

بررسی تأثیر پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی روی سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از معیار ارتباط موجکی

دریاچه ارومیه اخیراً با کاهش تراز سطح آب مواجه شده است. بررسی تأثیر عوامل اقلیمی و تغییرات آنها می‌تواند راهگشای بررسی رفتار این سیستم آبی باشد. تحقیق حاضر، از ارتباط موجکی جهت سنجش تأثیر پارامترهای هیدروکلیماتولوژی روی سطح آب دریاچه ارومیه استفاده می‌کند که در پردازش سیگنال، درحقیقت، معیاری از ارزیابی همبستگی بین دو سری زمانی در حالت موضعی و ارتباط احتمالی بین دو فرآیند در فضای فرکانس-زمان می‌باشد و نشان‌گر مقدار همبستگی و ارتباط فرکانسی بین سری زمانی دو فرآیند مختلف می‌باشد. برای این منظور، از داده‌های ماهانه بارش و رواناب ایستگاه سعیدآباد و داده‌های دما، رطوبت نسبی و تبخیر ایستگاه ليقوان واقع در شهر تبریز استفاده شده است. نتایج این پژوهش بیانگر این می‌باشد که از بین پارامترهای هیدروکلیماتولوژی، سری زمانی رواناب با مقدار ارتباط موجکی ۰/۹-۱ و در بازه‌های زمانی مؤثر بیشتر نسبت به سایر پارامترها، دارای بیشترین تأثیر روی نوسانات سطح آب می‌باشد و تأثیر سری‌های زمانی دما، بارش، رطوبت نسبی و تبخیر با دوره‌های زمانی مؤثر کمتر و با متوسط ارتباط موجکی ۰/۸-۰/۹ در اولویت‌های بعدی نسبت به رواناب قرار دارد.

واژگان کلیدی: پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی، سری زمانی نایستا، ارتباط موجکی، دریاچه ارومیه.

مهسا قاسم‌زاده*

دانشجوی کارشناسی ارشد
مهندسی و مدیریت منابع آب،
دانشکده عمران، دانشگاه تبریز
پست الکترونیک:
Ghasemzade.Mahsa@gmail.com

نرگس آزاد

دانشجوی کارشناسی ارشد
مهندسی و مدیریت منابع آب،
دانشکده عمران، دانشگاه تبریز
پست الکترونیک:
narges.azad1991@gmail.com

الناز شرقی

استادیار گروه آب، دانشکده
عمران، دانشگاه تبریز
پست الکترونیک:
elnaz_sharghi@yahoo.com

۱- مقدمه

کرده و نگرانی‌هایی را به‌وجود آورده است. پس از بررسی پژوهش‌های انجام گرفته چنین برداشت می‌شود که مطالعه در مورد تأثیر عوامل اقلیمی، سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی (متغیرهای مستقل) و غیره، می‌تواند سهم هریک از آنها را روی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه (متغیر وابسته) تفکیک کند [۱].

در سال‌های اخیر، یافتن معیار مناسب برای بررسی تغییرات هیدروکلیماتولوژیکی یکی از بحث‌های مهم مهندسی آب بوده است و تحقیقاتی برای بررسی این تغییرات با استفاده از روش‌های مختلف اعم از آزمون‌های پارامتریک مانند تحلیل رگرسیون، آزمون‌های ناپارامتریک مثل آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن^۱، آزمون مان-کندال^۲

دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران است که تغییر در آن به‌صورت سیستمی و زنجیروار، تأثیرات گسترده‌ای در وضعیت اقلیمی و شرایط اقتصادی-اجتماعی و هیدرولوژی خواهد گذاشت. به‌همین علت، بررسی و پایش تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه و میزان ارتباط آن با تغییرات اقلیمی و هیدرولوژی منطقه، شایان اهمیت می‌باشد. نوسان‌های سطح و حجم آب دریاچه ارومیه و کاهش مساحت آن طی سال‌های گذشته، توجه بسیاری را به خود معطوف

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹، بازنگری: ۱۳۹۵/۶/۱۲، پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۳.

^۱- Spearman's ratio
^۲- Man-Kendall Test

موجکی، آنالیزهای همبستگی خطی که به آشکارسازی همبستگی‌های متناوب بین دو پدیده کمک می‌کنند را افزایش می‌دهد؛ که وجود این همبستگی به‌وضوح در آنالیزهای تبدیل ارتباط موجک نشان داده می‌شود [۱۳]. معیار ارتباط موجکی در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارد. برای مثال از این معیار می‌توان در بررسی تأثیر شاخص‌های اتمسفریک مانند AO و NAO روی شرایط یخ دریای بالتیک [۱۴] و یا در مطالعات فرآیندهای ژئوفیزیک و سری زمانی آنها استفاده کرد [۹]. علاوه بر این کاربردها، هندرسون و همکاران، از معیار تبدیل ارتباط موجکی در کنار فهم حرکت آب زیرزمینی، برای پمپاژ از سطح آب زیرزمینی نیز بهره بردند [۱۵]. هولمان و همکاران نیز نایستایی سطح آب زیرزمینی را به‌خاطر تغییرات الگوی اتمسفریک به‌کمک معیار تبدیل ارتباط موجکی، تشخیص دادند [۱۰]. سه سال بعد انجی و چان، با گسترش مفهوم ارتباط موجکی کاربرد ارتباط موجک جزئی^{۱۰} و چندگانه^{۱۱} در ژئوفیزیک را نشان دادند [۱۶] و در نهایت، ژوفنگ و همکاران، به مفید بودن ارتباط موجکی برای ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی سه‌بعدی پی بردند [۱۷].

از آنجایی که بحران اخیر زیست محیطی و خشک شدن دریاچه ارومیه هم‌اکنون یکی از بزرگترین مخاطرات زمین‌شناختی کشور محسوب می‌گردد، تحقیقاتی روی شناخت علل کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه ارومیه، انجام گرفته است؛ در این خصوص، جلیلی و همکاران، با استفاده از روش‌های بررسی روند، تغییر رژیم و آنالیز طیفی به تحلیل سری زمانی دریاچه ارومیه پرداختند و نشان دادند که تراز دریاچه ارومیه دارای روند کاهشی بوده است [۱۸]. نورانی و همکاران، برای سنجش میزان پیچیدگی فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از روش موجک آنتروپی استفاده کرده و

[۲-۴] و یا روش تبدیل موجک بین سری‌های زمانی مختلف آنها صورت گرفته است. عموماً سری‌های زمانی فرآیندهای هیدرولوژیکی نایستا بوده و به‌خاطر قابلیت آنالیز موجک در لحاظ کردن نایستایی و نوسانات فصلی فرآیندهای هیدرولوژیکی، اخیراً تبدیل موجک توسط هیدرولوژیست‌ها مورد توجه و استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، نورانی و همکاران از تبدیل موجک گسسته و روش ناپارامتریک مان-کندال برای آنالیز سری‌های زمانی بارش و رواناب حوضه تامپابای آمریکا استفاده کردند [۵]. فارق، نیز در مورد تبدیل موجک پیوسته^۳ و تبدیل موجک گسسته^۴ و انتخاب موجک مادر^۵ برحسب کاربرد مربوطه تحقیق کاربردی انجام داده است [۶]. پرکیوال و والدن، معرفی بر آنالیزهای موجک و آنالیزهای آماری براساس تئوری موجک انجام داده و مقدمه‌ای از آنالیز سری‌های زمانی در زمینه علوم تجربی، مهندسی و علوم دارایی فراهم آوردند [۷]. همچنین، والنات و گرینستد و همکاران، در مورد آنالیز تبدیل موجک متقابل^۶ و ارتباط موجکی^۷ برای به‌دست آوردن اطمینان و روابط فیزیکی بین سری‌های زمانی تحقیق کردند [۸] و [۹]. به‌طور کلی، تبدیل موجک برای آنالیز سری‌های زمانی نایستا با فرکانس‌های مختلف به‌کار می‌رود [۱۰]، که عمده هدف این آنالیزها جداسازی سیگنال بیان شده توسط تابع زمان t ، به مؤلفه‌هایی با فرکانس‌های مختلف می‌باشد [۱۱]. ماراون و کورتز، نشان دادند که طیف متقابل موجک برای بیان همبستگی بین دو فرآیند (برای مثال، نوسانات ENSO^۸ و NAO^۹) نامناسب به نظر می‌رسد و استفاده از آنالیزهای ارتباط موجکی را پیشنهاد کردند که معیاری برای تشخیص ارتباط احتمالی بین دو فرآیند می‌باشد [۱۲]. به‌عبارت دیگر، ارتباط تبدیل

