

بررسی تأثیر پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی آجی جای بر تغییرات تراز آب دریاچهی ارومیه با استفاده از مدل ترکیبی موجک-من کندال

وحید نورانی^۱

نرگس آزاد*^۲

مهسا قاسمزاده^۳

الناز شرقی^۴

چکیده

هدف از این مقاله تعیین روند و بررسی ارتباط سری‌های زمانی بلندمدت تراز سطح آب دریاچهی ارومیه و دیگر پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی حوضه‌ی شامل بارش، رواناب، دما و رطوبت نسبی، در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون من-کندال و تبدیل موجک گسسته است. آزمون من-کندال و من-کندال دنباله‌ای برای ترکیب‌های مختلف زیر سری‌های حاصل از تبدیل موجک گسسته، جهت تعیین زیر سری زمانی جزئی که مسئول اصلی تولید روند در سری‌های زمانی است، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد در سری‌های زمانی پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی در مقیاس ماهانه، تناوب ۸ ماهه اصلی‌ترین تناوب در تولید روند است. بعلاوه نتایج حاکی از روند منفی قابل‌ملاحظه‌ای در مقیاس‌های مختلف از سری‌های زمانی سطح آب دریاچه و رواناب است و سری‌های زمانی بارش، دما و رطوبت نسبی در حالت کلی روندهای چشمگیری نداشته‌اند. از نتایج این تحقیق چنین برمی‌آید که در سال‌های اخیر کاهش روند در سری زمانی رواناب نقش اساسی را در خشکی دریاچه ارومیه ایفا کرده است. همچنین براساس نتایج آزمون من-کندال دنباله‌ای، از سال ۱۳۷۷ به بعد، یک روند کاهشی قابل ملاحظه‌ای در هر دو سری زمانی سطح آب و رواناب در مقیاس ماهانه دیده می‌شود. در نهایت روش تحلیل روند سن (Sen) به کار رفته، نتایج به دست آمده از روش آزمون من-کندال بر پایه موجک را تأیید کرد.

کلمات کلیدی: پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی؛ روند؛ آزمون من-کندال؛ تبدیل موجک؛ دریاچهی ارومیه.

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه تبریز (نویسنده‌ی مسئول).

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه تبریز.

۴- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

مقدمه

دریاچه‌ی ارومیه بزرگ‌ترین دریاچه‌ی داخلی ایران و دومین دریاچه‌ی آب شور جهان است. طی سال‌های گذشته تراز سطح آب دریاچه به شدت کاهش یافته و بخش اعظمی از سطح دریاچه به شورزار تبدیل شده است. مشکلات کاهش آب دریاچه از حیث تأثیرات بر محیط انسانی و محیط زیست طبیعی غیرقابل انکار است. شتاب کاهش تراز آب و خشک شدن دریاچه در سال‌های کنونی منجر به بحران جدی زیست محیطی در این منطقه از کشور شده است. دلایل مختلفی، از جمله تغییر در متغیرهای هیدروکلیماتیک، فعالیت‌های انسانی (توسعه‌ی زمین‌های کشاورزی به دلیل افزایش انحراف آب برای آبیاری کشاورزی) و عدم مدیریت مناسب به عنوان عامل عمده این وضعیت اعلام شده است (ایمان‌فر و محبی؛ ۲۰۰۷؛ زرغامی، ۲۰۱۱؛ حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲).

یکی از روش‌های متداول به منظور تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آنها ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی می‌باشند که باعث تغییر فرآیندهای زیست محیطی می‌شوند. افزایش یا کاهش روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی می‌تواند به وسیله‌ی تغییر در عواملی نظیر: بارش، رواناب، دما و در زمینه آب‌های زیرزمینی توصیف شود (پارتال و کوچوک، ۲۰۰۶). بررسی روند در سری زمانی هیدرولوژیکی می‌تواند در تفسیر رابطه بین فرآیندهای هیدرولوژیکی و تغییرات محیطی در مناطق مورد مطالعه کمک مؤثری داشته باشد.

امروزه روش‌های آماری مختلفی نظیر آزمون T، آنالیز رگرسیون^۱، ضریب همبستگی پیرسون^۲ روش اسپیرمن^۳، والد-ولفowitz^۴ و آزمون من-کندال^۵ (MK) برای بررسی روند در سری‌های زمانی وجود دارد اما آزمون من-کندال معمول‌ترین روش شناخته شده است (نورانی و همکاران، ۲۰۱۵). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. همچنین این روش دارای محاسبات ساده است و در مقابل داده‌های مفقوده زیاد حساس نبوده با انعطاف عمل می‌کند (پارتال و کوچوک^۶، ۲۰۰۶). از جمله کاربردهای روش من-کندال می‌توان به مطالعه‌ی میرعباسی و دین‌پژوه (۱۳۸۹) اشاره نمود که در آن روند جریان رودخانه‌های شمال غرب ایران را در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه با روش من-کندال مورد آزمون قرار دادند. نتایج نشان داد که جریان رودخانه‌های شمال غرب

1- Regression Analysis

2- Pearson Correlation Coefficient

3- Spearman

4- Wald-Wolfowitz

5- Mann-Kendall

6- Partal and Kucuk

ایران در مقیاس سالانه در همه‌ی ایستگاه‌ها روند نزولی دارند. فتحیان و همکاران (۲۰۱۴) با مطالعه بر روی حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه از سه روش متداول ناپارامتریک من-کندال، اسپیرمن و آزمون T سن^۱ برای تخمین روند سری‌های زمانی در مقیاس‌های فصلی و سالانه دما، بارش و جریان مربوط به ۹۵ ایستگاه در سراسر حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه استفاده کردند. نتایج حاکی از افزایش روند معنی‌داری در دما در سراسر حوضه و همچنین وجود روند کاهشی کلی در جریان‌های حوضه مخصوصاً با شدت بیشتری در پایین دست است.

بررسی روند در یک سری زمانی یکی از ویژگی‌های مهم آن به شمار می‌آید. با این حال تمامی آزمون‌های متداول تعیین روند (مثل کندال و من-کندال) بر اساس فرض ایستا بودن سری‌های زمانی و حافظه‌دار نبودن آنها بنا شده‌اند (قهرمان، ۱۳۹۲). در حالی که اغلب پدیده‌های علوم زمین دارای خصوصیات نایستا و حاوی پدیده‌های دوره‌ای (متناوب) مختلفی هستند که در زمان‌های تناوب مختلف روی می‌دهند. با توجه به ماهیت غیرخطی، عدم قطعیت و عدم صراحت زیاد و ویژگی‌های متغیر زمانی و مکانی در سیستم‌های هیدرولوژیکی، روش‌های آماری برای تحلیل روند در آنها کامل به نظر نمی‌رسد. در نتیجه برای مطالعات روند فرآیندهای هیدرولوژیکی یک گزینه، استفاده از آزمون من-کندال در ترکیب با روش‌ها یا مدل‌های دیگر می‌تواند باشد (مک‌بین و مطیعی^۲، ۲۰۰۶). یکی از روش‌های ریاضی که اخیراً در زمینه‌ی تحلیل روند در سری‌های زمانی بسیار مفید شناخته شده است، روش تبدیل موجک می‌باشد (وانگ^۳، ۲۰۱۱). موجک‌ها توابع ریاضی هستند که تحلیل سری‌های زمانی و روابط آنها را در شکل مقیاس-زمان که شامل متغیرها و غیرثابت‌ها است ارایه می‌دهد (آداموسکی و همکاران^۴، ۲۰۰۹). تحلیل موجکی استفاده از فاصله‌های زمانی طولانی مدت را برای اطلاعات دارای فرکانس پایین و پریودهای کوتاه‌تر را برای اطلاعات دارای فرکانس بالا ارایه می‌دهد. تحلیل موجکی قادر به نمایش جنبه‌های مختلف داده‌های متفاوت، نقاط شکست و ناپیوستگی‌ها می‌باشد که ممکن است دیگر روش‌های تحلیل سیگنال آن‌ها را نشان ندهند. از آنجا که موجک‌هایی که در تبدیل موجک مورد استفاده قرار می‌گیرند شکل نامتقارن و بی‌قاعده دارند، بنابراین آن‌ها برای تحلیل سیگنال‌هایی که حاوی تغییرات ناگهانی و ناپیوستگی‌های موضعی هستند مناسب می‌باشند (نورانی و همکاران، ۲۰۱۵). پارتال و کوجوک (۲۰۰۶) در مطالعات خود بر روی بارش کل سالانه در منطقه‌ی مارمارای ترکیه، برای اولین بار روند موجک^۵ (W-T) را ارایه کردند که با استفاده از تبدیل موجک گسسته^۶ (DWT) و آزمون من-کندال

