تحلیل و پیش‌بینی نوسانات تراز سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از مدل ARIMA

خدیجه جوان*، استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

فرهاد نصیری، کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۲

چکیده: این تحقیق به منظور بررسی نوسانات تراز سطح آب دریاچه ارومیه و ارائه مدلی مناسب جهت پیش بینی نوسانات تراز سطح آب صورت گرفته است. آمار ماهانه تراز آب دریاچه در دوره آماری (۱۳۹۲- ۱۳۴۵) مورد استفاده قرار گرفت و همگنی آنها توسط آزمون توالی بررسی شد. سپس داده‌ها مورد آزمون‌های ایستایی میانگین و واریانس قرار گرفت تا با ایجاد مرتبه در سری، ناایستایی سری از بین برود. رفتار ماهانه سری با استفاده از تفاضل‌گیری حذف گردیده و با استفاده از مدل‌های باکس- جنکینز، سری زمانی تراز سطح آب بررسی و بهترین مدل برازش داده شد. صحت و دقت مدل‌ها بر اساس معیارهای AIC و BIC و تحلیل نمودار توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی تایید گردید و مدل مناسب بصورت ARIMA= (0,1,4)(1,1,1)12 انتخاب شد که ترکیبی از دو بخش غیر فصلی (p=0،d=1،q=4) و فصلی (SP=1،SD=1،SQ=1) می‌باشد. مدل انتخاب شده مورد برازش قرار گرفته و سپس مناسبت آن از طریق تجزیه و تحلیل باقیمانده‌ها مورد آزمون قرار گرفت و صحت آن تایید گردید. در نهایت با استفاده از این مدل رفتار سری در ماه‌های آینده مورد پیش‌بینی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی، پیش‌بینی، تراز سطح آب، دریاچه ارومیه، ARIMA

Analysis and Prediction of Water Level Fluctuations in Urmia Lake Using ARIMA Model

khadijeh Javan*, Assistant Professor, Department of Geography, Urmia University, Urmia, Iran
kh.javan@Urmia.ac.ir
Farhad Nasiri, West Azarbayjan Regional Water Authority, Urmia, Iran.

Abstract: This study has been done to evaluate the fluctuations of water level in Urmia Lake and to provide a best model for prediction the water level fluctuations. Monthly water level data for the period (1345 - 1392) was used and homogeneity was assessed by Run Test. Then the stability of mean and variance of the data was tested in order to put down the non-stability by creation a rank in series. Trend of the monthly series was eliminated by making a difference and the time series of water level was evaluated by using Box- Jenkins model and the best model was fitted. Accuracy of the model was verified based on AIC, BIC and chart analysis of autocorrelation and partial autocorrelation functions and ARIMA = (0, 1, 4) (1, 1, 1)12 was selected as a suitable model. The selected model was fitted then the model was tested by Analysis of residuals and confirmed its authenticity. Finally, the monthly behavior of the series was predicted for 9 years later by using this model.

Keywords: Modeling, Prediction, Water level fluctuation, Urmia Lake, ARIMA.

نویسنده مسئول: خدیجه جوان، استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، kh.javan@Urmia.ac.ir

مقدمه:

دریاچه ارومیه یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های کشور بوده که تعدادی از رودخانه‌های شمال‌غرب کشور در این دریاچه تخلیه می‌گردد و از دیدگاه‌های مختلف به خصوص زیست‌محیطی حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به تغییرات بارندگی در حوضه دریاچه ارومیه و نیز شیب کم سواحل، تراز این دریاچه دچار نوسانات و تغییرات زیادی است. علاوه بر این توسعه طرح‌های منابع آبی طی سال‌های اخیر و بخصوص احداث سدهای مخزنی بر روی رودخانه‌های این حوضه، سبب تشدید این تغییرات شده است.

تراز سطح آب هر دریاچه از جمله مشخصه‌های مهم آن است. آگاهی از نوسانات تراز سطح آب در تفسیر و بررسی مسائل مربوط به تغییرات ذخیره آبی دریاچه، ساخت و سازهای ساحلی، ریسک پذیری سازه‌های آبی و مباحث زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارد. هرچند با استفاده از اندازه‌گیری‌های مکرر تراز آب می‌توان دیدی کلی نسبت به تغییرات آن بدست آورد، اما تحلیل و مدل‌سازی این متغیر امکان بررسی بیشتر آن را فراهم می‌آورد. مدل عبارت است از نمادی از واقعیت که مهم‌ترین ویژگی‌های دنیای واقعی را به صورت کلی و ساده بیان می‌دارد. مدل سازی تکنیکی نوین برای توصیف، تاریخ گذاری، بازآفرینی و پیش‌بینی است که در سطح وسیعی به وسیلهٔ اقلیم شناسان به کار گرفته شده است. در این شیوه، رویدادهای اقلیمی در شرایط کنترل شده و دنیای واقعی به اندازه و وضعیت دلخواه به تصویر در می‌آید. بدین ترتیب درک پیچیدگی‌های سیستم اقلیم امکان‌پذیر می‌شود (عساکره، ۱۳۸۶: ۱۰۲). هدف اصلی از مدل‌سازی سری‌های زمانی، دادن نظم خاص به مشاهدات وابسته به زمان است تا بر اساس آنها بتوان پیش‌بینی‌هایی را برای آینده انجام داد. مهم‌ترین هدف از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، یافتن مدل تغییرات و پیش‌بینی آینده آن با استفاده از مدل‌های مختلف شامل مدل‌های اتورگرسیو (AR)، میانگین متحرک (MA)، مدل‌های تلفیقی اتورگرسیو- میانگین متحرک (ARIMA) و مدل‌های فصلی است (فرج زاده، ۱۳۸۶: ۱۱۴). تحلیل مدل‌های سری‌های زمانی به طور نظری و عملی از دهه ۱۹۷۰ به بعد برای پیش‌بینی و کنترل، توسعه یافته است (بزرگ‌نیا و نیرومند، ۱۳۹۰).

