

ارزیابی روند تغییرات الگوهای آب و هوایی در حوضه دریاچه ارومیه و تهدیدات زیست محیطی و امنیتی ناشی از آن

علی حنفی^۱

چکیده

در دهه‌های اخیر تغییرات زیست محیطی مانند تغییرات آب و هوا، آلودگی فراگیر و خشک سالی چالش‌ها و تهدیدات اساسی را برای امنیت انسانی در سراسر جهان ایجاد کرده است. دریاچه ارومیه با مساحتی بالغ بر ۵۱۷۸۶ کیلومتر مربع بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و از مهم‌ترین و باارزش‌ترین بوم‌سازگان‌های آبی ایران به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر در اثر افزایش جمعیت، افزایش چاه‌های مجاز و غیرمجاز، خشک سالی‌های چندساله، سدسازی‌های بدون برنامه، ساخت پل میان‌گذر و عدم هماهنگی و همکاری بین دستگاه‌های اجرایی باعث خشک شدن پهنه عظیمی از این دریاچه شده است. هدف از این تحقیق بررسی تغییرات الگوهای آب و هوایی در حوضه دریاچه ارومیه و تهدیدات امنیت و زیست محیطی ناشی از آن می‌باشد. بدین منظور از داده‌های میانگین بارش ماهانه، حداکثر دما، حداقل دما و میانگین دمای ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در محدوده حوضه دریاچه ارومیه استفاده گردید.

نتایج حاصل از این تحقیق در زمینه روند دمای سالیانه نشان‌دهنده روند افزایشی معنی‌دار دما در ایستگاه‌های تبریز، مراغه، ارومیه، مهاباد، تکاب است. نتایج حاصل از بررسی بارش نیز نشان‌دهنده روند کاهشی در تمام ایستگاه‌ها با شدت‌های مختلف بوده که این روند در ایستگاه‌های تبریز، ارومیه، مراغه و تکاب معنی‌دار می‌باشد. از نظر میزان آسیب‌پذیری و تهدیدات زیست محیطی، اکثر شهرهایی که در بخش شرقی دریاچه قرار دارند در اوج خطرپذیری هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اگر روند خشکی دریاچه ارومیه به صورت صحیح و در نگاه کلان‌تر کنترل نشود، منطقه مورد نظر با سلسله‌مراتبی از تهدیدها روبرو خواهد شد، بدین معنا که برخی تهدیدها به عنوان عامل ایجاد و تقویت تهدیدهای دیگر عمل خواهند کرد. در این چارچوب، اولین جرقه بحران هیدروپلیتیک با شروع تهدیدات زیست محیطی زده می‌شود که این تهدید زیست محیطی به شکل‌گیری تهدیدهای اقتصادی منجر می‌شود و تهدید اقتصادی نیز زمینه تحقق تهدیدهای اجتماعی و سیاسی را فراهم می‌سازد که مستقیماً بر امنیت داخلی و خارجی اثرگذار است. در صورت رفع نشدن تهدیدهای اجتماعی و سیاسی، دخالت دولت‌های خارجی هم‌زمان با تنش‌های داخلی ایجاد شده و در شدیدترین وجه آن می‌تواند به صورت تهدید نظامی و اقدام نظامی تجلی یابد.

واژگان کلیدی: الگوهای آب و هوایی، منابع آب، حوضه دریاچه ارومیه، تهدیدات زیست محیطی و امنیتی

۱. (*نویسنده مسئول): استادیار اقلیم شناسی گروه جغرافیا دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران.

ایمیل: Hanafi772@gmail.com

مقدمه

امروزه بسیاری از کشورهای جهان با بحران منابع آب مواجه هستند که در کنار این مسائل، عوامل دیگری مانند تغییر اقلیم و رشد جمعیت باعث افزایش تقاضا و تشدید تنش آبی می‌شود. کشور ایران یکی از کشورهایی است که به علت توزیع غیریکنواخت منابع آب و پتانسیل سودآوری بخش‌های مختلف به ازای دریافت آب با این بحران مواجه شده است. همچنین به علت توزیع غیریکنواخت، حوضه‌ای دارای منابع آبی مناسب و حوضه دیگر با کمبود منابع آب روبرو شده است. با توجه به نقش محوری منابع انرژی اعم از فسیلی و یا پاک در رشد و شکوفایی توسعه اقتصادی، نظام انرژی از مقولات مهم و تأثیرگذار در نظم ژئوپلیتیکی دنیا بوده است. در این میان، وجود منابع انرژی‌های فسیلی در منطقه خاورمیانه یکی از ویژگی‌هایی بوده که بر اهمیت و پیچیدگی شکل ژئوپلیتیکی کشورهای این منطقه افزوده است. ایران نیز در این مقوله، به عنوان یکی از تولیدکنندگان عمده نفت و گاز، موقعیت استراتژیکی یافته و ظاهراً گذر از فرایند مشکل دست یافتن به انرژی هسته‌ای نیز این موقعیت را برجسته‌تر می‌کند. هرچند آب یکی از منابع تجدیدشونده به شمار می‌رود، اما مقدار آن محدود است و با توجه به رشد جمعیت کشور و افزایش تولیدات کشاورزی، گسترش صنعت، بالا رفتن سطح بهداشت و رفاه عمومی، سرانه منابع آب تجدیدشونده رو به کاهش می‌باشد. افزایش تقاضا به آب و به تبع آن احداث سدهای فراوان بدون توجه به تأثیر آن‌ها به پائین دست حوضه، استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در اکثر حوضه‌های آبریز کشور، مشکلات فراوانی را در مدیریت یکپارچه منابع آب به وجود آورده است. به نظر می‌رسد تجدیدنظر در اختصاص آب به بخش‌های مختلف مصرف با توجه به نگرش جدید جهانی، آب کالایی اقتصادی - اجتماعی و به عنوان نیاز اولیه انسان و وضعیت منابع آب کشور، لازم و ضروری است (نوروزی و حنفی، ۱۳۹۷: ۱۰). اخیراً یکی از مباحث بسیار مهم در بحث مربوط به آب‌وهوای مناطق مختلف موضوع اقلیم و تغییر آن به عنوان یک وضعیت برگشت‌ناپذیر بوده است و بسیار از محققان به ابعاد مختلف این مهم پرداخته‌اند. یکی از مظاهر و پیامدهای این پدیده تغییر در عناصر اقلیمی به ویژه دما و بارش مناطق مختلف است. به هم خوردن اندکی از تعادل اقلیم جهان موجب شده متوسط درجه حرارت کره زمین تمایل به روند افزایش را نشان دهد (حجازی زاده، ۱۳۸۸). تغییر اقلیم پدیده‌ای پیچیده اتمسفری - اقیانوسی است که علل وقوع آن به دودسته‌ی کیهانی و زمینی تقسیم می‌شود. تغییر اقلیم به معنای عام کلمه، بحثی است که به اقلیم و چگونگی تغییرات و نوسانات آن در

دوره‌های متفاوت زمین‌شناسی می‌پردازد (عزیزی، ۱۳۸۳). مسئله تغییر اقلیم همیشه با تردیدهای زیاد مواجه بوده و به همین دلیل محققین و دانشمندان مختلفی در زمینه علل و چگونگی آن‌کاره‌ای تحقیقاتی زیادی انجام داده‌اند. مطالعات انجام گرفته در مورد تغییرات اقلیم معاصر بر محور تغییرات دما متمرکز می‌باشد. آب‌وهوای کره زمین در طول قرن بیستم، به‌ویژه در دو دهه اخیر تعادل خود را از دست داده و تمایل به افزایش دما نشان می‌دهد (IPCC, 2001). افزایش دمای کره زمین سبب تغییرات ژرف و وسیعی در اقلیم سطح زمین گردیده و باعث بروز تغییراتی در زمان و مکان بارش می‌شود که خسارات بسیاری را بر انسان به‌ویژه در دهه اخیر وارد آورده است (طباطبایی و حسینی، ۱۳۸۲). به دنبال دگرگونی‌های اقلیم در دوره‌های مختلف زمین‌شناسی، اقلیم جهانی در مقیاس‌های کوچک‌تر از دوره‌های یخچالی نیز تغییر می‌کند. به‌طوری‌که در ۱۵۰۰ سال گذشته زمین چندین بار روند گرمایشی و سرمایشی را تجربه کرده است. در حدود سال ۱۴۰۰ یخچال‌ها پیشروی کردند و دوره‌ی سرما آغاز شد، از سال ۱۷۵۰ روند گرمایشی دما آغاز شد و تا ۱۹۴۰ ادامه یافت، سپس هوا دوباره رو به سردی نهاد. طی دهه‌ی ۱۹۵۰ دما تعدیل شد و در دهه‌ی ۱۹۶۰ دوباره روند سرمایشی حاکم گردید و از آن زمان تا به حال روند مذکور برعکس شده است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۰، ۳۵۰). گزارش کمیته بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱ حاکی از تغییر اقلیم کره زمین است. بنا بر یافته‌های کمیته مذکور دمای کره زمین از ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۰ از ۱ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده است، که بیشترین نتایج مبتنی برافزایش ۲/۵ درجه سانتی‌گرادی است. بین تغییرات دمای کره زمین و دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن ارتباط مستقیمی وجود دارد (IPCC, 2001). با توجه به اینکه مقادیر عناصر اقلیمی ساعت به ساعت و روز به روز تغییر می‌کند باید بر این ایده تأکید شود که اقلیم یک منطقه دارای نوسان و تغییر می‌باشد.

