Journal of New Ideas in The Geographical Sciences
Sanad.iau.ir/journal/ntigs
ISSN: 2981-1473
Volume 3, Issue 8, June 2025, P 138

IAU Mahshahr Branch

Received: 13/12/2024 Accepted: 11/02/2025

Analysis of Hydroclimatology Changes in the Ajichay River Basin (Talkheh Rud)

Ali Sajed
Ph.,D Student Climatology, Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Amir Gandomkar[1]
Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Mohsen Bagheri Bodagh Abadi
Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Abstract
Considering the important and essential role of rivers in the economy, industry, and agriculture, mismanagement of these resources and incorrect usage of surface water, it prompted us to survey the negative impacts of climate change on water resources which has caused and will continue drought and various environmental impacts that effects in the ajichay river basin. This research was only concentrated on the ajichai river basin due to the large area of the Urmia Lake basin for this study area. The present study examines the effects and influencing factors on rainfall and river discharge of the ajichay . The discharge river and precipitation data were studied in the ajichay river basin in east azerbaijan province at monthly, seasonal, and annual scales from 1969 to 2017. The nonparametric Mann-Kendall statistical test was used to survey and analyze the presence or absence of trend. Additionally, the correlation coefficient and coefficient of determination were utilized using linear regression and coefficient of variation in the XLSTAT software. The results of river discharge analysis in the ajichay river basin indicate that the river has been a downward sloping trend at annual scale in the Vanyar station. A significant downward trend was also observed in river discharge data at the seasonal scale during autumn, winter, and spring which the most severe trend in winter is with 95% confidence level and an 86% correlation coefficient. However, the data have mutation in the winter but there is no a specific trend for the summer.

Keywords: **Trend, River Discharge, Mann-Kendall, Ajichay River Basin**

1.Corresponding Author: aagandomkar@gmail.com

نشریه علمی اندیشه‌های نو در علوم‌جغرافیایی، دوره ۳، شماره ۸، تابستان ۱٤۰٤، صفحات: ۱۱۱-۱۳۱
شاپا: ۱٤۷۳-۲۹۸۱

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۱٤۰۳/۱۱/۲۳

تحلیل روند تغییرات هیدروکلیماتولوژی حوضه آبریز رودخانه آجی چای(تلخه رود)

علی ساجد

دانشجوی دکترا اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

امیر گندمکار[۱]

گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

محسن باقری بداغ آبادی

موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

باتوجه‌به نقش مهم و ضروری رودخانه‌ها در اقتصاد، صنعت و کشاورزی، مدیریت نادرست این منابع و استفاده ناصحیح از آب‌های سطحی و عدم شناخت کامل از میزان منابع موجود، ما را بر آن داشت تا تأثیر منفی اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آبی که باعث ایجاد و تداوم خشکی و خشکسالی و اثرات زیست‌محیطی بسیاری را موجب گردیده و خواهد داشت در حوضه آبریز رودخانه آجی چای بررسی نماییم. به دلیل وسعت زیاد حوضه دریاچه ارومیه برای منطقه مطالعاتی فقط حوضه آجی چای در نظر گرفته شد. تحقیق حاضر با این نگاه به این مهم می‌پردازد و در این زمینه، اثرات و عوامل تأثیرگذار بر میزان بارندگی و دبی رودخانه آجی چای را بررسی می‌کند. دبی و بارش در حوضه رودخانه آجی چای واقع در استان آذربایجان شرقی در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه از سال ۱۳٤۸ تا سال ۱۳۹٦ موردمطالعه قرار گرفت جهت بررسی و تحلیل وجود روند و یا عدم وجود روند از آزمون ناپارامتری من – کندال استفاده گردید. همچنین میزان ضریب همبستگی و ضریب تعیین با استفاده از رگرسیون خطی و ضریب تغییرات در نرم‌افزار xlstat استفاده گردید. نتایج تحلیل دبی در حوضه آبریز آجی چای نشان می‌دهد که جریان رودخانه آجی چای در مقیاس سالانه در ایستگاه ونیار روند نزولی با شیب تند داشته است. همچنین روند نزولی معناداری در دادهای دبی در مقیاس فصلی در فصول پاییز، زمستان و بهار مشاهده شد که در آن شدیدترین روند مربوط به فصل زمستان با سطح اطمینان ۹۵ درصد و با ۸٦ درصد ضریب همبستگی است؛ ولی در فصل زمستان داده‌ها دارای جهش هستند ولی روند خاصی برای تابستان متصور نیست.

کلمات کلیدی: روند، دبی، من – کندال، حوضه آجی چای

۱.نویسنده مسئول

مقدمه

برآورد میزان دبی به دلیل استفاده در طراحی سازه‌های بزرگ آبی به‌خصوص سدها موردتوجه هیدرولوژیست‌ها است. نخستین گام و ضروری‌ترین اقدام در اغلب فعالیت‌های بشری شناخت اقلیم یک منطقه است. در این میان به دلیل رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیازهای آبی، اجرای پروژه‌های کوچک و بزرگ هیدرولوژیکی به‌منظور ذخیره‌سازی و یا انحراف یا انتقال آب و نیز مطالعات آبخیزداری هر چه بیشتر مطرح می‌شود اجرای چنین طرح‌هایی نیاز به مطالعات دقیق و تجزیه‌وتحلیل داده‌های هیدروکلیماتولوژی دارد (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح،۱۳۸۰). دریاچه ارومیه بزرگ‌ترین دریاچه داخل کشور است که در سال‌های اخیر تراز سطح آب آن به میزان چشمگیری کاهش‌یافته است. تغییر اقلیم، خشکسالی‌های مستمر، توسعه سطح زیر کشت، تغییر کاربری اراضی و احداث سدها و... از دلایل این مشکلات شناخته شده است. ولی مستندات و ادله علمی کمتری ارائه کردند (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۹). به دلیل وسعت زیاد حوضه دریاچه ارومیه برای منطقه مطالعاتی، فقط حوضه آجی چای در نظر گرفته شد که شاید بیشترین تغییرات را از این منظر داشته باشد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۹). تحقیق حاضر با این نگاه به این مهم می‌پردازد و در این زمینه اثرات و عوامل تاثیرگذار بر میزان دبی رودخانه آجی چای را بررسی می‌کند مطالعه و بررسی حوضه‌های دریاچه ارومیه به این دلیل اهمیت پیدا می‌کند که این دریاچه شور بوده و میزان شوری در وضعیت عادی دریاچه ارومیه باید ۲۵۰ گرم نمک در لیتر داشته باشد که این رقم در حال حاضر به ۵۰۰ گرم در لیتر رسیده است (برهانی داریان، ۱۳۹٤). به دلیل اهمیت و تأثیر میزان ورودی آب‌های رودخانه‌ها بر شرایط محیطی و نیز نقش آن در برنامه‌ریزی‌های مبتنی بر دانسته‌های اقلیمی، بررسی تغییرات دبی رودخانه‌ها در سال‌های اخیر موردتوجه قرار گرفته است. تغییرات اقلیم و نوسان دما و بارش یکی از مسائل مهم زندگی بشر به‌حساب می‌آید، با بررسی روند تغییرات میانگین بارش می‌توان تحولات اقلیمی یک منطقه را ردیابی نمود. بر اساس شواهد موجود این تغییرات در جنبه‌های مختلف اقلیم درگذشته وجود داشته و اکنون نیز این مسئله متحمل است. مسئله ای که این جا مهم است سرعت و ماهیت تغییر پارامترهایی اقلیمی در سال‌های اخیر متفاوت بوده و شتاب بیشتری به خود گرفته و روند آن با گذشته کمی متفاوت شده است. این مسئله یعنی سرنوشت و آینده اقلیم، ذهن بشریت را به خود مشغول نموده است، این دل‌مشغولی هم نسبت به نسل آینده و هم به سرنوشت زمین مربوط می‌شود. اثبات وقوع پدیده تغییر اقلیم در سطح جهانی به‌سهولت امکان‌پذیر نیست و نیازمند بررسی‌های جامع و طولانی‌مدت آمارهای ثبت شده از پارامترهای اقلیمی است، هر چند روند گرم‌تر شدن دمای سطح زمین و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای تقریباً امری است که در حال حاضر بیش‌ازپیش مشهود گشته است. نتایج مطالعات گسترده‌ای که در سطوح ملی، منطقه‌ای و جهانی صورت‌گرفته، بیانگر افزایش دما در بسیاری از نقاط جهان و به‌طورکلی افزایش میانگین دمای هوا است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد دمای حداقل و حداکثر در بازده‌های زمانی گذشته رفتارهای متفاوتی از خود نشان داده‌اند و دمای حداقل در بسیاری از نقاط جهان به طور آشکار افزایشی بوده، همچنین دمای حداکثر هم در خیلی از نقاط جهان روند افزایشی را نشان می‌دهد، ولی به‌خاطر افزایش کمتر در مقایسه با دمای حداقل، موجب کاهش دامنه شبانه‌روزی دما شده است (عساکره، ۱۳۸٦). ایران کشوری با آب‌وهوای خشک تا نیمه‌خشک است و به علت دارابودن اشکال گوناگون ناهمواری‌ها، نسبت به دیگر کشورهای خاورمیانه از آب‌وهوای متنوعی برخوردار است. البته این حالت تنها ناشی از تنوع ناهمواری‌ها نبوده؛ بلکه بیشتر از جریان‌های جوی در مقیاس جهانی و سینوپتیکی نشأت می‌گیرد.