³⁻ Continuous wavelet transform (CWT)

⁴⁻ Discrete wavelet transform (DWT)

⁵⁻ Mother Wavelet

⁶⁻ Cross wavelet transform (XWT)

⁷⁻ Wavelet Transform Coherence (WTC)

⁸⁻ El-Niño/Southern Oscillation (ENSO)

⁹⁻ North Atlantic Oscillation (NAO)

¹⁰⁻ Partial wavelet coherence (PWC)

¹¹⁻ Multiple wavelet coherence (MWC)

دریاچه ارومیه بزرگترین و شورترین آبگیر دائمی آسیای غربی می‌باشد که از شمال به جنوب کشیده شده و بین مختصات جغرافیایی $37^{\circ} 03'$ تا $38^{\circ} 17'$ عرض شمالی و $44^{\circ} 59'$ تا $45^{\circ} 56'$ طول شرقی قرار دارد. به‌طور میانگین ۱۴۰ کیلومتر طول، در پهن‌ترین نقطه ۴۰ کیلومتر عرض و ۱۷۰۰ کیلومترمربع مساحت و در عمیق‌ترین نقطه، ۱۳ متر عمق و ۲/۵۹ میلیارد مترمکعب حجم (براساس آمار سال آبی ۹۴-۹۳) دارد. حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع است که پیرامون ۳٪ مساحت کل کشور ایران را در برمی‌گیرد. آب این دریاچه بسیار شور بوده و عمدتاً از رودخانه‌های زیرینه‌رود، سیمینه‌رود، گذار، باراندوز، شهرچای، نازلو و زولا تغذیه می‌شود. دریاچه ارومیه دارای ۱۰۲ جزیره است که از سوی سازمان یونسکو به‌عنوان اندوخته طبیعی جهان به ثبت رسیده است.

برای این تحقیق، داده‌های ماهانه بارش و رواناب ایستگاه هیدرومتری سعیدآباد و داده‌های ماهانه دما، رطوبت نسبی و مجموع تبخیر ماهانه از ایستگاه تبخیر سنجی ليقوان در مجاورت ایستگاه سعیدآباد از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ شدند که البته به‌دلیل متفاوت بودن زمان تاسیس، اندک اختلافی در دوره آماری بین پارامترها وجود دارد. از آنجایی‌که تغییرات پارامترهای مختلف اقلیمی و هیدرولوژی و تأثیر آنها بر نوسانات سطح آب، از اهداف این پژوهش است، بدین منظور، مشخصات ایستگاه‌ها و تغییرات آماری این پارامترها در طول دوره آماری بررسی می‌شود (جدول ۱).

دلیل اصلی کاهش پیچیدگی تراز آب دریاچه ارومیه را کاهش پیچیدگی در رواناب یافتند [۱۹]. دلجو و همکاران نیز تأثیر متغیرهای اقلیمی و تغییر آنها در حوضه دریاچه ارومیه را با استفاده از آزمون‌های پارامتریک بررسی کردند و به کاهش متوسط بارش و افزایش متوسط دما، در طول ۴ دهه اخیر پی بردند [۲۰]. همچنین، فتحیان و همکاران، از سه روش ناپارامتریک آماری آزمون مان-کندال، آزمون سن^{۱۲} و ضریب اسپیرمن برای تخمین روند سری زمانی داده‌های هیدرولوژیکی استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده روند افزایشی معنی‌دار در دما و روند کاهشی در رواناب حوضه بود که رواناب در حوضه دریاچه ارومیه به تغییرات دما نسبت به تغییرات بارش حساس‌تر بوده است [۲۱]. نکته‌ای که وجود دارد این است که در بین مطالعات انجام گرفته روی دریاچه ارومیه از معیار ارتباط موجکی برای بررسی پارامترهای هیدرولوژیکی روی سطح دریاچه ارومیه استفاده نشده است، بنابراین تحقیق حاضر در نظر دارد ارتباط عوامل انسانی و عناصر اقلیمی^{۱۳} و هیدرولوژیکی و همچنین تأثیر تغییرات پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی^{۱۴} را در بروز کاهش تراز آب و خشکی دریاچه ارومیه بررسی کند که برای این منظور و جهت بررسی تأثیر تغییرات هیدروژیومورفولوژیکی^{۱۵} روی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه از معیار ارتباط موجکی استفاده می‌شود که به‌عنوان یک نوآوری، استفاده از یک ابزار جدید ریاضی جهت بررسی روند و اندرکنش فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌تواند در مطالعه نوسانات سطح آب مؤثر باشد.

۲- مواد و روش‌ها

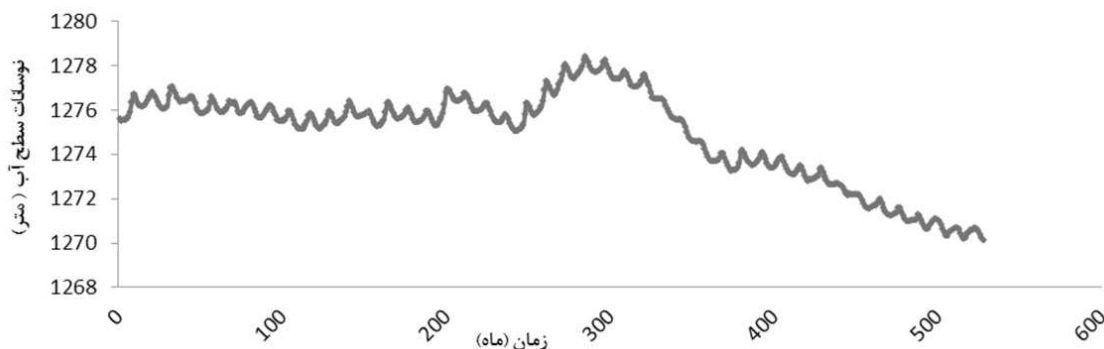
۲-۱- منطقه تحقیق و داده‌های مورد استفاده

12- Sen
13- Climate Factor
14- Hydroclimatological processes
15- Hydrogeomorphological Changes

جدول ۱- نتایج آمار توصیفی پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی منطقه مورد مطالعه.