تورکش و همکاران^۱ (۲۰۰۲) به بررسی تغییرات درجه حرارت (حداکثر، متوسط و حداقل) ترکیه پرداخته‌اند. جهت رسیدن به این امر از ۷۵ ایستگاه کلیماتولوژی سراسر ترکیه بهره گرفته شده و سپس به مطالعه و آنالیز توزیع فضایی دما در طی دوره زمانی ۱۹۹۹-۱۹۲۹ اقدام کردند. خسروی و همکاران (۱۳۸۴) سری‌های زمانی درجه‌ی حرارت فصلی ایستگاه مشهد را جهت مطالعه‌ی تغییر اقلیم بکار گرفته‌اند. در تحقیق مذکور ابتدا مؤلفه‌های اولیه و ثانویه دمای مشهد استخراج گردیده و سپس روند دما با استفاده از سه مدل خطی، درجه‌ی دوم و نمایی مورد مقایسه قرار گرفته است.

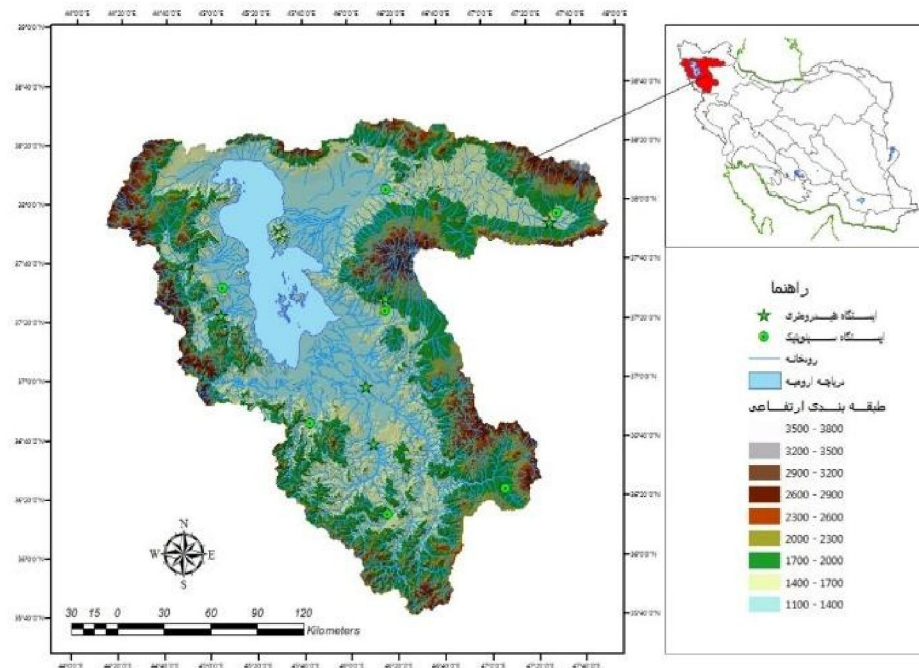
حجازی زاده و پروین (۱۳۸۸) به بررسی روند دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر پرداخته اند. علاوه بر این، تحقیقات بسیار گسترده ای در ارتباط با روند افزایش متوسط دمای جهانی و منطقه ای انجام پذیرفته است که می توان به گیل^۱، (۱۹۹۵)، نورث^۲ و همکاران (۱۹۹۴)، اشلسینگر و رامندکوتی^۳ (۱۹۹۱)، صراف و جامعی (۱۳۸۲)، زاهدی و جامعی (۱۳۸۵)، نوریان (۱۳۷۶) اشاره نمود. همچنین در ایران بر اساس نتایج طرح آشکارسازی تغییر اقلیم، در اکثر ایستگاه های ایران روند افزایش دما مشاهده گردیده است (رحیم زاده، ۱۳۸۲، ۵۸). بر اساس تحلیل فضایی که توسط مسعودیان (۱۳۸۳) بر روی دمای ماهانه ایران انجام شده، نواحی دارای روند افزایشی و کاهشی دما در ایران مشخص شده است. در این تحقیق با توجه به اهمیت دریاچه ارومیه برای ایران و به خصوص منطقه شمال غرب کشور به بررسی روند تغییرات الگوهای آب و هوایی در این منطقه پرداخته شده و در نهایت تهدیدات زیست محیطی و امنیتی ناشی از این تغییرات بیان خواهد شد.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه یکی از کوچک ترین حوضه های منطقه ای ایران است که در بخش شمال غرب ایران واقع شده است. این حوضه با وسعتی برابر ۵۲۷۰۰ کیلومتر مربع و مساحتی معادل ۳/۲ درصد مساحت کل کشور، بین مدارهای ۴۰ ۳۵ تا ۲۹ ۳۸ عرض شمالی و ۱۳ ۴۴ تا ۵۳ ۴۷ درجه طول شرقی قرار گرفته است. دریاچه ارومیه یک دریاچه تکتونیکی نسبتاً بزرگ و فوق اشباع از نمک بوده که در یک حوضه بسته قرار گرفته است. طول آن ۱۴۰ کیلومتر و عرضش بین ۱۵ تا ۵۰ کیلومتر و مساحت آن بین ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومتر می باشد. عمق این دریاچه به طور متوسط ۶ متر می باشد که در این صورت با توجه به عمق و وسعت، حجم آب آن معادل ۳۳ میلیارد مترمکعب خواهد بود. بلندترین نقطه این حوضه آبریز در نزدیکی قله سبلان و معادل ۳۸۵۰ متر و پست ترین نقطه آن ساحل دریاچه ارومیه با ارتفاع ۱۲۷۴ متر می باشد. با توجه به طبقه بندی اقلیمی، آب و هوای بیشتر مناطق واقع در حوضه دریاچه ارومیه نیمه خشک می باشد به طوری که میانگین بارش سالانه در ایستگاه تبریز حدود ۲۸۸ میلی متر و در ایستگاه ارومیه حدود ۳۴۱ میلی متر می باشد. از لحاظ میانگین دمای سالیانه، پایین ترین دمای سالانه با

-
1. Ghil
 2. North
 3. Schlesinger and Ramankutty

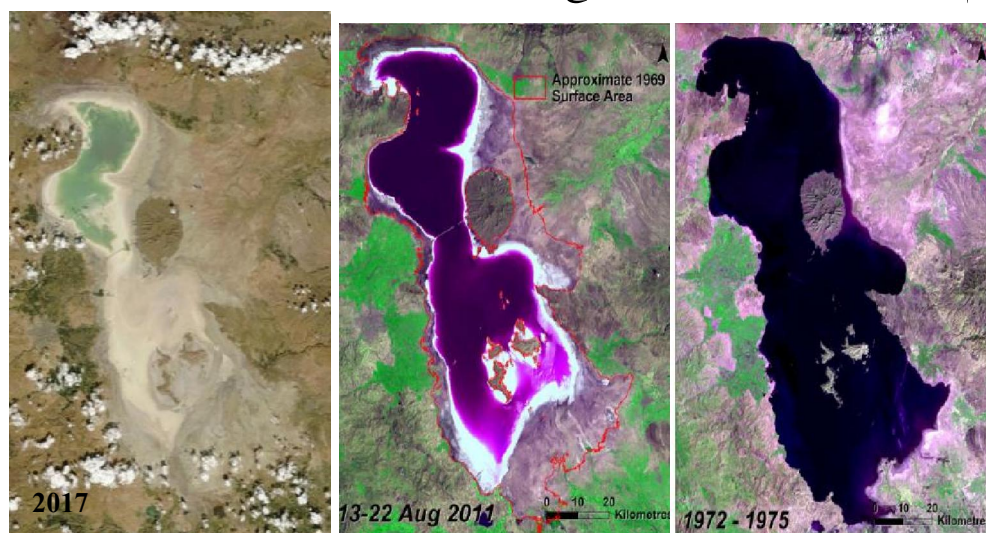
۸/۲ درجه سانتی گراد مربوط به ایستگاه سراب و بالاترین آن با ۱۲/۶ درجه سانتی گراد مربوط به ایستگاه مهاباد می باشد. شکل (۱) وضعیت توپوگرافی و ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه را نشان می دهد.



