



بررسی علل کاهش آبدهی رودخانه‌ها به دریاچه ارومیه (مطالعه موردی: رودخانه‌های جنوب و غرب دریاچه ارومیه)

عبداله حسین پور^۱، علی محمد آخوندعلی^{۲*}، محمدرضا شریفی^۳، علی کلانتری اسکویی^۴.

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۳/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۴

نوع مقاله: مطالعه موردی

چکیده

در هر کشوری مدیریت منابع آبی حوضه‌های آبریز از اهمیت بسیاری برخوردار است و مدیران سعی دارند تا با ارائه بسته‌های مدیریتی، به حفاظت از این منابع بپردازند. یکی از حوضه‌هایی که در سال‌های گذشته مورد توجه مدیران قرار گرفته است، حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران می‌باشد. در این تحقیق با بررسی پیچیدگی بارندگی، تبخیر، دما، آبدهی ایستگاه‌های هیدرومتری و حجم آب دریاچه، سهم هر یک از این عوامل مؤثر در میزان کاهش حجم آب دریاچه ارومیه تعیین شد. جهت بررسی تغییرات پیچیدگی از روش ترکیبی موجک-آنتروپی بهره گرفته شد. برای محاسبه میزان پیچیدگی، از سری‌های زمانی فصلی ۴۱ ساله (۱۳۵۶-۱۳۹۷) برای واحدهای هیدرولوژیکی منتخب در جنوب و غرب دریاچه ارومیه استفاده گردید. سپس سری زمانی اصلی به سه دسته مساوی تقسیم و تغییرات پیچیدگی بر مبنای معیار پیچیدگی موجک-آنتروپی در این بازه‌های زمانی محاسبه گردید. نتایج پژوهش نشان داد که معیار موجک-آنتروپی (SWS) میزان حجم آب دریاچه، در کل دوره زمانی کاهش یافته و در این دوره معیار SWS دبی رودخانه‌ها و بارش، کاهش یافته و SWS دما و تبخیر دارای افزایش بودند. به طور کلی دبی رودخانه‌ها عامل اصلی کاهش حجم آب دریاچه بوده و بعد از آن پارامترهای بارش، دما و تبخیر در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: آبدهی، واحدهای هیدرولوژیکی، بررسی پیچیدگی، دریاچه ارومیه، روش موجک-آنتروپی.

* ایمیل نویسنده مسئول: aliakh@scu.ac.ir

- ۱-عبداله حسین پور-آدرس: اهواز، دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب و هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. pouyahoseinpouya@gmail.com
- ۲- علی محمد آخوندعلی-آدرس: اهواز، استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. . اهواز . aliakh@scu.ac.ir
- ۳-محمدرضا شریفی-آدرس: اهواز، استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. . اهواز. sharifi3010@gmail.com
- ۴-علی کلانتری اسکویی-آدرس: تبریز، استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی. تبریز. oskhom@gmail.com

مقدمه

بحران اخیر زیست‌محیطی و خشک شدن دریاچه ارومیه یکی از بزرگ‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی کشور محسوب می‌شود که می‌تواند بحران‌های سیاسی-امنیتی را به دنبال داشته باشد. با مراجعه به آمار بارش در حوضه آبریز ارومیه، مشاهده می‌شود که متوسط بارش در این حوضه در دهه ۴۰ و ۵۰ به مراتب کمتر از دهه‌های اخیر بود. اما دریاچه ارومیه با وجود عقب‌نشینی‌های کوتاه‌مدت در گذشته، هیچ‌گاه چنین وضعیت بحرانی را تجربه نکرده است. بنابراین نمی‌توان تنها علت پس‌روی سالیانه‌ی آب دریاچه را پدیده‌ی خشک‌سالی دانست. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات حوضه‌ی آبریز ارومیه، آبیاری سنتی با هدر رفت آب زیاد و بازدهی بسیار پایین حدود ۳۰ درصدی است (حسن‌زاده، ۱۳۹۱). علاوه بر آن، کاشت محصولاتی با نیاز آبی زیاد و غیراستراتژیک و عدم استفاده از الگوی کشت مناسب و رشد جمعیت در دهه‌های اخیر توأم با اشتغال عمده اهالی حوضه در بخش‌های کشاورزی، سبب کاهش حبابه دریاچه ارومیه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است. یکی دیگر از عوامل مؤثر بر خشک شدن دریاچه، افزایش مساحت زمین‌های کشاورزی و به تبع آن آب مصرفی آن‌ها می‌باشد (لاری و همکاران، ۱۳۹۳).

با عنایت به مطالب بیان شده، تنها یک علت در خشک شدن سطح وسیعی از دریاچه ارومیه تأثیر گذار نبوده و عوامل و علل‌های مختلفی سبب این پدیده مخرب زیست‌محیطی شده است و بدین منظور به بررسی این عوامل پرداخته می‌شود. در ادامه به برخی از مطالعاتی که در مورد سهم عوامل و علت کاهش منابع آب سطحی صورت گرفته است، اشاره می‌گردد.

تعیین آستانه خشک‌سالی و محاسبه میزان بارش ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه توسط زاهدی‌قره‌آغاج و قویدل‌رحیمی (۱۳۸۶) مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج تحقیق آنها نشان داد که وقوع پدیده خشک‌سالی از واقعیت‌های مهم ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. همچنین می‌توان علت اصلی آن را در نوسان‌های دوره‌ای اقلیم و عدم عبور توده هوای مرطوب و باران‌آور خصوصاً توده هوای مرطوب مدیترانه‌ای دانست. نتایج این مطالعه حاکی از وقوع پدیده خشک‌سالی در کل ایستگاه‌ها است که با شدت و ضعف‌هایی، توأم است.

لاری و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی سیاست‌های مواجهه با بحران حوضه آبریز دریاچه ارومیه با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم چنین بیان نمودند که تراز آب دریاچه به شدت کاهش یافته و ادامه حیات دریاچه به مخاطره افتاده است. چنانچه طی ۱۰ سال اخیر حدود نیمی از مساحت دریاچه به دشت‌های نمک تبدیل شده است.

گل‌زاری‌پرتو (۱۳۹۴) در پژوهشی با به‌کارگیری یک مدل دینامیکی و انجام شبیه‌سازی، اثر خشک شدن دریاچه ارومیه در پارامترهای اقلیمی بارش، را بررسی نمود. نتایج مطالعه نشان داد که با خشک شدن کامل دریاچه ارومیه بارش در نیمه شرقی دریاچه و بخصوص استان آذربایجان شرقی کاهش می‌یابد.

کاظم‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) تحلیل روند و تغییرات ناگهانی و ناهمگنی متغیرهای هیدرواقليمی (دما، بارش و دبی) در حوضه آجی‌چای در بازه زمانی ۴۰ ساله (۱۳۵۱-۹۰) مطالعه نمودند و نتایج حاصل از تحقیق آنها در خصوص روند متغیرها، بارش از لحاظ زمانی و



مطالعه آنها نشان داد که این روش قادر به پیش-بینی رواناب دقیق‌تر از روش‌های شبکه-های عصبی مصنوعی و مدل سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی است.

سلگی و همکاران (۲۰۱۴)، برای پیش‌بینی بارش در

ایستگاه وراینه نهند از مدل ترکیبی شبکه عصبی-موجک استفاده کردند. آنها ابراز داشتند که مدل ترکیبی دارای عملکرد بهتری بوده است.

سلگی (۱۳۹۳) پیش‌بینی جریان رودخانه گاماسیاب را با مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی-موجک انجام داد و نتایج آن را با روش‌های سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی و شبکه عصبی مصنوعی مقایسه نموده و دقت مدل ترکیبی را بیشتر از سایر مدل‌ها گزارش نمود.

تحقیقات متنوعی برای محاسبه‌ی مقدار پیچیدگی سیگنال‌های مختلف در سال‌های اخیر صورت گرفته است. یکی از روش‌های پرکاربرد به منظور بررسی پیچیدگی سیستم‌ها، نظریه آنتروپی^۱ است. نظریه آنتروپی که محتوای اطلاعاتی نیز خوانده می‌شود در سال ۱۹۴۸ توسط شانون^۲ ارائه گردید. آنتروپی درجه عدم قطعیت، میزان تصادفی بودن و میزان بی‌نظمی یک پدیده تصادفی را مورد اندازه‌گیری قرار می‌دهد.

در زمینه پیچیدگی و تغییرات آن، به برخی از مطالعات صورت گرفته اشاره می‌شود:

میشرا و همکاران (۲۰۰۹) تغییرات مکانی و زمانی سری زمانی بارش ایالت تگزاس آمریکا را با مفهوم آنتروپی بررسی کردند. آنها مشخصه‌های متعددی از جمله تعداد روزهای بارانی را از سری زمانی بارش استخراج نمودند.

هانگ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تئوری آنتروپی نمونه، میزان پیچیدگی دبی

مکانی تغییرات مشخصی نداشته و دما افزایش معنی‌دار و همچنین دبی بیشترین تغییرات کاهشی را در بین آنها دارد.

