

ارزیابی تاثیر شاخصهای اقلیمی NAO و SOI بر تغییرات تراز دریاچه ارومیه، کاربرد روشهای آنالیز طیفی سری‌های زمانی

شیدا جلیلی^۱ - سعید مرید^{۲*} - احمد بناکار^۳ - رضا نامدار قنبری^۴

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۴

چکیده

دریاچه ارومیه به عنوان یکی از پیکره های آبی مهم ایران در سالهای اخیر با کاهش شدید تراز سطح آب مواجه شده است. در این راستا بررسی تاثیر فاکتورهای اقلیمی و تغییرات سری زمانی آنها می تواند راهگشایی برای تغییر رفتار دینامیک این سیستم آبی باشد. در این مقاله با استفاده از تکنیک‌های آنالیز طیفی سری زمانی به این مهم پرداخته شده است. بدین منظور ترکیبی از روشهای تخمین طیفی چند کاهنده (Multi Taper Method) و تحلیل طیف تکین (Singular Spectral Analysis) برای بررسی طیفی سری زمانی تراز دریاچه و روش تخمین وابستگی (coherency estimation) برای بررسی ارتباط سری زمانی شاخص SOI و NAO با تراز دریاچه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که افت تراز سطح آب در سال‌های اخیر و همچنین پرابی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹ توسط نوسانات دوره‌ای سری زمانی تراز دریاچه قابل مدلسازی نمی‌باشد. اما نشان داده شد که دوره نوسانی ۴/۵ ساله تراز دریاچه ارومیه وابستگی معنی‌داری با شاخص‌های اقلیمی SOI و NAO دارد و این عوامل اقلیمی می‌توانند بخشی از رفتار دوره‌ای تراز دریاچه را توصیف نمایند.

واژه های کلیدی: دریاچه ارومیه، تحلیل طیفی، شاخصهای اقلیمی، آنالیز وابستگی

مقدمه

دوره های چند ساله تا چندین دهه اتفاق می‌افتد (۱۲)، می‌تواند بصورت مستقیم از طریق اقلیم محلی و یا غیر مستقیم از طریق فرایندهای هیدرولوژیکی دیگر بر پیکره های آبی تاثیر بگذارند (۹، ۱۱، ۱۰ و ۱۸).

علیپور (۴) پیشنهاد می‌کند که افت تراز آب دریاچه ارومیه ممکن است نتیجه یک دوره طولانی مدت آب و هوای خشک بوده باشد. بنابراین هر جستجویی در خصوص ارزیابی علل افت تراز آب دریاچه ارومیه ابتدا باید با تحلیل اثر اقلیم محلی، منطقه ای و جهانی روی دریاچه شروع شود.

بدین منظور کاربرد آنالیز سری‌های زمانی اقلیمی در قلمرو فرانکس با بکارگیری روشهای نوین طیفی بدلیل ویژگیهای مناسب آنها در استخراج ارتباط الگوهای دوره‌ای سری‌های زمانی اخیراً مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است. مانند هانسون و همکاران (۱۲ و ۱۳) که رویکرد مناسبی را برای ارزیابی اثر شاخصهای اقلیمی ENSO، NAM^۵ و PDO^۶ بر سری‌های زمانی هیدرولوژیکی جنوب غربی ایالات

دریاچه ارومیه به عنوان یکی از پیکره های مهم آبی در ایران، نقش مهمی در محیط زیست و اقتصاد شمال غرب ایران دارد. این دریاچه طی سالهای اخیر با افت تراز آب (تقریباً ۶ متر از ژوئن ۱۹۹۵ تا می ۲۰۰۹) مواجه شده که کاهش بسیار شدید مساحت دریاچه و شوری بیش از ۳۰۰ گرم در لیتر را بدنبال داشته است (۷). این وضعیت، شناخت بهتر فرایندهای اصلی موثر بر نوسانات تراز آب دریاچه را ضروری می‌نماید تا برنامه های مدیریتی مناسب به منظور ممانعت از آن را هدایت نماید.

تعداد زیادی از تحقیقات در سراسر جهان تغییرات تراز دریاچه ها را به تغییرات اقلیمی مرتبط می‌دانند (۵، ۱۴ و ۲۰) و اعتقاد دارند که تغییرات برگشت پذیر و دوره‌ای در سیستم آب و هوایی جهانی که در

۲، ۱ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری، دانشیار و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

*- نویسنده مسئول: (Email: morid_sa@modares.ac.ir)

۴- محقق فوق دکتری دانشگاه Merced کالیفرنیا، (آمریکا)

اقلیمی بزرگ مقیاس شامل SOI و NAO و تراز آب دریاچه ارومیه در حیطه فرکانس می پردازد و تلاش می کند تا وجود چنین ارتباطی و نیز چگونگی تاثیر آن در فهم رفتار دریاچه تفسیر نماید.

مواد و روشها

منطقه مطالعاتی: دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران بین $37^{\circ}03'$ و $38^{\circ}17'$ شمالی و بین $44^{\circ}59'$ و $45^{\circ}56'$ شرقی (شکل ۱) با طول حدود ۱۴۶ کیلومتر و عرض حداکثر برابر با ۵۸ کیلومتر، بزرگترین دریاچه داخل ایران و یکی از دریاچه های فوق شور در جهان است. این دریاچه، یک دریاچه بسته^{۱۳} با حداکثر عمق ۱۶ متر می باشد و تراز سطح آب آن بین ۱۲۷۲ متر و ۱۲۷۸ متر از سطح آبهای آزاد متغیر است (شکل ۲) و مساحت سطح آن بین ۴۷۵۰ و ۶۱۰۰ کیلومتر مربع متناسب با ورودیها و تبخیر تغییر می کند (۷). دریاچه، همراه با ۱۰۲ جزیره آن به عنوان ذخیره بیوسفر^{۱۴} توسط UNESCO معرفی شده است و جز تالابهای بین المللی تحت قرارداد رامسر^{۱۵} می باشد. کوههایی از غرب، جنوب و شرق دریاچه را احاطه می کنند ولی از سمت شمال ارتفاعات مهمی وجود ندارد. حداکثر ارتفاع در غرب ۳۶۰۸ متر، در شرق ۳۱۷۳ متر و در جنوب ۴۸۱۱ متر از سطح آبهای آزاد می باشد.

