

تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی تراز سطح آب دریاچه‌ی ارومیه

علی اکبر رسولی^۱

شیرزاد عباسیان^۲

چکیده

بررسی نوسانات سطح آب دریاچه‌ها به لحاظ اهمیت، ماهیت و موقعیت این مجموعه‌های آبی به عنوان میراثی طبیعی در سال‌های اخیر در بین کشورها در سطح ملی و منطقه‌ای جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است بر این اساس هدف اصلی مطالعه‌ی جاری توصیف ترسیمی داده‌های سطح آب دریاچه‌ی ارومیه از طریق استخراج نمایه‌های موجود در سری‌های زمانی (شاخص‌های اولیه و مؤلفه‌های ثانویه) می‌باشد. برای رسیدن به این منظور آمار تراز آب دریاچه‌ی ارومیه به صورت روزانه از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۴ میلادی که در ایستگاه گل‌مانخانه ثبت شده است مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای ایجاد سری‌های زمانی تغییرات سطح آب دریاچه در مقیاس‌های فصلی و سالانه، از امکانات و توابع موجود در محیط نرم‌افزارهای اکسل و مینی‌تب استفاده شده با هدف تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی، در مرحله‌ی اول شاخص‌های اولیه مانند: مشاهدات خام، داده‌های هموار شده، میانگین متحرک و درصد تغییرپذیری طراحی و نتایج آن از طریق مدل‌های ترسیمی نمایش داده شد. در مرحله‌ی دوم مؤلفه‌های ثانویه مانند روند، چرخه‌ای، فصلی و غیرمنظم موجود در سرهای مشاهدات محاسبه و شبیه‌سازی شد. در مرحله‌ی سوم تکنیک منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال شده برای آشکارسازی تغییرات و نوسانات موجود در سطح آب دریاچه‌ی ارومیه به کار گرفته شد. یافته‌های نهایی نشان‌دهنده‌ی تغییرات و نوسانات معنی‌داری در تراز سطح آب دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد.

واژگان کلیدی: تحلیل سری‌های زمانی، تراز آب دریاچه‌ی ارومیه، شاخص‌های اولیه، مؤلفه‌های ثانویه، تغییرات و روند کاهش سطح آب.

1- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی.

2- دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی (گرایش اقلیم‌شناسی) .

مقدمه

به لحاظ اهمیتی که دریاچه‌ها امروزه از جهات مختلف برای جوامع بشری دارند. محققان در مناطق مختلف دنیا به منظور حفظ و حراست از این مجموعه‌های آبی با تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی به بررسی عوامل مؤثر در نوسانات سطح این پهنه‌های آبی پرداخته‌اند. آنها ضمن بیان نقش عواملی چون ژئوفیزیک و زمین‌شناسی در بالا و پایین رفتن سطح آب دریاچه‌ها، انتقال مواد تخریبی توسط رودخانه‌ها به ویژه در دریاچه‌های کوچک و بسته، به نقش قاطع تأثیرات عناصر اقلیمی (دما، بارش و تبخیر...) و رژیم‌های بارندگی در بالا و پایین رفتن سطح آب دریاچه‌ها را مورد تأکید قرار داده‌اند (رجائی، ۱۳۸۲). در اکثر دریاچه‌های دایمی، مساحت دریاچه، تعادل بین رواناب حاصل از حوضه‌های آبریز و کاهش مقدار آب در روی دریاچه را نشان می‌دهد. آر.کی. سینگ^۱ و همکارانش (۱۹۹۱) در انجمن تحقیق و تکنولوژی بوپال در کشور هندوستان با استفاده از سنجش از دور به ارزیابی آب‌های سطحی و مدیریت دریاچه بوپال^۲ به عنوان یک روش ترکیبی پرداختند. تینگ پینگ سینگ^۳ و همکارانش (۱۹۹۸) به بررسی و تعیین نوار ساحلی دریاچه‌ی تونل ساپ^۴ در تایلند پرداختند. آنها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی، داده‌های هیدرولوژی، نقشه‌ی نوار ساحلی منطقه‌ی مورد مطالعه را تهیه کرده و خطوط ساحلی آن را در مواقع ترسالی و خشکسالی ترسیم نمودند. رابرت برایان^۵ (۱۹۹۹) به بررسی و پیش

1- R.K Singh

2- Bhopal Lake

3- Teng Peng Seang

4- TONLE Sap

5- Robert-Brayant

پلایای "هامپلایای وت ال دیجرت" واقع در جنوب تونس پرداخت. استفان کیش^۱ (۲۰۰۲) بیان سطح آب دریاچه‌های چکسون و فلوریدا را با استفاده از عناصر اقلیمی بارش، تبخیر، سنجش از دور و GIS در دانشگاه کالیفورنیا در ایالات متحده‌ی آمریکا مطالعه کرد. رابرت برایانت (۲۰۰۲) تغییرات کوتاه مدت رژیم‌های سیلابی پلایاهای حساس به شرایط آب و هوایی را در مرکز سنجش از دور کاربردی انگلیس در مورد پلایاهای جنوب تونس مورد مطالعه قرار داده است. نتیجه‌ی آن اثبات کاربرد اطلاعات RS در پایش پدیده‌های دینامیکی و محیط‌های حساس به شرایط آب و هوایی است.

پی. کاکسیتا^۲ و همکارانش (۲۰۰۴) با استفاده از تحلیل‌های سنجش از دور تغییرات پوشش زمین را در استرالیا مورد مطالعه قرار داده‌اند. محققان در تحقیق خود با استفاده از روش سری‌های زمانی، تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات زمینی و تجربه‌ی استفاده از این روش در استان فی‌جی^۳ در کشور چین اقدام به تهیه‌ی نقشه و مونوتورینگ تغییرات در وسعت پوشش حدود ۲۴ میلیون هکتار از جنگل‌های دایمی استرالیا کرده‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که این روش یکی از بهترین روش‌ها در این قبیل مطالعات است (بی بایرام^۴ و همکارانش (۲۰۰۲). در استانبول ترکیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کرونا^۵ و اسپات^۶ و ای آر اس^۷ نوار ساحلی بخش اروپایی استانبول را مطالعه کردند. در این مطالعه به