بهاء‌لوهوره و راست‌بود (۱۳۹۷) نتایج تأثیر خشک شدن دریاچه ارومیه بر کاربری اراضی اطراف آن و نیز آمار جمعیتی در طول سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵، میزان افزایش نواحی مسکونی در دوره اول این تغییر و افزایش ابنیه فنی و نواحی مسکونی برابر ۳۶ درصد و در دوره دوم افزایش آن به حدود ۱۹ درصد برآورد نمودند. این مطلب بیانگر کاهش نرخ رشد مناطق مسکونی مورد مطالعه و مهاجرت اجباری به مناطق دیگر است.

چان و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعات خود بیان نمودند که تغییرات اقلیمی می‌تواند باعث افزایش و یا کاهش گستره یک منطقه اقلیمی و در نتیجه جابه‌جایی مناطق اقلیمی شود و تنش‌هایی را در جوامع گیاهی و جانوری آن مناطق پدید آورد.

امروزه استفاده از تئوری موجک به عنوان روشی نوین و کارآمد در زمینه آنالیز سیگنال و سری‌های زمانی مؤثر واقع شده است (Kim and Valdes, 2003). تبدیل موجک توسط محققان در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه به برخی از مطالعاتی که در زمینه هیدرولوژی صورت گرفته است، اشاره می‌گردد.

اسدی و همکاران (۲۰۱۳) یک ترکیب جدید شبکه عصبی برای مدلسازی بارش-رواناب در حوضه آبی‌چای ارائه دادند. این مدل پیشنهادی ترکیبی از روش‌های پردازش داده‌ها، الگوریتم-های ژنتیک و الگوریتم لوبنبرگ مارکوارت برای آموزش ورودی‌های شبکه‌های عصبی است. نتایج

^۱-Entropy

^۲-Shannon

واقعیت‌ها و با اعمال برنامه‌ریزی جامع منابع آب به مقدار قابل توجهی می‌توان بر این مشکلات فائق آمد. با عنایت به نکات مذکور، رفع محدودیت کاهش تراز آب در نتیجه خشکیدگی پهنای اطراف دریاچه ارومیه جزو ملزومات زیست‌محیطی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. برای جبران کاهش‌های هیدرولوژیکی که منجر به این پارامتر مذکور گردیده، لازم است که عوامل مؤثر بر این کاهش‌ها با دقت مورد مطالعه و علل عقب‌نشینی دریاچه شناخته شوند.

لذا هدف از مطالعه جاری شناخت عوامل مؤثر در کاهش‌های هیدرولوژیکی رودخانه‌های جنوب و غرب حوضه دریاچه ارومیه که سهم بیشتری در بیلان آبی حوضه دارند، می‌باشد. لذا با شناخت این عوامل امکان ارائه راه‌حل برای جبران مشکلات پیش‌آمده برای حوضه مذکور میسر خواهد گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق رودخانه‌های جنوب و غرب دریاچه ارومیه (۹ رودخانه) مورد بررسی قرار گرفتند. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری واقع بر روی این رودخانه‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

آمار و اطلاعات از ادارات آب منطقه‌ای و هواشناسی استان‌های آذربایجان شرقی و غربی و شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ گردید. سپس براساس اهداف پژوهش، داده‌ها اصلاح و دسته‌بندی شدند. اطلاعات مربوط به واحدهای هیدرولوژیک منتخب محدود به ایستگاه‌های هیدرومتری سری‌های زمانی آینده، بارش، دما و تبخیر به همراه حجم آب دریاچه در مقیاس فصلی و سالانه از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۶))

جریان رودخانه یانگتزا^۱ را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که در بخش‌های بالایی این رودخانه به دلیل ساخت مخازن و بهره‌برداری از آنها و در نتیجه منظم شدن دبی جریان رودخانه، پیچیدگی جریان به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است.

برای محاسبه و بحث در مورد میزان پیچیدگی پدیده مورد نظر می‌توان از روش‌های ترکیبی نیز استفاده کرد. یکی از این روش‌ها، روش ترکیبی موجک-آنتروپی می‌باشد که این روش از ترکیب تبدیل موجک و آنتروپی بدست آمده است. با استفاده از این روش می‌توان تشخیص داد که سیگنال اصلی در چه مقیاس زمانی بررسی شود. در این زمینه می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد:

چو (۲۰۱۴) روش آنتروپی چندمقیاسی را برای بررسی پیچیدگی، بر سری بارش و رواناب اعمال کرد و مشاهده نمود که نتایج در مقیاس‌های زمانی بالاتر با نتایج به دست آمده در مقیاس‌های زمانی پایین متفاوت است.

نورانی و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی تغییرات فرآیندهای هیدرولوژیکی با استفاده از معیار موجک-آنتروپی در دریاچه ارومیه پرداختند. آنها با استفاده از این معیار، کاهش نوسانات در سری زمانی آینده در حوضه دریاچه ارومیه را مهمترین علت کاهش تراز سطح آب این دریاچه اعلام نمودند.

ایجاد هرگونه تغییر در شرایط طبیعی یک سیستم هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی سالم سبب کاهش میزان پیچیدگی سیستم مورد نظر می‌شود. این تغییر می‌تواند در اثر عوامل طبیعی و غیر طبیعی باشد.

اگر چه شرایط طبیعی موجود می‌تواند عامل مهمی در بحران موجود باشد، اما با قبول همین