تراز آب دریاچه ارومیه روزانه دو بار در ساعت ۸ و ۱۸ در سه ایستگاه اطراف دریاچه قرائت می شود. دقت قرائتها ± 0.5 سانتی متر است. برای این تحقیق اندازه گیریهای روزانه از ایستگاه گلخانه (37°36'N, 45°16'E) از ۱ ژانویه ۱۹۶۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۸ تهیه و مورد استفاده قرار گرفت که سری زمانی ماهانه آن در شکل ۲ ارائه شده است.

شاخص SOI و شاخص NAO: رویداد ENSO^{۱۶} ترکیبی از ElNino و SO^{۱۷} است که منجر به ناپهنجاری های بزرگ آب و هوایی در بسیاری از نقاط جهان می شود.

برای نخستین بار والکر و بلیس (۲۵ و ۲۶) به وجود چنین پدیده ای اشاره کردند و آن را نوسانات جنوبی یا SO نامیدند. شاخص نوسان جنوبی SOI نیز شاخص عددی مورد استفاده برای مطالعه پدیده ENSO است. این شاخص به صورت تفاوت فشار سطح دریا بین Darwin در اقیانوس آرام و Tahiti در شرق استرالیا محاسبه می شود. اگر SOI عددی مثبت شود شرایط La Nina حاکم است و SOI منفی، شرایط ElNino را نشان می دهد.

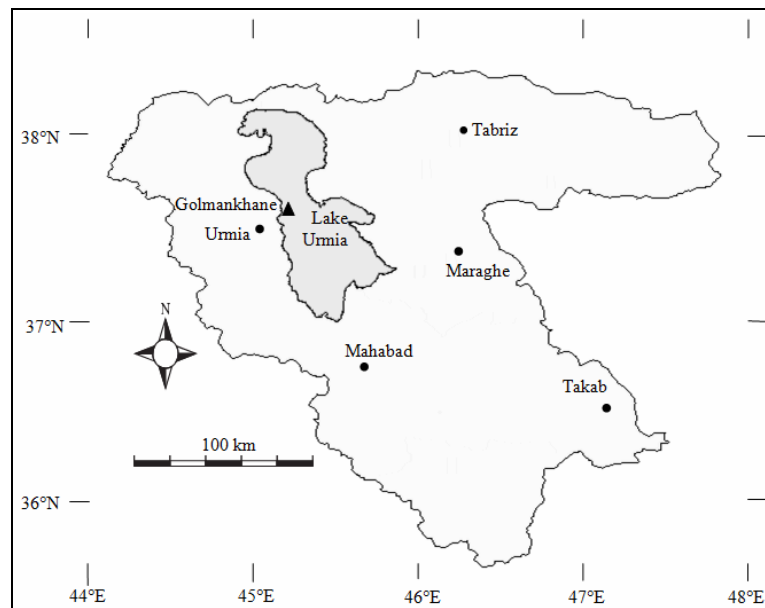
متحد با استفاده از مولفه های بازسازی شده^۱ (RC) تحلیل طیف تکین^۲ (SSA) و آنالیز وابستگی^۳ ارائه دادند. نامدار قنبری و براوو (۱۸) نیز ارتباط بین تراز دریاچه های Superior, Michigan, Erie و Ontario را با شاخصهای اتمسفری^۴ PDO, TNI^۵, NAM/AO^۶, PNA^۷ با آنالیز وابستگی در محدوده فرکانس بررسی نمودند. همین محققین (۱۷) اثرات چهار شاخص اقلیمی SOI^۸, PDO^۹, NAO^{۱۰} و NP^{۱۱} را بر تعدادی از فرایندهای هیدرولوژیکی مانند بارندگی، دبی رودخانه، تراز آب زیرزمینی، تراز دریاچه و مدت پوشش یخ دریاچه بررسی نمودند که در مقیاسهای منطقه ای (ایالت Wisconsin و محدوده چهار دریاچه بزرگ آمریکا)، حوضه ای (حوضه دریاچه Trout) و محلی (محدوده پوشش یخی دریاچه Mendota) با استفاده از آنالیز طیف تکین (SSA) برای کاهش نویز^{۱۱} سری ها و روش چند کاهنده^{۱۲} (MTM) برای تخمین طیفی به انجام رسید. پاسکونینی و همکاران (۱۹) ارتباط معنی داری بین شاخص SOI و سری زمانی تراز دریاچه های آرژانتین را با استفاده از روشهای طیفی تحلیل فوریه و تبدیل موجک (wavelet) بدست آوردند.

در خصوص دریاچه ارومیه، بررسی تاثیر تغییرات عوامل اقلیمی چه در مقیاس محلی و چه در مقیاس جهانی تحقیقات کمی انجام شده است. جبارلوی شبستری (۱) نوسانات سطح آب دریاچه را در دوره کوتاه تر با بررسی پهنه های نمکی حاشیه دریاچه ارزیابی کرد و نتیجه گرفت که در ۵ تا ۱۰ هزار سال قبل، احتمالاً سطح آب دریاچه از زمان حاضر پایین تر بوده است. کلسنت و شهراپی (۱۵) گزارش کردند که طی مقیاسهای زمانی ژئولوژیکی، نوسانات زیادی در تراز سطح آب دریاچه رخ داده است که تحقیقات اخیر بر مبنای برداشت نمونه هایی تا عمق ۱۰۰ متر از کف دریاچه هم آن را تأیید می کند (۶). فاتحی مرج و همکاران (۲) نشان دادند که از بین شاخصهای اقلیمی ENSO^{۱۶}, SOI, PDO, PNA, NOA, NINO_{3,4} و NOI، تغییرات جریان فصل بهار اکثر رودخانه ها در حوضه دریاچه ارومیه ناشی از شاخصهای SOI منفی، PDO مثبت و NOA است.