ایستگاه	مشخصات ایستگاه		میانگین	انحراف معیار	چولگی	دامنه تغییرات
	رودخانه	سعدآباد				
هیدرومتری سعدآباد (۱۳۵۰-۱۳۹۳)	طول جغرافیایی	۴۶/۳۵°	۳۲/۳۱	۳۷/۱۲	۲/۴۳	۲۹۴
	عرض جغرافیایی	۳۷/۵۹°	۰/۳۱	۰/۳۸	۲/۴۵	۳/۰۸
	ارتفاع	۱۸۵۰				
تبخیرسنجی ليقوان (۱۳۶۷-۱۳۹۳)	رودخانه	ليقوان چای	۷/۹۱	۷/۹۶	-۰/۲۷	۳۵/۱۰
	طول جغرافیایی	۴۶/۲۶°	۶۶/۰۶	۱۱/۱۰	۰/۱۳	۵۷
	عرض جغرافیایی	۳۷/۵۰°	۹۲/۷۸	۷۶/۰۰	۰/۱۶	۲۵۰/۳
	ارتفاع	۲۲۰۰				

سری زمانی نوسانات سطح آب (شکل ۱)، دریاچه بین سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰ در بیشترین تراز آبی و در کل دوره، سیر نزولی طی کرده است، بنابراین، برای یافتن ارتباط داده‌های هیدرولوژیکی با نوسانات سطح آب از معیار ارتباط موجکی استفاده می‌شود.



شکل ۱- سری زمانی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه.

برای اینکه مقایسه و بررسی ارتباط بین سری‌های زمانی پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی مختلف به درستی انجام گیرد، قبل از انجام هرگونه مقایسه‌ای، داده‌های اصلی به داده‌های استاندارد شده تبدیل می‌شوند تا میانگین صفر و واریانس واحد داشته باشند [۱۴]. مطابق

تبدیل موجک پیوسته، به دست آوردن یک نمایش کامل زمان-فرکانس از یک رخداد موضعی و موقتی در مقیاس‌های زمانی متفاوت می‌باشد. نمودارهای تبدیل موجک پیوسته برای تشخیص دوره‌هایی که مناطق با طیف موجک بالای ارایه می‌دهند، بررسی می‌شوند. مطابق معادله ۱، با هر موجک مادر دلخواهی مثل موجک مادر مورلت (معادله ۲)، می‌توان تبدیل موجک را برای سری‌های زمانی هر یک از داده‌های هیدرولوژیکی $x(t)$ تخمین زد [۲۳].

$$C_{\psi}^X(a,b) = \int x(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

۲-۲- معیار ارتباط موجکی

در این تحقیق، جهت بررسی ارتباط موجود بین روند و دوره‌های تناوب پارامترهای هیدروکلیماتولوژی و سطح تراز آب دریاچه ارومیه از معیار ارتباط موجکی استفاده گردید. برای این منظور و جهت مقایسه نتایج این بررسی با کارهای قبلی، تبدیل موجک می‌تواند گزینه مناسبی برای آنالیز داده‌های موجود محسوب شود. با استفاده از این تبدیل، تحلیل سیگنال با سرعت و دقت بالا انجام شده و برخلاف دیگر روش‌های آنالیز سیگنال، می‌توان روند، تغییرات ناگهانی، نقاط شکست و ناپیوستگی‌ها و غیره را مشخص کرد [۵]. هدف اصلی

دادند که طیف متقابل موجک برای بیان ارتباط متقابل بین دو فرآیند نامناسب بوده و بدین منظور، آنالیز ارتباط موجکی را پیشنهاد کردند که در پردازش سیگنال درحقیقت یافتن نوعی معیار از همبستگی بین دو سیگنال در فرکانس‌ها و زمان‌های مختلف می‌باشد [۱۲ و ۲۴]. تورنس و وبستر، پیشنهاد کردند ارتباط موجکی با استفاده از تخمین هموار^{۱۷} طیف موجک تعیین شود. طیف موجک هموار $SW_{XX}(a,b)$ و طیف متقابل موجک $SW_{XY}(a,b)$ به صورت زیر تعریف می‌شوند [۲۵]:

$$SW_{XX}(a,b) = \int_{t-\delta/2}^{t+\delta/2} W_{XX}^*(a,b) W_{XX}(a,b) da db \quad (5)$$

$$SW_{XY}(a,b) = \int_{t-\delta/2}^{t+\delta/2} W_{XX}^*(a,b) W_{YY}(a,b) da db \quad (6)$$

که δ ، بیان‌کننده اندازه فیلتر دوبعدی می‌باشد [۲۶]. درنهایت، معیار ارتباط موجکی نیز می‌تواند مشابه ارتباط فوریه به صورت زیر تعریف شود [۲۳]:

$$WC(a,b) = \frac{|SW_{XY}(a,b)|}{\sqrt{|SW_{XX}(a,b)| \cdot |SW_{YY}(a,b)|}} \quad (7)$$

ارتباط موجک، مقداری بین صفر و ۱ اختیار می‌کند و مقدار همبستگی و ارتباط فرکانسی بین سری زمانی دو فرآیند مختلف را نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

آنالیزهای طیف موجک متقابل و ارتباط موجکی، روش‌های قدرتمندی برای بررسی ارتباط موجود بین دو سری زمانی می‌باشند. از تبدیل موجک پیوسته دو سری زمانی، تبدیل موجک متقابل محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده مناطق با قدرت مشترک بالا و فاز رابطه بین آنها می‌باشد. همچنین، از تبدیل موجک پیوسته دو سری زمانی، ارتباط موجکی که بیانگر همبستگی موضعی (محلی) بین دو سری زمانی در فضای فرکانس-زمان

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (2)$$

که Ψ_0 تابع موجک مادر، e تابع نمایی و ω_0 فرکانس بدون بعد و η زمان بدون بعد می‌باشد، همچنین علامت *، به مزدوج مختلط موجک مادر اشاره دارد. پارامتر a ، به‌عنوان فاکتور مقیاس بیان می‌شود که اگر $a > 1$ باشد، سری زمانی در طول محور زمان منبسط و اگر $a < 1$ باشد، سری زمانی در طول محور زمان منقبض می‌شود. همچنین پارامتر b ، به‌عنوان فاکتور موقعیت به کار گرفته می‌شود و اجازه مطالعه و بررسی سیگنال $x(t)$ در اطراف زمان b را می‌دهد. می‌توان از مفهوم تبدیل موجک برای بررسی ارتباط بین دو سری زمانی مختلف مربوط به دو فرآیند هیدرولوژیکی مجزا استفاده کرد. برای این منظور، طیف موجک $W_x(a,b)$ از سیگنال $x(t)$ مشابه آنالیز فوریه و با قدرمطلق ضرایب موجک‌اش تعریف می‌شود:

$$W_x(a,b) = C_{\psi}^X(a,b) C_{\psi}^{*X}(a,b) = |C_x(a,b)|^2 \quad (3)$$

این طیف موجک می‌تواند در زمان نیز متوسط‌گیری شود که به‌عنوان طیف قدرت موجک متوسط کلی^{۱۶} تعریف می‌شود و اجازه تعیین مشخصات مقیاس را می‌دهد [۲۲]. مشخصات دوره تناوب نوسانات با استفاده از طیف موجک کلی تعیین می‌شود. مشابه طیف متقابل فوریه طیف متقابل موجک $W_{XY}(a,b)$ بین دو سیگنال مختلف هیدرولوژیکی $x(t)$ و $y(t)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_{XY}(a,b) = C_{\psi}^X(a,b) C_{\psi}^{*Y}(a,b) \quad (4)$$

