Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 13, Oct.-Nov. 2019, p. 945-958

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۳، مهر - آبان ۱۳۹۸، ص. ۹۵۸-۹۴۵

مدل‌سازی پارامترهای کیفی رودخانه با استفاده از مدل‌های هیبریدی سری زمانی

لعیا سپهری[1*]، کیوان خلیلی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

چکیده

در این تحقیق به منظور بررسی و ارزیابی دقت مدل‌های تک متغیره سری زمانی، چند متغیره سری زمانی و مدل‌های هیبریدی در مدل‌سازی مقادیر کیفی جریان رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه واقع در غرب دریاچه ارومیه از داده‌های کیفی جریان رودخانه و دبی متناظر با آن در مقیاس سالانه و ماهانه و در دوره آماری ۹۵-۱۳۵۴ استفاده شده است. پارامترهای کیفی مورد بررسی در این تحقیق مقادیر EC، TDS و SAR می‌باشند که در این مطالعه مقادیر EC و TDS مدل‌سازی شده و مورد بررسی قرار گرفتند. مدل ARMA(1,0) برای مقادیر EC و TDS ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده به‌عنوان مدل برتر انتخاب گردید. نتایج نشان داد که دقت مدل‌های تک متغیره خطی سری زمانی در مدل‌سازی پارامترهای EC و TDS ایستگاه‌های مورد مطالعه رضایت بخش نبوده ولی قابل قبول می‌باشد. در مورد مدل‌های تک متغیره ماهانه نیز نتایج مشابه حاصل شد. بعد از بررسی مدل تک متغیره سری زمانی، مدل‌های چند متغیره سری زمانی در مقیاس ماهانه و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. در این مدل، داده‌های EC، TDS، SAR و دبی جریان رودخانه مورد بررسی در محل ایستگاه‌های هیدرومتری پی‌قلعه به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شد. نتایج بررسی میزان خطای مدل‌های CARMA و MPAR در بررسی مقادیر EC نشان داد که به‌طور متوسط مقادیر خطا به ترتیب ۲۵ و ۲۱ درصد نسبت به مدل‌های ARMA و PARMA کاهش می‌یابد که این بهبودی مقادیر خطا در مورد داده‌های TDS به ترتیب برابر با ۳۴ و ۳۳ درصد می‌باشد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه مدل‌سازی مقادیر EC و TDS در مقیاس سالانه و ماهانه با استفاده از مدل‌های چندمتغیره سری زمانی نتایج بهتری را نسبت به مدل‌های تک متغیره خانواده آرما ارائه می‌کند. در نهایت با بکارگیری مدل‌های هیبریدی سری زمانی، میزان خطای ناشی از مدل‌سازی مقادیر EC در مقیاس ماهانه و سالانه به ترتیب حدود ۴۶ و ۱۰ درصد و برای مقادیر TDS حدود ۴۰ و ۱۲ درصد بهبود بخشیده و کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: سری زمانی، کیفیت آب، مدل‌های چندمتغیره، مدل‌های همزمان، مدل‌های غیرخطی

مقدمه

هدف اصلی تحلیل سری زمانی شناسایی، توصیف و کمی کردن اجزاء سری زمانی برای یک سری داده‌های متوالی مشخص است (Shahin et al., 1993). تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی هیدرولوژیک به منظور دنبال کردن اهداف مختلف صورت می‌پذیرد. مهم‌ترین هدف، شناسایی روند متغیرهای هیدرولوژیک است. دلیل دیگر برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، توسعه مدل و کالیبره کردن آن به منظور توصیف شاخص‌های وابسته به زمان یک متغیر هیدرولوژیک است. پیش بینی مقادیر آینده یک متغیر هیدرولوژیک وابسته به زمان نیز از اهداف مهم تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی می‌باشد. علاوه بر متغیرهای وابسته به زمان، متغیرهای وابسته به مکان نیز در هیدرولوژی وجود دارد که به آن‌ها سری‌های فضایی[3] گفته می‌شود. در سری‌های فضایی محل برداشت داده‌ها از اهمیت برخوردار است و داده‌ها بر اساس فواصل مکانی به صورت متوالی چیده می‌شوند. در واقع در این سری‌ها فاصله مکانی جایگزین فاصله زمانی می‌شود. تغییرات سطح آب زیرزمینی در یک آبخوان، تغییرات مکانی خصوصیات خاک و یا سفره آب زیر زمینی، تغییرات مکانی بارش نمونه‌هایی از متغیرهای مکانی هیدرولوژیک هستند. روش‌های تجزیه و تحلیل به کار گرفته شده در سری‌های زمانی را می‌توان

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، گروه عمران، موسسه آموزش عالی صبا، ارومیه، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: (Email: layasepehri@gmail.com

3- Spatial data series

www.SID.ir

Archive of SID

برای داده‌های فضایی نیز به کار گرفت (Shahin et al., 1993) به همین دلیل گاهی از این سری‌ها نیز به‌عنوان سری‌های زمانی یاد می‌شود هرچند که ماهیت متفاوتی دارند.

تاکنون روش‌های زیادی برای مدل‌سازی سری‌های زمانی هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی مختلف ارائه گردیده است (Salas., 1993 and McLeod Al and Hipel., 1978). یک روش آماده سازی داده‌ها جهت مدل‌سازی، این است که ابتدا سری زمانی مورد نظر استاندارد شده سپس مدل مناسب برای سری تغییر یافته برازش داده می‌شود (Salas., 1993). سری استاندارد (یا فیلتر) شده معمولاً از تفاضل داده‌ها از مقدار میانگین و تقسیم حاصل این تفاضل بر انحراف معیار بدست می‌آید. روش دیگر که توسط کارآموز و همکاران (۲۰۰۳) و ماشیوال و جیها (۲۰۱۲) پیشنهاد شده است، تخمین مؤلفه‌های روند و تناوب در سری می‌باشد. سپس این مؤلفه‌ها از داده‌های اصلی کسر می‌گردند، حاصل سری تصادفی مورد نظر برای مدل‌سازی است (Machiwal and Jha., 2012 and Karamouz et al., 2003). کومورنیک و همکاران (۲۰۰۶) عملکرد مدل‌های غیرخطی سری زمانی را در پیش‌بینی فرآیندهای هیدرولوژیکی مورد مقایسه قرار دادند. در این تحقیق از داده‌های میانگین ماهانه جریان رودخانه واقع در هفت ایستگاه هیدرومتری حوضه رودخانه آلپاین[1] در کشور اسلواکی جهت برازش مدل‌های غیرخطی TAR و SETAR استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل TAR نسبت به مدل SETAR پیش‌بینی‌های دقیق‌تری ارائه می‌نماید (Komornik et al., 2006). 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 دادند. در این تحقیق مدل‌های ARIMA و GARCH بر روی سری داده‌های مشاهداتی برازش داده شده و کارآیی این مدل‌ها مورد ارزیابی و تأیید قرار گرفت (Caiado., 2007). در ضمن جهت بهبود نتایج پیش‌بینی پیشنهاد شده که از مدل‌های ترکیبی استفاده گردد. قربان‌پور و همکاران (۲۰۱۰) از مدل‌های سری‌زمانی ARIMA و DARMA[2] برای شبیه سازی دبی جریان رودخانه سنگ سوراخ استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل ARIMA عملکرد بهتری در مدل‌سازی جریان هفتگی و ماهانه این رودخانه کارستی دارد (Ghorbanpoor et al., 2010). فریدونی و همکاران (۲۰۱۲) مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و ARMA را برای پیش‌بینی جریان رودخانه قره آغاج در جنوب غرب ایران به کار بردند. نتایج حاکی از آن بود که شبکه عصبی عملکرد بهتر داشته به طوریکه خطای این مدل (m^3/s ۱/۹۵) بوده و مدل ARMA(1,13) با خطای (m^3/s ۵/۳۷) جریان رودخانه را پیش‌بینی کرده بود (Freydooni et al., 2012). ولی‌پور و همکاران (۲۰۱۳) از مدل‌های ARMA، ARIMA و مدل شبکه عصبی خودهمبسته[3]، برای مدل‌سازی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد دز استفاده کردند (Valipour et al., 2013). طبق نتایج حاصله افزایش مرتبه مدل‌ها باعث بهبود دقت مدل‌سازی شده و مدل ARIMA نسبت به ARMA با دقت بیشتری توانسته جریان ماهانه را پیش‌بینی نماید و به طور کلی مدل شبکه عصبی خودهمبسته بهتر از مدل‌های سری‌زمانی جریان ورودی ماهانه به سد دز را مدل‌سازی کرده بود. از سال ۱۹۶۰ تلاش‌ها و پژوهش‌های گسترده‌ای در راستای تجزیه و تحلیل سری‌های استوکاستیک هیدرولوژی و مدل‌های تک‌متغیره تولید داده شروع شد (Salas et al., 1980). از آن پس طراحی و عملیاتی کردن سیستم‌های منابع آب اغلب با استفاده از چندین سری زمانی متعدد هیدرولوژیکی و منابع آبی صورت گرفت و تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی چند متغیری‌ها شتاب گرفتند. تاکنون مدل‌های برازشی برروی سری‌های زمانی هیدرولوژی نظیر جریان رودخانه، بارش، تبخیر و ... به صورت جداگانه انجام گرفته است که اکثریت این مطالعات بر روی فرآیند جریان رودخانه و بارش بوده است. در حالیکه برای کسب دید جامع از شرایط هیدرولوژیک منطقه عوامل مؤثر دیگری نیز باید دخیل شود. به همین دلیل اهداف زیر در این تحقیق دنبال شده است:

