

Prediction of EC and TDS quality parameters by using changes in River discharge.

Case Study: Rivers of Mahabadchay and Balkhlouchay (Bayazid e) located in urmia lake basin (1992-2013).

Mohammad Soleimani

Ph.D, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran.

Keivan Khalili

* Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran. Corresponding author's E-mail: khalili2006@gmail.com & k.khalili@urmia.ac.ir

Javad Behmanesh

Associate Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran.

Received: 2016/12/25

Accepted: 2017/01/29

ABSTRACT

Background & objective: More than three decades, hydrologists , using multivariate models to describe complex data modeling. While recently the importance of multivariate models have been proposed in hydrology.Indeed, the results of multivariate models can improve the results of description, modeling, and prediction of different parameters by involving other influential factors.

Materials & Methods: In this study, univariate models (ARMA) and auto-correlated multivariate models with simultaneous autoregressive moving average model (CARMA) were evaluated for modeling EC and TDS parameters of the Southern stations of Urmia Lake Basin. In order to employ CARMA models, annual flow rate timeseries, EC, TDS, SAR, and pH values measured across 3 hydrometric stations (Kotar- Balqchy- Gerdyaghob) within 1992-2013 were used.

Results: The results of the qualitative parameters of the West River basin of Lake Urmia Showed that in the period under review the flow of the studied rivers in the south of Lake Urmia decrease And the EC and TDS values have experienced an increasing trend. EC and TDS values modeling results showed that the average error (RMSE) EC in modeling values equal to 16/60 mho / cm into the teaching and 13/26 mho / cm in the testing phase and for the TDS parameter values 19/84 and 12/71 in the testing phase is the phase of training. The estimated values of the calculation error and accuracy of the model is located entirely within the confidence interval.

Conclusion: The results of multivariate modeling EC and TDS values showed that the involvement of the parameters listed in the model , modeling accuracy will be satisfactory.

Document Type: Research article

Keywords: Time series, Multivariate models , CARMA, quality parameters, Urmia lake, Mahabadchay.

► **Citation:** Soleimani M, Khalili K, Behmanesh J. Prediction of EC and TDS quality parameters by using changes in River discharge. Case Study: Rivers of Mahabadchay and Balkhlouchay (Bayazid e) located in urmia lake basin (1992-2013).. *Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2016;2 (4) : 285-298 .

پیش‌بینی مقادیر پارامترهای کیفی EC و TDS با استفاده از تغییرات دبی جریان رودخانه مطالعه موردی رودخانه های مهاباد چای و بالخلوچای (بایزید آباد) حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۱۳۹۲-۱۳۷۱

چکیده

زمینه و هدف: بیش از سه دهه است که هیدرولوژیست‌ها، استفاده از مدل‌های چندمتغیره را جهت توصیف و مدل‌سازی داده‌های پیچیده هیدرولوژی توصیه می‌کنند، درحالی که به تازگی اهمیت مدل‌های چند متغیره در آب‌شناسی مطرح شده است. در واقع در مدل‌های چند متغیره با دخالت دادن عوامل مؤثر دیگر، می‌توان نتایج توصیف، مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مختلف را بهبود بخشید.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، مدل‌های چندمتغیره خودهمبسته با میانگین متحرک هم‌زمان آرما (کارما) جهت مدل‌سازی پارامترهای EC و TDS ایستگاه‌های جنوب دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت استفاده از مدل‌های کارما، از سری زمانی دبی سالانه، مقادیر EC، TDS، SAR و pH مربوط به سه ایستگاه هیدرومتری کوثر، بالقچی و گردیعقوب در دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۷۱) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی رودخانه‌های غرب حوضه دریاچه ارومیه نشان داد که در دوره آماری مورد بررسی روند دبی رودخانه‌های مورد مطالعه در جنوب دریاچه ارومیه کاهشی بوده و در مقابل مقادیر EC و TDS روندی افزایشی را تجربه کرده‌اند. بر اساس نتایج مدل‌سازی مقادیر EC و TDS، میزان متوسط خطا (RMSE) در مدل‌سازی مقادیر EC در مرحله آموزش برابر با $16/60 \text{ cm}$ و در مرحله آزمایش $13/26 \text{ mho/cm}$ و برای مقادیر پارامتر TDS در مرحله آموزش برابر با $19/84$ و در مرحله آزمایش $12/71$ بود. مقادیر برآورد شده از محاسبه خطا و دقت مدل تماماً در محدوده اطمینان واقع شدند.

نتیجه‌گیری: در واقع می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در روش‌های مدل‌سازی چند متغیره با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بیشتر، می‌توان دقت مدل‌های سری زمانی و نتایج حاصل از آنها را ارتقاء داد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

کلیدواژه‌ها: سری زمانی، مدل چند متغیره CARMA، پارامترهای کیفی، دریاچه ارومیه، مهابادچای

محمد سلیمانی

دکترای تخصصی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

کیوان خلیلی

* استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. نویسنده مسئول: k.khalili@urmia.ac.ir

جواد بهمنش

دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

◀ **استناد:** سلیمانی م، خلیلی ک، بهمنش ج. پیش‌بینی مقادیر پارامترهای کیفی EC و TDS با استفاده از تغییرات دبی جریان رودخانه مورد مطالعه رودخانه های مهاباد چای و بالخلوچای (بایزید آباد) حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۱۳۹۲-۱۳۷۱. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۳۹۵: ۲۸۵-۲۹۸.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۰

از سال ۱۹۶۰ تلاش‌ها و پژوهش‌های گسترده‌ای در راستای تجزیه و تحلیل سری‌های استوکاستیک هیدرولوژی و مدل‌های تک متغیره تولید داده آغاز شد. از آن پس نقشه‌کشی، طراحی و عملیاتی کردن سیستم‌های منابع آب اغلب با استفاده از چندین سری زمانی متعدد هیدرولوژیکی و منابع آبی صورت گرفتند و تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی چند متغیری‌ها شتاب گرفتند. مدل‌های مختلف چند متغیری اغلب توسط فایرینگ (۱۹۶۴)، ماتالاس (۱۹۶۷) (۱۷)، ماتالاس و ویلز (۱۹۷۱)، مژیا (۱۹۷۱) (۱۸)، والنشیا و اسچاک (۱۹۷۳) و اکائل (۱۹۷۴) مطرح شد (۲۳). ماتالاس (۱۹۶۷) مدل مارکف با پارامترهای ثابت چند متغیره با تأخیر ۱ را مطرح کرد (۱۶). متعاقباً یانگ و پیسانو (۱۹۶۸) یک روش ساده قابل استفاده با استفاده از مدل ماتالاس را توصیه کردند (۲۴). استفاده از مدل‌های تک متغیره سری زمانی در مدل‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی از دیرباز مورد توجه محققان بوده است. با انتشار کتاب تحلیل سری‌های زمانی (پیش‌بینی و کنترل) توسط باکس و جنکینز (۱۹۷۶)، مدل‌های مختلف سری‌های زمانی جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی معرفی شد (۹). سالاس و همکاران (۱۹۸۰) مدل‌های AR ، MA ، $ARMA$ ، $ARIMA$ ، مدل‌های پیرویدیک $AR(PAR)$ ، پیرویدیک $ARMA$ و $PARMA$ (Disagregation Models) را شرح دادند و نحوه کاربرد آن را در علم هیدرولوژی با ارائه مثال‌های کاربردی از داده‌های جریان رودخانه تشریح نمودند (۲۰). کایادو (۲۰۰۷) عملکرد مدل‌های یک پارامتری سری‌های زمانی را در پیش‌بینی میزان آب مصرفی در مقیاس‌های روزانه و هفتگی اسپانیا از سال ۲۰۰۱ الی ۲۰۰۶ مورد بررسی قرار داد (۱۰). زو و همکاران (۲۰۱۰) دو مدل آریمای شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی ظرفیت آب و نمک خاک مورد مقایسه قرار داده و نشان دادند که مدل آریمای دقت بالاتری برخوردار است (۲۶). اسداللهی‌فرد و همکاران (۲۰۱۲) توانایی دو مدل شبکه عصبی و نروفازی را در تخمین شاخص‌های کیفی آب رودخانه تلخه در