1- Stephen A Kish

2- P. Caccetta

3- Fjian

4- B. Bayram

5- CORONA

6- SPOT

7- IRS

بررسی تغییرات زمانی نوار ساحلی این شهر برای سال‌های ۱۹۶۳ و ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰ پرداخته شده است. هدف این مطالعه حفاظت از منابع طبیعی و کاربری زمین در این شهر بود. خورشیددوست (۱۳۶۸) واحدهای مختلف ژئورمورفولوژیکی دریاچه‌ی ارومیه را تشریح کرده است و اشاره‌ی مختصری هم به نوسانات سطح آب دریاچه‌ی ارومیه در ادوار مختلف تاریخی نموده است. شرکت مهندسان مشاور جاماب (۱۳۷۷) در زمینه‌ی طرح جامع آب کشور مطالعاتی در سطح حوضه‌ی آبریز ارومیه در زمینه‌ی هوا و اقلیم انجام داده است. نتیجه‌ی آن اثبات تغییرات اقلیمی و هیدرولوژیکی در حوضه‌ی آبریز این دریاچه در طول دهه‌ی گذشته است. رامشت (۱۳۸۰) به نقش دریاچه‌ها در نحوه‌ی تشکیل هسته‌های اولیه کانون‌های مدنی در ایران پرداخته است و آن را عاملی مؤثر در ایجاد کانون‌های شهری و مدنی در ایران دانسته است. مهرشاهی (۱۳۸۰) تغییرات اقلیمی اواخر دوران چهارم در ایران را از طریق اطلاعات حاصل از دریاچه‌ها مطالعه کرده و تنوع و تعدد دریاچه‌ها را یکی از ویژگی‌های دوران چهارم در ایران دانسته است. رسولی (۱۳۸۱) مطالعه‌ی تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی دمای شهر تبریز را انجام داده است نامبرده درجه‌ی حرارت ۴۶ سال (۱۹۵۱-۱۹۹۶) ایستگاه تبریز را با استفاده از تکنیک آماری از جمله ARIMA مدل‌سازی نمود. نتایج تحقیق نشان داد که روند صعودی دمای ماهانه، ناشی از توسعه‌ی شهر تبریز و تغییرات سیستم‌های جوی بزرگ مقیاس است. علیجانی و زاهدی (۱۳۸۱) تحلیل آماری و سینوپتیکی از بارندگی به منظور شناسایی سیستم‌های فشار مؤثر در بارندگی آذربایجان انجام داده‌اند. برای این منظور آمار بارندگی روزانه‌ی ایستگاه تبریز به عنوان ایستگاه نماینده‌ی منطقه در دوره‌ی ۹۵-۱۹۶۱ به دلیل داشتن آمار طولانی

انتخاب گردیده است. براساس این مطالعه تیپ‌های فشار که در طول سال آذربایجان را تحت تأثیر قرار می‌دهند شناسایی کرده‌اند. نجفی در سال ۲۰۰۲، به بررسی رواناب حاصل از ذوب برف درحوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از مدل‌بندی تکنولوژی GIS و RS پرداخته است. وی در این تحقیق از مدل- رواناب ذوب برف^۱ (SRM) که تحت عنوان مدل مارتینس یا مدل مارتینس- رانگو^۲ معروف است استفاده کرده است. حسامی (۲۰۰۳) مدل‌بندی تأثیر تغییر در اراضی کشت آبی بر دبی رودخانه‌ها و تغذیه‌ی دریاچه‌ی ارومیه را به انجام رسانده است. وی در تحقیق خود به تأثیر احیاء اراضی و افزایش سطح زیر کشت در دشت میاندوآب و مهار و انحراف آب رودخانه‌های زرینه رود و سیمینه رود برای استفاده در امر کشاورزی پرداخته است و تأثیر منفی مهار آب این رودخانه‌ها و افزایش سطح زیرکشت آب را در کاهش بیش از حد آب این دریاچه و به پی‌آمدهای آن در منطقه می‌پردازد. مهندسان مشاور یکم سازمان آب استان آذربایجان غربی در چندین مرحله به بررسی مسایل اقلیمی و زیستی آب دریاچه‌ی ارومیه پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق از به خطر افتادن اکوسیستم‌های محیط دریاچه‌ی ارومیه به دلیل کاهش بسیار زیاد آب این دریاچه حکایت دارد. در نهایت، رسولی و عباسیان (۱۳۸۶) نوسانات سطح آب دریاچه‌ی ارومیه را با استفاده از RS و GIS در دوره‌ی آماری (۲۰۰۴-۱۹۷۰) مطالعه کرده‌اند. نتایج بررسی فوق نشان داد که مساحت این دریاچه در طول دوره‌ی مورد مطالعه حدود ۲۳ درصد کاهش یافته است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع در این تحقیق از تکنیک مطالعه سری‌های زمانی برای تعیین و تشخیص تغییرات و نوسانات سطح آب دریاچه‌ی ارومیه استفاده شده

1- Snowmelt- Runoff Model

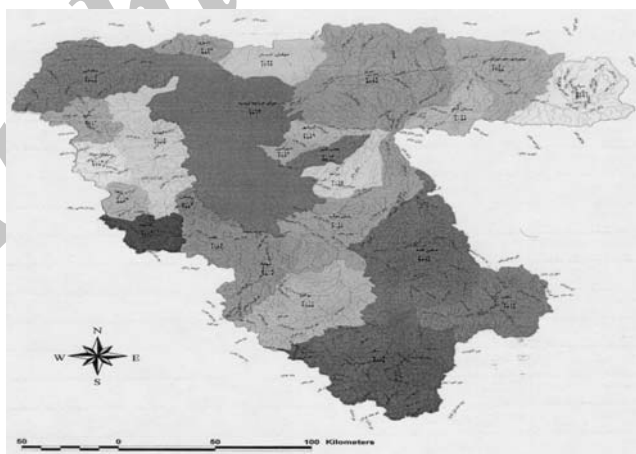
2- Martinec- Rungo

است تا از طریق سری‌های زمانی مربوط به داده‌های تراز سطح آب دریاچه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد تا نمایه‌های موجود در مشاهدات تحت عنوان شاخص‌های اولیه و مؤلفه‌های ثانویه استخراج شوند. از طریق این نمایه‌ها امکان آشکارسازی گرافیکی روند تغییرات و نوسانات موجود در سری مشاهدات در مقیاس سالانه و فصلی به آسانی امکانپذیر خواهد شد. در کل یک مجموعه‌ای از مشاهدات دارای خصوصیات سری‌های زمانی، ممکن است دارای دو نوع ویژگی اصلی تحت عنوان شاخص‌های اولیه و مؤلفه‌های ثانویه بوده باشد. شاخص‌های اولیه خصوصیات ابتدایی و خام مشاهدات را عمدتاً به صورت گرافیکی نمایش می‌دهند. اما با استخراج مؤلفه‌های ثانویه که اغلب بر پایه‌ی عملیات ریاضی استوار است ویژگی‌های دقیق‌تری از ماهیت مشاهدات مدل‌سازی می‌شود. در جهت مدل‌سازی از سری‌های زمانی در اغلب موارد، متخصصان از انواع مدل‌های ریاضی و آماری متنوعی به منظور بیان همبستگی‌های موجود بین زمان و مشاهدات اخذ شده بهره می‌گیرند (رسولی، ۱۳۸۰). در شکل ۳ شاخص‌های اولیه و مؤلفه‌های ثانویه نشان داده شده است.

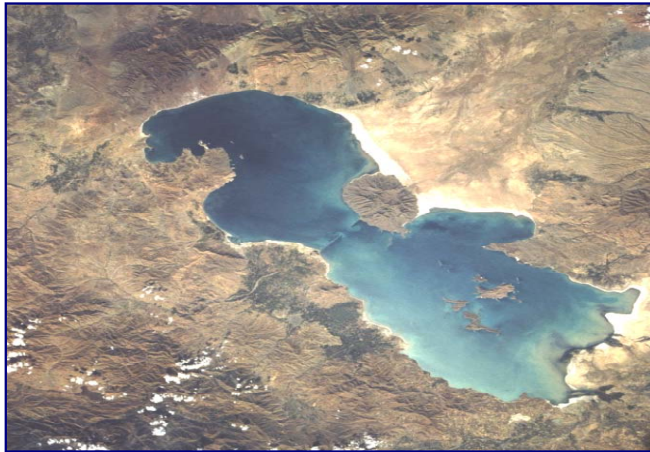
۱- موقعیت جغرافیایی

دریاچه‌ی ارومیه در شمال غربی کشور ایران، در مختصات 52° - 42° تا 13° - 44° طول شرقی و 39° - 35° تا 30° - 38° عرض شمالی، در بین دو استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی واقع شده است. حوضه‌ی آبریز آن دارای مساحتی معادل ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع می‌باشد (خامچی، ۱۳۷۶). مساحت این حوضه نسبت به کل سطح کشور حدود $3/15$ درصد و منابع سطحی آن حدود ۷