الف) مدل‌سازی پارامترهای کیفی رودخانه نظیر EC و TDS با استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی در مقیاس سالانه و ماهانه. ب) مدل‌سازی پارامترهای کیفی یاد شده تحت تأثیر دبی جریان و پارامترهای کیفی در مقیاس سالانه و ماهانه با استفاده از مدل‌های چندمتغیره سری زمانی و ج) مدل‌سازی پارامترهای کیفی رودخانه با استفاده از مدل هیبریدی سری زمانی.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

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. شکل ۱ موقعیت استان آذربایجان غربی و ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه در محل رودخانه گدارچای را نشان می‌دهد.

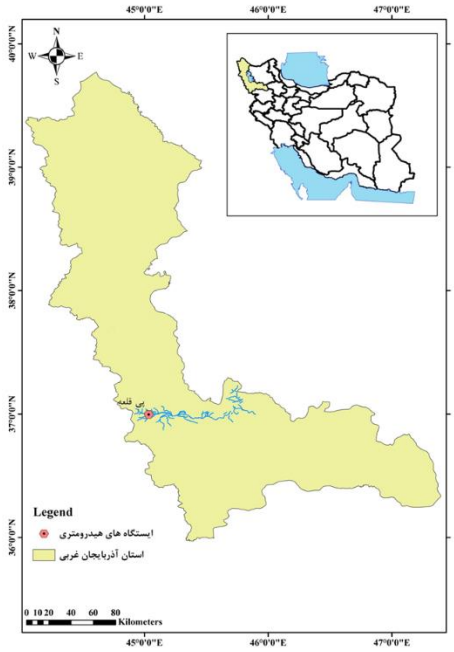
1- Alpine

2- Deseasonalized Auto Regressive Moving Average (DARMA)

3- Autoregressive Artificial Neural Network

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت استان آذربایجان غربی و ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه در ایران

در این مطالعه دقت مدل‌های سری زمانی تک متغیره، چند متغیره و هیبریدی خانواده آرما در مدل‌سازی مقادیر TDS و EC سالانه رودخانه گدارچای در محل ایستگاه پی‌قلعه در دوره آماری ۹۵-۱۳۵۴ مورد بررسی قرار گرفت. جهت مدل‌سازی مقادیر EC و TDS سالانه ایستگاه‌های مذکور با استفاده از مدل‌های تک متغیره سری زمانی از داده‌های سالانه و ماهانه EC و TDS در دوره آماری یاد شده استفاده شد. هم‌چنین جهت مدل‌سازی مقادیر EC و TDS با استفاده از مدل‌های چندمتغیره سری زمانی از داده‌های EC، TDS، SAR و دبی سالانه ایستگاه‌های مذکور در مقیاس سالانه و ماهانه استفاده شده است.

مدل‌های خطی AR و ARMA

در صورتی که x_t یک سری‌زمانی با توزیع نرمال با میانگین μ، انحراف معیار σ و دارای همبستگی زمانی باشد، مدل خود همبسته از درجه p را به شکل کلی زیر می‌توان نوشت (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۹):

$$x_t = \mu + \phi_1(x_{t-1} - \mu) + \ldots + \phi_p(x_{t-p} - \mu) + \varepsilon_t \quad (۱)$$

و یا:

$$x_t = \mu + \sum_{j=1}^{p} \phi_j (x_{t-j} - \mu) + \varepsilon_t \quad (۲)$$

در صورتیکه متغیر Z_t به صورت یک متغیر نرمال استاندارد شده ($Z_t = \frac{x_t - \mu}{\sigma}$) در مدل‌سازی به کار رود فرم کلی معادله همبسته $AR(p)$ به صورت زیر خواهد بود:

$$Z_t = \sum_{j=1}^{p} \phi_j Z_{t-j} + \varepsilon_t \quad (۳)$$

در روابط بالا Z_t سری نرمال استاندارد شده، ϕ پارامتر مدل، ε_t سری تصادفی مدل و p نشان دهنده مرتبه مدل خودهمبسته می‌باشد (Salas et al., 1980).

مدل‌های چند متغیره آرما (همزمان آرما[1])

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 از مدل‌های تک متغیره است. از مدل‌های خطی چند متغیره، می‌توان به مدل اتورگرسیو چند متغیره MAR(p)، مدل همزمان ARMA(p,q) که به‌عنوان مدل CARMA(p,q) تعریف می‌شود، مدل ترکیبی همزمان و میانگین متحرک CARMA(p,q) که به‌عنوان CSM-CARMA(p,q) تعریف می‌شود و مدل پریودیک اتورگرسیو چند متغیره فصلی MPAR(p) نام برد. مدل سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی چند متغیره بر اساس مدل کامل چند متغیره ARMA، اغلب مشکلات در برآورد پارامترهای آن به وجود می‌آید. مدل CARMA (مدل همزمان اتورگرسیو با میانگین متحرک) به‌عنوان یک جایگزین ساده‌تر به مدل کامل چند متغیره ARMA پیشنهاد شد (Salas et al., 1980). 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 ازمدل تک متغیره ARMA دانست. بنابراین، به جای برآورد پارامترهای مدل به طور مشترک، می‌توان آنها را به طور مستقل برای هر سایت تک متغیره ARMAبرآورد کرد. که این 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:

1 - Contemporaneous Autoregressive Moving Average

www.SID.ir

Archive of SID

$$Y_t = \sum_{i=1}^{p}\varphi_j Y_{t-j} + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^{q}\theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (۴)$$

که در آن Y_t یک ماتریس ستونی n*1 از سری مشاهداتی Y_t^k با توزیع نرمال و میانگین صفر به نمایندگی از سایت‌های مختلف k=1,2,…,n، $\varphi_1,\varphi_2,...,\varphi_p$ ماتریس قطری n*nپارامترهای مدل اتورگرسیو (خودهمبسته) و $\theta_1,\theta_2,...,\theta_q$ ماتریس قطری n*n پارامترهای مدل میانگین متحرک است. ε_t نیز یک ماتریس n*1 داده‌های تصادفی نرمال با میانگین صفر و واریانس-کواریانس g است.

مدل‌های PARMA

مدل‌های دوره‌ای یا پریودیک خود همبسته با میانگین متحرک درواقع حالت خاصی از مدل‌های ARMA هستند که تنها تفاوت آن با مدل‌های مرسوم ARMA این است که برای مدل‌های پریودیک به تعداد پریودها ضرایب مدل به دست می‌آید. به‌طور مثال برای مدل‌سازی مقادیر ماهانه باید برای هر ماه یک مدل اجرا شود (ناظری و همکاران، ۱۳۹۶). مدل PARMA(p,q) به‌صورت رابطه (۵) بیان می‌شود (Salas., 1993):

$$Y_{v,\tau} = \sum_{i=1}^{p}\varphi_{i,\tau}\cdot Y_{v,\tau-1} + \varepsilon_{v,\tau} - \sum_{i=1}^{q}\theta_{j,\tau}\cdot\varepsilon_{v,\tau-1} \quad (۵)$$

که در آن $Y_{v,\tau}$ برابر با مقادیر داده‌های مورد بررسی یا تخمینی در سال V و فصل (دوره) τ که برای هر دوره به‌صورت نرمال و استاندارد می‌باشد. $\varepsilon_{v,\tau}$ برابر با سری زمانی نرمال و استاندارد مقادیر باقی‌مانده مدل و φ و θ پارامترهای مدل می‌باشند.