آذربایجان شرقی برای برآورد پارامتر TDS مورد بررسی قرار دادند (۸). مطالعه دی دومنیکو و همکاران (۲۰۱۳) که نظریه آشفتگی و مدل خودهمبسته یکپارچه با میانگین متحرک ($ARIMA$) را در بررسی سطح دریا در جزیره کیلینگ مورد بررسی قرار داد، نشان داد که دقت هر دو مدل در مدل‌سازی سطح آب دریا در منطقه مورد مطالعه قابل قبول است، ولی دقت تئوری آشفتگی از مدل $ARIMA$ بیشتر است (۱۲).

نتایج مطالعه خلیلی و حصار (۲۰۰۴) که روند خشک‌سالی هواشناسی ایستگاه سینوپتیک ارومیه را با استفاده از مدل‌سازی سری‌های زمانی مطالعه کردند، نشان داد که مدل $AR(2)$ جهت مدل‌سازی پیش‌بینی بارندگی ماهانه مناسب است (۴). خلیلی و همکاران (۲۰۱۲) کاربرد مدل‌های خطی و غیر خطی سری‌های زمانی در پیش‌بینی جریان رودخانه را مورد مطالعه قرار دادند (۱). خلیلی و همکاران (۲۰۱۴) حجم خشکی رودخانه‌های غرب حوضه دریاچه ارومیه را با استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی خانواده آرما مدل‌سازی و پیش‌بینی کردند (۳). خلیلی و ناظری تهرودی (۲۰۱۴) سطح آب دریاچه ارومیه را با استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی مورد بررسی و مدل‌سازی قرار دادند (۲). عباس‌زاده افشار و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی مدل تلفیقی $AR-ARCH$ ، تراز سطح آب دریاچه ارومیه را مدل‌سازی کرده و نشان دادند که مدل تلفیقی نتایج بهتری نسبت به مدل تک متغیره $ARIMA$ دارد (۵). ناظری تهرودی و خلیلی (۲۰۱۵) با بررسی روش‌های تخمین پارامترها، مدل $ARMA$ بارش سالانه ایستگاه شهرکرد را پیش‌بینی و مدل‌سازی کردند (۷). ناظری تهرودی و خلیلی (۲۰۱۵) عملکرد مدل‌های تلفیقی $ARMA-ARCH$ و $ARMA-PARCH$ را در مدل‌سازی بیشینه سیلاب لحظه‌ای رودخانه سیمینه رود استان آذربایجان غربی مقایسه کرده و نشان دادند که مدل تلفیقی $ARMA-PARCH$ نتایج بهتری را ارائه می‌کند (۶).

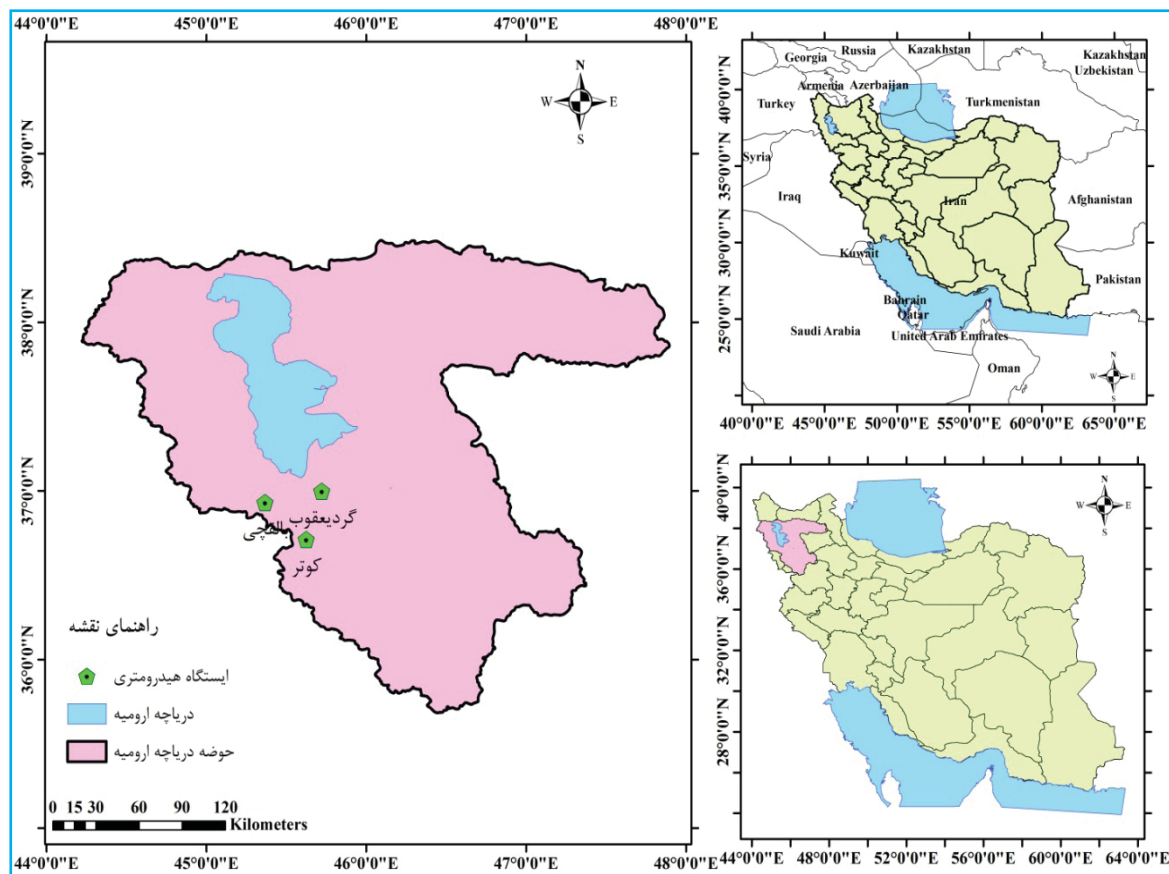
با بررسی و مرور منابع، چنین به نظر می‌رسد که اکثر مطالعات انجام شده در مورد مدل‌سازی پارامترهای هیدرولوژی با استفاده

از مدل‌های تک متغیره صورت گرفته است، لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی دقت مدل چند متغیره CARMA در مدل‌سازی پارامترهای EC و TDS ایستگاه‌های هیدرومتری بالقچی، کوتر و گردیغوب واقع در بخش جنوب دریاچه ارومیه در دوره آماری (۱۳۷۱-۱۳۹۲) انجام شد.