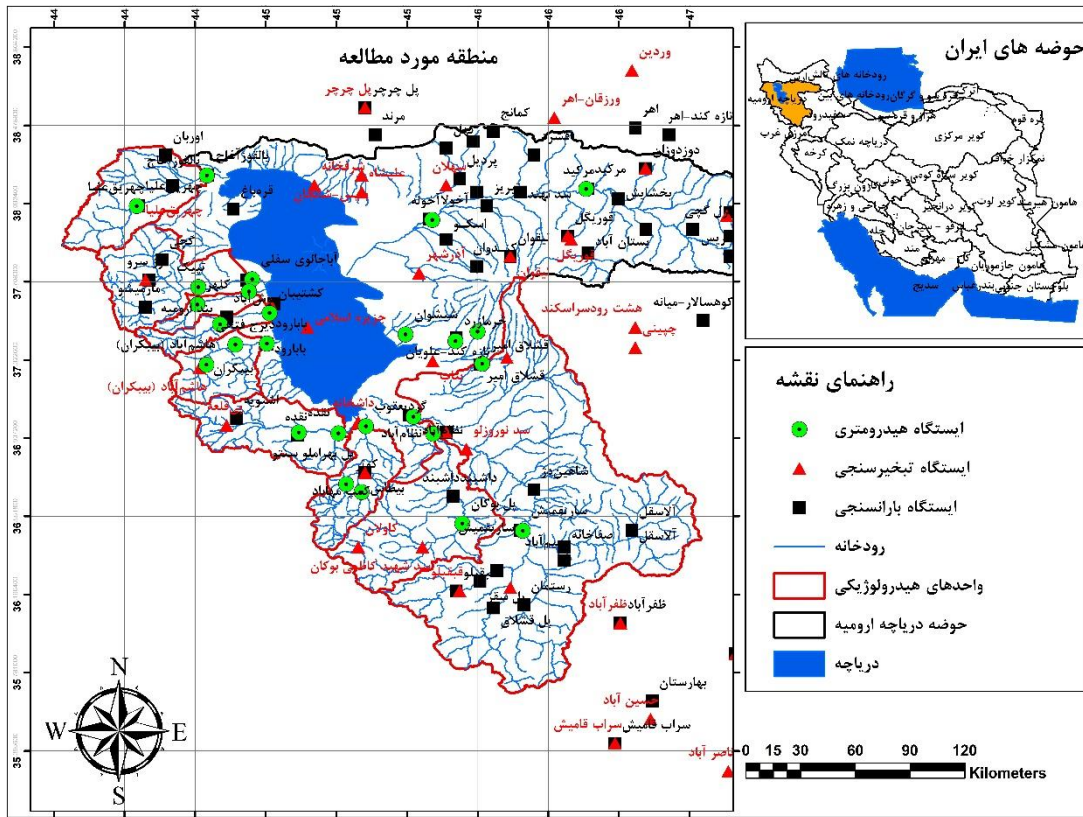
^۱-Yangtze



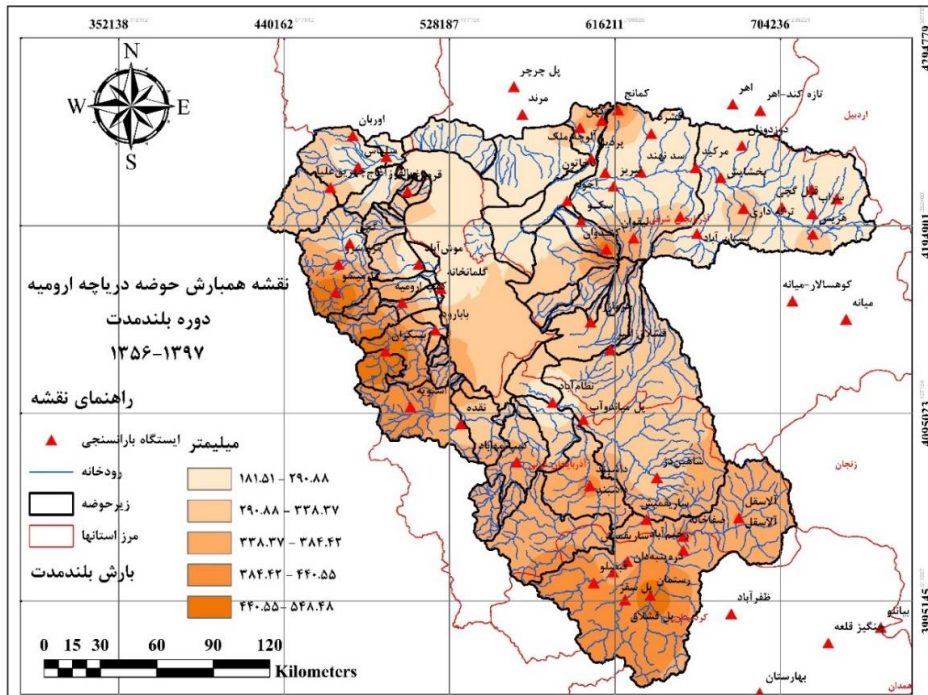
منتخب برآورد شد. به عنوان نمونه نحوه ترسیم نقشه هم‌بارش کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه ارائه شده است. به منظور افزایش دقت مقدار بارش محاسباتی، مطابق شکل (۱)، از ۷۰ ایستگاه باران‌سنجی داخل و خارج حوضه استفاده گردید. بعد از تطویل آمار ایستگاه‌ها توسط نرم افزار HEC-4 و بررسی داده‌های پرت توسط روش Box-plot نقشه هم‌بارش برای سال‌های مختلف از سال آبی ۵۷-۱۳۵۶ تا ۹۷-۱۳۹۶ برای حوضه آبریز ترسیم شد. برای بررسی بارش حوضه با توجه به بررسی روش‌های مختلف، از روش کریجینگ استفاده شده است. بعد از ترسیم نقشه‌ها، در محیط نرم افزار GIS، مقادیر بارش برای بخش‌های مختلف استخراج گردید. در شکل (۲)، نقشه هم‌بارش سالانه در حوضه دریاچه ارومیه ارائه شده است. سپس اقدام به استخراج مقادیر بارش در دوره‌های مختلف برای حوضه‌های منتخب محدود به ایستگاه‌های هیدرومتری گردید.

۴۱ ساله) در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج آزمون من-کندال و تعیین تاریخ شکست در میزان حجم آب دریاچه ارومیه در سری‌های سری زمانی (T) در هر یک از پارامترهای ورودی، به ۳ دسته (T_1 ، T_2 و T_3) تقسیم گردید. دسته T_1 تغییرات سری زمانی از ۱۳۵۶ تا ۱۳۶۸، دسته T_2 تغییرات سری زمانی از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۲ و دسته T_3 تغییرات سری زمانی از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ می‌باشد.

به دلیل اینکه این مطالعه بخشی از یک مطالعه جامع و کامل بر روی همه واحدهای هیدرولوژیکی منتخب دریاچه ارومیه می‌باشد، لذا با استفاده از آمار نقطه‌ای دسته‌بندی شده بارش، دما و تبخیر کلیه ایستگاه‌های داخل و خارج از حوضه ارومیه و نقشه رقومی منطقه مورد مطالعه، اقدام به محاسبه و ترسیم نقشه‌های هم‌بارش، هم‌دما و هم‌تبخیر در کل سطح حوضه ارومیه نموده و سپس مقادیر هر یک از پارامترها برای کل سطح هر واحد هیدرولوژیک



شکل (۱): منطقه مورد مطالعه.



شکل (۲): نقشه همبارش سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره بلندمدت.



جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه مورد مطالعه.

نام واحد هیدرولوژیک	نام ایستگاه هیدرومتری	کد ایستگاه	سال تأسیس			موقعیت جغرافیایی (متر)	
			ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع از سطح دریا	
نازلوچای	آبجالوی سفلی	۳۵-۰۳۳	۱۳۴۳	۵۱۴۱۰۵	۴۱۷۴۸۲۰	۱۲۹۵	
باراندوزچای	بابارود	۳۵-۰۰۷	۱۳۲۸	۵۲۰۵۶۹	۴۱۳۹۵۸۹	۱۲۹۷	
روضه چای	پل ازبک	۳۵-۰۳۷	۱۳۶۱	۵۱۲۷۳۴	۴۱۶۸۰۸۵	۱۲۸۵	
گدارچای	پل بهراملو سنتو	۳۴-۰۲۱	۱۳۳۶	۵۵۲۱۷۵	۴۰۹۰۷۰۲	۱۳۲۰	
شهرچای	کشتیبان	۳۵-۰۱۳	۱۳۴۳	۵۲۱۷۳۰	۴۱۵۶۲۷۶	۱۲۹۹	
زولای چای	یالقوزآعاج	۳۶-۰۱۱	۱۳۵۳	۴۹۴۴۵۲	۴۲۳۱۵۳۹	۱۳۰۷	
زرینه‌رود	نظام‌آباد	۳۳-۹۱۷	۱۳۷۲	۵۸۴۹۸۷	۴۰۹۹۹۹۳	۱۲۸۳	
مه‌آبادچای	گردیعقوب	۳۴-۰۰۹	۱۳۶۸	۵۶۴۱۶۰	۴۰۹۴۶۴۵	۱۲۸۰	
سیمینه رود	پل میان‌دوآب	۳۳-۰۳۷	۱۳۴۳	۵۹۳۶۸۶	۴۰۹۰۸۱۲	۱۳۱۰	

تبدیل موجک

تبدیل موجک یکی از تبدیل‌های ریاضی کارآمد در زمینه پردازش سیگنال است و با استفاده از آن و به کار بردن توابع موجک، سیگنال اولیه به دو مجموعه زیرسیگنال تبدیل می‌شوند. زیرسیگنال تقریب a که بیانگر اطلاعات کلی و زیرسیگنال‌های جزئیات d_1, d_2, \dots, d_n که خواص با دامنه کوتاه مدت سری زمانی را بیان می‌کنند. تعداد کل زیرسیگنال‌ها برابر مجموع تعداد زیرسیگنال‌های جزئیات و زیرسیگنال تقریب می‌باشد. تعداد زیرسیگنال‌های جزئیات برابر با درجه تجزیه می‌باشد و به عبارت دیگر در صورتی که درجه تجزیه برابر i بوده و همچنین تعداد زیر سیگنال‌های جزئیات برابر i است (سلگی، ۱۳۹۳).

برای استفاده از تبدیل موجک، مشخص کردن تابع موجک و سطح تجزیه مهم می‌باشد. واژه موجک همانگونه که از نام آن پیداست به معنی یک موج کوچک می‌باشد. این موج کوچک باید دارای تعداد نوسان‌های محدود، بازگشت سریع به صفر در هر دو جهت مثبت و منفی از دامنه خود و میانگین صفر باشد. این ویژگی‌ها شرط پذیرفتگی^۱ نام دارند که یک تابع

برای اینکه بتواند به عنوان تابع موجک عمل کند باید دارای این ویژگی‌ها باشد.

آنتروپی

مهم‌ترین کمیت‌های مربوط به اطلاعات عبارتند از: آنتروپی (میانگین محتوای اطلاعاتی یک منبع اطلاعات) و اطلاعات متقابل (مقدار اطلاعات مشترک بین دو متغیر تصادفی). کمیت اول (آنتروپی)، به ما نشان می‌دهد که اطلاعات خروجی یک منبع اطلاعات تا چه حد می‌تواند فشرده شود، درحالی که کمیت دوم (اطلاعات متقابل)، می‌تواند برای یافتن سرعت ارتباط در یک کانال مورد استفاده قرار گیرد. یکی از مهمترین آنتروپی‌ها، آنتروپی شانون می‌باشد که در سال ۱۹۴۸ توسط شانون ارائه شد (Shannon, 1948).

غیر از آنتروپی شانون، آنتروپی‌های دیگری نیز وجود دارند، که هر یک از آنها ویژگی‌های مخصوص به خود را دارند. اما اثبات شده است که از دیدگاه قابلیت کاربرد در هیدرولوژی می‌توان آنتروپی شانون را به عنوان معمول‌ترین آنتروپی بیان کرد (Singh, 2011).

موجک-آنتروپی

با ترکیب مفاهیم موجک و آنتروپی، ابزار جدیدی به نام موجک-آنتروپی برای محاسبه پیچیدگی بدست می‌آید. با بهره‌گیری از این روش می‌توان سری زمانی را به تعدادی زیرسری تجزیه و انرژی موجک هر کدام از زیرسری‌ها و در نتیجه معیار موجک-آنتروپی را برای هر کدام از آن‌ها محاسبه نمود. معیار آنتروپی در واقع گویای میزان نوسانات سری زمانی است و مقدار این معیار با شدت نوسان سری رابطه مستقیم دارد. انرژی موجود در هر زیرسری از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Singh, 2011).

$$E_m = r_m^2 = \sum_n |C_m|^2 \quad (1)$$

در رابطه (۱) m مقیاس تفکیک سیگنال اصلی و C_m ضرایب جزئی موجود و n تعداد ضرایب موجود در مقیاس m است. انرژی کل سیگنال (E_{total}) از رابطه (۲) بدست می‌آید (Singh, 2011):

$$E_{total} = \sum_m \sum_n |C_m(n)|^2 = \sum_m E_m \quad (2)$$

با استفاده از رابطه (۳)، انرژی نرمال شده هر کدام از زیرسری‌ها محاسبه می‌شود.