مدل‌های MPAR

جهت مدل‌سازی مدل‌های چند متغیره فصلی یا سالیانه، بیش از یک سری داده در مقیاس فصلی یا سالانه در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه مورد نیاز است. به‌طور کلی مدل‌های چندمتغیره پریودیک خودهمبسته برای n ایستگاه به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد (Tesfaye et al., 2006):

$$Y_{v,\tau} = \sum_{i=1}^{p}\varphi_{i,\tau}\cdot Y_{v,\tau-1} + \varepsilon_{v,\tau} \quad (۶)$$

که در آن $Y_{v,\tau}$ یک ماتریس N*1 از داده‌های نرمال شده مشاهداتی با میانگین صفر و انحراف معیار یک به اندازه v سال و τ فصل، $\varphi_{1,\tau},\varphi_{2,\tau},\varphi_{3,\tau},...\varphi_{p,\tau}$ ماتریس N*N پارامترهای مدل خودهمبسته پریودیک و $\varepsilon_{v,\tau}$ یک ماتریس N*1 از سری باقی مانده مدل با میانگین صفر و ماتریس N*N واریانس- واریانس است. این ماتریس به زمان و خودهمبستگی با تأخیر صفر وابسته است (Tesfaye et al., 2006).

مدل‌های ARCH

این مدل برای اولین بار در مطالعات اقتصادی توسط انگل (۱۹۸۲) ارائه شد و اولین مدلی است که یک چارچوب نظام‌مند را برای مدل‌سازی نوسانات فراهم می‌کند (Engle., 1982). ایده اصلی مدل‌های ARCH به دو صورت است که (الف) میانگین اصلاح شده بازگشت سرمایه 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، مدلARCH به‌صورت زیر فرض می‌شود:

$$\varepsilon_t = \sigma_t z_t \quad and \quad \sigma_t^2 = a_0 + \sum_{i=1}^{m} b_i \varepsilon_{t-i}^2 \quad (۷)$$

که در آن σ_t^2 واریانس شرطی، ε_t عبارت خطا یا باقی‌مانده مدل با میانگین صفر و واریانس ۱ است، $a_0 \geq 0, b_i \geq 0$ پارامترهای مدل، m برابر با مرتبه مدل و Z_t سری زمانی پارامتر مورد نظر است (Engle., 1982).

ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی عملکرد مدل از دو معیار ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا[1] استفاده گردید. هرچه مقدار RMSE کمتر و مقدار ضریب تبیین بیشتر باشد، نشان دهنده‌ی دقت بالاتر مدل است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{T}(\hat{x}_t - x_t)^2}{T}} \quad (۸)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{T}(\hat{x}_t - x_t)^2}{\sum_{t=1}^{T}(x_t - \bar{x})^2} \quad (۹)$$

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

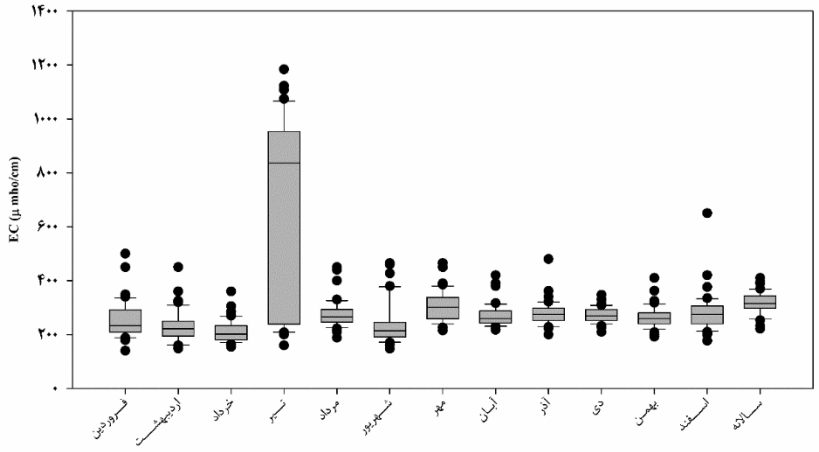
نتایج و بحث

در این تحقیق در ابتدا نتایج اولیه سری‌های زمانی شامل روند ارائه گردیده است. سپس نتایج حاصل از مدل‌های تک متغیره و چند متغیره سری زمانی در مدل‌سازی مقادیر EC و TDS ارائه شده است. تغییرات اولیه داده‌های کیفی مورد بررسی در دوره آماری ۹۵-۱۳۵۴ به شرح شکل‌های ۲ و ۳ ارائه گردید.

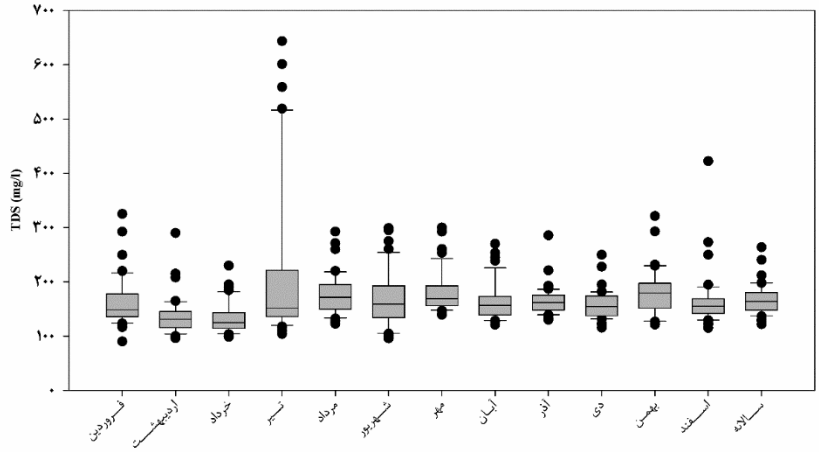
1- Root Mean Square Error

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- تغییرات مقادیر EC (µmho/cm) رودخانه گدارچای در محل ایستگاه پی‌قلعه در دوره آماری ۹۵-۱۳۵٤



شکل ۳- تغییرات مقادیر TDS (mg/l) رودخانه گدارچای در محل ایستگاه پی‌قلعه در دوره آماری ۹۵-۱۳۵٤

سری زمانی ۴۲ ساله داده‌های کیفی مورد استفاده در مقیاس سالانه و ماهانه با استفاده از آزمون‌های اولیه مورد بررسی قرار گرفتند. جهت افزایش دقت مدل‌سازی با استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی خانواده ARMA، داده‌های مورد استفاده باید بدون روند باشند. نتایج بررسی روند تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی در ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه با استفاده از آزمون من – کندال اصلاح شده نشان داد که مقادیر هدایت الکتریکی ایستگاه مذکور در ماه‌های خرداد و دی و همچنین مقیاس سالانه روندی معنی دار در سطح ۵ درصد تجربه کرده است که این مقادیر معنی‌دار کاهشی می‌باشد. سایر ماه‌های مورد مطالعه روندی غیر معنی‌دار را در طی دوره آماری مورد بررسی تجربه کرده‌اند. به غیر از فروردین ماه که روندی افزایشی و غیرمعنی‌دار در مقادیر هدایت الکتریکی داشته است، سایر ماه‌ها در طی دوره آماری مورد بررسی با روندی کاهشی مواجه بودند. روند تغییرات مقادیر TDS ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه در طی دوره آماری مورد بررسی تلفیقی از روندهای کاهشی و افزایشی را تجربه کرده است. روند تغییرات مقادیر TDS در ماه‌های خرداد، تیر و شهریور در دوره آماری مورد بررسی معنی دار می باشد.