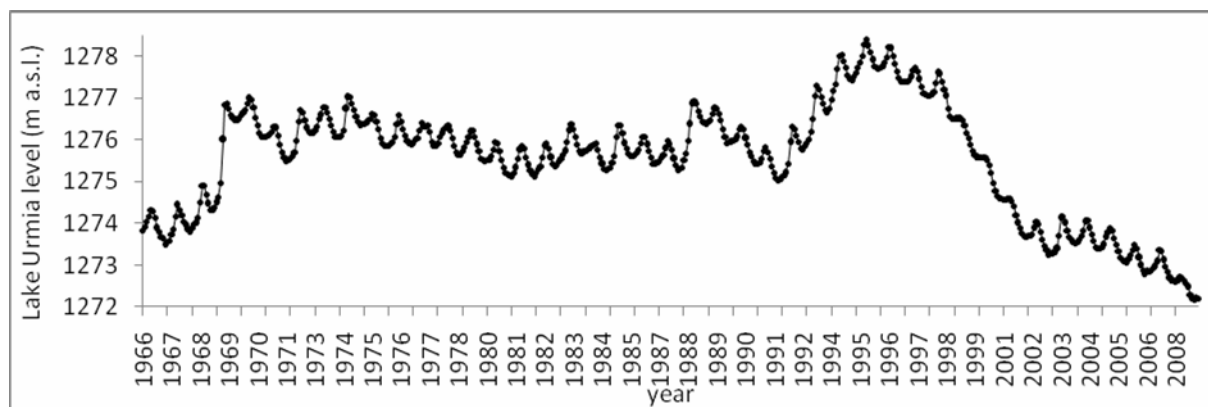
این مقاله به بررسی ارتباط بین سریهای زمانی شاخصهای

- 1- Reconstructed Component
- 2- Singular Spectral Analysis
- 3- Coherency Estimation
- 4- Atmospheric tele-connections
- 5- Trans-Nino Index
- 6- Northern Annular Mode/Arctic Oscillation Index
- 7- Pacific/North American PNA pattern
- 8- Southern Oscillation Index
- 9- Northern Atlantic Oscillation
- 10- Northern Pacific index
- 11- Noise
- 12- Multi Taper Method

- 13- Terminal
- 14- Biosphere Reserve
- 15- Convention of Ramsar
- 16- ElNino Southern Oscillation
- 17- Southern Oscillation



شکل ۱- موقعیت دریاچه ارومیه و حوضه آبریز آن



شکل ۲- آمار ماهانه تراز دریاچه ارومیه از ژانویه سال ۱۹۶۶ تا دسامبر ۲۰۰۸ میلادی

گرفته می شوند که در اینجا از روش چند کاهنده^۲ (۲۳) استفاده شده است. بدین منظور ابتدا نویز سری زمانی تراز آب دریاچه با استفاده از روش آنالیز طیف تکین^۳ حذف گردیده و سپس پردازشهای طیفی روی سری زمانی پیش پردازش شده اعمال شده است. نهایتاً نیز آنالیز وابستگی^۴ به منظور بررسی ارتباط سری‌های زمانی شاخص‌های اقلیمی و تراز دریاچه بکار گرفته می‌شود. برای این کار از نرم‌افزار SSA-MTM و توابع موجود در Matlab استفاده شد. شرح مختصری از این روش‌ها در ادامه ارائه می‌گردد.

کاهش نویز: تحلیل طیف تکین (SSA) روشی برای افزایش

پدیده نوسانات اطللس شمالی NAO، تغییرات اقلیمی بزرگ مقیاس نیم کره شمالی است و بر اساس اختلاف فشار اتمسفری در سطح آب بین Azores High و Icelandic Low محاسبه می‌گردد. برای این تحقیق مقادیر ماهانه شاخص NAO (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>) و SOI (<http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/>) طی دوره ۱۹۶۶ لغایت ۲۰۰۸، مشابه دوره آماری تراز دریاچه، تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

روش‌های طیفی: برای تعیین محتوای طیفی یک فرآیند تصادفی بر پایه یک سری محدود از مشاهدات، روشهای تخمین طیفی^۱ بکار

2 - Multi Taper Method

3 - Singular Spectral Analysis

4 - Coherency Analysis

1- Spectral Estimation

که در آن $r_{xx}[k]$ تابع اتوکواریانس فرایند X و f فرکانس است. در مورد سری‌های زمانی محدود مانند سری زمانی تراز دریاچه ارومیه با توجه به محدودیت مشاهدات موجود استفاده از تبدیل فوریه تخمینی از طیف با نشت طیفی^۵ بالا ارائه می‌دهد. روش‌های متفاوت تخمین طیفی با استفاده از متوسط‌گیری باندهای فرکانسی و استفاده از پنجره‌های (توابع) هموارکننده^۶ مانند پنجره Hann بر روی تخمین اولیه طیف سعی دارند تا نشت طیفی را حداقل نمایند. برای بدست آوردن تخمین طیفی پایدار به منظور استخراج نوسانات دوره ای تراز دریاچه ارومیه از روش چندکاهنده (MTM) (۲۳) استفاده شد. چندکاهنده از روشهای غیرپارامتری و جز دقیق‌ترین روش‌های تخمین طیفی و تجزیه سیگنال از یک سری زمانی است (۱۷ و ۱۸). این روش بر این پایه است که واریانس تخمین‌های طیفی را با بکارگیری مجموعه‌ای از کاهنده‌ها^۷ کم نماید. کاهنده‌ها مجموعه‌ای از دنباله‌ها به نام سری‌های کروی دوکی شکل گسسته DPSS^۸ هستند. هر کدام از کاهنده‌ها یک تخمین طیفی را نتیجه می‌دهند و میانگین آنها، تخمین طیفی پایدار را ارائه می‌دهد.

تحلیل وابستگی: تابع وابستگی، همبستگی خطی میان دو مولفه فرآیند دو متغیره در فرکانس ω را اندازه می‌گیرد و مشابه توان دوم ضریب همبستگی معمولی می‌باشد. اگر تخمین طیفی هموار شده برای سری های x_t و y_t به ترتیب با $f_{xx}(\omega)$ و $f_{yy}(\omega)$ و تخمین طیف متقابل را با $f_{xy}(\omega)$ نشان دهیم، آنگاه تابع وابستگی به شکل رابطه ۴ قابل تعریف است:

$$W(\omega) = \frac{|f_{xy}(\omega)|^2}{f_{xx}(\omega)f_{yy}(\omega)} \quad (4)$$

که در آن، $f_{xy}(\omega)$ تابع طیف متقابل است که از دو بخش حقیقی $Ref(\omega)$ و موهومی $Imf(\omega)$ مطابق رابطه ۵ تشکیل می‌شود (۲۲).

$$f_{xy}(\omega) = Ref(\omega) + i.Imf(\omega) \quad (5)$$

محاسبه مقدار طیف متقابل نیز در رابطه ۶ ارائه شده است.

$$|f_{xy}(\omega)| = \sqrt{Ref(\omega)^2 + Imf(\omega)^2} \quad (6)$$

مقدار تابع وابستگی بین صفر و یک متغیر است و هرچه به عدد یک نزدیکتر باشد، نشان می‌دهد دو فرآیند در فرکانس مزبور ارتباط نزدیک‌تری دارند.