شکل (۱): طبقه بندی ارتفاعی و ایستگاه‌های هواشناسی حوضه دریاچه ارومیه

حوضه دریاچه ارومیه حدود نیمی از استان آذربایجان غربی، بخش وسیعی از استان آذربایجان شرقی و قسمتی از استان کردستان را شامل می شود. اکوسیستم دریاچه ارومیه نمونه ای شاخص از یک حوضه آبریز بسته است که در آن کلیه آب های سطحی و زیرزمینی به درون یک دریاچه مرکزی تخلیه می شود و اکوسیستم فعال آن شامل دریاچه و حوضه آبریز آن است. سیاست های اشتباه مدیریتی، افزایش دما و تبخیر باعث کاهش شدید سطح آب دریاچه ارومیه شده است که دشت های اطراف دریاچه ارومیه را با خطرات زیست محیطی و افزایش شدید شوری آب زیرزمینی مواجه کرده است (نوروزی، ۱۳۹۳). شکل (۲) روند تغییرات وسعت دریاچه ارومیه را در بازه زمانی ۴۲ ساله نشان می دهد. بررسی تصاویر ماهواره ای نشان می دهد که تا سال ۲۰۱۸ در حدود ۸۸ درصد وسعت دریاچه از بین رفته است. سطح آب دریاچه در طی سال های اخیر به اندازه ۸ متر با کاهش مواجه شده است. دلایل بسیاری برای خشک شدن دریاچه ذکر شده است، از جمله خشک سالی، احداث بزرگراه بر روی دریاچه و استفاده بی رویه از منابع آب حوزه آبریز دریاچه. مشکلات عمده منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه شامل موارد زیر می باشد.

- ✓ کاهش جریان آب در رودخانه‌ها
- ✓ خشک شدن دریاچه ارومیه
- ✓ افت سطح آب زیرزمینی در کل حوضه آبریز
- ✓ تنزل کیفیت منابع آب
- ✓ نفوذ آب شور به آبخوان‌های شیرین
- ✓ عدم استفاده مجدد از پساب‌های شهری
- ✓ عدم ساماندهی جلوگیری از تبخیر منابع آب در بعضی قسمت‌های حوضه آبریز



شکل (۲) تصویر ماهواره لندست از محدوده دریاچه ارومیه الف) سال ۱۹۷۲، ب) سال ۲۰۱۱، ج) سال ۲۰۱۷

مواد و روش‌ها

برای بررسی و مطالعه روند تغییرات الگوهای آب و هوایی در حوضه دریاچه ارومیه، داده‌های مربوط به عوامل اقلیمی دما (میانگین دمای حداکثر، میانگین دمای حداقل و میانگین دما) و بارش (مجموع بارش، تعداد روزهای بارانی) در پایه زمانی ماهانه و سالانه مربوط به ۷ ایستگاه سینوپتیک واقع در محدوده مورد مطالعه که دارای طول دوره آماری بالای ۲۰ سال بودند از سایت سازمان هواشناسی دریافت گردید (جدول ۱). همچنین به منظور بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب منطقه، داده‌های مربوطه به حجم سالانه آب و دبی از سازمان تأمین منابع آب (تماب) برای ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه دریافت گردید (جدول ۲). بعد از تعیین ایستگاه‌ها، آزمون همگنی داده‌ها به وسیله آزمون ران

تست^۱ برای اطمینان از کیفیت داده‌ها و همچنین همگن بودن سری داده‌های ثبت شده انجام شد. همچنین با استفاده روش همبستگی در برخی از ایستگاه‌ها بازسازی داده‌ها صورت گرفته و طول دوره آماری در تمامی ایستگاه‌ها به حداقل ۳۰ سال (۲۰۱۸-۱۹۸۸) رسید.

جدول (۱). مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در حوضه دریاچه ارومیه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	میانگین بارش	متوسط دما
تبریز	۴۶ ۱۷	۳۸ ۰۵	۱۳۶۱	۲۸۸	۱۲/۵
ارومیه	۴۵ ۰۵	۳۷ ۳۲	۱۳۱۶	۳۴۱	۱۱/۵
سقز	۴۶ ۱۶	۳۶ ۱۵	۱۵۲۲	۴۹۹	۱۱
مراغه	۴۶ ۱۶	۳۷ ۲۴	۱۴۷۷	۳۲۲/۴	۱۲/۵
سراب	۴۷ ۳۲	۳۷ ۵۶	۱۶۸۲	۲۴۳/۶	۸/۲
مهاباد	۴۵ ۴۳	۳۶ ۴۶	۱۳۸۵	۴۱۳	۱۲/۶
تکاب	۴۷ ۰۷	۳۶ ۲۳	۱۷۶۵	۳۴۸/۵	۹

جدول (۲). مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوضه دریاچه ارومیه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	رودخانه	کد تماب
داش بند بوکان	۴۶ ۱۷	۳۶ ۵۵	سیمینه رود	۳۳-۰۳۵
میاندوآب زرینه رود	۴۶ ۱۲	۳۶ ۴۷	زرینه رود	۳۳-۰۲۹
دیزج ارومیه	۴۵ ۰۷	۳۷ ۳۸	باراندورچای	۳۵-۰۰۵
تازه کند مراغه	۴۶ ۲۷	۳۷ ۴۷	صوفی چای	۳۲-۰۰۷
سرانسر	۴۷ ۴۸	۳۷ ۵۸	آجی چای	۳۱-۰۰۵

اصولاً گفته می‌شود که آزمون‌های پارامتریک در صورتی که داده‌ها به صورت نرمال باشند، قوی‌تر از آزمون‌های نا پارامتریک هستند ولی در شرایط داده‌های غیر نرمال آزمون نا پارامتریک قوی‌تر از پارامتریک هستند (پاسگونی، ۲۰۰۶). از آنجایی که در توزیع تعدادی از سری‌های اقلیمی از جمله بارش نرمال نیست، در چنین حالت‌هایی روش‌های نا پارامتریک مثل روش من-کندال مناسب‌تر است،

1. Runs Test

همچنین از رگرسیون در ابعاد مختلف در بررسی تغییرات اقلیم استفاده می‌شود اما بعضی از مواقع الگوهای رگرسیونی در بیان چگونگی رفتار عناصر اقلیمی به دلیل نوسانات دوره‌ای در رفتار اقلیم نامناسب می‌باشد. چراکه این قبل الگوها رفتار عناصر اقلیمی را بدون توجه به چرخه‌ها در امتدادی ثابت و بعضاً نامعقول، برآورد می‌نماید در حالی که چرخه‌های موجود در عناصر اقلیمی گویای نوعی همبستگی بین ارقام متوالی اقلیم می‌باشد (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۸۴). بنابراین تحلیل روند در این مطالعه با استفاده از آزمون نا پارامتریک من- کندال انجام شد. آماره آزمون در سطوح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد بررسی گردید.

