گزارش کوتاه علمی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره پنجم، ۱۳۹٤
http://jwsc.gau.ac.ir

پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از مدل سری‌های زمانی خطی

مجتبی مروج[۱]، *کیوان خلیلی[۲] و جواد بهمنش[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، [۲]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه،
[۳]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: تاکنون پژوهش‌هایی در رابطه با شناسایی نوسانات دوره‌ای تاریخی تراز سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از تحلیل پهنه‌های نمک صورت گرفته است. همچنین نوسانات دوره‌ای تراز سطح آب دریاچه ارومیه با عوامل بیرونی مانند شاخص‌های اقلیمی SOI و NAO و لکه‌های خورشیدی گزارش شده است. با توجه به افت شدید تراز سطح آب دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر و بحران خشک شدن کامل آن، پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه بیش از پیش اهمیت پیدا کرده است. هدف از این پژوهش استخراج و پیش‌بینی نوسانات دوره‌ای تراز سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های تحلیل سری‌های زمانی است.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در این پژوهش دریاچه ارومیه است که در شمال‌غرب ایران قرار دارد. در این پژوهش، سری زمانی ماهانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه در خلال سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۷ مورد تحلیل قرار گرفت. برای این منظور از ۸۲٪ ابتدای سری برای تخمین پارامترهای مدل و از ۱۸٪ انتهای سری جهت آزمون کارایی مدل استفاده شد. روند، تناوب و ایستایی سری به‌ترتیب با آزمون ناپارامتری من- کندال و آزمون KPSS اصلاح‌شده با آنالیز فوریه مورد بررسی قرار گرفت. پس از حذف مؤلفه روند و تناوب از سری زمانی ماهانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه، باقیمانده سری با استفاده از تبدیلات جانسون به توزیع نرمال تبدیل شد. سری زمانی تبدیل شده با مدل سری‌های زمانی خطی ARMA مدل‌سازی شد و پس از بررسی کفایت مدل به کمک آزمون پورت‌مانتئو، از مدل منتخب جهت پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه استفاده گردید.

یافته‌ها: آماره آزمون ناپارامتری من- کندال برابر ۴/۸۵۷- محاسبه گردید که بسیار بیش‌تر از مقدار حدی آزمون در سطح ۱٪ است و نشان‌دهنده روند معنی‌دار کاهشی در سری زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه است. نتایج تحلیل تناوب نشان داد که تناوب‌های ماهانه، سه ساله، ۴ ساله، ۲۰ ساله، ۳۵ ساله و ۴۷ ساله تناوب‌های غالب در این سری هستند و با حذف آن‌ها می‌توان به یک سری زمانی ایستا دست یافت. با استفاده از معیار آکایکه مدل سری‌های زمانی AR(13) انتخاب شد و کفایت آن با آزمون پورت‌مانتئو با آماره ۱۱۶/۳۲۳ محاسبه شده، تأیید شد. نتایج پیش‌بینی با استفاده از مدل منتخب نشان می‌دهد که تراز متوسط سالانه سطح آب دریاچه ارومیه در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۵ به‌ترتیب برابر ۱۲۷۲/۱۷، ۱۲۷۲/۱۱، ۱۲۷۱/۳۴، ۱۲۷۰/۵۵، ۱۲۷۰/۳۱، ۱۲۷۰/۲۱، ۱۲۷۰/۱۲ و ۱۲۷۰/۱۳ خواهد بود.

* مسئول مکاتبه: khalili2006@gmail.com

نتیجه‌گیری: به‌دلیل رفتار U شکل مشاهده شده در سری زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه از آزمون KPSS اصلاح‌شده با آنالیز فوریه به‌منظور تحلیل تناوب و ایستایی سری زمانی مذکور استفاده شد. این آزمون مختص بررسی تناوب و ایستایی داده‌هایی است که رفتار غیرخطی دوره‌ای چند فرکانسه دارند. این آزمون تاکنون در علم آب مورد استفاده قرار نگرفته است. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی که متشکل از آزمون مذکور و مدل سری‌های زمانی خطی است، توانایی مدل‌سازی تراز سطح آب دریاچه ارومیه را با دقت متوسط ۰/۱ متر برای داده‌های آزمون دارد. نتایج پیش‌بینی بیانگر آن است که تراز سطح آب دریاچه ارومیه تا اواسط سال ۱۳۸۹ حدوداً ثابت و پس از آن تا سال ۱۳۹۲ افت شدید خواهد داشت. پس از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱۳۹۵ تراز سطح آب دریاچه ارومیه تقریباً ثابت پیش‌بینی شد ولی پس از آن روند افزایشی مشاهده می‌شود. روند افزایشی مشاهده شده بعد از سال ۱۳۹۵ به‌دلیل تناوب برون‌سالی بلندمدت اعمال شده در مدل‌سازی است. با توجه به طول سری زمانی موجود نمی‌توان در مورد برگشت‌پذیری و پیش‌بینی‌پذیری تناوب‌های برون‌سالی بلندمدت مشاهده شده نظر داد، بنابراین ممکن است که پیش‌بینی‌های بعد از سال ۱۳۹۵ اعتبار لازم را نداشته باشند.

واژه‌های کلیدی: آزمون KPSS اصلاح‌شده با آنالیز فوریه، مدل‌سازی سری‌های زمانی، دریاچه ارومیه، پیش‌بینی

مقدمه

با استفاده از مدل‌سازی ریاضی سری‌های زمانی می‌توان داده‌های مصنوعی هیدرولوژیک را تولید، وقایع هیدرولوژیک را پیش‌بینی، روند[1] و پرش[2] در داده‌ها را مشخص، خلاء آماری را تکمیل و دوره آماری را تطویل نمود (5). کلست و شهرابی (1986) گزارش کردند که طی مقیاس‌های زمانی زمین‌شناسی، نوسانات زیادی در تراز سطح آب دریاچه رخ داده است (10). جبارلوی‌شبستری (2001) نوسانات تراز سطح آب دریاچه را در کواترنر با بررسی پهنه‌های نمکی حاشیه دریاچه ارزیابی کرد و نتیجه گرفت که در ۵ تا ۱۰ هزار سال قبل، احتمالاً سطح آب دریاچه از زمان حاضر پایین‌تر بوده است (1). رسولی و عباسیان (2009) سری زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه را تحلیل آماری کردند (6). از نتایج به‌دست آمده می‌توان به وجود روند کاهشی در مقیاس سالانه و افزایش درصد تغییرات در سال‌های اخیر اشاره کرد.

جهانبخش و همکاران (2010) تأثیر لکه‌های خورشیدی بر دریاچه ارومیه را با استفاده از آنالیز موجک پیوسته و متقاطع مورد بررسی قرار دادند (2). نتایج نشان‌دهنده وجود نوسانات دوره‌ای معنی‌دار و منفی ۸-۱۱ ساله می‌باشد به این معنی که همبستگی منفی معنی‌دار بین لکه‌های خورشیدی و تراز سطح آب دریاچه آب ارومیه وجود دارد. جلیلی و همکاران (2011) با تحلیل طیفی سری زمانی رابطه معنی‌داری بین نوسان ۴/۵ ساله تراز سطح آب دریاچه ارومیه و شاخص‌های اقلیمی SOI و NAO به‌دست آوردند (7). نتایج این پژوهش نشان داد که پرآبی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹ دریاچه و افت تراز سطح آب دریاچه در سال‌های اخیر توسط نوسانات دوره‌ای قابل مدل‌سازی نیست.

بحران دریاچه ارومیه به‌دلیل افزایش برداشت از منابع آبی سطحی و زیرزمینی، جلوگیری از حرکت منابع آبی به دریاچه و عوامل تشدیدکننده‌ای مانند تغییر اقلیم به‌وجود آمده است. هدف از این مطالعه

1- Trend
2- Shift

پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن حافظه دریاچه ارومیه و به کمک مدل سری‌های زمانی است. در این راستا مؤلفه‌های مختلف سری‌های زمانی نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: دریاچه ارومیه در شمال‌غرب ایران واقع شده است. تراز کف دریاچه ۱۲۶۸ متر، تراز متوسط سطح آب دریاچه ۱۲۷۵/۵ و دامنه نوسان آن از ۱۲۷۲/۱ تا ۱۲۷۸/۴ متر از سطح دریا در دوره آماری ۴۲ ساله ۱۳۴۵-۱۳۸۷ است. در این مطالعه اطلاعات مربوط به تراز دریاچه ارومیه از ایستگاه بندر گلمانخانه متعلق به سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان‌غربی برای سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۷ به‌دست آمد.

آزمون روند من- کندال: آزمون من- کندال یک آزمون غیرپارامتری براساس رتبه می‌باشد. فرض صفر (H_0) در آن بدین معنی است که مشاهدات نمونه مستقل از هم بوده و با متغیرهای تصادفی توزیع شده و در نتیجه روند وجود ندارد. روابط و توضیحات مربوط به آزمون من- کندال در یو و همکاران (1993) در دسترس است (13). به‌منظور حذف خاصیت تناوب از سری زمانی تراز دریاچه ارومیه از سری فوریه استفاده شد.

تست ایستایی KPSS اصلاح‌شده با آنالیز فوریه: این روش توسط بکر و همکاران (2006) ارائه شده است (8). در این روش رابطه ۱ جهت تولید داده در نظر گرفته می‌شود.

$$y_t = \alpha_0 + \beta t + \gamma_1 Sin\left(\frac{2\pi k t}{T}\right) + \gamma_2 Cos\left(\frac{2\pi k t}{T}\right) + r_t + \varepsilon_t \quad (۱)$$

که در رابطه ۱:

$$r_t = r_{t-1} + u_t \quad (۲)$$

در رابطه ۱ و ۲، ε_t خطای ایستایی، u_t سری تصادفی با توزیع مشخص و واریانس σ_u^2، r_t مؤلفه خود همبسته سری، k فرکانس انتخاب شده برای تخمین مؤلفه تناوبی، t زمان، T طول دوره آماری، α_0، β، γ_1 و γ_2 ضرایب به‌دست آمده از رگرسیون مدل تولید داده و داده‌های تاریخی که نشان‌دهنده بزرگی و محل مؤلفه تناوبی هستند. تحت فرض صفر $\sigma_u^2 = 0$، فرآیند تعریف شده در رابطه ۱ ایستا است. حالت خاصی از رابطه فوق بیانگر حالت خطی استاندارد استفاده شده در تست KPSS است که در آن $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$ در نظر گرفته می‌شود. باقیمانده روابط ۳ و ۴ مد نظر است.

$$y_t = \alpha_0 + \gamma_1 Sin\left(\frac{2\pi k t}{T}\right) + \gamma_2 Cos\left(\frac{2\pi k t}{T}\right) + v_t \quad (۳)$$

$$y_t = \alpha_0 + \beta t + \gamma_1 Sin\left(\frac{2\pi k t}{T}\right) + \gamma_2 Cos\left(\frac{2\pi k t}{T}\right) + v_t \quad (۴)$$

رابطه ۳ نشان‌دهنده تست ایستایی حول سطح ثابت و رابطه ۴ بیانگر تست ایستایی حول یک روند معین است. آماره آزمون از رابطه ۵ به‌دست می‌آید.

$$\tau_{KPSS}(k) = \frac{1}{T^2}\sum_{\tau=1}^{T}\frac{(\widetilde{S}_t(k))^2}{\widetilde{\sigma}^2} \quad (۵)$$

که در آن، $\widetilde{\sigma}^2 = \widetilde{\alpha}_0 + 2\sum_{j=1}^{l} w_j \widetilde{\alpha}_j$ و $\widetilde{S}_t(k) = \sum_{j=1}^{t} \widetilde{v}_j$ می‌باشد. $\widetilde{v}_j$ باقیمانده رگرسیون ناشی از رابطه‌های ۳

و ۴ به‌ترتیب برای تست ایستایی حول سطح ثابت و حول روند معین است. l تأخیر مدنظر برای تعیین سری وزن‌ها یا w_j است و $\tilde{\alpha}_j$، jامین اتوکوواریانس باقیمانده v_j از رابطه‌های ۳ و ۴ است. وزن‌های w_j می‌توانند از رابطه بارتلت به‌صورت $w_j(p)=1-\frac{j}{P+1}$ محاسبه شوند. برای محاسبه l از برازش مدل AR یا رابطه شوارت (1989) استفاده می‌شود (12). در این پژوهش از برازش مدل AR استفاده شد. آماره آزمون تابعی از طول دوره آماری و فرکانس k انتخابی و سطح احتمال می‌باشد. به همین دلیل انتخاب k مناسب بسیار دارای اهمیت است. در این پژوهش از روش پیشنهاد شده توسط دیویس (1987) استفاده شده است (9). در این روش مقدار k براساس حداقل مربعات خطا به‌دست می‌آید. به این صورت که k از یک تا T در نظر گرفته می‌شود و k که مقدار مربعات خطا را حداقل کند انتخاب خواهد شد.

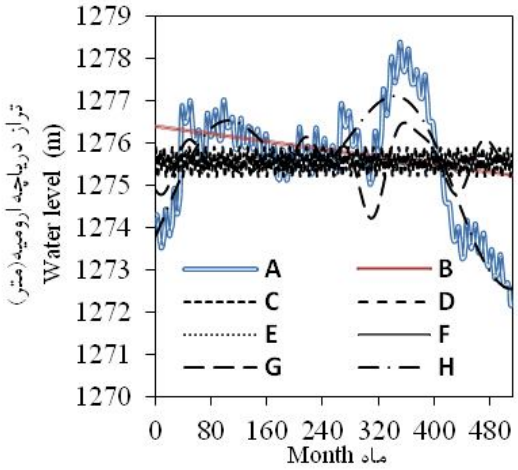
مدل میانگین متحرک خودهمبسته (ARMA): با در نظر گرفتن سری زمانی نرمال و استاندارد Z_t مدل میانگین متحرک خودهمبسته را می‌توان به‌صورت رابطه ۶ نوشت:

$$Z_t=\sum_{i=1}^{P}(\phi_i.Z_{t-i})-\sum_{j=1}^{q}(\theta_j.\varepsilon_{t-j})+\varepsilon_t \qquad (۶)$$

که در آن، p مرتبه مدل AR و q مرتبه مدل MA و ϕ_i و θ_j ضرایب مدل می‌باشند. در رابطه ۶ با در نظر گرفتن $p=0$ مدل میانگین متحرک و با در نظر گرفتن $q=0$ مدل خودهمبسته حاصل می‌شود. در این مطالعه برای بررسی نکویی برازش مدل منتخب، از آزمون پورت‌مانتئو استفاده گردید. در زمینه مدل‌سازی سری‌های زمانی می‌توان به خلیلی (2001) و خلیلی و حصاری (2004) و سالاس (1993) مراجعه نمود (3, 4, 11).

نتایج و بحث

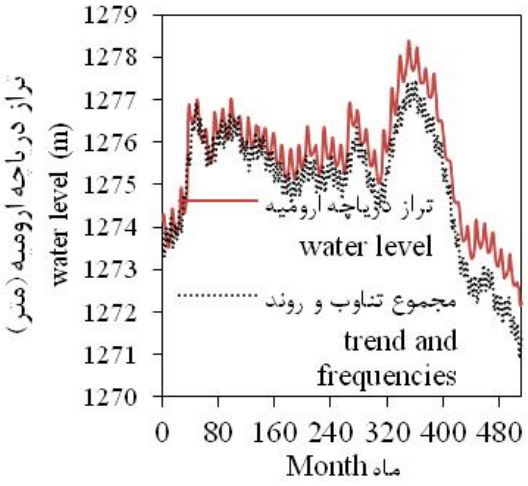
نتایج روند، تناوب، نرمال‌سازی و ایستایی سری زمانی تراز دریاچه ارومیه: به‌دلیل اینکه Z محاسبه شده (۴/۸۵۷-) آزمون من- کندال بسیار بیش‌تر از مقدار حدی خود (۲/۵۴ در سطح ۱٪) می‌باشد. بنابراین روند کاهشی سطح تراز دریاچه معنی‌دار است. خط روند در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه تناوب با دوره‌های ۳، ۴، ۲۰، ۳۵، ۴۷ ساله و دوره‌های ماهانه انتخاب شدند. سری‌های متناوب انتخاب شده به همراه داده‌های اصلی و روند در شکل ۱ ارائه شده‌اند. مجموع مؤلفه‌های قطعی سری زمانی تراز دریاچه ارومیه نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. پس از حذف مؤلفه‌های روند و تناوب از سری زمانی تراز دریاچه ارومیه، سری باقیمانده‌ها مورد آزمون نرمال بودن و ایستایی قرار گرفتند. آزمون چولگی و رسم نمودار احتمال سری باقیمانده نشان داد که این سری از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند. با استفاده از تبدیلات جانسون سری باقیمانده‌ها نرمال شد. آماره محاسبه شده آزمون ایستایی ۲/۹ می‌باشد. به‌دلیل کوچک‌تر بودن مقدار آماره محاسبه شده از مقدار بحرانی در سطح ۵٪ (۴/۶۵۱) فرض صفر رد نمی‌شود. بنابراین سری باقیمانده‌های تبدیل شده به نرمال، ایستا است.



شکل ۱- سری‌های متناوب انتخاب شده به همراه روند.

A: تراز دریاچه ارومیه، **B**: روند، **C**: تناوب ماهانه، **D**: تناوب سه ساله، **E**: تناوب ٤ ساله، **F**: تناوب ۲۰ ساله، **G**: تناوب ۳۵ ساله، **H**: تناوب ٤٧ ساله.

Figure 1. selected frequencies with trend.
A: water level, B: trend, C: monthly frequency, D: 3 year frequency, E: 4 year frequency, F: 20 year frequency, G: 35 year frequency, H: 47 year frequency.



شکل ۲- مجموع مؤلفه‌های قطعی تراز دریاچه ارومیه.

Figure 2. deterministic component of Urmia Lake water level time series.

مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی خطی: رسته مدل با استفاده از کم‌ترین مقدار ضریب آکایکه به‌دست آمد. این مدل‌ها به همراه مقدار ضریب آکایکه مربوطه در جدول ۱ ارائه شده‌اند. از بین دو مدل رسته AR و ARMA که کم‌ترین مقدار ضریب آکایکه را داشتند، مدل AR به‌دلیل داشتن ضریب آکایکه کمتر انتخاب شد و نتایج مدل‌سازی با آن با آزمون پورت‌مانتئو مورد سنجش قرار گرفت.

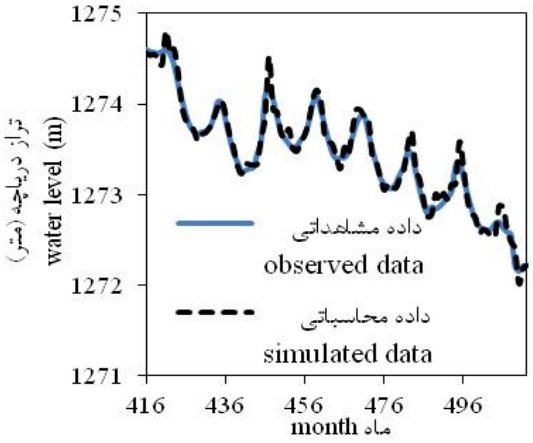
جدول ۱- مدل‌های سری زمانی خطی انتخاب شده.

Table 1. Selected linear time series.

مدل Model	رابطه مدل Model equation	ضریب آکایکه Akaike information criteria
AR(13)	$Z_t = 0.93\ Z_{t-1} - 0.71\ Z_{t-2} + 0.32\ Z_{t-3} - 0.13\ Z_{t-4} - 0.04\ Z_{t-5} - 8.3e\text{-}4\ Z_{t-6} - .04\ Z_{t-7} + 0.013\ Z_{t-8} - 0.03\ Z_{t-9} - 0.03\ Z_{t-10} + 0.08\ Z_{t-11} + 0.04\ Z_{t-12} - 0.14\ Z_{t-13} + e_t$	633.7
ARMA(1,3)	$Z_t = 0.69\ Z_{t-1} + e_t + 0.61\ e_{t-1} + 0.08\ e_{t-2} - 0.02\ e_{t-3}$	659.4

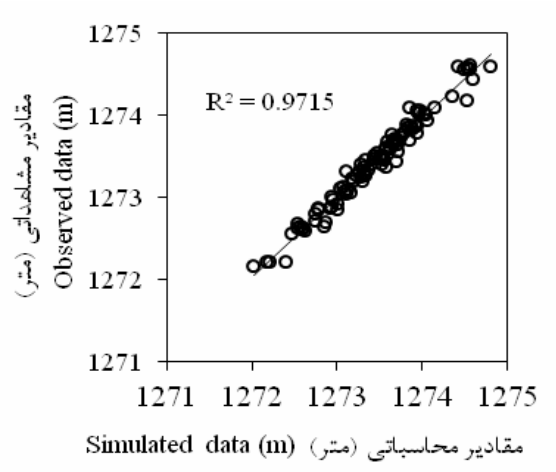
مقدار آماره پورت‌مانتئو برای مدل منتخب مقدار ۱۱۶/۳۲۳ به‌دست آمد که کم‌تر از مقدار حدی آن از توزیع خی‌دو (χ^2) جدول در سطح معنی‌داری ۵ درصد (۱۲۴/۳۴) می‌باشد. بنابراین، نتایج حاصل از این روش صحت و کفایت مدل AR(13) را تأیید می‌نماید. در مطالعه حاضر برای تخمین پارامترها از ۸۲ درصد داده (دوره آماری ۱۳۷۸-۱۳۴۵) استفاده گردید و ۱۸ درصد بقیه (دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۷۹) نیز برای آزمون مدل انتخاب شد. شکل ۳ نمودار مقادیر مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده تست مدل را نشان می‌دهد. شکل ۴ نمودار پراکندگی نقاط مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهند. مقدار آماره R^2 و $RMSE$ به‌ترتیب برابر ۰/۹۷ و ۰/۱ متر می‌باشند، که بیانگر دقت بالای مدل است.

شکل ۵ تراز دریاچه ارومیه به همراه مدل برازش شده جهت پیش‌بینی آن و مقادیر پیش‌بینی تا سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. جدول ۲ متوسط تراز دریاچه ارومیه در سال‌های پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد.



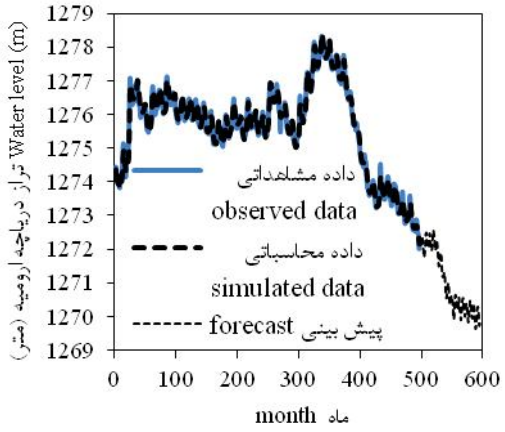
شکل ۳- نمودار مقادیر مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از مدل AR(13) داده‌های آزمون.

Figure 3. observed data vs. simulated data for test dataset.



شکل ٤- نمودار پراکندگی مربوط به مقادیر مشاهداتی و محاسباتی حاصل از مدل خطی AR(13) داده‌های آزمون.

Figure 4. observed vs. simulated scatter plot for test dataset.



شکل ٥- نتایج مدل‌سازی و پیش‌بینی مدل خطی AR(13) در دوره آماری ١٣٤٥ تا ١٣٩٥.

Figure 5. Simulation and forecast results of AR(13) model.

جدول ٢- متوسط سالانه تراز دریاچه ارومیه پیش‌بینی شده.

Table 2. Annual average of Urmia Lake water level forecast.

متوسط سالان پیش‌بینی‌شده تراز سطح آب دریاچه (متر) Average of forecast water level (m)	سال Year
1272.17	1388
1272.11	1389
1271.34	1390
1270.55	1391
1270.31	1392
1270.21	1393
1270.12	1394
1270.13	1395

همان‌طورکه از شکل ۵ مشخص است سطح آب دریاچه ارومیه تا اواسط سال ۱۳۸۹ حدوداً ثابت و پس از آن تا سال ۱۳۹۲ افت شدید خواهد داشت. از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱۳۹۵ ثابت و پس از آن روند افزایشی نشان می‌دهد. روند افزایشی بعد از سال ۱۳۹۵ به‌دلیل تناوب‌های اعمال شده جهت مدل‌سازی است. از آنجا که برگشت‌پذیری و نحوه رفتار تناوب‌های برون‌سالی بلندمدت مجهول است، بنابراین پیش‌بینی پس از سال ۱۳۹۵ ممکن است اعتبار لازم را نداشته باشد ولی انتظار می‌رود که پیش‌بینی‌ها تا سال ۱۳۹۵ مانند آنچه در شکل ۵ نشان داده شد، رخ دهند. پیش‌بینی‌ها بیانگر رسیدن تراز سطح آب دریاچه به عدد ۱۲۷۰ متر در سال‌های آتی است که بیانگر بحران در منطقه است به همین دلیل باید تصمیمات مدیریتی متناسب با شرایط پیش‌رو اتخاذ شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تراز دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های خطی مدل‌سازی و تا سال ۱۳۹۵ پیش‌بینی گردید. نتایج نشان‌دهنده روند شدید نزولی تراز سطح آب دریاچه ارومیه می‌باشد. به‌طوری‌که انتظار می‌رود تراز دریاچه ارومیه به تراز ۱۲۷۰ متر تا سال ۱۳۹۵ برسد. در صورتی که دوره‌های متناوب دریاچه رفتاری مشابه دروره ۴۲ ساله گذشته داشته باشند، تراز سطح آب دریاچه ارومیه پس از سال ۱۳۹۵ دوباره روند افزایشی به خود خواهد گرفت. ولی به‌منظور شناخت رفتار تناوبی نیازمند به بررسی داده‌ها با طول آماری بلندمدت می‌باشد. با توجه به طول دوره آماری دریاچه ارومیه نمی‌توان در رابطه با تناوب‌های برون‌سالی طولانی‌مدت نظر داد. به‌دلیل مشاهده رفتارهای U شکل تراز دریاچه، جهت آزمون ایستایی، آزمون KPSS اصلاح‌شده با آنالیز فوریه پیشنهاد گردید، که مختص بررسی ایستایی داده‌هایی است که رفتار غیرخطی دوره‌ای چند فرکانسه دارند. به نظر می‌رسد این آزمون تاکنون در علم آب مورد استفاده قرار نگرفته است.

منابع

1.Jabarlo-shabestari, B. 2001. Study the Urmia Lake water level fluctuation in quaternary, first seminar of Urmia Lake. (In Persian)

2.Jahanbakhsh, S., Adalatdost, M., and Tadayoni, M. 2010. Urmia Lake as a classic index between sunspots and climate in the north western of Iran. J. Geograph. Res. 99: 76-49. (In Persian)

3.Khalili, K. 2001. Drought frequency analysis and design reservoirs for agricultural and drinking demands (Case study: Shahr-chai river), Msc thesis, Faculty of agriculture, Tabriz University. (In Persian)

4.Khalili, K., and Hesari, B. 2004. Forecasting meteorological drought trend using time series model (Case Study: Urmia station), First conference of water resources management, 26-27 Nov., Faculty of engineering, Tehran university. (In Persian)

5.Khalili, K., Fakheri Fard, E., and Hesari, B. 2007. IDF curves analysis of Drought for design storages for agriculture and drink, 3rd congress of civil engineering, University of Tabriz, 11-13 May. (In Persian)

6.Rasouli, A.A., and Abasianm, Sh. 2009. Preliminary analysis of time series of Urmia Lake water level. J. Geograph. Plan. 28: 137-165. (In Persian)

7.Jalili, S., Morid., S., Banakar, A., and Namdar Ghanbari, R. 2011. Assesing the effect of SOI and NAO indices on Lake Urmia water level variations, application of spectral analysis, J. Water Soil. 25: 1. 140-149. (In Persian)

8.Becker, R., Enders, W., and Lee, J. 2006. A stationarity test in the presence of an unknown number of smooth breaks. J. Time Series Anal. 27: 3. 381-409.
9.Davies, R.B. 1987. Hypothesis testing when a nuisance parameter is only identified under the alternative. Biometrika. 47: 33-43.
10.Kelts K., and Shahrabi M. 1986. Holocene sedimentology of hypersaline Lake Urmia, northwestern Iran. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 54: 105-130.
11.Salas, J.D. 1993. Analysis and modeling of hydrological time series, In: Handbook of Hydrology, edited by David R., Maidment., McGraw-Hill, New York, 19: 1-19, 72.
12.Schwert, G.W. 1989. Test for unit roots: a Monte Carlo investigation. J. Business Econ. Stat. 2: 242-259.
13.Yu, Y.S., Zou, S., and Whittemore, D. 1993. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. J. Hydrol. 150: 61-80.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(5), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Short Technical Report

Forecasting Lake Urmia water level using linear time series models

M. Moravej[1], *K. Khalili[2] and J. Behmanesh[3]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Water engineering, Urmia University, [2]Assistant Prof., Dept. of Water engineering, Urmia University, [3]Associate Prof., Dept. of Water engineering, Urmia University
Received: 04/15/2013; Accepted: 12/02/2014

Abstract

Background and Objective: Many researches have been done on the topic of frequency identification of historical Lake Urmia water level based on salt zones. In addition, some relationships between periodic behaviors of Lake Urmia water level and climate indices and sunspots were reported. Regarding the severe decrease in Lake Urmia water level during recent years, the need of accurate forecast of Lake Urmia water level is felt more than ever. The main objective of this study is to identify and forecast the Lake Urmia water level fluctuations using time series analysis.

Material and Methods: The case study is Lake Urmia which is placed in the northwestern part of Iran. Monthly time series of Lake Urmia water level during 1966 to 2008 were studied. The time series was chronologically divided into parameter identification and testing datasets. The first 82 percent of the time series was considered as parameter identification dataset and the 18 percent of the rest of the time series was opted as testing dataset. Trend, identification of significant frequencies and stationarity were identified using Mann-Kendall and modified KPSS test with Fourier analysis. Residue of time series after de-trending and periodicity removal was transformed to normal distribution using Johnson transformation. Transformed time series was modeled by ARMA models and adequacy of selected model was tested using Portmanteau test. Then the model was used to forecast Lake Urmia water level.

Results: Mann-Kendall statistics was -4.857 which is way greater than its critical value at 1 percent significance level. It means that there is a significant decreasing trend in monthly Lake Urmia water level time series. Results of frequency analysis revealed that there are monthly, 3 year, 4 year, 20 year, 35 year and 47 year significant frequency in the studied time series. Removing these frequencies had led to a stationary time series. Regarding to Akaike information criteria, AR(13) model was selected and the model had passed the Portmanteau adequacy test with calculated statistics equal to 116.323. Forecasts results show that annual Lake Urmia water level during 2009 to 2016 will be equal to 1272.17, 1272.11, 1271.34, 1270.55, 1270.31, 1270.12 and 1270.13 meter, respectively.

Conclusion: In this study the modified KPSS test with Fourier analysis performed because U shaped figures were observed in the Lake Urmia water level time series. The modified KPSS test with Fourier analysis is a specified test to test stationarity and significance of frequencies in the presence of an unknown number of smooth structural breaks. This test has never been used in water science. The results showed that the proposed method which is consisted of the modified KPSS test with Fourier analysis and linear time series modeling has the ability to model Lake Urmia water level time series as the calculated RMSE for testing dataset is equal to 0.1 meter. The results of forecast indicates that Lake Urmia water level will approximately stays still until the middle of year 2010 then it will decrease rapidly until 2013 and finally it will become steady until 2016. After 2016 slightly increasing trend will be occur. The increasing trend beyond 2016 is a consequence of applying over-year long-run frequencies. Due to the duration of recorded historical time series of Lake Urmia water level, predictability and resiliency of over-year long-run frequencies are unknown so forecasts beyond the year 2016 might suffer from lake of reliability.

Keywords: Modified KPSS with Fourier analysis, Time series analysis, Lake Urmia, Forecast

* Corresponding Author; Email: khalili2006@gmail.com