مطالعه نوسانات تراز آب دریاچه‌ها از دیرباز مورد توجه متخصصین و دانشمندان علوم مختلف بوده است. تحقیقات و مطالعاتی همچون تعیین خط ساخت و ساز ساحلی، تعیین حجم آب موجود در دریاچه‌ها، فرسایش سواحل و پیش‌بینی حمل رسوب به شکلی متاثر از این عامل می‌باشد (تفرج نوروز و همکاران، ۱۳۸۰). بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه بررسی و مدل‌سازی نوسانات دریاچه‌ها معطوف به تفسیر تغییرات تراز آب آنها با توجه به پارامترهای اقلیمی منطقه بوده است که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود:

کبد و همکاران[1] (۲۰۰۵) بودجه آبی دریاچه تانا[2] در اتیوپی را با استفاده از تغییرات بارندگی و تبخیر از سطح دریاچه و همچنین میزان جریان خروجی و ورودی به دریاچه تعیین کرده و سپس با استفاده از معادله بیلان آب، میزان تغییرات تراز آب دریاچه را شبیه‌سازی کردند. جهانی (۱۳۷۰) به بررسی تغییرات آب دریای خزر به منظور اعلام حریم پرداخته و از مدل خودهمبستگی برای شبیه سازی نوسانات دریاچه استفاده نمود. وی به جای ارائه فراوانی وقوع ترازهای گوناگون آب در آینده، به ارائه امید ریاضی نتایج مدل بسنده نموده که در واقع بیانگر حالت مد آماری تراز آب در ۳۰ سال آینده می‌باشد. تفرج نوروز و همکاران (۱۳۸۰) سری زمانی ماهانه تراز سطح آب دریاچه هامون پوزک در شمال‌شرق سیستان را بررسی کرده و مدل مناسب ARIMA را بر آن برازش دادند. نتایج بدست آمده نشان داد که پیش بینی مدل برای سال‌هایی که دریاچه کاملا خشک نباشد، به طور مطلوبی انجام می‌گردد.

مطالعات چندی نیز در رابطه با نوسانات دریاچه ارومیه صورت گرفته است. جاماب (۱۳۷۷) مطالعاتی در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه در زمینه هوا و اقلیم انجام داده است که نتیجه آن اثبات تغییرات اقلیمی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز این دریاچه در طول دهه گذشته است.

1. Kebede et al.
2. Tana

رسولی و عباسیان (۱۳۸۷) نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه را با استفاده از سنجش از دور و GIS مطالعه کرده‌اند. نتایج نشان داد که مساحت این دریاچه در دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۷۰حدود ۲۳ درصد کاهش یافته است. همچنین رسولی و عباسیان (۱۳۸۸) به تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی تراز آب دریاچه ارومیه پرداخته‌اند. یافته‌های نهایی مبین این واقعیت هستند که سری‌های زمانی در مقیاس‌های سالانه و فصلی دارای نوسانات و تغییرات بسیار چشمگیری هستند. نساجی زواره و همکاران (۱۳۸۹) به پیش‌بینی تراز آب ماهانه دریاچه ارومیه با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. آنها از یک شبکه چند لایه پیش‌خور با یک لایه پنهان و تابع سیگموئیدی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مهمترین عامل جهت پیش‌بینی تراز آب ماهانه با این روش، تراز آب ماه قبل می‌باشد. همچنین از بین ساختارهای مختلف شبکه، ساختار ANN(5-3-1 دارای RMSE ۰/۰۳۳ و R^2 ۰/۹۹ است که نشان‌دهنده قابلیت مناسب شبکه در پیش‌بینی تراز آب ماهانه است.

در تحقیق حاضر به منظور بررسی و تحلیل تغییرات تراز سطح آب دریاچه ارومیه و پیش‌بینی آن، اقدام به ایستا نمودن مدل آریما از طریق بررسی خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی و نرمال کردن داده‌ها گردیده تا بتوان مدلی مناسب برای رفتار تراز سطح آب دریاچه ارائه نموده و وضعیت آن را برای آینده پیش‌بینی نمود.

مواد و روش‌ها:

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال‌غربی ایران بین مختصات ۵۲-°۴۲ تا ´۱۳-°۴۴ طول شرقی و ´۳۹-°۳۵ تا ´۳۰-°۳۸ عرض شمالی در بین دو استان آذربایجان غربی و شرقی واقع شده است. این دریاچه، بزرگ‌ترین دریاچه کشور محسوب می‌گردد. طول آن از شمال به جنوب حدود ۱۳۵ و عرض آن تا ۸۵ کیلومتر متغیر است. این دریاچه حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد که در سال‌های خشک و مرطوب بین ۴۵۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومتر مربع متغیر است. تراز آب دریاچه بین ۱۲۷۳و ۱۲۷۷/۵ در نوسان است (مطالعات پایه منابع آب، ۱۳۸۷: ۱). این دریاچه توسط سازمان یونسکو به عنوان یک میراث زیست محیطی حفاظت شده به ثبت جهانی رسیده است (بیرکت[1]، ۱۹۹۵: ۳۰۵). همچنین این دریاچه به عنوان یکی از تالاب‌های بین المللی (در کنوانسیون رامسر) به ثبت رسیده است (علیشیری و امیر مردفر، ۱۳۸۵: ۱). در اطراف دریاچه ارومیه تعداد ۱۶ تالاب با وسعت تقریبی ۵ تا ۱۲۰۰ هکتار (که بعضی خشک شده‌اند) وجود دارد که اکثراً دارای آب شیرین و یا شور و شیرین بوده و از ارزش اکوسیستمی بالایی برخوردار هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تراز دریاچه ارومیه در طی دوره ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۵ از یک روند رو به کاهش پیروی نموده است (هاشمی، ۱۳۸۷: ۱۵). مطالعات نظری دوست تراز آب اکولوژیکی را برای دریاچه ارومیه ۱۲۷۴ متر پیشنهاد نموده است. در شرایط کنونی تراز آب دریاچه ۱/۵ متر پایین‌تر از رقم مذکور است که به معنی کمبود آب به میزان ۹ میلیون متر مکعب می‌باشد (نظری دوست، ۱۳۸۵: ۱۲). حوضه آبریز دریاچه ارومیه با دارا بودن حدود ۳/۱۵ درصد از سطح کشور، حدود ۷٪ از کل منابع آب سطحی کشور را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین این حوضه از نظر دارا بودن منابع آب سطحی، دارای مزیت نسبی برای توسعه اقتصادی می‌باشد. این حوضه بوسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس، دامنه جنوبی کوه سبلان و دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است. این حوضه از سمت شمال به حوضه آبریز رودخانه ارس، از سمت شرق به حوضه آبریز رودخانه سفیدرود، از جنوب به حوضه آبریز رودخانه‌های سفیدرود و سیروان و از غرب به حوضه آبریز رودخانه زاب محدود گشته است.

داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق آمار ماهانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۲ استفاده گردیده است. این آمار از واحد بانک اطلاعات دفتر مطالعات شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان غربی دریافت گردید.

1. Birkett

کاربرد روش‌های آماری و به ویژه سری‌های زمانی به منظور شناخت رفتار خطی و غیرخطی عناصر اقلیمی از بهترین شیوه‌های ارزیابی روند دراز مدت عناصر است. تراز سطح آب دریاچه گرچه عنصر اقلیمی بشمار نمی‌رود ولی متاثر از عناصر اقلیمی می‌باشد و برای به الگو در آوردن تغییرات و نوسانات آن از مدل‌های سری‌های زمانی می‌توان استفاده نمود. بدین منظور، داده‌ها باید در مرحله اول، دارای ویژگی‌های تداوم و غیرتصادفی باشند. بنابراین می‌بایست غیرتصادفی بودن داده‌ها بررسی گردد. چنانچه داده‌ها تصادفی باشند، از فرایند مدل‌سازی صرف‌نظر می‌گردد. غیر تصاوفی بودن یک سری زمانی از طریق آزمون ران تست مشخص می‌گردد. چنانچه مقدار P-Value حاصل از این آزمون کمتر از 0.05 باشد، تصادفی بودن سری رد می‌گردد. غیر تصادفی بودن سری بدین معنی است که می‌توان به سری یک مدل برازش داد و رفتار آینده آن را پیش‌بینی نمود. اولین گام در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی بررسی تداوم در سری زمانی است. به عبارتی دیگر، سری زمانی می‌باید دارای تداوم باشد. دومین و مهم‌ترین گام، ایستایی سری زمانی می‌باشد. یک سری زمانی، هنگامی ایستا و مانا می‌باشد که قوانین احتمالی حاکم بر فرایند با زمان تغییر نکند و فرایند در تعادل آماری باقی بماند (خرمی و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۶). بنابراین به طور کلی، سری زمانی باید دارای ایستایی کواریانس باشد (بزرگ‌نیا، ۱۳۸۱). چنانچه سری در واریانس ناایستا باشد راه‌حل مناسب برای ایستا نمودن آن استفاده از تبدیلات باکس- کاکس می‌باشد و چنانچه در میانگین ناایستا باشد، از تفاضلی کردن سری استفاده می‌گردد. تفاضلی کردن سری زمانی با استفاده از عملگر پسرو انجام می‌گیرد. عملگر مزبور روی شاخص زمانی عمل کرده و آن را به اندازه یک واحد زمانی به عقب می‌برد. در عمل با یک یا دو بار تفاضلی کردن می‌توان سری ناایستا را به سری ایستا تبدیل نمود. تفاضلی کردن بر اساس عملگر پسرو به شکل زیر می‌باشد:

$$\nabla x_t = x_t - x_{t-1} = x_t - B(x_t) = (1-B)x_t$$

بنابراین می‌توان عملگر تفاضلی کردن ∇ را بصورت زیر نوشت:

$$\nabla^d = (1-B)^d .$$

اگر به مرور زمان تغییرپذیری یک سری زمانی افزایش یابد بدین معنی است که سری مزبور نسبت به واریانس ناایستا می‌باشد. بنابراین باید از تبدیلات مناسب اقدام به ایستا نمودن واریانس نمود. چنانچه یک سری زمانی هم در واریانس و هم در میانگین ناایستا باشد، ابتدا باید واریانس آن ایستا گردد (شهابفر، ۱۳۸۰). بطور کلی برای تبدیل واریانس، از تبدیل توانی باکس و کاکس استفاده می‌گردد (لیت و همکاران[1]، ۱۹۹۶).

$$T(x_t) = x_t^{(\lambda)} = \frac{x_t^{(\lambda)} - 1}{\lambda}$$

در سری‌های زمانی ویژگی مهم این است که معمولاً مشاهدات متوالی مستقل نیستند و دقیقاً این وابستگی بین مشاهدات است که باید بررسی و به مدل درآید. برای بررسی وابستگی از تابع خودهمبستگی و تابع خودهمبستگی جزئی استفاده می‌گردد.

تابع خودهمبستگی در تاخیر K عبارتست از همبستگی بین مشاهداتی که K واحد زمانی با یکدیگر فاصله دارند. تابع خود همبستگی(ACF) که آن را با P_k نشان می‌دهند به شکل زیر می‌باشد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۷):

$$\rho_k = \frac{cov(x_t, x_{t+k})}{\mathrm{var}(x_t)} = \frac{\gamma(k)}{\gamma(o)}$$

در این معادله P_k ضریب اتوکوواریانس در تاخیر K می‌باشد. اندازه‌های ضریب اتوکوواریانس به واحد اندازه گیری x_t بستگی دارد. برآورد P_K را که از یک نمونه n تایی بدست می‌آید را با R_k نشان می‌دهند. از ضرایب خودهمبستگی نمونه‌ای جهت تشخیص الگوی احتمالی مولد داده‌ها استفاده می‌گردد. نمودار R_k در مقابل تاخیر k را همبستگی نگار می‌نامند. از این نمودار برای تشخیص الگوی احتمالی مولد داده‌ها استفاده می‌گردد.

ضریب خود همبستگی جزیی(PACF) همبستگی بین x_t و x_{t+k} بعد از حذف اثر متغیرهای $x_{t+1}, x_{t+2}, \ldots x_{t+k-1}$ می‌باشد. این تابع خود همبستگی را با ϕ_{kk} نشان می‌دهند. از این تابع در تشخیص الگوی احتمالی مولد داده‌ها استفاده می‌گردد.