1- Sen's T

2- McBeen and Motiee

3- Wang

4- Adamowski

4- Wavelet Trend

5- Discrete Wavelet Transform

اصلی‌ترین دوره‌ی تناوبی را که مسئول اصلی تولید روند در سری زمانی است، تعیین کردند. نالی و همکاران^۱، (۲۰۱۲) از روش ترکیب آزمون روند من-کندال و تبدیل موجک گسسته و همچنین تحلیل من کندال دنباله‌ای، برای داده‌های جریان متوسط مناطق کبک و آنتاریو استفاده کردند تا روند و پریودهای اصلی در تولید روند سری زمانی جریان را پیدا کنند. نتایج ترکیبی از روندهای مثبت و منفی را نشان داد اما روندهای مثبت واضح‌تر بودند. نورانی و همکاران (۲۰۱۵) از ترکیب آزمون من-کندال و تبدیل موجک برای یافتن روندهای پیچیده در داده‌های رواناب و بارش در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در حوضه‌ی تامپابای استفاده کردند. آزمون من-کندال و من-کندال دنباله‌ای را برای ترکیب‌های مختلفی از تبدیل موجک گسسته استفاده کردند تا تناوبی را که مسئول ایجاد روند در سری‌های زمانی است، تعیین نمایند.

هدف اصلی از این مطالعه تحلیل روندهای سری‌های زمانی تراز آب دریاچه‌ی ارومیه، بارش، رواناب، رطوبت نسبی و دما در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه به منظور تعیین مهم‌ترین جزء پریودیک با استفاده از ترکیب تبدیل موجک گسسته و آزمون روند من-کندال است. در این مطالعه به عنوان نوآوری، از این ابزار برای بررسی تأثیر و اندرکنش پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی روی تراز آب دریاچه استفاده شده است. علاوه بر این برای تعیین نقطه‌ی شروع و تغییر روندهای پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی از آزمون من-کندال دنباله‌ای استفاده شد. تحلیل داده‌های ماهانه، فصلی و سالانه در این تحقیق این اجازه را می‌دهد که تغییرات سریع و آرام مجموعه داده‌های مورد استفاده بررسی شود.

مواد و روش‌ها

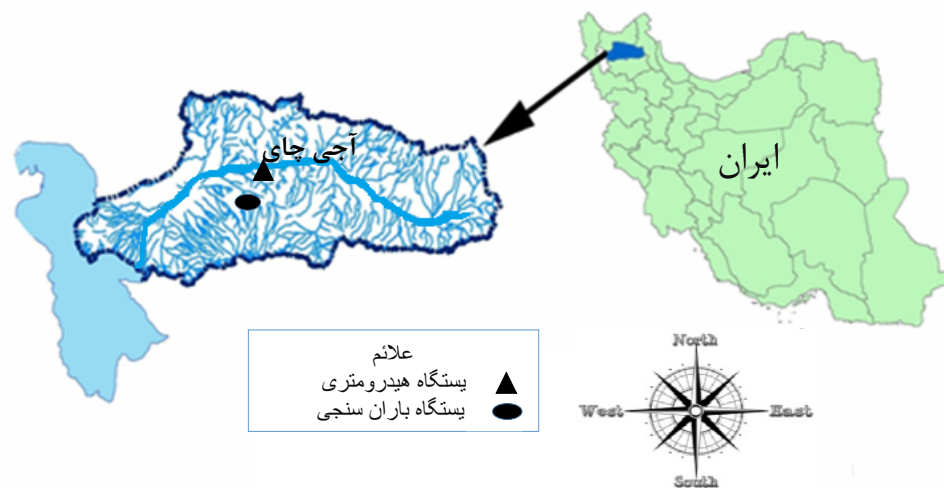
- موقعیت جغرافیایی محدوده تحقیق

دریاچه‌ی ارومیه بین دو استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی و از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۳۷ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۶ درجه طول شرقی قرار گرفته است. این دریاچه ۲/۵۹ میلیارد مترمکعب حجم در سال آبی ۹۴-۹۳ داشته است. ایستگاه هیدرومتری انتخاب شده برای مطالعه‌ی حاضر در منطقه‌ی ونیاری روی آبی‌چای و در قسمت غربی دریاچه‌ی ارومیه قرار دارد. معیار برای انتخاب این ایستگاه بالا بودن تغییرات ناشی از دخالت انسانی در این منطقه و همچنین بالا بودن کیفیت و طول داده‌های این ایستگاه می‌باشد. برای داده‌های بارش، دما و رطوبت نسبی، ایستگاه هواشناسی تبریز انتخاب شده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

1- Nalley et al.,

داده‌های تحقیق

داده‌های تراز آب دریاچه، بارش، دما، رطوبت نسبی و رواناب در بازه‌ی زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۲ از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی و سازمان هواشناسی تبریز دریافت شدند. در جدول (۱) مشخصات آماری سری‌های زمانی مورد مطالعه آورده شده است.

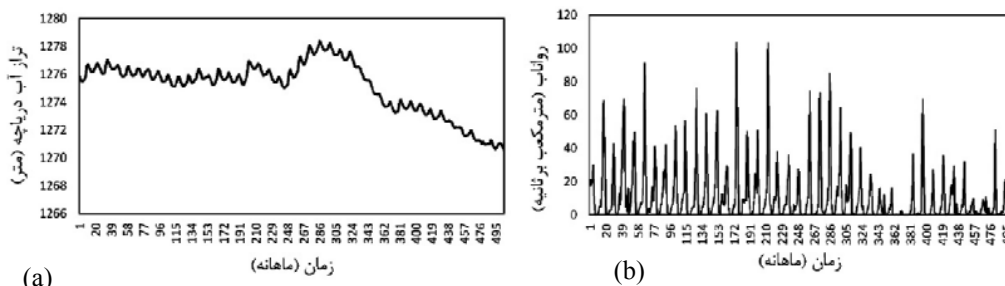


شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول (۱) مشخصات آماری سری‌های زمانی ماهانه مورد مطالعه

سری زمانی	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار
رواناب (m^3/S)	۱۰۳/۴۰	۰/۰۰	۱۰/۸۶	۱۷/۱۲
بارش کل (mm)	۱۳۸/۶۰	۰/۰۰	۲۱/۹۷	۲۱/۶۷
دما ($^{\circ}C$)	۲۸/۳۰	-۱۰/۲۰	۱۲/۳۷	۱۰/۰۵
رطوبت نسبی (%)	۸۳/۸۸	۲۴/۰۰	۵۱/۹۲	۱۴/۹۵

با توجه به اینکه هدف تحقیق حاضر یافتن روند موجود در سری‌های زمانی بود و به همین منظور از مجموعه داده‌ها در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه استفاده شد. شکل (۲) نشان‌دهنده‌ی سری زمانی داده‌ها رواناب و تراز آب دریاچه‌ی ارومیه در مقیاس ماهانه است. با دقت به سری‌های زمانی مشاهده می‌شود پریودیک بوده و دارای دوره‌های متناوب می‌باشند. حتی در سری زمانی سطح آب روند به وضوح مشاهده می‌شود، همین امر مبین نایب بودن سری‌های زمانی بوده و لذا برای تحلیل سری‌های زمانی استفاده از تبدیل موجک در کنار آزمون من-کندال می‌تواند گزینه‌ی مناسبی باشد.