آزمون من کندال

آزمون من- کندال برای بررسی تصادفی بودن و تعیین روند در سری‌ها استفاده می‌شود. در ابتدا این تست برای مشخص کردن غیر پارامتریک بودن سری‌ها به کار می‌رود. بدین ترتیب که سری‌های آماری به ترتیب صعودی مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند در این آزمون تصادفی بودن داده‌ها به عدم وجود روند مشخص می‌گردد. در صورت وجود روند، داده‌ها غیر تصادفی بوده و برای تعیین تصادفی بودن داده‌ها از تست زیر استفاده شده است (میشل و همکاران، ۱۹۶۶):

رابطه ۱:

$$T = \frac{4P}{n(n-1)}$$

که T آماره کندال و P مجموع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از ردیف n_i که بعداز آن قرار می‌گیرند و از رابطه:

رابطه ۲:

$$P = \sum_{i=1}^n n_i$$

به دست می‌آید و n نیز تعداد کل سال‌های آماری مورد استفاده است. به منظور سنجش معنی‌دار بودن آماره T از رابطه زیر استفاده می‌شود:

رابطه ۳:

$$(T)_t = \pm tg \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}}$$

که tg برابر با مقدار بحرانی نمره نرمال یا استاندارد با سطح احتمال آزمون است و با سطح احتمال ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ می باشد. در صورت اعمال این مقدار، $(T)_t$ معادل با ± 0.21 می شود. با توجه به مقدار بحرانی به دست آمده برای $(T)_t$ ، حالات مختلفی بدین شرح مشاهده خواهد شد:

اگر $(T)_t > T > -0.21$ یا $+0.21 > T > -0.21$ باشد، روند مهمی در سری ها مشاهده نمی شود و سری ها تصادفی هستند. همچنین اگر $T < (T)_t$ یا $T < -0.21$ باشد، نشان دهنده روند منفی در سری ها و در صورتی که $+0.21 < (T)_t$ یا $T > (T)_t$ باشد روند مثبت در سری ها غالب خواهد بود. برای تعیین جهت روند، نوع و زمان تغییر نیاز به آزمون گرافیکی کندال می باشد مراحل اجرای آزمون به طور اختصار به شرح زیر است:

داده ها را رتبه بندی نموده و آماره t_i (نسبت رتبه I به رتبه های ماقبل) را محاسبه نموده، سپس فراوانی تجمعی آماره t_i ($\sum t_i$) را به دست می آوریم. امید ریاضی، واریانس و شاخص من - کندال بر اساس فرمول های زیر محاسبه می شوند (لانا و همکاران، ۲۰۰۳: ۳۲۰؛ سلشی و همکاران، ۲۰۰۴: ۹۷۶).
رابطه ۴:

$$E_i = \frac{n_i(n_i - 1)}{4}$$

$$V_i = \frac{n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)}{72}$$

$$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i}}$$

در روابط شماره ... n_i ترتیب زمانی داده ها می باشد. این شاخص دارای توزیع نرمال است، لذا جهت شناسایی معنی دار بودن از جدول منحنی نرمال استفاده می شود. برای بررسی تغییرات باید شاخص U'_i نیز تعیین شود. مراحل محاسبه U'_i بدین شرح است:

داده‌ها را رتبه‌بندی نموده و آماره t'_i (نسبت رتبه I به رتبه‌های مابعد) را مشخص کرده و سپس فراوانی تجمعی $(\sum t_i)t_i$ محاسبه می‌شود. امید ریاضی، واریانس و شاخص U'_i به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

رابطه ۵:

$$E'_i = \frac{[N - (n_i - 1)](N - n_i)}{4}$$

$$V'_i = \frac{[N - (n_i - 1)](N - n_i)[2(N - (n_i - 1))] + 5}{72}$$

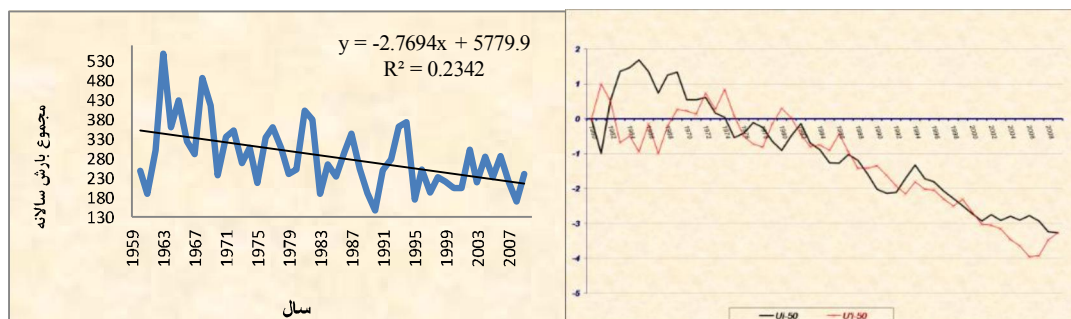
$$U'_i = \frac{-(\sum t'_i - E'_i)}{\sqrt{V'_i}}$$

در روابط شماره N حجم نمونه آماری مورد مطالعه است. پس از محاسبات فوق و رسم نمودارهای مربوط وجود هرگونه روند در سری‌ها به صورت منفی ظاهر می‌شود و زمانی که روند معنی‌داری در داده‌ها وجود داشته باشد، خطوط U_i و U'_i همدیگر را قطع می‌کنند. اگر خطوط مذکور در داخل محدوده بحرانی $(\pm 1/96)$ همدیگر را قطع کنند نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کنند بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است (سوئیر، ۱۹۹۰).

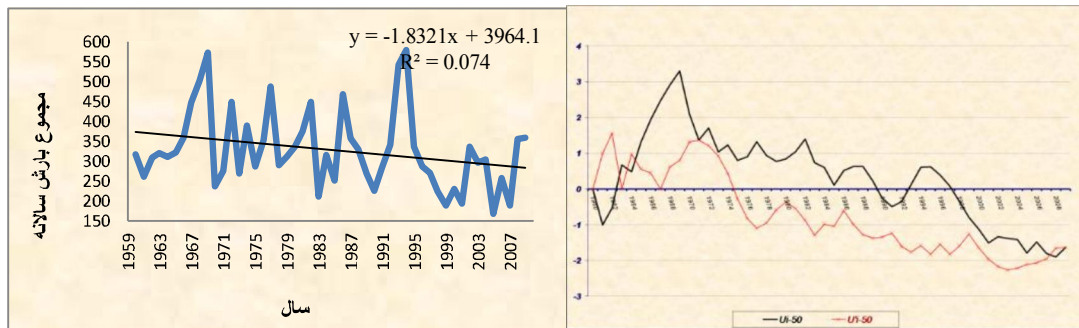
یافته‌های تحقیق

میانگین بارش سالانه ایستگاه تبریز ۲۸۹ میلی‌متر می‌باشد که ۳۰ درصد آن در فصل زمستان، ۳۸ درصد آن در فصل بهار، ۲۶ درصد آن در فصل پاییز و ۶ درصد آن در فصل تابستان اتفاق می‌افتد. مجموع بارش سالانه ایستگاه تبریز در طی دوره آماری مورد مطالعه به صورت کاهشی می‌باشد به گونه‌ای که از مجموع ۳۵۰ میلی‌متر به ۲۶۰ میلی‌متر رسیده است. منحنی‌های U و U' در چند نقطه در داخل و در چند نقطه در خارج محدوده بحرانی تقاطع پیدا کرده‌اند و در سال ۱۹۹۲ تقاطع در خارج محدوده بحرانی بوده که نشان‌دهنده شروع معنی‌دار روند کاهشی در بارش سالانه تبریز می‌باشد (شکل ۳). از بعد تغییرات فصلی نیز مجموع بارش ایستگاه تبریز در اکثر فصول کاهشی بوده و در فصل زمستان دارای روند معنی‌دار می‌باشد. همچنین در مقیاس ماهانه نیز در بیشتر ماه‌های سال روند کاهشی دیده می‌شود اما این روند فقط در ماه‌های فوریه و مارس معنی‌دار می‌باشد. میانگین بارش سالانه ایستگاه ارومیه ۳۴۰