روش کار

منطقه مورد مطالعه: در این مطالعه مدل‌سازی مقادیر سالانه پارامترهای کیفیت آب سطحی رودخانه‌های بالخلوچای و مهابادچای شامل: EC (The electrical conductivity of water), TDS (Total dissolved solids), SAR (Sodium absorption rate) در دوره آماری سال‌های (۹۲-۱۳۷۲) با استفاده از مدل‌های چند متغیره سری زمانی انجام شد.

استان آذربایجان غربی در شمال غرب ایران بین ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی قرار دارد. مساحت این حوضه با احتساب دریاچه ارومیه ۴۳۶۶۰ کیلومتر مربع 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 کیلومتر مربع 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. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان آذربایجان غربی در شکل ۱ آورده شده است. همچنین مشخصات آماری داده‌های مورد استفاده نیز در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت محل مورد مطالعه در منطقه، ایران و حوضه آبریز دریاچه ارومیه

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad \text{که در آن } N \text{ و}$$

تعداد سال‌های آماری است.

$$\tau = 2S/N(N-1) \quad (2)$$

$$(3)$$

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)]}$$

که در آن t_i تعداد داده‌ها در گره i ام (Tie) می‌باشد. در شرایطی که تعداد نمونه از ۱۰ بزرگ‌تر باشد، مقدار متغیر نرمال و استاندارد Z از رابطه زیر به دست می‌آید (۱۱).

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sigma_s, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ (S+1)/\sigma_s, & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

با توجه به آزمون آماری دوطرفه اگر $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ در سطح معنی‌داری معین α باشد، فرض صفر (H_0) پذیرفته شده و روند وجود ندارد. مقادیر مثبت S روند صعودی و مقادیر منفی نیز روند نزولی را نشان می‌دهند.

تخمین گر شیب سن

شیب خط روند با روش ناپارامتری تخمین گر شیب سن، قابل محاسبه است. β به عنوان شیب روند تعریف می‌شود و از رابطه ۵ قابل محاسبه است (۲۱).

$$\beta = \text{median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] \quad (\forall j > i) \quad (5)$$

مقادیر مثبت β نشان دهنده شیب رو به بالا و مقادیر منفی آن بیانگر شیب رو به پایین است.

مدل‌های چند متغیره آرما (همزمان آرما) (contemporaneous autoregressive moving average)

روش‌های متعددی در تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی سری‌های زمانی هیدرولوژی مورد نیاز است. ویژگی نوعی از مدل‌های همزمان، ماتریس پارامترهای قطری است که برآورد پارامترهای آن مستقل

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری

ایستگاه	رودخانه	مشخصات جغرافیایی		ارتفاع ایستگاه (متر)
		طول	عرض	
بالقچی	بالخوچای	۵۹-۲۱-۴۵	۵۰-۵۵-۳۶	۱۳۵۰
گردیعقوب	مهابادچای	۱۶-۴۳-۴۵	۵۱-۵۹-۳۶	۱۲۸۰
کوتر	مهابادچای	۲۷-۳۷-۴۵	۴۱-۴۲-۳۶	۱۳۶۰

تحلیل سری زمانی

در این مطالعه برای مدل‌سازی و محاسبات آماری از نرم افزارهای: Minitab, SAMS, EVIEWS, ITSM2002 و SPSS استفاده شد. مدل‌سازی سری زمانی بر روی داده‌های تصادفی ایستگاه انجام می‌گیرد، لذا باید مؤلفه‌های قطعی از سری حذف شوند و سری ایستا گردد. مؤلفه‌های قطعی یک سری زمانی شامل روند و تناوب می‌باشد. علاوه بر ایستایی، سری باید از توزیع نرمال نیز پیروی کند. آماده‌سازی داده‌ها مجموعه فعالیت‌هایی است که در آن عوامل نایستایی حذف می‌شوند و فرضیات اساسی تحلیل سری‌های زمانی ارضاء می‌شود. به منظور حذف عوامل نایستایی از سری، ابتدا این عوامل شناسایی شده، سپس از سری اصلی حذف می‌شوند. باقی‌مانده ایستا و بیانگر مؤلفه استوکاستیک خواهد بود. در این تحقیق نیز ابتدا مؤلفه‌های روند و تناوب شناسایی و از سری حذف شدند تا ایستایی سری حاصل شود. جهت تخمین روند از آزمون من-کندال استفاده شد.

تحلیل روند به وسیله آزمون من-کندال

کندال (۱۹۳۸) متغیر τ (tau) را جهت اندازه‌گیری رابطه بین X و Y ارائه کرد و من (۱۹۴۵) با استفاده از آزمون کندال یکی از متغیرها را زمان در نظر گرفت تا روند را مورد آزمون قرار دهد. این آزمون را به صورت MK نیز نشان می‌دهند. در این آزمون فرض صفر (H_0) بدین معنی است که مشاهدات نمونه $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ مستقل از هم بوده و با متغیرهای تصادفی توزیع شده و در نتیجه روند وجود ندارد (۲۵). آزمون آماری MK به صورت زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

کار باعث شناسایی بهترین مدل ARMA تک متغیره می‌شود. بنابراین اگر یک مدل کامل چند متغیره ARMA مورد استفاده قرار گیرد، ساختار وابستگی متفاوت در زمان را می‌توان به جای آن که برای هر سایت مدل کرد، یک ساختار وابسته مشابه در زمان برای تمام سایت‌ها در نظر گرفت.

مدل CARMA(p,q) را برای n سایت می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$Y_t = \sum_{j=1}^p \varphi_j Y_{t-j} + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (6)$$

که در آن Y_t یک ماتریس ستونی $n \times 1$ از سری مشاهداتی Y_t^k با توزیع نرمال و میانگین صفر به نمایندگی از سایت‌های مختلف $k=1, 2, \dots, n$ ، ε_t ماتریس قطری $n \times n$ پارامترهای مدل اتورگرسیو (خودهمبسته) و میانگین متحرک است. $\check{I}_t$ نیز یک ماتریس $n \times n$ داده‌های تصادفی نرمال با میانگین صفر و واریانس σ^2 است.

$$\begin{bmatrix} Y_t^{(1)} \\ Y_t^{(2)} \\ \vdots \\ Y_t^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi^{11} & \varphi^{12} & \dots & \varphi^{1n} \\ \varphi^{21} & \varphi^{22} & \dots & \varphi^{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi^{n1} & \varphi^{n2} & \dots & \varphi^{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{t-1}^{(1)} \\ Y_{t-1}^{(2)} \\ \vdots \\ Y_{t-1}^{(n)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \theta^{11} & \theta^{12} & \dots & \theta^{1n} \\ \theta^{21} & \theta^{22} & \dots & \theta^{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta^{n1} & \theta^{n2} & \dots & \theta^{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_t^{(1)} \\ \varepsilon_t^{(2)} \\ \vdots \\ \varepsilon_t^{(n)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

که در آن μ و σ به ترتیب میانگین و واریانس Y_t است و استانداردسازی متغیرها با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_t^{(i)} = (y_t^{(i)} - \mu_t^{(i)}) / \sigma^{(i)}, i=1, 2, \dots, n \quad (9)$$

