

بهینه‌سازی مقادیر باقی‌مانده مدل‌های تلفیقی سری زمانی و ارائه مدل ARMA-ACA-ARCH

محمد ناظری تهرودی^{۱*}، یوسف رضائی^۲

^۱ دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

^۲ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۳ ، تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲۰

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی دو مدل خطی و غیرخطی ARMA و ARCH در مدل‌سازی مقادیر دمای بیشینه و کمینه سالانه ایستگاه همدیدی بیرجند در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ و در نهایت ارائه مدل‌های هیبریدی ARMA-ARCH و ARMA-ACA-ARCH جهت مدل‌سازی این مقادیر می‌باشد. این مطالعه با نگرشی جدید در زمینه مدل‌سازی مقادیر باقی‌مانده مدل‌های خطی سری زمانی، دقت مدل‌سازی مقادیر دمای کمینه و بیشینه ایستگاه همدیدی بیرجند را مورد ارزیابی قرار داده است. در این مطالعه از دو مدل پایه ARMA و ARCH و سه مدل هیبریدی ARMA-ARCH، ARMA-ACA و ARMA-ACA-ARCH استفاده شده است. هم‌چنین جهت بهینه کردن پارامترهای مدل ACA از الگوریتم جامعه مورچگان استفاده شده است. بعد از بررسی، تکمیل و تصحیح داده‌های مورد استفاده، مدل‌های مذکور بر داده‌های کمینه و بیشینه دمای ایستگاه همدیدی بیرجند اعمال شد. نتایج بررسی دقت و کارایی مدل‌های مورد استفاده نشان داد که از بین مدل‌های مورد بررسی به ترتیب مدل‌های ARMA-ACA-ARCH، ARMA-ACA، ARMA و ARMA-ARCH بیشترین میزان دقت و کارایی را ارائه کردند. نتایج نشان داد که با تلفیق مدل ARMA با مدل ACA میزان خطای مدل‌سازی مقادیر کمینه و بیشینه دمای ایستگاه بیرجند به ترتیب حدود ۱۲ و ۲۰ درصد بهبود یافته است. در مورد تلفیق مدل ARMA و ARCH میزان خطای مدل‌سازی‌ها در مدل‌سازی مقادیر کمینه و بیشینه دمای ایستگاه همدیدی بیرجند به ترتیب حدود ۷۴ و ۹۴ درصد کاهش یافت.

کلمات کلیدی: مدل‌های هیبریدی، دما، مدل واریانس شرطی خود همبسته، مدل تک متغیره

داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی به‌عنوان اطلاعات پایه و اساسی در طراحی و مدیریت علمی پروژه‌های منابع آب در نقاط مختلف جهان به کار می‌روند. کمبود اطلاعات و داده‌ها در بسیاری از زمینه‌ها و تحلیل فرآیندهای هیدرولوژیکی، منجر به ارائه روش‌هایی جهت تولید اطلاعات مصنوعی از روی داده‌های مشاهداتی شده است. به‌عنوان مثال بهره‌برداری در زمان واقعی از مخازن سدها نیازمند آگاهی از آورد جریان ورودی رودخانه به مخزن در آینده می‌باشد که این امر به‌وسیله پیش‌بینی سری زمانی جریان رودخانه امکان‌پذیر است (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۹). به علت پیچیدگی و عدم دانش کافی در مورد فرآیندهای فیزیکی در چرخه هیدرولوژیکی، ساخت مدل‌های آماری و گسترش آن‌ها برای بیان این فرآیندها، همیشه مورد توجه مهندسين بوده است. اساس بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در فرآیندهای هیدرولوژیکی و تصمیمات بهره‌برداری از منابع آب، بر پایه پیش‌بینی و تحلیل سری‌های زمانی می‌باشد. از سوی دیگر کمبود اطلاعات در بسیاری از زمینه‌ها و تحلیل‌های فرآیندهای هیدرولوژیکی، منجر به ارائه روش‌هایی جهت تولید اطلاعات مصنوعی از روی اطلاعات مشاهداتی شده است. از جمله روش‌هایی که برای شبیه‌سازی جریانات رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارت‌اند از روش‌های رگرسیونی، شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی، سری‌های زمانی و برنامه‌ریزی ژنتیک (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۹).

آبراهات و سی^۱ (۲۰۰۰) مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و ARMA را برای پیش‌بینی جریان رودخانه در دو حوضه متفاوت به کار بردند. در این مطالعه از داده‌های ۳ ساله جریان هر دو رودخانه برای مدل‌سازی استفاده گردید و نتایج نشان داد که عملکرد مدل‌ها تقریباً یکسان می‌باشد. هورنق^۲ (۲۰۰۱) مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و ARMA(p,q) را مورد بررسی قرار داده و با ارائه گزارشی از تحقیقات پیشین نشان داد که اگر در داده‌ها خاصیت غیرخطی وجود نداشته باشد، دقت هر

دو مدل تقریباً یکسان خواهد بود. محمدی و همکاران (۲۰۰۶) از روش برنامه‌ریزی هدف یا GP^۳ جهت تخمین پارامترهای مدل ARMA برای داده‌های ۶۸ ساله دبی جریان رودخانه کارون در محل ایستگاه پل شالو استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که جهت تخمین پارامترهای مدل ARMA روش جدید در مقایسه با روش معمول حداکثر درست‌نمایی نتایج مطلوب‌تری ارائه می‌نماید. کایادو^۴ (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 کارایی این مدل‌ها مورد ارزیابی و تأیید قرار گرفت. در ضمن جهت بهبود نتایج پیش‌بینی پیشنهاد شده که از مدل‌های ترکیبی استفاده گردد. قربان‌پور و همکاران (۲۰۱۰) از مدل‌های سری زمانی ARIMA و DARMA^۵ برای شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه سنگ‌سوراخ استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل ARIMA عملکرد بهتری در مدل‌سازی جریان هفتگی و ماهانه این رودخانه کارستی دارد. فریدونی و همکاران (۲۰۱۲) مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و ARMA را برای پیش‌بینی جریان رودخانه قره‌آغاج در جنوب غرب ایران به کار بردند. نتایج حاکی از آن بود که شبکه عصبی عملکرد بهتر داشته به‌طوری‌که 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. ولی‌پور و همکاران (۲۰۱۳) از مدل‌های ARMA، ARIMA و مدل شبکه عصبی خود همبسته^۶، برای مدل‌سازی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد دز استفاده کردند. 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 به‌طور کلی مدل شبکه عصبی خود