درصد از کل منابع آب کشور است. مساحت این دریاچه در رقوم ۱۲۷۶ متر از سطح دریای آزاد برابر ۵۷۵۰ کیلومترمربع بوده و از نظر وسعت در رده‌ی بیستم دریاچه‌های جهان است. حوضه آبریز این دریاچه دارای ۱۱ زیرحوضه، ۲۱ رودخانه‌ی دائم و فصلی و همچنین ۳۹ مسیل می‌باشد. کل آب‌های آن حدود ۲۵ الی ۲۷ میلیارد متر مکعب تخمین زده می‌شود. زرينه رود با مجموع جریان سالیانه-ای در حدود ۲ میلیارد متر مکعب، بزرگ‌ترین رودخانه‌ی این حوضه بوده و سایر رودخانه‌های مهم آن سیمینه رود، مهاباد چای، گدارچای، باراندوز چای، نازلوچای، آذرشهر چای، قلعه چای، صوفی چای، مردوک چای، آجی چای و زولاچای می‌باشند. طول آن مابین ۱۳۰ تا ۱۴۰ کیلومتر و عرض آن در پهن‌ترین قسمت ۵۸ کیلومتر و در کم عرض‌ترین قسمت (محل احداث بزرگراه شهید کلانتری) ۱۵ کیلومتر می‌باشد (جاماب، ۱۳۷۷). شکل ۱ تقسیمات حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه و شکل ۲ تصویر ماهواره‌ای دریاچه‌ی ارومیه را نشان می‌دهد.



شکل (۱) نقشه‌ی تقسیم‌بندی حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه



شکل (۲) تصویر ماهواره‌ای دریاچه‌ی ارومیه

۲- مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از آمار ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه که به صورت روزانه و از آذر ماه ۱۳۴۴ تا تیرماه ۱۳۸۵ در ایستگاه گل‌مانخانه ثبت شده، استفاده شده است. هرچند آمار مشابهی در ایستگاه شرفخانه در شرق دریاچه نیز وجود دارد و مقایسه‌ی ارقام این دو ایستگاه اختلافاتی را با هم نشان می‌دهند که این اختلاف می‌تواند ناشی از تأثیر باد بر تراز آب در دریاچه و یا اثرگذاری امواج بر اندازه‌گیری‌ها باشد در این مطالعه در این مطالعه از داده‌های سال ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۴ استفاده شده است. بعد از دریافت داده‌ها از سازمان آب استان‌های آذربایجان غربی و شرقی کنترل اولیه، داده‌ها در مقیاس ماهانه و سالانه در محیط نرم‌افزار اکسل سازماندهی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از آمار روزانه‌ی ثبت شده، آمار ماهانه و سالانه تهیه گردید. آمار فصول چهارگانه: بهار، تابستان، پاییز و زمستان از همدیگر تفکیک و مجزا شدند. لازم به یادآوری است که کلیه‌ی

محاسبات ریاضی و طراحی‌های گرافیکی مورد نیاز در محیط نرم‌افزارهای اکسل و مینی‌تب صورت گرفته است. به منظور دستیابی به اهداف اصلی این تحقیق، روش‌های زیر به کار گرفته شد:

در مرحله‌ی اول جهت توصیف مشاهدات، نمایه‌های گرافیکی از سری‌های زمانی نظیر: شاخص‌های خام، اسموت شده، میانگین متحرک و تغییرپذیری طراحی شد. سپس، نمایه‌های اصلی سری‌های زمانی مؤلفه‌ی روند، مؤلفه‌ی چرخه‌ای، مؤلفه‌ی فصلی و مؤلفه‌ی تصادفی از داده‌های اصلی مشتق شد. در مرحله‌ی آخر، تکنیک ریاضی - گرافیکی منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال شده^۱ در جهت آشکارسازی تغییرات احتمالی در سری مشاهدات به کار برده شد. به منظور درک بیشتر موضوع، جزئیات روش‌های اعمال شده به همراه توصیف خصوصیات مدل‌های حاصله در بخش بعدی ارائه گردیده است.

۳- بررسی نتایج حاصله

یافته‌های این تحقیق را به اختصار می‌توان در سه مرحله‌ی کلی زیر خلاصه نمود:

۳-۱- شاخص‌های اولیه

با استفاده از شیوه‌های ترسیمی شاخص خام، اسموت شده^۲ (منعکس‌کننده‌ی تغییرات سیستماتیک موجود در مشاهدات). میانگین متحرک^۳ (منعکس‌کننده‌ی تغییرات درازمدت) و تغییرپذیری^۴ (منعکس‌کننده‌ی تغییرات کوتاه‌مدت) داده‌ی

1- normalised residuals
2- Smoothing
3- Moving Average
4- Fluctuating Component

نوسانات سطح آب دریاچه استخراج شد. ابتدا مشاهدات خام، متوسط سالانه‌ی - تراز سطح آب بازای زمان به وسیله‌ی شکل ۵ نمایش داده شد. با توجه به این شکل می‌توان به سهولت دریافت که تغییرات سالانه تراز سطح آب دریاچه‌ی ارومیه نسبت به میانگین دراز مدت یا ۳۵ ساله آن بسیار قابل ملاحظه است.

با خلاصه نمودن مشاهدات که به عنوان یک فرآیند آماری محسوب می‌شود، از طریق میانگین‌گیری متوالی از سری مشاهدات، نوسانات لحظه‌ای موجود حذف شد. در واقع مؤلفه‌ی اسموت شده نوعی مرتب نمودن سیستماتیک داده‌های انبوه است. با بهره‌گیری از این مدل، ضمن حذف نوسانات کوتاه‌مدت موجود در داده‌ها، وجود روند تغییرات به طور مرحله‌ای در سری‌های زمانی توسط نمودار شماره‌ی ۶ نمایش داده شد. در قدم بعدی شاخص متحرک طراحی شد. زیرا در شرایطی که دامنه‌ی تغییرات به حدی باشد که نتوان از آن چیزی درک کرد، برای درک روشن‌تر از تغییرات این شاخص طراحی می‌شود (علیزاده، ۱۳۷۶). در واقع با استفاده از تکنیک میانگین متحرک، می‌توان نوسانات کوتاه‌مدت در سری مشاهدات را تا حدودی خلاصه‌تر نموده و تغییرات کلی را به صورت گرافیکی نمایش داد. به منظور درک بهتر موضوع، متوسط ارتفاع سالانه‌ی سطح آب دریاچه‌ی ارومیه با میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله محاسبه و نتایج آن به صورت ترسیمی در شکل ۷ نمایش داده شده است.

شاخص تغییرپذیری از دیگر نمایه‌های اولیه‌ای است که نشان‌دهنده‌ی الگوی تغییرات سال به سال در مشاهدات ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد. این شاخص در واقع، نوعی توصیف‌کننده‌ی ترسیمی است که از تقسیم مشاهدات اصلی بر مقادیر میانگین متحرک در هر سال به دست می‌آید و به صورت درصد

قابل بیان است. مقادیر تغییرپذیری ارتفاع متوسط سطح آب دریاچه در ستون آخر جدول ۱ درج شده است. همچنین تغییرات سال به سال شاخص تغییرپذیری از طریق شکل ۸ بازسازی شده است.