پارامترهای مدل $\check{CARMA}(p(i), q(i))$ همانند پارامترهای مدل ARMA تعیین می‌شود. سری زمانی باقی‌مانده مدل مستقل از زمان است، اما در میان خود وابسته است (در فضا وابسته است). این وابستگی متقابل با استفاده از رابطه زیر می‌تواند مدل شود:

$$\varepsilon_t^{(i)} = \frac{\varepsilon_t^{(i)}}{\sigma_t^{(i)}} \quad (10)$$

از مدل‌های تک متغیره است. از مدل‌های خطی چند متغیره، می‌توان به مدل اتورگرسیو چند متغیره MAR(p)، مدل همزمان ARMA(p,q) که به عنوان مدل CARMA(p,q) تعریف می‌شود، مدل ترکیبی همزمان و میانگین متحرک CARMA(p,q) که به عنوان CSM-CARMA(p,q) تعریف می‌شود و مدل پریودیک اتورگرسیو چند متغیره فصلی MPAR(p) اشاره کرد. در مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی چند متغیره بر اساس مدل کامل چند متغیره ARMA، اغلب مشکلاتی در برآورد پارامترهای آن به وجود می‌آید. مدل CARMA (مدل همزمان اتورگرسیو با میانگین متحرک) به عنوان یک جایگزین ساده‌تر به مدل کامل چند متغیره ARMA پیشنهاد شد (۲۰). در مدل CARMA(p,q) ماتریس پارامترهای هر دو مدل اتورگرسیو و میانگین متحرک به صورت قطری فرض می‌شود؛ به طوری که یک مدل چند متغیره را می‌توان مستقل از مدل تک متغیره ARMA دانست. بنابراین، به جای برآورد پارامترهای مدل به طور مشترک، می‌توان آنها را به طور مستقل برای هر سایت تک متغیره ARMA برآورد کرد که این

مدل CARMA قادر به حفظ تأخیر صفر همبستگی متقابل در فضای بین سایت‌های مختلف است، علاوه بر آن وابستگی ساختار زمان برای هر سایت توسط پارامترها p و q تعریف شده است (۲۰).

برآورد پارامترهای مدل:

با در نظر گرفتن N سال داده در هر سایت i با داده‌های مشاهداتی $Y_t^{(i)}$ و $i=1, 2, 3, \dots, n$ ماتریس مدل عمومی Y_t به صورت

$$Y_t = \mu + \sigma Z_t \quad (8)$$

زیر توصیف می‌شود:

با استفاده از آزمون‌های اولیه مورد بررسی قرار گرفتند. جهت افزایش دقت مدل‌سازی با استفاده از مدل‌های سری زمانی، داده‌های مورد استفاده باید بدون روند باشند. 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. حذف روند داده‌های مورد استفاده در صورت وجود روند معنی‌دار با استفاده از آزمون تفاضل‌گیری صورت گرفت. نتایج بررسی آزمون‌های مذکور در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج بررسی شیب خط سن سری زمانی داده‌های مورد بررسی در دوره آماری ۱۳۷۱-۱۳۹۲

ایستگاه	EC	TDS	PH	SAR	Q
بالقچی	۰/۰۰	۲/۳۰	۰/۰۳	۳/۵۴	-۰/۰۳
گردیعقوب	۰/۰۰	۵/۵۵	۰/۰۳	۸/۵۴	-۰/۳۵
کوثر	۰/۰۰	۲/۸۹	۰/۰۳	۴/۴۵	-۰/۳۰

جدول ۳. نتایج بررسی آماره p در بررسی روند تغییرات سری زمانی داده‌های مورد بررسی در دوره آماری ۱۳۷۱-۱۳۹۲

ایستگاه	SAR	TDS	PH	EC	Q
بالقچی	۰/۸۹	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۲۱
گردیعقوب	۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۲۶	۰/۰۱
کوثر	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۳۶

دبی سالانه تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه روند کاهشی را تجربه کردند. در این بین دبی جریان در ایستگاه گردیعقوب کاهشی و معنی‌دار و دبی جریان در سایر ایستگاه‌ها غیر معنی‌دار بود که با توجه به شیب خط روند مربوطه جدول ۲ سالانه به مقدار ۰/۳۵ متر مکعب در ثانیه کاهش داشت. با توجه به جدول ۳ اگر مقادیر p بیشتر از سطح معنی‌دار ۰/۰۵ باشد، فرض صفر قابل قبول بوده و داده‌ها بدون روند می‌باشند و در صورتی که مقادیر p کمتر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر رد شده و داده‌های مورد بررسی دارای روند می‌باشند. بعد از بررسی روند داده‌های مورد بررسی، جهت نرمال کردن داده‌های ذکر شده از روش‌های نرمال‌ساز استفاده شد و نتایج آن در جدول ۴ ارائه گردید. مقادیر EC تمام ایستگاه‌های

$$\varepsilon'_t = B \zeta_t \quad (۱۱)$$

که در آن B با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$\widehat{B}\widehat{B}^T = \widehat{M}_0 \quad (۱۲)$$

که در آن $\widehat{M}_0$ برابر با ماتریس تابع خود همبستگی با تأخیر صفر است که از ماتریس زیر محاسبه می‌شود:

$$\widehat{M}_k = \begin{bmatrix} r_k^{11} & r_k^{12} & \dots & r_k^{1n} \\ r_k^{21} & r_k^{22} & \dots & r_k^{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_k^{n1} & r_k^{n2} & \dots & r_k^{nn} \end{bmatrix} \quad (۱۳)$$

$$r_k^{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{N-K} (\varepsilon_t^{(i)} - \bar{\varepsilon}_t^{(i)}) (\varepsilon_{t+k}^{(j)} - \bar{\varepsilon}_{t+k}^{(j)})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N-K} (\varepsilon_t^{(i)} - \bar{\varepsilon}_t^{(i)})^2 \cdot \sum_{t=1}^{N-K} (\varepsilon_{t+k}^{(j)} - \bar{\varepsilon}_{t+k}^{(j)})^2}} \quad (۱۴)$$

که در آن $\hat{\varepsilon}_t^{(i)}$ میانگین N-K داده i و $\hat{\varepsilon}_{t+k}^{(i)}$ میانگین N-K داده j است. در نهایت ماتریس پارامترهای مدل (p,q) CARMA با استفاده از رابطه زیر حاصل می‌شود (۱۷):

$$\hat{A}_I = \hat{M}_I \hat{M}_0^{-1} \quad (۱۵)$$

ارزیابی مدل:

به منظور ارزیابی عملکرد مدل از دو معیار ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error) استفاده شد. هرچه مقدار RMSE کمتر و مقدار ضریب تبیین بیشتر باشد، نشان دهنده دقت بالاتر مدل است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (x_t - \hat{x}_t)^2}{T}} \quad (۱۶)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (x_t - \hat{x}_t)^2}{\sum_{t=1}^T (x_t - \bar{x})^2} \quad (۱۷)$$

که در روابط فوق $\bar{x}$ ، $\hat{x}_t$ ، x_t به ترتیب داده‌های سری مشاهداتی، محاسباتی، میانگین و T تعداد داده‌ها می‌باشد.