3 - Goal Programming

4 - Caiado

5 - Deseasonalized Auto Regressive Moving Average (DARMA)

6 - Autoregressive Artificial Neural Network

1 - Abrahath and See

2 - Hwring

همبسته بهتر از مدل‌های سری زمانی جریان ورودی ماهانه به سد دز را مدل‌سازی کرده بود.

در این مطالعه از الگوریتم‌های فرا ابتکاری نیز جهت بهینه‌سازی پارامترهای مدل خطی سری زمانی استفاده شده است. الگوریتم‌های تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی آنیلینگ و بهینه‌سازی کلونی مورچگان در میان محققان برای به دست آوردن راه حل‌های نزدیک به بهینه برتر برای مسائل بهینه‌سازی در مقیاس بزرگ در مهندسی منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی سیستم‌های جریان آب سطحی، آب زیرزمینی (پرالتا^۷ و همکاران، ۲۰۱۴)، طراحی شبکه پایش آب زیرزمینی (بابار-سبنز و مینسکر^۸، ۲۰۱۲) و مشکلات مدیریت آب‌های زیرزمینی ساحلی (کتابچی و عطایی^۹، ۲۰۱۵) استفاده می‌شود. هدف از بررسی تحقیق حاضر، در ابتدا ارزیابی دقت مدل تلفیقی سری زمانی AR-ARCH در مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در مقیاس سالانه می‌باشد. دومین هدف مورد بحث در این تحقیق، بهینه‌سازی پارامترهای بخش تصادفی مدل خطی ARMA با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان و ارائه مدل ARMA-ACA-ARCH^{۱۰} و مقایسه نتایج آن با مدل‌های ARMA و ARMA-ARCH می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، استان خراسان جنوبی می‌باشد. استان خراسان جنوبی در شرق کشور با مساحت ۹۵۳۸۵ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۳۲° ۵۷' تا ۶۱° ۵۰' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱° ۳۰' تا ۳۴° ۱۵' شمالی قرار گرفته است. این استان از شمال به استان خراسان رضوی، از شرق به کشور افغانستان، از جنوب به استان سیستان و بلوچستان، از جنوب غربی به استان کرمان و از غرب به استان‌های یزد،

اصفهان و سمنان همسایه است که این خود نشان‌دهنده اهمیت استراتژیک استان از نظر مرزی و امنیتی می‌باشد. شکل ۱ موقعیت استان خراسان جنوبی و شهرستان بیرجند را در سطح کشور نشان می‌دهد. بر طبق نقشه تقسیمات اقلیمی زمستانی و تابستانی، شهر بیرجند به ترتیب در محدوده سرد، گرم و خشک واقع شده است. تعداد روزهای یخبندان، ۷۷/۳ روز، مقدار رطوبت نسبی ۳۶ درصد، تعداد روزهای با پوشش ابری کامل ۲/۲۹ روز در سال و تعداد روزهای توأم با گرد و غبار ۲۰ روز در سال در ایستگاه اقلیم‌شناسی بیرجند گزارش شده است (تحلیل وضعیت اقلیمی گزارش‌های آمایش، ۱۳۸۷). مشخصات آماری داده‌های مورد بررسی نیز به صورت جدول ۱ ارائه شد.

تحلیل روند به‌وسیله‌ی آزمون من-کندال اصلاح شده 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. نسخه اصلاح شده این آزمون توسط محققین بسیاری در سراسر جهان مورد بررسی قرار گرفته است (یو و همکاران، ۱۹۹۳، خلیلی و همکاران، ۲۰۱۶). مدل‌سازی سری زمانی بر روی داده‌های تصادفی ایستا انجام می‌پذیرد. لذا باید مؤلفه‌های قطعی از سری حذف شوند و سری ایستا گردد. علاوه بر آن سری باید از توزیع نرمال نیز پیروی کند. آماده‌سازی داده‌ها مجموعه فعالیت‌هایی است که در آن عوامل نا ایستایی حذف می‌گردند و فرضیات اساسی تحلیل سری‌های زمانی ارضا می‌شود (خلیلی و ناظری تهرودی، ۱۳۹۵).

مدل‌های خطی AR و ARMA

از اوایل دهه ۶۰ میلادی، مدل‌های سری زمانی خود همبسته در پیش‌بینی جریان رودخانه به‌طور وسیعی به کار گرفته شده‌اند. دلیل اصلی استفاده گسترده از این مدل‌ها، توانایی آن‌ها در ایجاد همبستگی بین مقادیر دبی جریان زمان حال با زمان‌های پیشین از یک طرف و سادگی

7 - Peralta

8 - Babbar-Sebens, Minsker

9 - Ketabchi and Ataie

10 - Ant Colony Algorithm



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه در ایران

جدول ۱ - مشخصات داده‌های مورد استفاده در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱

پارامتر (°C)	انحراف معیار	متوسط	بیشینه	کمینه
دمای کمینه	۲/۰۸	۱۴/۹۸	۱۹/۷۵	۱۱/۰۳
دمای بیشینه	۱/۱۷	۲۹/۱۳	۳۴/۶۸	۲۶/۸۴

$$x_t = \mu + \sum_{j=1}^p \phi_j (x_{t-j} - \mu) + \varepsilon_t \quad (2)$$

در صورتی که 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:

$$Z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j Z_{t-j} + \varepsilon_t \quad (3)$$