1. Leite, et al.

تابع خود همبستگی جزئی بین متغیرهای X_t , X_{t+k} به صورت زیر بیان می شود (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۷):

$$\phi_{kk} = \frac{\mathrm{cov}[(x_t - \hat{x}_t), (x_{t+k} - \hat{x}_{t+k})]}{\sqrt{\mathrm{var}(x_t - \hat{x}_t)}\sqrt{\mathrm{var}(x_{t+k} - \hat{x}_{t+k})}}$$

علاوه بر تداوم، غیرتصادفی بودن و ایستائی، یک سری باید فاقد هرگونه روند باشد. برای حذف روند موجود در داده‌ها باید از فیلترهای بالاگذر[1] استفاده نمود. تفاضل‌گیری نیز جزو این فیلترها محسوب می‌گردد. این فیلترها، فرکانس‌های بالا را عبور داده و فرکانس‌های پایین (رفتار بلند مدت یا روند) را حذف می‌کنند. تفاضلی کردن سری که به معنی حذف روند می‌باشد با استفاده از عملگر پسرو انجام می‌گردد. ایستایی میانگین، به معنی عدم وجود روند در سری می‌باشد. مدل‌های باکس– جنکینز، مدل‌های سری زمانی می‌باشند که از فیلتر خطی ناشی می‌گردند. این مدل‌ها دو شکل کلی دارند: آریما ((ARIMA (p,d,q) و آریمای ضرب‌پذیرژ (SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)S). p مرتبه AR و q مرتبه MA و d مرتبه تفاضل‌گیری می‌باشد. P و q پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک غیر فصلی می‌باشند. d نیز مرتبه تفاضل گیری غیرفصلی می‌باشد که در ایستا نمودن سری زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شکل یک آریمای غیرفصلی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$ARIMA(p,d,q): \phi(B)(1-B)^d Z_t = \theta(B)\varepsilon_t$$

پس از شناسایی مدل آزمایشی، باید پارامترهای مدل را برآورد نمود. الگوسازی سری زمانی یک روش تکراری است که با شناخت الگو و برآورد پارامترها شروع می‌شود. در این مرحله پارامترهای الگوی برازش داده شده، برآورد می‌گردد. پس از تشخیص مدل و برآورد پارامترهای آن، باید رسایی مدل را نیز آزمون کرد. بررسی مناسبت مدل باید چنان باشد که مدل را به مخاطره بیاندازد. در بررسی مناسبت مدل از دو روش تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های مدل برازش داده شده و تجزیه و تحلیل مدل‌هایی که پارامتر بیشتری دارند استفاده می‌گردد که هردو مکمل یکدیگرند. بنابراین بعد از برازش هر گونه الگو به سری زمانی، توصیه می‌شود امتحان باقیمانده‌ها که تفاضل بین مشاهدات و مقادیر برازش داده شده است، اجرا گردد. براین اساس مدلی مناسب تلقی می‌گردد که شرط‌های ذیل برای آن برقرار باشد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۷):

۱- نرمال بودن مانده‌ها (باقیمانده‌ها)

۲- همگنی در واریانس مدل

۳- استقلال در مانده‌ها

برپایه نتایج این تحلیل‌ها، چنانچه مدل پیشنهادی نامناسب باشد، باید مدل دیگری را در نظر گرفت. اما چنانچه بعد از مراحل فوق به دو یا چند مدل مناسب دست یافتیم و تحلیل باقیمانده‌ها برای تشخیص اینکه کدام مدل بهتر است، کافی نبود، در آن صورت به روش‌های دیگر از جمله معیار اطلاعاتی آکائیک[2] (AIC) و معیار اطلاعاتی بیزی[3] (BIC) نیاز می‌شود (پرساد و سینگ[4]، ۱۹۹۸).

معیار آکائیک از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$AIC = n * \ln\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}\right] + 2k$$

$$k = (p + q) + (P + Q)$$

که در آن O_i مقادیر مشاهده شده، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، n تعداد مشاهدات و k تعداد پارامترهای مدل است.

معیار بیزی نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$BIC = -LnLn(\mu, \emptyset, \tau, \sigma^2) + \frac{(P+q+2)Lnn}{n}$$

که در آن BIC معیار اطلاعاتی بیزی، μ میانگین مشاهدات، σ انحراف از معیار، Ø، τ ضرایب مدل می‌باشد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های آماری تراز آب دریاچه ارومیه

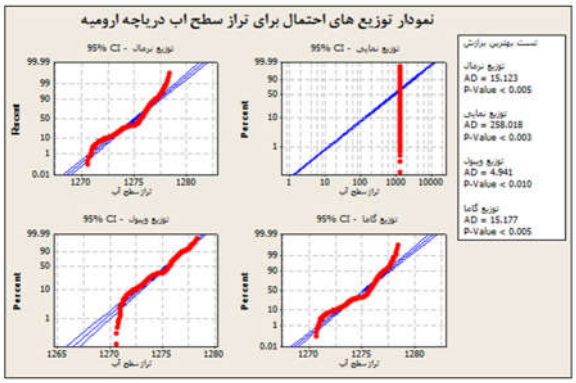
در این مطالعه آمار ماهانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه در طی سالهای ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۲ مورد استفاده قرار گرفت برخی از آماره‌های توصیفی سری مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود میانگین ماهانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه ۱۲۷۵/۱۷ متر می‌باشد که با میانه و مد فاصله دارد که گویای انحراف کم داده‌ها از توزیع نرمال می‌باشد.

1. High Pass
2. Akaikes Information Criterion
3. Beyes Information Criterion
4. Prasad & Singh

دامنه تغییرات بالا نشانگر پراکندگی بیشتر متغیرها می‌باشد و مقدار کم انحراف معیار نشانگر این واقعیت است که سری مورد بررسی متجانس و همگن بوده و تغییرپذیری آن کمتر است. میزان چولگی و کشیدگی به ترتیب ۰/۷۷- و ۰/۱۱- می‌باشد. ضریب چولگی منفی نشان می‌دهد که تراز سطح آب دریاچه ارومیه از لحاظ شکل توزیع تمایل به مقادیر بالا دارد. یعنی فراوانی مقادیر بالاتر از میانگین بیش از فراوانی مقادیر پایین‌تر از میانگین است. منفی بودن ضریب کشیدگی نیز پهن-شدگی توزیع را نشان می‌دهد.