که $C_{\psi}^X(a,b)$ و $C_{\psi}^{*Y}(a,b)$ به ترتیب، ضرایب موجک سیگنال پیوسته $x(t)$ و مختلط ضریب موجک $y(t)$ می‌باشند. تکنیک متوسط‌گیری طیف موجک، برای بیان کوواریانس متقابل سیگنال‌های $x(t)$ و $y(t)$ و توزیع آن در مقیاس‌های مختلف استفاده می‌شود. ماراون و کورتز نشان

¹⁷- Smooth estimate

¹⁶- Global averaged Wavelet Power Spectrum

دوره تناوب ۱۶-۸ ماه مطابق شکل ۲، به دست آمده و ارتباط نسبتاً پایینی خارج از این دوره‌های تناوب در سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۶۳ در دوره تناوب بین ۴ تا ۸ ماه مشاهده می‌شود. همچنین، وجود ارتباط نسبتاً بالا در دوره‌های تناوب ۳۸-۲۴ ماه، ۱۶-۴ ماه و ۸-۲ ماه به ترتیب بین سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۶۶، ۱۳۸۵-۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱ با مقدار ارتباط موجکی ۰/۸-۰/۹ بین پارامتر رواناب و نوسانات سطح آب مشهود است. تأثیر پارامتر رواناب نیز در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۵۵ با باند فرکانسی ۷۰-۴۰ ماه در اولویت بعدی قرار داشته باشد. می‌توان گفت که تأثیر پارامتر رواناب نسبت به پارامتر بارش روی تغییر تراز آبی دریاچه بیشتر می‌باشد. در نمودار ارتباط موجکی نیز، معنی‌داری آماری در سطح ۵٪ با خطوط ضخیم سیاه رنگ و فاز ارتباط بین مناطق با جهت پیکان‌ها نمایش داده شده است. درحقیقت، تأخیر نسبی بین سری‌های زمانی با استفاده از پیکان‌های فازی بررسی می‌شوند. پیکان‌های به سمت راست نشان‌دهنده هم‌فاز بودن دو سری زمانی و پیکان‌های به سمت چپ بیانگر غیرهم‌فاز بودن آنها می‌باشد، پیکان‌های به سمت بالا یا پایین نیز یعنی یک سری زمانی با زاویه ۹۰ درجه به دیگری منجر می‌شود. جهت پیکان‌ها نشان‌دهنده تأخیر فازی بین هر یک از پارامترهای هیدرولوژیکی و نوسانات سطح آب است. بدین معنی که آیا تغییرات ایجاد شده در پارامترهای هیدرولوژیکی به صورت مستقیم روی نوسانات اثر می‌گذارند یا با یک تأخیر همراه خواهند بود. به‌طور کلی، غیر همسو بودن جهت پیکان‌ها با زاویه تقریبی، بیانگر این واقعیت است که با افزایش میزان بارش و رواناب، نوسانات سطح آب بدون تأخیر زمانی کاهش و با کاهش میزان این پارامترها، نوسانات افزایش می‌یابد. درحقیقت، پارامترهای هیدرولوژیکی بارش و رواناب به‌طور مستقیم و به‌صورت عکس روی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه تأثیر می‌گذارند. طول محدود داده‌های سری زمانی خط‌هایی در ابتدا و انتهای طیف توانی موجک ایجاد می‌کند؛ برای کاهش این خط‌ها از مخروط نفوذ استفاده

است، مشخص می‌شود. جایی که تبدیل موجک متقابل قدرت مشترک بالایی دارد، ارتباط تبدیل موجکی فاز رفتار موضعی از خود نشان داده و یک خروجی قوی به دست می‌دهد که یک ابزار برای تشخیص رابطه احتمالی بین دو سری از داده‌های هیدرولوژیکی می‌باشد [۱۰]. به‌طور کلی، سه بخش اصلی در نمودار WTC وجود دارد:

- دوره تناوب ارتباط موجکی در سطح معنی‌داری ۵٪، که با خطوط ضخیم سیاه‌رنگ نشان داده می‌شود.
- فاز ارتباط بین سری‌های زمانی، که با جهت پیکان‌ها توصیف می‌شود.
- مخروط نفوذ^{۱۸}، که نشان‌دهنده مناطقی از طیف موجک است که تأثیرات لبه‌ها به‌خاطر طول محدود سری زمانی داده‌ها نباید نادیده گرفته شود.

در ادامه، ارتباط متقابل بین پارامترهای هیدرولوژیکی مانند بارش، رواناب، دما، رطوبت نسبی و تبخیر با نوسانات سطح آب بررسی می‌شود تا سهم و ارتباط هر یک از آنها در نوسانات سطح آب مشخص شود.

۳-۱- ارتباط موجکی بارش، رواناب با نوسانات سطح آب

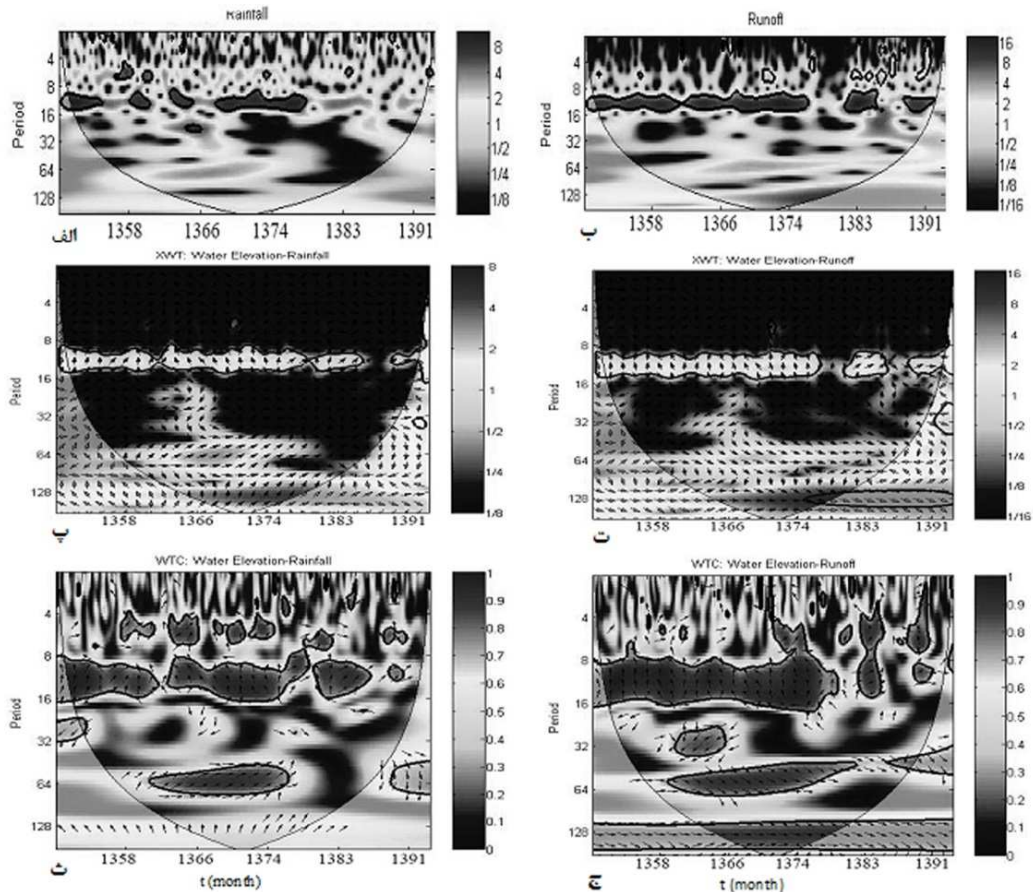
آنالیز تبدیل موجک بین سری‌های زمانی بارش و رواناب با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه در شکل ۲ نشان داده شده است که نشان‌دهنده کوواریانس سری‌های زمانی بارش-رواناب با نوسانات سطح آب می‌باشد. به‌نظر می‌رسد پارامتر بارش در دوره تناوب ۱۶-۸ ماه بین سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۵۱ و پارامتر رواناب در دوره تناوب ۱۶-۶ ماه بین سال‌های آبی ۱۳۸۰-۱۳۵۱ دارای تأثیر بیشتری روی نوسانات سطح آب می‌باشند. همین‌طور، نتیجه مشابهی برای بارش در سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۶۱ با باند فرکانسی ۸۰-۴۶ ماه اما با مقدار تأثیر کمتر نسبت به