در روابط بالا Z_t سری نرمال استاندارد شده، ϕ پارامتر مدل، ε_t سری تصادفی مدل و p نشان دهنده

ساختار مدل از طرف دیگر می‌باشد. توماس و فایرینگ (۱۹۶۲) مدل‌های مذکور را برای اولین بار به کار بردند و در دهه ۷۰ باکس و جنکینز (۱۹۷۶) بسط این مدل‌ها را در سه مرحله شامل (۱) تشخیص مدل (۲) تخمین پارامترها و (۳) ارزیابی مدل توسعه دادند. در صورتی که x_t یک سری زمانی 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):

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

و یا:

مرتبه مدل خود همبسته می‌باشد.

یکی از مشکلاتی که در مدل‌های خود همبسته برای مدل‌سازی سری‌های زمانی هیدرولوژیکی وجود دارد، تغییرات در شرایط خاص است. به‌عنوان مثال جریان رودخانه در شرایط کم آبی و پر آبی از رفتار خاصی تبعیت می‌کند که در صورت استفاده از مدل‌های خود همبسته به تنهایی، این تغییرات به خوبی مدل نخواهد شد. جهت رهایی از این مشکل، بخش دیگری تحت عنوان میانگین متحرک به رابطه ارائه شده برای مدل‌های خود همبسته اضافه شده و یک مدل ترکیبی تحت عنوان مدل خود همبسته میانگین متحرک (ARMA) به وجود می‌آید. علاوه بر مزیت ذکر شده برای مدل‌های ARMA، این مدل‌ها دارای تعداد پارامتر کمتری در مدل‌سازی نسبت به مدل‌های خود همبسته با درجات بالا می‌باشند که این خود مزیت دیگری بر این مدل است. رابطه میانگین متحرک از درجه q را می‌توان به شرح زیر در نظر گرفت (سالاس، ۱۹۸۰):

$$Z_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (4)$$

در رابطه بالا Z_t سری نرمال استاندارد شده، ε_t سری تصادفی مدل و q نشان دهنده مرتبه مدل میانگین متحرک ($MA(q)$) می‌باشد. بدین ترتیب ترکیب یک مدل خود همبسته از درجه p و یک مدل میانگین متحرک از درجه q ، یک مدل خود همبسته میانگین متحرک از درجه p و q را به وجود می‌آورد که رابطه کلی آن به‌صورت زیر است:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (5)$$

جهت محاسبه پارامترهای مدل‌های ذکر شده، لازم است ضرایب خودهمبستگی^{۱۱} و خودهمبستگی جزئی^{۱۲} محاسبه شود. برای تشخیص مناسب‌ترین مدل رسم نمودار ضرایب مذکور تابعی از شماره تأخیر و تجربه محقق

نقش مهمی را ایفا می‌کند.

مدل‌های ARCH

این مدل برای اولین بار در مطالعات اقتصادی توسط انگل (۶) ارائه شد و اولین مدلی است که یک چارچوب نظام‌مند را برای مدل‌سازی نوسانات فراهم می‌کند. 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، مدل ARCH به‌صورت زیر فرض می‌شود:

$$\varepsilon_t = \sigma_t z_t \quad \text{and} \quad \sigma_t^2 = a_0 + \sum_{i=1}^m b_i \varepsilon_{t-i}^2 \quad (6)$$

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 (انگل،^{۱۳} ۱۹۸۲).

ساختار مدل ARCH

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

$$a_t = \sigma_t \varepsilon_t \quad \text{و} \quad \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2 \quad (7)$$

که در آن $\alpha_1 \geq 0, \alpha_0 > 0$ است. اول از هر چیز میانگین شرطی a_t را باید صفر در نظر گرفت. زیرا:

$$E(a_t) = E[E(a_t | F_{t-1})] = E[\sigma_t E(\varepsilon_t)] \quad (8)$$

سپس واریانس شرطی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Var(a_t) = E(a_t^2) = E[E(a_t^2 | F_{t-1})] \quad (9)$$

از آنجا که a_t با توجه به $E(a_t) = 0$ ، $E(a_t^2) = \alpha_0 + \alpha_1 E(a_{t-1}^2)$ از آنجا که $Var(a_t) = E(a_{t-1}^2) = E(a_{t-2}^2)$ یک فرآیند ایستا و ثابت است، بنابراین خواهیم داشت:

11 - Auto Correlation Coefficients

12 - Partial Auto Correlation Coefficients

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (17)$$

که در آن‌ها O_i : داده‌های واقعی یا مشاهده‌ای، P_i : داده‌های پیش‌بینی و \bar{O}_i میانگین داده‌های مشاهده‌ای هستند.

الگوریتم جامعه مورچگان (ACO)

الگوریتم جامعه مورچگان یک روش فراکاوشی است که در سال ۱۹۹۲ توسط دوریگو^{۱۵} پیشنهاد شد. الگوریتم سیستم مورچگان اولین الگوریتم ACO بود که در سال ۱۹۹۱ توسط کولورنی^{۱۶} و همکاران پیشنهاد گردید. یکی از اولین کاربردهای الگوریتم ACO حل مسئله فروشنده دوره‌گرد بوده است (دوریگو، ۱۹۹۲). از آن جایی که الگوریتم‌های ACO بستگی به نوع استفاده و شباهت حرکت مورچه‌ها بر روی گراف دارند، استفاده از مسئله فروشنده دوره‌گرد برای تشریح اصول اساسی الگوریتم‌های مورچه بسیار منطقی بوده و در اصل به عنوان یک مثال تیپ برای معرفی این الگوریتم بوده است.