تعیین معنی دار بودن وابستگی: برای معنی دار بودن وابستگی، مقدار $W(\omega)$ باید از آستانه بحرانی T بزرگتر باشد. بدین منظور ابتدا آماره F از $d-2$ درصد نقاط بالایی توزیع فیشر با درجه آزادی (2, d-2) بدست می‌آید.

نسبت سیگنال به نویز^۱ (S/N) است. این روش بر پایه ایده قرار دادن یک پنجره متحرک روی سری زمانی و استخراج الگوهایی که درصد بالایی از تغییرات آن را توصیف می‌کند، استوار است و روشی غیرپارامتری محسوب می‌گردد (۹). بدین منظور جاسازی سری زمانی مشاهداتی $\{x(t): t=1, \dots, n\}$ در یک فضای برداری با بعد M و سپس ماتریس تاخیر کوواریانس $CDM \times M$ محاسبه می‌شود. برای حذف نویز نیز الگوریتم Vautard و Ghil (VG) بدلیل برتری آن برای سریهای کوتاه قابل استفاده است (۲۴). در این الگوریتم مقادیر ماتریس CD بر اساس رابطه ۱ مستقیماً از داده های سری زمانی به شکل ماتریس قطری محاسبه می‌شوند:

$$c_{ij} = \frac{1}{n-|i-j|} \sum_{t=1}^{n-|i-j|} x(t)x(t+|i-j|) \quad (1)$$

که در آن c_{ij} مولفه ردیف i و ستون j ماتریس CD است. سپس مطابق رابطه ۲ مقادیر مشخصه λ_k و بردارهای مشخصه E_k ماتریس بدست می‌آید:

$$CD \cdot E_k = \lambda_k \cdot E_k \quad (2)$$

رتبه بندی مقادیر مشخصه $\{\lambda_k: 1 \leq k \leq M\}$ به صورت نزولی انجام می‌شود. واریانس سری را در جهت مشخص شده توسط

بردار مشخصه متناظر E_k می‌دهد (شکل ۳). اگر مقادیر مشخصه به صورت نزولی مرتب و رسم شود، می‌توان دو شیب متفاوت را ملاحظه نمود که یکی با شیب تند که نمایشگر سیگنال است و دیگری بخش هموارتر که نمایشگر نویز در سریها می‌باشد، مانند آنچه در شکل ۳ برای دریاچه ارائه شده است. با حذف مولفه‌های مربوط به نویز و بازسازی سیگنال توسط مولفه‌های باقیمانده می‌توان نسبت (S/N) را در سری بازسازی شده حداکثر نمود. هر چه بعد پنجره بزرگتر باشد در عین حال که برای توصیف سری زمانی به مولفه های بیشتری احتیاج خواهد بود، قدرت بزرگنمایی فرکانس نیز بیشتر می‌شود.

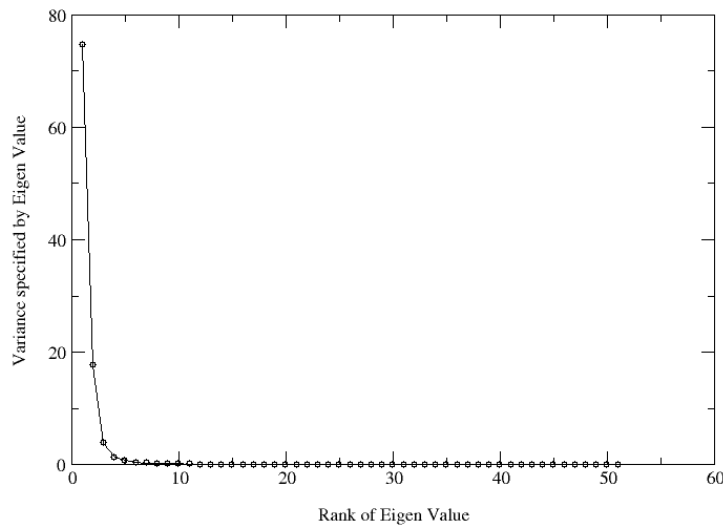
تخمین طیفی: طیف فرآیندی تصادفی ایستا به مفهوم وسیع^۴ (WSS)، تبدیل فوریه، تابع اتوکواریانس آن فرایند است. این تعریف به شکل رابطه ۳ نشان داده می‌شود (۲۱):

$$P_{xx}(f) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} r_{xx}[k] \exp(-j2\pi fk) \quad (3)$$

$$-\frac{1}{2} \leq f \leq \frac{1}{2}, \quad j^2 = -1$$

5- Leakage
6- Smoothing
7- Tapers
8- Discrete Prolate Spheroidal Sequences

1- Signal to noise ratio
2- Eigen value
3- Eigen vector
4- Wide Sense Stationary



شکل ۳- درصد تغییرات سری زمانی به ازای مقادیر مشخصه

قطری نمودن ماتریس مزبور، با توجه به مقدار مولفه‌های تکی، آنها به صورت نزولی مرتب گردیدند (شکل ۳). مولفه‌های تکی که درصد پایینی از واریانس سری زمانی را تعریف می‌کنند (قسمتی از نمودار شکل ۳ که حالت هموارتری دارد) به عنوان نویز حذف شدند. بدین منظور از آزمون میله‌های خطا^۱ استفاده گردید. این آزمون مقادیر سهم مشارکت هر مولفه تکی را در تغییرات سری زمانی بدست می‌دهد. سپس بازسازی سیگنال توسط مولفه‌های باقیمانده انجام شد که در شکل ۴ نشان داده شده است.

استخراج دوره‌های نوسانی طیف سری زمانی تراز دریاچه ارومیه: برای بدست آوردن تخمین طیفی پایدار به منظور استخراج نوسانات دوره‌ای تراز دریاچه ارومیه از روش چندکاهنده (MTM) بر روی سری زمانی بازسازی شده SSA (شکل ۵) استفاده شد.