مدل‌سازی ARIMA برای پیش بینی تراز سطح آب ماهانه دریاچه ارومیه

در ابتدا با استفاده از آزمون ران تست، تصادفی یا غیرتصادفی بودن سری مورد آزمون قرار گرفت که طبق نتایج به دست آمده، سری جزو سری‌های غیرتصادفی مشخص گردید. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها نیز از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف استفاده گردید و مقدار Z برابر ۱۱/۳۰ بدست آمد. چون مقدار Z ما بین ۱,۹۶± نیست پس داده ها در سطح معنی‌داری ۹۵٪ دارای توزیع نرمال نمی‌باشند. سری داده‌ها بر توزیع‌های تجربی نرمال، گاما، ویبول و نمایی برازش داده شد و توزیع نرمال به عنوان بهترین برازش انتخاب گردید (شکل ۱).



شکل (۱): نمودارهای توزیع احتمال برای تبدیل سری تراز آب

در مرحله بعد جهت تعیین روند یا عدم آن در سری، از آزمون رتبه‌ای دنیلس استفاده شد. با توجه به جدول نتایج آزمون دنیلس (جدول ۲) سری داده‌های ماهانه در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای روند می‌باشد (Sig. (2-tailed)<۰/۰۱). شکل ۲ جهت روند موجود در سری داده‌های تراز آب دریاچه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود سری دارای روند کاهشی می‌باشد. برای برآورد میزان روند نیز مدل زیر با بیشترین ضریب تبیین انتخاب گردید.

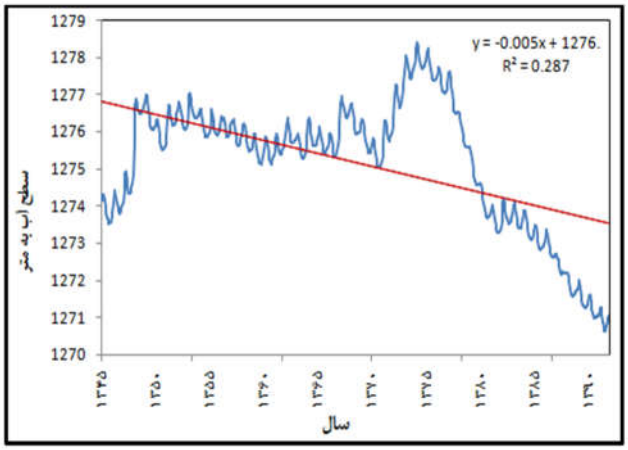
$$Y=-1E-14X^6+3E-11X^5-3E-8X^4$$
$$+1E-5X^3-0.0019X^2+0.147X+1272.4$$
$$R^2= 0.09044$$

جدول (۱): ویژگی‌های آماری تراز سطح آب دریاچه ارومیه (به متر)

مشخصات آماری	میانگین	میانه	مد	انحراف معیار	ضریب تغییرات	کشیدگی	چولگی	تعداد مشاهدات
مقادیر	۱۲۷۵/۱۷	۱۲۷۵/۷۱	۱۲۷۵/۹۳	۱/۷۵	۸/۷۵	-۰/۱۱	-۰/۷۷	۵۶۴

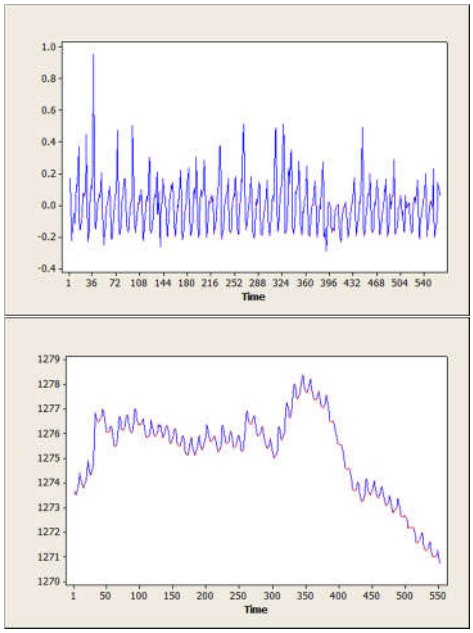
جدول (۲): نتایج آزمون دنیلس برای سری ماهانه تراز آب دریاچه ارومیه

همبستگی						
					سطح آب	ماه
ضریب همبستگی اسپیرمن	سطح آب	ضریب همبستگی			۱	-.۴۴۷**
		Sig. (2-tailed)			.	۰
		N			۵۶۴	۵۶۴
		Bootstrap[a]	Bias		۰	-۰.۰۰۱
			Std. Error		۰	۰.۰۴۶
			95% Confidence Interval	Lower	۱	-۰.۵۴۶
				Upper	۱	-۰.۳۵۸
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).						
a. Unless otherwise noted, bootstrap results are based on 564 bootstrap samples						



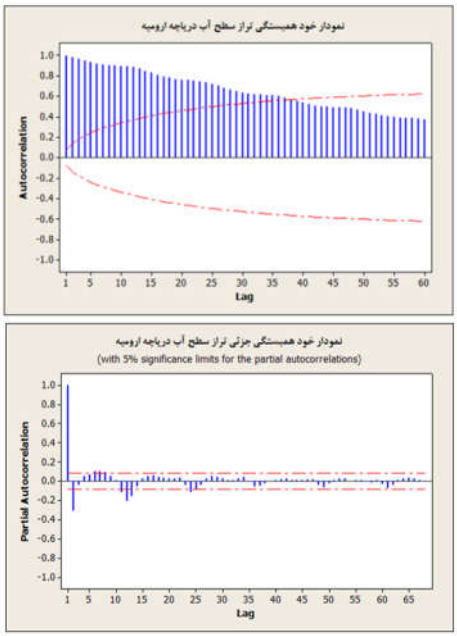
شکل (۲): جهت و میزان روند تغییرات تراز سطح آب دریاچه ارومیه