تابع هدف

در واقع تابع هدف در این مطالعه، کمینه‌سازی اختلاف مقادیر مشاهداتی و محاسبه شده با مدل AR-ARCH-ACA می‌باشد که از رابطه ۱۸ قابل محاسبه می‌باشد:

$$\text{Min } Z = \left| \sum_{i=1}^n (H - \hat{H}) \right| \quad (18)$$

در این رابطه Z مقدار تابع هدف، n برابر با تعداد داده‌ها، H برابر با مقادیر مشاهده شده و \hat{H} نیز برابر با مقادیر محاسبه شده می‌باشد.

نتایج و بحث

در این قسمت ابتدا نمودار تغییرات مقادیر داده‌های مورد بررسی به نمایش گذاشته شده و سپس به بررسی داده‌ها و مدل‌ها پرداخته شد. تغییرات اولیه داده‌های مورد

$$\text{Var}(a_t) = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Var}(a_t) \quad (10)$$

$$\text{Var}(a_t) = \frac{\alpha_0}{(1 - \alpha_1)} \quad (11)$$

از آنجا که واریانس a_t باید مثبت باشد، در نتیجه محدوده a_t باید بین ۰ و ۱ باشد. در برخی از برنامه‌های کاربردی، مقادیر بالاتر از (a_t) نیز باید وجود داشته باشد و از این رو، α_1 باید برخی از گشتاورهای اضافی را تأمین کند. به عنوان مثال، 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:

$$E(a_t^4 | F_{t-1}) = 3[E(a_t^2 | F_{t-1})]^2 = 3(\alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2)^2 \quad (12)$$

بنابراین:

$$E(a_t^4) = E[E(a_t^4 | F_{t-1})] = 3E(\alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2)^2 = 3E(\alpha_0^2 + 2\alpha_0\alpha_1 a_{t-1}^2 + \alpha_1^2 a_{t-1}^4) \quad (13)$$

اگر a_t به عنوان ثابت چهارم در نظر گرفته شود و $m_4 = E(a_t^4)$ در این صورت:

$$m_4 = 3E(\alpha_0^2 + 2\alpha_0\alpha_1 \text{Var}(a_t) + \alpha_1^2 m_4) = 3\alpha_0^2 \left(1 + 2 \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1}\right) + 3\alpha_1^2 m_4 \quad (14)$$

در نهایت:

$$m_4 = \frac{3\alpha_0^2(1 + \alpha_1)}{(1 - \alpha_1)(1 - 3\alpha_1^2)} \quad (15)$$

ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی عملکرد مدل از دو معیار ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا^{۱۴} استفاده گردید. هرچه مقدار RMSE کمتر و مقدار ضریب تبیین بیشتر باشد، نشان دهنده دقت بالاتر مدل است.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n - 1}} \quad (16)$$

15 - Dorigo
16 - Colorni

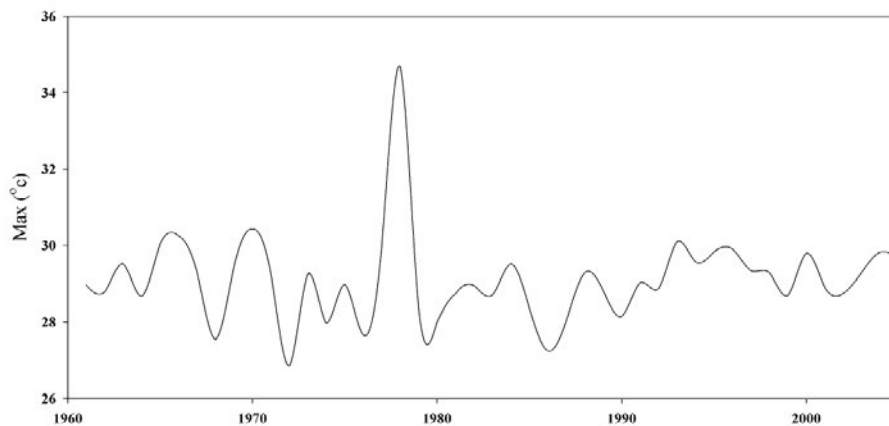
14 - Root Mean Square Error

بررسی در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ به شرح نمودارهای ۲ و ۳ ارائه گردید.

بعد از نمایش داده‌های سری زمانی داده‌های مورد بررسی در مناطق مختلف ایران، روند تغییرات این داده‌ها در مقیاس زمانی سالانه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن به شرح جدول ۲ ارائه گردید. هدف از آزمون روند این است که وجود و یا عدم وجود سیر صعودی یا نزولی در سری داده‌ها بررسی گردد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵). روش‌های پارامتری نسبت به روش‌های غیرپارامتری توان بیشتری در آزمون روند دارند ولی با توجه به این که در روش‌های پارامتری فرضیاتی نظیر نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن داده‌ها از هم وجود داشته و ممکن است این فرضیات برای متغیرهای هیدرولوژیکی درست نباشد،

از روش غیرپارامتری من - کندال (MK) که کاربرد بیشتری در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی نیز داشته و نیازی به مفروضات مذکور ندارد، استفاده شده است (خلیلی و همکاران، ۲۰۱۶).

سری زمانی ۴۵ ساله داده‌های مورد استفاده در مقیاس سالانه 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. 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



شکل ۲- نمودار تغییرات بیشینه دمای ایستگاه همدید بیرجند در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱



شکل ۳- نمودار تغییرات کمینه دمای ایستگاه همدید بیرجند در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱

جدول ۲- بررسی روند تغییرات داده‌های مورد بررسی در محل ایستگاه همدیدی بیرجند

پارامتر (°C)	P-value	Kendall's tau	وجود روند	شیب خط روند
بیشینه	۰/۴۰۸	+۰/۰۹	عدم تأیید	۰/۰۰۷
کمینه	۰/۰۰۱	+۰/۶۱	تأیید	۰/۱۱

جدول ۳- نتایج نرمال‌سازی داده‌های مورد بررسی

پارامتر (°C)	ضریب چولگی (بعد از نرمال کردن)	ضریب چولگی (قبل از نرمال کردن)	تابع نرمال‌ساز
بیشینه	-۰/۳۲۰	۲/۱۲۱	Log
کمینه	-۰/۲۰۵	-۰/۲۰۵	Non

ایستگاه همدید بیرجند با استفاده از مدل تک متغیره نشان از دقت قابل قبول این مدل است. نتایج بررسی میزان خطا و کارایی مدل $ARMA(1)$ به شرح جدول ۴ ارائه شد.