نتایج مدل‌سازی داده‌های EC و TDS مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل‌های ARMA

بعد از تأیید بررسی اولیه داده‌های مورد مطالعه، نتایج نشان داد که داده‌های سری زمانی مورد بررسی با توابع تبدیل لگاریتم و با ضرایب چولگی مناسب به شکل مناسبی نرمال می‌شوند. ابتدا مدل‌های تک متغیره سری زمانی (ARMA) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بر اساس معیار آکائیکه، مدل ARMA(1,0) به عنوان بهترین مدل بوده و بر همین اساس این مدل برای تمام ایستگاه‌ها انتخاب گردید. با در نظر گرفتن ۱۲ سال داده‌های انتهای دوره آماری (۹۵-۱۳۸۴) به‌عنوان داده‌های مرحله آزمایش، دقت (ضریب همبستگی) و خطای مدل (جذر میانگین مربعات خطا) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی دقت و خطای مدل در دو مرحله آموزش و آزمایش به شرح جدول ۱ ارائه گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- نتایج بررسی و صحت‌سنجی مدل ARMA(1,0) در مدل‌سازی مقادیر EC و TDS ایستگاه پی‌قلعه

آزمون مورد بررسی	EC		TDS	
	آموزش	آزمایش	آموزش	آزمایش
RMSE	۱۴/۵۰	۱۸/۶۹	۱۶/۷۸	۱۸/۸۹
Nash	۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۵۵	۰/۲۲
R_square	۰/۸۵۶	۰/۷۶۰	۰/۶۶	۰/۲۷

با توجه به دامنه تغییرات سری زمانی داده‌های هدایت الکتریکی در سطح منطقه مورد مطالعه، میزان خطای محاسبه شده منطقی به نظر می‌رسد. این میزان خطا در مورد داده‌های TDS در مرحله آموزش برابر با ۱۶/۷۸ و در مرحله آزمایش برابر با ۱۸/۸۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در مورد مدل‌سازی مقادیر TDS ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه نتایج بررسی کارایی مدل نشان داد که این مدل توانایی خوبی در مدل سازی مقادیر TDS ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه ندارد. به طوری که کارایی مدل در مدل سازی مقادیر TDS در این ایستگاه ۲۲ درصد برآورد گردید. این مقدار در مرحله آزمایش مدل بوده است. میزان کارایی مدل آرمان در مدل‌سازی مقادیر TDS این ایستگاه برابر با ۵۵ درصد برآورد گردید. با توجه به نتایج حاصله مشاهده می شود که مدل آرمان دقت لازم برای پیش‌بینی مقادیر TDS این ایستگاه را ندارد.

مدل‌های CARMA و داده‌های سری زمانی TDS و EC در مقیاس سالانه

بعد از بررسی دقت مدل‌های ARMA در شبیه‌سازی مقادیر EC و TDS در مقیاس سالانه، داده‌های نرمال شده با استفاده از مدل‌های چندمتغیره و با در نظر گرفتن داده‌های متوسط دبی سالانه، متوسط نسبت جذب سدیم به‌عنوان ورودی مدل، مدل‌سازی گردید. با استفاده از داده‌های نرمال و استاندارد شده مورد بررسی، مدل CARMA(1,0) با کمترین مقدار واریانس در بین سایر مدل‌ها، به‌عنوان مدل برتر در نظر گرفته شد. نتایج مدل‌سازی مقادیر EC و TDS ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی با استفاده از مدل کارما به شرح جدول ۲ ارائه گردید. جهت بررسی صحت سنجی مدل چند متغیره نیز از ۱۲ سال داده مشاهداتی انتهای دوره آماری استفاده شد.

میزان خطای مدل در مدل‌سازی پارامتر TDS سالانه ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه نیز در دو مرحله آموزش و آزمایش به ترتیب برابر با ۱۱/۷۷ و ۱۱/۴۳ میلی گرم بر لیتر می‌باشد که نسبت به مدل مرسوم آرما بسیار دقیق‌تر است. کارای مدل کارما در مدل سازی مقادیر TDS سالانه ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه کمتر از کارایی مدل در شبیه‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی می‌باشد. دقت شبیه‌سازی‌ها در مورد این پارامتر در دوره آماری مورد بررسی در مرحله آموزش برابر با ۸۱ درصد و در مرحله آزمایش برابر با ۶۶ درصد برآورد گردید. با توجه به اینکه هر دو مدل آرما و کارما بر پایه آمار و احتمالات و تصادفی بودن استوار می‌باشند و ماهیت یکسان دارند، دلیل بهبودی نتایج مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی و TDS سالانه ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه را این گونه می‌توان توجیه نمود:

جدول ۲- نتایج بررسی و صحت‌سنجی مدل CARMA(1,0) در مدل‌سازی مقادیر EC و TDS ایستگاه پی‌قلعه

آزمون مورد بررسی	EC		TDS	
	آموزش	آزمایش	آموزش	آزمایش
RMSE	۱۱/۶۴	۱۲/۸۲	۱۱/۷۹	۱۱/۴۳
Nash	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۷۸	۰/۷۲
R_square	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۶۶

در مدل‌سازی پارامترهای کیفی یاد شده در مدل‌های چند متغیره سری زمانی کارما از داده‌های SAR و دبی جریان رودخانه در مقیاس سالانه استفاده شد. در واقع در مدل‌های چند متغیره کارما افزودن SAR و دبی جریان به عنوان ورودی مدل و در نظر گرفتن وزنی برای آن در معادله شبیه‌سازی، دقت مدل‌سازی‌ها افزایش یافت. پارامتر دبی جریان همبستگی بالایی با مقادیر هدایت الکتریکی و TDS دارد. در واقع با کاهش میزان دبی جریان، مقادیر سری زمانی داده‌های EC و TDS کاهش می‌یابند. به عبارت دیگر با کاهش دبی جریان رودخانه، میزان املاح موجود در آب از جمله شوری افزایش یافته و باعث افزایش هدایت الکتریکی خواهد شد. این رابطه معکوس می‌تواند دقت مدل‌سازی‌ها را تا حد زیادی افزایش دهد. در ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه میزان خطای مدل‌سازی مقادیر EC با استفاده از مدل‌های CARMA نسبت به مدل‌های ARMA حدود ۲۴ درصد در مرحله آموزش و ۴۶ درصد در مرحله آزمایش بهبود یافته است. در این ایستگاه میزان خطای مدل‌سازی مقادیر TDS با استفاده از مدل‌های CARMA نسبت به مدل‌های ARMA حدود ۴۳ درصد در مرحله آموزش و ۶۵ درصد در مرحله آزمایش بهبود یافته است. کارایی مدل CARMA نسبت به مدل ARMA در مدل‌سازی مقادیر EC سالانه در مرحله آموزش حدود ۵ درصد و در مرحله آزمایش حدود ۱۲ درصد بهبود یافته است. کارایی مدل CARMA نسبت به مدل ARMA در مدل‌سازی مقادیر TDS سالانه در مرحله آموزش حدود ۲۳ درصد و در مرحله آزمایش حدود ۵۰ درصد بهبود یافته است.

نتایج نشان داد که میزان دقت (ضریب همبستگی) مدل CARMA نسبت به مدل تک متغیره ARMA در مدل‌سازی مقادیر TDS سالانه در ایستگاه پی‌قلعه حدود ۷ درصد در مرحله آموزش و حدود ۱۴ درصد در مرحله آزمایش افزایش یافته است. در مورد

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌سازی مقادیر EC ماهانه در ایستگاه‌های مذکور نیز میزان دقت (ضریب همبستگی) حدود ۱۸ درصد در مرحله آموزش و حدود ۶۰ درصد در مرحله آزمایش بهبود یافته و بیشتر شده است. به طور کلی نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه، مدل‌های چندمتغیره نتایج بهتری را در مدل‌سازی مقادیر کیفی رودخانه مورد مطالعه ارائه کرده است. در نهایت با مقایسه دو مدل سالانه آرما و کارما 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 و هیپل (۱۹۷۸) نشان دادند، با توجه به گسترش تکنیک‌های شبیه‌سازی، مدل کارما پوشش مناسبی برای مدل‌های آرما خواهد بود (Camacho., 1984 and McLeod and Hipel., 1978). در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه نتایج بررسی دقت و خطای دو مدل مذکور در مدل‌سازی مقادیر EC و TDS نشان داد که مدل چند متغیره سری زمانی نتایج بهتری را نسبت به مدل‌های تک متغیره سری زمانی در هر دو مقیاس سالانه و ماهانه ارئه می‌کند. این امر احتمالاً به دلیل دخالت پارامترهای مؤثر بر مقادیر EC و TDS می‌باشد. 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.