پس از تعیین میزان روند، نمودار سری زمانی رسم گردید تا ایستایی یا ناایستا بودن سری مشاهده گردد (شکل ۳). نمودار سری زمانی نیز ناایستا بودن سری را تایید می‌کند. در گام بعد باید روند ماهانه از سری زمانی حذف گردد. تفاضل‌گیری مرتبه یک سبب حذف روند ماهانه از سری زمانی گردیده است (شکل ۴). پس از حذف روند ماهانه، نمودارهای ACF با نزول نمایی و PACF برای سری تفاضل‌گیری شده ترسیم شد تا از طریق آنها به تشخیص مدل اولیه سری زمانی پرداخته شود (شکل ۵ و ۶).



شکل (۳): نمودار سری زمانی ماهانه تراز سطح دریاچه

شکل (۴): نمودار سری تفاضل گیری شده با مرتبه یک



شکل (۵): نمودار ACF سری زمانی با نزول نمایی

شکل (۶): نمودار PACF سری تفاضل گیری شده

از نمودار ACF مرتبه q و از نمودار PACF مرتبه p تعیین می‌شوند. D نیز مرتبه تفاضل‌گیری می‌باشد. با در نظر گرفتن تناوب دوره‌ای چهار ساله برای تابع خود همبستگی جزئی می‌توان میانگین‌های متحرک از یک تا چهار سال را در نظر گرفته و مدل های مختلف را پیشنهاد نمود. چند نمونه از مناسب‌ترین الگوها در جدول ۳ آورده شده است.

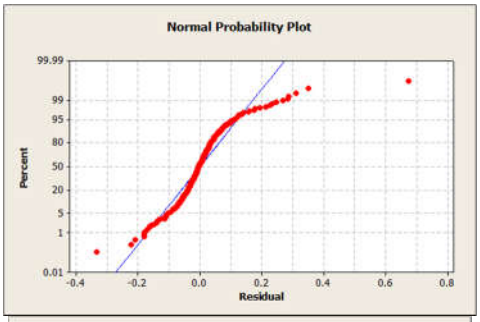
برای انتخاب مناسب‌ترین مدل، مقادیر کمتر معیارهای آکائیک و بیزی، مدل مناسب‌تری بدست می‌دهد، بنابراین الگوی M1 با کمترین مقدار AIC و BIC به عنوان الگوی انتخابی تعیین گردید. با توجه به الگوی بدست آمده نتیجه شد که سری زمانی دریاچه ارومیه دارای روند با توجه به مرتبه تفاضلی ۱، تغییرات تصادفی دوره‌ای یک تا چهار ساله با توجه به مرتبه چهار میانگین متحرک و تغییرات فصلی با دوره ۱۲ ماهه می‌باشد.

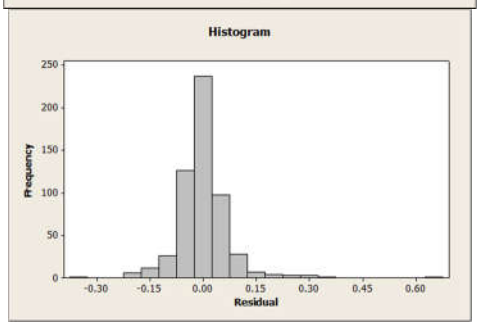
در مرحله بعد باید به بررسی مناسبت مدل برازش داده شده پرداخت. در این پژوهش از تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های مدل که رایج‌تر است، استفاده می‌گردد. این تجزیه و تحلیل به کمک نمودارهای مربوط به باقیمانده‌ها و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام می‌گیرد. برای بررسی فرض نرمال بودن باقیمانده‌های مدل، نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌ها (شکل ۷)

و نمودار هیستوگرام باقیمانده‌ها (شکل ۸) ترسیم گردید. در نمودار احتمال نرمال، نقاط در امتداد خط قطری گسترده شده‌اند که تطابق این دو بیانگر توزیع نرمال می‌باشد. نمودار هیستوگرام نیز با توزیع ستونی، مقادیر توزیع نرمال داده‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۳): مقادیر و رابطه الگوهای M1، M2 و M3 برای تراز ماهانه سطح آب دریاچه ارومیه

الگو	رابطه الگو	AIC	BIC
M1	ARIMA(0,1,4)(1,1,1)12	-3112	-5.486
M2	ARIMA(1,1,1)(1,1,1)12	-3108	-5.479
M3	ARIMA(1,1,2)(1,1,1)12	-3103	-5.467