یافته‌ها

سری زمانی ۲۰ ساله داده‌های کیفی مورد استفاده در مقیاس سالانه

مورد مطالعه روند افزایشی و در ایستگاه‌های شماره کمتر افزایشی و معنی‌دار بود. مقادیر pH در طی دوره آماری مورد بررسی نیز در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه روندی افزایشی و معنی‌دار داشتند. مقادیر TDS نیز در دوره آماری مورد بررسی عملکردی شبیه به مقادیر EC در بررسی روند سالانه داشتند.

جدول ۴: نتایج بررسی روش‌های نرمال‌ساز در نرمال‌سازی داده‌های مورد بررسی

ایستگاه	SAR	TDS	Ph	EC	Q
بالقچی	Power	Power	None	Power	Log
گردیعقوب	Gamma	None	Power	None	Log
کوثر	Log	Log	Power	Log	Log

نتایج بررسی نرمال بودن داده‌های مورد بررسی بعد از برازش آنها با توابع توزیع نرمال نشان داد که بر اساس آزمون چولگی، داده‌های نرمال شده در محدوده اطمینان نرمال بودن قرار داشتند. بعد از بررسی توابع نرمال‌ساز و اطمینان از نرمال بودن داده‌های مورد بررسی، داده‌های نرمال استاندارد شده و با استفاده از

مدل‌های چندمتغیره خودهمبسته خانواده آرما برازش شدند. نتایج مدل‌سازی داده‌های EC و TDS مورد بررسی در سطح حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های CARMA و داده‌های سری زمانی pH، EC، TDS، SAR و دبی سالانه:

بعد از تأیید بررسی اولیه داده‌های مورد بررسی، نتایج نشان داد که داده‌های سری زمانی مورد بررسی با توابع تبدیل لگاریتم، توان و گاما و با ضرایب چولگی مناسب به شکل مناسبی نرمال می‌شوند. سپس داده‌های نرمال شده با استفاده از مدل‌های چند متغیره و با در نظر گرفتن داده‌های متوسط دبی سالانه، متوسط نسبت جذب سدیم، هدایت الکتریکی، شوری و pH به عنوان ورودی مدل، مدل‌سازی شد. با استفاده از داده‌های نرمال و استاندارد شده مورد بررسی، مدل (1,0) CARMA با کمترین مقدار واریانس در بین سایر مدل‌ها، به عنوان مدل برتر در نظر گرفته شد. به عنوان نمونه پارامترها و ضرایب باقی‌مانده مدل (1,0) CARMA مربوط به ایستگاه گردیعقوب به صورت روابط ۱۸ و ۱۹ و رابطه مدل‌های (1,0) CARMA نیز به صورت رابطه ۲۰ ارائه شد.

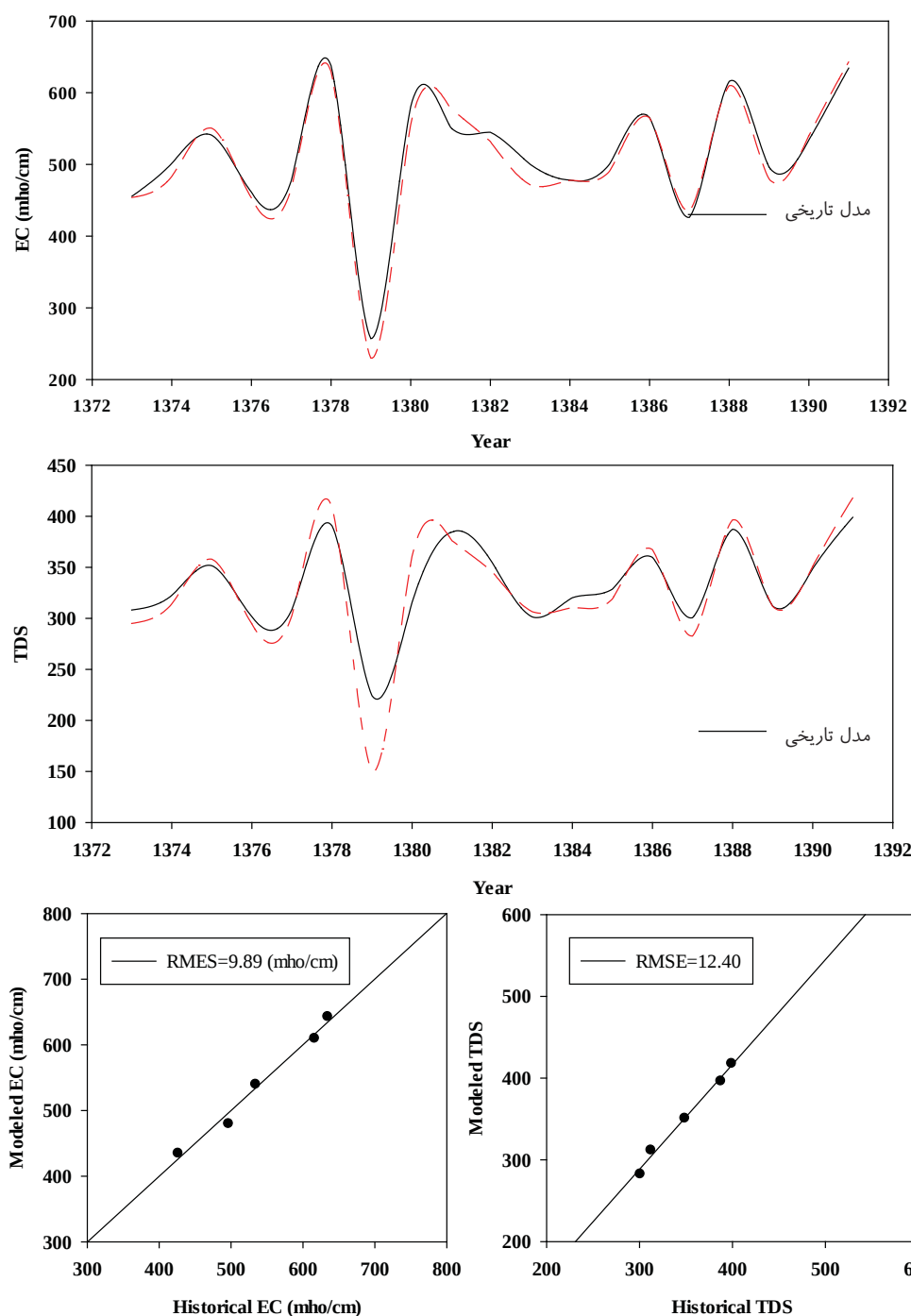
$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.0608617 & 0.0608617 & -0.052516 & -0.0064062 & 0.0360151 \\ 0.0608617 & 0.0608617 & -0.052516 & -0.0064062 & 0.0360151 \\ -0.052516 & -0.052516 & 0.118603 & -0.0126679 & -0.0315455 \\ -0.006406 & -0.006406 & -0.012667 & 0.0740856 & 0.0037688 \\ 0.0360151 & 0.0360151 & -0.031545 & 0.0037688 & 0.0450799 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0.246702 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.246702 & 5.26836e-009 & 0 & 0 & 0 \\ -0.212872 & -0.00253303 & 0.270706 & 0 & 0 \\ -0.025967 & -0.00121162 & -0.0672266 & 0.26247 & 0 \\ 0.145987 & 0.0017707 & -0.00171593 & 0.0283708 & 0.151515 \end{bmatrix} \quad (19)$$