مدل‌های PARMA و داده‌های سری زمانی TDS و EC در مقیاس ماهانه (تک متغیره)

با استفاده از داده‌های نرمال و استاندارد شده مورد بررسی، مدل PARMA(1,0) با کمترین مقدار آکاییک در بین سایر مدل‌ها، به‌عنوان مدل برتر در نظر گرفته شد. در مرحله آموزش بیشترین میزان خطا مربوط به آبان ماه با ۴۱/۸۹ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. در همین ماه مقادیر خطا در مرحله آزمایش نیز برابر با ۴۸/۴۹ میکروموس بر سانتی‌متر است. کمترین میزان خطا در مرحله آموزش مربوط به خرداد ماه با ۷/۸۶ میکروموس بر سانتی‌متر و در مرحله آزمایش نیز مربوط به همین ماه با مقدار ۸/۷۹ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به دامنه تغییرات داده‌های هدایت الکتریکی ایستگاه هیدورمتری پی‌قلعه می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر خطا در دو مرحله آموزش و آزمایش در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، آذر، دی و تا حدودی اسفند ماه منطقی به نظر می‌رسد. دو ماه مهر و آبان بیشترین میزان خطا را در بین ماه‌های مورد بررسی به خود اختصاص داده‌اند. همانطور که از ضریب کارایی مدل (ضریب نش – ساتکلیف) قابل مشاهده می‌باشد، کارایی مدل در ماه‌های فروردین تا شهریور و آذر تا اسفند بالا و قابل قبول می‌باشد. در دو ماه مهر و آبان کارایی مدل در مرحله آزمایش منفی محاسبه گردید که نشان دهنده کارایی ضعیف مدل پارما در مدل‌سازی مقادیر سری زمانی هدایت الکتریکی در مقیاس ماهانه و در این دو ماه می‌باشد.

همانند مدل‌سازی مقادیر EC، در این پارامتر نیز در ماه فروردین کمترین میزان خطای ناشی از مدل‌سازی مقادیر TDS ماهانه دیده می‌شود. نتایج مدل‌سازی پارامترTDS در مقیاس ماهانه با استفاده از مدل‌های پارما نشان داد که مدل پارما برخلاف نتایج پارامترهای هدایت الکتریکی، نتایج خیلی خوبی را در مدل سازی مقادیر TDS در ماه‌های مختلف ارائه کرده است. بیشترین خطای ناشی از مدل‌سازی مقادیر TDS در مقیاس ماهانه در مرحله آموزش مربوط به تیرماه با ۱۰/۱۰ میلی گرم بر لیتر و در مرحله آزمایش مربوط به شهریور ماه با ۱۳/۰۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که به طور متوسط مقادیر خطای ناشی از مدل‌سازی پارامتر TDS در مقیاس ماهانه کمتر از مقیاس سالانه و با استفاده از مدل‌های آرما می‌باشد. ضریب کارایی مدل مورد بررسی یا آماره نش –ساتکلیف نیز بیانگر دقت بالای مدل پارما در مدل‌سازی مقادیر TDS در مقیاس ماهانه می‌باشد. مقادیر ضریب کارایی مدل بین ۸۷ تا ۹۸ درصد متغیر می‌باشد. در مرحله آزمایش نیز کارایی معادل بسیار بالا بوده است به طوری که به غیر از اردیبهشت ماه بقیه ماه‌ها ضریب کارایی بیش از ۸۰ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. به طور کلی نتایج حاصل از مدل سازی مقادیر مورد بررسی در مقیاس ماهانه با استفاده از مدلهای ماهانه سری زمانی (پارما) نشان داد که دقت مدل پارما در مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی و TDS ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه از دقت بالاتری نسبت به مدل مرسوم آرما در مقیاس سالانه برخوردار می‌باشد.

مدل‌های MPAR و داده‌های سری زمانی TDS و EC در مقیاس ماهانه (چندمتغیره)

جهت مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی و TDS ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه در مقیاس ماهانه با استفاده از مدل‌های چندمتغیره ماهانه سری زمانی خانواده آرما از داده‌های دبی جریان رودخانه، هدایت الکتریکی و پارامتر SAR در مقیاس ماهانه استفاده گردید. نتایج مقادیر خطا (جذر میانگین مربعات خطا) نشان داد که این مدل به خوبی توانسته است مقادیر هدایت الکتریکی ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه را در دوره آماری مورد بررسی و در مقیاس ماهانه تخمین زده و شبیه‌سازی کند. همان‌طور که از این جدول مشاهده می‌شود، متوسط مقادیر خطا در مدل‌سازی پارامتر هدایت الکتریکی در مقیاس ماهانه حدود ۱۷ میکروموس بر سانتی‌متر در مرحله آموزش و ۱۵/۴۳ میکروموس بر سانتی‌متر در مرحله آزمایش می‌باشد. متوسط ضریب کارایی مدل نیز در مدل سازی مقادیر هدایت الکتریکی با

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از مدل چندمتغیره سری زمانی MPAR در مرحله آموزش برابر با ۸۰ درصد و در مرحله آزمایش برابر با ۸۴ درصد می‌باشد. دامنه تغییرات مقادیر خطا در مدل‌سازی پارامتر هدایت الکتریکی در این ایستگاه بین پنج تا ۲۴ میکروموس بر سانتی‌متر در مرحله آموزش و بین پنج تا ۱۹ میکروموس بر سانتی‌متر در مرحله آزمایش متغیر می‌باشد. این در حالی است که دامنه تغییرات مقادیر خطا در مورد مدل پارما در مدل‌سازی پارامتر هدایت الکتریکی بین ۷ تا ۴۱ میکروموس بر سانتی‌متر در مرحله آموزش و بین ۸ تا ۴۸ میکروموس بر سانتی‌متر در مرحله آزمایش می‌باشد. نتایج بررسی دو مدل ماهانه PARMA و MPAR نشان داد که دقت مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه با دخالت پارامترهای موثر نظیر TDS، SAR و دبی جریان به شدت افزایش یافته است. با بررسی مقادیر خطا در دو مدل PARMA و MPAR مشخص گردید که با دخالت پارامترهای یاد شده در مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه در مقیاس ماهانه مشخص گردید که خطای مدل‌سازی‌ها در مرحله آموزش و آزمایش به طور متوسط حدود ۱۰ و ۳۱ درصد بهبود یافته است. خطای ناشی از مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی در مقیاس ماهانه با استفاده از مدل MPAR نسبت به مدل PARMA در دوره آماری مورد بررسی در ماه‌های فروردین تا اسفند به ترتیب به صورت ۰/۳۸، ۱۱/۷۴، ۳۴/۳۹، ۱۷/۶۹-، ۱۴/۹۹، ۸/۰۸، ۳۳/۹۶، ۴۸/۸۹، ۸/۹۹-، ۹/۶۱، ۸/۲۲ و ۲/۶۷ درصد در مرحله آموزش و ۵/۴۶، ۹/۷۱-، ۳۸/۹۰، ۱۱/۱۴، ۵۷/۷۷، ۴۱/۸۶، ۷۹/۱۹، ۵۷/۰۸، ۹/۹۱، ۱/۹۶، ۵۶/۸۰ و ۳۱/۸۸ درصد در مرحله آزمایش تغییر کرده است.

در مورد مدل‌سازی مقادیرTDS ماهانه ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه نیز از داده‌های دبی جریان، هدایت الکتریکی و SAR در مقیاس ماهانه به عنوان ورودی مدل استفاده گردید. نتایج بررسی و صحت‌سنجی مدل چند متغیره در سری زمانی خانواده آرما در مدل‌سازی مقادیر TDS ماهانه نشان داد که متوسط مقدار خطای ناشی از مدل‌سازی پارامتر یادشده در مرحله آموزش برابر با ۵/۸۳ میلی‌گرم بر لیتر و در مرحله آزمایش برابر با چه ۶/۴۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. کمترین میزان خطا مربوط به آبان ماه با ۴/۴۱ میلی‌گرم بر لیتر در مرحله آموزش و کمترین میزان خطا در مرحله آزمایش برابر با ۴/۴۴ میلی‌گرم بر لیتر و مربوط به شهریور ماه می‌باشد. تغییرات مقادیر خطا در مورد پارامتر TDS در مرحله آموزش بین ۴/۴۱ تا ۷ میلی‌گرم بر لیتر و در مرحله آزمایش بین ۴/۴۴ تا ۷/۶۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر می‌باشد. با توجه به دامنه تغییرات مقادیر TDS در این ایستگاه مشخص گردید که مقادیر خطای محاسبه شده ناشی از مدل‌سازی مقادیر TDS با استفاده از مدل‌های چند متغیره منطقی می باشد. ضریب کارایی مدل کارایی ۹۸ درصد را بطور متوسط برای این مدل در مرحله آموزش برآورد گردید. همچنین در مرحله آزمایش متوسط ضریب کارایی مدل چند متغیره سری زمانی در مدل سازی مقادیر TDS ماهانه ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه ۹۴ درصد محاسبه شد که نشان از کارایی بالای این مدل در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در مقایسه با مدل تک متغیره سری زمانی (PARMA) میزان خطای ناشی از مدل‌سازی پارامتر TDS در مقیاس ماهانه در ماه‌های فروردین تا اسفند در مرحله آموزش به ترتیب حدود ۱۲، ۵۲، ۲۰، ۳۶، ۴۹، ۳۷، ۴۱، ۴۸، ۴۴، ۳۹، ۲۶ و ۲۹ درصد عملکرد مدل MPAR بهبود یافته است. در مرحله آزمایش نیز تغییرات میزان خطای مدل MPAR در مقایسه با مدل PARMA در ماه‌های فروردین تا اسفند به ترتیب حدود ۲۴، ۳۹، ۳۵، ۲۰، ۳۶، ۶۶، ۲-، ۲۷، ۳۸، ۳۳، ۱۴ و ۲۳ درصد تغییر کرده است. به‌طور کلی نتایج بررسی دو مدل ماهانه نشان داد که مدل چند متغیره سری زمانی MPAR دقت بالاتری نسبت به مدل تک متغیره PARMA در مدل‌سازی مقادیر EC و TDS ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه در دوره آماری مورد بررسی دارد.