خصوصیات جغرافیای کشور پهناور ایران، ویژگی‌های اقلیمی متفاوتی را به وجود آورده است. این ویژگی‌ها حاصل فعالیت‌های طبیعی و انسانی است. از آن جایی که این پدیده‌ها دوره‌ای هستند، بررسی آنها می‌تواند در توجیه و پیش‌بینی سالانه وضعیت اقلیمی کشور کمک بزرگی نماید. بررسی‌ها حاکی از آن است که هم‌زمان با تغییر در میزان دمای حداقل و حداکثر کشور تغییراتی در بارش ایجاد می‌شود. پژوهش‌های انجام شده در سطح ایران بیانگر افزایش تدریجی در دمای متوسط است. بااین‌حال گزارش‌هایی نیز مبنی بر کاهش درجه‌حرارت وجود دارد. این افزایش و کاهش منجر به تغییرات اقلیم و الگوهای آب‌وهوایی در کشور شده که بر جنبه‌های مختلف فعالیت‌های ساکنان این مرزوبوم تأثیرگذار بوده است. در ایران دمای هوا علاوه بر پدیده‌های کلان اقلیمی به‌شدت تابع ارتفاع، عرض جغرافیایی و محتوای رطوبتی جو است. اثر ارتفاع بر دمای هوا بسیار چشمگیرتر و صدها برابر اثر عرض جغرافیایی است. حاکمیت پر فشار جنب حاره به‌ویژه در دوره گرم سال در ایران مرکزی و حاکمیت پرفشار سیبری در دوره سرد سال در شمال شرق، بر دمای ایران اثر چشمگیری دارد. در بخش‌های میانی ایران فقر رطوبتی جو حاکمیت یک رژیم گرمایی قاره‌ای را آسان می‌سازد. مجموعه شرایط یاد شده موجب شده است تا ایران دارای اقلیمی گرم با رژیم دمایی قاره‌ای عرض میانه باشد. به‌نحوی‌که می‌توان گفت نقاط مختلف کشور عملاً دارای فصول متفاوتی هستند. مسئله اصلی در این جا بررسی روند تغییرات دما و بارش و به سبب آن تغییرات دبی در حوضه رودخانه آجی چای است. در حقیقت این پژوهش به دنبال پاسخ‌گویی به این مسائل است که آیا میزان بارش در این محدوده در طی دوره‌ای که سنجش عناصر اقلیمی در ایران آغاز شده، تغییریافته یا خیر؟ افزایش و کاهش آن در چه بازه‌های زمانی بوده و میزان دبی در این بازهای زمانی افزایش یا کاهش داشته است؟ افزایش و کاهش دما چه میزان بوده است؟ افزایش و کاهش در کدام پارامترهای بارش صورت‌گرفته است؟

برای رسیدن به جواب این سؤالات پارامترهای دبی روزانه و ماهانه رودخانه آجی چای در ایستگاه آب‌سنجی ونیار و ایستگاه آب‌سنجی آخولا، بارش حداکثر، حداقل، دمای حداکثر، حداقل، میانگین دمای سالانه و ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی موجود در حوضه رودخانه آچی چای در طول دوره آماری ۵۰ساله مورد تحلیل قرار گرفته است.

پیشینه تحقیق

فیسچر وهمکاران(۲۰۱۰) درمطالعه روندهای دما وبارش درحوضه رودخانه ژوجیانگ در جنوب چین نشان داد در دماهای سالانه و دوره‌های گرم روندهای معنی‌دار مثبت در مقابل در داده‌های بارش و دوره‌های سرد روندهای منفی مشاهده شده است. بوئیچ و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی با شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر دبی رودخانه نیل با استفاده از مدل GCM به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی اثرات چشمگیری بر آبدهی حوضه رود نیل داشته و آبدهی آن را طی سال‌های آتی کاهش خواهد داد. بیرسان و دومیترسو (۲۰۱٤) تغییرات دماهای حدی کارپاتیانزا را بررسی و به این نتیجه دست یافتند که پارامترهای حدی سرد از روند کاهشی و شاخص‌های حدی گرم از روند افزایشی برخوردار بوده‌اند. ژن و شیلین (۲۰۱۵) روند دماهای حدی در چین شمالی را بررسی و دریافت که روندهای افزایشی در روزهای تابستان و شب‌های حاره‌ای دماهای حداقل و حداکثر وجود داشته است. نتایج مطالعه گاددجیسو و همکاران (۲۰۲۱) نشان‌دهنده روند افزایشی دمای حداکثر در کارا، مانگو و نیامتوگوآ و روند کاهشی در داپانگ بوده است. چن و همکاران (۲۰۲۲) روند تغییرات

دماهای حدی در چین را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر سالانه دمای روزانه و مقدار حداقل سالانه دمای روزانه در چین به ترتیب از سال ۱۹٦٦ تا ۲۰۱۵ مقدار ۰/۱۸ و ۰/۵۲ درجه سانتیگراد در سال افزایش‌یافته است. سالنیکو و همکاران (۲۰۲۳) روندهای دما و بارش در قزاقستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که قلمرو قزاقستان بر اساس تغییرات آب‌وهوایی به نیمه جنوب غربی و شمال شرقی تقسیم شده است. خامیدو و همکاران (۲۰۲۳) روندهای دما و بارش در کشکادریا ازبکستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که میانگین دما از ۱٤/۵۳ درجه سانتیگراد طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰٦ به ۱٤,٤۰ درجه سانتیگراد طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۵ کاهش‌یافته است. کلینگچوری و همکاران (۲۰۲٤) روند دما، رطوبت و بارش در شش منطقه تایلند با استفاده از تحلیل نوآورانه روند را بررسی کردند. نتایج روند من کندال نشان داد که هر شش منطقه یک‌روند صعودی در شاخص دما و رطوبت داشتند. درحالی‌که رطوبت نسبی و بارش هر دو روند صعودی و نزولی را در مناطق مختلف نشان دادند. رضایی (۱۳۸۸) به بررسی اثر گسترش اراضی دیم بر روند تغییرات دبی سیلابی سالانه حوضه آبخیز قزل‌اوزن در یک دوره ۳۰ساله به روش کندال تائو تنها در مورد دو ایستگاه هواشناسی گیتو و سلامت آباد و دو ایستگاه آب سنجی سرچم و دهگلان پرداخته است. نتایج نشان می‌دهند روند افزایشی و معنی‌دار آماری تغییر دبی‌های اوج و بارندگی یک‌روزه بیشینه نسبت به زمان وجود داشته و در بقیه موارد تغییرات آن فاقد هماهنگی معنی‌دار با روند زمان به‌صورت مثبت یا منفی است. قویدل رحیمی (۱۳۸۹) بامطالعه داده‌های مربوط به ناهنجاری‌های دمایی کره زمین و بارش متوسط سالانه ایستگاه جلفا، در طی دوره آماری ۱۹٦۰-۲۰۰۳ را با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و تعیین ضریب همبستگی پیرسون، تحلیل مؤلفه روند سری‌های زمانی نشان داد که همبستگی منفی و معکوس معنی‌داری بین بارش سالانه شهرستان جلفا و ناهنجاری‌های دمایی کرۀ زمین است. این بدان معنی است که غالباً با منفی‌شدن ناهنجاری‌های دمایی کرۀ زمین بارش سالانه شهرستان جلفا افزایش‌یافته و ترسالی به وقوع می‌پیوندد و برعکس، با مثبت‌شدن ناهنجاری‌های دمایی کره زمین بارش سالانه جلفا کاهش‌یافته، خشکسالی به وقوع می‌پیوندد. معروفی و طبری (۱۳۹۰) در حوضه رودخانه مارون تغییرات دبی رودخانه را با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری مورد با آزمون‌های من – کندال و سن و همچنین تحلیل پارامتری رگرسیونی با استفاده از داده‌های دبی رودخانه در پنج ایستگاه آب‌سنجی و طی یک دوره ۲۰ساله مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که دبی سالانه در همه ایستگاه‌ها دارای روند نزولی در دو دهه اخیر بوده است. بهره‌مند و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از آمار ۳۰ساله ٦ ایستگاه آب‌سنجی در یک دوره ۳۰ساله و با استفاده از نرم‌افزار R و با روش‌های آماری ناپارامتریک من – کندال تغییرات بلندمدت بارندگی و دبی در غرب دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که بارش در بعضی ایستگاه‌ها بدون روند و در بعضی دیگر دارای روند کاهشی است. اما دبی در بیشتر موارد دارای روند کاهشی معنی‌داری است. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۲) بر اساس روش همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی و غیرخطی در بازه زمانی ٤۰ساله شامل داده‌های سالانه و فصلی گرمایش جهانی و داده‌های دبی رودخانه ارس پرداختند. مطالعات نشان از ارتباط معکوس و قوی گرمایش جهانی با آبدهی حوضه ارس دارد. این فرایند به‌خصوص از سال ۱۹۹٤ به بعد آشکار است و با افزایش گرمایش جهانی آبدهی حوضه ارس کاهش چشمگیر از خود نشان می‌دهد. رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از آزمون ناپارامتری من – کندال، در یک دوره آماری ٤۰ساله در حوضه آبخیز گرگان رود استان گلستان با بررسی روند تغییرات دبی کل و دبی

پایه ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه دریافتند که کاهش دبی پایه نسبت به متوسط بلندمدت آن نشان‌دهنده وضعیت خشکسالی است. اما کاهش متوسط دوره‌ای دبی پایه نشان می‌دهد که منطقه به سمت خشکی پیش می‌رود و تحلیل‌های معنی‌داری روند در سطح ۵ درصد بیانگر آن است که در مقیاس سالانه، میانگین دبی پایه و دبی کل، روند نزولی داشته؛ اما حداکثر دبی پایه و حداکثر دبی کل هیچ روندی ندارند. جاهدی و قربانی (۱۳۹٤) تغییرات بارندگی و دبی ایستگاه‌های دوست بیگلو و سامیان حوضه آبریز قره‌سو در استان اردبیل را در یک دوره آماری ۳۰ساله با استفاده از آزمون ناپارامتری من – کندال مورد بررسی قرار دارند و نتایج تحلیل بارندگی و دبی نشان می‌دهد که جریان رودخانه قره‌سو در مقیاس سالانه در هر دو ایستگاه این رودخانه روند نزولی دارد. ظهرابی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از آزمون آماری من کندال به بررسی تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای اقلیمی دما و بارش در حوضه آبریز کرخه واقع در غرب کشور ایران پرداخته است. نتایج آزمون‌های آماری برای سری‌های زمانی دما و بارش سالانه به ترتیب روند افزایشی و کاهشی با سطوح معنی‌داری بالای ۱ و ۵ درصد را برای اکثر ایستگاه‌های موردمطالعه نشان داده است. کنعانی و همکاران (۱۳۹۸) روند تغییرات تدریجی و سریع عوامل هیدرو اقلیمی حوضه آبریز لیقوان چای را بررسی کردند. نتایج نشان داد مقادیر جریان رودخانه لیقوان چای (در ایستگاه هروی) در همه مقیاس‌های زمانی مورد بررسی دارای روند نزولی است. در فصل بهار، تمام متغیرهای مرتبط با بارش روند کاهشی نشان دادند. در مورد متغیرهای دمای هوا، نتایج نشان داد که در اکثر مقیاس‌های زمانی روند افزایشی وجود دارد که این روند در ماه‌های دی تا اردیبهشت بسیار معنی‌دار بود. همچنین، اختلاف دمای حداکثر و حداقل نیز روند افزایشی نشان داد. فضلی فرد و همکاران (۱۳۹۸) به‌منظور بررسی علل افت سطح آب دریاچه ارومیه، روند دو عامل دخیل در تغذیه آن، شامل بارش و دبی رودخانه‌ها را با استفاده از آزمون من کندال موردمطالعه قراردادند. نتایج نشان داد متغیر بارندگی سالانه در برخی نقاط روند افزایشی و در برخی روند کاهشی دارد اگر چه از نظر آماری روندهای مشاهده شده در اغلب ایستگاه‌ها معنی‌دار نیستند. علی‌رغم عدم وجود نشانه‌هایی از روند کاهشی یکنواخت بارندگی سالانه در بیشتر ایستگاه‌های هیدرومتری دبی سالانه در سطح معنی‌داری ۵درصد روند کاهشی دارد. ایمانی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی بارندگی و دما، در حوضه آبریز طشک – بختگان را در یک دوره آماری ۳۰ساله را با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتریک من کندال بررسی کردند و با استفاده از تغییرات زمانی و مکانی بارندگی و دما، به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار بر وضعیت منابع آب، برای یک دوره زمانی ۳۰ساله آماری ۲۰۱۰ تا ۱۹۸۱ با استفاده از روش آماری غیرپارامتریک من کندال بررسی شد. نتایج نشان داد بارندگی در طول دوره آماری به میزان ۱٤/۳ درصد کاهش و دما به میزان ۳/۵ درصد افزایش داشته است که روند تغییرات برای بارش و دما به ترتیب در سال ۲۰۰٤ و ۱۹۸۵ اتفاق افتاده است. اما روند کاهش بارندگی در منطقه برخلاف افزایش دما معنی‌دار نیست. نوری و همکاران (۱٤۰۰) به‌منظور بررسی روند تغییرات دما و بارش حوضه آبریز فرامرزی ارس از آزمون ناپارامتری من – کندال و شیب سنس استفاده کردند. نتایج نشان داد که روند تغییرات بارش در مقیاس سالانه جز در قسمت‌های مرکزی حوضه به‌صورت افزایشی بوده است. این تغییرات در مقیاس فصلی بیشتر خود را نشان می‌دهد، به‌نحوی‌که در فصل بهار روند تغییرات به‌صورت کاهشی و در فصل پاییز به‌صورت افزایشی بوده است. دما نیز به طور یکسان در کل منطقه مطالعاتی سیر صعودی را نشان می‌دهد. برون و همکاران (۱٤۰٤) امواج گرمایی استان خوزستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد

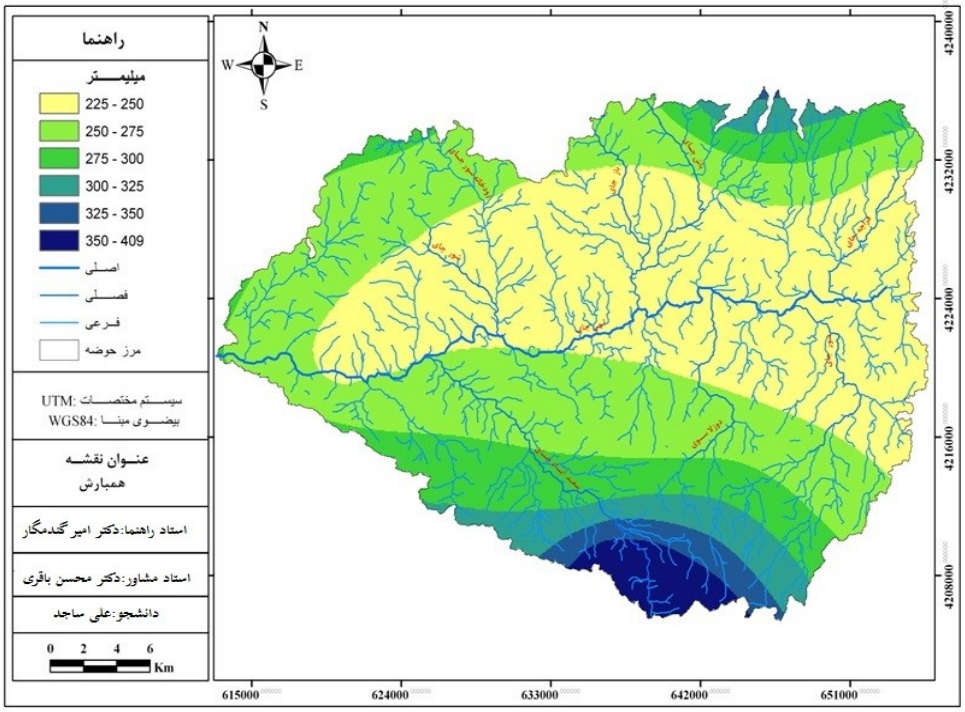
که در اکثر قریب به‌اتفاق امواج گرمایی در لایه‌های زیرین و رد سپهر زبانه‌های چرخند پاکستان و عربستان به‌عنوان مهم‌ترین سامانه تأثیرگذار در انطباق با الگوی توپوگرافی منطقه (ارتفاعات زاگرس جنوبی) و الگوی چرخشی سامانه سبب فرارفت گرم دمای تابشی بیابان‌های گرم لوت و عربستان بر روی استان خوزستان بوده‌اند. سوره و همکاران (۱٤۰٤) روند خشکسالی استان آذربایجان غربی را بررسی کردند. نتایج نشان داد در پهنه استان آذربایجان غربی شاخص VCI و SPIحساس‌ترین شاخص برای شناسایی خشکسالی بوده که قادرند انواع خشکسالی‌ها را به‌خوبی شناسایی کنند. همچنین شاخص NDVI باتوجه‌به حساسیت نسبتاً خوبی که برای شناسایی خشکسالی دارد، قادر است کاهش پوشش گیاهی در سال‌های خشکسالی را نشان دهد.

مبانی نظری

تلخه‌رود به زبان ترکی «آجی‌چای» یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین رودخانه‌های داخلی جاری در استان آذربایجان شرقی است. این رود همچنین یکی از بزرگ‌ترین رود تأمین‌کننده آب ورودی به دریاچه ارومیه است. مساحت حوضه آبریز این رودخانه ۹۲۰۰ کیلومترمربع است و حداکثر دبی ثبت شده آن در هر ثانیه ٤۰/٦ مترمکعب است. طول رودخانه ۲٦۵ کیلومتر است و در مناطق مرکزی استان آذربایجان شرقی در جریان است (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح،۱۳۸۰). دریاچه ارومیه از اواسط دهه ۱۳۸۰ شروع به خشک‌شدن کرد و امروزه در خطر خشک‌شدن کامل قرار دارد. بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۵ دریاچه ۸۸ درصد مساحت خود را ازدست‌داده، گزارش‌های قبلی تنها به ازدست‌رفتن ۲۵ تا ۵۰ درصد مساحت دریاچه اشاره کرده بودند. دلایل بسیاری برای خشک‌شدن دریاچه ذکر شده است از جمله خشکسالی احداث بزرگراه بر روی دریاچه و استفاده بی‌رویه از منابع آب حوزه آبریز دریاچه. خشکسالی یک پدیده آب‌وهواشناسی پیچیده بوده که متکی به چندین عامل محیطی است (سوره و همکاران، ۱٤۰٤). تحقیق جدیدی توسط چند تن از محققان در امریکای شمالی نشان می‌دهد که خشکسالی تنها باعث کاهش ۵ درصدی بارش در حوزه آبریز دریاچه شده و عوامل انسانی شامل پروژه‌های جاه‌طلبانه توسعه اقتصادی – آبی به همراه ساخت بزرگراه ۱۵ کیلومتری بر روی دریاچه با دریچه کوچک ۲/۱ کیلومتری وضعیت دریاچه را به بحران کشانیده است. تا سال ۲۰۱۲ بیش از دویست سد بر روی رودخانه‌های حوزه آبریز دریاچه در مرحله آماده بهره‌برداری یا پایان مراحل طراحی بودند. بر اساس آخرین بررسی‌ها در آبان ۱۳۹٤ تراز آب دریاچه ارومیه ۱۲۷۰,۰٤ متر عنوان شد که نسبت به زمان مشابه سال گذشته ٤۰ سانتیمتر کاهش نشان می‌دهد (برهانی داریان، ۱۳۹٤). در صورت خشک‌شدن این دریاچه هوای معتدل منطقه تبدیل به هوای گرمسیری با بادهای نمکی خواهد شد و زیست محیط منطقه را تغییر خواهد داد. علاوه بر نمک بسیاری از آلودگی‌ها شامل فلزات سمی سنگین مورداستفاده در صنعت و مواد سمی مورداستفاده در کشاورزی به آب‌های سطحی و زیر سطحی مرتبط با دریاچه نفوذ کرده و در صورت خشک‌شدن دریاچه بسیاری از مواد سمی هوازی شده و خطرات بیماری‌های تنفسی برای زیست‌بوم و مردم منطقه به وجود خواهد آورد. بااین‌حال هنوز اقدام جدی برای نجات دریاچه صورت نگرفته کارشناسان و فعالان محیط‌زیست اعتقاد دارند خطر خشکیدن دریاچه ارومیه تا شعاع ۵۰۰ کیلومتری این دریاچه را تهدید می‌کند (برهانی داریان، ۱۳۹٤).

روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش، از داده‌های بلندمدت (حداقل ۳۰ سال) ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری واقع در حوضه آبریز رودخانه آجی چای استفاده شده است. میانگین بارش سالانهٔ حوضهٔ آبریز تلخه رود حدود ۳۵۵ میلیمتر، و میانگین آبدهی سالانهٔ تلخه رود ۰۰۰ ، ۰۰۰ ، ۳۹۲ متر مکعب است. بر روی تلخه رود و سرشاخه های آن، هفده ایستگاه آب سنجی نصب شده که سه تای آن بر روی شاخه اصلی است. یکی از مسائل بسیار مهم آب شناختی ، محاسبه ی حداکثر بارش محتمل به منظور طراحی سدهای بزرگ است. از سال ۱۹۵۰ اولین بار برای طراحی سازه های بزرگ مقادیر بارش محاسبه گردید. به کارگیری حداکثر بارش محتمل به منظور طراحی سازه های آبی با ریسک یا خسارت بالا قدمتی در حدود صد سال دارد. در دسترس نبودن داده های دبی قابل اعتماد در طراحی سد یا مخازن سدها سبب توجه بیشتر به داده های بارش و بیشینه سازی داده های بارش برای طراحی سدها و سازه های آبی مدنظر قرارگرفت. در انجام چنین مطالعه ای شناسایی حد بالای بارش برای یک دوره زمانی و منطقه جغرافیایی معین دارای اهمیت می باشد.