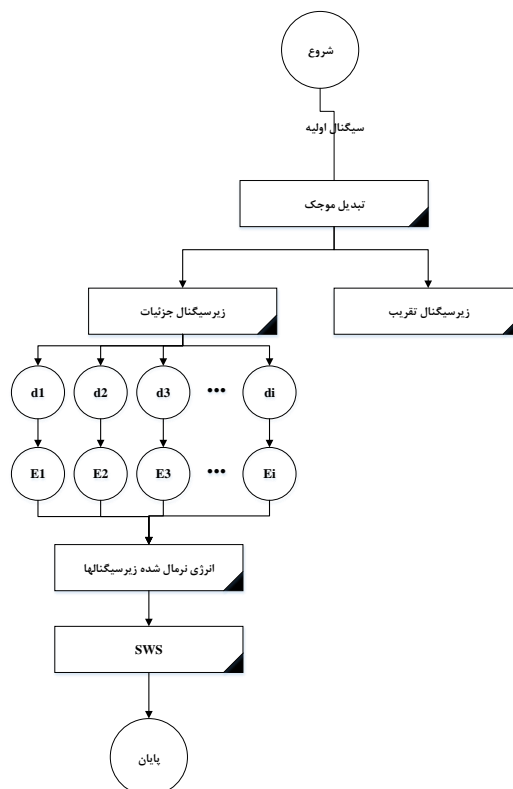
$$\rho_m = \frac{E_m}{E_{total}} \quad (3)$$

پس از محاسبه انرژی نرمال شده هر کدام از زیرسری‌ها در نهایت معیار موجک-آنتروپی با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

$$WE = SWS = - \sum_m \rho_m \cdot \ln[\rho_m] \quad (4)$$

در روش موجک-آنتروپی برای ارزیابی معیار پیچیدگی و همچنین محاسبه‌ی میزان تغییرات و نوسانات جزئی از زیر سری‌های زمانی جزئیات استفاده می‌شود. برای این منظور، از تابع موجک db_4 و سطح تجزیه ۴ در این مطالعه استفاده شد.

در شکل (۳) فلوچارت مراحل محاسبه معیار موجک-آنتروپی در این تحقیق ارائه شده است



شکل (۳): ساختار شماتیک محاسبه معیار موجک-آنتروپی



نتایج و بحث

تغییرات پیچیدگی حجم آب دریاچه

انرژی زیر سری‌های جزئی حاصل از تجزیه سری زمانی اصلی در مرتبه ۴ و همچنین معیار پیچیدگی بر مبنای موجک آنتروپی (SWS) برای دسته‌های (T2, T1, T3) برای حجم آب دریاچه در جدول (۲) آورده شده است. معیار SWS یا موجک-آنتروپی در بازه زمانی دوم کاهش شدیدتری داشته و در بازه زمانی سوم، دارای حداقل کاهش بوده ولی به طور کلی در کل دوره زمانی دارای کاهش بوده است که این کاهش نشان دهنده کاهش میزان پیچیدگی حجم آب دریاچه می‌باشد. کاهش پیچیدگی سری زمانی حجم آب دریاچه ارومیه، بیانگر کاهش حجم آب دریاچه بوده که تحت عوامل مختلف محیطی و غیرمحیطی اتفاق افتاده است. لذا

ضروری است با تمهیدات و اقدامات لازم و به موقع جهت بهبود شرایط، از بدتر شدن وضعیت آب دریاچه جلوگیری شود. در سال‌های گذشته برخی از اقداماتی که توسط ارگان‌های ذیربط و ستاد احیاء دریاچه ارومیه صورت گرفته است که باعث کمتر شدن شیب کاهشی حجم آب دریاچه شده است که این پدیده خود را در کاهش پیچیدگی در بازه زمانی سوم تقریباً به کمترین میزان خود رسیده است. (جدول ۲).

در دوره بازه زمانی دوم نسبت به دوره بازه زمانی اول، درصد تغییرات SWS حجم آب دریاچه ۱۷- درصد، در دوره زمانی سوم نسبت به دوره دوم تغییرات ۲- درصد، و در کل دوره زمانی درصد تغییرات SWS حجم آب دریاچه ۱۹- درصد بوده است. که نشان دهنده کاهش حجم آب دریاچه در کل دوره زمانی می‌باشد.

جدول (۲): انرژی زیرسری‌های جزئی و معیار SWS برای حجم آب دریاچه

سری زمانی	دسته	پارامترهای آنتروپی					SWS	درصد تغییرات	درصد تغییرات کل
		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E _{total}			
حجم آب	T ₁	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۴۴	۰/۶۲	۱/۳۰	-	-
دریاچه	T ₂	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۳۰	۰/۴۸	۱/۰۸	-۱۷٪	-
	T ₃	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۲۹	۱/۰۵	-۲٪	-۱۹٪

روضه‌چای (پل‌ازبک)، شهرچای (کشتیبان)، مهابادچای (گردیعقوب) و زولاچای (یالغوزآغاچ) کاهشی بوده و در زیرحوضه‌های باراندوزچای (بابارود)، سیمینه‌رود (پل‌میان‌دوآب) و زرینه‌رود (نظام‌آباد) افزایشی و در زیرحوضه گذارچای (پل‌بهراملو) تقریباً صفر بوده است.

در بازه زمانی سوم نسبت به بازه زمانی دوم، میزان تغییرات SWS به جزء واحد هیدرولوژیک زولاچای (یالغوزآغاچ) که افزایش دارد، در همه واحدهای هیدرولوژیکی منتخب کاهشی هستند. به طور کلی در همه واحدهای هیدرولوژیکی در کل بازه‌های زمانی تغییرات SWS بارش کاهشی بوده است.

بر اساس نتایج جدول (۴) میزان تغییرات SWS در بازه‌های زمانی دوم نسبت به بازه‌های زمانی اول، در واحدهای

نتایج بررسی تغییرات پیچیدگی بارش، دما و تبخیر

برای محاسبات انرژی موجک و تغییرات SWS در هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی از مقادیر برآورد شده پارامترهای هیدرولوژیکی در مقیاس فصلی بهره گرفته شد. نتایج ارزیابی نوسان‌های اقلیمی از سال آبی ۵۷-۱۳۵۶ تا ۹۷-۱۳۹۶ در سری‌های زمانی فصلی بارش، دما و تبخیر به سه بازه زمانی مساوی (T₁, T₂, T₃) تقسیم و معیار موجک-آنتروپی در هر سه بازه زمانی محاسبه گردیده و به ترتیب در جداول شماره (۳)، (۴) و (۵) ارائه شده است.

بر اساس جدول (۳) میزان تغییرات SWS بارش در بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول، در واحدهای هیدرولوژیکی نازلوچای (آب‌جالوی سفلی)،

براساس جدول (۵) میزان تغییرات SWS تبخیر در بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول، در همه واحدهای هیدرولوژیکی منتخب افزایش دارند.

در بازه زمانی سوم نسبت به بازه زمانی دوم، میزان تغییرات SWS تبخیر در همه واحدهای هیدرولوژیکی به جز نالوچای (آباجالوی سفلی) و سیمینه رود (پل میانندوآب) کاهش یافته و در زیرحوضه زرینه رود (نظام آباد) تقریباً صفر است. این مطلب بیانگر افزایش بودن تغییرات SWS تبخیر در همه واحدهای هیدرولوژیکی در کل دوره زمانی است

هیدرولوژیکی نالوچای (آباجالوی سفلی)، باراندوزچای (با بارود)، روضه چای (پل ازبک)، سیمینه رود (پل میانندوآب)، شهرچای (کشتیبان)، زرینه رود (نظام آباد) و زولاچای (یالغوزآغاج) کاهش یافته و در زیرحوضه های گدارچای (پل بهراملو) و مهابادچای (گردیعقوب) افزایش یافته است.

در بازه زمانی سوم نسبت به بازه زمانی دوم، میزان تغییرات SWS دما در همه واحدهای هیدرولوژیکی افزایش یافته است. به بیان دیگر تغییرات SWS دما در همه واحدهای هیدرولوژیکی در کل دوره های زمانی افزایش یافته است.