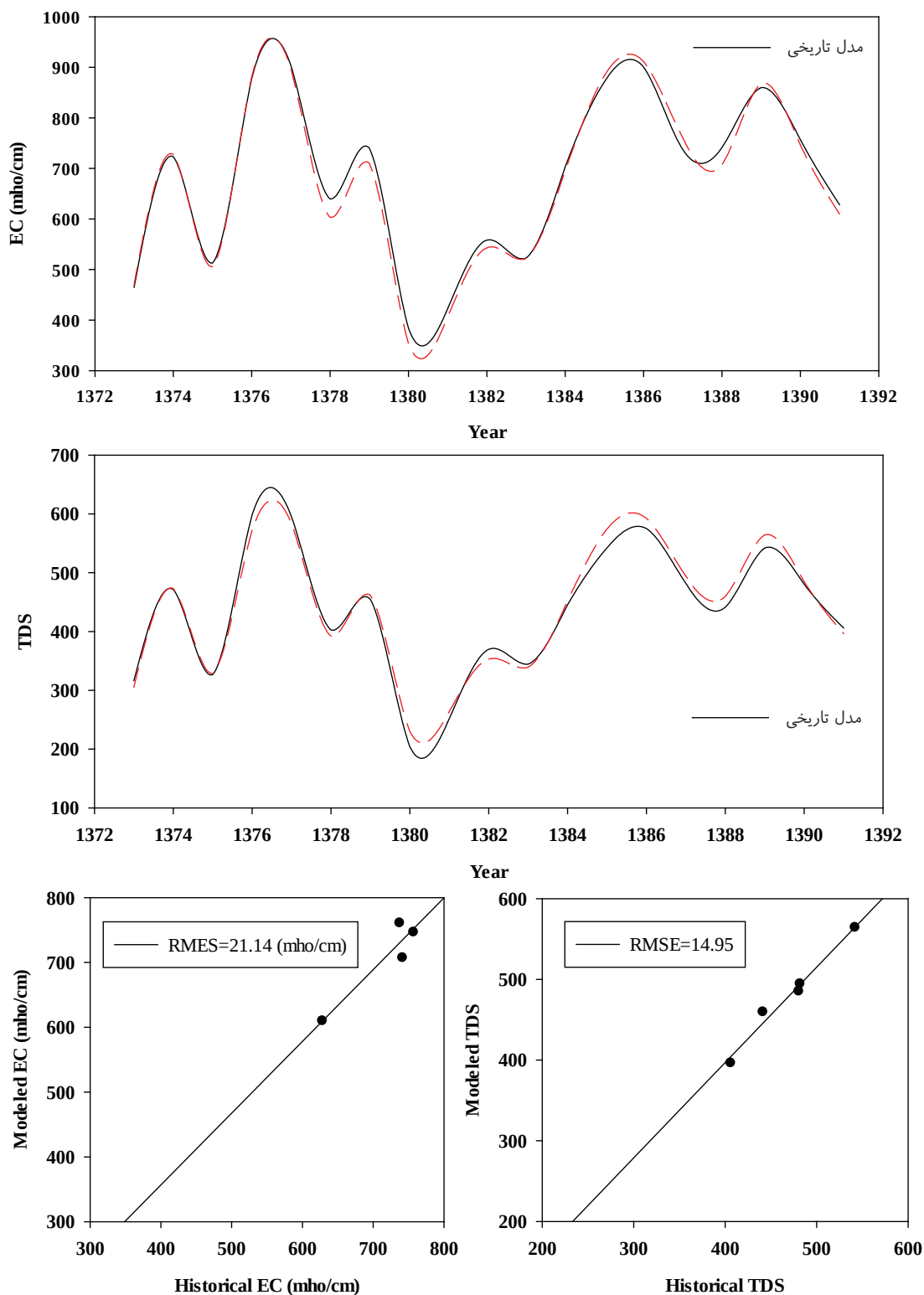
$$Z_t^{(1)} = 0.0608617(Z_{t-1}^{(1)}) + 0.06017(Z_{t-1}^{(2)}) - 0.052516(Z_{t-1}^{(3)}) - 0.0064062(Z_{t-1}^{(4)}) + 0.0360151(Z_{t-1}^{(5)}) + 0.246702(\epsilon_t^{(1)}) \quad (20)$$

دبی جریان، pH و SAR می‌باشند. نتایج مدل‌سازی مقادیر EC و TDS ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوضه دریاچه که در آن، $(\epsilon_t^{(1)})$ and $(Z_{t-1}^{(5)}), (Z_{t-1}^{(4)}), (Z_{t-1}^{(3)}), (Z_{t-1}^{(2)}), (Z_{t-1}^{(1)})$ به ترتیب داده‌های مشاهداتی یک دوره قبل مقادیر TDS، EC،