۲-۳- مؤلفه‌های اصلی

از طریق شاخص‌های اولیه و با استفاده از مدل‌های گرافیکی ماهیت تغییرپذیری و نوسانات مشاهدات تراز سطح آب دریاچه‌ی ارومیه نشان داده شد. به منظور تحلیل دقیق‌تر مشاهدات تلاش شد که مؤلفه‌های اصلی نظیر روند، چرخه‌ای، فصلی و غیرمنظم از سری‌های زمانی هم استخراج شود. در این راستا، دو مدل ریاضی حاصل ضرب و حاصل جمع مؤلفه را می‌توان مورد استثنا قرار داد که در این مقاله مدل نوع اول انتخاب و بنابراین بر اساس معادله‌ی شماره‌ی ۱ مربوط خواهیم داشت (بزرگ‌نیا، ۱۳۸۱).

$$\bar{Y} = T \times C \times S \times I \quad \text{معادله شماره‌ی ۱:}$$

در این معادله، \bar{Y} معرف شاخص سری زمانی و حروف T , C , S , I به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مؤلفه‌های روند، چرخه‌ای، فصلی و غیرمنظم موجود در سری‌های زمانی مربوط به تراز سطح آب دریاچه‌ی ارومیه هستند. در مرحله‌ی اول، مؤلفه‌ی روند محاسبه شد که می‌توان از آن به منظور نمایش تغییرات درازمدت تراز سطح آب دریاچه‌ی ارومیه استفاده کرد. در واقع این مؤلفه نشان‌دهنده‌ی تأثیرات طولانی مدت فاکتور و یا عواملی است که بر روی تراز سطح آب دریاچه‌ی ارومیه تأثیر گذاشته است. با استفاده از مؤلفه‌ی روند تغییرات نسبتاً تدریجی و یک طرفه‌ای را می‌توان نمایش داد که توصیف‌کننده‌ی مکانیسم خزش درازمدت موجود در

سری‌های زمانی است. برای استخراج دقیق‌تر مقادیر روند از روش حداقل مربعات^۱ بهره برده شد. نحوه‌ی تطبیق مدل دقیقاً شبیه تابع رگرسیون خطی است. ضمناً مقادیر روند محاسبه شده را می‌توان توسط یک مدل گرافیکی در محیط نرم‌افزار مینی‌تب شبیه‌سازی نمود. همچنانچه در شکل ۹ نیز ارایه شده است، معادله خط روند نشان‌دهنده‌ی نوسان زیاد تراز سطح آب دریاچه‌ی ارومیه در طی دو دهه‌ی گذشته می‌باشد.

در مرحله‌ی بعدی، با بهره‌گیری از مؤلفه چرخه‌ای، ویژگی‌های نوسانی موجود در سری تراز سطح آب دریاچه بازسازی شد. در واقع مؤلفه چرخه‌ای توصیف‌کننده‌ی مقادیر متناوب افزایش و کاهش تراز در سری زمانی بوده و دارای چرخه‌هایی متفاوت از نظر طول و شدت تغییرات می‌باشد. مدل گرافیکی این مؤلفه نمایشگر دوره‌های اوج و حوض در طول زمان است، که معمولاً دارای نوسانات یکسان نبوده و با شدت‌های متفاوت و دامنه‌های نابرابر ظاهر می‌شود. به منظور استخراج مؤلفه چرخه‌ای، مشاهداتی را باید مورد تحلیل قرار داد که دارای مؤلفه فصلی نباشند. در مشاهدات متوسط ارتفاع سالانه سطح آب دریاچه کمتر اثری از مؤلفه فصلی را می‌توان یافت و بنابر این معادله کلی به صورت معادله‌ی شماره‌ی ۲ قابل قبول خواهد بود (بزرگ‌نیا، ۱۳۸۱).

$$Y_t = T \times C \times I \quad \text{معادله‌ی شماره‌ی ۲:}$$

از این معادله می‌توان مؤلفه‌ی روند را هم حذف نمود. بنابر این از نظر ریاضی هم خواهیم داشت:

$$C \times I = \frac{Y_t}{T} = \frac{T \times C \times I}{T} \quad \text{معادله‌ی شماره‌ی ۳:}$$

در این صورت باقیمانده‌ی معادله همان حاصل ضرب مؤلفه چرخه‌ای در مقادیر مؤلفه‌ی غیرمنظم خواهد بود، که به صورت درصد قابل نمایش است. در عمل برای تفکیک مقدار مؤلفه‌ی چرخه‌ای طبق مراحل ذکر شده در جدول شماره‌ی ۴ باید اقدام نمود. در این جدول مشاهدات مربوط به ارتفاع متوسط سطح آب دریاچه‌ی ارومیه مورد استناد قرار گرفته است. مدل‌های گرافیکی درصد تغییرات روند (حاصل ضرب مؤلفه‌های نامنظم و چرخه‌ای)، مؤلفه‌ی چرخه‌ای و مؤلفه‌ی نامنظم جهت مقایسه بیشتر از طریق شکل شماره‌ی ۱۰ (الف تا ج) ارائه شده است. مؤلفه‌ی فصلی یکی دیگر از نمایه‌هایی است که در واقع بسیار منظم‌تر از مؤلفه چرخه‌ای ظاهر شده و مبین نقش عوامل مؤثری است که به صورت سیستماتیک بر روی متغیر ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه عمل می‌نمایند. به همین خاطر مشاهدات مربوط به تراز سطح آب دریاچه‌ی در فصول چهارگانه در طول سال‌های متمادی مورد توجه قرار گرفت. به منظور استخراج مقدار مؤلفه‌ی فصلی می‌توان از یک روش خاصی به نام ضریب میانگین متحرک بهره برد. در این روش، در قدم اول، مشاهدات با استفاده از روش میانگین متحرک مرکزی اسموت شد. نتیجه‌ی این کار منعکس‌کننده‌ی حاصل ضرب مؤلفه‌های روند و چرخه‌ای در سری‌های زمانی است. در قدم دوم، مقدار حاصل ضرب مؤلفه‌های فصلی و نامنظم با استفاده از معادله‌ی شماره‌ی ۴ به دست آمد (رسولی، ۱۳۸۱)

$$\text{معادله شماره ۴: } S \times I = \frac{Y_t}{T \times C} = \frac{T \times C \times S \times I}{T \times C}$$

در قدم سوم، مقدار مؤلفه‌ی فصلی موجود در سری‌های زمانی (از طریق خارج نمودن تاثیرات مؤلفه‌ی نامنظم از معادله به روش میانگین‌گیری) قابل استخراج شد. برای درک موضوع بخشی از مشاهدات مربوط به ارتفاع فصلی سطح آب

دریاچه‌ی ارومیه در جدول شماره‌ی ۲ و نمودار مربوطه در شکل ۱۲ ارایه شده است.

مؤلفه نامنظم آخرین مؤلفه‌ای است که بعد از حذف سهم سایر مؤلفه‌ها در مشاهدات باقی می‌ماند. این مؤلفه در واقع نوعی منعکس‌کننده‌ی تاثیرات فاکتورهایی غیرقابل پیش‌بینی و غیرمعمول بر روی مشاهدات ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه است مانند باد یا امواج و نشت زمین کف دریاچه که باعث بی‌منظمی‌هایی در مدل نهایی می‌شود. نحوه‌ی محاسبه‌ی سهم این مؤلفه در جدول شماره‌ی ۴ ارایه و مدل گرافیکی مربوطه از طریق شکل ج-۷ نمایش داده شده است.