با توجه به اینکه هر چه تعداد کاهنده‌ها بیشتر باشد، واریانس تخمین کمتر خواهد بود، ولی قدرت تفکیک^۲ بین فرکانس‌ها کمتر می‌شود، لذا باید انتخابی بهینه، بین واریانس و قدرت تفکیک انجام داد.

برای سری‌های زمانی اقلیمی قدرت تفکیک $p=2$ و مطابق آن تعداد کاهنده $2p-1=3$ توصیه شده است (۱۶) که در اینجا نیز از این مقادیر استفاده گردید. با توجه به اینکه طیف فرآیندهای کاملاً دوره‌ای به صورت خطوط عمودی است، لذا پیکها در یک طیف می‌توانند نشان‌دهنده نوسانات هارمونیک (دوره‌ای) باشند (۳). البته پیک‌ها فقط وقتی نمایش‌دهنده دوره‌های نوسانی هستند که با آزمون آماری تثبیت شود که ناشی از نویز نمی‌باشند.

d درجه آزادی مربوط به تخمین طیفی سری زمانی می‌باشد و تابعی از عرض پنجره هموار کننده تخمین طیفی و طول سری زمانی است. درجه آزادی d برابر $d = \frac{8}{3} \left(\frac{n}{M} \right)$ می‌شود. (۸) سپس T به صورت رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

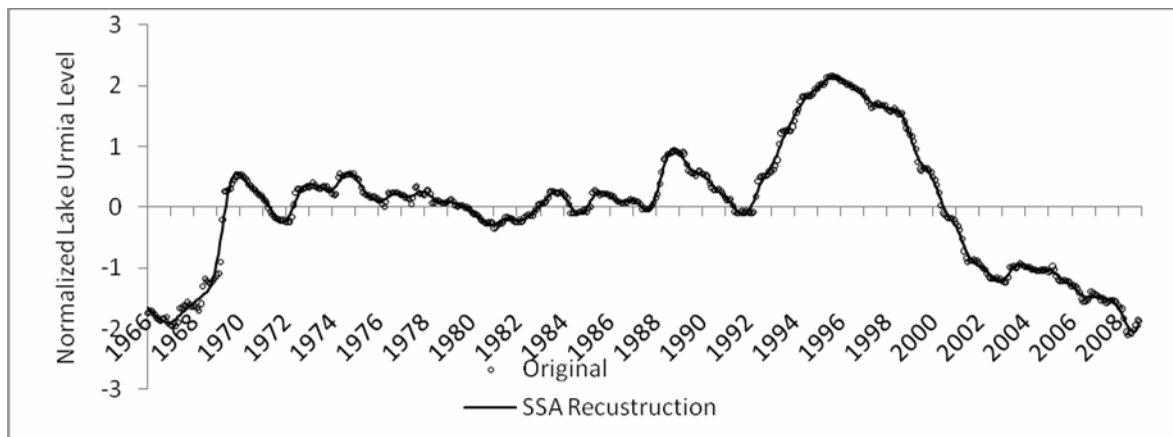
$$T = \frac{2F}{d - 2 + 2F} \quad (7)$$

حال اگر که $W(\omega) > T$ باشد، فرض اینکه دو سری زمانی ارتباط با هم نداشته باشند در سطح ۵٪ رد می‌شود.

نتایج

پیش پردازش سری زمانی تراز دریاچه ارومیه: برای این بخش ابتدا اثر فصلی سری زمانی ماهانه تراز دریاچه ارومیه با استفاده از تفاضل مقادیر ماهانه از متوسط بلندمدت هر ماه حذف شد و سپس روند خطی از سری زمانی تراز از بین رفت. در ادامه نیز سری حاصل نرمال شد $(X-Xm)/S$. به منظور افزایش نسبت سیگنال به نویز (S/N) نیز آنالیز طیف تکین (SSA) که بنا به پیشنهاد اووتارد و همکاران (۲۴) طول پنجره بین یک دهم تا یک پنجم طول سری زمانی در نظر گرفته شد. با توجه به طول دوره آماری ۵۱۶ ماهه تراز دریاچه، طول‌های ۱۰۳ ($n/5$)، ۸۶ ($n/6$)، ۷۳ ($n/7$)، ۶۴ ($n/8$)، ۵۷ ($n/9$) و ۵۱ ($n/10$) برای پنجره بررسی شد. با افزایش طول پنجره تعداد مقادیر مشخصه‌ای که قادر به تعریف این درصد از تغییرات سری زمانی هستند افزایش می‌یابد، در مقابل با افزایش طول پنجره قدرت بزرگنمایی بیشتر می‌شود که مورد اخیر اهمیت کمتری در خصوص حذف نویز از سری دارد که با توجه به این مورد طول ۵۱ برای پنجره انتخاب شد. بعد از تخمین ماتریس اتوکوواریانس و

1- Error Bars Test
2- Resolution



شکل ۴- سیگنال بازسازی شده توسط مولفه های SSA در مقابل سری زمانی اولیه

همانطور که جدول ۲ و شکل ۶ نشان می‌دهند، وابستگی بین سری زمانی تراز دریاچه با شاخص NAO در دوره‌های زمانی بلندمدت بین ۳/۹ تا ۵/۲ سال معنی‌دار است. مقایسه دوره‌های غالب نوسانی تراز دریاچه (جدول ۱) با وابستگی‌های معنی‌دار از جدول ۲ نشان می‌دهد که شاخص NAO تاثیر معنی‌داری در دوره نوسانی ۴/۵ ساله سری زمانی تراز دریاچه ارومیه دارد. همچنین وابستگی معنی‌دار بین سری زمانی تراز دریاچه و شاخص SOI در دوره‌های زمانی طولانی مدت بین ۴/۱ تا ۱۱/۴ سال قابل مشاهده است (جدول ۳ و شکل ۷). مقایسه دوره‌های غالب نوسانی تراز دریاچه از جدول ۱ با وابستگی‌های معنی‌دار از جدول ۳ نشان می‌دهد که در دوره نوسانی ۴/۵ ساله، تراز دریاچه وابستگی معنی‌داری با تغییرات شاخص SOI دارد. در ادامه سری زمانی نوسانی تراز دریاچه با دوره ۴/۵ ساله بازسازی شد (شکل ۸).