شکل ۲: نقشه هم بارش حوضه رودخانه آجی چای

مآخذ: نگارندگان،۱۳۹۸

داده‌های روزانه و سالانه دبی حوضه رودخانه آجی چای در ایستگاه نهند، ایستگاه خواجه و ایستگاه آخوله، دمای حداقل و حداکثر حوضه رودخانه آجی چای، بارش روزانه و ماهانه حوضه رودخانه آجی چای، شامل ایستگاه جدول (۱) در طول دوره آماری ٤٣ساله از داده‌های موجود استخراج گردیده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه های هواشناسی

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	سازمان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	سهراب	بارانسنج معمولی	وزارت نیرو – تماب	٤٧-٤٠	٣٨-٥٧	١٨٥٠
٢	میرکوه تاجیار	تبخیر سنجی	وزارت نیرو – تماب	٤٧-٣١	٣٨-٠٢	١٨٣٠
٣	سراب	کلیماتولوژی	سازمان هواشناسی	٤٧-٣٤	٣٧-٥٩	١٦٥٠
٤	سراب	بارانسنج ثبات	وزارت نیرو – تماب	٤٧-٣٢	٣٧-٥٧	١٦٨٢
٥	سراب	سینوپتیک	سازمان هواشناسی	٤٧-٣٢	٣٧-٥٦	١٦٨٢
٦	سراب تاجیار	بارانسنج معمولی	وزارت نیرو – تماب	٤٧-٣٢	٣٧-٥٧	١٦٨٠
٧	هریس (هارزند)	بارانسنج معمولی	سازمان هواشناسی	٤٧-٣١	٣٧-٤٩	١٨٢٠
٨	سرانسر	بارانسنج معمولی	وزارت نیرو – تماب	٤٧-٢٧	٣٧-٥٣	١٧٠٠
٩	قزلچه سادات	بارانسنج معمولی	سازمان هواشناسی	٤٧-١٧	٣٨-٠٦	١٨٤٤
١٠	قوشچی	بارانسنج معمولی	سازمان هواشناسی	٤٧-١٦	٣٧-٤٧	١٩٨٠
١١	کوه سالار	بارانسنج معمولی	سازمان هواشناسی	٤٧-٠٩	٣٧-٣٧	١٦٧٠
١٢	اهر	بارانسنج ثبات	وزارت نیرو – تماب	٤٧-٠٣	٣٨-٢٩	١٣١٠
١٣	هریس – برازین	تبخیر سنجی	وزارت نیرو – تماب	٤٧-٠٦	٣٨-١٦	١٩٦٢
١٤	مهربان	بارانسنجی معمولی	وزارت نیرو – تماب	٤٧-٠٧	٣٨-٠٤	١٥١٠
١٥	زرنق چای	بارانسنجی معمولی	سازمان هواشناسی	٤٧-٠٤	٣٨-٠٥	١٦٠٠
١٦	مهربان	بارانسنجی معمولی	سازمان هواشناسی	٤٧-٠٧	٣٨-٠٤	١٥١٠
١٧	اهر	سینوپتیک	سازمان هواشناسی	٤٧-٠٤	٣٨-٢٦	١٣٩٠
١٨	اسب خوران	بارانسنج	وزارت نیرو – تماب	٤٦-٥٨	٣٨-٢٠	١٩٤٠
١٩	چرو خوران	بارانسنجی معمولی	سازمان هواشناسی	٤٦-٥٩	٣٧-٤٥	١٩٨٠
٢٠	بستان‌آباد	کلیماتولوژی	سازمان هواشناسی	٤٦-٥٠	٣٧-٥١	١٧٥٠
٢١	بستان‌آباد	بارانسنج ثبات	وزارت نیرو – تماب	٤٦-٥٠	٣٧-٥١	١٧٥٠
٢٢	دیزناب	بارانسنج معمولی	وزارت نیرو – تماب	٤٦-٤٤	٣٧-٥٠	١٨٦٠
٢٣	آقچه کهل زمان	بارانسنج معمولی	سازمان هواشناسی	٤٦-٤٨	٣٧-٤٥	١٩٠٠
٢٤	سعیدآباد	بارانسنج معمولی	سازمان هواشناسی	٤٦-٣٥	٣٧-٥٧	١٩٥٠
٢٥	قوری گل (اماملو)	بارانسنج معمولی	وزارت نیرو – تماب	٤٦-٤١	٣٧-٥٣	١٩٥٠
٢٦	ورزقان	بارانسنجی معمولی	سازمان هواشناسی	٤٧-٣٦	٣٨-٢٩	١٦٩٨
٢٧	نهند (خواجه)	بارانسنجی معمولی	وزارت نیرو – تماب	٤٦-٣٦	٣٨-٠٩	١٥٨٠
٢٨	نهند (محل سد)	بارانسنجی معمولی	وزارت نیرو – تماب	٤٦-٢٩	٣٨-١٣	١٨٥٠
٢٩	سعیدآباد	بارانسنجی معمولی	وزارت نیرو – تماب	٤٦-٣٥	٣٧-٥٩	١٨٥٠
٣٠	سعیدآباد	کلیماتولوژی	سازمان هواشناسی	٤٦-٣٤	٣٧-٥٥	١٧٦٠
٣١	هروی	بارانسنج معمولی	وزارت نیرو – تماب	٤٦-٢٩	٣٧-٥٥	١٩٢٠

رودخانه آجی چای یکی از منابع آبی مهم در منطقه آذربایجان شرقی، نقش حیاتی در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت ایفا می‌کند. تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، تأثیر قابل‌توجهی بر منابع آبی این حوضه داشته است. این مقاله به بررسی روند تغییرات مؤلفه‌های هیدروکلیماتولوژی حوضه آبریز رودخانه آجی چای، شامل بارش، دما، رواناب می‌پردازد. با استفاده از داده‌های آماری بلندمدت (حداقل ۳۰ سال) و روش‌های آماری مناسب مانند آزمون من – کندال، روند تغییرات این مؤلفه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و عوامل مؤثر بر این تغییرات شناسایی شدند. بررسی رابطه بین عوامل و متغیرهای هیدرولوژیکی از خروجی مرحله کتابخانه‌ای و میدانی تحقیق و با استفاده از نرم‌افزارهای آماری و گرافیکی بوده است. به‌طوری‌که این مرحله تحقیق با استفاده از تکنیک‌های GIS و تکنیک آماری من – کندال به‌کارگیری و با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری ARC-GIS قابل‌اجرا در محیط GIS، Excel و بسته نرم‌افزاری SPSS جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به روش همبستگی از طریق ایجاد روابط رگرسیونی ساده و چندمتغیره برای دستیابی به رابطه بین بارش، دما و میزان آبدهی حوضه رودخانه آجی چای استفاده شده است. یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی، بررسی وجود و یا عدم وجود روند در آنها با استفاده از آزمون‌های آماری است. اصولاً وجود روند در سری‌های زمانی دما و بارش ممکن است تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیمی اثر فعالیت‌های انسانی باشد. تغییر اقلیم جهانی و افزایش دما و کاهش بارش و یا تغییر زمانی بارش از مسائل مهم زیست‌محیطی است که در سال‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی آن صورت‌گرفته است. این موضوع به دلیل اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی از اهمیت بالایی برخوردار است چرا که فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، صنایع و مانند آن بر مبنای ثبات و پایداری تغییر اقلیم هستند. به‌طورکلی پیامدهایی نظیر خشکسالی‌ها، سیلاب‌های شدید و ناگهانی، امواج هوای سردوگرم، از جمله آثار و شواهد ناهنجاری‌های اقلیمی است که کره زمین را با بحران‌های مختلف مواجه کرده است. بدون شناخت و آگاهی از وضعیت اقلیمی حال و آینده، مدیران و برنامه‌ریزان قادر به اجرای برنامه‌های مختلف نخواهند بود. آب‌وهوای کره زمین در طول قرن بیستم، به‌ویژه در دو دهه اخیر تعادل خود را ازدست‌داده و تمایل به افزایش دما نشان داده است. (IPCC,2001a,b). تغییر اقلیم، معادل تغییرات معنی‌دار آماری برای متوسط وضع آب‌وهوا در یک دوره طولانی است. این تغییرات می‌تواند در متوسط دما، بارندگی، الگوهای آب‌وهوایی، باد، تابش و پارامترهای مشابه آن باشد. اقلیم می‌تواند گرم‌تر و یا سردتر شود و مقادیر سالانه دما می‌تواند افزایش و یا کاهش یابد. در مقیاس کلی، افزایش تدریجی دمای کره زمین و اقیانوس‌ها را در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای، مهم‌ترین عامل تغییر اقلیم می‌دانند. پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوه تغییرات آنها بر اساس مشاهدات با استفاده از روش‌های آماری تعیین شود. تحلیل روند از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است که به طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر روی سری‌های زمانی هیدرولوژیکی مانند سری‌های مشاهداتی دما، بارش و جریان رودخانه در نقاط مختلف جهان استفاده شده است. اثبات وجود روند معنی‌داری در یک سری زمانی بارندگی به‌تنهایی نمی‌تواند دلیل قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد؛ بلکه فرض صفر رخداد آن را تقویت می‌نماید. این ویژگی ناشی از متعدد بودن امکان کنترل‌کننده سامانه اقلیمی است. وجود یا عدم وجود روند و تحلیل روند و تحلیل سری‌های زمانی و تغییر اقلیم ارائه گردیده‌اند که این روش‌ها در دودسته روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم‌بندی می‌شوند.

روش‌های ناپارامتریک از کاربرد نسبتاً وسیع‌تر و چشمگیرتری نسبت به روش‌های پارامتریک برخوردارند. روش‌های پارامتریک عمدتاً بر اساس روش‌های رابطه رگرسیونی سری داده‌ها با زمان استوار هستند. آزمون T استیودنت از جمله متداول‌ترین روش‌های ناپارامتریک به شمار می‌رود. برای سری‌هایی که توزیع آماری خاصی بر آنها قابل برازش نیست و چولگی یا کشیدگی زیادی دارند استفاده از روش‌های ناپارامتریک مناسب‌تر است. آزمون من – کندال متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی به شمار می‌رود. آزمون ناپارامتری من – کندال ابتدا توسط من (۱۹٤٥) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. این روش به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب‌بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی و مکانی که از توزیع آماری خاصی پیروی می‌کنند اشاره نمود.