۳-۳- مدل منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال شده

در جهت کنترل و تأیید نتایج حاصله از تجزیه‌ی سری‌های زمانی به شاخص‌های اولیه و مؤلفه‌های ثانویه از تکنیک منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال شده نیز استفاده شد. در واقع از این روش به منظور آشکارسازی تغییرات معنی‌دار بر روی مقادیر نوسانات سطح آب دریاچه در مقیاس سالانه می‌توان بهره برد. در واقع NRMC را می‌توان به عنوان اختلاف تراکمی بین مقادیر واقعی تراز اندازه‌گیری شده در هر سال و متوسط تراز سطح آب در طی ۳۵ سال گذشته دانست، که بر میانگین تراز سطح آب دریاچه تقسیم شده است. به منظور درک دقیق‌تر موضوع برای محاسبه‌ی مقادیر NRMC به ازای سال‌های اول و دوم می‌توان روابط ریاضی شماره‌ی ۵ را منظور داشت (رسولی، ۱۳۸۱).

$$NEMC_{T_{r1}} = \frac{\text{Sum} (T_{i1} - T_3)}{T_m} \quad \text{معادله‌ی شماره‌ی ۵:}$$

$$NEMC_{T_{r1}} = \frac{Sum[NEMC_{i2} + (T - T_m)]}{T_m}$$

برای محاسبه‌ی مقادیر NRMC به ازای همه‌ی سال‌های آماری می‌توان به معادله‌ی زیر استناد نمود:

$$NEMC_{T_{r1}} = \frac{Sum \left[NRMC_{T_{m-1}} + (T_{in} - T_m) \right]}{T_m} \quad \text{معادله‌ی شماره‌ی ۶}$$

در معادله‌ی کلی T_m معرف تراز سطح آب ۳۵ ساله از مشاهدات است T_{in} نشان‌دهنده‌ی مقدار مشاهدات در هر سال بوده و نمایه‌های T_{i1} و T_{i2} به ترتیب مقادیر ارتفاع آب دریاچه در سال‌های اول و دوم می‌باشند. بدین ترتیب $NRMC_{T_{r1}}$ نشان‌دهنده‌ی مقدار منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال شده در سال اول و در نهایت $NRMC_{T_{m-1}}$ نشان‌دهنده‌ی مقدار منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال شده در سال ما قبل آخر خواهد بود. در عمل به منظور محاسبه‌ی کلیه‌ی پارامترهای مورد نیاز می‌توان از محیط نرم‌افزار اکسل استفاده نموده و با نوشتن چندین ماکرو ضرایب معادله را محاسبه و به طور اتوماتیک مقادیر NRMC را برای کلیه‌ی سال‌ها استخراج و مدل گرافیکی معادل را طراحی نمود. با توجه به شکل شماره‌ی ۱۱ می‌توان دریافت که به ازای زمان تغییرات مدل NRMC دریاچه‌ی ارومیه مبین یک نوع رفتار چرخه‌ای نسبت به خط نرمال (صفر) است. اگر سال ۱۹۸۹ به عنوان محور تقسیم مشاهدات در ۳۵ سال گذشته فرض شود، فراوانی تعداد دفعات حادث شده در بالای خط نرمال بین سال‌های ۱۹۷۰ الی ۱۹۸۹ هشت مورد در مقابل نه مورد پایین‌تر از خط مربوطه خواهد بود. اما در این نیمه‌ی دوم سال‌های مشاهداتی (از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۴) تقریباً وضعیتی متعادلی حاکم است گویا این نوسانات خارج از بحث مهار آبها (ایجاد سدها) با وجود تغییرات، در درازمدت زیاد گرایش به نوعی تعادل نسبی از خود نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

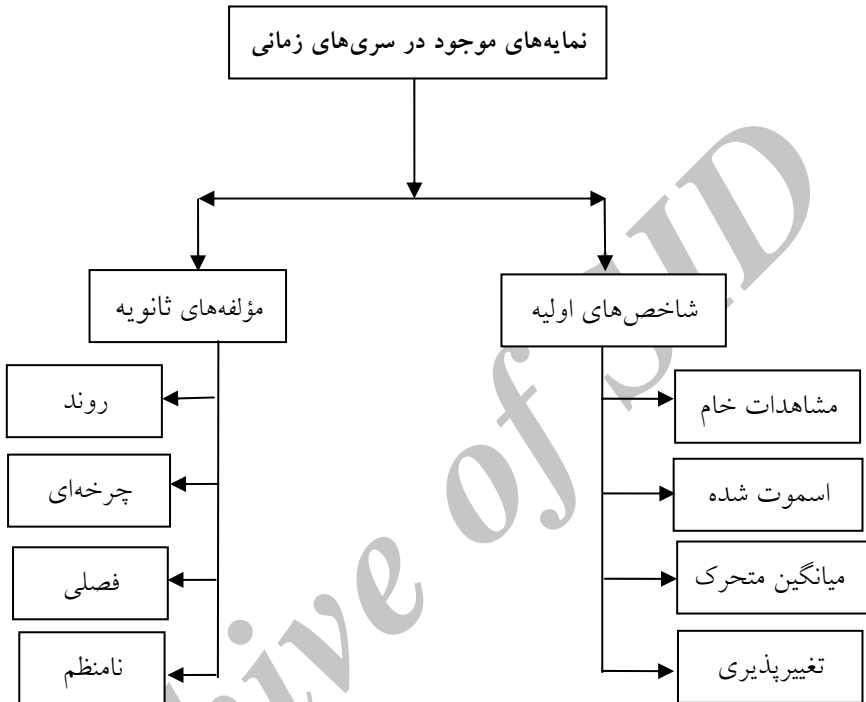
در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از روش‌های ساده‌ی ریاضی و گرافیکی، نمایه‌های موجود در سری زمانی ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه در طول ۳۵ سال گذشته استخراج شود. نتایج نهایی مبین این واقعیت هستند که سری‌های زمانی در مقیاس‌های سالانه و فصلی دارای نوسانات و تغییرات بسیار چشمگیری به ازای زمان هستند، که شاید به نوعی نشان‌دهنده‌ی حاکمیت متناوب اقلیم‌های نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب با ماهیت‌های مختلف در طول زمان در منطقه است. واضح است که ایجاد سدها و مهار آب‌ها و تواتر و وقوع خشکسالی‌ها به ویژه در دو دهه‌ی اخیر سهم قابل ملاحظه‌ای را به خود اختصاص می‌دهد. مسلماً، در این میان نباید عواملی مانند نشست زمین، ایجاد میانگذر تبریز - ارومیه، افزایش سطح زیرکشت و تغییر در کاربری‌های زمین و بار رسوبی رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز این دریاچه را نادیده انگاشت. باید یادآور شد که در تحقیق جاری هیچ تلاشی در جهت تأیید نظریه‌های فوق صورت نگرفته است، چرا که هدف اصلی استخراج نمایه‌های اولیه و ثانویه‌ی موجود در سری زمانی ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه بود. به علاوه باید یادآور شد که پیش‌بینی حوادث آتی نیز جزو اهداف این تحقیق نیست. در این مقاله ضمن بیان و تشریح عوامل موثر در این تغییرات سناریوهای آتی آن نیز پیش‌بینی شده است اما باید اذعان داشت مطالعه‌ی جاری زمینه‌ای را فراهم آورد تا با استناد بر آن هر اقلیم‌شناس و هیدرولوژیستی بتواند با تحلیل اولیه سری‌های زمانی، رفتار مشاهدات به ازای زمان را به صورت آماری و گرافیکی آشکار از پدیده‌های مورد مطالعه نشان دهد.