همان‌طور که از جدول ۴ قابل مشاهده می‌باشد، دقت مدل $ARMA(1)$ در حد قابل قبولی می‌باشد اما کارایی مدل (آماره نش - ساتکلیف) در حد قابل قبولی نمی‌باشد. همان‌طور که ذکر گردید در این مطالعه چهار مدل تک متغیره و تلفیقی مورد بررسی قرار گرفته است. دومین مدل مورد بررسی در این تحقیق، مدل تلفیقی $ARMA-ACA$ می‌باشد. با توجه به این که مدل $ARMA(1)$ همان مدل $ARMA(1,0)$ می‌باشد، لذا بخش تصادفی مدل آرما (MA) در این مدل گنجانده نشده است. به همین دلیل در مدل $ARMA-ACA$ سعی شده است که بخش تصادفی MA نیز به مدل اضافه شود. در این راستا مقادیر q مدل $ARMA(p,q)$ توسط الگوریتم جامعه مورچگان و مقادیر p مدل $ARMA(1)$ بهینه شد. در نهایت مقادیر مدل شده توسط مدل $ARMA(1)$ به مدل MA بهینه شده اضافه گردید و مدل $ARMA-ACA$ حاصل گشت. نتایج آماره جذر میانگین مربعات خطا در مدل‌سازی مقادیر دمای کمینه و بیشینه ایستگاه همدید بیرجند با استفاده از مدل تلفیقی $ARMA-ACA$ نشان از دقت قابل قبول این

استفاده از آزمون تفاضل گیری صورت گرفت. همان‌طور که از جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد، روند تغییرات مقادیر بیشینه دمای ایستگاه همدید بیرجند در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ غیرمعنی‌دار می‌باشد. با توجه به شیب خط روند ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که بیشینه دمای منطقه مورد مطالعه در طی ۴۵ سال (۲۰۰۵-۱۹۶۱) مورد بررسی حدود ۰/۳۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. اما پارامتر کمینه دمای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه در طی دوره آماری مورد بررسی روندی افزایشی و معنی‌دار داشته است. تغییرات ۴۵ ساله این پارامتر با توجه به شیب خط روند حدود ۵/۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. روابط موجود جهت نرمال کردن داده‌های مورد بررسی به صورت جدول ۳ به ازای ضریب چولگی نزدیک به صفر، ارائه گردید. بعد از نرمال شدن داده‌های اولیه، استقلال و ایستایی، همگنی و روند داده‌های سری زمانی مورد استفاده نیز تأیید گردید.

بعد از نرمال کردن داده‌های سری زمانی مورد استفاده، داده‌های نرمال شده با استفاده از مدل‌های تک متغیره خانواده آرما مدل‌سازی شد. نتایج مدل‌سازی با استفاده از مدل‌های تک متغیره آرما نشان داد که داده‌های مورد استفاده با استفاده از مدل $ARMA(1)$ به صورت مناسبی مدل می‌شوند. نتایج آماره جذر میانگین مربع خطا در مدل‌سازی مقادیر دمای کمینه و بیشینه

جدول ۴- نتایج بررسی میزان خطا و کارایی مدل (ARMA(۱) در مدل‌سازی مقادیر مورد بررسی

پارامتر (°C)	جذر میانگین مربعات خطای مدل ARMA(1)	کارایی مدل (نش - ساتکلیف) ARMA(1)
بیشینه	۱/۶۳	-۰/۹۵
کمینه	۲/۳۳	-۰/۳۰

جدول ۵- نتایج بررسی میزان خطا و کارایی مدل ARMA-ACA در مدل‌سازی مقادیر مورد بررسی

پارامتر (°C)	جذر میانگین مربعات خطای مدل ARMA-ACA	کارایی مدل (نش - ساتکلیف) ARMA-ACA
بیشینه	۱/۳۰	-۰/۲۵
کمینه	۲/۰۵	۰/۰۰۱

جدول ۶- نتایج بررسی میزان خطا و کارایی مدل ARMA-ARCH در مدل‌سازی مقادیر مورد بررسی

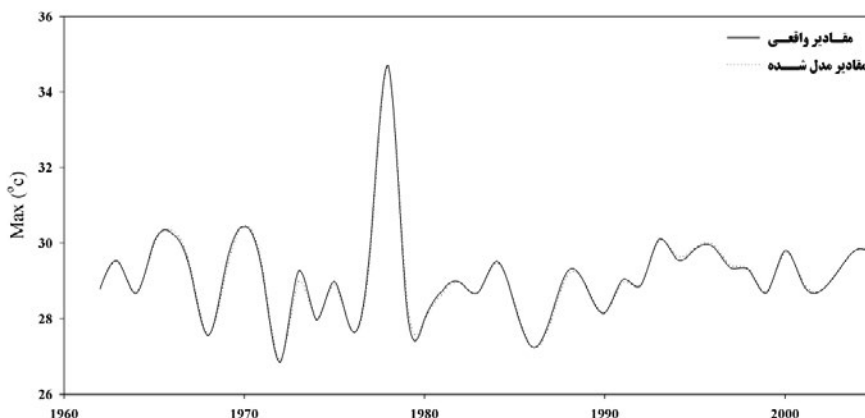
پارامتر (°C)	جذر میانگین مربعات خطای مدل ARMA-ARCH	کارایی مدل (نش - ساتکلیف) ARMA-ARCH
بیشینه	۰/۰۸۷	۰/۹۹۴
کمینه	۰/۵۹	۰/۹۱۷