¹⁸- Cone Of Influence (COI)

می‌دهند، خطوط ضخیم سیاه‌رنگ نشان‌دهنده سطح معنی‌داری ۰/۵ و خطوط نازک سیاه‌رنگ نشان‌دهنده مخروط نفوذ می‌باشند. همچنین، محیط‌های مشخص شده نشان‌گر مجذور ارتباط موجک می‌باشند و بردارها، تفاوت فاز بین نوسانات سطح آب با (ث) بارش و (ج) رواناب را نشان می‌دهند.

می‌شود و منطقه‌ای از طیف موجک را مشخص می‌کند که ناپیوستگی دو انتهای سری زمانی و تأثیرات لبه‌ها نمی‌تواند نادیده گرفته شود.

لازم به ذکر است که در شکل ۲، محیط‌های مشخص شده دارای واریانس واحد هستند و بردارها تفاوت فاز بین نوسانات سطح آب با بارش و رواناب را نشان



شکل ۲- تبدیل موجک پیوسته بین (الف) بارش و (ب) رواناب؛ تبدیل موجک متقابل بین (پ) بارش و (ت) رواناب با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه. ارتباط تبدیل موجکی و تفاوت فازی (زمان و نحوه تأثیر تغییرات) روی نوسانات بین (ث) بارش و (ج) رواناب با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه.

۲-۳- ارتباط موجکی دما، رطوبت نسبی با نوسانات

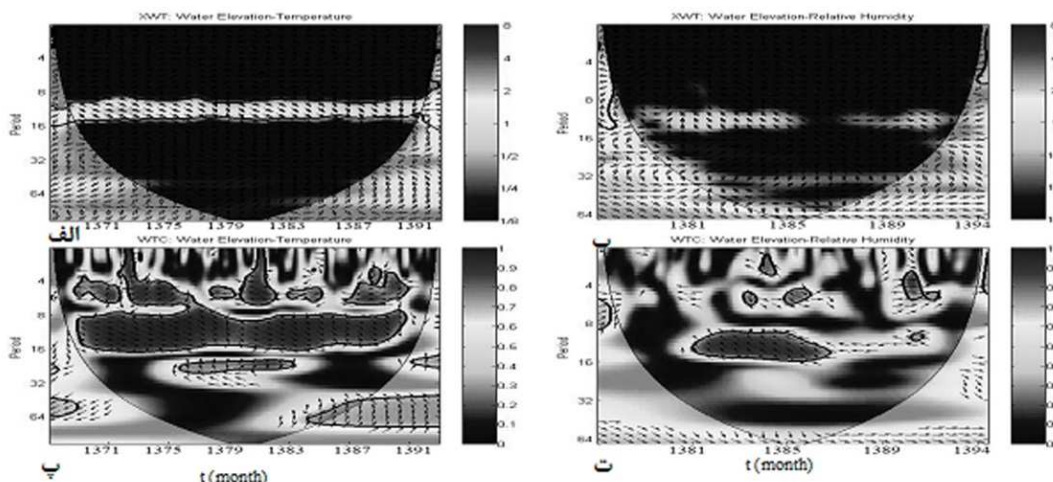
سطح آب

دریاچه می‌باشد، بنابراین خلی در نتایج برداشت شده ایجاد نمی‌شود. بررسی نمودارها نشان می‌دهد که پارامتر دما در باند فرکانسی ۱۶-۸ ماه بین سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۶۹ و پارامتر رطوبت نسبی در باند فرکانسی ۱۶-۸ ماه بین سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۱ روی نوسانات سطح آب دریاچه مؤثرند. در برخی از دوره‌های تناوب نیز مانند ۲۶-۱۹ ماه بین سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۷۶ مقدار ارتباط موجکی ۰/۱۶-۰/۱۷، همبستگی کمتری بین پارامتر دما و تراز آبی

آنالیز موجک بین سری‌های زمانی دما و رطوبت نسبی با تراز آبی دریاچه در شکل ۳ آورده شده است. به دلیل عدم وجود داده‌های بلندمدت دما و رطوبت نسبی، مقیاس این سری‌های زمانی کوتاه‌تر می‌باشد که البته چون هدف پژوهش، بررسی نوسانات موجود در سطح

بیانگر تأخیر زمانی در این تأثیر ناچیز روی تراز آبی دریاچه می‌باشد.

در شکل ۳، محیط‌های مشخص شده نشانگر مجذور ارتباط موجک می‌باشند و بردارها، تفاوت فازی بین نوسانات سطح آب (پ) و دما (ت) رطوبت نسبی را نشان می‌دهند.



شکل ۳- تبدیل موجک متقابل بین الف) دما و ب) رطوبت نسبی با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه. ارتباط تبدیل موجکی و تفاوت فاز بین پ) دما و ت) رطوبت نسبی با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه.

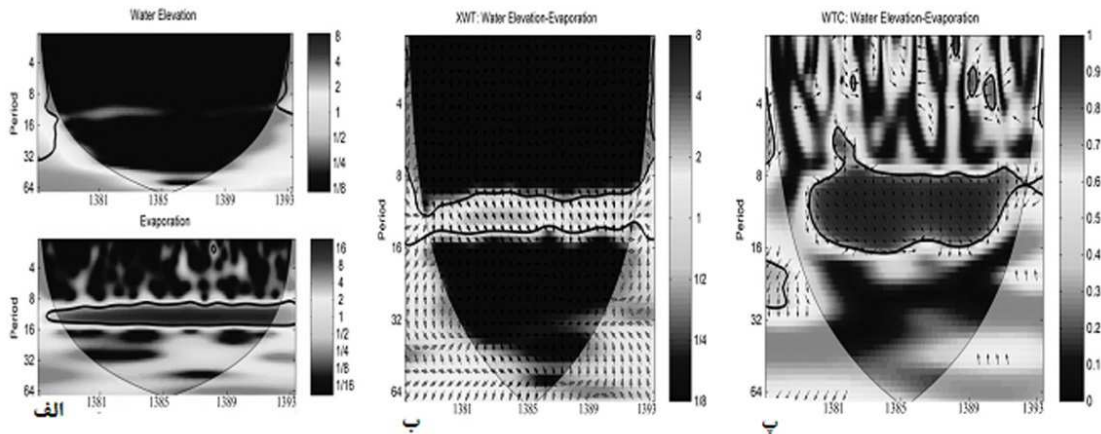
تصادفی می‌باشند. هم‌جهت بودن پیکان‌ها در نمودارهای ارتباط تبدیل موجکی و تبدیل موجک متقابل بین دو سری زمانی، بیانگر این واقعیت می‌باشد که سری زمانی تبخیر، دارای تأخیر زمانی نسبت به سری زمانی سطح آب نمی‌باشد.