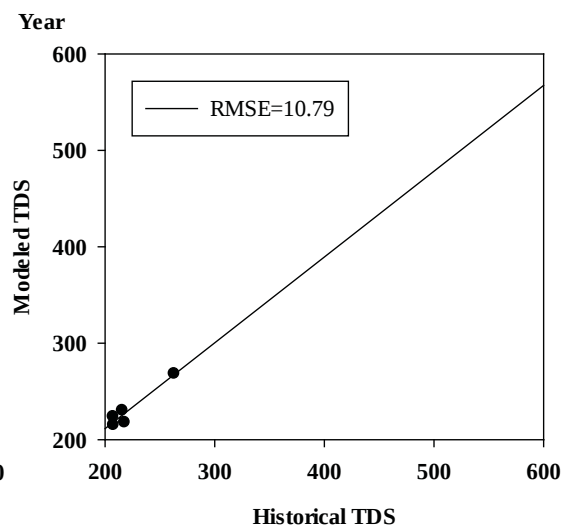
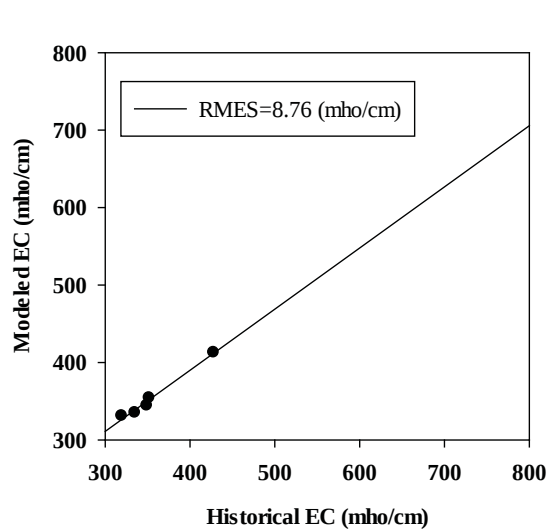
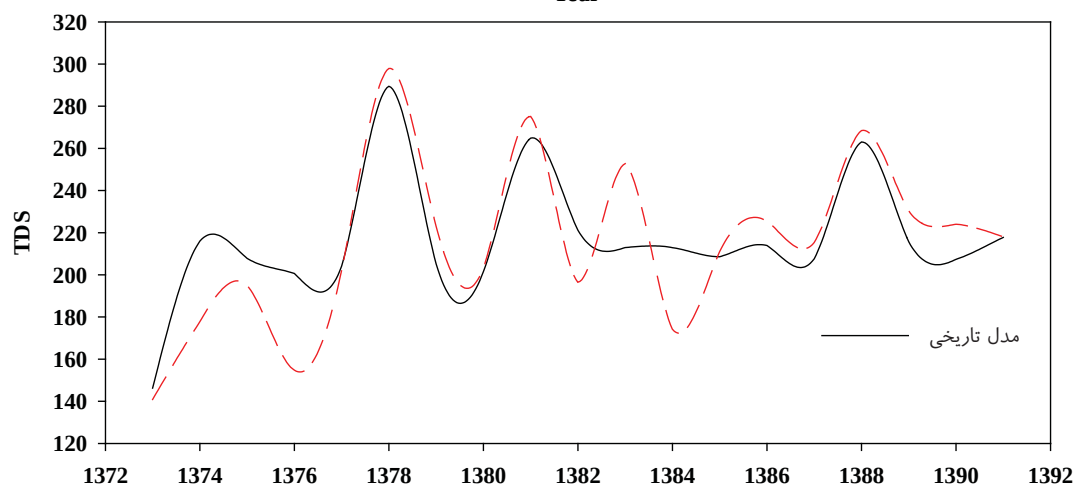
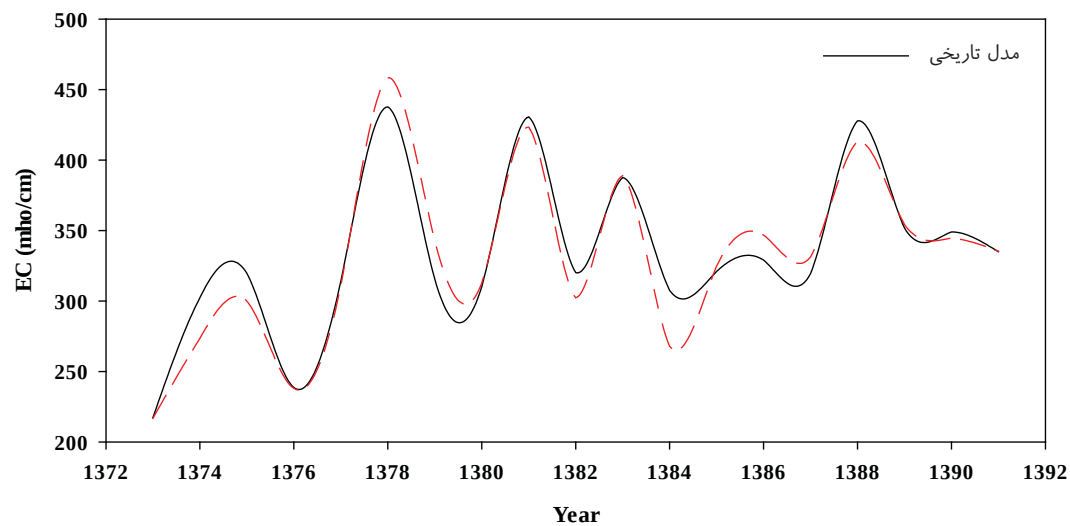
ارومیه با استفاده از مدل کارما به شرح شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه شد. جهت بررسی صحت‌سنجی مدل چند متغیره از ۵ سال داده مشاهداتی انتهای دوره آماری استفاده شد؛ به‌طوری‌که داده‌های ۵ سال انتهای دوره آماری سری زمانی مورد بررسی حذف شد و ۶ ارائه شده است.



شکل ۲. نتایج مدل‌سازی داده‌های EC و TDS مورد بررسی در ایستگاه بالقچی



شکل ۳. نتایج مدل‌سازی داده‌های EC و TDS مورد بررسی در ایستگاه گردی‌عقوب



شکل ۴. نتایج مدل‌سازی داده‌های EC و TDS مورد بررسی در ایستگاه کوثر

جدول ۵. نتایج بررسی و صحت‌سنجی مدل CARMA در مدل‌سازی

مقادیر EC

ایستگاه	جذر میانگین مربعات خطا		ضریب همبستگی	
	آموزش	آزمایش	آموزش	آزمایش
بالقچی	۱۵/۱۶	۹/۸۹	۰/۹۷	۰/۹۸
گردیعقوب	۱۸/۲۵	۲۱/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۵
کوثر	۱۶/۳۹	۸/۷۶	۰/۹۲	۰/۹۸

جدول ۶. نتایج بررسی و صحت‌سنجی مدل CARMA در مدل‌سازی

مقادیر TDS

ایستگاه	جذر میانگین مربعات خطا		ضریب همبستگی	
	آموزش	آزمایش	آموزش	آزمایش
بالقچی	۲۲/۳۵	۱۲/۴۰	۰/۹۱	۰/۹۹
گردیعقوب	۱۵/۸۰	۱۴/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۷
کوثر	۲۱/۳۹	۱۰/۷۹	۰/۷۰	۰/۹۱

بحث

با قراردادن مقادیر pH، SAR، TDS، EC و دبی سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه به عنوان ورودی مدل CARMA و خروجی گرفتن از پارامترهای EC و TDS نتایج نشان داد که با توجه به تأثیرات دبی جریان رودخانه و پارامترهای کیفی نسبت به یکدیگر و همچنین با توجه به در نظر گرفتن وزن برای هر پارامتر توسط مدل CARMA، نتایج مدل‌سازی توسط این مدل (CARMA) رضایت‌بخش خواهد بود. توانایی مدل CARMA نسبت به مدل معمولی ARMA دخالت دادن سایر پارامترهای مؤثر بر پارامتر مورد بررسی می‌باشد. بدین صورت که با دخالت دادن پارامتر مؤثری همچون دبی جریان رودخانه در مدل‌سازی پارامترهای EC و TDS، دقت مدل‌سازی را می‌توان تا حدود زیادی افزایش داد، زیرا با افزایش و یا کاهش دبی جریان رودخانه میزان غلظت املاح موجود در آب رودخانه نیز تغییر کرده و از این رو تأثیراتی بر میزان EC و TDS خواهد داشت. نتایج بررسی مدل‌های چند متغیره در مدل‌سازی پارامترهای مختلف بیانگر افزایش دقت مدل‌سازی با انتخاب مدل‌های چند متغیره نسبت به مدل‌های تک متغیره بود. نتایج مدل‌سازی مقادیر TDS در ایستگاه‌های