شکل (۲) نمودار داده‌های ماهانه از سال ۱۳۹۲-۱۳۵۰: (a) تراز آب دریاچه، (b) رواناب، (c) بارش کل

- روش انجام کار

در این مقاله به منظور بررسی اندرکنش و ارتباط پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی و سری زمانی تراز آب دریاچه ارومیه، سری‌های زمانی در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه تحلیل گردیدند. بدین جهت ابتدا سری‌های زمانی، توسط تبدیل موجک گسسته به یک زیر سری تقریب و چند زیر سری جزئی تجزیه و سپس به هر کدام از زیر سری‌های زمانی اصلی، زیر سری‌های جزئی و ترکیب زیر سری‌های جزئی با زیر سری تقریب، آزمون من-کندال اعمال گردید.

- تبدیل موجک

تبدیل موجک یک روش جدید برای تحلیل زمان-فرکانس سیگنال‌های غیرایستا است. این تبدیل انعطاف‌پذیری بین مقیاس زمان و فرکانس را که در تبدیل فوری وجود نداشت، فراهم می‌کند. موجک‌ها امکان تحلیل سیگنال‌ها را در سطوح مختلف از مقیاس زمان فراهم می‌آورند. از آنجایی که در کارهای هیدروکلیماتولوژیکی اغلب سری‌های زمانی گسسته هستند بنابراین اکثراً از تبدیل موجک گسسته برای جداسازی سری‌های زمانی هیدروکلیماتولوژیکی استفاده می‌شود. برای سری زمانی گسسته x_i ، تبدیل دودویی موجک به صورت رابطه‌ی (۱) بیان می‌شود (نورانی و همکاران ۱۳۹۴):

$$T_{m,n} = 2^{-m/2} \sum_{i=0}^{N-1} \psi(2^{-m}i - n) x_i \quad (1) \text{ رابطه‌ی}$$

که در رابطه‌ی (۱)، m, n اعداد صحیح، N طول سری زمانی و $T_{m,n}$ ضریب موجک است و معکوس آن به صورت رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود:

$$x_i = \bar{T}(t) + \sum_{m=1}^M \sum_{n=0}^{M-m-1} T_{m,n} 2^{-m/2} g(2^{-m} - n) \quad (2) \text{ رابطه‌ی}$$

در صورتی که M طوری انتخاب شده که $N = 2^M$. (نورانی و همکاران ۲۰۱۴):

$$x_i = \bar{T}(t) + \sum_{m=1}^M W_m(t) \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

در رابطه‌ی (۳)، \bar{T} زیر سری تخمین از مرتبه M و W_m ها زیرسری زمانی جزئی از مراتب $m = 1, 2, 3, \dots, M$ هستند. به بیان دیگر، هریک از زیر سری‌ها، یک دوره‌ی تناوب از سری اصلی را شامل می‌شوند که خواص همان دوره را بیان می‌کنند. از این رو در انتخاب تعداد زیر سری‌ها و یا به عبارتی درجه‌ی تجزیه‌ی یک سری بایستی تعداد تناوب موجود و یا محتمل در سری زمانی را ملاک انتخاب قرار داد (نورانی و همکاران، ۱۳۹۴).

– آزمون من-کندال و من کندال دنباله‌ای

از بین آزمون‌های ناپارامتری آزمون من-کندال بهترین انتخاب برای بررسی روند یکنواخت در سری‌ها است (نورانی و همکاران، ۲۰۱۵). آماره آزمون من-کندال (S) برای سری داده‌ها که مجموع علامت‌های تفاضلات متوالی مشاهدات می‌باشد، به صورت زیر تعریف می‌شود (پاندا و همکاران ۲۰۰۷):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad , \quad \forall 1 \leq i < j \leq n \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

که X_j مقدار داده j ام، n تعداد داده‌ها و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت است. وقتی $n \geq 10$ باشد، آماره S تقریباً به طور نرمال توزیع شده و دارای میانگین صفر و انحراف معیار زیر است:

$$V(S) = \frac{\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n \sum_{t_i} (t_i-1)(t_i+5) \right]}{18} \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

که t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام است. آماره‌ی آزمون MK (Z-MK) که دارای توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ است، به صورت زیر تعریف می‌شود (پاندا و همکاران، ۲۰۰۷):

$$Z = \begin{cases} \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی (۶)}$$

فرض صفر (عدم وجود روند در سطح معنی‌داری α) به شرطی که $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1+\alpha/2}$ باشد، پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت این فرض رد و فرض دیگر پذیرفته می‌شود. با توجه به اینکه شرط استفاده از این آزمون‌ها عدم وجود خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها است. بدین منظور اگر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول معنی‌دار باشد، لازم است با روش پیش سفید کردن، اثر خودهمبستگی از سری داده‌ها حذف شود (کومر و همکاران^۱، ۲۰۰۹).

همچنین آزمون من‌کندال دنباله‌ای $U(t)$ برای نشان دادن تغییرات روند نسبت به زمان استفاده می‌شود. $U(t)$ شبیه به مقادیر $Z - MK$ می‌باشد که متغیر نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار واحد است که حول محور صفر نوسان می‌کند و برای داده‌ها سری از ابتدا تا انتها، محاسبه می‌گردد. $U(t)$ دنباله پیشرو می‌باشد و دنباله‌ی پسرو $U'(t)$ همانند $U(t)$ محاسبه می‌شود. با این تفاوت که نقطه‌ی شروع داده‌ها از آخر سری‌های زمانی در نظر گرفته می‌شود. نقطه تقاطع منحنی‌های $U(t)$ و $U'(t)$ نقطه‌ی تغییر روند در متغیر مورد بررسی انتخاب می‌شود (جهان‌دیده و شیروانی، ۱۳۹۱).

بحث و نتایج

همچنان که در قسمت مواد و روش بیان شد. سری‌های زمانی پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی با استفاده از تبدیل موجک گسسته به زیر سری‌های تقریب و جزئی تجزیه و سپس با توجه به ضرایب خودهمبستگی مرتبه اول سری‌های زمانی، آزمون من-کندال مناسب جهت تحلیل سری‌ها اعمال شد. همچنین در تحقیق حاضر، آزمون من-کندال دنباله‌ای برای تعیین زمان تقریبی شروع روند سری‌های زمانی مورد استفاده قرار گرفت و در پایان از روش سن برای تأیید (رد) نتایج حاصل از آزمون من-کندال استفاده گردید. در ادامه نحوه‌ی اعمال مراحل ذکر شده و نتایج حاصل از آنها، بیان می‌شود.

- تجزیه سری‌های زمانی اصلی با استفاده از تبدیل موجک گسسته

در گام اول از مطالعه، سری‌های زمانی پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه، توسط تبدیل موجک گسسته در نرم‌افزار متلب (MATLAB) به زیر سری‌هایی تجزیه شدند. در این راستا دو نکته قابل توجه است: الف) نوع موجک مادر مورد استفاده، ب) انتخاب سطح تجزیه.