محیط‌های مشخص شده دارای واریانس واحد هستند. بردارها تفاوت فازی بین نوسانات سطح آب و مجموع تبخیر ماهانه را نشان می‌دهند؛ در تمام نمودارها، خطوط ضخیم سیاه رنگ نشان‌دهنده سطح معنی‌داری ۰.۵٪ و خطوط نازک سیاه رنگ نشان‌دهنده مخروط نفوذ می‌باشند؛ محیط‌های مشخص شده نشانگر مجذور ارتباط موجک می‌باشند و بردارها، تفاوت فازی بین پ) نوسانات سطح آب و مجموع تبخیر ماهانه را نشان می‌دهند.

دریاچه مشاهده می‌شود. به‌طور کلی، تأثیر چشمگیر دما روی نوسانات سطح آب و همچنین تأثیر پارامتر رطوبت نسبی هرچند در مراتب پایین‌تر، غیرقابل انکار است. همسو بودن جهت بردارها نشان‌دهنده هم‌فاز بودن تغییرات دما و نوسانات سطح آب و وجود پیکان‌های غیر همسو بین رطوبت نسبی و نوسانات سطح آب دریاچه،

۳-۳- ارتباط موجکی تبخیر ماهانه با نوسانات سطح آب

آنالیزهای متقابل موجک و ارتباط موجکی بین مجموع تبخیر ماهانه و نوسانات سطح آب در شکل ۴ نشان داده شده است. باند فرکانسی ۱۶-۸ ماه بین سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۰ و ۱۳۹۳-۱۳۸۹ بیانگر تأثیر تبخیر روی نوسانات در سال‌های اخیر می‌باشد. خارج از این محدوده ارتباط چندانی بین این پارامتر هیدروکلیماتولوژیکی و تغییر تراز آب دیده نمی‌شود. بنابراین، می‌توان گفت تأثیر پارامتر هیدروکلیماتولوژیکی تبخیر روی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه نسبت به سایر پارامترها، کمتر می‌باشد. تفاوت فاز بین این پارامتر و نوسانات سطح آب، توسط جهت پیکان‌های موجود در داخل سطوح معنی‌داری ۰.۵٪ نشان داده شده است که در مناطق با ارتباط موجک زیر ۰/۸ اغلب دارای توزیع



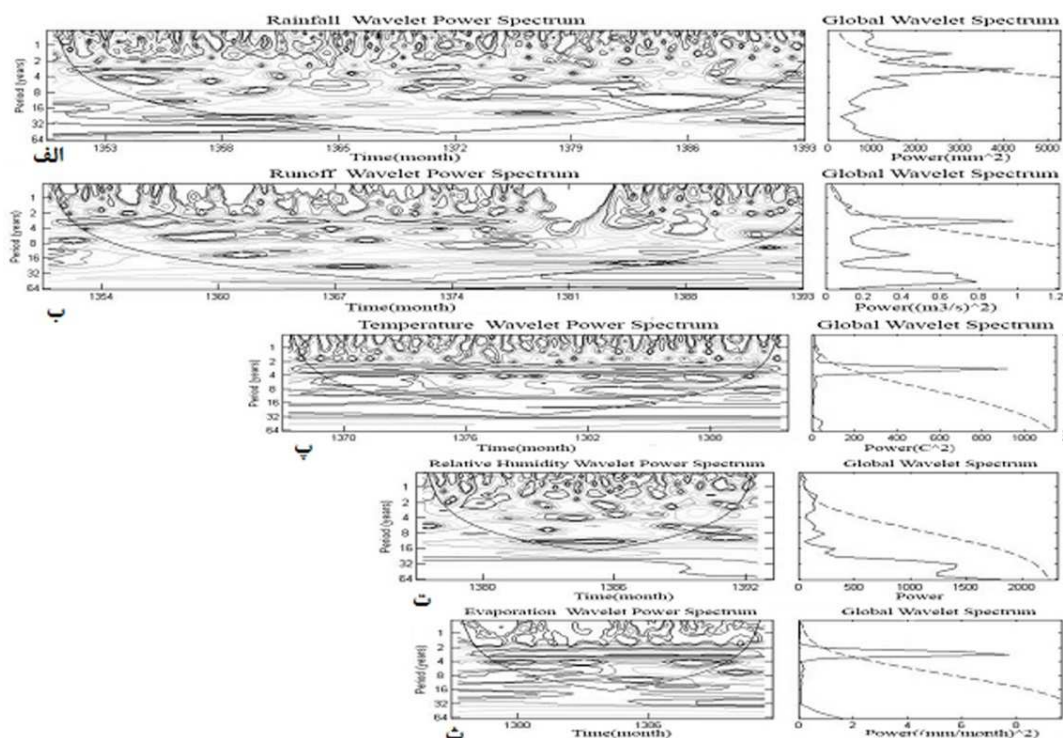
شکل ۴- تبدیل موجک پیوسته از الف) مجموع تبخیر ماهانه-سطح آب؛ تبدیل موجک متقابل بین ب) مجموع تبخیر ماهانه و نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه. ارتباط تبدیل موجکی و تفاوت فازی بین پ) مجموع تبخیر ماهانه و نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه.

فرکانسی ۴-۸ ماه و ۸-۱۶ ماه، رطوبت نسبی در باند فرکانسی ۸-۱۶ ماه و مجموع تبخیر ماهانه نیز در باند فرکانسی ۸-۱۶ ماه در تغییر نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه تأثیر چشمگیری دارند. به‌طورکلی، با استفاده از مقایسه‌های صورت گرفته در جدول ۳، نتایج تأثیر رواناب، دما و در اولویت‌های بعدی تأثیر بارش، رطوبت نسبی و تبخیر در ارتباط با نوسانات سطح آب دریاچه را تأیید می‌کند.

با توجه به نمودارهای تبدیل موجک (شکل‌های ۲ تا ۴)، جدول ۳ و همچنین طیف توانی موجک و توان موجک کلی (شکل ۵) چنین استنباط می‌شود که روابط بین تراز سطح آب و پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی، نایبستا و دارای پیچیدگی بالایی هستند، اما چهار باند فرکانسی اصلی از متغیرها تشخیص داده و آنالیز شده‌اند: ۲-۸ ماه، ۸-۱۶ ماه، ۳۲-۶۴ ماه و ۱۶ ماه. بارش در باندهای فرکانسی ۸-۱۶ ماه و ۶۴ ماه، رواناب در باند فرکانسی ۸-۱۶ ماه، ۳۲ ماه و ۶۴ ماه، دما در باند

جدول ۲- دوره‌های تناوب مشترک بین پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی ایستگاه‌های مطالعاتی استان آذربایجان شرقی و نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از تبدیل ارتباط موجکی بین سری زمانی پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی و تغییرات تراز آب.