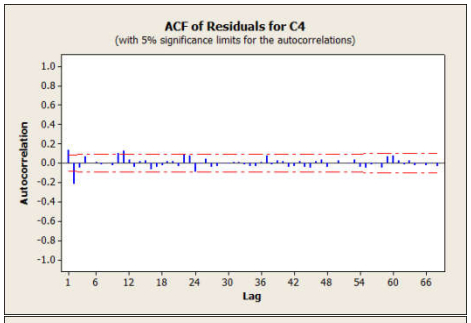


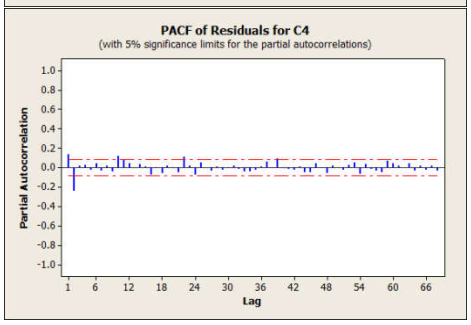


شکل (۷): نمودار احتمال باقیمانده مدل برازش شده

شکل (۸): نمودار هیستوگرام باقیمانده مدل برازش شده

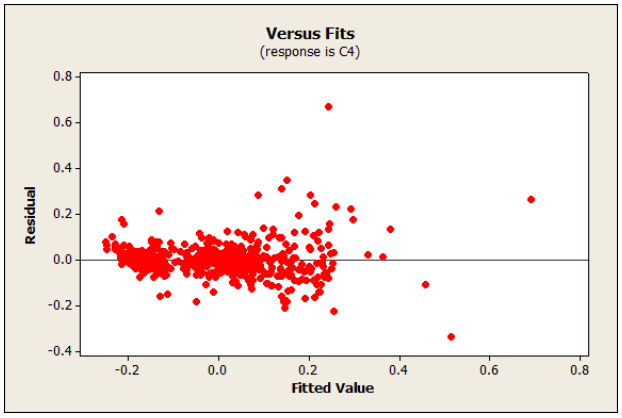
برای بررسی فرض استقلال باقیمانده‌ها نیز نمودار ACF و PACF باقیمانده‌ها ترسیم گردید. با نگاهی به نمودارها مشاهده می‌گردد که هیچ یک از خودهمبستگی‌ها معنی‌دار نیستند که این خود به معنی ناهمبسته بودن و تصادفی بودن باقیمانده‌هاست (شکل ۹ و ۱۰). شکل ۱۱ نیز نمودار باقیمانده‌های مدل برازش شده در مقابل داده‌های بارش را نشان می‌دهد. اگر مدل برازش داده شده مناسب باشد، انتظار می‌رود نمودار باقیمانده‌ها در برابر زمان، در اطراف سطح افقی صفر پراکندگی مستطیلی بدون روندی را نشان دهد. چنانچه رفتار این نمودار شبیه رفتار یک فرایند تصادفی محض با میانگین صفر و واریانس ثابت باشد، آنگاه می‌توان مدل برازش داده شده را تایید نمود. با توجه به نمودارهای ترسیم شده در مدل، صحت مدل برازش داده شده تایید می‌گردد.





شکل (۹): نمودار ACF باقیمانده‌های تراز دریاچه

شکل (۱۰): نمودار PACF باقیمانده‌های تراز دریاچه



شکل (۱۱): نمودار باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش شده

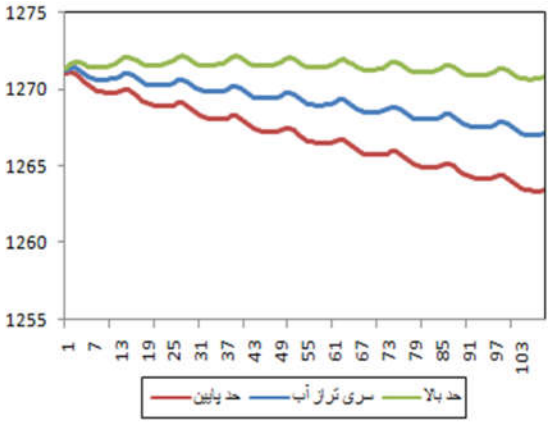
برازش جامع‌تر مدل نهایی از طریق مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده صورت می‌گیرد. نتایج حاصله از صحت مدل برازش داده شده در مرحله نهایی در جدول ۴ آمده است. در گام نهایی، پیش بینی برای دوره آینده که از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ می‌باشد صورت گرفت. نتایج پیش بینی ماهانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه در جدول شماره ۵ و مقادیر پیش‌بینی شده تراز سطح آب همراه با حدود اطمینان در شکل ۱۲ آمده است.

جدول (۴): مشخصات نهایی مدل مورد استفاده

نوع آماره	میانگین
ضریب تعیین سری ایستا	۰/۷۵۱
ضریب تعیین سری ناایستا	۰/۹۹۹
RMSE	۰/۶
MAPE	۰/۰۰۳
MaxAPE	۰/۰۱۹
MAE	۰/۰۴۴
MaxAE	۰/۲۴۳

جدول (۵): نتایج پیش بینی ماهانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه

	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶
فروردین	۱۲۷۰/۸۱	۱۲۷۰/۴۰	۱۲۶۹/۹۹	۱۲۶۹/۵۶
اردیبهشت	۱۲۷۱/۰۰	۱۲۷۰/۵۹	۱۲۷۰/۱۷	۱۲۶۹/۷۳
خرداد	۱۲۷۱/۰۳	۱۲۷۰/۶۲	۱۲۷۰/۲۰	۱۲۶۹/۷۶
تیر	۱۲۷۰/۸۷	۱۲۷۰/۴۶	۱۲۷۰/۰۴	۱۲۶۹/۶۰
مرداد	۱۲۷۰/۶۶	۱۲۷۰/۲۵	۱۲۶۹/۸۳	۱۲۶۹/۳۹
شهریور	۱۲۷۰/۴۷	۱۲۷۰/۰۶	۱۲۶۹/۶۴	۱۲۶۹/۲۰
مهر	۱۲۷۰/۳۲	۱۲۶۹/۹۰	۱۲۶۹/۴۸	۱۲۶۹/۰۴
آبان	۱۲۷۰/۲۵	۱۲۶۹/۸۳	۱۲۶۹/۴۱	۱۲۶۸/۹۶
آذر	۱۲۷۰/۲۲	۱۲۶۹/۸۰	۱۲۶۹/۳۸	۱۲۶۸/۹۴
دی	۱۲۷۰/۲۲	۱۲۶۹/۸۱	۱۲۶۹/۳۸	۱۲۶۸/۹۴
بهمن	۱۲۷۰/۲۵	۱۲۶۹/۸۳	۱۲۶۹/۴۱	۱۲۶۸/۹۶
اسفند	۱۲۷۰/۳۰	۱۲۶۹/۸۸	۱۲۶۹/۴۵	۱۲۶۹/۰۰



شکل (۱۲): سری ماهانه پیش بینی شده تراز سطح آب به همراه حدود اطمینان

نتیجه گیری

هدف اصلی از مدل‌سازی سری‌های زمانی، دادن نظم خاص به مشاهدات وابسته به زمان است تا بر اساس آنها بتوان پیش-بینی‌هایی را برای آینده انجام داد. مهم‌ترین هدف از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، یافتن مدل تغییرات و پیش‌بینی آینده آن است. بکارگیری تکنیک‌های آماری خصوصاً مدل آریما ابزاری سودمند در بررسی روند تغییرات عناصر اقلیمی است. تراز سطح آب دریاچه گرچه عنصر اقلیمی بشمار نمی‌رود ولیکن متاثر از عناصر اقلیمی می‌باشد و برای به الگو در آوردن تغییرات و نوسانات آن از مدل‌های سری‌های زمانی می‌توان استفاده نمود.