در این مطالعه از موجک مادر دوپچی^۲ دو (db2) برای تجزیه سیگنال‌ها کمک گرفته شد چرا که این نوع موجک مادر به طور گسترده در مطالعات هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و موجک‌های db پشتیبانی

1- Kumar et la.,

2- Daubechies

کامل از سری‌های زمانی را ارائه می‌دهند که نشان‌گر این است که این موجک‌ها توابع پایه‌ای غیر صفر در طول یک بازه‌ی معین دارند. در تحلیل‌های روند، سطح تجزیه نیز به اندازه‌ی انتخاب نوع موجک مادر نقش اساسی را بازی می‌کند. بدین منظور رابطه‌ی (۷) برای تعیین حداکثر تعداد سطح تجزیه (عراقی و همکاران، ۲۰۱۵) و رابطه‌ی (۸) برای تعیین حداقل تعداد سطح تجزیه پیشنهاد شده است (نورانی و همکاران، ۲۰۱۴). برای تعیین حداکثر و حداقل سطح تجزیه اعداد به دست آمده از روابط به سمت بالا گرد می‌شوند.

$$M = \frac{\log\left(\frac{n}{2v-1}\right)}{\log(2)} \quad \text{رابطه‌ی (۷)}$$

$$M = \log(n) \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

که در این روابط M تعداد سطح تجزیه، n تعداد داده‌ها در سری‌های زمانی، v بیانگر تعداد ممان‌های حذف شده در موجک دوپچی است که در نرم‌افزار متلب برابر با شماره‌ی نوع db انتخاب می‌شود. در این مطالعه سری‌های زمانی، در مقیاس‌های مختلف ماهانه، فصلی و سالانه به ترتیب در سطح‌های ۵، ۴ و ۳ تجزیه شدند که سطوح انتخابی میانگین نتایج به دست آمده از دو رابطه‌ی (۷) و (۸) می‌باشند. از تجزیه یک سیگنال توسط تبدیل موجک گسسته ضرایب جزئی و تقریب حاصل می‌شوند. ضرایب تقریب (A) نشان‌گر ضرایب تبدیل موجک با وضوح درشت می‌باشند و D_1, D_2, \dots, D_M ضرایب جزئی می‌باشند که هر کدام از جزءهای D_m پریودهای خاصی از سری زمانی اصلی را ارائه می‌کند. در داده‌های ماهانه D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 از سمت چپ به ترتیب بیانگر پریودهای ۲ ماهه، ۴ ماهه، ۸ ماهه، ۱۶ ماهه و ۳۲ ماهه و در مقیاس فصلی، جزءهای D_1, D_2, D_3, D_4 از سمت چپ به ترتیب بیانگر پریودهای ۶ ماهه، ۱۲ ماهه، ۲۴ ماهه و ۴۸ ماهه است به همین طریق، برای سالانه نیز می‌توان پریودهای مشخص را در نظر گرفت.

– اعمال آزمون من-کندال بر روی اجزای حاصل از تبدیل موجک

برای تعیین دوره‌ی تناوب مؤثر در سری زمانی دو شرط در نظر گرفته می‌شود الف) آماره‌ی Z-MK هر یک از اجزای جزئی (که جزء تقریبی به آن اضافه شده) با Z-MK سری زمانی اصلی مقایسه می‌شود تا نزدیک‌ترین مقادیر به هم تعیین گردد. ب) نمودار من-کندال دنباله‌ای برای هر یک از اجزای جزئی همراه با سری زمانی اصلی رسم می‌شود و این نمودارها با هم مقایسه می‌شود تا جزئی را که نمودار من-کندال دنباله‌ای هماهنگی و همبستگی نسبتاً بیشتری با سری زمانی اصلی را داشته باشد انتخاب گردد. با توجه به اینکه آزمون من-کندال به داده‌های خود همبسته حساس است، بدین منظور در ابتدا ضرایب خودهمبستگی

مرتب‌ی اول برای سری‌های زمانی محاسبه می‌گردد که این کار با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شده است. جدول (۲) مقادیر همبستگی معنی‌دار را در خصوص سری‌های زمانی اصلی نشان می‌دهد.

جدول (۲) مقادیر همبستگی مرتبه اول سری‌های زمانی

داده	داده‌های ماهانه	داده‌های فصلی	داده‌های سالانه
تراز سطح دریاچه	*۰/۹۹۱	*۰/۹۷۱	*۰/۹۰۶
رواناب	*۰/۶۰۱	۰/۰۰۲	*۰/۵۷۵
بارش	*۰/۲۹۵	*۰/۲۵۵-	*۰/۱۸۸
دما	*۰/۸۴۰	۰/۰۰۹	*۰/۳۶۳
رطوبت	*۰/۷۵۹	۰/۰۳۸	*۰/۳۹۸

علامت * نشانگر ضرایب معنی‌دار در سطح معنی‌داری ۵٪

با توجه به جدول (۲)، ضرایب خودهمبستگی مرتبه‌ی اول سری‌های زمانی اصلی، در مقیاس‌های ماهانه و سالانه معنی‌دار می‌باشند. همچنین ضرایب خودهمبستگی مرتبه‌ی اول علاوه بر سری‌های زمانی اصلی برای سایر سری‌های زمانی حاصل از تبدیل موجک گسسته و مدل‌های ترکیبی آنها محاسبه گردید؛ بنابراین در صورت معنی‌داری ضریب خودهمبستگی، آزمون من‌کنندال اصلاح شده و در غیر این صورت آزمون من-کنندال معمولی (MK) جهت شناسایی روند بر روی سری‌های مختلف اعمال گردید. نتایج تحلیل سری‌های زمانی در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه به ترتیب در جداول (۳)، (۴) و (۵) نشان داده شده‌اند. در این جداول از بین ترکیبات مختلف $A + D_m$ (m برابر با شماره جزء مورد نظر) ترکیباتی که مقادیر آماره‌ی Z من-کنندال (Z-MK) آنها به سری زمانی اصلی نزدیک‌تر است، به صورت پررنگ نمایش داده شده‌اند.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، میزان همبستگی نمودار من-کنندال دنباله‌ای هر یک از اجزای جزئی (که جزء تقریبی به آن اضافه شده) با سری زمانی اصلی، محاسبه و با هم مقایسه می‌شوند تا جزئی را که نمودار من-کنندال دنباله‌ای آن هماهنگی و همبستگی نسبتاً بیشتری با سری زمانی اصلی داشته باشد انتخاب گردد. در بررسی روند موجود در هر یک از پدیده‌های هیدروکلیماتولوژیک در مقیاس ماهانه، مقادیر ضریب همبستگی بین نمودارهای من-کنندال دنباله‌ای هر یک از اجزای جزئی (که جزء تقریبی به آن اضافه شده) و سری زمانی اصلی در جدول (۶) ارائه شده‌اند.

جدول (۳) مقادیر Z-MK حاصل از اعمال آزمون من-کندال برای ترکیبات مختلف در مقیاس ماهانه

بارش کل	رطوبت	دما	رواناب	تراز سطح دریاچه	داده
-۲/۱۶۵*	-۰/۵۶۶	۱/۷۷۵	-۶/۱۱۷*	-۳۱/۲۱۹*	سری زمانی اصلی
-۲۹/۸۲۹	-۲۶/۲۵۶	۳۰/۸۴۳	-۳۲/۲۷۰	-۳۳/۱۷۶	A_4
۰/۰۹۶	۰/۶۱۵	۰/۲۳۹	-۰/۷۲۵	۰/۲۴۲	D_1
-۰/۰۸۹	۰/۴۸۴	-۰/۳۵۷	۰/۴۲۰	۰/۰۹۹	D_2
-۰/۳۲۳	۰/۱۷۳	-۰/۱۳۰	۰/۹۹۸	۰/۵۶۷	D_3
۴/۹۸۹*	۰/۴۵۷	-۱/۰۱۲	۱/۶۲۵	۱/۱۷۲	D_4
-۵/۲۹۷*	-۱۱/۸۸۵*	۳/۲۷۲*	۰/۹۸۳	-۱/۱۶۶	D_5
-۴/۰۳۶*	-۲/۱۰۳*	۵/۸۳۷*	-۱۲/۷۴۲*	-۳۲/۲۸۸*	$A_5 + D_1$
-۵/۰۷۶*	-۱/۴۴۳	۳/۲۶۲*	-۱۰/۶۳۸*	-۳۱/۷۹۰*	$A_5 + D_2$
-۴/۹۹۲*	-۱/۲۷۰	۲/۱۵۵*	-۱۱/۶۶۷*	-۳۱/۲۹۹*	$A_5 + D_3$
-۱۳/۴۱۲*	-۵/۷۰۴*	۷/۸۵۰*	-۲۳/۷۴۰*	-۳۲/۸۳۸*	$A_5 + D_4$
-۲۶/۹۹۷*	-۱۸/۰۵۹*	۲۳/۶۸۳*	-۳۰/۸۲۴*	-۳۳/۰۷۳*	$A_5 + D_5$