مدل‌های CARMA-ARCH و داده‌های سری زمانی TDS و EC در مقیاس سالانه

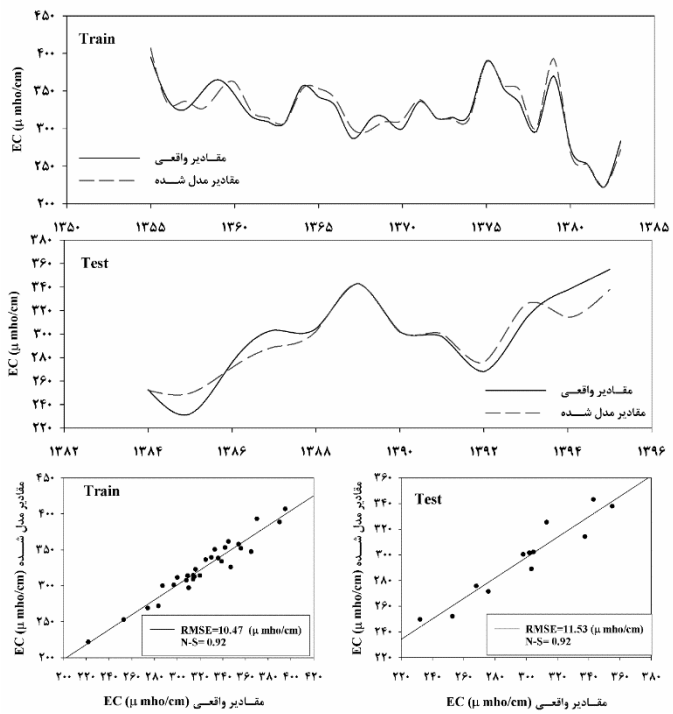
در این مطالعه علاوه بر مدل‌های خطی سری زمانی، از مدل‌های غیرخطی سری زمانی نیز استفاده گردید. بعد از بررسی دقت مدل‌های CARMA در شبیه‌سازی مقادیر EC و TDS در مقیاس سالانه، داده‌های سری باقی‌مانده مدل CARMA استخراج شده و با استفاده از مدل‌های خیرخطی خانواده ARCH مورد برازش قرار گرفت. بعد از برازش داده‌های بخش باقی‌مانده مدل CARMA با استفاده از مدل‌های غیرخطی، مدل CARMA-ARCH حاصل شد. نتایج مدل‌سازی مقادیر EC و TDS ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی با استفاده از مدل هیبریدی CARMA-ARCH به شرح شکل‌های ۴ و ۵ و جدول ۳ ارائه گردید.

جدول ۳- نتایج بررسی و صحت‌سنجی مدل CARMA-ARCH در مدل‌سازی مقادیر EC و TDS ایستگاه پی‌قلعه

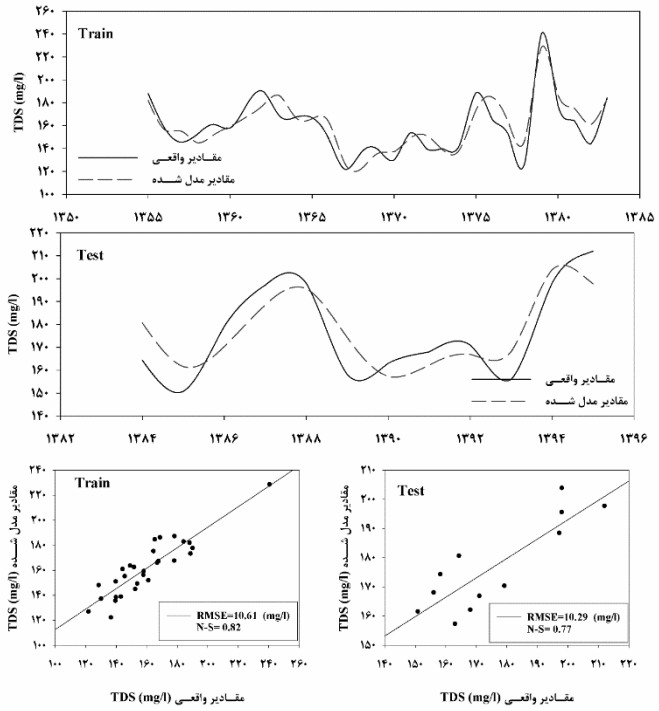
آزمون مورد بررسی	EC		TDS	
	آموزش	آزمایش	آموزش	آزمایش
RMSE	۱۰/۴۷	۱۱/۵۳	۱۰/۶۱	۱۰/۲۹
Nash	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۲	۰/۷۷
R_square	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۷۳

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- نتایج بررسی میزان دقت مدل CARMA-ARCH در تخمین مقادیر EC ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه



شکل ٥- نتایج بررسی میزان دقت مدل CARMA-ARCH در تخمین مقادیر TDS ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه

ضریب کارایی مدل (آماره نش – ساتکلیف) عملکرد مدل هیبریدی کار ما را در مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی و TDS تأیید می‌کند. در مرحله آموزش مدل هیبریدی کارما برازش مناسبی با داده های واقعی در ایستگاه مورد مطالعه داشته است. نتایج برازش داده‌های واقعی و مدل شده منتج از مدل هیبریدی CARMA-ARCH در مورد پارامتر هدایت الکتریکی نشان داد که در مرحله

www.SID.ir

Archive of SID

آموزش مدل به خوبی توانسته است نقاط بیشینه و کمینه داده‌ها را پیدا کرده و بهترین برازش را با داده‌های واقعی داشته باشد. این برازش در دوره آزمایش نیز به چشم می‌خورد. برازش داده‌های مدل شده مقادیر TDS در مرحله آموزش و آزمایش با داده‌های واقعی مناسب می‌باشد و مدل توانسته تا حدودی برازش یکنواختی بر داده‌ها داشته باشد. با توجه به تغییرات مقادیر مورد بررسی (هدایت الکتریکی و TDS) می‌توان نتیجه گرفت که مدل هیبریدی CARMA-ARCH خطای کمتری در مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی نسبت به مقادیر TDS دارد. با مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه با استفاده از مدل ARMA، CARMA و مدل هیبریدی CARMA-ARCH نتایج نشان داد که در مورد این پارامتر (هدایت الکتریکی) با اضافه شدن داده های دبی جریان، TDS و پارامتر SAR مدل آرما به مدل چند متغیره کارما تبدیل شد. با تبدیل مدل تک متغیره آرما به مدل چند متغیره کارما، خطای ناشی از مدل‌سازی پارامتر هدایت الکتریکی در مرحله آموزش ۲۷ درصد مرحله آزمایش ۳۸ درصد بهبود داشته و کاهش یافت. در مرحله بعد با اضافه شدن مدل غیر خطی به مدل چند متغیره کارما، مدل هیبریدی CARMA-ARCH حاصل گشت. با ساخته شدن این مدل، کاهش میزان خطای مدل کارما نسبت به مدل هیبریدی در مرحله آموزش ۱۲ و در مرحله آزمایش ۱۳ درصد انجام گرفت. در مورد مقادیر TDS نیز نتایج مدل‌سازی و صحت‌سنجی مدل‌های مورد بررسی نشان داد که میزان خطای مدل هیبریدی CARMA-ARCH نسبت به دو مدل ARMA و CARMA به ترتیب ۳۷ و ۱۲ درصد در مرحله آموزش و ۴۵ و ۱۱ درصد در مرحله آزمایش بهبود یافته و کمتر شده است. نتایج نشان دهنده دقت بالای مدل هیبریدی نسبت به دو مدل ARMA و CARMA می‌باشد. این موضوع نشان داد که مدل‌های هیبریدی در منطقه مورد مطالعه توانایی جایگزین شدن با مدل‌های مرسوم را دارند. با تلفیق مدل چند متغیره سری زمانی با مدل CARMA، کارایی مدل حدود یک درصد بهبود یافته است. اما کارایی مدل هیبریدی CARMA-ARCH نسبت به مدل مرسوم ARMA حدود ۳۲ درصد در مرحله آموزش و ۷۰ درصد در مرحله آزمایش بهبود یافته است که این موضوع برتری دو مدل CARMA و CARMA-ARCH را نسبت به مدل ARMA بیان می‌کند.