جدول (۳): انرژی زیر سری های جزئی و معیار SWS برای داده های بارش

واحد	دسته	پارامترهای آنروپی				SWS	درصد تغییرات	درصد تغییرات کل
		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄			
هیدرولوژیکی نالوچای (آباجالوی سفلی)	T ₁	۲/۴۶	۱/۵۳	۰/۲۳	۰/۳۱	۴/۵۳	۱/۰۳	-
	T ₂	۲/۲۱	۰/۶۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۳/۰۰	۰/۷۵	-۲۷٪
	T ₃	۲/۳۵	۰/۵۶	۰/۱۲	۰/۰۴	۳/۰۷	۰/۶۹	-۸٪
باراندوزچای (بابارود)	T ₁	۱/۹۴	۱/۶۶	۰/۰۶	۰/۵۳	۴/۱۹	۱/۰۴	-
	T ₂	۱/۴۱	۱/۸۰	۰/۲۰	۰/۲۸	۳/۶۹	۱/۰۷	۳٪
	T ₃	۲/۳۳	۱/۶۵	۰/۱۶	۰/۱۰	۴/۲۵	۰/۹۱	-۱۵٪
روضه چای (پل ازبک)	T ₁	۲/۳۶	۱/۶۳	۰/۱۹	۰/۴۶	۴/۶۴	۱/۰۷	-
	T ₂	۲/۲۴	۱/۰۳	۰/۱۱	۰/۱۲	۳/۵۰	۰/۸۷	-۱۹٪
	T ₃	۲/۵۸	۰/۹۲	۰/۱۲	۰/۰۶	۳/۶۷	۰/۷۷	-۱۱٪
گدارچای (پل بهراملو)	T ₁	۱/۳۱	۱/۹۹	۰/۲۴	۰/۴۱	۳/۹۵	۱/۱۲	-
	T ₂	۲/۰۸	۲/۰۴	۰/۲۳	۰/۵۶	۴/۹۲	۱/۱۲	۰٪
	T ₃	۲/۰۱	۱/۵۳	۰/۲۰	۰/۰۷	۳/۸۱	۰/۹۴	-۱۷٪
سیمینه رود (پل میانندوآب)	T ₁	۱/۸۱	۱/۹۸	۰/۲۲	۰/۳۴	۴/۳۵	۱/۰۸	-
	T ₂	۲/۲۳	۱/۷۹	۰/۳۰	۰/۴۲	۴/۷۳	۱/۱۱	۳٪
	T ₃	۲/۴۱	۲/۴۹	۰/۳۳	۰/۰۳	۵/۲۶	۰/۹۲	-۱۷٪
شهرچای (کشتیبان)	T ₁	۱/۹۵	۱/۳۴	۰/۱۴	۰/۴۰	۳/۸۲	۱/۰۷	-
	T ₂	۲/۲۲	۱/۲۰	۰/۱۲	۰/۱۵	۳/۶۹	۰/۹۱	-۱۵٪
	T ₃	۲/۷۳	۱/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۸	۴/۰۰	۰/۸۰	-۱۲٪
مهابادچای (گردیعقوب)	T ₁	۱/۵۱	۱/۹۷	۰/۲۲	۰/۳۸	۴/۰۷	۱/۱۰	-
	T ₂	۲/۴۶	۱/۹۳	۰/۱۷	۰/۵۶	۵/۱۱	۱/۰۷	-۲٪
	T ₃	۲/۲۵	۲/۲۲	۰/۲۵	۰/۰۴	۴/۷۷	۰/۹۱	-۱۵٪
زرینه رود (نظام آباد)	T ₁	۲/۲۲	۱/۶۰	۰/۱۴	۰/۲۵	۴/۲۱	۰/۹۹	-
	T ₂	۲/۳۷	۱/۶۵	۰/۲۰	۰/۴۳	۴/۶۴	۱/۰۷	۸٪
	T ₃	۲/۴۶	۲/۴۲	۰/۳۴	۰/۰۵	۵/۲۶	۰/۹۳	-۱۲٪

ادامه جدول (۳): انرژی زیر سری های جزئی و معیار SWS برای داده های بارش

زولاچای	T ₁	۲/۳۵	۰/۷۱	۰/۰۸	۰/۲۱	۳/۳۵	۰/۸۴	-	-
(بالقوز آغاج)	T ₂	۲/۴۳	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۸	۲/۷۴	۰/۴۷	-۴۳٪	-
	T ₃	۲/۵۳	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۰۳	۲/۸۹	۰/۴۹	+۳٪	-۴۲٪

جدول (۴): انرژی زیر سری های جزئی و معیار SWS برای داده های دما

واحد	دسته	پارامترهای آنتروپی				SWS	درصد تغییرات	درصد تغییرات کل
		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄			
هیدرولوژیکی نازولچای (آباجالوی سفلی)	T ₁	۰/۱۱	۴/۶۷	۰/۱۳	۰/۱۷	۵/۰۹	۰/۳۷	-
	T ₂	۰/۱۳	۵/۰۲	۰/۱۹	۰/۰۷	۵/۴۱	۰/۳۳	-۱۱٪
	T ₃	۰/۱۲	۵/۳۱	۰/۲۵	۰/۲۱	۵/۸۹	۰/۴۲	۲۷٪
باراندوزچای (بابارود)	T ₁	۰/۱۲	۴/۵۷	۰/۱۳	۰/۱۷	۴/۹۹	۰/۳۸	-
	T ₂	۰/۱۵	۴/۸۷	۰/۱۹	۰/۰۸	۵/۲۹	۰/۳۶	-۵٪
	T ₃	۰/۱۵	۵/۵۳	۰/۲۷	۰/۲۲	۶/۱۷	۰/۴۴	۲۳٪
روضه چای (پل ازبک)	T ₁	۰/۱۱	۴/۶۸	۰/۱۳	۰/۱۸	۵/۱۰	۰/۳۷	-
	T ₂	۰/۱۴	۵/۱۴	۰/۱۹	۰/۰۸	۵/۵۵	۰/۳۴	-۸٪
	T ₃	۰/۱۲	۵/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۰	۵/۸۳	۰/۴۳	۲۵٪
گدارچای (پل بهراملو)	T ₁	۰/۱۰	۴/۲۳	۰/۱۲	۰/۱۵	۴/۵۹	۰/۳۶	-
	T ₂	۰/۱۶	۴/۹۷	۰/۲۰	۰/۰۹	۵/۴۱	۰/۳۷	۱٪
	T ₃	۰/۱۶	۵/۲۶	۰/۲۶	۰/۱۹	۵/۸۷	۰/۴۵	۲۱٪
سیمینه رود (پل میانندوآب)	T ₁	۰/۱۲	۴/۲۷	۰/۱۱	۰/۱۷	۴/۶۷	۰/۳۸	-
	T ₂	۰/۱۷	۴/۹۵	۰/۱۸	۰/۰۹	۵/۳۸	۰/۳۶	-۴٪
	T ₃	۰/۱۴	۴/۹۰	۰/۲۴	۰/۱۷	۵/۴۵	۰/۴۴	۱۹٪
شهرچای (کشتیان)	T ₁	۰/۱۱	۴/۵۱	۰/۱۴	۰/۲۰	۴/۹۵	۰/۴۱	-
	T ₂	۰/۱۴	۵/۰۷	۰/۲۰	۰/۰۹	۵/۵۰	۰/۳۶	-۱۳٪
	T ₃	۰/۱۳	۵/۲۱	۰/۲۵	۰/۱۸	۵/۷۷	۰/۴۲	۱۹٪
مهابادچای (گردیعقوب)	T ₁	۰/۱۱	۴/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۴	۴/۴۱	۰/۳۷	-
	T ₂	۰/۱۶	۴/۹۳	۰/۲۰	۰/۰۹	۵/۳۷	۰/۳۷	۱٪
	T ₃	۰/۱۴	۵/۰۷	۰/۲۴	۰/۱۷	۵/۶۲	۰/۴۲	۱۶٪
زرینه رود (نظام آباد)	T ₁	۰/۱۱	۴/۴۰	۰/۱۲	۰/۱۸	۴/۸۲	۰/۳۸	-
	T ₂	۰/۱۵	۴/۹۰	۰/۲۰	۰/۰۹	۵/۳۴	۰/۳۷	-۴٪
	T ₃	۰/۱۵	۵/۱۷	۰/۲۶	۰/۱۹	۵/۷۶	۰/۴۴	۱۹٪
زولاچای (بالقوز آغاج)	T ₁	۰/۱۱	۴/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۳	۴/۴۸	۰/۳۸	-
	T ₂	۰/۱۴	۴/۷۵	۰/۱۸	۰/۰۶	۵/۱۲	۰/۳۳	-۱۱٪
	T ₃	۰/۱۳	۵/۳۴	۰/۲۴	۰/۲۱	۵/۹۱	۰/۴۲	۲۶٪