پارامتر	دوره تناوب (ماه)	سال	ارتباط موجکی	دوره تناوب (ماه)	سال	ارتباط موجکی	دوره تناوب (ماه)	سال	ارتباط موجکی	دوره تناوب (ماه)	سال	ارتباط موجکی	پارامتر	دوره تناوب (ماه)
بارش	۴-۸	۱۳۶۳-۱۳۶۶	۰/۷-۰/۸	۸-۱۶	۱۳۵۱-۱۳۸۷	۰/۸-۰/۹	۴۶-۸۰	۱۳۶۱-۱۳۷۸	۰/۷-۰/۸					
رواناب	۲-۸	۱۳۸۸-۱۳۹۱	۰/۸-۰/۹	۴-۱۶	۱۳۸۲-۱۳۸۵	۰/۸-۰/۹	۴۰-۷۰	۱۳۶۰-۱۳۶۶	۰/۸-۰/۹	۲۴-۳۸	۱۳۵۱-۱۳۸۰	۰/۹-۱		
دما	۲-۸	۱۳۷۲-۱۳۷۷	۰/۸-۰/۹	۸-۱۶	۱۳۶۹-۱۳۹۲	۰/۹-۱	۴۹-۷۴	۱۳۷۶-۱۳۸۴	۰/۷-۰/۸	۱۹-۲۶	۱۳۶۹-۱۳۹۲	۰/۹-۱		
نم نسبی				۸-۱۶	۱۳۸۱-۱۳۸۷	۰/۸-۰/۹								
تبخیر				۸-۱۶	۱۳۷۹-۱۳۹۲	۰/۹-۱								



شکل ۵- طیف توانی موجک و طیف موجک کلی پارامترهای الف) بارش، ب) رواناب، پ) دما، ت) رطوبت نسبی، ث) تبخیر.

متغیرهای اقلیمی و تغییر آنها در حوضه دریاچه ارومیه را با استفاده از آزمون‌های پارامتریک بررسی کردند و به کاهش متوسط بارش و افزایش متوسط دما، در طول ۴ دهه اخیر پی بردند [۲۰]. فتحیان و همکاران نیز در تحقیقات خود روی روند متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی دریاچه ارومیه گزارش کردند که تأثیر رواناب و دما روی نوسانات سطح دریاچه و همچنین برداشت بیش از حد از منابع آب، می‌تواند در کاهش تراز سطح دریاچه مؤثر باشد [۲۱]. بنابراین، به‌طورکلی، طی مقایسه‌ای که از تأثیر پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی در این پژوهش با دو پژوهش انجام گرفته صورت پذیرفت، نتایج پژوهش حاضر با نتایج به‌دست آمده از آنها مشابهت و مطابقت داشته و تأثیر مهم رواناب و دما در کاهش تراز سطح آب، به تبع آن تأثیر تبخیر، رطوبت نسبی و بارش در تغییرات تراز سطح آب دریاچه ارومیه تأیید می‌شود. اما تفاوت موجود در این پژوهش با دو پژوهش مورد مقایسه دیگر این است که در این پژوهش، علاوه بر یافتن تأثیر هر یک از پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی روی

در پژوهشی که توسط نورانی و همکاران در بررسی تغییرات فرآیندهای هیدرولوژیکی با استفاده از معیار موجک-آنتروپی روی نوسانات سطح دریاچه ارومیه صورت گرفت، علت اصلی کاهش پیچیدگی تراز آب دریاچه ارومیه را کاهش پیچیدگی در رواناب بیان شد [۱۹]. رسولی‌مجد و همکاران، در سال ۱۳۹۳، نیز به بررسی روند تغییرات بلندمدت پارامترهای دما، بارش و دبی رودخانه‌ها، نحوه تغییر آن و شناسایی تغییرات آنها پرداخته و به این نتیجه رسیدند که به‌دلیل عدم مدیریت صحیح منابع آبی در حوضه دریاچه ارومیه و استفاده بیشتر از منابع آبی، هم در دوره‌های خشکسالی و هم بعد از آن، به‌خصوص در بخش کشاورزی، سطوح تحت کشت آبیاری قابل توجهی داشته و در این میان کشت محصولات پرمصرف و عدم رعایت الگوی صحیح کشت، به تخلیه بیش از پیش منابع آبی در این حوضه دامن زده است [۲۶]. در سال ۲۰۱۳، دلجو و همکاران^{۱۹} نیز تأثیر

¹⁹ Delju et al

موجکی بین سری‌های زمانی پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی دما، رطوبت نسبی و مجموع تبخیر ماهانه با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه بررسی شدند.

به‌طورکلی، با استفاده از نتایج به‌دست آمده از ایستگاه هیدرومتری سعیدآباد و تبخیرسنجی ليقوان، میزان تأثیر نوسانات رواناب روی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه در بازه‌های زمانی مورد بررسی، مقدار قابل توجهی است. با توجه به جدول ۳، نتایج حاصل از بررسی ارتباط موجکی سری‌های زمانی بارش، رواناب، دما، رطوبت نسبی و تبخیر با نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که پارامتر بارش به میزان ۲۶/۴٪، پارامتر رواناب به میزان ۲۶/۷۶٪، پارامتر دما به میزان ۲۵/۸٪، پارامتر رطوبت نسبی به میزان ۲/۷۶٪ و در نهایت پارامتر تبخیر به میزان ۶/۱۲٪ در حوضه سعیدآباد روی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه مؤثر می‌باشد.

نوسانات سطح آب دریاچه، با استفاده از این روش، هم فاز ارتباط و هم دوره‌های تناوب مربوطه و هم میزان ارتباط هریک از پارامترها با نوسانات سطح آب دریاچه نیز استخراج شده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نتایج جدیدی از آنالیزهای ارتباط تبدیل موجکی و تبدیل موجک متقابل بین سری‌های زمانی معرفی شد. مفهوم ارتباط موجکی بین دو سری زمانی، همبستگی‌های موضعی بین دو سری زمانی است. به‌منظور تعیین سهم عوامل انسانی و عوامل طبیعی در سطح آب دریاچه ارومیه، ارتباط موجکی بین پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی و نوسانات سطح آب دریاچه ارزیابی شد. برای این منظور، ارتباط موجکی سری زمانی بارش ماهانه و ارتباط موجکی سری زمانی رواناب در حوضه رودخانه سعیدآباد با نوسانات سطح آب و همچنین ارتباط

جدول ۳- درصد تأثیر پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی ایستگاه‌های مطالعاتی روی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه.

منطقه	ایستگاه	حوضه	درصد تأثیر بر نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه
استان آذربایجان شرقی	سعیدآباد	سعیدآباد	بارش (mm) ۲۶/۴۰٪
			رواناب (m ³ /s) ۲۶/۷۶٪
			دما (C°) ۲۵/۸٪
	لیقوان	لیقوان‌چای	رطوبت نسبی (%) ۲/۷۶٪
			تبخیر (mm/month) ۶/۱۲٪

پارامترهای هیدروکلیماتولوژیکی تبخیر و رطوبت نسبی نیز در این نوسانات مؤثر می‌باشند. بنابراین می‌توان کاهش نوسانات و در نتیجه کاهش تراز آب دریاچه ارومیه را متأثر از کاهش رواناب حوضه آبریز بالادست دریاچه ارومیه دانست. با توجه به قرارگیری این دریاچه در یک حوضه آبریز بسته، تنها عوامل بارش مستقیم و رواناب ورودی از آبراهه‌ها و رودخانه‌ها به‌عنوان منابع آب ورودی

برداشت کلی که می‌توان از این بررسی داشت این است که از بین پارامترهای هیدروکلیماتولوژی، بخش مهمی از تغییرات سری زمانی نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه توسط پارامتر رواناب با تأخیر زمانی، پارامتر دما بدون تأخیر زمانی و پارامتر بارش با وجود تأخیر زمانی توجیه می‌شود و به‌طورکلی، افزایش دما بیش از بارندگی در کاهش نوسانات سطح دریاچه مؤثر بوده و به تبع آن،

اخیر را بررسی کرده و سهم هریک در نوسانات تراز سطح آب دریاچه تفکیک شود. می‌توان از همین ابزار روی داده‌های روزانه و سالانه نیز استفاده کرد تا نتایج به‌دست آمده با این نتایج مقایسه شود. به‌علاوه، امکان استفاده از سایر موجک‌های مادر برای تحلیل داده‌ها نیز وجود دارد. همچنین پیشنهاد می‌شود، این کار روی ایستگاه‌های متعدد در استان‌های مجاور دریاچه ارومیه نیز انجام گیرد تا بتوان علاوه بر سهم پارامترهای مؤثر و فرکانس‌های دخیل، سهم هرکدام از استان‌ها را نیز استخراج کرد.