میلی متر می باشد که ۳۴ درصد آن در فصل زمستان، ۳۶ درصد آن در فصل بهار، ۲۷ درصد آن در فصل پاییز و ۳ درصد آن در فصل تابستان اتفاق می افتد. مجموع بارش سالانه ایستگاه ارومیه در دوره آماری مورد مطالعه به صورت کاهشی می باشد به گونه ای که از ۳۷۰ میلی متر به ۳۰۰ میلی متر رسیده است یعنی در حدود ۷۰ میلی متر کاهش نشان می دهد. با توجه به اینکه منحنی های U و U' در مرز محدوده بحرانی در سال ۲۰۰۷ تقاطع پیدا کرده اند می توان گفت که کاهش بارش در ارومیه هم دارای روند معنی دار می باشد. از بعد فصلی نیز در تمام فصول سال تغییرات بارش کاهشی می باشد و در فصل زمستان دارای روند معنی دار می باشد. در مقیاس ماهانه نیز در تمام ماه های سال به جز ماه های پاییز روند کاهشی وجود دارد اما این روند تنها در ماه ژوئن معنی دار می باشد (شکل ۴). مجموع بارش ایستگاه سقز در فصل بهار دارای روند کاهشی معنی دار می باشد و در بقیه فصول دارای روند نمی باشد افزایش نسبی را دارد. در بین ماه های سال نیز در ماه آوریل دارای روند کاهشی معنی دار و در ماه جولای دارای روند افزایشی معنی دار می باشد. در بقیه ایستگاه های منطقه نیز بارش سالانه در ایستگاه های مراغه و تکاب دارای روند کاهشی معنی دار و در ایستگاه های سراب و مهاباد بدون روند می باشد. در مقیاس فصلی نیز بارش مراغه در فصل زمستان و پاییز دارای روند کاهشی معنی دار، بارش سراب در فصل بهار دارای روند افزایشی معنی دار، بارش مهاباد در فصل تابستان دارای روند افزایشی معنی دار و بارش تکاب در فصل زمستان دارای روند کاهشی معنی دار می باشد. همچنین در مقیاس ماهانه در ماه های فوریه، مارس و اکتبر در ایستگاه مراغه روند کاهشی معنی دار بارش، در ایستگاه سراب در ماه جولای روند افزایشی معنی دار، در ایستگاه مهاباد در ماه جولای روند افزایشی معنی دار و در ایستگاه تکاب در ماه های فوریه، مارس، آوریل و اکتبر روند بارش کاهشی و معنادار می باشد. (جدول ۳)

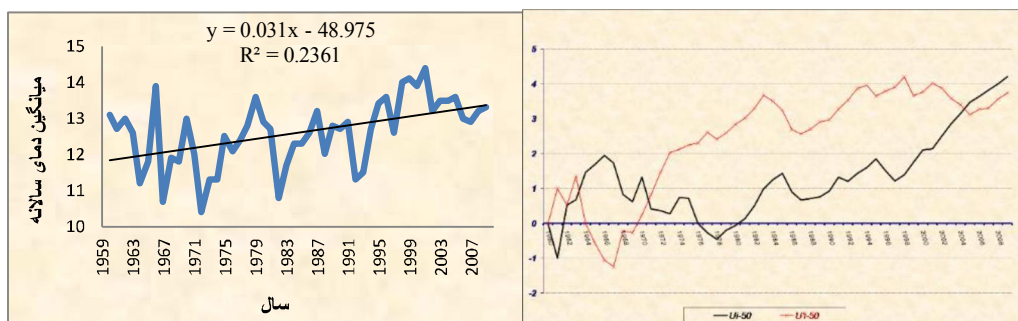


شکل (۳): تغییرات سری زمانی بارش ایستگاه تبریز و روند تغییرات آن با استفاده از آزمون من کندال

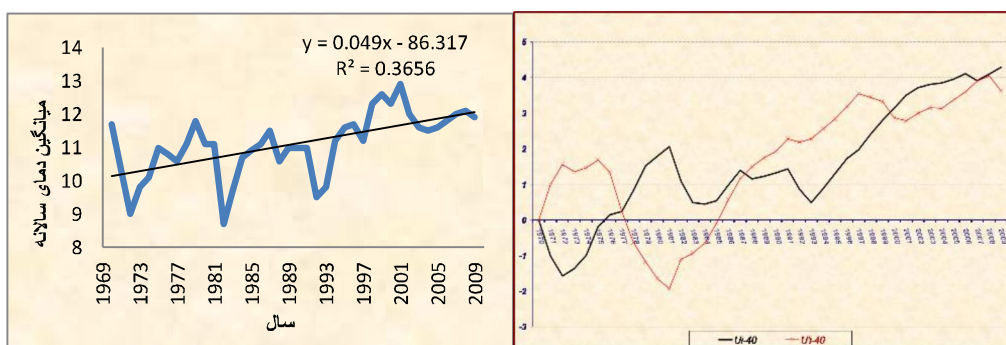


شکل (۴): تغییرات سری زمانی بارش ایستگاه ارومیه و روند تغییرات آن با استفاده از آزمون من کندال

پارامترهای دمایی (متوسط، حداقل و حداکثر دمای سالانه) در ایستگاه تبریز در طی دوره ۵۰ ساله دارای روند افزایشی معنی دار می باشد و منحنی های U و U' در سال ۲۰۰۴ همدیگر را در خارج از محدوده بحرانی قطع کرده اند که نشان دهنده معنی دار بودن روند افزایشی دما در تبریز می باشد. در طی دوره آماری متوسط دمای سالانه حدود $1/4$ درجه افزایش نشان می دهد به گونه ای که از $11/9$ درجه سانتی گراد به $13/3$ درجه سانتی گراد افزایش یافته است (شکل ۵). در بین فصول سال نیز در فصل های بهار، تابستان و پاییز افزایش دما در تبریز معنی دار می باشد. همچنین در مقیاس ماهانه نیز به جز ماه های سرد سال در بقیه ماه ها روند افزایشی دما معنی دار می باشد. پارامترهای دمایی (متوسط، حداقل و حداکثر دمای سالانه) در ایستگاه ارومیه در طی دوره مورد مطالعه روند افزایشی داشته و این روند برای متوسط دما و حداقل دما معنی دار می باشد. منحنی های U و U' در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ همدیگر را در خارج از محدوده بحرانی قطع کرده اند که نشان دهنده معنی دار بودن روند افزایشی دمای ارومیه در سال های اخیر می باشد (شکل ۶). در طی دوره ۴۰ سال متوسط دمای ارومیه از $10/2$ درجه سانتی گراد به $11/9$ درجه سانتی گراد افزایش پیدا کرده است. همچنین در بین فصول سال، افزایش دما در فصل بهار و تابستان معنی دار می باشد. در مقیاس ماهانه نیز در ماه های فوریه، آوریل، ژوئن و آگوست میانگین دمای سالانه دارای روند افزایشی معنی دار می باشد. در طی دوره ۴۰ ساله متوسط دمای سقز از $11/5$ درجه سانتی گراد به $10/8$ درجه سانتی گراد کاهش پیدا کرده است. در بین فصول سال نیز در فصل بهار و تابستان روند کاهشی دما معنادار می باشد. در مقیاس ماهانه نیز در ماه های می، ژوئن و جولای میانگین دمای سالانه دارای روند کاهشی معنادار می باشد. در ایستگاه های مراغه، سراب، مهاباد و تکاب نیز پارامترهای دمایی (متوسط، حداقل و حداکثر دمای سالانه) دارای روند افزایشی معنادار می باشند (جدول ۳).