برای تعیین نقاط جهش می‌توان با رسم نمودار سری در برابر زمان نقطه جهش را حدس زد. اما این کار از طریق روش‌های آماری نیز امکان‌پذیر است. یکی از این آزمون‌ها، آزمون من کندال دنباله‌ای (Sneyers, 1990) است. در حقیقت این روش مقادیر آماره را در کلیه زمان‌های سری (i امین مرتبه) با روش رتبه دادن من کندال محاسبه می‌کند، که همین عمل به‌صورت عکس انجام می‌شود. یعنی می‌توان فرض کرد انتهای سری ابتدای آن باشد، و دنبالهٔ را بر اساس چنین سری بیان کرد. اگر دنباله بر اساس u و u' به‌صورت نمودار رسم شود در حالت معنی‌داری روند، نقطه شروع پدیده یکدیگر را قطع خواهند نمود. در حالتی که سری ایستا باشد دو دنباله u و u ' به‌صورت موازی عمل خواهند نمود و یا با چند بار برخورد به‌طوری‌که بـه تغییر جـــهش آنها منجر نشود، در خواهند آمد. اگر $a = 0.05$ را در نظر بگیریم هرگاه اندازه I u I بیشتر از ۱,۹٦ باشد روند معنی‌دار است . u+ روند افزایش و u – روند کاهشی را نشان می‌دهد به‌عبارت‌دیگر اگر منحنی u از خطوط بالا و پایین معنی‌دار (۱,۹٦) خارج شود روند وجود دارد. اگر منحنی u و u' در محدوده معنی‌دار تلاقی بکنند ولی خارج نشوند بدین معنی است که فقط تغییر ناگهانی در میانگین رخ‌داده است ولی روند وجود ندارد.

ابتدا صحت داده‌ها با آزمون توالی یا دنباله‌ها صورت گرفت. در این روش آمار به ترتیب صعودی یا نزولی مرتب شد و میانه آنها مشخص گردید که مقدار آن برابر رقمی است که در وسط سری آماری قرار دارد در سری‌های زوج، میانه برابر میانگین دو رقم وسط است سپس هریک از ارقام سری را با میانه به‌دست‌آمده مقایسه نموده چنانچه از آن بزرگ‌تر باشد با علامت A و چنانچه از آن کوچک‌تر باشد با علامت B مشخص می‌گردد. برای ارقامی که برابر میانه هستند علامتی منظور نمی‌گردد و چنین حالتی مانع از ادامه توالی اعداد نمی‌گردد. باتوجه‌به علامت‌های به‌دست‌آمده می‌توان دنباله‌ها را که از یک یا چندین سال متوالی با علامت A یا B مشخص شده‌اند و امکان دارد که در بین آنها سالی بدون علامت وجود داشته باشد تعیین نمود. حد اپتیمم مجموع تعداد دنباله‌ها را بر اساس جدول ران تست در سطح ۵ درصد به دست آورد و اگر مجموع دنباله‌ها بین دو عدد به‌دست‌آمده از جدول قرار گیرد می‌توان آن سری داده را همگن دانست.

کفایت داده‌ها عامل مهمی در بررسی بوده به‌نحوی‌که هر اندازه طول مدت آماری بیشتر باشد نتایج حاصله، از دقت بیشتری برخوردار خواهند بود که در این تحقیق نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای سنجش میزان کفایت داده‌ها، از رابطه‌های مختلف از جمله رابطه ماکوسکه N حداقل تعداد داده‌های لازم، t مقدار t استیودنت که از جدول مربوطه به دست می‌آید

و به‌ازای درجه آزادی برابر (N-6) به دست می‌آید و R نسبت مقدار عددی متغیر موردنظر است می‌توان استفاده کرد که با استفاده از آن تعداد داده‌های لازم را در سطح اعتماد موردنظر می‌توان به دست آورد. برای تعیین تصادفی بودن داده‌ها از رابطه(۱) زیر استفاده می‌شود:

رابطه:(۱)
$$T = \frac{4P}{N(N-1)} - 1$$

که T آماره من – کندال، N تعداد کل سال‌های آماری مورداستفاده و P مجموع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از ردیف n_i که بعد از آن قرار می‌گیرند بوده و از رابطه(۲) زیر به دست می‌آید:

رابطه:(۲)
$$P = \sum_{i=1}^{n} n_i$$

این آماره برای N> 10 به توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس $\frac{4N+10}{9(N-1)}$ شبیه است. در نهایت به‌منظور سنجش معنی‌دار بودن آماره T از رابطه(۳) زیر محاسبه می‌شود:

رابطه:(۳)
$$(T)_t = \pm tg\sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}}$$

که در آن N تعداد کل سال های آماری، tg برابر سطح احتمال معنی دار بودن آزمون و t(T) آماره من– کندال می باشد. با توجه به مقدار بحرانی بدست آمده برای t (T)، حالات مختلف بدین شرح مشاهده خواهد شد:

اگر t (T)< T باشد روند مثبت در سری زمانی غالب خواهد بود، اگر t (T) T> باشد نشان‌دهنده روند منفی و درصورتی‌که t (T) - < T > t (T)+ باشد هیچ‌گونه روند مهمی در سری‌ها مشاهده نمی‌شود و سری‌ها تصادفی هستند. در این پژوهش برای تعیین وجود یا عدم وجود روند و تعیین نوع تغییرات و زمان آن، از روش من – کندال استفاده شد. جهت شناسایی روندهای جزئی و کوتاه‌مدت، نقاط جهش و نقاط شروع روند سری زمانی از نمودار سری زمانی بر حسب مقادیر U(t) و U'(t) استفاده می‌گردد. برای ترسیم نمودار سری زمانی مقادیر متوالی، آمارهای U(t) و U' (t) با استفاده از آزمون من – کندال محاسبه می‌شود. در این روش ضریب t آزمون من – کندال از رابطه(٤) زیر به دست می‌آید:

رابطه:(٤)
$$t_i = \sum_{i=1}^{n} n_i$$

که تابع توزیع آن در شرایطی که فرض صفر حاکم باشد از لحاظ مجانبی با میانگین و واریانس برابر است.

رابطه:(٥)
$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4}$$

واریانس آن برابر است با:

رابطه:(٦)
$$Var(t) = \frac{[n(n-1)(2n+5)]}{72}$$

در صورت وجود روند در جهت مشخص این آزمون فقط در شکل دوطرفه آن دقیق است. ازاین‌رو فرض صفر برای مقادیر بالای | U(t) | رد می‌گردد. برای به‌دست‌آوردن U(t) از رابطه(۷) زیر استفاده می‌شود:

رابطه:(۷)
$$U(t) = \frac{[t_i - E(t_i)]}{\sqrt{\mathrm{var}(t_i)}}$$

وقتی مقدار U(t) معنی‌دار است که روند افزایشی یا کاهشی در آن مشاهده شود و در نتیجه U(t) > 0 یا U(t)< 0 حاصل گردد.

برای تعیین زمان وقوع تغییر لازم است علاوه بر U(t)، مؤلفه U'(t) نیز محاسبه می‌شود که ابتدا باید امید ریاضی معکوس و واریانس معکوس را از رابطه(۸) و(۹) و(۱۰) زیر به دست آورد:

رابطه:(۸)
$$E_i' = \frac{[N-(n_i-1)](N-n_i)}{4}$$

رابطه:(۹)
$$V_i' = \frac{[N-(n_i-1)](N-n_i)[2(N-(n_i-1))]+5}{72}$$

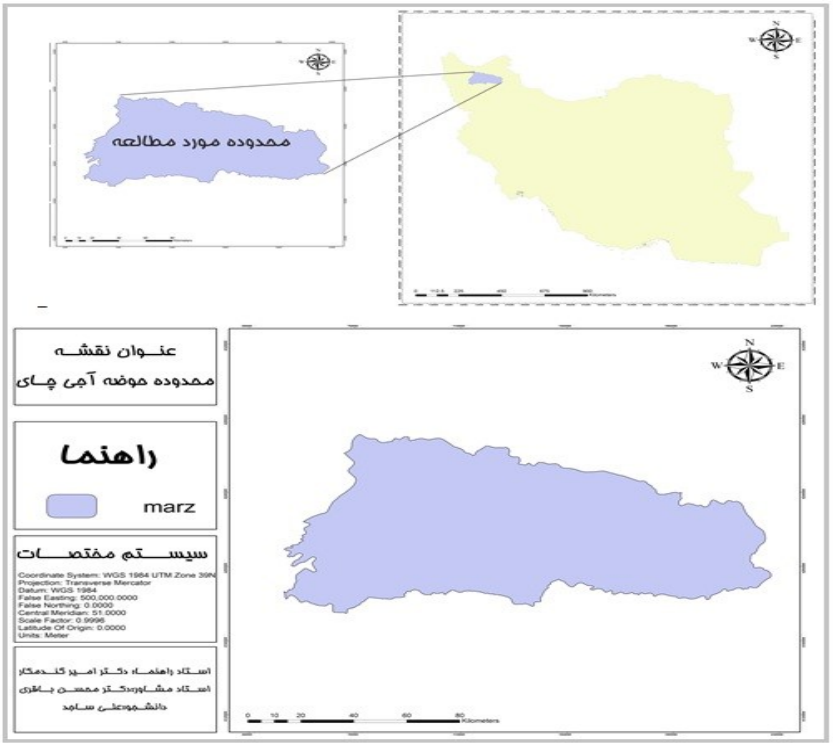
رابطه:(۱۰)
$$U_i' = \frac{-(\sum t_i' - E_i')}{\sqrt{V_i'}}$$

مقدار ti برابر با مجموع niو t'i برابر با مجموع n'iمی باشد.

در این روش، مقادیر متوالی از مقدار Ui و U'i حاصله از آزمون من – کندال به‌صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود که اگر مقادیر Ui و U'i از منحنی‌ها چندین بار روی همدیگر قرار بگیرند روند یا تغییری وجود نخواهد داشت ولی در جایی که منحنی‌ها همدیگر را قطع می‌کنند منحنی‌ها محل شروع روند یا تغییرات را به‌صورت تقریبی به نمایش می‌گذارند. اگر منحنی‌ها همدیگر را در داخل محدوده قطع کنند نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی و درصورتی‌که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کنند بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است.