منابع

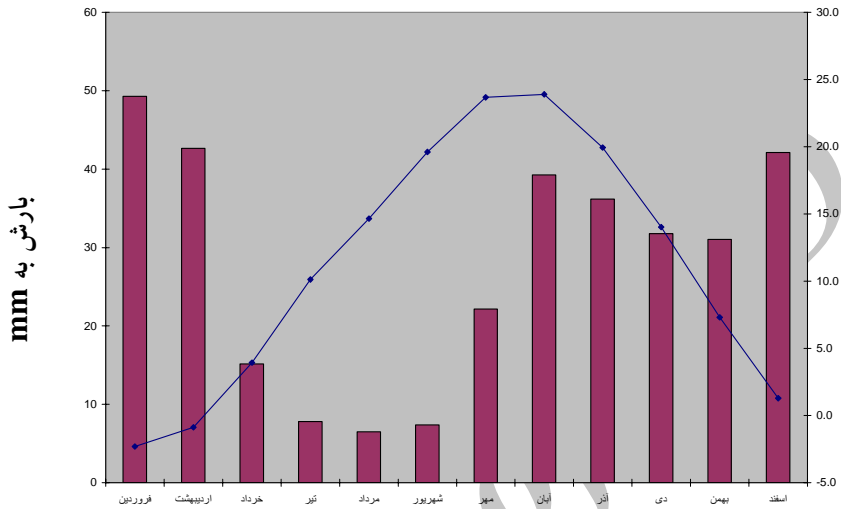
- ۱- بزرگ‌نیا، ابوالقاسم؛ نیرومند، حسینعلی (۱۳۸۱)، *سری‌های زمانی*، چاپ پنجم، انتشارات پیام نور.
- ۲- خاماچی، بهروز (۱۳۷۶)، *جزیره‌ی اسلامی و دریاچه‌ی ارومیه*، چاپ اول، انتشارات مهدآزاد - تبریز.
- ۳- خورشیددوست، علی محمد (۱۳۶۸)، مقدمه‌ای بر پالئوژئومورفولوژی دریاچه‌ی ارومیه، *فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی*، شماره‌ی ۱۴ (پاییز).
- ۴- رامشت، محمدحسین (۱۳۸۰)، دریاچه‌های دوران چهارم بستر تبلور و گسترش مدنیت در ایران، *فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی*، شماره‌ی ۱ سال شانزدهم (بهار).
- ۵- رسولی، علی‌اکبر؛ عباسیان، شیرزاد (۱۳۸۶)، پایش نوسانات سطح آب دریاچه‌ی ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندسنجنده‌ای و چندزمانه‌ای، *مجله‌ی مدرس دانشگاه تربیت مدرس*.
- ۶- رسولی، علی‌اکبر (۱۳۸۱)، تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی درجه‌ی حرارت شهر تبریز، *نیوار نشریه‌ی سازمان هواشناسی کشور*، شماره‌ی ۴۶ و ۴۷.
- ۷- زاهدی، مجید؛ علیجانی، بهلول (۱۳۸۱)، تحلیل آماری و سینوپتیکی بارندگی آذربایجان، *فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی*، شماره‌ی پاییز ۶۵-۶۶ سال هفدهم (پاییز).

- ۸- رجائی، عبدالحمید (۱۳۸۲)، *کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی شهری و روستایی*، چاپ اول، سازمان چاپ و انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی.
- ۹- علیزاده، امین (۱۳۷۶)، *اصول هیدرولوژی کاربردی*، چاپ هشتم، انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۱۰- مهندسان مشاور جاماب (۱۳۷۷)، *وزارت نیرو، سازمان آب آذربایجان غربی*.
- ۱۱- مهرشاهی، داریوش (۱۳۸۰) و (۱۳۸۱)، تشخیص تغییرات اقلیمی اواخر دوران چهارم در ایران از طریق اطلاعات حاصل از مطالعه‌ی دریاچه‌ها، *فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی*، سال شانزدهم شماره‌ی ۴، سال هفدهم شماره‌ی ۱، زمستان سال ۱۳۸۰ و بهار سال ۱۳۸۱.
- 12- B.Bayram, H.Bayraktar, C. Helvaci, U. Acar (2004), *Coast Line Change Detection Using CORONA, SPOT and IRS ID Images*, Turkey-Istanbul.
- 13- Chi-Chung Lau, Kwan-Tun Lee, Ching-Pin Tung, Chin-Hsin Chang' (1999), *Assessment of Climate-Change Impact on Runoff Using Normalized Difference Vegetation Index*, Laboratories of Energy and Resources, Industrial Technology Research Institute, National Ocean University, National Taiwan University.
- 14- Qudah O., Harahsheh H., (1994), *Recession of Dead Sea Through the Satellite Images*, Royal Jordanian Geographic Centre Amman-Jordan.
- 15- Integrated Water Resources Management for the Urmia Basin-Iran, (2003), ITC, the Netherlands.
- 16- FL. Zavoianu, A. Caramizoiu, D. Badea, (2001), *Study and Accuracy Assessment of Remote Sensing Data for Environmental Change Detection in Romanina Coastal Zone*

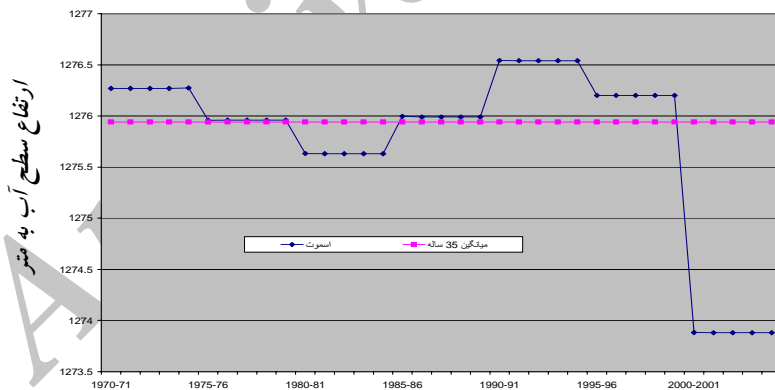
- of the Black Sea*, Faculty of Geodesy, Technical University of Engineering Bucharest, Romania.
- 17- M. Coskun, N. Musaoglu (2000), *Investigation of Rainfall-Runoff Modeling of the Van Lake Catchments by Using Remote Sensing and GIS Integration*, ITU, Civil Engineering Faculty, Istanbul, Turkey.
 - 18- Kaichang Di, Ruijin Ma, Jue Wang, Ron Li, (2004), , *Coastal Mapping and Change Detection Using High-Resolution IKONOS Satellite Imagery* Japan-Ohio.
 - 19- Najafi, Ahmad (2001), Investigation of the Snowmelt Runoff Urmia-region Using Modeling GIS and RA- Techniques, *International-Institute for Geo-Information Science and Obsevation*, Enchede the Netherland.
 - 20- Robert, B. (1999), Determining Short-Term Changes in the Flooding Regime of Climatically Sensitive Playas, *Lecture in Applied Remote Sensing*.
 - 21- Robert, B. (2003), Application of AVHRR to Monitoring A Climatically Sensitive Playa, Case Study: *Chott Elderid Southern Tunisia. Department of Environmental Science University of Strirling*, FK9-4LA, UK.
 - 22- R.K. Singh, N.V. Deshpande, B. Sakalley, S.N. Rajak and J. Kelsy (1991), Satellite Remote Sensing for Surface Water Assessment and Management of Bhopal Lake-An Integrated Approach, *Remote Sensing Applications*, Centre M.P. Council of Science & Technology Bhopal, India.
 - 23- Stephen A Kish (2002), A Remote Sensing and GIS Study of Long-Term Water Mass Balance Lake Jackson, College of Engineering Science Technology & Agriculture, Florida, U.S.A.
 - 24- Teng Peng Seang, Shunji Murai, Kiyoshi Honda, Robert L.G. Schumaan And Lal Samarakoon, (1998), *Detection of Coast Lines of Tonle Sap Lake in Flood Season Using JERS-1 Data for Water Volume Estimation*, STAR Program, Asian Institute of Technology.