به دریاچه و تبخیر به‌عنوان خروجی از دریاچه به‌حساب می‌آید. لذا کاهش مستمر حجم آب دریاچه و عدم ورود منابع آب کافی به دریاچه به‌منظور جبران و حفظ تعادل آبی آن، به‌عنوان عامل اصلی خشکی دریاچه تلقی می‌گردد. در تکمیل پژوهش حاضر می‌توان پیشنهادهای را برای مطالعات بعدی مطرح نمود. به‌عنوان مثال، سایر عوامل احتمالی دخیل در کاهش تراز سطح آب دریاچه ارومیه مانند عوامل انسانی و تغییر اقلیم در طول سده‌های

مراجع

- [۱]. یاراحمدی، د. (۱۳۹۳). "تحلیل هیدروکلیماتولوژیکی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه"، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، سال ۴۶، صفحه ۷۷-۹۲.
- [2] Kahya, E., & Kalaycı, S. (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289(1), 128-144.
- [3] Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
- [4] Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods; Charles Griffin: London.
- [5] Nourani, V., Nezamdoost, N., Samadi, M., & Vousoughi, F. D. (2015). Wavelet-based trend analysis of hydrological processes at different timescales. *Journal of Water and Climate Change*, 6(3), 414-435.
- [6] Farge, M. (1992). Wavelet transforms and their applications to turbulence. *Annual review of fluid mechanics*, 24(1), 395-458.
- [7] Percival, D. B., & Walden, A. T. (2006). *Wavelet methods for time series analysis* (Vol. 4). Cambridge university press.
- [8] Walnut, D. F. (2002). *An introduction to wavelet analysis*. Birkhauser, Basel, Switzerland.
- [9] Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear processes in geophysics*, 11(5/6), 561-566.
- [10] Holman, I. P., Rivas-Casado, M., Bloomfield, J. P., & Gurdak, J. J. (2011). Identifying non-stationary groundwater level response to North Atlantic ocean-atmosphere teleconnection patterns using wavelet coherence. *Hydrogeology Journal*, 19(6), 1269-1278.
- [11] Bogges, A., Narcowich, F. J. (20012). A first course in wavelets with fourier analysis. Prentice Hall, New York .
- [12] Maraun, D., & Kurths, J. (2004). Cross wavelet analysis: significance testing and pitfalls. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11(4), 505-514.
- [13] Gurley, K., & Kareem, A. (1999). Applications of wavelet transforms in earthquake, wind and ocean engineering. *Engineering structures*, 21(2), 149-167.
- [14] Jevrejeva, S., Moore, J. C., & Grinsted, A. (2003). Influence of the Arctic Oscillation and El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on ice conditions in the Baltic Sea: The wavelet approach. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D21).
- [15] Henderson, R. D., Day-Lewis, F. D., & Harvey, C. F. (2009). Investigation of aquifer-estuary interaction using wavelet analysis of fiber-optic temperature data. *Geophysical Research Letters*, 36(6).
- [16] Ng, E. K., & Chan, J. C. (2012). Interannual variations of tropical cyclone activity over the north Indian Ocean. *International Journal of Climatology*, 32(6), 819-830.

- [17] Fang, Z., Bogena, H., Kollet, S., Koch, J., & Vereecken, H. (2015). Spatio-temporal validation of long-term 3D hydrological simulations of a forested catchment using empirical orthogonal functions and wavelet coherence analysis. *Journal of hydrology*, 529, 1754-1767.
- [۱۸] جلیلی، ش.، مرید، س.، لیوینگستون، د.، قنبری، ر. (۱۳۹۱). "مقایسه و تحلیل سری زمانی تراز آب دریاچه‌های ارومیه و وان"، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۳، صفحه: ۹۵-۱۰۱.
- [۱۹] نورانی، و.، رنجبر، س.، توتونچی، و. (۱۳۹۴). "بررسی تغییرات فرآیندهای هیدرولوژیکی با استفاده از معیاره موجک-آنتروپی، مطالعه موردی: دریاچه ارومیه"، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، دوره ۴۵، صفحه ۷۵-۸۶.
- [20] Delju, A. H., Ceylan, A., Piguët, E., & Rebetez, M. (2013). Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and applied climatology*, 111(1-2), 285-296.
- [21] Fathian, F., Morid, S., & Kahya, E. (2015). Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 119(3-4), 443-464.
- [22] Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological society*, 79(1), 61-78.
- [23] Labat, D. (2010). Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and selected climate indices. *Journal of Hydrology*, 385(1), 269-278.
- [24] Nourani, V., Alami, M. T., & Vousoughi, F. D. (2016). Hybrid of SOM-Clustering Method and Wavelet-ANFIS Approach to Model and Infill Missing Groundwater Level Data. *Journal of Hydrologic Engineering*, 05016018.
- [25] Torrence, C., & Webster, P. J. (1999). Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. *Journal of Climate*, 12(8), 2679-2690.
- [۲۶] رسولی مجد، ن.، خلیلی، ک. "بررسی نقش تغییر اقلیم و عوامل انسانی در خشک شدن دریاچه ارومیه"، اولین همایش ملی ارزیابی مدیریت و آمایش محیط‌زیستی در ایران، همدان، انجمن ارزیابان محیط‌زیست هگمتانه، مرکز توسعه همایش‌های آریا هگمتان.
- http://www.civilica.com/Paper-ASSESSMENT01-ASSESSMENT01_044.html

M. Ghasemzade *

MSc Student, Faculty
of Civil Engineering,
University of Tabriz.

e-mail: Ghasemzade.Mahsa@gmail.com

N. Azad

MSc Student, Faculty
of Civil Engineering,
University of Tabriz.

e-mail: narges.azad1991@gmail.com

E. Sharghi

Assistant Professor,
Faculty of Civil
Engineering ,
University of Tabriz.

e-mail: elnaz_sharghi@yahoo.com

The Effect of Hydroclimatological Parameters on Urmia Lake's Water Level Using Wavelet Coherence Measure

Urmia Lake is one of the vital hydrological natural quarters of Iran which has met sever water level decrease. For this issue, checking the effect of local climate factors and changes in time series would be efficient solution for studying the behavior of water system in this area. In this research wavelet coherence measure is implemented for evaluating the relations and effect of hydrological processes over many years on Urmia water level fluctuations that is powerful method for testing proposed linkages between two time series. From continuous wavelet transform of two time series, wavelet coherence transform is determined which exposes the local correlation between two CWTs and it is very helpful to uncover the locally phase locked behavior. In this way, monthly Hydroclimatological data such as rainfall, runoff of Saeed Abad station and temperature, relative humidity and monthly evaporation of Lighvan station in West Azarbaijan were investigated. The results illustrate that runoff time series has the most effect on water level of Urmia Lake and the effect of temperature, relative humidity, evaporation and rainfall are in the next priorities to runoff.

Keywords: *Hydrological processes, Water level non-stationary time series, Wavelet coherence, Urmia Lake.*

* Corresponding author