جدول (۴) مقادیر Z-MK حاصل از اعمال آزمون من-کندال برای ترکیبات مختلف در مقیاس فصلی

بارش کل	رطوبت	دما	رواناب	تراز سطح دریاچه	داده
-۱/۶۵۰	-۰/۳۹۴	۱/۲۶۱	-۳/۵۷۰*	-۱۶/۳۶۱*	سری زمانی اصلی
-۱۶/۶۵۵	-۸/۲۷۲	۱۶/۲۶۲	-۱۸/۱۳۰	-۱۸/۵۵۳	A_4
۰/۲۵۵	۰/۳۳۸	۰/۳۶۰	-۰/۰۵۰	-۰/۳۷۱	D_1
۰/۵۵۹	۰/۴۱۶	-۰/۴۵۱	-۰/۲۸۱	۰/۲۸۱	D_2
-۰/۳۱۸	-۰/۸۳۰	۰/۵۴۸	۰/۸۱۱	-۰/۴۸۴	D_3
۳/۷۱۵*	-۱/۲۶۵	۱/۶۶۹	۰/۷۴۵	-۲/۳۰۸	D_4
-۲/۶۲۷*	-۱/۲۲۳	۴/۳۶۵*	-۵/۲۸۲*	-۱۷/۶۰۱*	$A_4 + D_1$
-۳/۲۷۴*	-۰/۱۲۲	۱/۲۳۹*	-۵/۴۳۱*	-۱۶/۶۰۵*	$A_4 + D_2$
-۱۰/۳۸۵*	-۵/۷۱۳*	۱۱/۸۲۲*	-۱۵/۶۳۶*	-۱۸/۱۴۹*	$A_4 + D_3$
-۱۳/۴۷۴*	-۹/۲۹۲*	۱۳/۹۳۶*	-۱۷/۲۲۸*	-۱۸/۳۹۶*	$A_4 + D_4$

جدول (۵) مقادیر Z-MK حاصل از اعمال آزمون من-کندال برای ترکیبات مختلف در مقیاس سالانه

بارش کل	رطوبت	دما	رواناب	تراز سطح دریاچه	داده
-۲/۳۸۴*	-۱/۵۶۱	۳/۹۴۲*	-۴/۸۱۹*	-۷/۸۷۴*	سری زمانی اصلی
-۸/۹۹۷*	-۶/۵۲۶*	۸/۴۵۸*	-۸/۷۰۵*	-۸/۶۳۷*	A_3
۰/۱۲۴	۰/۳۰۳	-۰/۳۴۸	-۰/۴۳۸	-۰/۲۱۳	D_1
-۰/۳۰۳	-۰/۶۶۳	-۰/۱۳۰	۰/۰۳۴	۰/۰۵۶	D_2
۱/۲۶۹	-۰/۵۰۵	۰/۷۹۷	-۰/۶۸۵	۰/۸۲۰	D_3
-۳/۳۱۶*	-۱/۶۹۱	۴/۵۰۴*	-۵/۳۸۵*	-۸/۱۴۳*	$A_3 + D_1$
-۳/۶۰۵*	-۲/۹۷۶*	۵/۷۴۰*	-۶/۷۷۳*	-۸/۱۸۸*	$A_3 + D_2$
-۶/۹۰۸*	-۲/۵۰۵*	۷/۵۱۴*	-۶/۹۹۷*	-۸/۲۵۵*	$A_3 + D_3$

علامت * نشانگر روندهای معنی‌دار در سطح معنی‌داری ۵٪

جدول (۶) مقادیر ضریب همبستگی بین نمودارهای من-کندال دنباله‌ای برای هر یک از اجزای جزئی (که جز تقریبی به آن افزوده شده) و سری زمانی اصلی در مقیاس ماهانه

ترکیب مدل	تراز سطح دریاچه	رواناب	بارش	دما	رطوبت
$A_5 + D_1$	۰/۹۶۶	۰/۹۶۳	۰/۸۱۵	۰/۸۱۴	۰/۸۸۲
$A_5 + D_2$	۰/۹۸۲	۰/۹۵۷	۰/۶۷۸	۰/۸۵۳	۰/۸۶۷
$A_5 + D_3$	۰/۹۹۵	۰/۹۶۵	۰/۸۹۲	۰/۹۳۳	۰/۹۵۰
$A_5 + D_4$	۰/۹۶۴	۰/۹۷۰	۰/۸۶۷	۰/۷۴۰	۰/۸۲۲
$A_5 + D_5$	۰/۹۷۲	۰/۹۳۱	۰/۷۸۶	۰/۷۳۰	۰/۸۵۰

با توجه به جداول (۳) تا (۵) مقادیر Z-MK سری زمانی سطح آب در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه به ترتیب برابر $31/219$ و $16/361$ و $7/874$ است که بیانگر روند منفی قابل ملاحظه‌ای است و با بزرگ‌تر شدن مقیاس از ماهانه تا سالانه، این روند کاهش می‌یابد مقادیر Z-MK برای هر یک از اجزای جزئی (به تنهایی) کم بوده و این در حالی است که بعد از اضافه شدن جزء تقریبی به آنها این مقادیر افزایش می‌یابد و معنی‌دار نیز می‌شود که این امر نشان‌گر این است که بسیاری از مؤلفه‌های روند در جزء تقریب موجود می‌باشند. در مقیاس ماهانه از بین ترکیب‌های $A + D_j$ ترکیب $A_5 + D_3$ با Z-MK برابر $31/299$ و در مقیاس فصلی $A_4 + D_2$ با Z-MK برابر $16/605$ و در مقیاس سالانه $A_3 + D_1$ با Z-MK برابر $8/143$ دارای نزدیک‌ترین مقدار به سری زمانی اصلی تراز سطح آب دریاچه می‌باشند. بررسی نتایج حاصل از آزمون من-کندال و همبستگی نمودار حاصل از آزمون من-کندال دنباله‌ای که در جدول (۶) ارائه شده است، نشان می‌دهد که در مقیاس ماهانه تناوب ۸ ماهه در تولید روند موثرتر است.

در مورد سری زمانی رواناب مقادیر Z-MK در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه به ترتیب برابر $6/117$ ، $3/570$ و $4/819$ است که بیان‌گر روندهای منفی معنی‌دار در هر سه مقیاس می‌باشند. از بین ترکیب‌های $A + D_m$ ترکیب $A_5 + D_2$ در مقیاس ماهانه با Z-MK برابر $10/638$ و در مقیاس فصلی و سالانه‌ی ترکیب $A_4 + D_1$ و $A_3 + D_1$ با Z-MK به ترتیب برابر $5/282$ و $5/358$ دارای نزدیک‌ترین مقدار به سری زمانی اصلی مربوطه می‌باشند. بررسی نتایج حاصل از آزمون من-کندال دنباله‌ای نشان می‌دهد که در مقیاس ماهانه، تناوب ۱۶ ماهه بیشترین همبستگی را با سری زمانی اصلی دارد ولی با مقایسه مقادیر Z-MK، واضح است که تناوب ۴ ماهه و ۸ ماهه مؤثر در تولید روند می‌باشند.

