا که تمام روندهای کشف شده در مطالعه حاضر از نوع افزایشی بودند لذا تمام پیکانها رو به بالا بوده و به معنای روند افزایشی است. با توجه به توضیحات قبلی و اطلاعات موجود در شکل ۱۴، اهم نتایج حاصل بشرح زیر استخراج شده است:

دو ایستگاه منتخب نسأ و سیرا واقع در بالادست سد کرج دارای افزایش در تعداد روزهای بارش اندک و همچنین افزایش مقادیر بارش تابستانه هستند. هر دوی این تغییرات در جهت کاهش آب در دسترس و بارش مفید ارزیابی گردید چرا که بارشهای اندک قبل از پیوستن به منابع آب سطحی و زیرزمینی، از طریق تبخیر از دسترس خارج می گردند و همچنین بارشهای تابستانه چون اغلب بصورت رگبار هستند لذا افزایش بارش در این فصل فقط می تواند در زمان و مکان خاصی، بحرانهای آبی را موقتاً حل نماید و بویژه اگر سازه های کنترل و ذخیره سازی نظیر سدها در مسیر نباشد، نه تنها آب حاصل از بارش برای مصرف کنترل نخواهد شد، از

طرفی ممکن است باعث بروز خسارات جانی و مالی در پایین دست گردد.

افزایش دمای فصل زمستان و دمای سالانه در ایستگاه نسأ، عامل تشدید ذوب برف در منطقه و همچنین تبخیر است. این دو پدیده به همراه افزایش تعداد روزهای بارش اندک می تواند باعث وقوع بحرانهای شدید آبی در منطقه گردد و از آنجا که سد کرج که در پایین دست این ایستگاه قرار دارد و برای مهار آب های سطحی این منطقه به منظور تأمین آب شرب تهران می باشد، تحت شرایط فوق الذکر با کاهش حجم ذخیره مخزن مواجه خواهد شد و این اتفاق می تواند در آینده منشأ بروز مشکلات اجتماعی و زیست محیطی در این حوضه گردد. البته شایان ذکر است که در سالهای اخیر، میزان خالی بودن سد کرج همواره قابل توجه بوده است و همچنین آبدهی چشمه های منطقه کاهش یافته است که می تواند بعنوان دلیلی بر وقوع تغییرات فوق الذکر در منطقه تلقی گردد.

تغییرات هر دو پارامتر بارش و دما در منطقه در جهت توزیع ناهمگون زمانی آب قابل استحصال در منطقه است که می تواند در مجموع منجر به وقوع بحران آب برای مصارف شرب و کشاورزی گردد.



شکل ۱۴- وضعیت تغییر پارامترهای دما و بارش

Quarterly Journal of
Geographic Lands, 10(39), 65–
72.

منابع

Brooks, C. E. P., & Carruthers, N. (1953). *Handbook of statistical methods in meteorology* (412 pp.). H.M.S.O.

Darabi, H., Jafari, A., & Akhavan Farshchi, K. (2016). Analysis of climatic change trends in Qom province and its implications. *Environmental Sciences Studies*, 1(2), 25–40.

Ebrahimi, H., & Kordvani, P. (2014). Study of climate change in the Anzali International Wetland using the Mann–Kendall method. *Eco-Biology of Wetlands*, 6(21), 59–72.

Feizi, V., Mollashahi, M., Frajzadeh, M., & Azizi, G. (2015). Spatial and temporal trend analysis of temperature and precipitation in Iran. *Ecopersia*, 2(4), 727–742.

Alizadeh, A. (2008). *Principles of applied hydrology* (811 pp.). Imam Reza University Press.

Al-Tamimi, A. I. (2013). The Mann–Kendall test for temperature trends in some selected stations in Iraq. *Ibn Al-Haitham Journal for Pure & Applied Sciences*, 26, 116–122.

Babaeian, A., Najafinik, Z., Zablabasi, F., Habibi-Noukhandan, M., Adab, H., & Malboosi, S. (2009). Evaluation of climate change in Iran during 2010–2039 using downscaled data from the ECHO-G general circulation model. *Geography and Development*, 7(16), 135–152.