معرفی منطقه موردمطالعه

حوضه آجی چای به‌عنوان یکی از حوضه‌های آبخیز رودخانه‌ای واقع در حوضه منطقه‌ای دریاچه ارومیه و از نظر موقعیت جغرافیایی محدودهٔ موردمطالعه از طول جغرافیایی ٤٦ درجه و ۱۳ دقیقه و ۲۲ ثانیه تا ٤٦ درجه و ٤٦ دقیقه و ۲۱ ثانیه شرقی و از عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۹ دقیقه و ۱۹ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۱٦ دقیقه و ٦ ثانیه شمالی گسترده شده است. داده‌های روزانه و سالانه دبی رودخانه آجی چای (از سال ۱۳٤۸ تا سال ۱۳۹۲) در طول دوره آماری ٤۳ ساله –دمای حداقل و حداکثر حوضه رودخانه آجی چای– بارش حداقل و حداکثر حوضه رودخانه آجی چای در طول دوره آماری (از سال ۱۹٦۵ تا سال ۲۰۱۷).



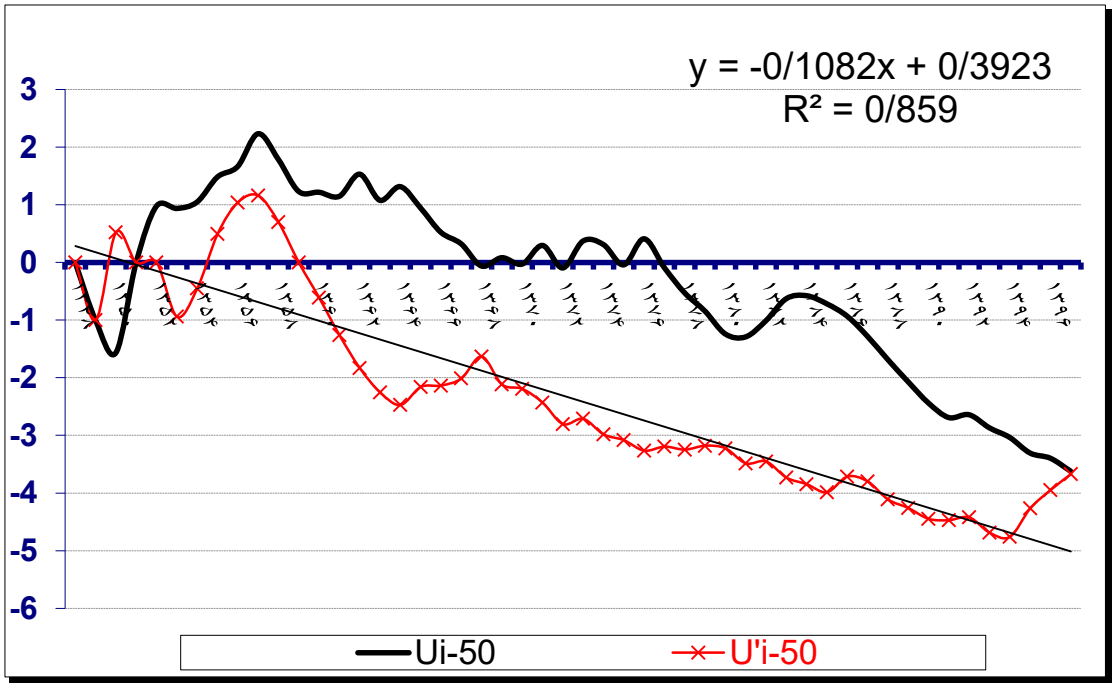
شکل ۱: موقیت حوضه آجی چای در نقشه ایران

مآخذ: نگارندگان،۱۳۹۸

حوضه آبریز رودخانه آجی چای، به‌عنوان یکی از حوضه‌های مهم ایران، از نظر اقتصادی و اجتماعی دارای اهمیت بالایی است. تأمین آب کشاورزی، شرب و صنعت در این منطقه به طور مستقیم به وضعیت هیدرولوژیکی این حوضه وابسته است. در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی همچون تغییر کاربری اراضی، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و ساخت سدها، تغییرات قابل‌توجهی در مؤلفه‌های هیدروکلیماتولوژی این حوضه ایجاد کرده است. این تغییرات می‌تواند منجر به کاهش منابع آبی، خشکسالی‌های شدید، افزایش سیلاب‌ها و در نهایت، تهدید امنیت آبی منطقه شود؛ لذا، بررسی روند تغییرات این مؤلفه‌ها و شناسایی عوامل مؤثر بر آن، برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آبی حوضه ضروری است.

بحث و یافته‌ها

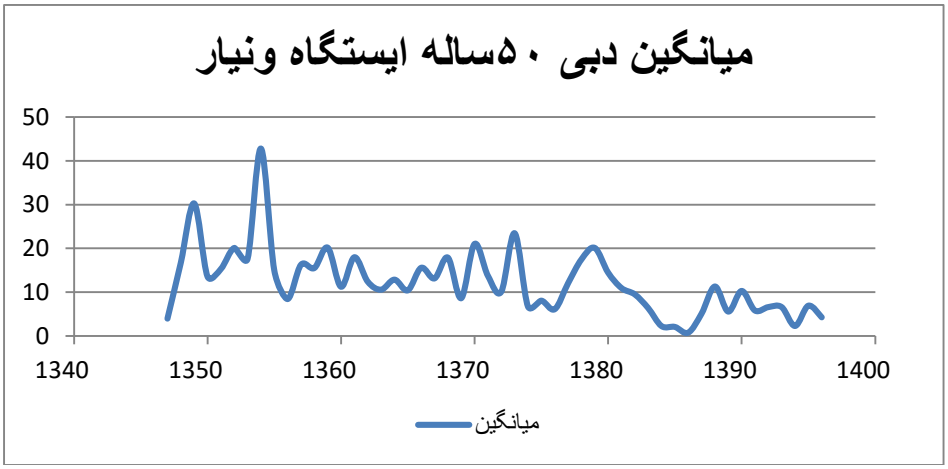
برای انجام تحقیق حاضر داده‌های بلندمدت و سالانه دبی در ایستگاه ونیار رودخانه آجی چای در سطح شهرستان تبریز از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ و سپس داده‌ها در سه مقیاس ماهانه فصلی و سالانه مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت. با استفاده از روش آماری ناپارامتریک من – کندال برای ایستگاه ونیار در طول دوره آماری از سال ۱۳٤۸ تا سال ۱۳۹٦ برای داده‌های ماهانه فصلی و سالانه روند داده‌ها برسی و نتایج ذیل حاصل گردید.



شکل ۳: بررسی روند سالانه میانگین دبی ایستگاه ونیار در بین سال های ۱۳٤۸ تا سال ۱۳۹٦

مآخذ: نگارندگان،۱۳۹۸

باتوجه‌به اینکه در نقطه شروع نمودارها همدیگر را قطع نمودند سری‌ها دارای روند معنادار و همچنین دارای جهش است از سال ۱۳٤۸ تا سال ۱۳۸۰ بررخود و جهش در سری ها مشاهده می شود. سری ها دارای روند می باشند ولی از سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۹٦روند منفی کاهشی با شیب زیاد مشاهده می شود. ضریب تعیین ۰/۸۵ درصد نشان دهنده وجود رابطه مستقیم و قوی در رابطه حاکم است. همچنین ضریب همبستگی ۰/۹۲ تعیین کننده ضریب همبستگی قوی بین داده ها است.نمودار خطی میانگین ۵۰ساله دبی در ایستگاه ونیار از سال ۱۳٤۸ تا سال ۱۳۹٦ نشان‌دهنده کاهش دبی در طول دوره آماری به زیر ۵ مترمکعب در سال ۱۳۸٦ را نشان می‌دهد.



شکل ٤: نمودار خطی میانگین ۵۰ ساله دبی در ایستگاه ونیار از سال ۱۳٤۸ تا سال ۱۳۹٦

مآخذ: نگارندگان،۱۳۹۸

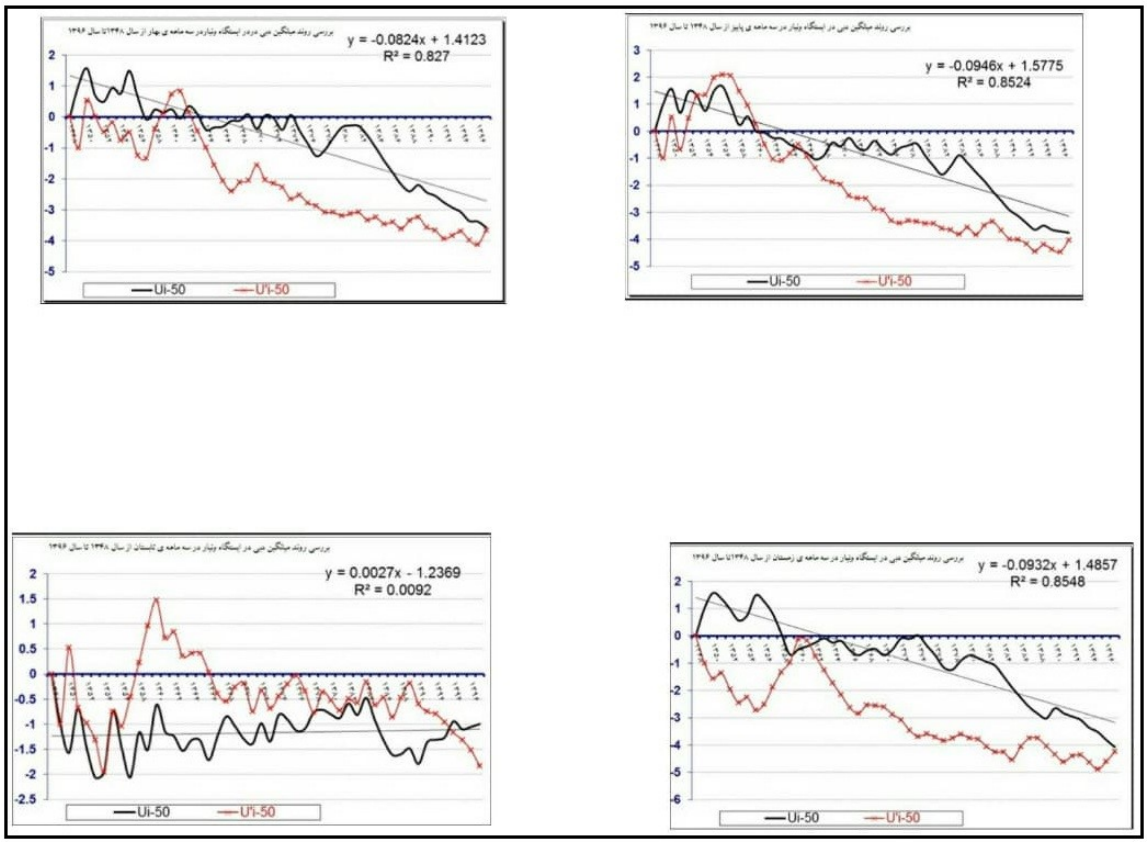
این کاهش تأییدکننده نمودار سری روند کاهشی در ایستگاه ونیار در طول دورهٔ آماری است. بیشترین میزان خروجی برای ایستگاه ونیار در طول دوره آماری در سال ۱۳۵٤به میزان ٤۲/۳۸۵ مترمکعب در ثانیه است و کمترین میزان ثبت شده به میزان ۰/۷۱۹ مربوط به میانگین سال ۱۳۸٦ است. دبی ایستگاه ونیار در بین سال‌های ۱۳٤۸ تا سال ۱۳۹٦ با استفاده از آزمون ناپارامتریک من کندال در طول دورهٔ آماری و تفسیر آن در میانگین سالانه و به‌صورت فصلی استخراج گردیده است. به‌طوری‌که در شکل شماره (۵) مشاهده می‌شود در هر چهارفصل نمودارها و سری‌های زمانی پایین‌تر از نرمال نسبت به سال قبل مشاهده می‌شود.