باقی‌مانده مدل محاسبه و در نهایت سری باقی‌مانده مدل که متناسب با داده‌های مدل شده است، حاصل شد. با اضافه کردن این سری باقی‌مانده جدید به مدل، مدل تلفیقی ARMA-ARCH حاصل گشت. نتایج داده‌های مدل شده توسط مدل تلفیقی مذکور، با داده‌های مشاهده‌ای دمای ایستگاه مورد مطالعه (درجه سانتی‌گراد) مقایسه و آماره جذر میانگین مربعات خطا محاسبه گردید. نتایج آماره جذر میانگین مربعات خطای ناشی از داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی مدل ARMA-ARCH محاسبه و به شرح جدول ۶ ارائه گردید.

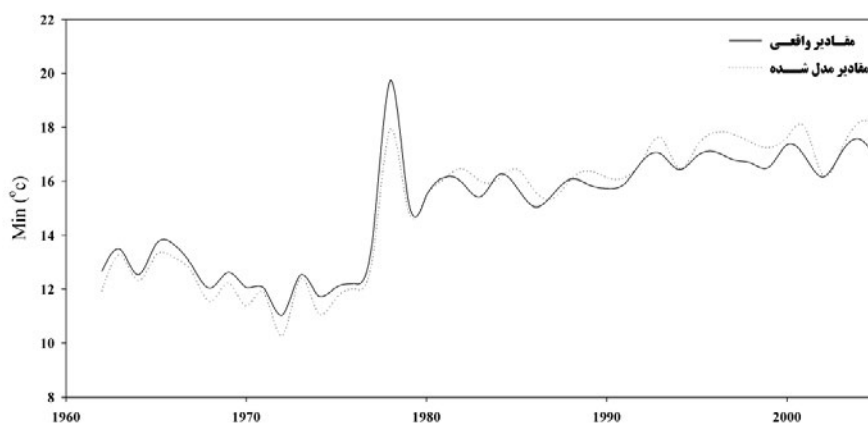
همان‌طور که از جدول ۶ قابل مشاهده می‌باشد، دقت مدل ARMA-ARCH در حد قابل قبولی می‌باشد و بر خلاف دو مدل (ARMA(۱) و ARMA-ACA کارایی مدل ARMA-ARCH (آماره نش - ساتکلیف) در کاملاً قابل قبول می‌باشد. نتایج بررسی دقت و کارایی مدل ARMA-ARCH نشان داد که دقت این مدل نسبت به مدل تک متغیره و تلفیقی ARMA-ACA سری زمانی افزایش یافته است.

مدل است. نتایج بررسی میزان خطا و کارایی مدل ARMA-ACA به شرح جدول ۵ ارائه شد. همان‌طور که از جدول ۵ قابل مشاهده می‌باشد، دقت مدل ARMA-ACA در حد قابل قبولی می‌باشد اما همانند مدل (ARMA(۱) کارایی مدل (آماره نش - ساتکلیف) در حد قابل قبولی نمی‌باشد. نتایج بررسی دقت و کارایی مدل ARMA-ACA نشان داد که دقت این مدل نسبت به مدل تک متغیره سری زمانی افزایش یافته است. به طوری که میزان خطای مدل ARMA-ACA در مدل‌سازی مقادیر کمینه و بیشینه دمای ایستگاه همدید بیرجند در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۵ نسبت به مدل (ARMA(۱) به ترتیب حدود ۱۴ و ۲۵ درصد بهبود یافته است.

بعد از بررسی مدل تک متغیره ARMA و مدل تلفیقی ARMA-ACA، سری باقی‌مانده مدل ARMA استخراج و توسط مدل‌های خانواده ARCH برازش یافت. در نهایت با به‌کارگیری روابط موجود در این مدل‌ها و محیط نرم افزار اکسل، واریانس شرطی سری



شکل ۴- نتایج مدل‌سازی مقادیر بیشینه دمای سالانه ایستگاه همدید بیرجند با استفاده از مدل ARMA-ARCH



شکل ۵- نتایج مدل‌سازی مقادیر کمینه دمای سالانه ایستگاه همدید بیرجند با استفاده از مدل ARMA-ARCH

مدل تلفیقی ARMA-ACA و مدل تلفیقی ARMA-ARCH، سری باقی‌مانده مدل ARMA-ACA نیز استخراج و توسط مدل‌های خانواده ARCH برآزش یافت. در نهایت با به‌کارگیری روابط موجود در این مدل‌ها و محیط نرم افزار اکسل، واریانس شرطی سری باقی‌مانده مدل محاسبه و در نهایت سری باقی‌مانده مدل که متناسب با داده‌های مدل‌شده است، حاصل شد. با اضافه کردن این سری باقی‌مانده جدید به مدل، مدل تلفیقی ARMA-ACA-ARCH حاصل گشت. نتایج داده‌های مدل شده توسط مدل تلفیقی مذکور، با داده‌های مشاهده‌ای دمای ایستگاه مورد مطالعه (درجه سانتی‌گراد) مقایسه و آماره جذر میانگین مربعات خطا محاسبه گردید. نتایج آماره جذر میانگین مربعات

به طوری که میزان خطای مدل ARMA-ARCH در مدل‌سازی مقادیر کمینه و بیشینه دمای ایستگاه همدید بیرجند در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۵ نسبت به مدل ARMA(۱) به ترتیب حدود ۲۹۴ و ۱۷۷۳ درصد و نسبت به مدل ARMA-ACA به ترتیب حدود ۲۴۷ و ۱۳۹۴ بهبود یافته است. نتایج مدل‌سازی مقادیر کمینه و بیشینه دمای مورد بررسی در ایستگاه همدید بیرجند با استفاده از مدل ARMA-ARCH به شرح شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شد.