شکل ۸ نشان می‌دهد که نوسانات ۴/۵ ساله بخش عمده‌ای از تغییرات نوسانی تراز دریاچه را توصیف می‌کند. که توسط این شاخص‌ها به انجام رسیده است.

نتیجه گیری

این مقاله بخشی از کار تحقیقی مولفین این مقاله برای رفتار سنجی دریاچه ارومیه می‌باشد. نتایج نشان داد که تحلیل‌های طیفی مورد استفاده در تحقیق، توانست بطور نسبی تغییرات تراز دریاچه را شبیه سازی نماید، هرچند برای پرآبی ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹ و دوره افت سال‌های ۲۰۰۰ به بعد عملکرد مطلوبی نداشت.

البته با توجه به محدودیت طول سری زمانی تراز دریاچه ارومیه (۵۱۶ ماه) فرکانس متناظر با بیش از حداکثر ۲۵۸ ماه قابل استخراج از سری زمانی آن نمی‌باشند. این ضعف باعث می‌گردد که بخشی از تغییرات تراز که مرتبط با نوسانات بلندمدت است قابل شبیه سازی

با توجه به اینکه وجود نویز قرمز در پدیده‌های دینامیک مانند تغییرات تراز دریاچه بسیار محتمل است (۹)، پیکهایی که فرض صفر (نویز قرمز) را در سطح ۵ درصد رد کردند به عنوان دوره های نوسانی سری زمانی تراز دریاچه معرفی شدند. این مقادیر در جدول ۱ آمده است. سری زمانی دوره‌ای تراز دریاچه ارومیه سپس با استفاده از این دوره‌های نوسانی بازسازی شد (شکل ۵). همانگونه که شکل ۵ نشان می‌دهد سری زمانی بازسازی شده بخصوص در سال‌های اخیر همخوانی خوبی با سری زمانی مشاهداتی تراز دریاچه ارومیه ندارد.

تحلیل‌های وابستگی: در این تحقیق از پنجره Hann با عرض پنجره (M) ۱۷۲ (برابر یک سوم طول سریها) (۱۷ و ۱۸) برای هموار نمودن طیف تخمینی استفاده شد. درجه آزادی انتخاب شده برابر

$$d = \frac{8}{3} \left(\frac{n}{M} \right) = 9$$

و بدست آمد $T=0.57$.

جدول ۱- فرکانسهای نوسانی سری زمانی تراز دریاچه ارومیه

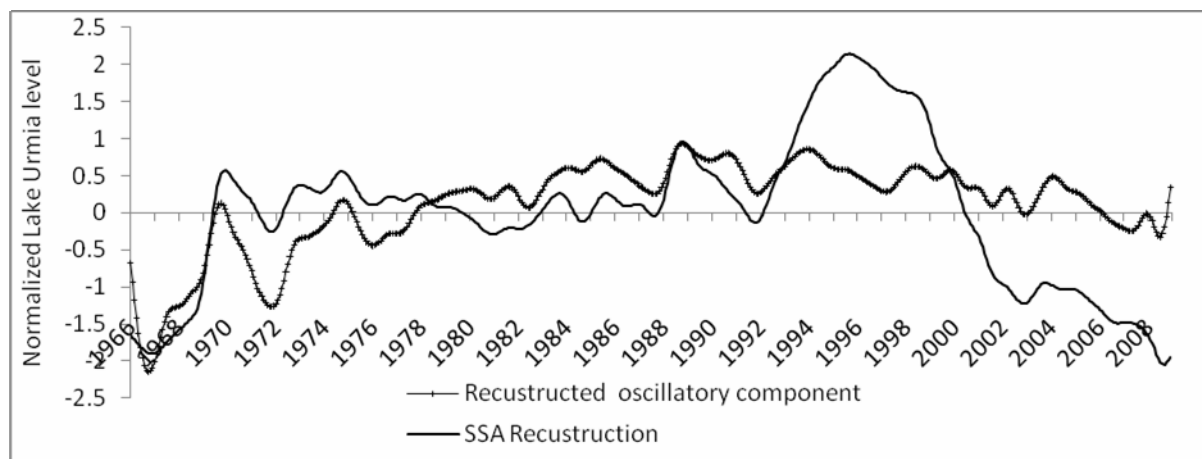
فرکانس (دور در ماه)	ماه	سال
0.003876	258.0	21.5
0.018555	53.9	4.5
0.03418	29.3	2.4
0.045898	21.8	1.8
0.061523	16.3	1.4
0.071289	14.0	1.2
0.082031	12.2	1.0

جداول ۲ و ۳ فرکانس‌هایی که تطابق دو سری زمانی شاخص NAO و SOI و تراز دریاچه معنی دار است را ارائه می‌دهند. شکل ۶ و ۷ نیز وابستگی را در فرکانسهای بین صفر تا ۱ (دوره‌های بین سالی) را بین دو سری زمانی شاخص‌ها و تراز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. آستانه معنی‌داری تطابق (۰/۵۷) در این دو شکل با خط راست نشان داده شده است.

نباشد.

فرکانس فوق با رفتار نوسانی تراز نشان می‌دهد که تاثیر عوامل اقلیمی بخش عمده‌ای از رفتار دوره ای آن را توصیف می‌نماید. اما چگونگی این تاثیرات با بررسی دقیق الگوی جریان‌های هوا در محدوده دریاچه ممکن می‌شود که هم اکنون توسط مولفین در حال بررسی است. ضمن اینکه تلاش است تا نقش انسانی در رفتارهای غیر دوره‌ای نیز ارزیابی گردد.