بهار

بررسی و تحلیل روند در میانگین دبی بهار ماه در حوضه آجی چای سری‌ها دارای روند و جهش و تغییر ناگهانی در میانگین داده‌ها را نشان می‌دهند و منحنی‌ها با شیب تند کاهشی و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵درصد است. ضریب تعیین ۸۲ درصد است و ضریب همبستگی ۹۰درصد است که گویای همبستگی قوی در بین داده‌ها است و یک رابطه مستقیم و قوی در بین داده‌ها حاکم است.

پاییز

با استفاده از آزمون من – کندال روند و معناداری دبی رودخانه آجی چای در سه‌ماهه پاییز در طول دوره آماری از سال ۱۳٤۷ تا سال ۱۳۹٦در ایستگاه دبی سنجی بررسی و همان طوری از شکل پیداست منحنی ها در طول دوره آماری دارای روند با سطح اطمینان ۹۵ درصد می باشند که از سال ۱۳۷۰روند دارای معکوس و کاهشی بوده است. داده ها دارای ضریب تعیین ۸۵ درصد می باشد. در معادله نیز خط رگرسیونی نیز به وضوح این کاهش را نشان می دهد. همچنین ضریب همبستگی ۰/۹۲درصد گویا همبستگی قوی بین دادها است.



شکل ۵: بررسی روند سالانه میانگین سه ماهه بهار، تابستان، پاییز
و زمستان دبی ایستگاه ونیار در سالهای ۱۳٤۸تا سال ۱۳۹٦

مآخذ: نگارندگان،۱۳۹۸

تابستان

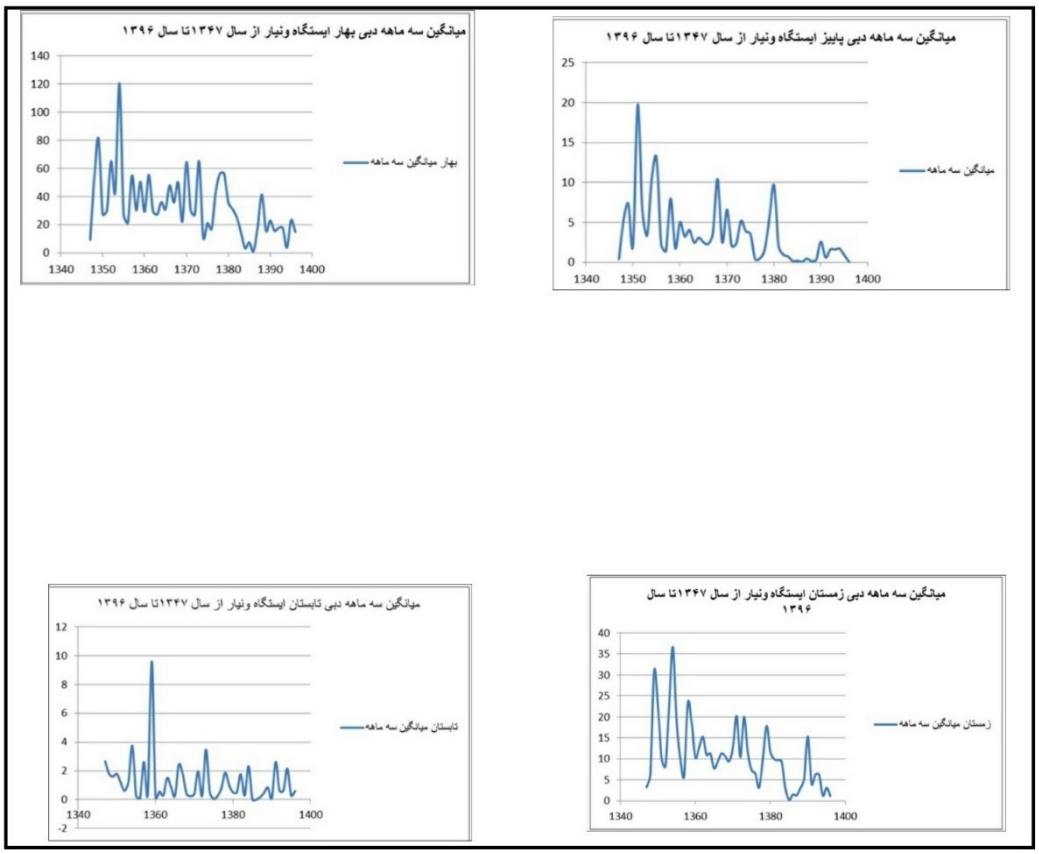
با استفاده از آزمون من کندال روند و معناداری داده‌های میانگین دبی در ایستگاه ونیار در طول دوره آماری از سال ۱۳٤۸ تا سال ۱۳۹٦ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. همان‌طوری از شکل پیداست منحنی‌ها در تابستان، در طول دوره آماری دارای جهش بودند ولی روند برای آنها متصور نیست. دادها دارای ضریب تعیین ۰/۰۰۹۲ درصد است. همچنین ضریب همبستگی ۰/۰٤ درصد گویای همبستگی ضعیف بین داده‌ها است.

زمستان

با بررسی و تحلیل روند دبی زمستان در حوضه آجی چای مشخص گردید که سری‌ها دارای روند و جهش و تغییر ناگهانی در میانگین داده‌ها را نشان می‌دهند و منحنی‌ها با شیب تند کاهشی و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. ضریب تعیین ۷٤ درصد است و ضریب همبستگی ۸٦ درصد است که گویای همبستگی قوی در بین داده‌ها است و یک رابطه مستقیم و قوی در بین داده‌ها حاکم است.

پاییز

در بررسی نمودار خطی میانگین دبی رودخانهٔ آجی چای در سه‌ماهه پاییز در طول دوره آماری از سال ۱۳٤۷ تا سال ۱۳۹٦در ایستگاه دبی سنجی ونیار مشخص است که میزان دبی نسبت به سال های نخست اندازه گیری سیر کاهشی داشته است. به طوری که حتی در دوره های نوسان در سال ۱۳۸٦ میانگین دبی خروجی به صفر رسیده است. همچنین بیشترین میانگین دبی خروجی در سال ۱۳۵۱یعنی ۱۹/۷۱متر مکعب در ثانیه ثبت شده است.



شکل ٦: بررسی میانگین خطی سه ماهه بهار، تابستان، پاییز و زمستان دبی ایستگاه ونیار در بین سالهای ۱۳٤۸تا سال ۱۳۹٦

مآخذ: نگارندگان،۱۳۹۸

زمستان

بیشترین میزان میانگین دبی برای فصل زمستان در طول دوره آماری در ایستگاه دبی‌سنجی ونیار در حوضه آبخیز رودخانه آجی چای مربوط به سال ۱۳٥٤ به میزان ۳٦/٦٦ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده است. همچنین کمترین میزان دبی مربوط به سال ۱۳۸٥ که ۰/۳۱۹ مترمکعب بر ثانیه است. منحنی نمودار نشان‌دهنده کاهشی محسوس دبی در طول دوره آماری است.

تابستان

در بررسی نمودار خطی میانگین دبی رودخانه آجی چای در طول تابستان در طول دوره آماری از سال ۱۳٤۷ تا سال ۱۳۹٦در ایستگاه دبی سنجی ونیار مشخص است که میزان دبی نسبت به سال های نخست اندازه گیری سیر کاهشی داشته و از نوسان بشتری برخودار بوده است به طوری که در سال ۱۳۵۹ میانگین خروجی تابستان به بیش از ۹/٦۰ متر مکعب در ثانیه افزایش پیدا کرده است و در بقیه سال ها میزان خروجی بین صفر تا چهار متر مکعب در ثانیه در نوسان بوده است.

بهار

بیشترین میزان دبی برای بهار در طول دوره آماری در ایستگاه دبی‌سنجی ونیار در حوضه آبخیز رودخانه آجی چای مربوط به سال ۱۳٥٤ به میزان ۱۲۰/٤٤ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده است. همچنین کمترین میزان دبی مربوط به سال ۱۳۱۳۸٦ که ۱/۳ مترمکعب بر ثانیه است. منحنی نمودار حالت کاهشی محسوسی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در تحقیق حاضر میزان ضریب همبستگی و ضریب تعیین با استفاده از رگرسیون خطی و ضریب تغییرات در نرم‌افزار xlstat استفاده گردید. نتایج تحلیل دبی در حوضه آبریز آجی چای نشان می‌دهد که جریان رودخانه آجی چای در مقیاس سالانه در ایستگاه ونیار روند نزولی با شیب تند داشته است همچنین روند نزولی معناداری در داده‌های دبی در مقیاس فصلی در فصول پاییز، زمستان و بهار مشاهده شد که در آن شدیدترین روند مربوط به فصل زمستان با سطح اطمینان ۹۵ درصد و با ۸٦ درصد ضریب همبستگی است؛ ولی در فصل زمستان داده‌ها دارای جهش هستند ولی روند خاصی برای تابستان متصور نیست. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده ارتباط قوی و معکوس آبدهی رودخانه آجی چای با افزایش گرمایش جهانی دارد. در این مطالعه مشخص گردید که تغییرات سری‌های زمانی آبدهی حوضه رودخانه آجی چای از روند نزولی آبدهی نشان می‌دهد که در بلندمدت همواره در جهت کاهش مستمر دبی عمل کرده است. این عملکرد به‌خوبی نشان می‌دهد که با بیشترشدن سیر صعودی گرمایش جهانی، میزان آبدهی این رود نیز همواره زیر میانگین بلندمدت خود قرار گرفته است. همچنین اگر روند گرمایش جهانی به همین روال ادامه یابد، میانگین دبی سالانه این رودخانه در آینده به کمترین حد خود خواهد رسید و برگشتن مقدار دبی رودخانه آجی چای به روال نرمال خود بعید به نظر می‌رسد. باتوجه‌به افزایش دما در این منطقه، بارش کاهش‌یافته و مقدار تبخیر نیز افزایش می‌یابد. اثرات تغییر اقلیم و اثرات افزایش دما بر منابع آب می‌تواند از چند جهت موردتوجه قرار گیرد. بخش هواشناسی شاهد اولین تأثیر این اثرات است. در این شرایط با افزایش دما و جابه‌جایی زمان بارندگی‌ها از فصل سرد به فصول گرم، می‌شود. این موضوع باعث کاهش ذخیره برفی و جابه‌جایی رژیم آبدهی رودخانه‌ها می‌شود. به‌این‌ترتیب دبی پایه رودخانه‌ها و ظرفیت تنظیمی میزان خروجی آبدهی پایین آمده و تعادل در سیستم آبی مختل می‌شود. این موضوع همراه با تغییر الگوی بارش باعث کاهش پوشش گیاهی شده و تشدید شرایط آب‌وهوایی نظیر خشکسالی و سیلاب‌ها می‌گردد و نهایتاً منجر به کم‌شدن پوشش گیاهی و تشدید تنش شرایط آب‌وهوایی و کم‌شدن منابع آبی می‌شود و با تغییر در منابع آبی، برنامه‌ریزی و مدیریت آب در منطقه مورد چالش قرار می‌گیرد. از طرف دیگر با کاهش دبی پایه ناشی از تغییر اقلیم و افزایش غلظت آلودگی‌ها، ظرفیت خود