در ارتباط با سری زمانی بارش مقادیر Z-MK در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه به ترتیب برابر $2/165$ و $1/650$ و $2/384$ است که بیان‌گر روند منفی معنی‌دار در مقیاس ماهانه و سالانه می‌باشد. از بین ترکیب‌های $A + D_m$ ترکیب $A_5 + D_1$ در مقیاس ماهانه با Z-MK برابر $2/445$ در مقیاس فصلی و سالانه

ترکیب $A_3 + D_1$ و $A_4 + D_1$ با Z-MK به ترتیب برابر ۲/۶۲۷- و ۳/۳۱۶- دارای نزدیک‌ترین مقدار به سری زمانی اصلی مربوطه می‌باشند. در تحلیل سری زمانی دما، مقادیر Z-MK برای سری زمانی اصلی فقط در مقیاس سالانه‌ی روند مثبت معنی‌دار از خود نشان داد، درحالی‌که برای سری زمانی اصلی رطوبت نسبی در هیچ یک از مقیاس‌ها روند معنی‌دار ظاهر نشده است. بررسی نتایج حاصل از آزمون من-کندال دنباله‌ای بر طبق جدول (۶)، برای سری‌های زمانی بارش، دما و رطوبت، بیان می‌کند که در مقیاس ماهانه، تناوب ۸ ماهه مؤثر در تولید روند است.

میرموسوی (۱۳۸۷) روند نزولی برای داده‌های بارندگی ایستگاه تبریز و روند صعودی را برای داده‌های دما همین ایستگاه گزارش کرد. میرعباسی و دین‌پژوه (۱۳۸۹) نشان دادند که جریان رودخانه‌های شمال‌غرب ایران در مقیاس سالانه در همه‌ی ایستگاه‌ها روند نزولی دارند و کمترین شیب خط روند جریان سالانه‌ی مربوط به ایستگاه ونیار است. فتحیان و همکاران (۲۰۱۴)، نیز افزایش روند معنی‌داری در دما را در سراسر حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه گزارش کردند و همچنین نشان دادند که جریان‌های رودخانه‌های واقع در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه، روند کاهشی مخصوصاً با شدت بیشتری در پایین دست دارند.

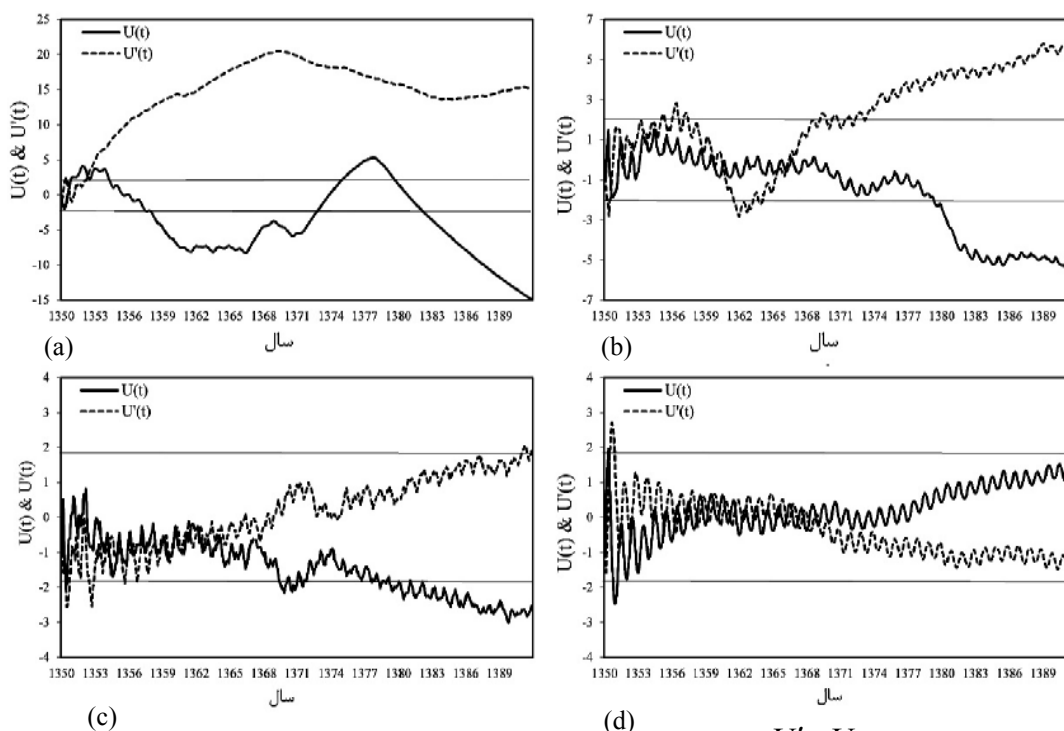
– تعیین نقاط شروع و تغییر روند با استفاده از آزمون من-کندال دنباله‌ای

در ادامه از آزمون من-کندال دنباله‌ای برای بررسی نقاط عطف تحلیل‌های من-کندال سری‌های زمانی در مقیاس ماهانه استفاده شد. کاربرد مهم آزمون من-کندال دنباله‌ای برای یافتن زمان تقریبی شروع رخداد یک روند می‌باشد. این زمان رخداد نقطه‌ی تقاطع منحنی‌های پیشرو $U(t)$ و پسرو $U'(t)$ آماره‌ی آزمون در نظر گرفته می‌شود (جهان‌دیده و شیروانی، ۱۳۹۱). مقادیر مثبت و منفی $U(t)$ به ترتیب بیانگر یک روند افزایشی و کاهشی می‌باشند. شکل (۳) مربوط به نمودار پسرو و پیشرو سری‌های زمانی (a) تراز سطح آب دریاچه، (b) رواناب، (c) بارش و (d) دما می‌باشند. در مورد سری‌های زمانی تراز سطح آب دریاچه و رواناب، مقادیر $U(t)$ روند نزولی دارد و در دهه‌های اخیر مقادیر منفی را از خود نشان می‌دهد. محل تقاطع دنباله‌های پیشرو و پسرو سری زمانی سطح آب در سال ۱۳۵۲ بوده و رفته‌رفته فاصله‌ی زیادی از هم گرفتند. یک روند کاهشی چشم‌گیری در سال ۱۳۷۷ در سری زمانی سطح آب شروع شده است. در سری زمانی رواناب نیز یک روند کاهشی کلی مشاهده می‌شود ولی از سال ۱۳۷۷ این روند کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد.

در سری زمانی بارش همان‌طور که از شکل (۳c) پیداست یک روند کاهشی از سال ۱۳۷۴ شروع شده که سال ۱۳۷۷ از محدوده خارج شده و معنی‌دار گشته است، با این حال در مقایسه با روند نزولی رواناب، زیاد چشم‌گیر نیست. شکل (۳d) مربوط به سری زمانی ماهانه دما، حاکی از وجود روند افزایشی است ولی از حدود

(+۱/۹۶ و -۱/۹۶) در سطح معنی‌داری ۵٪، تجاوز نکرده است. همچنین در نمودار مربوط به رطوبت نسبی منحنی‌های پیشرو و پسرو آن در داخل محدوده (+۱/۹۶ و -۱/۹۶) بوده و یک کاهش جزئی در داخل محدوده، از سال ۱۳۷۷ به بعد مشاهده می‌شود.

بر طبق یافته‌های داریوش یاراحمدی (۱۳۹۳) بر روی ایستگاه‌های مختلف واقع در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه، دما روندی افزایشی دارد و جهش ناگهانی روند از سال ۱۹۹۳ شروع شده، همچنین جهش و شروع روند کاهش بارش و دبی در سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ همزمان با جهش افزایشی دما و کاهش سطح آب دریاچه را با تأخیر ۴ ساله از سال ۱۹۹۸ گزارش کرده است.