جدول (۵): انرژی زیر سری‌های جزئی و معیار SWS برای داده‌های تبخیر

واحد	دسته	پارامترهای آنترابی				SWS	درصد تغییرات	درصد تغییرات کل
		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄			
هیدرولوژیکی نازلوچای (آباجالوی سفلی)	T ₁	۰/۱۲	۵/۷۶	۰/۱۱	۰/۲۲	۶/۲۱	۰/۳۳	-
	T ₂	۰/۱۷	۶/۹۱	۰/۳۴	۰/۱۸	۷/۵۹	۰/۴۰	۲۰٪
	T ₃	۰/۱۳	۵/۹۸	۰/۳۲	۰/۱۴	۶/۵۷	۰/۳۹	-۲٪
باراندوزچای (بابارود)	T ₁	۰/۱۳	۷/۰۱	۰/۲۰	۰/۲۹	۷/۶۲	۰/۳۷	-
	T ₂	۰/۱۶	۴/۹۴	۰/۲۶	۰/۱۱	۵/۴۷	۰/۴۲	۱۴٪
	T ₃	۰/۱۴	۶/۰۷	۰/۴۴	۰/۲۵	۶/۸۹	۰/۴۸	۱۶٪
روضه‌چای (پل ازبک)	T ₁	۰/۱۲	۶/۵۵	۰/۱۴	۰/۲۳	۷/۰۴	۰/۳۲	-
	T ₂	۰/۱۳	۵/۹۶	۰/۲۹	۰/۱۶	۶/۵۴	۰/۳۹	۲۱٪
	T ₃	۰/۱۲	۵/۹۲	۰/۳۵	۰/۱۷	۶/۵۶	۰/۴۲	۷٪
گذارچای (پل بهراملو)	T ₁	۰/۱۰	۶/۰۸	۰/۱۳	۰/۲۰	۶/۵۱	۰/۳۱	-
	T ₂	۰/۱۶	۶/۴۱	۰/۳۱	۰/۱۸	۷/۰۵	۰/۴۰	۳۰٪
	T ₃	۰/۱۳	۶/۳۴	۰/۳۶	۰/۲۱	۷/۰۴	۰/۴۲	۵٪
سیمینه‌رود (پل میان‌دوآب)	T ₁	۰/۱۲	۶/۹۹	۰/۱۸	۰/۲۵	۷/۵۴	۰/۳۴	-
	T ₂	۰/۱۳	۶/۰۷	۰/۳۰	۰/۲۰	۶/۷۰	۰/۴۱	۲۱٪
	T ₃	۰/۱۴	۶/۷۴	۰/۳۳	۰/۲۰	۷/۴۱	۰/۴۰	-۳٪
شهرچای (کشتیبان)	T ₁	۰/۱۱	۶/۹۸	۰/۱۷	۰/۲۵	۷/۵۱	۰/۳۳	-
	T ₂	۰/۱۳	۵/۳۹	۰/۲۷	۰/۱۴	۵/۹۴	۰/۴۰	۲۲٪
	T ₃	۰/۱۳	۵/۹۵	۰/۴۰	۰/۲۰	۶/۶۷	۰/۴۵	۱۲٪
مهابادچای (گردیعقوب)	T ₁	۰/۱۱	۶/۵۵	۰/۱۳	۰/۲۰	۷/۰۰	۰/۳۱	-
	T ₂	۰/۱۳	۵/۶۶	۰/۲۷	۰/۱۴	۶/۲۱	۰/۳۹	۲۷٪
	T ₃	۰/۱۴	۶/۵۳	۰/۴۲	۰/۲۶	۷/۳۵	۰/۴۶	۱۹٪
زرینه‌رود (نظام‌آباد)	T ₁	۰/۱۳	۶/۰۸	۰/۱۴	۰/۱۹	۶/۵۴	۰/۳۳	-
	T ₂	۰/۱۸	۶/۸۵	۰/۳۳	۰/۱۸	۷/۵۳	۰/۴۰	۱۹٪
	T ₃	۰/۱۵	۶/۶۱	۰/۳۳	۰/۱۸	۷/۲۷	۰/۴۰	۰٪
زولاچای (یالقوز‌آغاج)	T ₁	۰/۱۹	۶/۲۲	۰/۱۰	۰/۱۹	۶/۷۰	۰/۳۳	-
	T ₂	۰/۲۶	۶/۶۳	۰/۳۵	۰/۱۲	۷/۳۶	۰/۴۳	۲۹٪
	T ₃	۰/۲۶	۵/۵۷	۰/۳۱	۰/۰۹	۶/۲۳	۰/۴۴	۴٪

تغییرات پیچیدگی دبی رودخانه‌ها و تأثیر آن بر حجم آب دریاچه ارومیه

هستند. به طور کلی در همه واحدهای هیدرولوژیکی در کل دوره زمانی مورد مطالعه تغییرات SWS دبی کاهشی است. به طوری که بیشترین تغییرات کاهشی SWS در زیرحوضه‌های سیمینه‌رود (پل میان‌دوآب) و روضه‌چای (پل ازبک) مشاهده شده است.

براساس نتایج جدول (۶) میزان تغییرات SWS دبی در بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول، در همه واحدهای هیدرولوژیکی به جز یالقوز‌آغاج کاهشی است. در بازه زمانی سوم نسبت به بازه زمانی دوم، میزان تغییرات SWS دبی به جز واحد هیدرولوژیک گذارچای (پل بهراملو) در همه واحدهای هیدرولوژیکی کاهشی

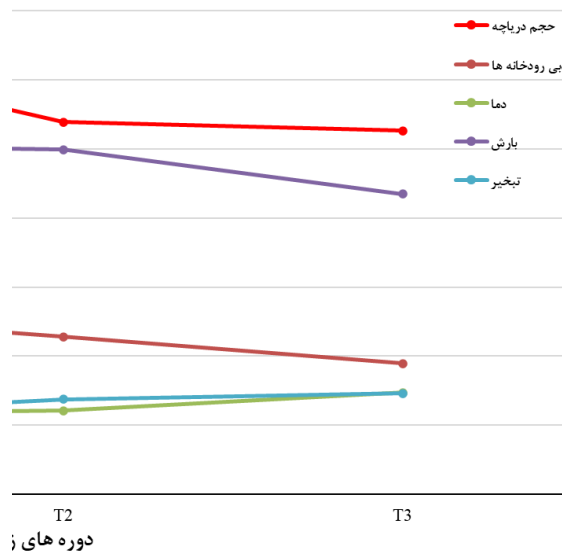
جدول (۶): انرژی زیر سری های جزئی و معیار SWS برای داده های دبی رودخانه ها

واحد	دسته	پارامترهای آنتروپی					SWS	درصد تغییرات	درصد تغییرات کل
		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E _{total}			
هیدرولوژیکی نازلوچای	T ₁	۱/۶۸	۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۰۶	۱/۹۵	۰/۵۳	-	-
	T ₂	۱/۷۹	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۹	۲/۰۱	۰/۴۶	-۱۳٪	-
	T ₃	۴/۶۰	۰/۲۷	۰/۰۳	۰/۱۷	۵/۰۶	۰/۳۹	-۱۶٪	-۲۷٪
باراندوزچای (بابارود)	T ₁	۱/۵۸	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۹	۲/۰۰	۰/۷۲	-	-
	T ₂	۲/۳۷	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۹	۲/۷۶	۰/۵۵	-۲۳٪	-
	T ₃	۳/۹۹	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۱۴	۴/۳۴	۰/۳۷	-۳۳٪	-۴۹٪
روضه چای (پل ازبک)	T ₁	۲/۴۲	۰/۸۴	۰/۳۸	۰/۰۹	۳/۷۳	۰/۹۴	-	-
	T ₂	۱/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۲	۱/۳۹	۰/۷۴	-۲۱٪	-
	T ₃	۲/۷۲	۰/۳۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۳/۱۰	۰/۴۶	-۳۷٪	-۵۱٪
گدارچای (پل بهراملو)	T ₁	۲/۵۵	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۲/۹۱	۰/۵۰	-	-
	T ₂	۲/۷۲	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۸	۳/۰۶	۰/۴۷	-۷٪	-
	T ₃	۲/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۱۳	۲/۴۲	۰/۵۰	۶٪	-۱٪
سیمینه رود (پل میان دو آب)	T ₁	۲/۱۵	۰/۵۸	۰/۱۹	۰/۵۰	۳/۴۲	۱/۰۳	-	-
	T ₂	۱/۵۱	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۲۴	۲/۱۶	۰/۹۴	-۹٪	-
	T ₃	۱/۰۹	۰/۴۹	۰/۲۱	۰/۱۵	۱/۹۴	۰/۸۴	-۱۰٪	-۱۹٪
شهرچای (کشتیان)	T ₁	۰/۸۳	۰/۱۱	۰/۳۰	۰/۰۴	۱/۲۹	۰/۹۵	-	-
	T ₂	۱/۴۵	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۰۴	۲/۰۱	۰/۸۴	-۱۱٪	-
	T ₃	۱/۳۶	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۱۵	۱/۹۲	۰/۸۰	-۴٪	-۱۵٪
مهابادچای (گردیعقوب)	T ₁	۰/۸۲	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۸	۱/۱۴	۰/۹۰	-	-
	T ₂	۱/۷۳	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۲۸	۲/۲۷	۰/۷۹	-۱۲٪	-
	T ₃	۰/۴۲	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۷۷	۰/۶۱	-۲۳٪	-۳۲٪
زربینه رود (نظام آباد)	T ₁	۰/۸۰	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۱۳	۱/۱۱	۰/۸۸	-	-
	T ₂	۱/۳۹	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۱۰	۱/۷۱	۰/۶۹	-۲۲٪	-
	T ₃	۱/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۷	۱/۴۸	۰/۶۰	-۱۳٪	-۳۲٪
زولاچای (یالقوز آغاچ)	T ₁	۱/۳۱	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۶	۱/۵۴	۰/۵۷	-	-
	T ₂	۱/۲۹	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۱/۵۱	۰/۵۷	۰٪	-
	T ₃	۰/۹۵	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۴	۱/۱۶	۰/۴۴	-۲۳٪	-۲۳٪

بررسی پارامترهای مؤثر در این بازه های زمانی مشخص می شود که تغییرات SWS دما و تبخیر افزایشی کمی دارند. افزایش پارامترهای هیدرولوژیکی دما و تبخیر در این بازه زمانی، نقشی اصلی در کاهش حجم آب دریاچه ارومیه ندارند. لذا با بررسی SWS بارش، میزان کاهش آن ناچیز است و با توجه به نتایج شکل (۴) در این دوره های زمانی، آبدهی رودخانه ها پارامتر اصلی در کاهش حجم آب دریاچه تعیین گردیده و دارای روند کاهشی قابل توجهی است.