مورد مطالعه در سطح حوضه دریاچه ارومیه نشان داد که مدل‌های CARMA برازش خوبی بر داده‌های واقعی داشته و داده‌های TDS منطقه مورد مطالعه را به خوبی مدل می‌کند. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه هیدرومتری گردیعقوب با مقدار جذر میانگین مربعات خطا به میزان ۱۵٫۸۰ در مرحله آموزش و ۱۴٫۹۵ در مرحله آزمایش کمترین مقدار خطا را در بین سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه داشت. سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز برازش خوبی همراه با جذر میانگین مربعات خطا مناسب و در محدوده اطمینان داده‌ها ارائه کردند. به طور کلی نتایج نشان داد که مقادیر خطای محاسبه شده در مرحله آزمایش برای تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده اطمینان ۹۵ درصد قرار گرفته است. با بررسی مدل CARMA در مدل‌سازی مقادیر EC اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های موجود در حوضه دریاچه ارومیه نتایج نشان داد که توانایی مدل CARMA در مدل‌سازی مقادیر EC نیز همچون پارامتر TDS رضایت‌بخش می‌باشد. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه دریاچه ارومیه، ایستگاه بالقچی با مقدار RMSE برابر با ۱۵٫۱۶ (mho/cm) کمترین میزان خطا را در مرحله آموزش داشته که این مقدار خطا در مرحله آزمایش حدود ۹/۸۹ mho/cm می‌رسد. در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه مقادیر خطا (RMSE) در محدوده اطمینان قرار داشته و میزان خطای مدل قابل قبول است. نتایج نشان داد که مدل کارما با توجه به شرایط موجود بودن داده می‌تواند بهترین مدل برای جایگزینی مدل آرما باشد. همان‌طور که کاماچو (۱۹۸۴) و مک‌لئود (۱۹۷۸) و هپیل نشان دادند با توجه به گسترش تکنیک‌های شبیه‌سازی، مدل کارما پوشش مناسبی برای مدل‌های آرما خواهد بود (۲۷).

نتیجه‌گیری: مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی متأثر از پارامترهای مختلف موجود در منطقه مورد مطالعه است. به‌همین دلیل با دخالت پارامترهای مرتبط با داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی، تا حد زیادی می‌توان دقت مدل‌سازی و تحلیل را افزایش داد. در این مطالعه از چند متغیره کارما (داده‌های دبی جریان سالانه، SAR، EC، TDS و pH به‌عنوان ورودی) استفاده

را در مدل‌سازی مقادیر EC و TDS ارائه کردند. به نظر می‌رسد مدل‌های چند متغیره سری زمانی به دلیل دخالت دادن پارامترهای مؤثر نتایج بهتری را نسبت به مدل‌های تک متغیره که از حافظه یک سری زمانی استفاده می‌کند، ارائه کند. هم‌چنین با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای تمامی پارامترهای دخالت داده شده می‌توان میزان تأثیر هر یک از پارامترها را مشخص کرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مدیریت و معاونت محترم پژوهشی پردیس دانشگاهی دانشگاه ارومیه اعلام می‌داریم. چرا که بدون حمایت‌های ایشان، انجام این تحقیق ممکن نمی‌شد. هم‌چنین از مدیرعامل محترم و همکاران واحد مدیریت مطالعات پایه منابع آب شرکت سهامی آب منطقه ای استان آذربایجان غربی که در زمینه آمار ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه با ما همکاری نمودند، قدردانی بعمل می‌آید.

References:

- Khalili, K. Fakhelifard, A. dinpajhooh, Y& behmanesh, J., 2012. The introduction and application of the proposed integrated model BL-ARCH for predict daily river discharge (Case Study: Shahrchay River of Orumiyeh). Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology). Volume 27, Number 2.
- Khalili, K. Nazeri Tahrudi, M. 2014, Modeling of Annual water level of Urmia Lake by using linear time series models. Journal of water management in arid areas. Volume 1, Issue 1, 35-25.
- Khalili, K. Nazeri Tahrudi, M & Ahmadi. F. 2014. Evaluation and analysis of river water volume by using historical data and predicted (Case Study: West River basin of Urmia Lake). Irrigation Science and Engineering, Volume 38, Number 1, 97-109.
- Khalili, K.; hesari, B. 2004, predicted the drought by time-series models (case study Orumieh synoptic station). The first annual conference of Iran Water Resources Management: 26 to 27 November, Faculty of Engineering, Tehran University.
- AbbasZadeh Afshar, M. Khalili, K. and BEHMANESH, J. 2015. Application of Consolidated AR-ARCH model to predict the water level of the Lake. Knowledge of soil and water. Vol. 25, No. 2/4, 175-186.
- Nazeri Tahrudi M, Khalili K, 2015. Compare Fusion models ARMA-ARCH and ARMA-PARCH at the moment of maximum flood (Case Study: West Azerbaijan Province Siminehrood River).
- Nazeri Tahrudi M, Khalili K, 2015. ARMA parameter estimation methods for modeling and prediction of annual rainfall, case study: Shahrekord synoptic stations. International Journal of analytical research and development of water resources. Issue 2, 121-130.
- Asadollahfardi A, Taklifi G.H, Ghanbari A. 2012. Application of artificial neural network to predict TDS in Talkheh Rud River. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138(4):70-363.
- Box, G.E. and Jenkins, G.M. 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://mpa.ub.uni-muenchen.de/6610/>
- Douglas, E.M., Vogel, R.M., Kroll, C.N., 2000. Trends in flood and low flows in the United States: impact of spatial correlation. J. Hydrol. 240, 90-105.
- De Domenico M, Ghorbani MA, Makarynskyy O, Makarynska D and Asadi H, 2013. Chaos and reproduction in sea level. Applied Mathematical Modeling 37: 3687-3697.

13. Fiering, M. B. 1964. Multivariate techniques for synthetic hydrology. *Journal of hydrology. Div. ASCE*, 90, HY5, pp 43-60.
14. Kendall, M.G. 1938. A new measure of rank correlation, *Biometrika* 36: 81-93.
15. Mann, H.B. 1945. Nonparametric test against trend, *Econometrica* 13: 245-259.
16. Matalas, N. C. 1967. Mathematical assessment of synthetic hydrology. *Journal of Water Resource*. 3, 4, pp937-945.
17. Matalas, N. C. and Wallis, J. R., 1971. Statistical properties of multivariate fractional noise processes. *Journal of water resource*. 3, 4, pp. 1460-1468.
18. Mejia, J. M., 1971. On the generation of multivariate sequences exhibiting the Hurst phenomenon and some state university, Fort Collins, Colorado.
19. O'Connel, P.E., 1974. Stochastic modeling of long-term persistence in streamflow sequences. Ph.D, Thesis. Imperial College, University of London.
20. Salas, J. D., Delleur, J. W., Yevjevich, V. and Lane, W. L., 1980, *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 484 p. (2nd Printing 1985, 3rd Printing, 1988).
21. Şen, Z. 2012. Innovative Trend Analysis Methodology. *J. Hydrol. Eng.*, 17(9), 1042–1046.
22. Thomas H.A., Fiering M.B. 1962. *Mathematical Synthesis of Stream Flow Sequences for the Analysis of River Basin by Simulation*. Harward University Press, Cambrige, 751pp.
23. Valencia, D. and Schaake, J. C. 1973. Disaggregation processes in stochastic hydrology. *Journal of water resource* 9, 3, pp. 580-585.
24. Young GD and Pisano WC, 1968. Operational hydrology using residuals. *Journal of the Hydraulics Division* 94(4): 909-924.
25. Yu, Y.S., Zou, S., Whittemore, D. 1993. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150: 61-80.
26. Zou P, Jingsong Y, Jianrong F, Guangming L and Dongshun L, 2010. Artificial neural network and time series models for predicting soil salt and water content. *Agricultural Water Management* 97: 2009-2019.
27. McLeod, A. I., & Hipel, K. W. 1978. Simulation procedures for Box-Jenkins models. *Water Resources Research*, 14(5), 969-975.