شکل (۳) تغییرات آماری U و U' مربوط به سری‌های زمانی ماهانه: (a) تراز آب دریاچه (b) رواناب (c) بارش کل (d) دما

تغییرات تراز آب دریاچه را می‌توان به عوامل انسانی (تغییر در رواناب) و تغییر اقلیم (تغییر در بارش و دما) مرتبط دانست. مفهوم تغییر اقلیم با نوسان‌های اقلیمی تفاوت اساسی دارد، زیرا نوسان‌های اقلیمی دوره‌ای است و می‌تواند در دوره‌های زمانی مختلف رخ دهد؛ ولی تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده در آب‌وهوای یک منطقه است. حسن‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله‌ی خود تأثیر تغییر اقلیم را در خشکی دریاچه ۶۵٪ و سدسازی را ۲۵٪ گزارش کرده‌اند بر طبق نتایج این مرجع تأثیر تغییر اقلیم بیشتر از سایر عوامل است در صورتی که یاراحمدی (۱۳۹۳) تأثیر عوامل بارش و دما (تغییر اقلیم) را بر نوسانات سطح آب دریاچه ۳۰٪ و

دبی رودخانه‌های منطقه و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی را ۴۲٪ اعلام کرده‌است. همچنین بر طبق یافته‌های این تحقیق نقش عوامل انسانی و پدیده‌های انسان ساخت در کاهش میزان دبی و در نتیجه کاهش تراز آب بسیار مهم‌تر از تغییرات عوامل طبیعی و اقلیمی بوده است. از جمله این عوامل می‌توان به افزایش جمعیت، توسعه کشاورزی و افزایش مصرف مازاد آب، سدسازی، تغییر الگوی کشت از کشاورزی دیم به باغات پر مصرف اشاره نمود.

- بررسی روند پارامترها در مقیاس سالانه با استفاده از روش سن^۱

آزمون‌های من-کندال و ضریب همبستگی اسپیرمن معمول‌ترین روش‌های بررسی روند در مجموعه‌ی داده‌هاست. در بسیاری از سری‌های هیدرولوژیکی نیز این دو شیوه برای بررسی روند مورد استفاده قرار گرفته است اما یو و وانگ^۲ (۲۰۰۲) نشان دادند که توانایی این آزمون‌های رتبه‌بندی شده به سطح معنی‌داری در نظر گرفته شده، بزرگی روند، اندازه‌ی نمونه و تعداد متغیرها در سری زمانی بستگی دارد و با افزایش اندازه‌ی نمونه قدرت آنها افزایش و با افزایش تعداد متغیرها در سری زمانی توانایی این آزمون‌ها کاهش می‌یابد. برای غلبه بر این مشکلات در مطالعه‌ی حاضر از روش جدید ارائه شده توسط سن (۲۰۱۲) کمک گرفته شده است. این شیوه نیازمند فرضیات محدودکننده نیست و برای نمونه‌هایی با اندازه‌های متفاوت، سری‌های زمانی با ساختار همبستگی متوالی و توابع توزیع احتمال غیرنرمال معتبر است. برای این منظور سری‌های زمانی اصلی سالانه در دوره‌ی مطالعاتی به دو سری با محدوده‌های برابر تقسیم می‌شوند و سپس نمودار نقطه‌ای این زیر سری‌ها که به صورت صعودی یا نزولی مرتب شده در امتداد خط ۱:۱ در مقابل هم رسم می‌شوند.

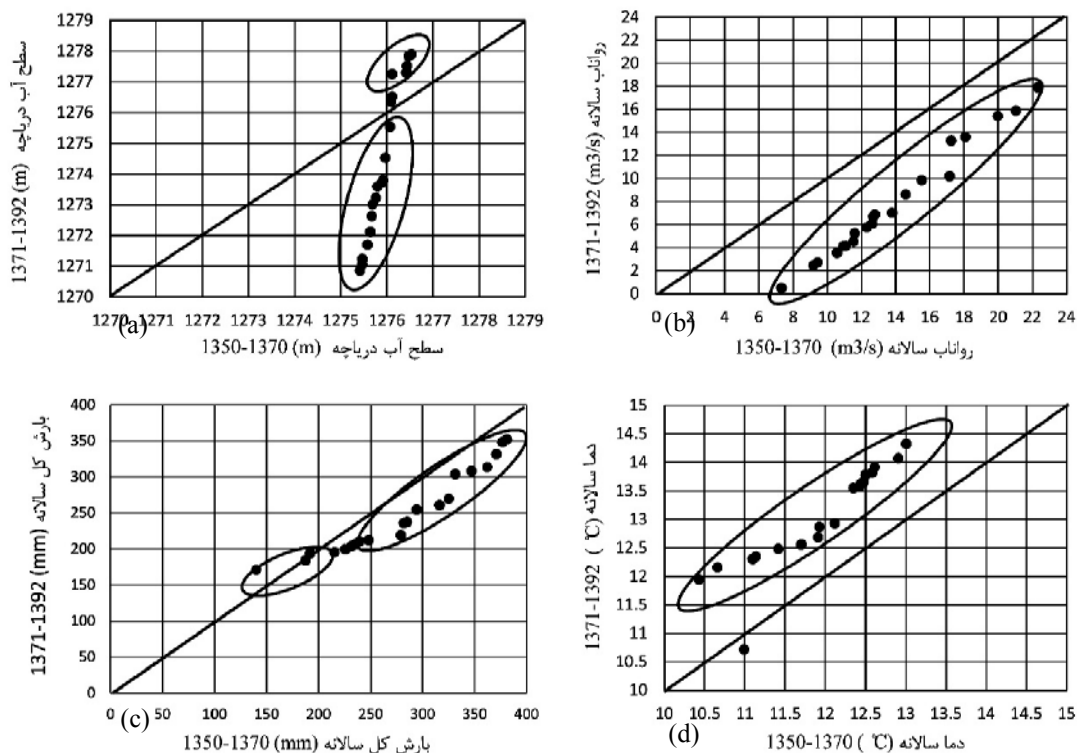
شکل (۴a) نمودار نقطه‌ای سری زمانی سطح آب در مقیاس سالانه را نشان می‌دهد که در مقادیر پایین، داده‌ها فاصله زیادی را از خط ۱:۱ گرفته‌اند که بیانگر روند کاهشی قابل ملاحظه‌ای در مقدار پایین است؛ در مقادیر بالا، تعدادی اندکی از داده‌ها در مجاورت و بالای خط ۱:۱ مشاهده می‌شود. شکل (۴b) در مجموع روند منفی قابل ملاحظه‌ای را در طول دوره‌ی آماری ۱۳۹۲-۱۳۵۰ نشان می‌دهد که این با یافته‌های آزمون روند من-کندال همخوانی دارد. هرچه مقادیر آماره‌ی Z-MK بیشتر باشد در نمودار نقطه‌ای رسم شده به روش سن، نقاط فاصله بیشتری از خط ۱:۱ می‌گیرند و روند موجود به وضوح دیده می‌شود.

با توجه به جداول (۳) تا (۵) مقدار آماره‌ی Z-MK برای سری‌های زمانی بارش، رواناب، دما و رطوبت نسبی به ترتیب برابر ۲/۳۸۴- و ۴/۸۱۹-، ۳/۴۹۲، ۱/۱۵۶- است، انتظار می‌رود که در شکل (۴) روند منفی

1- Sen

2- Yue and Wang

در نمودار نقطه‌ای رسم شده به روش سن برای سری زمانی رواناب بیشتر مشهود باشد و همچنین در سری زمانی دما نمودار نقطه‌ای روند مثبت را نشان دهد (شکل ۴d) که با توجه به نتایج این انتظار برآورده شده است.



شکل (۴) نمودار نقطه‌ای به روش سن مربوط به سری‌های زمانی: (a) تراز آب دریاچه (b) رواناب (c) بارش کل (d) دما

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، برای بررسی روند و اندرکنش پدیده‌های هیدروکلیماتولوژیکی در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه از ترکیب روش موجک-من‌کندال بر روی داده‌های تراز آب دریاچه، رواناب، بارش، رطوبت و دما در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در ایستگاه‌های منتخب حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه استفاده شد.

با توجه به نتایج حاصل از ترکیب روش موجک-من‌کندال و من‌کندال دنباله‌ای برای سری‌های زمانی پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی در مقیاس ماهانه، تناوب ۸ ماهه مؤثر در تولید روند می‌باشد. نتایج تحلیل سطح آب دریاچه‌ی ارومیه همان‌طور که انتظار می‌رفت، روند منفی قابل ملاحظه‌ای از خود نشان داد.