شکل (۵): تغییرات سری زمانی میانگین دمای ایستگاه تبریز و روند تغییرات آن با استفاده از آزمون من کندال



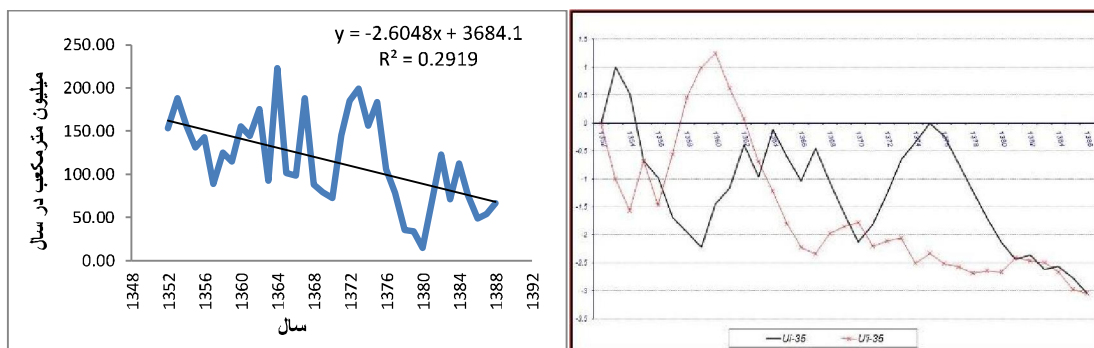
شکل (۶): تغییرات سری زمانی میانگین دمای ایستگاه ارومیه و روند تغییرات آن با استفاده از آزمون من کندال

ایستگاه	پارامتر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مئی	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
تبریز	دما	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۲۶**	۰/۱۹*	۰/۳۴**	۰/۳۲**	۰/۳۵**	۰/۳۰**	۰/۲۴*	۰/۲۳*	۰/۱۱
	بارش	-۰/۱۱	-۰/۲۴**	-۰/۱۳*	-۰/۰۷	۰/۰۳	-۰/۱۶*	-۰/۰۷	-۰/۰۲	-۰/۱۱	-۰/۰۵	-۰/۰۰۵	-۰/۰۴
	حداکثر دما	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۳*	۰/۱۹*	۰/۰۷	۰/۳۰*	۰/۳۲**	۰/۳۵**	۰/۳۴**	۰/۲۴*	۰/۱۳*	۰/۰۶
ارومیه	دما	۰/۱۸	۰/۲۳*	۰/۰۹	۰/۲۲*	۰/۰۶	۰/۲۹**	۰/۰۷	۰/۲۲*	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۹
	بارش	-۰/۰۹	-۰/۱۶*	-۰/۱۱	-۰/۱۶*	-۰/۰۳	-۰/۲۲*	-۰/۰۵	-۰/۱۰	-۰/۱۷	-۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۰۲
	حداکثر دما	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۱۶*	۰/۱۲	۰/۲۶*	۰/۱۳*	۰/۱۰	۰/۱۴*	۰/۲۹*	۰/۲۹*
سبز	دما	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۲۱*	۰/۲۹**	۰/۲۰*	۰/۱۲	۰/۲۹**	۰/۱۰	۰/۲۳**	۰/۲۰*	۰/۱۰
	بارش	-۰/۱۲	-۰/۱۱	-۰/۰۸	-۰/۲۹**	-۰/۰۷	-۰/۲۳**	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۳	-۰/۰۵	۰/۱۳*	-۰/۰۲
	حداکثر دما	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۲۳*	۰/۲۹**	۰/۲۰*	-۰/۱۸	-۰/۰۹	-۰/۲۰*	-۰/۰۵
مرغه	دما	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۲	۰/۱۶*	۰/۴۱**	۰/۳۷**	۰/۲۲	۰/۲۵*	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۰۶
	بارش	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۶*	۰/۲۰	۰/۱۶*	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۴۴**	۰/۲۷	۰/۴۹**	۰/۰۷	۰/۲۶*
	حداکثر دما	۰/۱۷	۰/۲۸	۰/۲۸*	۰/۱۹	۰/۱۶*	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۴۱**	۰/۲۱	۰/۴۷**	۰/۱۰	۰/۲۴*
سراب	دما	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۲۱	*	۰/۲۰*	۰/۲۵*	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۰۶
	بارش	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۲۷*	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۲۱	۰/۲۲*	۰/۱۶
	حداکثر دما	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۳۷	۰/۲۹	۰/۳۸	۰/۲۱	۰/۰۷
مهاباد	دما	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۰۴	۰/۲۹	۰/۰۶	۰/۳۰	-۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۲۹	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۴
	بارش	۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۲۸*	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۳۳*	۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۲۶*	۰/۰۴	۰/۰۳
	حداکثر دما	۰/۲۳	۰/۲۴**	۰/۴۴**	۰/۳۹*	۰/۰۵	۰/۰۷	-۰/۰۵	۰/۲۴*	۰/۰۹	۰/۲۴**	۰/۲۰*	۰/۱۱
تکاب	دما	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۰۴	۰/۱۸	-۰/۰۵	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۸	-۰/۰۵	۰/۲۱
	بارش	-۰/۰۸	-۰/۳۴*	-۰/۳۵*	-۰/۳۴*	۰/۰۳	-۰/۱۹	-۰/۰۱	-۰/۰۹	۰/۲۲	-۰/۲۰*	۰/۱۱	-۰/۰۶
	حداکثر دما	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۳۴*	۰/۱۱	۰/۱۹
	حداقل دما	۰/۲۰*	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۲۱*	۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۱۷

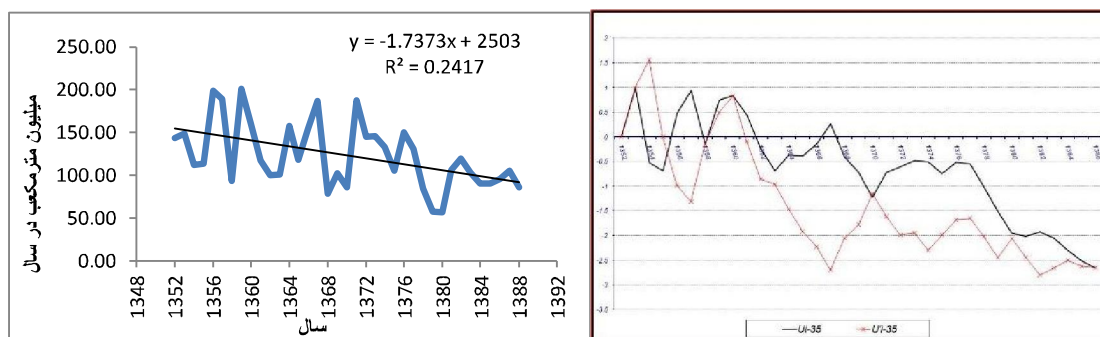
جدول (۳): نتایج آماره من کندال برای ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه در مقیاس ماهانه

روند تغییرات دبی

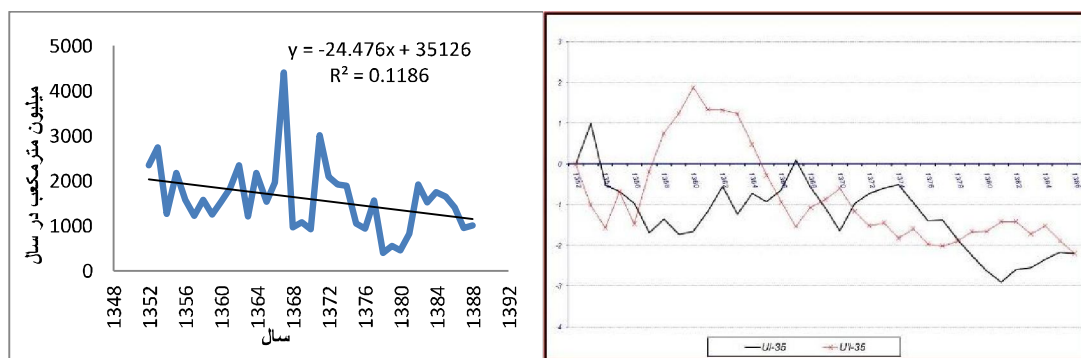
در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، در کنار فعالیت‌های انسانی از قبیل استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و ساخت سدهای متعدد بر روی رودخانه‌ها، موجب کاهش سطح تراز آن شده است. روند کاهش سطح تراز دریاچه ارومیه به حدی است که بی‌توجهی به آن می‌تواند به خشک شدن دریاچه و ایجاد مشکلات عدیده زیست‌محیطی از قبیل طوفان نمک، تشدید تغییرات اقلیمی و... در چند استان کشور منجر شود. به منظور بررسی تأثیرات تغییرات دما و بارش بر منابع آب حوضه دریاچه ارومیه از اطلاعات ۵ ایستگاه هیدرومتری منطقه استفاده گردید. حجم آب سالانه در ایستگاه سرانسر آجی در طی دوره ۳۷ ساله دارای روند کاهشی معنی‌دار می‌باشد و منحنی‌های U و U' در چند نقطه همدیگر را در خارج از محدوده بحرانی قطع کرده‌اند که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن (در سطح ۰/۰۱) روند کاهشی دبی در ایستگاه سرانسر می‌باشد به گونه‌ای که در طی دوره آماری متوسط حجم سالانه آب از ۱۶۰ میلیون مترمکعب در سال به ۸۰ میلیون مترمکعب در سال رسیده است (شکل ۷). در ایستگاه سد علویان رودخانه صوفی چای نیز متوسط حجم سالانه آب در طی دوره ۳۷ ساله روند کاهشی را نشان می‌دهد و با توجه به اینکه منحنی‌های U و U' در سال ۱۳۸۸ همدیگر را در خارج از محدوده بحرانی قطع کرده‌اند، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن (در سطح ۰/۰۱) روند کاهشی دبی در ایستگاه سد علویان مراغه می‌باشد. در طی دوره آماری متوسط حجم سالانه آب از ۱۵۰ میلیون مترمکعب در سال به ۹۰ میلیون مترمکعب در سال رسیده است (شکل ۸). متوسط حجم سالانه آب در ایستگاه میان‌دوآب زرينه‌رود نیز در طی دوره آماری روند کاهشی را نشان می‌دهد و این روند به علت تقاطع دو منحنی در خارج محدوده بحرانی معنی‌دار (در سطح ۰/۰۵) می‌باشد. متوسط حجم سالانه آب در ایستگاه میان‌دوآب زرينه‌رود نیز در طی دوره آماری از ۲۰۰۰ میلیون مترمکعب در سال به ۱۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال کاهش پیدا کرده است (شکل ۹).



شکل (۷): تغییرات سری زمانی حجم سالانه آب و روند تغییرات آن در ایستگاه سرانسر حوضه آبی چای



شکل (۸): تغییرات سری زمانی حجم سالانه آب و روند تغییرات آن در ایستگاه سد علویان حوضه صوفی چای



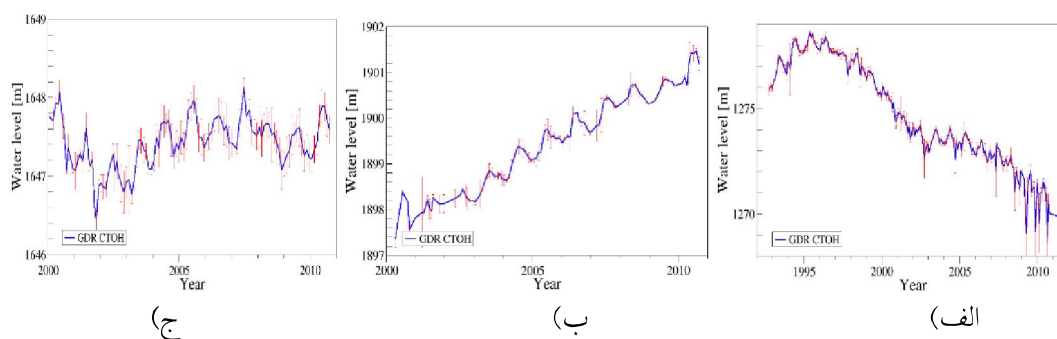
شکل (۹): تغییرات سری زمانی حجم سالانه آب و روند تغییرات آن در ایستگاه میاندوآب رودخانه زرینه رود

جدول (۴): نتایج آماره من کندال برای ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه دریاچه ارومیه در سالانه

ایستگاه دیزج باراندوز	ضریب همبستگی	*-۰/۲۴۹
	سطح معنی داری	۰/۰۱۵
ایستگاه میاندوآب زرینه رود	ضریب همبستگی	*-۰/۲۶۷
	سطح معنی داری	۰/۰۱۶
داشند سیمینه رود	ضریب همبستگی	*-۰/۲۹۷

	سطح معنی داری	۰/۰۱۰
ایستگاه سد علویان صوفی چای	ضریب همبستگی	** -۰/۳۱۵
	سطح معنی داری	۰/۰۰۶
ایستگاه سرانسر آجی چای	ضریب همبستگی	** -۰/۴۰۲
	سطح معنی داری	۰

شکل (۱۰) وضعیت سطح آب دریاچه ارومیه و دریاچه‌های سوان در ارمنستان و دریاچه وان در ترکیه را در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. همان‌طوری که در این شکل‌ها مشاهده می‌گردد سطح آب دریاچه وان ترکیه در این دوره زمانی به‌مرورزمان افزایش داشته و سطح آب در دریاچه سوان ارمنستان نیز تقریباً سطح ثابتی از آب را نشان می‌دهد. اما در دریاچه ارومیه کاهش شدید سطح آب را شاهد هستیم؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییر الگوهای آب‌وهوایی نقش بسیار ناچیزی در کاهش تراز سطح آب دریاچه ارومیه داشته است و نقش عوامل انسانی مانند ضعف مدیریت منابع آبی کشور بیشتر از عوامل طبیعی بوده است.

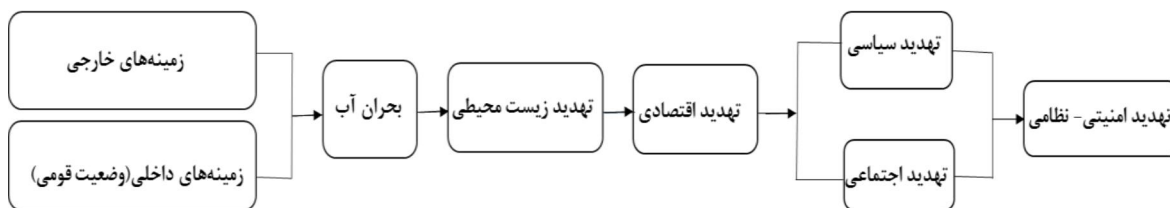


شکل (۱۰) مقایسه تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر در مقایسه با دریاچه‌های مجاور
(الف) دریاچه وان ترکیه ، (ب) دریاچه سوان ارمنستان (ج) دریاچه ارومیه

نتیجه‌گیری

با توجه به بحران کمبود آب و افزایش رقابت در بهره‌برداری بیشتر از منابع آب مشترک، بحران کمبود آب می‌تواند به‌عنوان یک عامل کلیدی در تنش‌ها و تضادهای آبی در دنیا به‌ویژه در کشور ایران باشد. از این‌رو، عدم آشنایی مناسب با مسئله هیدروپلیتیک، قوانین بین‌المللی آب و عدم وجود دیپلماسی در مورد منابع آبی، می‌تواند به‌طور چشمگیری در افزایش تنش‌های داخلی و به خطر افتادن امنیت داخلی اثرگذار باشد. با توجه به این‌که شمال غرب کشور، بخصوص منطقه آذربایجان یکی از مناطق مهم و مؤثر از نظر ژئوپلیتیکی می‌باشد و با تعداد زیادی از کشورها دارای مرز مشترک می‌باشد، این مطالعه

باهداف بررسی تغییرات الگوهای آب و هوایی در دریاچه ارومیه و تأثیر آن بر مسائل زیست‌محیطی و امنیتی انجام شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اگر دیپلماسی آب در این منطقه حساس به صورت صحیح و در نگاه کلان‌تر اجرا نشود، منطقه موردنظر با سلسله‌مراتبی از تهدیدها روبرو خواهد شد، بدین صورت که با فعلیت یافتن تهدید زیست‌محیطی، این تهدید زیست‌محیطی به شکل‌گیری تهدیدهای اقتصادی منجر می‌شود و تهدید اقتصادی نیز زمینه تحقق تهدیدهای اجتماعی و سیاسی را فراهم می‌سازد که مستقیماً بر امنیت داخلی و خارجی اثرگذار می‌باشد. در صورت رفع نشدن تهدیدهای اجتماعی و سیاسی، دخالت دولت‌های بیگانه هم‌زمان با تنش‌های داخلی ایجاد شده می‌تواند به صورت تهدید امنیتی و نظامی تجلی یابد. در صورت وقوع بحران هیدروپلتیکی، تهدیدهای پنج‌گانه مطابق شکل (۱۱)، به هیچ وجه به صورت هم‌زمان به وقوع نمی‌پیوندند، بلکه با سلسله‌مراتبی از تهدیدها روبرو خواهد شد، بدین معنا که برخی تهدیدها به عنوان عامل ایجاد و تقویت تهدیدهای دیگر عمل خواهند کرد. در این چارچوب، اولین جرقه بحران هیدروپلتیک به وسیله فعالیت یافتن تهدید زیست‌محیطی زده می‌شود، این تهدید زیست‌محیطی به شکل‌گیری تهدیدهای اقتصادی می‌انجامد و تهدید اقتصادی نیز زمینه تحقق تهدیدهای اجتماعی و سیاسی را فراهم می‌سازد. در صورت رفع نشدن تهدیدهای اجتماعی و سیاسی، مداخله‌های دولت‌های بیگانه آغاز می‌شود که در شدیدترین وجه آن می‌تواند به صورت تهدید نظامی و اقدام نظامی تجلی یابد. مدیریت بحران هیدروپلتیک در مرحله‌ای که تهدید زیست‌محیطی هنوز به شکل تهدید اقتصادی نیانجامیده است، به آسان‌ترین شکل ممکن قابل انجام است، زیرا هرچه از تهدید زیست‌محیطی به سمت تهدید نظامی - امنیتی حرکت کنیم، مقابله با تهدید هزینه‌برتر، زمان‌برتر و متضمن بهره‌گیری از قدرت و جلب بسیج مردمی بیشتر است.