به منظور مشخص کردن سهم عوامل مورد بررسی در این تحقیق (شکل ۴) معیار SWS برای هر یک از عوامل در دوره های مختلف زمانی ترسیم شده است. برای ترسیم آن با توجه به مساحت هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی، میانگین SWS برای پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی محاسبه شد. با عنایت نتایج روند نمودار پارامترهای هیدرولوژیکی (شکل ۴) در بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی سوم، مقدار SWS حجم آب دریاچه روند شدیداً کاهشی (کاهش مقدار حجم آب) است. با

شکل (۴): نمودار تغییرات معیار SWS برای پارامترهای بارش، دما، تبخیر، حجم دریاچه و دبی رودخانه‌ها



برای بررسی شکل (۴) و در کل دوره آماری می‌توان چنین بیان نمود که در کل دوره زمانی مورد مطالعه، پارامترهای دما و تبخیر دارای افزایش کم تغییرات SWS بوده‌اند و این عوامل در کاهش حجم آب دریاچه مؤثر بوده ولی عامل اصلی در کاهش حجم آب دریاچه نیستند.

با بررسی میزان تغییرات SWS بارش و آبدهی رودخانه‌ها می‌توان گفت که این دو عامل از عوامل اصلی کاهش حجم آب دریاچه در کل دوره آماری بوده‌اند. با توجه به کاهش پیچیدگی و SWS بیشتر دبی رودخانه‌ها نسبت به بارش، می‌توان گفت دبی رودخانه‌ها، عامل اصلی و بارش، دما و تبخیر به ترتیب در رتبه‌های بعدی تأثیرگذاری بر این پدیده مخرب زیست‌محیطی قرار دارند. نتایج این مطالعه در تأیید نتایج پژوهش‌های انجام یافته در این محدوده مطالعاتی که حاکی از افزایش شدید سطح زیر کشت شبکه‌های آبیاری و زهکشی با احداث سدها و بندهای سنتی، الگوی کشت پرمصرف آبی مانند چغندر قند و توسعه باغات و اراضی فاریاب و همچنین تبدیل مراتع به مزارع کشاورزی در بالادست حوضه‌های مورد پژوهش است.

در بازه زمانی سوم (شکل ۴)، مقدار SWS حجم آب دریاچه کاهش کمی نسبت به بازه دوم زمانی منتخب دارد. با بررسی پارامترهای مؤثر در این دوره زمانی مشخص می‌شود که تغییرات SWS دما و تبخیر افزایشی بوده ولی میزان افزایش آنها کم بوده است به عبارتی دیگر، درست است که دما و تبخیر در این دوره زمانی افزایش یافته است ولی این پارامترها، نقشی اصلی را در کاهش آب دریاچه نداشته‌اند. بررسی SWS بارش و دبی رودخانه‌ها نسبت سایر پارامترهای هیدرولوژیکی در بازه سوم کاهش هستند و با توجه به هم جهت بودن روند تغییرات آنها با تغییرات SWS حجم آب دریاچه، آنها دو عامل اصلی در این بازه زمانی در کاهش میزان حجم آب دریاچه به شمار می‌آیند.

در سال‌های گذشته برخی از اقداماتی که متولیان امر در کشور و استان‌های واقع در حوضه مورد پژوهش و همچنین اعمال سیاست‌های کنترلی توسط ستاد احیاء دریاچه ارومیه انجام داده‌اند، باعث کاهش روند شیب حجم آب دریاچه در بازه سوم زمانی نسبت به بازه دوم منتخب شده است. این مطلب خود را در کاهش پیچیدگی در بازه زمانی سوم در جدول (۲) نشان داده است. به طوری که کاهش پیچیدگی در بازه سوم، تقریباً به کمترین میزان خود رسیده است.



نتیجه گیری

در این تحقیق با بررسی تغییرات پیچیدگی پارامترهای هیدرولوژیکی منطقه از قبیل بارش، دما، تبخیر و آبدهی واحدهای هیدرولوژیکی منتخب جنوب و غرب دریاچه ارومیه، سهم این عوامل در تغییرات حجم آب دریاچه ارومیه در دوره‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از ترکیب تبدیل مویک و روش آنتروپی برای محاسبه میزان پیچیدگی استفاده گردید. نتایج حاکی از قابلیت این روش در تبیین نقش اصلی عوامل دارد. با عنایت به کاهش اندک نزولات آسمانی و کاهش شدید آبدهی، بیانگر تعامل قهرآمیز با این حوضه و دامنگیر شدن تبعات و معضلات متعدد از قبیل تغییر شرایط اقلیمی، بهره‌برداری بیش از حد توان رودخانه‌های جاری به دریاچه، افزایش غلظت شوری آب، افزایش سطوح نم‌زار حاشیه و ایجاد شرایط و بستر مناسب طوفان‌های نمکی و به تبع آن تهدید

اراضی کشاورزی در منطقه را می‌توان ذکر نمود. برای حل این مشکل و تأمین نیاز دریاچه، باید کنترل آب ورودی به دریاچه با همکاری سه استان ذینفع انجام گیرد. به منظور اعمال مدیریت مؤثر بر منابع آب محدود حوضه آبریز دریاچه ارومیه باید بین منابع و مصارف آب از طریق هماهنگی در مدیریت تأمین، توزیع و مصرف آب تعادل برقرار کرد تا تنش بیشتری بر پتانسیل آنها وارد نگردد. برنامه‌ریزی جامع توسعه و بهره‌برداری از منابع آب حوضه آبریز با نگرش سیستمی تدوین و اعمال گردد. اعمال محدودیت کشت محصولات پرمصرف آبی و صدور مجوز لازم در جهت واردات آن به منطقه از ضروریات کنونی در جهت تعدیل وضعیت بحرانی پیشنهاد می‌شود. سازماندهی و هماهنگی بین دستگاه‌ها و سازمان‌ها در انجام وظایف و مأموریت‌های محوله و همچنین ایجاد همدلی و وفاق برای کاهش تنش‌های اجتماعی ناشی از کمبود منابع آب در منطقه مورد مطالعه با هدف توسعه پایدار می‌باشد.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از رساله دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز بوده و از کلیه عزیزانی که در انجام این پژوهش همکاری نمودند کمال سپاسگزاری بعمل می‌آید. نویسندگان این پژوهش، از شرکت‌های آب منطقه‌ای استان‌های آذربایجان شرقی و غربی و شرکت مدیریت منابع آب ایران به دلیل در اختیار گذاشتن اطلاعات این مطالعه، کمال تشکر و قدردانی را بعمل می‌آورند.

منابع

- بهاء‌لوهوره، ف.، ا. راست‌بود. ۱۳۹۷. تأثیر خشک شدن دریاچه ارومیه بر اراضی اطراف آن با استفاده از سنجش از دور، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد عمران - سنجش از دور، دانشگاه مرنند.
- حسن‌زاده، ی. ۱۳۹۱. بررسی علل کاهش تراز آب دریاچه ارومیه و ارائه راهکارهای علاج بخشی، پنجمین کنگره بین‌المللی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
- زاهدی قره‌آغاج، م.، ی. قویدل رحیمی. ۱۳۸۶. تعیین آستانه خشکسالی و محاسبه میزان بارش قابل اعتماد. پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۹: ۳۴-۲۱.
- سلگی، ا. ۱۳۹۳. پیش‌بینی جریان رودخانه با مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی-مویک و مقایسه آن با روش‌های سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: رودخانه گاماسیاب نهاوند). پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.