همان‌طور که از شکل‌های فوق قابل مشاهده می‌باشد، دقت مدل تلفیقی مورد استفاده نتایج بهتری را نسبت به دو مدل مرسوم آرما و تلفیقی ARMA-ACA ارائه می‌کند. بعد از بررسی مدل‌های تک متغیره ARMA،

جدول ۷- نتایج بررسی میزان خطا و کارایی مدل ARMA-ACA-ARCH در مدل‌سازی مقادیر مورد بررسی

کارایی مدل (نش - ساتکلیف) ARMA-ACA-ARCH	جذر میانگین مربعات خطای مدل ARMA-ACA-ARCH	پارامتر (°C)
۰/۹۹	۰/۰۸۸	بیشینه
۰/۶۰	۱/۲۸	کمینه

محاسباتی افزایش یافته است. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل تلفیقی ARCH در مدل‌سازی مقادیر کمینه و بیشینه دمای ایستگاه بیرجند که در منطقه خشک قرار دارند نتایج بهتری نسبت به مدل مرسوم سری زمانی ارائه می‌کند. نتایج بررسی دقت هر ۴ مدل نشان داد که مدل‌های تلفیقی نتایج بهتری نسبت به مدل‌های خطی راجع سری زمانی ارائه می‌کنند که این موضوع با نتایج تحقیقات وانگ و همکاران (۲۰۰۵) و کاپادو (۲۰۰۷) مطابقت دارد. از طرفی، با اضافه کردن مدل‌های غیرخطی به مدل‌های خطی سری زمانی می‌توان بخش تصادفی مدل‌های خطی را تا حدودی 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 کاهش ریسک می‌شود. نتایج نشان‌دهنده دقت بالای دو مدل تلفیقی نسبت به مدل آرما بود که این موضوع با تحقیقات تسفای و همکاران (۲۰۰۶) در مدل‌سازی دبی فصلی جریان رودخانه فریسر بریتانیا مطابقت دارد. آنچه به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی به‌دست آمد این بود که با تلفیق مدل‌های خطی و غیرخطی، دقت مدل‌سازی‌های مدل‌های خانواده آرما افزایش می‌یابد. این مدل‌های تلفیقی، نقاط اوج را به‌خوبی مدل می‌کنند. همچنین نتایج نشان داد که ترکیب مدل‌های خطی و غیرخطی سری زمانی می‌توانند مدل‌های مناسبی جهت مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی باشند.

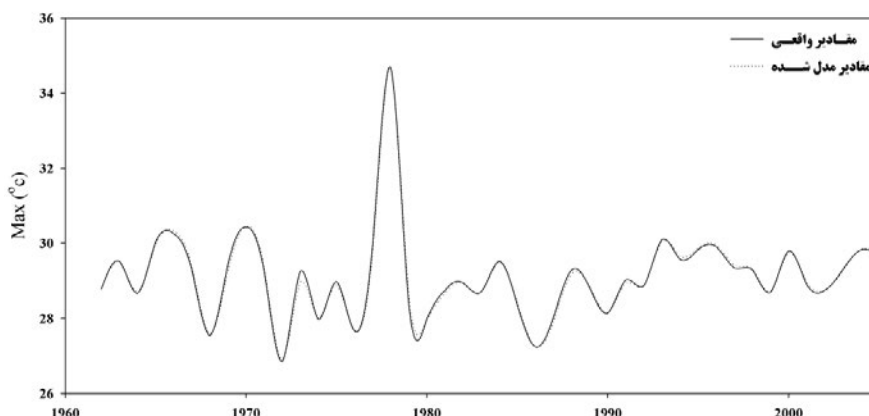
جمع‌بندی

یکی از قسمت‌های مهم مدل‌های استوکاستیک سری زمانی، بخش MA یا بخش تصادفی مدل می‌باشد.

خطای ناشی از داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی مدل ARMA-ACA-ARCH محاسبه و به شرح جدول ۷ ارائه گردید.

همان‌طور که از جدول ۷ قابل مشاهده می‌باشد، دقت مدل ARMA-ACA-ARCH در حد قابل قبولی می‌باشد و همانند مدل ARMA-ARCH کارایی این مدل (آماره نش - ساتکلیف) نسبت به دو مدل (۱) ARMA و ARMA-ACA در کاملاً قابل قبول می‌باشد. نتایج بررسی دقت و کارایی مدل ARMA-ACA-ARCH نشان داد که دقت این مدل نسبت به مدل تک متغیره و تلفیقی ARMA-ACA سری زمانی افزایش یافته است. اما دقت این مدل نسبت به مدل ARMA-ARCH کمتر می‌باشد. نتایج مدل‌سازی مقادیر کمینه و بیشینه دمای مورد بررسی در ایستگاه همدید بیرجند با استفاده از مدل ARMA-ACA-ARCH به شرح شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شد.