این تحقیق همچنین نشان داد که نوسانات تراز دریاچه ارومیه در فرکانس‌های مشخصی، وابستگی بالایی با شاخص‌های اقلیمی SOI و NAO دارد. در این راستا، با توجه به وابستگی معنی‌دار شاخص‌های اقلیمی مورد بررسی با سری تراز دریاچه در فرکانس متناظر با نوسانات ۴/۵ ساله، مقایسه سری بازسازی شده تراز دریاچه در



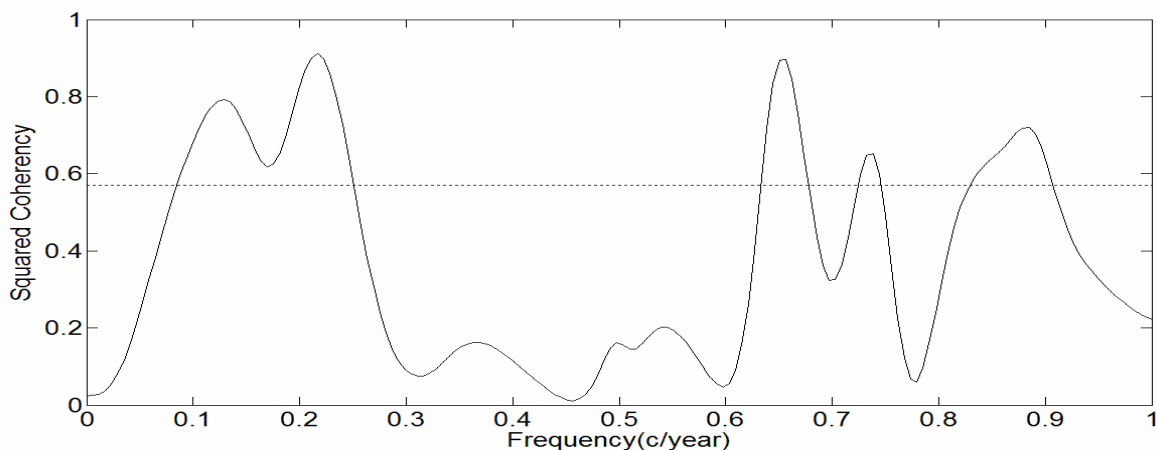
شکل ۵- سری زمانی اولیه تراز دریاچه بعد از حذف نویز توسط SSA و سری زمانی بازسازی شده نوسانی تراز دریاچه ارومیه توسط MTM

جدول ۲- مقادیر وابستگی‌های معنی‌دار بین سری زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه و شاخص NAO در فرکانس‌ها و مقیاس‌های زمانی متناظر

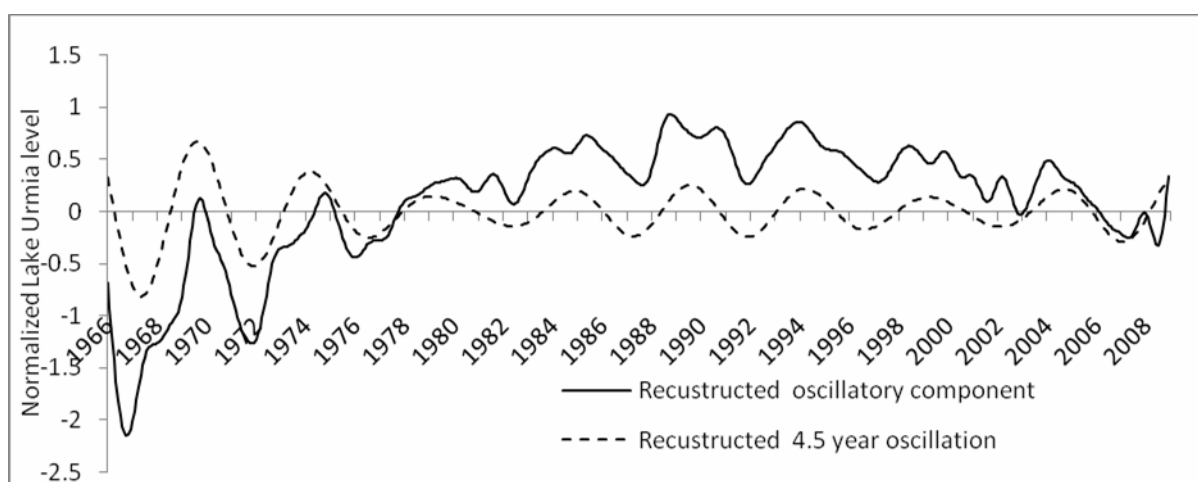
فرکانس	سال	ماه	وابستگی	فرکانس	سال	ماه	وابستگی
(دور در سال)				(دور در سال)			
0.19336	5.2	62.1	0.62	1.30664	0.8	9.2	0.63
0.25781	3.9	46.5	0.57	1.37109	0.7	8.8	0.59
0.59180	1.7	20.3	0.58	2.47266	0.4	4.9	0.60
0.65625	1.5	18.3	0.59	2.74219	0.4	4.4	0.62
0.74414	1.3	16.1	0.60	2.86523	0.3	4.2	0.61
0.76172	1.3	15.8	0.57	3.72656	0.3	3.2	0.63
0.99609	1.0	12.0	0.60	4.03125	0.2	3.0	0.62
1.05469	0.9	11.4	0.62	5.876953	0.2	2.0	0.57
1.17773	0.8	10.2	0.66				
1.21875	0.8	9.8	0.58				

جدول ۳- مقادیر وابستگی‌های معنی‌دار بین سری زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه و شاخص SOI و فرکانس‌ها و مقیاس‌های زمانی متناظر

فرکانس	سال	ماه	وابستگی	فرکانس	سال	ماه	وابستگی
(دور در سال)				(دور در سال)			
0.08789	11.4	136.5	0.59	1.35352	0.7	8.9	0.60
0.24609	4.1	48.8	0.64	1.38281	0.7	8.7	0.61
0.63867	1.6	18.8	0.72	1.64063	0.6	7.3	0.63
0.67383	1.5	17.8	0.65	1.73438	0.6	6.9	0.58
0.72656	1.4	16.5	0.60	2.12695	0.5	5.6	0.68
0.74414	1.3	16.1	0.60	2.53711	0.4	4.7	0.57
0.83203	1.2	14.4	0.58	2.86523	0.3	4.2	0.63
0.90234	1.1	13.3	0.62	3.97852	0.3	3.0	0.61
1.17773	0.8	10.2	0.58	4.38867	0.2	2.7	0.58
1.21289	0.8	9.9	0.57	5.976563	0.2	2.0	0.62



شکل ۶- مقادیر تابع وابستگی بین سری زمانی تراز سطح آب و شاخص SOI و آستانه معنی دار بودن وابستگی در سطح ۵ درصد