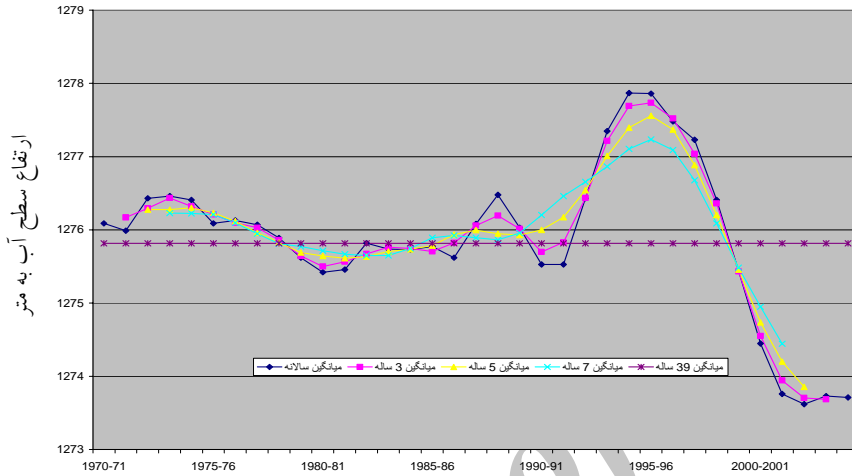
شکل (۳) نمایه‌های موجود در سرهای زمانی



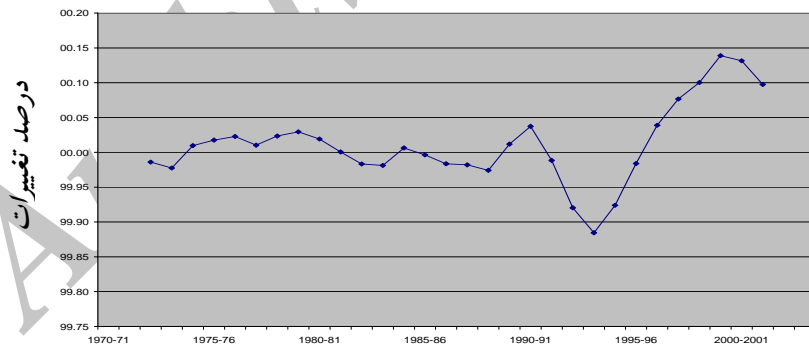
شکل (۴) اقلیم‌نمای حوزه آبریز دریاچه‌ی ارومیه دوره‌ی زمانی ۱۹۷۰-۲۰۰۵



شکل (۵) شاخص مشاهدات خام یا تغییرات ارتفاع سالانه سطح آب دریاچه ارومیه



شکل (۶) شاخص سموت شده متوسط ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه

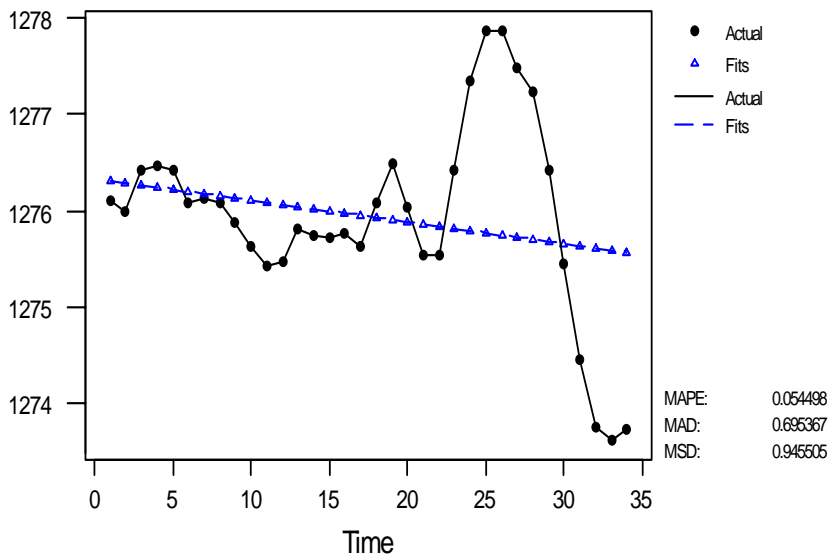


شکل (۷) میانگین متحرک ۳، ۵ و ۷ ساله متوسط ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه

Urmia Lake Water Surface Level Data, Yearly Trend

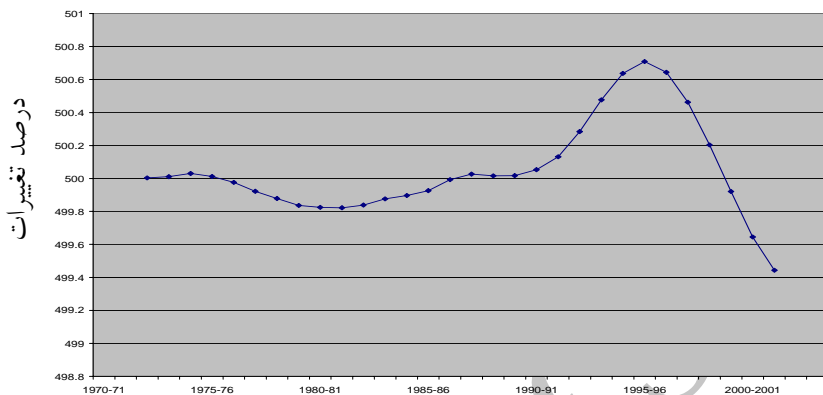
Linear Trend Model

$$Y_t = 1276.33 - 2.24E-02 * t$$



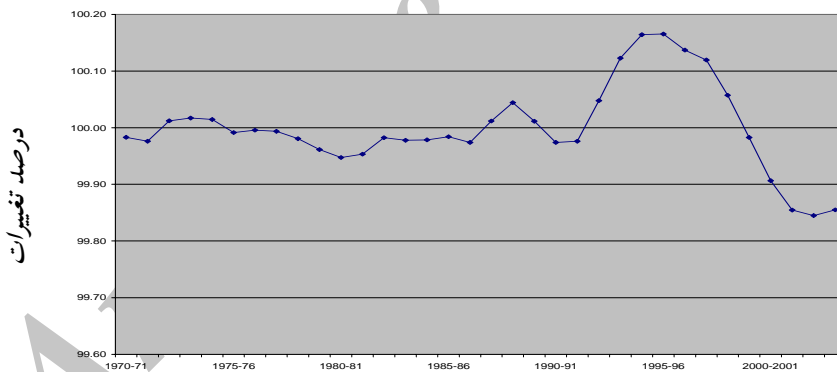
شکل (۸) شاخص تغییرپذیری ارتفاع متوسط سطح آب دریاچه‌ی ارومیه