- کاظم‌زاده، م.، آ. ملکیان، ع.ر. مقدم‌نیا و ش. خلیقی‌سیگارودی. ۱۳۹۶. تحلیل تغییرات ناگهانی و ناهمگنی متغیرهای هیدرواقليمی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آجی‌چای). اکوهیدرولوژی، ۴(۱): ۱۶۳-۱۷۵.
- گلزاری پرتو، ل. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی اثر خشک شدن دریاچه ارومیه بر بارش منطقه شمال غرب ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴(۱۳۷-۱۴): ۱۴۷.
- لاری، ع.ر.، ج. مهرکار و م.س. پیشوایی. ۱۳۹۳. ارزیابی سیاست‌های مواجهه با بحران حوضه آبریز دریاچه ارومیه با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم، نشریه علمی پژوهشی مدیریت فردا، ۴۰(۳۷-۱۳): ۶۲.
- نورانی، و.، س. رنجبر و ف. توتونچی. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات فرایندهای هیدرولوژیکی با استفاده از معیاره موجک-آنتروپی، مطالعه موردی: دریاچه ارومیه. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۳(۴۵): ۸۶-۷۵.
- Asadi, S., J. Shahrabi, P. Abbaszadeh and S. Tabanmehr. 2013. A New Hybrid Artificial Neural Networks for Rainfall-Runoff Process Modeling. *Neurocomputing*, 121: 470-480.
- Chan, D., Q. Wu, G. Jiang and X. Dai. 2016. Projected Shifts in Köppen Climate Zones over China and Their Temporal Evolution in CMIP5 Multi-Model Simulations: *Advances in Atmospheric Sciences*, 33: 283-293.
- Chou, M. 2014. Complexity Analysis of Rainfall and Runoff Time Series Based on Sample Entropy in Different Temporal Scales. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(6): 1401-1408.
- Huang, F., Z. Xia, N. Zhang, Y. Zhang and J. Li. 2011. Flowcomplexity analysis of the upper reaches of the Yangtze river China. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16: 914-919.
- Kim, T.W. and J.B. Valdes. 2003. Nonlinear model for drought forecasting based on a conjunction of wavelet transforms and neural networks. *Jornal of Hydrologic Engineering*, 8(6): 319-328.
- Mishra, A.K., M. Özger, and V.P. Singh. 2009. An entropy-based investigation into the variability of precipitation. *Journal of Hydrology*, 370(1-4): 139-154.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communications I and II. *Bell System Technical Journal*, 27: 379-443.
- Singh, V.P. 2011. Hydrologic Synthesis Using Entropy Theory: Review. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(5) : 421-433.
- Solgi, A., V. Nourani and A. Pourhaghi. 2014. Forecasting Daily Precipitation Using Hybrid Model of Wavelet-Artificial Neural Network and Comparison with Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Case Study: Verayneh Station, Nahavand). *Advances in Civil Engineering*, 2014:1-12.



Investigating the causes of rivers discharge reduction to Lake Urmia (Case study: rivers of the south and west of Lake Urmia)

Abdollah Hosseinpour¹, Ali Mohammad Akhond-Ali*², Mohammad Reza Sharifi³, Ali Kalantari Oskouei⁴.

Abstract

In any country, the management of water resources in watersheds is very important, and managers try to protect these resources by providing management packages. One of the basins that have been considered by managers in the recent years is the catchment area of Lake Urmia located in the northwestern of Iran. In this study, considering the complexity of the rainfall, temperature, evaporation, discharge of hydrometric stations, water volume of the Lake, the contribution of each factor on the rate of decreasing water volume of Urmia Lake was determined. To evaluate the changes in complexity, Wavelet-Entropy combination method was used. To calculate the value of complexity, 41 years seasonal time series were used (period of 1977-2018) for the selected hydrological units of the south and west of Urmia lake. Then, the time series were divided into three equal parts, and the complexity changes were calculated in these intervals based on the wavelet-entropy criterion (SWS). The results showed that SWS of lake water volume, rivers discharge flow and precipitation were reduced in entire time, however, the SWS of temperature and evaporation increased. Generally, it seems that the rivers discharge flow was the main cause of reducing the volume of lake water, and precipitation, temperature, and evaporation parameters were in the next ranks.

Keyword: Discharge, Hydrological Units, Investigating Complexity, Urmia Lake, Wavelet-Entropy method.

*Corresponding Author Email: aliakh@scu.ac.ir.

- 1- PhD. Student, Department of Water Resources, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. pouyahoseinpouya@gmail.com.
- 2-Professor of Hydrology and Water Resources Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. aliakh@scu.ac.ir.
- 3- Assistant Professor of Hydrology and Water Resources Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. sharifi3010@gmail.com.
- 4- Assistant Professor of Agricultural and Natural Resources Research and Training Center of East Azerbaijan, Iran. oskhom@gmail.com.

Extended Abstract

Research Paper

Investigating the causes of rivers discharge reduction to Lake Urmia (Case study: rivers of the south and west of Lake Urmia)

Abdollah Hosseinpour¹, Ali Mohammad Akhond-Ali², Mohammad Reza Sharifi³, Ali Kalantari Oskouei⁴

PhD. Student, Department of Water Resources, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. pouyahoseinpourpouya@gmail.com.

2-Professor of Hydrology and Water Resources Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Ahvaz, Iran. aliakh@scu.ac.ir. ¹Corresponding Author

3- Assistant Professor of Hydrology and Water Resources Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. sharifi3010@gmail.com.

4- Assistant Professor of Agricultural and Natural Resources Research and Training Center of East Azerbaijan, Iran. oskhom@gmail.com.



10.22125/IWE.2020.235271.1369

Received:
25. June.2020
Accepted:
05. October.2020
Available online:
10. January.2022

Keywords:
Discharge,
Hydrological
Units,
Investigating
Complexity,
Urmia Lake,
Wavelet-Entropy
method.

Abstract

In any country, the management of water resources in watersheds is very important, and managers try to protect these resources by providing management packages. One of the basins that have been considered by managers in the recent years is the catchment area of Lake Urmia located in the northwestern of Iran. In this study, considering the complexity of the rainfall, temperature, evaporation, discharge of hydrometric stations, water volume of the Lake, the contribution of each factor on the rate of decreasing water volume of Urmia Lake was determined. To evaluate the changes in complexity, Wavelet-Entropy combination method was used. To calculate the value of complexity, 41 years seasonal time series were used (period of 1977-2018) for the selected hydrological units of the south and west of Urmia lake. Then, the time series were divided into three equal parts, and the complexity changes were calculated in these intervals based on the wavelet-entropy criterion (SWS). The results showed that SWS of lake water volume, rivers discharge flow and precipitation were reduced in entire time, however, the SWS of temperature and evaporation increased. Generally, it seems that the rivers discharge flow was the main cause of reducing the volume of lake water, and precipitation, temperature, and evaporation parameters were in the next ranks.

1. Introduction

In any country, the management of water resources in watersheds is very important, and managers try to protect these resources by providing management packages. One of the basins that have been considered by managers in the recent years is the catchment area of Lake Urmia located in the northwestern of Iran.

2. Materials and Methods

In this study, considering the complexity of the rainfall, temperature, evaporation, discharge of hydrometric stations, water volume of the Lake, the contribution of each factor on the rate of decreasing water volume of Urmia Lake was determined. To evaluate the changes in complexity, Wavelet-Entropy combination method was used. To calculate the value of complexity, 41 years seasonal time series were used (period of 1977-2018) for the selected hydrological units of the south and west of Urmia lake. Then, the time series were divided into three equal parts, and the complexity changes were calculated in these intervals based on the wavelet-entropy criterion (SWS).

3. Results

The results showed that SWS of lake water volume, rivers discharge flow and precipitation were reduced in entire time, however, the SWS of temperature and evaporation increased. Generally, it seems that the rivers discharge flow was the main cause of reducing the volume of lake water, and precipitation, temperature, and evaporation parameters were in the next ranks.

4. Discussion and Conclusion

The results showed that SWS of lake water volume, rivers discharge flow and precipitation were reduced in entire time, however, the SWS of temperature and evaporation increased. Generally, it seems that the rivers discharge flow was the main cause of reducing the volume of lake water, and precipitation, temperature, and evaporation parameters were in the next ranks

5. Six important references

1. Fatahi Nafchi A., 2019. Determining the share of water transfer projects from Karun tributaries in reducing the inflow to the reservoir of Karun 4 dam, thesis master's degree in water science and engineering majoring in hydrology and water resources, Chamran, Ahvaz.
2. Mishra, A.K., M. Özger, and V.P. Singh. 2009. An entropy-based investigation into the variability of precipitation. *Journal of Hydrology*, 370(1-4): 139-154.
3. Nourani V., Ranjbar S., Tootoonchi F.k, 2015, Investigation of changes in hydrological processes using wavelet-entropy criterion Case study: Urmia Lake, *Journal of Civil and Environmental Engineering*, Volume 45.3, Number 80 - Consecutive Number 80.
4. Singh, V.P. 2011. Hydrologic Synthesis Using Entropy Theory: Review. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(5): 421-433.
5. Solgi, A., V. Nourani and A. Pourhaghi. 2014. Forecasting Daily Precipitation Using Hybrid Model of Wavelet-Artificial Neural Network and Comparison with Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Case Study: Verayneh Station, Nahavand). *Advances in Civil Engineering*, 2014:1-12.
6. Solgi, A. 2014, Prediction of river flow with a combined model of artificial neural network-wavelet and its comparison with the methods of adaptive neural fuzzy inference system and artificial neural network (Case study: Gamasiab Nahavand river). Master Thesis in Water Resources Engineering, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest