نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۵ شماره ۴/۲ صفحه‌های ۱۷۵ تا ۱۸۶ / سال ۱۳۹۴

کاربرد مدل تلفیقی AR-ARCH در پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه

مرضیه عباس‌زاده افشار[۱]، کیوان خلیلی*[۲]، جواد بهمنش[۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۰۱

[۱]-دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

[۲]-استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

[۳]-دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: k.khalili@urmia.ac.ir

چکیده

استفاده از مدل‌های سری زمانی یکی از راه‌های کاربردی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی داده‌های هیدرولوژیک است. یکی از مشکلات عمده در استفاده از مدل‌های سری زمانی، نحوه تولید داده‌های تصادفی است به‌طوری‌که در این فرآیند داده‌های تولیدی با تغییر سری تصادفی، تغییر خواهند کرد. در این تحقیق بعد از بررسی اولیه داده‌های سالانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه، این داده‌ها با مدل‌های خطی سری زمانی موردبررسی قرار گرفتند و مدل ARMA(3,0) از بین مدل‌های خانواده ARMA به‌عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. سپس سری زمانی باقی‌مانده مدل ARMA(3,0) با استفاده از مدل‌های غیرخطی ARCH(1) برازش داده شد و مدل تلفیقی AR-ARCH به‌دست آمد. نتایج دو آزمون ضریب تبیین (R^2) و بررسی خطا (RMSE) نشان از دقت بالاتر مدل تلفیقی نسبت به مدل ARMA(3,0) بود. با ترکیب دو مدل مذکور، دقت صحت سنجی (ضریب تبیین) و میزان خطای مدل (جذر میانگین مربعات خطا) به‌ترتیب ۸/۸ درصد و ۳۳ درصد بهبود یافت. نتایج پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه نشان از وجود یک فرصت اقلیمی جدید جهت احیای دریاچه ارومیه خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: خودهمبسته، سری زمانی، مدل‌های خطی، مدل‌های غیرخطی، واریانس شرطی

Archive of SID

www.SID.ir

Application of Combined AR-ARCH model in Forecasting Urmia Lake Water Level

M Abbaszadeh Afshar[1], K Khalili[2*], J Behmanesh[3]

Received: 8 June 2014 Accepted: 22 June 2015
[1-] M.Sc. Student, Dept. of Water Eng. Faculty of Agriculture. Urmia Univ. Urmia, Iran
[2-]Assist. Prof., Dept. of Water Eng. Faculty of Agriculture. Urmia Univ. Urmia, Iran
[3-] Assoc. Prof., Dept. of Water Eng. Faculty of Agriculture. Urmia Univ. Urmia, Iran
* Correspoding Author, Email: k.khalili@urmia.ac.ir

Abstract

One of the applicable methods for simulating and forecasting hydrological data is time series modeling approach. One of the main problems with applying time series modeling is generating stochastic series, since the generated data will be changed with changing the random series. In this research, after initial investigations on annual water level data of the Urmia lake, linear time series models were fitted to the data and the ARMA (3,0) model was selected as the best model among the ARMA series. Then, the time series residual of ARMA (3) model were fitted using non-linear ARCH (1) models, and a combined AR-ARCH model was obtained. The results showed that the combined model had more accuracy than ARMA (3,0) model. With combining the two mentioned models, values of the model validation accuracy (R^2 coefficient) and error of model (Root mean square error) were improved 8.8% and 33%, respectively. Predicting results of Urmia lake water level showed that a climatic opportunity would be existed in the direction of Urmia Lake restoration.

Keywords: Autoregressive, Conditional variance, Linear models, Nonlinear models, Time series

Archive of SID

مقدمه

بسیاری از فرآیندهای مربوط به سیستم‌های طبیعی نسبت به زمان غیرخطی بوده اگرچه جنبه‌های خاصی از این سیستم‌ها ممکن است نسبت به جنبه‌های دیگر به فرآیند خطی نزدیک‌تر باشند. به‌هرحال ماهیت غیرخطی بودن برای ما کاملاً آشکار نیست (تسونیس ۲۰۰۱). به‌همین دلیل به‌نظر می‌رسد با ترکیب مدل‌های خطی و غیرخطی، نتایج مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی را افزایش داد. در اقتصاد سنجی، مدل‌های خودهمبسته با واریانس شرطی (ARCH[1]) بر این فرض استوارند که واریانس خطاها در یک مدل تابعی از اندازه خطاها در دوره‌های زمانی قبل است (انگل ۱۹۸۲). مدل‌های ARCH اولین‌بار برای سری‌های زمانی مالی بکار برده شدند. در واقع این مدل دسته‌بندی‌های نوسانی بر پایه زمان که دوره‌های دارای نوسان با دوره‌های بدون نوسان همراه می‌شوند را نشان می‌دهد. انگل (۱۹۸۲) با مطالعه مدل‌های خودهمبسته با واریانس شرطی

1 -Autoregressive conditional Heteroscedastic

www.SID.ir

(ARCH)، موفق به توسعه روش‌های جدید و بهتر برای مدل‌سازی و پیش‌بینی متغیر تصادفی متناسب با زمان و نوسانات بازارهای مالی شد. بعد از انگل (۱۹۸۲) مطالعات زیادی در مورد مدل‌های ARCH انجام گردید. بولرسلیو و همکاران (۱۹۹۲) مدل‌های واریانس شرطی را برای داده‌های مالی بکار بردند. بیرا و هایگینس (۱۹۹۳) مدل‌های ARCH را به‌عنوان یک عامل موثر در مدل‌های خودهمبسته موردبررسی قرار دادند. آن‌ها دقت مدل فوق را در مدل‌سازی داده‌های مالی تأیید کردند. تحقیقات دیگری نیز در زمینه استفاده از مدل-های ARCH صورت گرفته است که می‌توان به تحقیقات بولرسلیو و همکاران (۱۹۹۴)، دایبولد و لوپز (۱۹۹۵)، پگن (۱۹۹۶)، پالم (۱۹۹۶)، شفارد (۱۹۹۶)، اندرسون و بولرسلیو (۱۹۹۸)، انگل و پتون (۲۰۰۱) و انگل (۱۹۹۵) اشاره کرد. دگیاناکیز و زیکالاکی (۲۰۰۴) به‌منظور پیش‌بینی نوسانات بازار ارز از مدل‌های واریانس شرطی استفاده کردند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که ارائه مدل‌های سیستماتیک خودهمبسته با واریانس شرطی در سری‌های مالی بسیار مفید است. وانگ و همکاران (۲۰۰۵) از ترکیب مدل ARMA[۲] و مدل GARCH[۳] برای برازش واریانس و میانگین روزانه جریان رودخانه زرد در چین استفاده کردند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که مدل ARMA-GARCH نتایج سودمندی در مدل‌سازی سری روزانه جریان رودخانه ارائه می‌کند. کایادو (۲۰۰۷) عملکرد مدل‌های یک پارامتری سری‌های زمانی را در پیش‌بینی میزان آب مصرفی اسپانیا با استفاده از مدل‌های ARMA و GARCH در مقیاس‌های روزانه و هفتگی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶ موردبررسی قرار داد. در نهایت ایشان جهت بهبود نتایج پیش‌بینی، استفاده از مدل‌های تلفیقی را پیشنهاد کرد. لائوکس و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل غیرخطی سری زمانی ARMA–GARCH با ارزیابی بر روی داده‌های ایستگاه‌های منتخب در منطقه آلپ آلمان، شبیه‌سازی بارش به‌عنوان پارامتر تصادفی را انجام دادند. آن‌ها با تمرکز روی جفت مثبت مشاهده و مدل‌سازی بارش، این مدل را برای پایش محلی در جهت اصلاح داده‌ها به‌کار گرفتند. خطیبی و همکاران (۲۰۱۴) مدل‌های سری زمانی، برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه عصبی را جهت پیش‌بینی تراز سطح آب ۶ دریاچه با خصوصیات فیزیولوژیکی متفاوت را موردبررسی قرار دادند. مدل غیرخطی دوخطی در شاخه‌های مختلف علوم نظیر اقتصاد به‌کار گرفته‌شده است ولی به‌نظر می‌رسد در منابع آب و تحقیقات مربوط به آن کمتر به‌کار برده شده است. قدم‌پور و همکاران (۱۳۹۰) مدل-های کلاسیک سری زمانی و هوش مصنوعی را برای تعیین تراز آب زیرزمینی در منطقه آنیون کانتی[۴] در ایالت نیوجرسی آمریکا استفاده کردند و نتایج حاکی از آن بود که در روش آنالیز سری زمانی با استفاده از مشاهدات و از بین مدل‌های کلاسیک، مدل ARMA مدل مناسب جهت برازش بر مبنای پیش‌بینی‌ها با سطح اعتماد ۹۵ % است. شقاقیان و همکاران (۱۳۹۰) مدل-سازی زمانی (پیش‌بینی) تراز آب زیرزمینی با استفاده از منطق فازی و روش‌های پایه تحلیل سری‌های زمانی در دشت شیراز مورد مقایسه قرار دادند و نتایج حاکی از آن بود که با توجه به مقدار اعتبار روش‌ها، (که با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل و خطای جذر میانگین مربعات[۵] (RMSE) برای دو روش به‌دست آمد) روش ARMA از دقت بیشتری برخوردار است. اما دقت کلی روش‌ها به موقعیت ایستگاه‌های مختلف و تغییرات تراز آب زیرزمینی بستگی دارد. خلیلی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از الگوهای ترکیبی BL[۶]-ARCH دبی روزانه رودخانه شهرچای ارومیه را به‌مدت ۱۱ سال پیش‌بینی و مدل‌سازی کردند. هدف از این مطالعه بررسی مدل‌های خانواده ARCH جهت مدل‌سازی بخش تصادفی مدل‌های خانواده ARMA و تلفیق این دو مدل در راستای مدل‌سازی و پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه است.

2 -Autoregressive Moving Average
3 -Generalized Autoregressive conditional Heteroscedastic

4- Union County
5- Root Mean Square Error
6- Bilinear Models

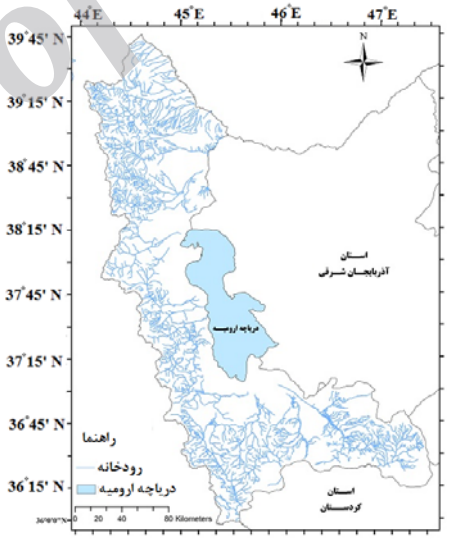
Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این تحقیق، دریاچه ارومیه است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین حوضه‌های منطقه‌ای ایران است که در بخش شمال غرب ایران واقع شده است. این حوضه با وسعتی برابر ۵۲۷۰۰ کیلومترمربع و مساحتی معادل ۳/۲۱ درصد مساحت کل کشور، بین مدار ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و نصف‌النهار ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. در این مطالعه از داده‌های سری زمانی تراز سطح آب اندازه‌گیری شده در دوره آماری ۱۳۹۱-۱۳۵۲ استفاده شد. متوسط تراز سطح آب دریاچه ارومیه در دوره آماری مذکور ۱۲۷۵/۱۰ متر هست. شکل ۱ موقعیت منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران.

جهت بررسی روند داده‌های سری زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه از روش من - کندال و جهت از بین بردن روند موجود در داده‌ها از روش تفاضل-گیری استفاده شد. در این روش داده‌ها به‌ترتیب نزولی مرتب و هر داده از داده ماقبل خود کسر می‌شود. بدین ترتیب روند داده‌های سری زمانی از بین خواهد رفت. جهت مدل‌سازی می‌بایست آزمون استقلال و همگنی داده‌ها موردبررسی قرار گیرد. بدین منظور از روش والد- ولفوویتس (ران- تست) برای بررسی استقلال و از روش ویلکاکسون برای بررسی همگنی داده‌های موردمطالعه استفاده شد (ویلکاکسون ۱۹۴۵، مندلهال و رینمود ۱۹۸۲، ناظری تهرودی و خلیلی ۱۳۹۲، کندال ۱۹۳۸ و من ۱۹۴۵).

مدل‌های ARMA

از اوایل دهه ۶۰ میلادی، مدل‌های سری زمانی خودهمبسته در پیش‌بینی داده‌های هیدرولوژی به‌طور وسیعی به‌کار گرفته شده‌اند. دلیل اصلی استفاده گسترده از این مدل‌ها، توانایی آن‌ها در ایجاد همبستگی بین داده‌های زمان حال با زمان‌های پیشین ازیک‌طرف و سادگی ساختار مدل از طرف دیگر هست. توماس و فیرینگ (۱۹۶۲) مدل‌های مذکور را برای اولین بار به‌کار بردند و در دهه ۷۰ باکس و جنکینز (۱۹۷۶) این مدل‌ها را توسعه دادند. اساس این مدل‌ها بر پایه زنجیره مارکف[7] است که مقادیر متغیرهای سری زمانی در زمان t با مقادیر آن در زمان قبل (t-1) و بعد (t+1) وابسته هستند. از دیگر مدل‌های سری زمانی می‌توان به مدل‌های خود همبسته با میانگین متحرک (ARMA) و آریما (ARIMA)[8] اشاره نمود (ناظری تهرودی و همکاران ۱۳۹۲). با در نظرگرفتن سری زمانی نرمال و استاندارد Z_t مدل میانگین متحرک خودهمبسته ARMA(p,q) به‌شرح زیر در نظر گرفته شد:

$$Z_t = \sum_{i=1}^{p}(\varphi_j Z_{t-j}) - \sum_{j=1}^{q}(\theta_j \varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t \qquad [۱]$$

که در آن p مرتبه مدل AR، q مرتبه مدل MA، φ_i و θ_j ضرایب مدل و ε_t سری تصادفی و نرمال مدل با میانگین صفر و واریانس σ_ε^2 هست (سالاس ۱۹۹۳). اساس تخمین پارامترهای مدل‌های خودهمبسته، ضرایب خودهمبستگی یک سری‌زمانی هست (خلیلی و همکاران ۲۰۱۴). در یک سری زمانی، ضریب خودهمبستگی ρ_k با تأخیر k، از رابطه زیر که به‌صورت یک عدد بی‌بعد است به‌دست می‌آید (کارآموز و عراقی نژاد ۱۳۸۴):

7 - Markov Chain
8 -Auto Regressive Integrated Moving Average

Archive of SID

www.SID.ir

$$p_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k}(X_t - \bar{X}_t)(X_{t+K} - \bar{X}_{t-k})}{[\sum_{t=1}^{n-k}(X_t - \bar{X}_t)^2(\sum_{t=1}^{n-k}(X_{t+k} - \bar{X}_{t+k})^2]^{0.5}} \quad [۲]$$

$K = 1,2,3,4,5,\ldots$

که در آن X_t داده‌های مشاهداتی، $\bar{X}_t$ میانگین داده‌های مشاهداتی، X_{t+K} داده مشاهداتی با تأخیر t+k و $\bar{X}_{t+k}$ نیز میانگین داده‌های با تأخیر t+k است.

$$\varphi_k(K) = \frac{P_k - \sum_{j=1}^{k-1}\varphi_k(K-1).P_{k-1}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1}\varphi_j(K-1).P_j} \quad [۳]$$

$j = 1,2,3,4,5,\ldots,K$

که در آن P_k ضریب خودهمبستگی با تأخیر k است. مدل برتر با استفاده از معیار آکاییکه کمتر از بین مدل‌های خانواده ARMA انتخاب می‌گردد. آماره معیار آکاییکه اصلاح‌شده (AICC) به شرح زیر محاسبه می‌شود (سالاس ۱۹۹۳).

$$AICC(p,q) = nLn(\hat{\sigma}_\varepsilon^2) + \frac{2(p+q+1)n}{(n-p-q-2)} \quad [۴]$$

که در آن n تعداد داده‌ها، p مرتبه مدل در بخش خود همبسته، q مرتبه مدل در بخش میانگین متحرک و $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ واریانس خطاها هست که از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^{\,2} = \frac{s^2(1-\varphi_1^2)}{(1-2\varphi_1\theta_1+\theta_1^2)} \quad [۵]$$

ارزیابی مدل‌ها

به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های مورداستفاده از ضریب همبستگی و معیارهای بررسی خطا (جذر میانگین مربعات خطا و میانگین قدرمطلق خطا[9]) و ضریب تبیین به‌شرح زیر استفاده گردید. روشی که کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا و میانگین قدرمطلق خطا و یا بیشترین مقدار ضریب تبیین را داشته باشد از عملکرد بهتری برخوردار خواهد بود (استیل و توری ۱۹۶۰).

۱- جذر میانگین مربعات خطا

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - P_i)^2}{n}} \quad [۶]$$

۲- ضریب تبیین[10]

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(O_i - \bar{O}_i)^2} \quad [۷]$$

۳- میانگین قدر مطلق خطا

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|O_i - \bar{O}_i\right| \quad [۸]$$

که در آن‌ها O_i : داده‌های واقعی یا مشاهده‌ای و P_i: داده‌های پیش‌بینی و $\bar{O}_i$ میانگین داده‌های مشاهداتی هستند (صفوی ۱۳۸۸).

مدل‌های ARCH

اولین مدلی است که یک چارچوب نظام‌مند را برای مدل‌سازی نوسانات فراهم می‌کند که این مدل توسط انگل (۱۹۸۲) معرفی گردید. ایده اصلی مدل‌های ARCH به دو صورت است که (الف) میانگین اصلاح‌شده داده‌های مورداستفاده مجزا اما وابسته است و (ب) مدل وابسته است و می‌تواند توسط یک تابع ساده درجه دوم از مقادیر قبل از آن شرح داده شود. به‌طور خلاصه، مدل ARCH به‌صورت زیر فرض می‌شود:

$$\varepsilon_t = \sigma_t Z_t \quad \text{and} \quad \sigma_t^2 = a_0 + \sum_{i=1}^{m} b_i \varepsilon_{t-1}^2 \quad [۹]$$

که در آن σ_t^2 واریانس شرطی، ε_t عبارت خطا یا باقی‌مانده مدل با میانگین صفر و واریانس یک، $a_0 \geq 0, b_i \geq 0$ پارامترهای مدل، m همان مرتبه مدل و Z_t سری زمانی پارامتر موردنظر است (انگل ۱۹۸۲).

ساختار مدل ARCH

برای درک بهتر مدل، ساختار مدل ARCH(1) در نظر گرفته شد.

$$\varepsilon_t = \sigma_t a_t \quad \text{و} \quad \sigma_t^2 = \alpha_0 + b_1 \varepsilon_{t-1}^2 \quad [۱۰]$$

که در آن $a_0 \geq 0, b_1 \geq 0$ است. در ابتدا میانگین شرطی a_t را باید صفر در نظر گرفت. زیرا:

$$E(a_t) = E[E(a_t \mid F_{t-1})] = E[\sigma_t E(\varepsilon_t)] \quad [۱۱]$$

سپس واریانس شرطی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

9 -Mean Absolute Error

10 - Coefficient of determination

Archive of SID

www.SID.ir

$$Var(a_t) = E(a_t^2) = \mathrm{E}[\mathrm{E}(a_t^2 \mid F_{t-1})] = \mathrm{E}[\alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2] = \alpha_0 + \alpha_1 \mathrm{E}(a_{t-1}^2) \quad [۱۲]$$

ازآنجاکه a_t با توجه به $E(a_t)=0$، $Var(a_t)=E(a_{t-1})=E(a_{t-1}^2)$ یک فرآیند ایستا و ثابت است، بنابراین خواهیم داشت:

$$Var(a_t) = \alpha_0 + \alpha_1 \, Var(\alpha_t) \quad [۱۳]$$

$$Var(a_t) = \frac{\alpha_0}{(1 - (\alpha_0))} \quad [۱۴]$$

ازآنجاکه واریانس a_t باید مثبت باشد، در نتیجه محدوده a_1 باید بین ۰ و ۱ باشد.

در برخی از برنامه‌های کاربردی، مقادیر بالاتر از (a_t) نیز باید وجود داشته باشد و ازاین‌رو، a_1 باید برخی از گشتاورهای اضافی را تأمین کند. به‌عنوان‌مثال، در مطالعه رفتار دنباله‌ها، نیاز است که گشتاور چهارم (a_t) نیز محدود شود. با فرض نرمال بودن ε_t در معادله زیر خواهیم داشت:

$$\mathrm{E}(a_t^4 \mid F_{t-1}) = 3[\mathrm{E}(a_t^2 \mid F_{t-1})]^2 = 3(\alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2)^2 \quad [۱۵]$$

بنابراین:

$$\mathrm{E}(a_t^4) = \mathrm{E}[\mathrm{E}(a_t^4 \mid F_{t-1})] = 3\mathrm{E}(\alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2)^2 = 3\mathrm{E}(\alpha_0^2 + 2\alpha_0\alpha_1\alpha_{t-1}^2 + \alpha_1^2\alpha_{t-1}^4) \quad [۱۶]$$

اگر a_t به‌عنوان ثابت چهارم در نظر گرفته شود و $\mathrm{m}_4 = \mathrm{E}(a_t^4)$ در این صورت:

$$\mathrm{m}_4 = 3\mathrm{E}(\alpha_0^2 + 2\alpha_0\alpha_1 Var(a_t) + \alpha_1^2 \mathrm{m}_4) = 3\alpha_0^2(1 + 2\frac{a_1}{1 - a_1}) + 3\alpha_1^2 \mathrm{m}_4 \quad [۱۷]$$

در نهایت:

$$\mathrm{m}_4 = \frac{3\alpha_0^2(1+a_1)}{(1 - a_1)(1 - 3\alpha_1^2)} \quad [۱۸]$$

جهت برازش و تلفیق دو مدل ARMA و ARCH، ابتدا داده‌های مورد نظر با استفاده از مدل‌های خانواده ARMA برازش داده خواهد شد. با استفاده از پارامترهای مدل ARMA و رابطه کلی مدل‌های این خانواده، سری زمانی باقی‌مانده مدل با استفاده از رابطه زیر استخراج می‌گردد:

$$\varepsilon_t = Z_t - [\sum_{i=1}^{p}(\varphi_t Z_{t-i}) - \sum_{j=1}^{q}(\theta_j \varepsilon_{t-j})] \quad [۱۹]$$

سری زمانی حاصل‌شده، با استفاده از مدل‌های غیرخطی برازش داده می‌شود و با استفاده از مدل مذکور، سری باقی‌مانده مدل تولید می‌شود. سپس با به‌کارگیری رابطه ۱۲ و پارامترهای مدل ARCH، سری جدید باقی‌مانده مدل حاصل خواهد شد. درنهایت با ترکیب دو مدل ARMA(3,0) و ARCH(1)، مدل ترکیبی AR-ARCH جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه حاصل می‌گردد. جهت انجام محاسبات از نرم‌افزار SAMS2007 و محیط Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

سری زمانی ۴۰ ساله تراز سطح آب دریاچه ارومیه در مقیاس سالانه با استفاده از آزمون‌های اولیه موردبررسی قرار گرفتند و نتایج بررسی اولیه داده‌ها نشان از وجود روند در داده‌های سری زمانی و هم‌چنین نشان‌دهنده عدم همگنی و تصادفی بودن داده‌ها بود. نتایج بررسی اولیه داده‌ها در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار بود. نمودار سری زمانی اولیه و نتایج اولیه داده‌ها به‌شرح شکل ۲ هست.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۲ – نمودار داده‌های اولیه متوسط سالانه تراز سطح آب دریاچه ارومیه در دوره آماری.

جهت افزایش دقت مدل‌سازی با استفاده از مدل-های خطی سری زمانی خانواده ARMA، داده‌های مورداستفاده باید بدون روند باشند. به‌همین دلیل روند داده‌های موردبررسی با استفاده از روش تفاضل‌گیری حذف گردید. با حذف روند سری‌های زمانی، تغییرات داده‌ها نسبت به زمان ثابت در نظر گرفته می‌شود و این موضوع در مدل‌های خانواده آرما باعث افزایش دقت مدل‌سازی می‌شود. بعد از حذف روند، همگنی و استقلال داده‌های بدون روند تراز سطح آب دریاچه مورد تأیید واقع شد. نتایج بررسی آزمون‌های مذکور به‌شرح جدول ۱ ارائه گردید.

جدول۱- نتایج اولیه بررسی سری زمانی بدون روند.

آزمون	p-value	نتیجه آزمون
Wald-Wolfowitz	۰/۰۰۳	تصادفی بودن داده‌ها
Mann - Kendall	۰/۱۳۲	بدون روند
Wilcoxon	۰/۹۶۶	همگن بودن داده‌ها

بعد از حذف روند داده‌های تراز سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از روش تفاضل‌گیری و تأیید بررسی اولیه داده‌ها، نتایج نشان داد که داده‌های بدون روند با استفاده از تابع تبدیل $y=\ln(x+a)$ و با ضرایب $a=۰/۰۱۴۵$ و به‌ازای ضریب چولگی ۰/۱۶۷- به شکل مناسبی نرمال می‌شوند. مدل برتر با توجه به معیار آکاییکه کمتر انتخاب شد و مدل ARMA(3,0) یا مدل AR(3) از بین مدل‌های خانواده ARMA به‌عنوان مدل برتر معرفی شد. پارامترهای مدل‌های موردبررسی به شرح جدول ۲ ارائه گردید.

با استفاده از رابطه حاصل‌شده توسط پارامترهای مدل ARMA، سری باقی‌مانده مدل، استخراج گردید:

$$\varepsilon_t = Z_t - ((-0.639947' Z_{t-1}) +(0.606788' Z_{t-2}) +(0.282381' Z_{t-3})) \quad [۱۹]$$

بعد از استخراج سری باقی‌مانده مدل، سری زمانی مذکور با استفاده از مدل‌های ARCH برازش داده شد و رابطه زیر جهت محاسبه واریانس شرطی حاصل شد:

$$\sigma_t^2 = 0.4017 + 5.18*10^{-8}\varepsilon_{t-1}^2 \quad [۲۰]$$

جهت بررسی و صحت‌سنجی مدل‌های مورداستفاده، از داده‌های واقعی ۵ سال انتهای دوره آماری استفاده شد. در این روش ابتدا ۵ سال داده انتهای دوره آماری (۱۳۹۱-۱۳۸۶) از سری زمانی ۴۰ ساله تراز سطح آب دریاچه ارومیه حذف گردید. سپس با استفاده از مدل‌های موردبررسی و با ورود ۳۵ سال داده مشاهداتی به مدل‌ها، تراز سطح آب دریاچه ارومیه به‌مدت ۵ سال (۱۳۹۱-۱۳۸۶) پیش‌بینی گردید. در نهایت

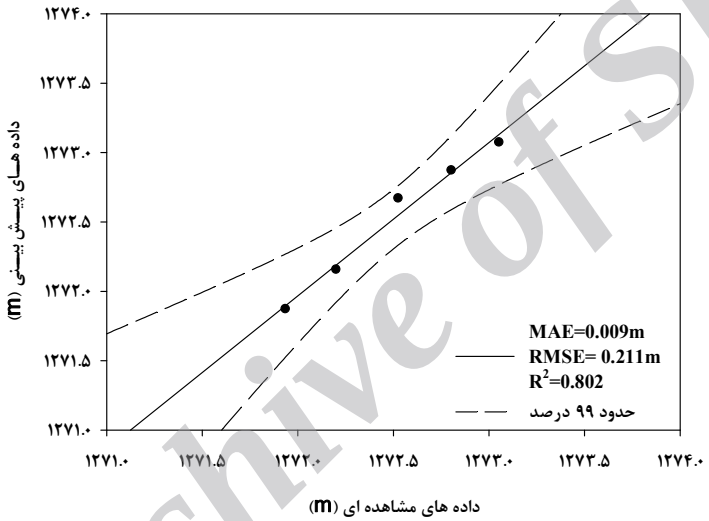
Archive of SID

www.SID.ir

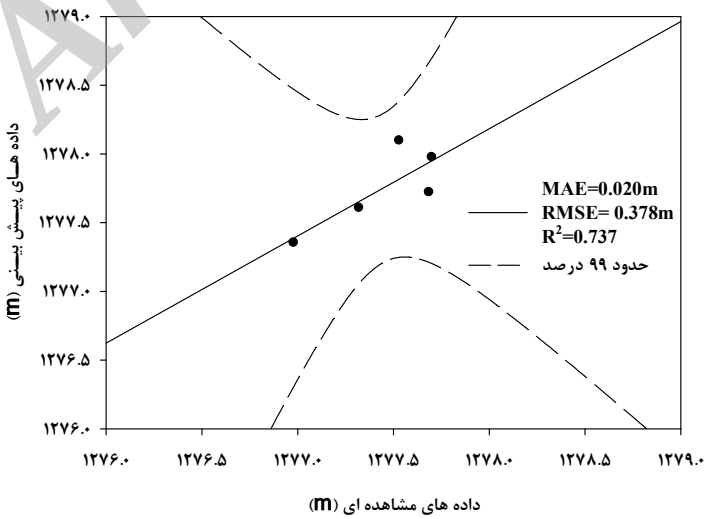
داده‌های پیش‌بینی و مشاهداتی موردبررسی و مقایسه قرار گرفت. هم‌چنین جهت بررسی دقیق‌تر نتایج پیش-بینی مدل‌های موردبررسی، علاوه بر در نظر گرفتن ۵ سال داده جهت بررسی و صحت سنجی مدل‌ها، از ۲۵ درصد داده‌های مشاهداتی (۱۰سال داده) نیز استفاده گردید. نتایج بررسی دقت مدل ARMA و مدل تلفیقی AR-ARCH در دو مقیاس ۵ و ۱۰ ساله به شرح شکل ۳ تا ۶ ارائه گردید.

جدول ۲- نتایج بررسی پارامترهای مدل ARMA.

مدل	Φ۱	Φ۲	Φ۳	θ۱	θ۲	θ۳	AICC
ARMA(3,0)	-۰/۶۳۹	۰/۶۰۶	۰/۲۸۲				۴۳
ARMA(1,0)	۰/۷۵۶						۴۴/۳۱
ARMA(2,0)	۰/۸۱۹	۰/۰۴۳					۴۸/۰۹
ARMA(2,3)	۰/۸۸۶	-۰/۱۲۲		۰/۰۹۳	-۰/۲۳۲	-۰/۲۶۱	۴۵/۴۳



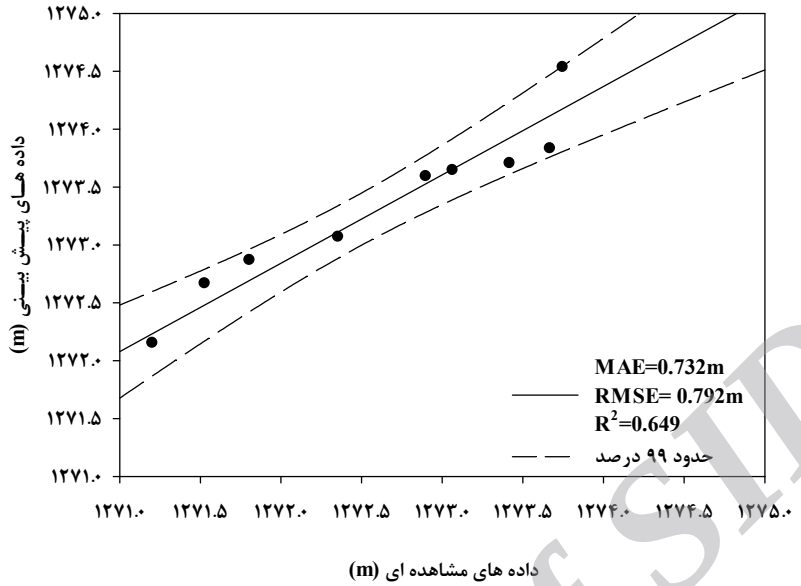
شکل ۳ – نتایج بررسی و صحت سنجی مدل تلفیقی AR-ARCH در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۸۶.



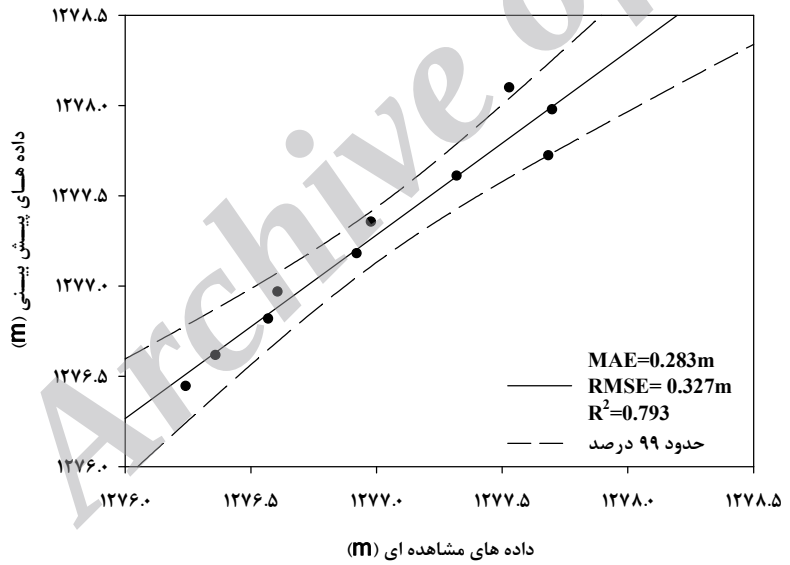
شکل ۴ – نتایج بررسی و صحت سنجی مدل AR(3) در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۸۶.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵ – نتایج بررسی و صحت سنجی مدل AR(3) در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۸۱.

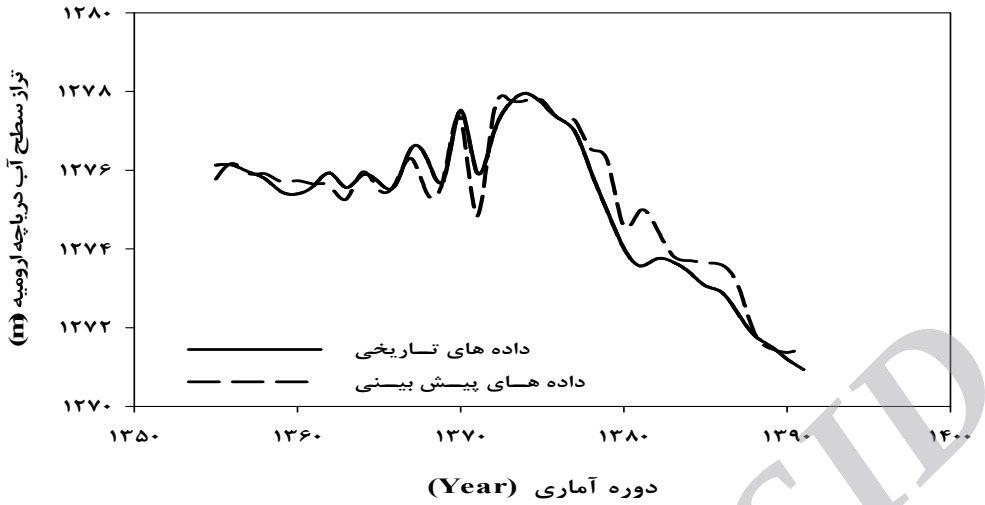


شکل ۶ – نتایج بررسی و صحت سنجی مدل تلفیقی AR-ARCH در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۸۱.

نتایج آماره‌های R^2، MAE و RMSE ارائه‌شده در شکل‌های ۳ تا ۶ برای هر دو مدل بیان‌گر دقت قابل‌قبول مدل تلفیقی نسبت به مدل ARMA است. نتایج نشان داد که مدل تلفیقی در پیش‌بینی داده‌های حذف‌شده از همبستگی بالاتر و خطای کمتری برخوردار است. نتایج مدل‌سازی مدل تلفیقی به شرح شکل ۷ ارائه گردید. هم‌چنین نتایج بررسی و صحت سنجی داده‌ها نشان داد که دقت هر دو مدل قابل‌قبول بوده که خطوط اطمینان ۹۹ درصد نیز این موضوع را تأیید می‌کند. در هر دو وضعیت ۵ و ۱۰ ساله، نتایج دو معیار MAE و RMSE حاصل از مدل تلفیقی کمتر از مدل AR(3) و همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های پیش‌بینی مدل تلفیقی بیشتر از مدل AR(3) بود.

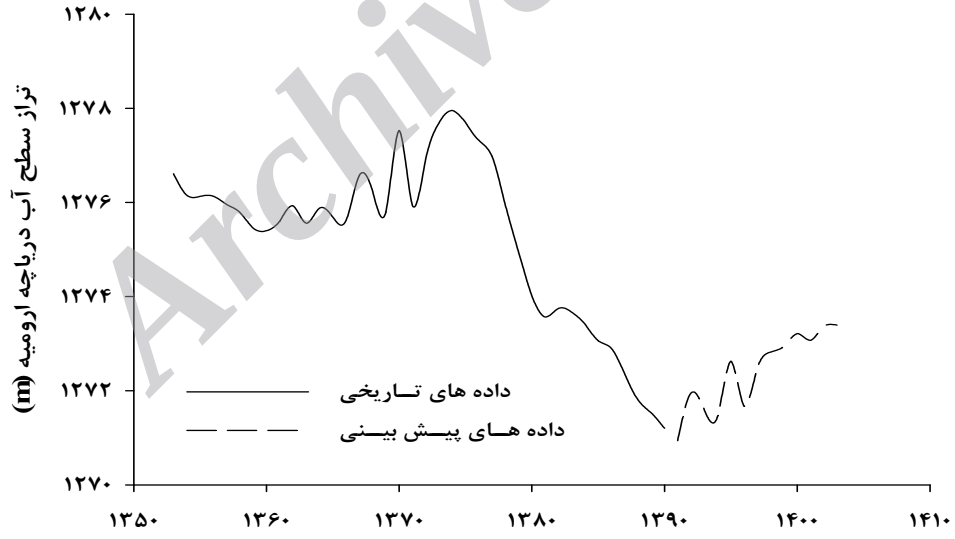
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷- نتایج مدل‌سازی مدل AR-ARCH در مدل‌سازی تراز سطح آب دریاچه ارومیه.

همان‌طور که از شکل ۷ مشاهده می‌شود، داده‌های مدل‌سازی شده تراز سطح آب دریاچه اختلاف زیادی با داده‌های مشاهداتی نداشته و مدل به‌خوبی داده‌های موردمطالعه را مدل‌سازی کرده است. بعد از بررسی نتایج مدل‌سازی و دقت مدل، با استفاده از مدل منتخب، تراز سطح آب دریاچه ارومیه تا سال ۱۴۰۳ به‌صورت سالانه پیش‌بینی شد.



شکل ۸ – پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه تا سال ۱۴۰۳ با استفاده از مدل تلفیقی AR-ARCH.

نتیجه‌گیری کلی

یکی از ضعف‌های مدل‌های خانواده ARMA بخش تصادفی (باقی‌مانده) این مدل‌ها است که با هر بار اجرای این مدل‌ها، نتایج مدل‌سازی و پیش‌بینی‌ها تغییر می‌کند که این به این موضوع زیاد توجه نمی‌شود. جهت از بین بردن این ضعف می‌توان از مدل‌های غیرخطی

Archive of SID

www.SID.ir

سری زمانی مانند مدل‌های خانواده ARCH استفاده کرد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های سری زمانی سالانه تراز آب دریاچه ارومیه، سطح آب دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های تلفیقی مدل‌سازی و پیش-بینی گردید. سری زمانی داده‌های تراز سطح آب دریاچه ارومیه، بعد از بررسی‌های اولیه با مدل‌های خانواده ARMA برازش داده شد و مدل AR(3) به‌ازای معیار آکاییکه کمتر از بین مدل‌های خانواده ARMA انتخاب شد. سپس با استفاده از روابط مدل‌های ARMA و مقدار پارامترهای این مدل، سری زمانی باقی‌مانده مدل استخراج گردید. این سری زمانی استخراج‌شده، با مدل‌های خانواده ARCH برازش داده شد و مقدار واریانس شرطی سری زمانی باقی‌مانده‌ها به‌دست آمد. سپس با استفاده از روابط مدل‌های ARCH، سری زمانی جدید باقی‌مانده‌ها محاسبه گردید و در نهایت با ترکیب دو مدل AR(3) و ARCH(1)، مدل تلفیقی AR-ARCH جهت پیش‌بینی و مدل‌سازی تراز سطح آب دریاچه ارومیه حاصل شد. نتایج دو آزمون ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان از دقت بالاتر مدل تلفیقی نسبت به مدل AR(3) بود که خلیلی و همکاران (۱۳۹۱) نیز در تحقیق خود به برتری مدل‌های تلفیقی اشاره نمودند. نتایج پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه نشان از ایجاد یک فرصت اقلیمی جدید جهت احیای دریاچه ارومیه دارد. نتایج مدل‌ها نشان از ایجاد یک فرصت اقلیمی در جهت افزایش سطح آب دریاچه ارومیه دارد. هم‌چنین نتایج ترکیب دو مدل نشان داد که ترکیب مدل‌های خطی و غیرخطی سری زمانی می‌توانند دقت مدل‌سازی را تا حدود زیادی افزایش دهند. با اضافه کردن مدل‌های غیرخطی به مدل‌های خطی سری زمانی می‌توان بخش تصادفی مدل‌های خطی را از بین برد و قطعیت مدل را افزایش داد. با ترکیب دو مدل مذکور، علاوه بر بالا بردن قطعیت مدل، می‌توان سری تصادفی متناسب با داده‌ها و از جنس داده‌ها تولید کرد که این کار باعث افزایش دقت و کاهش ریسک می‌شود.

منابع مورداستفاده

خلیلی ک، فاخری فرد ا، دین‌پژوه ی، احمدی ف و بهمنش ج، ۱۳۹۱. معرفی و کاربرد الگوی تلفیقی پیشنهادی BL-ARCH در پیش‌بینی دبی روزانه رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه شهرچای ارومیه). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۷. شماره ۲، صفحه‌های ۳۴۲ تا ۳۵۰.

شقاقیان م و شقاقیان م، ۱۳۹۰. مقایسه مدلسازی زمانی (پیش بینی) تراز آب زیر زمینی با استفاده از منطق فازی و روش‌های پایه تحلیل سریهای زمانی (مطالعه موردی دشت شیراز). ششمین کنگره ملی مهندسی عمران.

صفوی ح، ۱۳۸۸. هیدرولوژی مهندسی، انتشارات ارکان دانش،۷۰۶ صفحه.

قدم پور ز و شقاقیان م، ۱۳۹۰. مقایسه مدلهای کلاسیک سری زمانی و هوش مصنوعی در تعیین سطح تراز آب زیرزمینی. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران.

کارآموز م و عراقی نژاد ش، ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران). ۴۶۴ صفحه.

ناظری تهرودی م و خلیلی ک، ۱۳۹۲. معرفی روش گشتاورهای پیشرفته SAM در برآورد دوره بازگشت حجم خشکی رودخانه (مطالعه موردی: حوضه‌های دریاچه ارومیه). اولین همایش ملی تاثیر پسروی دریاچه ارومیه بر منابع خاک و آب. تبریز، پاییز ۹۲.

ناظری تهرودی م، احمدی ف، خلیلی ک و ناظری تهرودی ز، ۱۳۹۲. کاربرد نرم افزار SAMS 2007 در مدل‌سازی اقلیم آینده کردستان جهت پیش‌بینی دما و بارندگی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک سنندج). اولین کنفرانس هیدرولوژی مناطق نیمه خشک.

Archive of SID

www.SID.ir

Andersen TG and Bollerslev T, 1998. ARCH and GARCH models. Pp. 1-11. In: Kotz S, Read CB and Banks DL (eds). Encyclopedia of Statistical Sciences, Vol. II. New York: John Wiley and Sons. DOI: 10. 1002/0471667196. ess0592. pub2.

Bera AK and Higgins ML, 1993. ARCH models: Properties, Estimation and Testing. Journal of Economic Surveys 7: 305-366.

Bollerslev T, Engle RF and Nelson DB, 1994. ARCH models, Pp. 2959-3038. In: Engle RF and McFadden D (eds.), Handbook of econometrics, volume IV. Amsterdam: North-Holland.

Bollerslev T, Chou RY and Kroner KF, 1992. ARCH modeling in finance. A selective review of the theory and empirical evidence. Journal of Econometrics 52: 5-59.

Box GE and Jenkins GM. 1976. Time series analysis. Forecasting and Control, San Francisco: Holden-Day.

Caiado J, 2007. Forecasting water consumption in Spain using univariate time series models. Munich Personal RePEc Archive, MPRA Paper No. 6610, posted 7. Online at http://mpra.ub.uni-muenchen.de/6610/

Degiannakis S andXekalaki E, 2004. Autoregressive conditional heteroscedasticity (ARCH) models: A Review, Quality Technology and Quantitative Management 1: 271-324.

Diebold FX and Lopez J, 1995. Modeling volatility dynamics. Pp. 427-472. In: Hoover K (ed.), Macroeconometrics: Developments, Tensions and Prospects. Boston: Kluwer Academic Press.

Engle RF, 1982. Autoregressive conditional heteoscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflations. Econometrica 50: 987-1007.

Engle RF, 1995. ARCH: selected readings. Oxford, UK: Oxford University Press.

Engle RF and Patton AJ, 2001. What good is a volatility model?, Quantitative Finance 1: 237-245.

Kendall MG, 1938. A new measure of rank correlation, Journal of Biometrika 36: 81-93.

Khalili K, Nazeri Tahrudi M, Abbaszadeh Afshar M and Nazeri Tahrudi Z, 2014. Modeling monthly mean air temperature using SAMS2007 (Case Study: Urmia synoptic station). Journal of Middle East Applied Science and Technology 15 (3): 578-583.

Khatibi R, Ghorbani MA, Naghipour L, Jothiprakash V, Fathima TA and Fazelifard MH, 2014. Inter-comparison of time series models of lake levels predicted by several modeling strategies. Journal of Hydrology 511: 530–545

Laux P, Vogl S, Qiu W, Knoche H. R and Kunstmann H, 2011. Copula-based statistical refinement of precipitation in RCM simulations over complex terrain. Journal of Hydrology and Earth System Sciences 15: 2401–2419.

Mann HB, 1945. Nonparametric test against trend, Journal of The Econometric Society 13: 245-259.

Mendenhall W and Reinmuth J, 1982. Statistics for Management and Economics. Fourth Edition. Duxbury Press. PWS Publishing Company

Pagan A, 1996. The econometrics of financial markets. Journal of Empirical Finance 3: 15-102.

Palm F, 1996. GARCH models of volatility. Pp. 209-240. In Rao CR and Maddala GS (eds.) Handbook of Statistics, Volume 14. Amsterdam: North-Holland.

Salas JD, 1993. Analysis and modeling of hydrological time series. Pp 1-19. In: Handbook of Hydrology, edited by David R, Maidment, McGraw-Hill, New York.

Shephard N, 1996. Statistical aspects of ARCH and stochastic volatility models. Pp. 1-67. In Cox R, Hinkley DV and Barndorff-Nielsen OE (eds.) Time Series Models in Econometrics, Finance and Other Fields, London: Chapman & Hall.

Steel RGD and Torrie JH, 1960. Principles and Procedures of Statistics. Pp 187-287, McGraw-Hill, New York.

Thomas HA and Fiering MB, 1962. Mathematical Synthesis of Stream Flow Sequences for the Analysis of River Basin by Simulation. Harward university press, Cambrige, 751p.

Tsonis AA, 2001. Probing the linearity and nonlinearity in the transitions of the atmospheric circulation. Nonlinear Processes Geophysics 8: 341-345.

Wang W, Van Gelder PHAJM and Vrijling JK, 2005. Testing and modeling autoregressive conditional heteroskedasticity of stream flow processes. Journal of Nonlinear Processes in Geophysics 12: 55-66.

Wilcoxon F, 1945. Individual comparison by ranking methods. International Biometric Society 1(6): 80–83.

Archive of SID

www.SID.ir