Bahak, B. (2013). Investigation of climate change probability in Kerman province using the Mann–Kendall method: A case study of Kerman station.

- parametric and nonparametric tests. *Water and Soil Sciences (Agricultural and Natural Resources)*, 19(74), 1–13.
- Koochaki, A. R., Nasiri, M., & Kamali, G. A. (2007). Study of Iran's meteorological indices under climate change conditions. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 5(1), 133–142.
- Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Wallis, J. R. (1994). Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948–1988. *Journal of Climate*, 7, 586–607.
- Longobardi, A., & Villani, P. (2010). Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 30, 1538–1546.
- Makuei, G., McArthur, L., & Kuleshov, Y. (2013). Analysis of trends in temperature and rainfall in selected regions of Australia over the last 100 years. In *Proceedings of the 20th International Congress on Modelling and Simulation* (pp. 415–419). Adelaide, Australia.
- Modarresi, F., Araqi-Nezhad, S., Ebrahimi, K., & Khelghi, M. (2010). Regional analysis of climate change phenomenon using statistical tests: A case study of the Gorganrud-Qarasu watershed. *Soil and Water (Agricultural Sciences and Industries)*, 24(3), 476–489.
- Motiee, H., & McBean, E. (2009). An assessment of long-term trends in hydrologic components and implications for water levels in Lake Superior. *Hydrology Research*, 40, 564–579.
- Gutiérrez-Ruacho, O. G., Brito-Castillo, L., Díaz-Castro, S. C., & Watts, C. J. (Year). Trends in rainfall and extreme temperatures in northwestern Mexico. *Climate Research*, 42, 133–142.
- Jain, S. K., Kumar, V., & Saharia, M. (2013). Analysis of rainfall and temperature trends in northeast India. *International Journal of Climatology*, 33, 968–978.
- Karamuz, M., & Araqi-Nezhad, S. (2005). *Advanced hydrology* (464 pp.). Amirkabir University of Technology Press.
- Karmeshu, N. (2012). Trend detection in annual temperature & precipitation using the Mann–Kendall test: A case study to assess climate change on select states in the northeastern United States (Master's thesis). University of Pennsylvania, Scholarly Commons, 1–27.
- Kaviani, M. R., & Asakareh, H. (2005). Statistical analysis of long-term annual precipitation trends in Isfahan. *Journal of Humanities Research, University of Isfahan*, 18(1, Special Issue: Geography), 143–162.
- Ketirai, P., Hejjam, S., & Iran-Nezhad, P. (2007). Contributions of changes in frequency and intensity of daily rainfall to precipitation trends in Iran during 1960–2001. *Journal of Earth and Space Physics*, 33(1), 67–83.
- Khush-Roush, M., Abedi Koopae, J., & Nikzad Tehrani, A. (2015). Detecting trends in hydro-climatic variables of the Neka River Basin using

- Vafakhah, M., Bakhshi-Tirgani, M., & Khazaei, M. (2012). Trend analysis of rainfall and discharge in the Kashfrud watershed. *Geography and Development*, 10(29), 77–90.
- Wu, Y., Wang, W., & Wang, G. (2016). Detecting variation trends of temperature and precipitation for the Dadu River Basin, China. *Advances in Meteorology*, 2016, Article 1–11.
- Yousefi, N., & Hejjam, S. (2012). Impact of ENSO on temperature and precipitation parameters: A case study of the Qazvin Plain. *Scientific–Research Quarterly of Geographic Space*, 12(39), 195–210.
- Serrano, A., Mateos, V. L., & Garcia, J. A. (1999). Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921–1995. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24(1–2), 85–90.
- Tshiala, M. F., Olwoch, J. M., & Engelbrecht, F. A. (2011). Analysis of temperature trends over Limpopo Province, South Africa. *Journal of Geography and Geology*, 3(1), 13–21.
- Turgat, P., & Ercan, K. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20, 2011–2026.