در تحقیق حاضر برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سری ماهانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه از مدل ARIMA استفاده شد. پس از بررسی همگنی داده‌ها توسط آزمون توالی، داده‌ها مورد آزمون‌های ایستایی میانگین و واریانس قرار گرفت تا با ایجاد مرتبه در سری، ناایستایی سری از بین برود. رفتار ماهانه سری با استفاده از تفاضل‌گیری حذف گردیده و با استفاده از مدل ARIMA، سری زمانی تراز سطح آب بررسی و بهترین مدل برازش داده شد. صحت و دقت مدل‌ها بر اساس معیارهای AIC و BIC و تحلیل نمودار توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی تایید گردید و مدل مناسب بصورت ARIMA= (0,1,4)(1,1,1)12 انتخاب شد. مدل انتخاب شده مورد برازش قرار گرفته و سپس مناسبت آن از طریق تجزیه و تحلیل باقیمانده‌ها مورد آزمون قرار گرفت و صحت آن تایید گردید. در نهایت با استفاده از این مدل، رفتار سری برای دوره آینده مورد پیش‌بینی قرار گرفت. با توجه به الگوی بدست آمده نتیجه شد که سری زمانی دریاچه ارومیه دارای روند با توجه به مرتبه تفاضلی ۱، تغییرات تصادفی دوره‌ای یک تا چهار ساله با توجه به مرتبه چهار میانگین متحرک و تغییرات فصلی با دوره ۱۲ ماهه می‌باشد. مدل بدست آمده از دقت بالایی برخوردار هست. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که می‌توان از این مدل برای پیش بینی تغییرات تراز سطح آب دریاچه ارومیه استفاده کرد.

منابع:

۱- بزرگ نیا، ابوالقاسم، (۱۳۸۱)، سریهای زمانی، انتشارات دانشگاه پیام نور.

۲- تفرج نوروز، علی، ابریشم‌چی، احمد، تجریشی، مسعود، (۱۳۸۰)، تحلیل و مدلسازی استوکاستیک تراز متوسط ماهانه سطح دریاچه هامون پوزک، آب و فاضلاب، شماره ۴۰، صص ۱۱-۵.

۳- جهانی، علی، (۱۳۷۰)، بررسی تغییرات آب دریای خزر به منظور اعلام حریم، مجموعه مقالات کارگاه پیش بینی‌های هیدرولوژیکی، تهران.

۴- خرمی، مصطفی، بزرگ‌نیا، ابوالقاسم، (۱۳۸۶)، تجزیه و تحلیل سریهای زمانی با Minitab14، انتشارات سخن گستر مشهد.

۵- رسولی، علی اکبر، شیرزاد عباسیان (۱۳۸۷)، پایش نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندسنجنده‌ای و چندزمانه‌ای، مجله مدرس، دانشگاه تربیت مدرس

۶- رسولی، علی اکبر، شیرزاد عباسیان (۱۳۸۸)، تحلیل مقدماتی سریهای زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز.

۷- شهابفر، علیرضا، قیامی، علی (۱۳۸۰)، ارزیابی و روشهای نیکوئی برازش توابع توزیع های آماری و استفاده از سری‌های زمانی جهت پیش بینی بارندگی سالانه مشهد، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل.

۸- عساکره، حسین، (۱۳۸۸)، الگوسازی ARIMA برای میانگین سالانه دمای شهر تبریز، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۴، صص ۲۴-۳.

۹- علیشیری، علی، امیرمردفر، راشین، (۱۳۸۵)، ارزیابی زیست محیطی ایجاد تفرجگاه در بندر رحمانلو، سازمان محیط زیست.

۱۰- فرج‌زاده، منوچهر، (۱۳۸۶)، تکنیک‌های اقلیم شناسی، انتشارات سمت.

۱۱- مدیریت جامع منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه (۱۳۸۵)، وزارت نیرو ، سازمان آب استان آذربایجان غربی.

۱۲- مهندسین مشاور جاماب (۱۳۷۷)، وزارت نیرو، سازمان آب استان آذربایجان غربی.

۱۳- نساجی زواره، مجتبی، رسولی، علی اکبر، جوان، خدیجه، (۱۳۸۹)، پیش‌بینی تراز آب ماهانه دریاچه ارومیه با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، مجموعه مقالات دومین همایش ملی بحران زیست محیطی پارک ملی دریاچه ارومیه، دانشگاه پیام نور نقده.

۱۴- نیرومند، حسینعلی و بزرگ نیا، ابوالقاسم (۱۳۹۰) ، سری‌های زمانی، انتشارات پیام نور، چاپ ششم .

۱۵- هاشمی، مختار، (۱۳۸۷)، مروری بر وضعیت منابع آب حوضه دریاچه ارومیه، سازمان حفاظت محیط زیست.

16- Birkett, C., Mason, I., (1995), *A new global lakes database for remote sensing programme studying climatically sensitive large lakes*, J. Grt. Lakes Res., 21 (3) , 307-318.

17- Kebede Y., travi T., Alemayehu V. Marc, (2005), *Water Balance Of Lake Tana And its Sensitivity To Fluctuations in Rainfall, Blue Nile Basin, Ethiopia*, Journal Of Hydrology, xx: 1-15.

18- Leite, S. M., (1996), *The autoregressive model of climatological time series: An application to the longest time series in Portugal*, International Journal of Climatology 16, 1165-1173.

19- Prasad, K. D., Singh, S. V., (1998), *Forecasting the spatial variability of the Indian monsoon rainfall using canonical correlation model*, International Journal of Climatology 16, 1379-1390.

20- Soltani, S., Modarees, R., Eslamian, S. S., (2007), *The use of time series modeling for the determination of rainfall climate of Iran*. Int.J.Climatol.27: 819-829.