پالایی رودخانه‌ها و به‌تبع آن کیفیت آب رودخانه‌ها و مخازن به‌شدت کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل تأمین بخش اعظمی از آب مصرفی کشاورزی به‌وسیله آب جاری در رودخانه آجی چای، کاهش کیفیت آب‌های سطحی تأثیر مستقیمی بر عملکرد بخش کشاورزی خواهد گذاشت. از جنبه‌های دیگر هم بخش کشاورزی نیز در دایره تأثیر پدیده تغییر اقلیم قرار دارد به‌طوری‌که ازیک‌طرف نیاز آبی گیاهان با افزایش دما افزایش می‌یابد و از طرف دیگر تغییر الگوی زمانی بارش‌ها، عدم قطعیت در تأمین نیازهای آبی گیاهان در فصل کشت توسط بارش‌های مؤثر را افزایش خواهد داد. با بروز این عدم قطعیت‌ها، نیاز تأمین آب مصرفی بخش کشاورزی توسط منابع آب استحصال شده بالا خواهد رفت. در همین راستا به دلیل کاهش منابع آب در اثر کاهش میزان بازندگی عملکرد محصولات کاهش پیدا کرده و امنیت غذایی به مخاطره می‌افتد. از سوی دیگر افزایش شوری خاک در اثر تبخیر باعث تسریع فرایند بیابان‌زایی و گسترش مناطق لم‌یزرع می‌گردد.

منابع و مآخذ

۱) اسفندیاری درآباد، فریبا (۱۳۹۲). آشکار سازی آماری تاثیر پدیده گرمایش جهانی بر ناهنجاری های دبی حوضه رودخانه ارس، *پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، ٤، ٦٠-٤٣.

۲) ایمانی امیرآباد، سمیه، فرخ نیا، اشکان، مرید، سعید، و روزبهانی، رضا (۱۳۹۹). بررسی روند تغییرات زمانی-مکانی دما و بارش در حوضه آبریز طشک-بختگان. *مهندسی عمران امیرکبیر (امیرکبیر)*، ۵۲(۱۱)، ۲۹۳۱-۲۹٤٤.

۳) برهانی داریان، علیرضا، و حاتمی مجومرد، شادی (۱۳۹٤). کاربرد مدلهای داده محور در مدیریت حوزه آبریز: دریاچه ارومیه. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، *دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی*، دانشکده عمران.

٤) بهره مند، عبدالرضا (۱۳۹۲). تحلیل روند تغییرات بلند مدت بارندگی و دبی در غرب دریاجه ارومیه، *پژوهشنامه و مدیریت حوضه آبخیز*،٤(۸)، ۵۷-٤۳.

۵) برون، اشرف، ظهوریان پردل، منیژه، لشکری، حسن، شکیبا، علیرضا، و محمدی، زینب. (۱٤۰٤). شناسایی امواج گرمایی استان خوزستان و تحلیل همدیدی نقش پرفشار عربستان در ایجاد آن ها. اندیشه های نو در علوم جغرافیایی، ۸(۳)، ۱-۲۰.

٦) جاهدی اسفنجانی، ناهیده، و قربانی، محمد علی (۱۳۹٤). تحلیل روند تغییرات بارندگی و دبی ایستگاه های دوست بیگلو و سامیان حوضه آبریز قره سو، *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۱۹(۵۲)، ٦۳-٤۳.

۷) رحیمی، لیلا، دهقانی، امیراحمد، قربانی، خلیلی، و عبدالحسینی، محمد (۱۳۹۳). بررسی روند تغییرات دبی کل و دبی پایه ایستگاه هیدرومتری اراز کوسه «حوضه آبخیز گرگان رود استان گلستان»، *پژوهش های حفاظت آب وخاک*، ۲۱(۲).

۸) رضایی، علی (۱۳۸۸). بررسی اثر گسترش اراضی دیم بر روند تغییرات دبی سیلابی سالانه، مطالعه موردی، حوضه قزل اوزن، *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۲ (۱)، ۱۱-۱۷.

۹) سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۰). فرهنگ جغرافیایی شهرستان تبریز، چاپ اول، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

۱۰) سوره، احسان، زنگنه، محمدصادق، و کرامت، اکرم (۱٤۰٤). بررسی روند خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مظالعه موردی: استان آذربایجان غربی)، *نشریه علمی اندیشه های نو در علوم جغرافیایی*، دوره ۳(۷)، ۱۹-۳۸.

۱۱) عزیزی، قاسم، و حنفی، علی. (۱۳۸۹). برآورد حداکثر بارش محتمل (PMP) حوضه آجی چای به روش سینوپتیکی. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱(۲)، ۵۵-۷۱.

۱۲) عساکره، حسین (۱۳۸٦). تغییر اقلیم، *انتشارات دانشگاه زنجان*.

۱۳) علیجانی، بهلول (۱۳۸۸). اقلیم شناسی سینوپتیک، *انتشارات سمت*.

فضلی فرد، پوریا و همکاران، (۱۳۹۸). بررسی روند تغییرات بارش و دبی در حوضه دریاچه ارومیه در طول جهار دهه اخیر، *نشریه دانش آب و خاک*، جلد۲۹، شماره٤.

۱٤) فضلی فرد، پوریا، بردی شیخ، واحد، سعدالدین، امیر و حصاری، بهزاد (۱۳۹۸). بررسی روند تغییرات بارش و دبی در حوضه آبریز دریاچه اورمیه در طول چهار دهه اخیر، *دانش آب و خاک*، ۲۹(٤)، ۲۷-٤۱.

۱۵) قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۹). آشکارسازی آماری اثر گرمایش جهانی بر ناهنجاری های بارش سالانه جلفا با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۸(۲)، ۸۲-٦۵.

۱۶) کنعانی، رضا، فاخری فرد، احمد، قربانی، محمد علی و دین پژوه، یعقوب (۱۳۹۸). تحلیل روند تغییرات تدریجی و سریع عوامل هیدرواقلیمی حوضه آبریز (مطالعه موردی: حوضه لیقوان چای)، *دانش آب و خاک*، ۲۹(۱).

۱۷) معروفی، صفر، و طبری، حسین (۱۳۹۰). آشکار سازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش های پارامتری و ناپارامتری، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۶۲(۲)، ۱۷۱۱۹-۱۷۱۴۱.

۱۸) نوری، مهراب، مرید، سعید، کریمی، نعمت‌الله و غلامی، هوشنگ (۱۴۰۰). تغییرات مکانی و زمانی روند در دما و بارش حوضه آبریز فرامرزی ارس، *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۷(۳)، ۱۰۴-۱۱۷.

19) Booij, M.J.,Tollenaar, D., van Beek, E., Kwadijk, J. C.J. (2011). Simulating Impacts of Climate Change on River Discharges in the Nile Basin, *Physics and Chemistry of the Earth*, 36(13), 696-709.

20) Birsan , Marius-Victor, Dumitrescu , Alexandru, Magdalena Micu , Dana, Cheval, Sorin, 2014, Changes in annual temperature extremes in the Carpathians since AD 1961, *Nat Hazards*, 74:1899–1910.

21) Chen, H.; Yang, J.; Ding, Y.; Tan, C.; He, Q.; Wang, Y.; Qin, J.; Tang, F.; Ge, Q.(2022) Variation in Extreme Temperature and Its Instability in China. *Atmosphere Journal*, 13(19).

22) Fischer, T, Gemmer, M, Luliu, L, Buda, S. (2010). Temperature and precipitation trends and dryness pattern in the Zhujiang River Basin, south china, 2007-1961, *Quaternary International*, pp 1-11.

23)Gadedjisso-Tossou, A.; Adjegan, K.I.; Kablan, A.K.M. (2021). Rainfall and Temperature Trend Analysis by Mann–Kendall Test and Significance for Rainfed Cereal Yields in Northern Togo, *Sci*, 3(17), 1-20.

24) Khamidov, Sardor, Li, Zhi, Nasirova, Makhliyo, Pulatov, Bakhtiyor, Pulatov, Alim (2023). *Assessment of temperature and precipitation trends in Kashkadarya, Uzbekistan*, E3S Web of Conferences 365, 01005.

25) Kliengchuay, W., Mingkhwan, R., Kiangkoo, N. et al. (2024). Analyzing temperature, humidity, and precipitation trends in six regions of Thailand using innovative trend analysis. *Sci Journal*, Rep 14, 7800.

26) Salnikov, V.; Talanov, Y.; Polyakova, S.; Assylbekova, A.; Kauazov, A.; Bultekov, N.; Musralinova, G.; Kissebayev, D.; Beldeubayev, Y (2023). An Assessment of the Present Trends in Temperature and Precipitation Extremes in Kazakhstan. *Climate Journal*,11(2), 33.

27) Zhen, Yu, Xilin, Li (2015). Recent trends in daily temperature extremes over northeastern China (1960–2011), *Quaternary International*, 380–381, 35–48.