ARCH

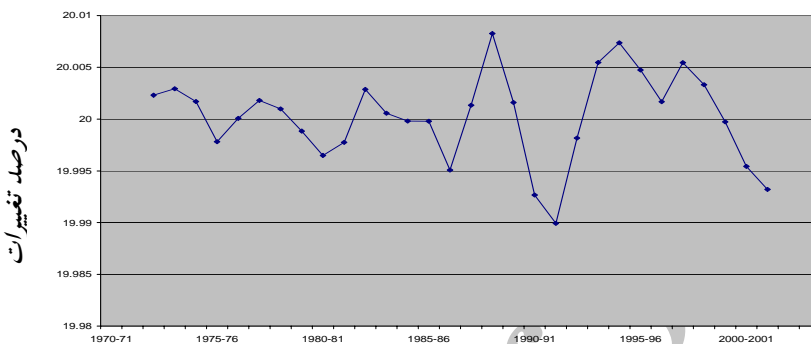


شکل (۹) روند سطح آب دریاچه‌ی ارومیه دوره‌ی آماری ۱۹۷۰-۲۰۰۵

نمودار شماره الف- ۱۰



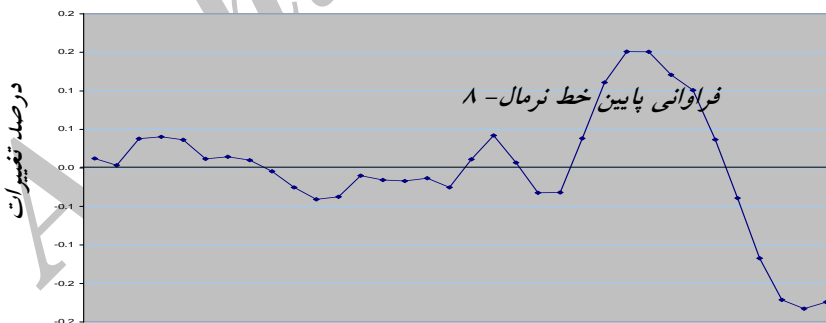
نمودار شماره ب- ۱۰



نمودار شماره‌ی ج- ۱۰

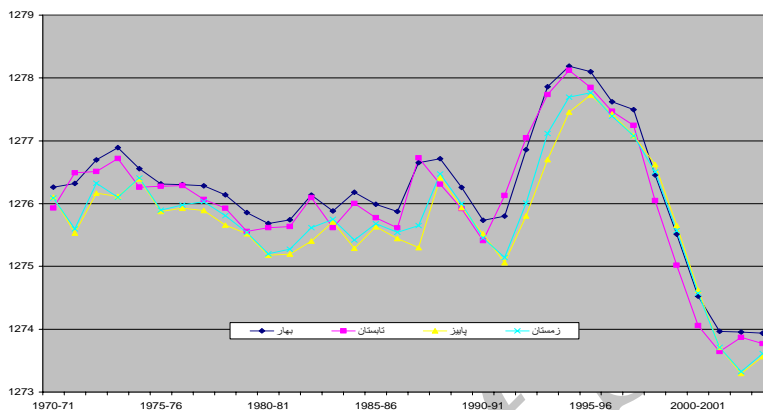
شکل (۱۰) درصد تغییرات مؤلفه‌های: الف روند، ب- چرخه ج- نامنظم ارتفاع متوسط سطح آب دریاچه‌ی ارومیه

فراوانی بالای خط نرمال- ۸



شکل (۱۱) منحنی تجمعی باقیمانده‌های نرمال شده متوسط ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه

ارتفاع سطح آب به متر



شکل (۱۲) تغییرات فصلی ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه

جدول (۱) نحوه‌ی محاسبه مؤلفه‌های میانگین متحرک و تغییرپذیری ارتفاع سطح آب دریاچه‌ی ارومیه

سال آبی	ارتفاع متوسط سالانه سطح آب دریاچه (۱)	مجموع مشاهدات برای میانگین ۵ ساله (۲)	میانگین مشاهدات ۵ ساله (۳)	مؤلفه تغییرپذیری (۴) $(\frac{1}{3})/100$
1970-71	1276.10			
1971-72	1275.98			
1972-73	1276.42	6381.4	1276.3	99.99
1973-74	1276.46	6381.4	1276.3	99.98
1974-75	1276.41	6381.5	1276.3	100.01
.....
.....
1999-2000	1275.44	6377.3	1275.5	100.14
2000-2001	1274.45	6373.7	1274.7	100.13
2001-2002	1273.76	6371.0	1274.2	100.10
2002-2003	1273.61			
2003-2004	1273.72			

جدول (۲) حاصل ضرب مؤلفه فصلی و مؤلفه نامنظم در سری مشاهدات ارتفاع متوسط سطح آب دریاچهی ارومیه

علامت مؤلفه	Y_t	T	$C \times I$ $100[(1)/(3)]$	C	$100[(3)/(4)]$
سال آبی	تراز متوسط سالانه	مقادیر روند	حاصلضرب مؤلفه‌ی چرخه‌ای و نامنظم و مؤلفه روند به درصد	میانگین متحرک ۵ ساله از ستون ۳	مؤلفه نامنظم به درصد
1970-71	1276.10	1276.31	99.98		
1971-72	1275.98	1276.29	99.98		
1972-73	1276.42	1276.27	100.01	500.00	20.002
1973-74	1276.46	1276.24	100.02	500.01	20.003
1974-75	1276.41	1276.22	100.01	500.03	20.002
.....
.....
1999-2000	1275.44	1275.66	99.98	499.92	20.000
2000-2001	1274.45	1275.64	99.91	499.65	19.995
2001-2002	1273.76	1275.61	99.85	499.44	19.993
2002-2003	1273.61	1275.59	99.84		
2003-2004	1273.72	1275.57	99.85		

جدول (۳) مؤلفه‌های روند، چرخه‌ای و نامنظم در سری مشاهدات ارتفاع متوسط سطح آب دریاچهی ارومیه

سال‌ها	میانگین فصلی تراز آب دریاچه	میانگین چارک‌ها	میانگین متحرک مرکزی	نسبت ضریب $S \times I$ $100[(1)/(3)]$
بهار ۱۹۷۰	1276.26			
تابستان	1275.93	1276.10		
پاییز	1276.10	1276.11	1276.10	100.00
زمستان	1276.09	1276.25	1276.18	99.99
بهار ۱۹۷۱	1276.32	1276.11	1276.18	100.01
تابستان	1276.49	1275.98	1276.05	100.03
پاییز	1275.53	1276.08	1276.03	99.96
زمستان	1275.60	1276.09	1276.08	99.96
.....
.....
بهار ۲۰۰۴	1274.04	1273.67	1273.65	100.03
تابستان	1273.33	1273.62	1273.64	99.98
پاییز	1273.71			
زمستان	1273.38			