مدل‌های هیبریدی MPAR-ARCH و داده‌های سری زمانی TDS و EC در مقیاس ماهانه

بعد از بررسی دقت مدل‌های ARMA، CARMA و MPAR در شبیه‌سازی مقادیر EC و TDS، بخش تصادفی یا سری باقی‌مانده مدل MPAR استخراج شده و در نهایت با استفاده از مدل‌های غیرخطی ARCH، سری باقی‌مانده مدل MPAR مدل شده و مدل هیبریدی MPAR-ARCH حاصل شد. نتایج بررسی کارایی مدل هیبریدی MAPR-ARCH نشان داد که با اضافه شدن مدل‌های غیر خطی به مدل خطی MPAR، میزان کارایی مدل تا سقف ۹۹ درصد افزایش یافته و همچنین میزان خطای آن نیز به طور چشمگیری کاهش یافته است. همان‌طور که نتایج نشان داد، با اضافه شدن غیر خطی به مدل خطی MPAR و ایجاد مدل MPAR-ARCH میزان خطای مدل در مرحله آموزش به طور متوسط ۵۳ درصد و در مرحله آزمایش به طور متوسط ۴۰ درصد بهبود یافته و کمتر شده است که این موضوع بیانگر دقت بالای مدل هیبریدی MPAR-ARCH نسبت به دو مدل PARMA و MPAR در مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی ماهانه ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه می‌باشد. نتایج بررسی دقت و میزان خطای مدل هیبریدی MPAR-ARCHدر مدل سازی مقادیر TDS ماهانه ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه نشان داد که با مدل‌سازی مقادیر باقی‌مانده مدل‌های چندمتغیره MPAR و افزودن مدل ARCH غیر خطی به مدل خطی چند متغیره سری زمانی، میزان خطای مدل‌سازی مقادیر TDS ماهانه ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه در مرحله آموزش به طور متوسط ۴۲ درصد و در مرحله آزمایش به طور متوسط ۴۰ درصد کاهش یافته کمتر شده است. نتایج بررسی مقادیر خطای مدل‌های مورد بررسی در مدل‌سازی مقادیر هدایت الکتریکی و TDS ماهانه ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه در دوره آماری مورد بررسی در مرحله آزمایش به شرح شکل‌های ۶ و ۷ ارائه گردید. همان‌طور که از این شکل‌ها قابل مشاهده می‌باشد، مقادیر خطای مدل‌های هیبریدی MPAR-ARCH نسبت به دو مدل دیگر کمتر می‌باشد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که از بین دو مدل تلفیقی و چند متغیره، مدل هیبریدی چند متغیره برازش بهتر و خطای کمتری نسبت به مدل چند متغیره دارد گرچه دقت مدل‌های چندمتغیره هم قابل قبول است که این موضوع با تحقیقات ناظری تهرودی و همکاران (۱۳۹۶) و خلیلی و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد.

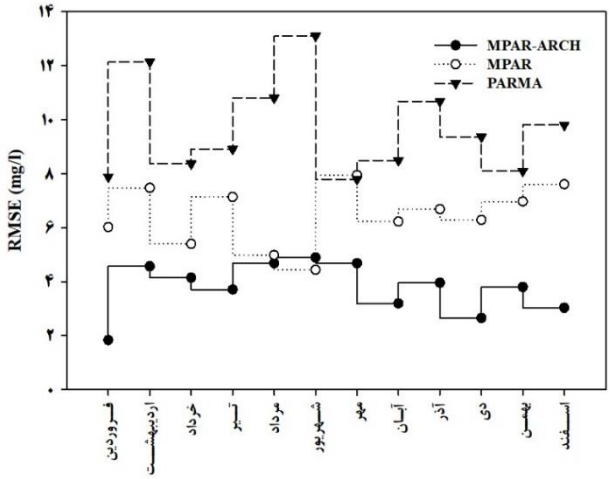
نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور بررسی و ارزیابی دقت مدل‌های تک متغیره، چند متغیره و هیبریدی سری زمانی (در مدل‌سازی مقادیر کیفی هدایت الکتریکی و TDS رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری پی‌قلعه واقع در غرب دریاچه ارومیه از داده‌های کیفی جریان رودخانه نظیر هدایت الکتریکی، TDS و SAR و دبی متناظر با آن در مقیاس سالانه و ماهانه و در دوره آماری ۹۵-۱۳۵۴ استفاده شده است. نتایج نشان داد که دقت مدل‌های تک متغیره خطی سری زمانی در مدل‌سازی پارامترهای EC و TDS ایستگاه‌های مورد مطالعه رضایت

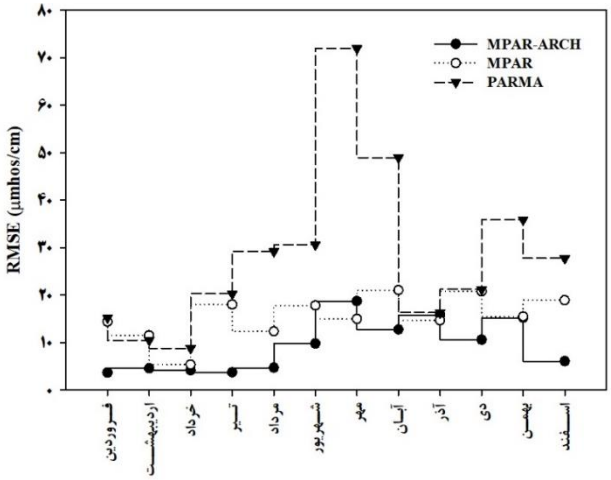
www.SID.ir

Archive of SID

بخش نبوده ولی قابل قبول می‌باشد. نتایج بررسی دقت مدل آرما در بررسی مقادیر EC نشان داد که در مرحله آموزش مقادیر خطا در مرحله آموزش برابر با ۱۴/۵۰ و در مرحله آزمایش برابر با ۱۸/۶۹ µmho/cm متغیر می‌باشد.



شکل ٦- نتایج بررسی مقادیر خطا در مدل‌سازی مقادیر TDS ماهانه



شکل ۷- نتایج بررسی مقادیر خطا در مدل‌سازی مقادیر TDS ماهانه

نتایج بررسی دقت مدل آرما در بررسی مقادیر TDS نشان داد که در مرحله آموزش و آزمایش مقادیر خطا برابر با ۱۶/۷۸ و ۱۸/۸۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. علاوه بر در نظر گرفتن سری سالانه مقادیر کیفی رودخانه، جهت اطمینان از دقت محاسبات از سری‌های ماهانه نیز استفاده شد. با استفاده از مدل PARMA مقادیر ماهانه EC و TDS مورد بررسی و مدل‌سازی قرار گرفتند. میزان خطای مدل‌های PARMA کمتر از مدل‌های ARMA محاسبه گردید. متوسط خطای ناشی از مدل‌سازی مقادیر EC در مرحل آموزش و آزمایش به ترتیب برابر با ۱۹/۹۴ و ۲۸/۰۴ میکروموس بر سانتی‌متر برآورد شد. در مورد مقادیر TDS ماهانه نیز مقادیر RMSE نشان داد که میزان خطای مدل PARMA به طور متوسط در مرحله آموزش برابر با ۹/۱۸ و در مرحله آزمایش برابر با ۹/۶۱ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. نتایج بررسی دقت و صحت سنجی مدل‌های چند متغیره سری زمانی خانواده آرما در مدل‌سازی مقادیر EC و TDS سالانه و ماهانه ایستگاه‌هیدرومتری مورد بررسی نشان داد که هم در مرحله آموزش و هم در مرحله آزمایش مقادیر خطای ناشی از مدل‌سازی مقادیر EC و TDS با استفاده از مدل‌های CARMA و MPAR کمتر از میزان خطای ناشی از مدل‌سازی مقادیر EC و TDS به ترتیب در مدل‌های ARMA و PARMA می‌باشد. با به کارگیری مدل‌های چند متغیره در مدل‌سازی و شبیه‌سازی مقادیر EC در مقیاس سالانه در مرحله آموزش ۲۰ و در مرحله آزمایش ۳۲ درصد و در مورد مدل‌سازی مقادیر TDS سالانه در مرحله آموزش ۳۰ و در مرحله آزمایش ۴۰