شکل ۷- سری زمانی با دوره ۴/۵ ساله و سری زمانی نوسانی بازسازی شده دریاچه ارومیه

منابع

- ۱- جبارلوی شبستری ب. ۱۳۸۰. بررسی نوسانهای سطح دریاچه ارومیه در کوتاهترین. اولین همایش دریاچه ارومیه، شهریور ۱۳۸۰.
- ۲- فاتحی مرج، ا.، برهانی داریان ع. و مهدویان م.ح. ۱۳۸۵. پیش بینی فصلی جریان رودخانه های دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص های اقلیمی. پژوهش و سازندگی (در منابع طبیعی). ۷۱ تابستان: ۴۱-۵۱.
- ۳- نیرومند ح. ۱۳۷۶. (مترجم) (مولف: جانانان کرایر) تحلیل سریهای زمانی، روشهای یک متغیری و چند متغیری. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد مشهد، ۱۳۷۶، ۴۰۶ صفحه.
- 4- Alipour S. 2006. Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake, Iran. Saline Sys. 2:9. doi:10.1186/1746-1448-2-9.
- 5- Changnon S.A. 2004. Temporal behaviour of levels of the Great Lakes and climate variability. J. Great Lakes Res. 30(1):184-200.
- 6- Djamali M., De Beaulieu J.L., Shah-hosseini M., Andrieu-Ponel V., Ponel P., Amini A., Akhiani H., Leroy S.A.G., Stevens L., Lahijani H., and Brewer S. 2008. A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran. Quatern. Res. 69: 413-420.
- 7- Eimanifar A., and Mohebbi F. 2007. Urmia Lake (Northwest Iran): a brief review. Saline Sys. 3:5. doi:10.1186/1746-1448-3-5.
- 8- Emery W.J., and Thomson R.E. 2001. Data Analysis Methods in Physical Oceanography, Elsevier, 2 ,638 pages.

- 9- Ghil M., Allen M.R., Dettinger M.D., Ide K., Kondrashov D., Mann M.E., Robertson A.W., Saunders A., Tian Y., Varadi F., and Yiou P. 2002. Advanced Spectral Methods For Climatic Time Series. *Reviews of Geophysics*, 1-1:1-41.
- 10- Gibson J.J., Prowse T.D., Peters D.L. 2006. Partitioning impacts of climate and regulation on water level variability in Great Slave Lake, *Journal of Hydrology* .329:196– 206.
- 11- Grinsted A. 2009. Exploring linkages between time series: Wavelet coherence and Phase-aware teleconnections, *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009-8789.
- 12- Hanson R.T., Newhouse M.W., Dettinger M.D. 2004. A methodology to assess relations between climatic variability and variations in hydrologic time series in the southwestern United States. *Journal of Hydrology* . DOI:10.1016/j.jhydrol.2003.10.006.
- 13- Hanson R.T., Newhouse M.W., Dettinger M.D. 2006. Relations Between Climatic Variability And Hydrologic Time Series From Four Alluvial Basins Across The Southwestern United States. *Hydrogeology Journal*. DOI 10.1007/s10040-006-0067-7.
- 14- Kadioğlu M., Sen Z., and Batur E. 1997. The greatest soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change. *Ann. Geophys.* 15: 1489-1497.
- 15- Kelts K., and Shahrabi M. 1986. Holocene sedimentology of hypersaline Lake Urmia, northwestern Iran. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 54: 105–130.
- 16- Mann M.E., Park J. 1993. Spatial correlation of interdecadal variation in global surface temperatures, *Geophys.Res.Lett.* 20:1055-1058.
- 17- Namdar Ghanbari R., Bravo H.R. 2008 a. Climate signals in groundwater and surface water systems: Spectral analysis of hydrologic processes. Project I.D.: WR05R005.
- 18- Namdar Ghanbari R., Bravo H.R. 2008b. Coherence between atmospheric teleconnections, Great Lakes water levels, and regional climate, *Advances in Water Resources*. 31 :1284–1298.
- 19- Pasquini A.I., Lecomte K.L., Depetris P.J. 2008. Climate change and recent water level variability in Patagonian proglacial lakes, Argentina, *Global and Planetary Change* 63 :290–298.
- 20- Polderman N.J., and Pryor S.C. 2004. Linking synoptic-scale climate phenomena to lake-level variability in the Lake Michigan-Huron Basin. *J. Great Lakes Res.* 30(3): 419–434.
- 21- Priestly M.B. 1981. *Spectral analysis and time series*, Academic Press. V.1, 890p.
- 22- Storch H.V., Zwiers F.W. 2003. *Statistical analysis in climate research*, Cambridge university press, 485p. pages
- 23- Thomson D.J. 1982. Spectrum estimation and harmonic analysis, *Proc. IEEE*, 70:1055-1096.
- 24- Vautard R., Yiou P., and Ghil M. 1992. Singular spectrum analysis: a toolkit for short noisy chaotic signals *Physica D* 58 : 95-126.
- 25- Walker G.T., and Bliss E.W. 1932. *World Weather V. Mem. Roy. Meteor. Soc.*, 4, No. 36:53-84.
- 26- Walker G.T., and Bliss E.W. 1937. *World Weather VI. Mem. Roy. Meteor. Soc.*, 4, 39:119-139.



Assessing the Effect of SOI and NAO Indices on Lake Urmia Water Level Variations, Application of Spectral Analysis

S. Jalili¹ - S. Morid^{2*} - A. Banakar³ - R. Namdar Ghanbari⁴

Received: 18-4-2010

Accepted: 26-10-2010

Abstract

The Urmia Lake as an important water body in the northwest of Iran, recently is faced with a critical level reduction, which makes it important to evaluate the causes. In this regard understanding of the Lake's behavior and assessing effect of tele-connections on lake level oscillations is necessary. This subject constructs objective of the present paper that applies the spectral analysis techniques in which a combination of Multi Taper Method of spectral estimation and Singular Spectral Analysis were implemented to investigate harmonic periods of the Lake level. Also coherency analysis between lake level time series and SOI and NAO indices based on cross spectral estimation were done. The results showed that water level reduction of Lake Urmia in recent years and the increase of water level in 1994 to 1999 cannot be simulated by periodic behavior of Lake Urmia. But the 4.5 year oscillations of lake Urmia water level shows significant coherency with SOI and NAO indices and the effect of these climate forcing can explain periodic behavior of Lake Urmia to a high extent.

Keywords: Lake Urmia, Spectral estimation, Climatic indices, Coherency analysis

1,2,3- Accordingly PhD Graduated, Associate Professor and Assistant Professor of Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Tarbiat Modarres University

(* - Corresponding Author Email: morid_sa@modares.ac.ir)

4- Postdoctoral Researcher University of Merced, California (United States)