شکل (۱۱) نمودار بحران‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و امنیتی در منطقه شمال غرب

تغییر الگوهای آب و هوایی و خشک شدن دریاچه ارومیه باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی متعددی گردیده است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

- افزایش گردوغبار در منطقه: تنفس غلظت بالای کربنات کلسیم و دی اکسید سیلیس که باعث بیماری سیلیکوزیس و همچنین تنفس آن باعث صدمه به کلیه و کبد می گردد. آهن ممکن است منجر به ورم ملتحمه و آماس شبکیه چشم گردد. همچنین تنفس طولانی مدت آهن باعث سیدروزیس می گردد. تنفس طولانی مدت ذرات گردوغبار حاوی منیزیم منجر به افسردگی و گیجی و ضعف بدن می گردد. تنفس کوتاه مدت ذرات آلومینیوم منجر به سرفه و تحریک شش ها و تنفس طولانی مدت آن باعث صدمه به شش ها می گردد. از جمله ترکیبات دیگر موجود در گردوغبار کلسیم، آهن، آلومینیوم و منیزیم می باشند. استفاده از کلسیم منجر به سنگ کلیه و تصلب مجاری کلیه و رگ های خون می گردد.
- تخریب مراتع: بخش عمده پرورش ۷۰ میلیون جمعیت گوسفند و بز کشور به چرا آزاد در مراتع وابسته است. آلودگی هوا و نشست گردوغبار به ویژه نمک بر روی علوفه در کنار کاهش رشد گیاهان علوفه ای، سبب تمایل کمتر دام ها به تغذیه می شود. در شرایطی که به علت فقر علوفه دام مجبور به تغذیه از علوفه آلوده شود، ایجاد مشکلات متعدد گوارشی و بیماری های متابولیک اجتناب ناپذیر خواهد بود. فقر رشد علوفه سبب تخریب بیشتر مراتع توسط دام ها می شود و عملاً ذخایر باارزش مرتع کشور را با مشکل جدی مواجه خواهد کرد.
- مهاجرت اجباری و پیامدهای آن: ریزگردهای ناشی از خشک شدن دریاچه ارومیه که حتی امکان رساندن خود به پایتخت را هم دارند، زندگی را برای ساکنان اطراف دریاچه بسیار سخت خواهند کرد. امکان کشاورزی و دامداری در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را خواهند گرفت و کشاورزان را به مهاجرت وادار می کنند. در این خصوص عیسی کلاتتری دبیر ستاد احیای دریاچه ارومیه، با تأکید بر این که تبعات مهاجرت جمعیت به دلیل بحران خشک شدن دریاچه ارومیه به مراتب زیان بارتر از جنگ تحمیلی است، می گوید در زمان هشت سال دفاع مقدس مهاجرت یک میلیون و ۱۰۰ هزار نفری مردم از مرزهای جنوب و غرب کشور مشکلات زیادی را برای دولت ایجاد کرده بود، حال آن که با خشک شدن دریاچه ارومیه افزون بر پنج میلیون نفر از جمعیت ساکن در اطراف این دریاچه و در استان های شمال غرب کشور مجبور به مهاجرت اجباری می شوند.

فهرست منابع

۱. اسدی، اشرف؛ حیدری، علی (۱۳۹۰). تحلیل تغییرات سری‌های دما و بارش شیراز طی دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره پیاپی ۴۱، دانشگاه اصفهان.
۲. حجازی زاده، زهرا؛ پروین، نادر (۱۳۸۸). بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم‌قرن اخیر، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پاییز و زمستان ۱۳۸۸، صص ۴۳-۵۶.
۳. خسروی، محمود؛ جاودانی خلیفه، ناصر و محمدنیا قرائی، سهراب (۱۳۸۲). "بررسی انطباق سری‌های زمانی دمای مشهد با تغییرات و نوسانات دمای کره زمین" سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس تغییر اقلیم، دانشگاه اصفهان.
۴. رحیم زاده، فاطمه؛ عسگری، احمد و نوحی، کیوان؛ "نگرشی بر تفاوت نرخ افزایش دمای حداقل و حداکثر و کاهش دامنه شبانه‌روزی دما در کشور" (۱۳۸۲). سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس تغییر اقلیم، دانشگاه اصفهان.
۵. زاهدی، مجید و جامعی، جاوید (۱۳۸۵). "مدل‌سازی بارش ایستگاه‌های تبریز و ارومیه" فصلنامه دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۶.
۶. عزیزی، قاسم (۱۳۸۳) "تغییر اقلیم"، انتشارات قومس، تهران، چاپ اول.
۷. عزیزی، قاسم؛ روشنی، محمود (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من‌کندال، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، تابستان ۱۳۸۷، صص ۱۳-۲۸.
۸. عزیززاده، امین؛ کمالی، غلامعلی؛ موسوی، فرهاد و موسوی بایگانی، محمد (۱۳۸۰). " هوا و اقلیم‌شناسی" انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم.
۹. غیور، حسنعلی؛ عساکره، حسین (۱۳۸۲). " کاربرد مدل‌های فوریه در برآورد دمای ماهانه و آینده‌نگری آن" سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، دانشگاه اصفهان.
۱۰. مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۸۳). " تحلیل ساختار دمای ماهانه ایران" مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، جلد پانزدهم، شماره ۱ و ۲.
۱۱. میر موسوی، سید حسین (۱۳۸۶). مطالعه نوسانات دما و بارش سالانه در منطقه شمال غرب ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۶، زمستان ۱۳۸۷، صص ۸۷-۱۰۰.

۱۲. نوریان، علی محمد (۱۳۷۶). "تردیدهای علمی تغییرات اقلیم کره زمین" فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۵.

۱۳. نوروزی قوشبلاغ، حسین و حنفی، علی (۱۳۹۷) بررسی مشکلات هیدروپلیتیک دریاچه ارومیه و تأثیر آن بر امنیت ملی، کنفرانس بین‌المللی امنیت، پیشرفت و توسعه پایدار مناطق مرزی، سرزمینی و کلان‌شهرها، راهکارها و چالش‌ها با محوریت پدافند غیرعامل و مدیریت بحران، تهران

14. IPCC. (2001): Climate Change 2001, scientific basis, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
15. Ghil, M and R Vautard (1991): Interdecadal Oscillations and the Warming Trend in Global Temperature Time Series, Science, 199, 1065-1068.
16. North, G.R, and K, Y, Kim (1995): Detection of Forced Climate Signals, Part II: Simulation results, Journal of climate, 6, 409-417.
17. Pasquini, A.I., K.L. Lecomte, E.L. Piovano and P. J. Depetris. (2006). Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. Q. Int. 158(1): 127-139.
18. Schlesinger, M. E and N. Ramankutty (1994): An oscillation in the global climate system of period 65-70 years, Nature, 360, 330-333.
19. Sueyvers. R,(1990) . on the Statistical Analysis of Series of Observation, wmo, no 415, pp 2 – 15.
20. Turkesh, M (1996): Spatial and Temporal Analysis of Annual Rainfall Variations in Turkey, International Journal of climatology, 16.
21. Yue, S., P. Pilon and G. Cavadias. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. J. Hydrol. 259: 254-271.