www.SID.ir

Archive of SID

درصد میزان خطا کاهش یافت. با به کارگیری مدل‌های چند متغیره در مدل‌سازی و شبیه‌سازی مقادیر EC در مقیاس ماهانه در مرحله آموزش ۱۰ و در مرحله آزمایش ۳۰ درصد و در مورد مدل‌سازی مقادیر TDS سالانه در مرحله آموزش ۳۵ و در مرحله آزمایش ۳۰ درصد میزان خطا کاهش یافت. به‌طور کلی نتایج نشان داد که در ایستگاه مورد مطالعه مدل‌سازی مقادیر EC و TDS سالانه با استفاده از مدل‌های چندمتغیره سری زمانی نتایج بهتری را نسبت به مدل‌های تک متغیره خانواده آرما ارائه می‌کند. در این مدل‌ها (CARMA) به دلیل دخالت دادن عوامل مؤثر بر مقادیر EC و TDS شامل سایر پارامترهای کیفی جریان رودخانه و دبی سالانه رودخانه و هم‌چنین به دلیل در نظر گرفتن وزن‌های متعدد برای هر پارامتر و دخیل کردن پارامترهای مؤثر در مدل‌سازی، دقت مدل‌سازی‌ها افزایش می‌یابد. در این مطالعه سعی شده است که دقت مدل‌سازی‌ها را تا حد ممکن افزایش داده و میزان خطای آن را کاهش دهند. در همین راستا در این تحقیق جهت کاهش میزان خطای مدل‌های چند متغیره، از مدل‌های غیرخطی سری زمانی استفاده شد. ابتدا بخش تصادفی سری زمانی مدل‌های CARMA و ARCH استخراج و در نهایت با مدل‌سازی این بخش از داده‌ها و اضافه نمودن سری تصادفی جدید به مقادیر مدل شده، از میزان خطای مدل‌ها کاهش می‌یابد. به‌طوری که نتایج بررسی میزان خطای مدل هیبریدی CARMA-ARCH نشان داد که به طور متوسط این مدل توانسته است میزان خطا را تا ۱۰ درصد کاهش می‌دهد. اما در مورد مدل‌های هیبریدی MPAR-ARCH این رقم به طور متوسط تا حدود ۴۶ درصد می‌رسد.

منابع

خلیلی، ک.، ناظری تهرودی، م. و عباس‌زاده افشار، م. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد مدل‌های سری زمانی چند متغیره تلفیقی، MPAR و MPAR-ARCH در مدل‌سازی دبی جریان رودخانه با درنظر گرفتن عوامل مؤثر هواشناسی (مطالعه موردی: رودخانه نازلوچای). نشریه دانش آب و خاک، ۲۷(۳): ۱۳۳-۱۲۱.

کارآموز، م. و عراقی نژاد، ش. ۱۳۸۹، هیدرولوژی پیشرفته. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران،۴۶۴ صفحه.

ناظری تهرودی، م.، خلیلی، ک.، عباس‌زاده افشار، م. و بهمنش، ج. ۱۳۹۶. ارزیابی مدلهای تلفیقی ARMA-ARCH و BL-ARCH در مدلسازی تراز سطح آب دریاچه ارومیه. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰(۱): ۱۸۹-۱۷۷.

Caiado, J. 2007. Forecasting water consumption in Spain using univariate time series models. Munich Personal RePEc Archive, no: 6610.

Camacho F. 1984. Contemporaneous ARMA modeling with applications. Ph.D. Dissertation, Department of Statistical and Actuarial Sciences. The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada.

Engle R F. 1982. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 987-1007.

Freydooni, M. Rahimi, M. Babazadeh, H. Sedghi H. Elhami M. R. 2012. Comparison of artificial neural networks and stochastic models in river discharge forecasting. African journal of Agricultural Research, 7(40): 5446-5458

Ghorbanpoor, M. A. Abbaspoor, K. Jalalvand, G. Ashtiani Moghadam, G. 2010. Stochastic modeling of surface stream flow at different time scales: Sangsoorakh karst basin, Iran. Journal of Cave and Karst studies, 72: 1-10.

Hipel K.W., McLeod A.I. 1994. Time Series Modeling of Water Resources and Environmental Systems. Elsvier, Amsterdam.

Karamouz, M., Szidarovszky, F., Zahraie, B. 2003. Water resources Systems Analysis with EmpHasis on Conflict Resoilution. Lewis Publishers. 589 pp.

Komornik, J., Komornikova, M., Mesiar, R., Szokeova, D. and Szolgay J. 2006. Comparison of forecasting performance of nonlinear models of hydrological time series. J. PHysics and Chemistry of the Earth, 31:1127-1145.

Machiwal, D. and Jha, M.K. (2012). Hydrologic time series Analysis: Theory and Practice. Springer, The Netherlands, with Capital Publishing Company, New Delhi, India, 303 pp.

McLeod Al and Hipel KW, 1978. Simulation procedures for Box - Jenkins models. Water Resources Research 14(5): 969-975.

Salas, J.D. (1993). Analysis and modeling of hydrologic time series. In: D.R. Maidment (editor-in-chief), Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, Inc., USA, pp. 19.1-19.72.

Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V. and Lane, W.L. (1980). Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Water Resources Publications, Littleton, CO.

Shahin, M., Van Oorschot, H.J.L. and De Lange, S.J. 1993. Statistical Analysis in Water Resources Engineering. A.A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 394 pp.

Tesfaye, Y. G., Meerschaert, M. M., & Anderson, P. L. (2006). Identification of periodic autoregressive moving average models and their application to the modeling of river flows. Water Resources

www.SID.ir

Archive of SID

autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam river. Journal of Hydrology, 476: 433-441.

Valipour, M., Banihabib, M.E., Behbahani, S.M.R., 2013. Comparison of the ARMA, ARIMA, and the Research, 42(1).

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 13, Oct.-Nov. 2019, p. 945-958

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۳، مهر - آبان ۱۳۹۸، ص. ۹۵۸-۹۴۵

Modeling of River Quality Parameters Using Hybrid Time Series Models (Case Study: Gedarchay River)

L. Sepehri[1*], K. Khalili[2]

Recived: Nov.17, 2018 Accepted: Feb.03, 2019

Abstract

In this research, in order to study and evaluate the accuracy of single-variable time series models, multi-variables time series and hybrid models in modeling the river flow quality values in the Peygale hydrometric station located in the west of Lake Urmia from data The qualitative flow of the river and the flow river has been observed on an annual and monthly scale and during the statistical period of 1975-2016. The qualitative parameters studied in this study are EC, TDS and SAR values. In this study, EC and TDS values were modeled and studied. The ARMA model (1.0) was selected for EC and TDS values of the hydrometric station used as the superior model. The results showed that the accuracy of single-variable linear time series models in modeling the EC and TDS parameters of the studied station was not satisfactory, but acceptable. Similar results were obtained for monthly single-variable models. After studying the time series single-valued model, multi-variable time series models were investigated on the monthly and annual scale. In this model, the EC, TDS, SAR and flow data of the river were considered at the Peylgale hydrometric station as inputs of the model. The results of the error analysis of CARMA and MPAR models for EC values showed that, on average, the error values were 25 and 21 percent lower than the ARMA and PARMA models, which resulted in an improvement in the error values for the data TDS is 34% and 33% respectively. Overall, the results showed that in all stations studied, EC and TDS values are estimated to be better than single-variable models of ArmA family on annual and monthly basis using multiple time series models. Let's say Finally, applying the time series hybrid models, the error rate resulting from modeling of EC values in the monthly and annual scale was 46% and 10%, respectively, and for the TDS values it was 40% and 12%, respectively.

Keywords: Contemporaneous Models, Linear Models, Multivariate Models, Time series, Water Quality

1- Ms.C Student in Environmental Engineering, Saba Institute, Urmia, Iran
2- Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural, Urmia University. Iran
(*- Corresponding Author Email: layasepehri@gmail.com)

www.SID.ir