در این مطالعه تحلیل سری‌های زمانی دما در طول ۴۲ سال نشان‌دهنده‌ی روند مثبت افزایشی و در مورد بارش و رطوبت این روند منفی است ولی با توجه به نتایج، تغییرات این پارامترها و در نتیجه میزان تأثیر آنها بر روی سطح آب دریاچه به مراتب کمتر از تأثیر کاهش رواناب بر روی سطح آب دریاچه می‌باشد. همچنین بر طبق نتایج آزمون من-کندال دنباله‌ای، یک روند کاهشی چشمگیری که از سال ۱۳۷۷ شروع شده، در هر دو

سری زمانی سطح آب و رواناب دیده می‌شود، و در سری زمانی بارش نیز از همین سال یک روند کاهش‌ی مشاهده می‌شود ولی در مقایسه با روند کاهش‌ی تراز سطح آب دریاچه و رواناب، زیاد ملموس نیست و می‌توان نتیجه گرفت که شروع روند کاهش‌ی در سطح آب دریاچه هم زمان با شروع کاهش روند رواناب است و کاهش در میزان رواناب تاثیر مستقیم بر روی نوسانات سطح آب دریاچه گذاشته است.

بر طبق مطالب ذکر شده نقش عوامل انسانی و پدیده‌های انسان ساخت در کاهش میزان دبی و در نتیجه کاهش تراز آب بسیار مهم‌تر از تغییرات عوامل طبیعی و اقلیمی بوده است. در نهایت آزمون سن بکار رفته در این مطالعه نتایج به دست آمده از آزمون من-کندال را تأیید کرد که این نکته بیانگر صحت روش استفاده شده برای تحلیل سری‌های زمانی هیدروکلیماتولوژیکی در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه است.

برای تکمیل تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود روش ارائه شده بر روی ایستگاه‌های مختلف واقع در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی و کردستان اعمال و نتایج با یکدیگر مقایسه گردد تا علاوه بر سهم پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی، مناطق و استان‌هایی که دارای بیشترین تأثیر روی تغییرات دریاچه‌ی ارومیه داشته‌اند نیز شناسایی گردد. همچنین می‌تواند تأثیر و اندرکنش دیگر پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی همچون تبخیر و سطح آب زیرزمینی بر روی تراز آب دریاچه توسط روش ارائه شده مورد تحلیل واقع گردد.

منابع

- جهان‌دیده، م، و شیروانی، ا. (۱۳۹۱)، «تحلیل روند برای زیر سری‌های زمانی بارش در استان فارس»، مجله‌ی مهندسی آب، صص ۷۳-۸۴.
- قهرمان، ب. (۱۳۹۲)، «استفاده از دو آزمون ناپارامتریک برای تشخیص روند در یک سری زمانی دارای حافظه»، انجمن علوم و مهندسی منابع آب، شماره‌ی ۳، صص ۱۴-۲۳.
- میرعباسی نجف‌آبادی، ر. و یعقوب دین‌پژوه (۱۳۸۹)، «تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های شمال غرب ایران در سه دهه‌ی اخیر»، نشریه‌ی آب‌وخاک، جلد ۲۴، شماره‌ی ۴، صص ۷۵۷-۷۶۸.
- میرموسوی، ح. (۱۳۸۷)، «مطالعه‌ی نوسانات دما و بارش سالانه در منطقه‌ی شمال غرب ایران»، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۶۶، صص ۸۷-۱۰۰.
- ورنی، و، رنجبر، س. و توتونچی، ف. (۱۳۹۴)، «بررسی تغییرات فرآیندهای هیدرولوژیکی با استفاده از معیار موجک-آنتروپی، مطالعه‌ی موردی: دریاچه ارومیه»، نشریه‌ی مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۵، شماره‌ی ۳، صص ۷۵-۸۶.
- یاراحمدی، د. (۱۳۹۳)، «تحلیل هیدروکلیماتولوژیکی نوسان‌های سطح آب دریاچه‌ی ارومیه»، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره‌ی ۴۶، شماره‌ی ۱، صص ۷۷-۹۲.
- Adamowski, K., Prokoph, A. & Adamowski, J. (2009), "Development of a New Method of Wavelet Aided Trend Detection and Estimation", Hydrological Processes, Vol. 23, No. 18, PP. 2686-2696.
- Araghi, A., Mousavi Baygi, M., Adomowski, J., Malard, J., Nalley, D. & Hasheminia, S. M. (2015), "Using Wavelet Transforms to Estimate Surface Temperature Trends and Dominant Periodicties in Iran Based on Gridded Reanalysis Data", Atmospheric Research, Vol. 155, PP. 52-72.
- Eimanifar, A. & Mohebbi, F. (2007), "Urmia Lake (Northwest Iran): A Brief Review", Saline Systems, Vol. 3, No. 5, PP. 1-8.
- Fathian, F., Morid, S. & Kahya, E. (2015), "Identification of Trends in Hydrological and Climatic Variables in Urmia Lake Basin, Iran", Theoretical and Applied Climatology, Vol. 119, PP. 443-464.
- Hamed, K.H. & Roa, A.R. (1998), "A Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data", Journal of Hydrology, Vol. 204, PP.182-196.

- Hassanzadeh, E., Zarghami, M. & Hassanzadeh, Y. (2012),” **Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling**”, Water Resources Management, Vol. 26, PP. 129–145.
- Kendall, M.G. (1975), **Rank Correlation Measures**, Charles Griffin, London.
- Kumar, S., Merwade, V., Kam, J. & Thurner, K. (2009), “**Streamflow Trends in Indiana: Effect of Long Term Persistence, Precipitation and Subsurface Drains**”, Journal of Hydrology, Vol. 374, PP. 171-183.
- Mann, H.B. (1945), “**Nonparametric Tests Against Trend**”, *Econometrica*, Vol. 13, PP. 245–259.
- McBeen, E. & Motiee, H. (2006), “**Assessment of Impacts of Climate Change on Water Resources? A Case Study of the Great Lake of Noeth America**”, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, Vol. 3, No. 5, PP. 3183-3209.
- Nalley, D., Adamowski, J. & Khalil, B. (2012), “**Using Discrete Wavelet Transforms to Analyze Trends in Streamflow and Precipitation in Quebec and Ontario (1954–2008)**”, *Journal of Hydrology*, Vol. 475, PP. 204–228.
- Nourani, V., Hosseini Baghanam, A., Adamowski, J. & Kisi, O. (2014), “**Applications of Hybrid Wavelet-Artificial Intelligence Models in Hydrology: A Review**”, *Journal of Hydrology*, Vol. 514, PP. 358-377.
- Nourani, V., Nezamdoost, N., Samadi, M. & Daneshvar Vousoughi, F. (2015), “**Wavelet-Based Trend Analysis of Hydrological Processes at Different Timescales**”, *Journal of Water and Climate Change*, Vol. 6, No. 3, PP. 414-435.
- Panda, K., Mishra, A., Jena, S.K., James, B.K. & Kumar, A. (2007), “**The Influence of Drought and Anthropogenic Effects on Groundwater Levels in Orissa, India**, *Journal of Hydrology*, Vol. 343, PP. 140-153.
- Partal, T. & Kahya, E. (2006), **Trend Analysis in Turkish Precipitation Data**, *Hydrological Processes*, Vol. 20, PP. 2011-2026.
- Partal, T. & Küçük, M. (2006), **Long-term Trend Analysis Using Discrete Wavelet Components of Annual Precipitations Measurements in Marmara Region (Turkey)**, *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 31, PP. 1189–1200.
- Wang, W., Hu, S. & Li, Y. (2011), “**Wavelet Transform Method for Synthetic Generation of Daily Streamflow**”, *Water Resources Management*, Vol. 25, No. 1, 41-57.
- Yue, S. & Wang, C.Y. (2002), **Assessment of the Significance of Sample Serial Correlation by the Bootstrap Test**, *Water Resources Management*, Vol. 16, No. 1, PP. 23-35.
- Zarghami, M. (2011), “**Effective Watershed Management; Case Study of Urmia Lake, Iran**”, *Lake and Reservoir Management*, Vol. 27, No. 1, PP. 87–94.