نتایج مدل‌سازی مقادیر کمینه و بیشینه دمای ایستگاه همدید بیرجند با استفاده از مدل‌های تک متغیره سری زمانی نشان داد که این مدل‌ها دقت قابل قبولی در مدل‌سازی مقادیر مذکور تحت دارند اما کارایی این مدل‌ها در مدل‌سازی چندان رضایت‌بخش نمی‌باشد. همان‌طور که از شکل‌های فوق مشاهده می‌شود، با دخالت مدل‌های واریانس شرطی در مدل‌سازی‌ها، نقاط بیشینه و کمینه در مدل‌سازی‌ها به خوبی مدل می‌شود و دقت و کارایی مدل‌ها نیز افزایش می‌یابد. آنچه به‌عنوان نتیجه حاصل شده است، این است که با تلفیق مدل‌های سری زمانی با مدل‌های غیرخطی خانواده ARCH میزان خطای مدل کاهش و همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و



شکل ۶- نتایج مدل‌سازی مقادیر بیشینه دمای سالانه ایستگاه همدید بیرجند با استفاده از مدل ARMA-ACA-ARCH



شکل ۷- نتایج مدل‌سازی مقادیر کمینه دمای سالانه ایستگاه همدید بیرجند با استفاده از مدل ARMA-ACA-ARCH

تک سری زمانی و مدل تلفیقی با واریانس شرطی اقدام به مدل‌سازی مقادیر یاد شده در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۵ شد. 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 کاهش ریسک می‌شود. نتایج بررسی اولیه داده‌ها نشان داد که توابع نرمال‌سازی مثل تابع لگاریتم، داده‌ها مورد استفاده را به شکل مناسبی نرمال می‌کنند. نتایج بررسی مقادیر خطا در مدل‌های مورد بررسی نشان داد که مدل آرما دقت و میزان خطای قابل قبولی در مدل‌سازی مقادیر بیشینه و کمینه دمای شهر بیرجند دارد. اما نتایج بررسی مقادیر ضریب نش - ساتکلیف نشان داد که کارایی این مدل در مدل‌سازی قابل قبول نبوده و رضایت‌بخش نیست. بعد از بررسی مدل‌های

نتایج نشان داده است که در بیشتر موارد، اضافه شدن این بخش به مدل‌های ARMA دقت این مدل‌ها را کاهش می‌دهد. در این مطالعه سعی شده است که بخش MA مدل‌های سری زمانی را با q در این مدل‌ها شناخته می‌شود، یا استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان بهینه گردد. در این راستا در این مطالعه چهار مدل ARMA-ARCH، ARMA-ACA، ARMA و ARMA-ACA-ARCH جهت مدل‌سازی مقادیر بیشینه و کمینه دمای ایستگاه همدید بیرجند مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. با اضافه کردن مدل‌های غیرخطی به مدل‌های خطی سری زمانی می‌توان بخش تصادفی مدل‌های خطی را از بین برد و تا حدودی قطعیت مدل را افزایش داد. به همین دلیل در این مطالعه با استفاده از مدل

- Fereydooni, M., Rahnamaei, M., Babazadeh, H., Sedghi, H. and Elhami, M. R., 2012. Comparison of artificial neural networks and stochastic models in river discharge forecasting. (Case study: Ghara-Aghaj River, Fars Province, Iran). *African Journal of Agricultural Research*, 7(40), pp.5446-5458.
- Ghanbarpour, M. R., Abbaspour, K. C., Jalalvand, G. O. U. D. A. R. Z. and Moghaddam, G. A., 2010. Stochastic modeling of surface stream flow at different time scales: Sangsoorakh karst basin, Iran. *Journal of Cave and Karst Studies*, 72(1), pp.1-10.
- Hwang, H. B., 2001. Insights into neural-network forecasting of time series corresponding to ARMA (p, q) structures. *Omega*, 29(3), pp.273-289.
- Kendall, M. G., 1938. A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30(1/2), pp.81-93.
- Ketabchi, H. and Ataie-Ashtiani, B., 2015. Evolutionary algorithms for the optimal management of coastal groundwater: a comparative study toward future challenges. *Journal of Hydrology*, 520, pp.193-213.
- Khalili, K., Tahoudi, M.N., Mirabbasi, R. and Ahmadi, F., 2016. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 30(4), pp.1205-1221.
- 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, pp. 2401-2419.
- Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp.245-259.
- Mohammadi, K., Eslami, H. R. and Kahawita, R., 2006. Parameter estimation of an ARMA model for river flow forecasting using goal programming. *Journal of Hydrology*, 331(1), pp.293-299.
- Peralta, R. C., Forghani, A. and Fayad, H., 2014. Multiobjective genetic algorithm conjunctive use optimization for production, cost, and energy with dynamic return flow. *Journal of Hydrology*, 511, pp.776-785.
- Salas, J. D., 1980. *Applied modeling of hydrologic time series*. Water Resources Publication.
- Tesfaye, Y. G., Meerschaert, M. M. and Anderson, P. L., 2006. Identification of periodic autoregressive moving average models and their application to the modeling of river flows. *Water Resources Research* 42(1), pp.1-11.
- Thomas, H. A. and Fiering, M. B., 1962. Mathematical synthesis of streamflow sequences for the

بخش MA این مدل با استفاده از الگوریتم ARMA(1,1) جامعه مورچگان بهینه شده و مدل ARMA-ACA ارائه شد. بهینه شده موسوم به مدل ARMA-ACA بیانگر نتایج بررسی میزان خطای مدل ARMA-ACA بیانگر کاهش میزان خطا و افزایش کارایی این مدل نسبت به مدل ARMA بود. سری باقی مانده مدل ARMA-ACA استخراج شده و با مدل های واریانس شرطی ARCH تلفیق گردید. نتایج بیانگر افزایش دقت و کارایی مدل تلفیقی ARMA-ACA-ARCH نسبت به دو مدل فوق بود. اما مدلی که بهترین کارایی و کمترین میزان خطا در مدل سازی مقادیر بیشینه و کمینه دمای ایستگاه بیرجند را ارائه کرد، مدل ARMA-ARCH بود. این مدل بهترین کارایی و کمترین میزان خطا را در بین چهار مدل مورد بررسی داشت.

مراجع

- خلیلی ک. و ناظری تهرودی م، ۱۳۹۵. ارزیابی مدل های تک متغیره و چندمتغیره سری زمانی در پیش بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۱۰): ۱۵۵-۱۴۵.
- خلیلی ک.، فاخری فردا. دین پژوهی، و قربانی، م، ۱۳۸۹. تحلیل روند و ایستایی جریان رودخانه به منظور مدل سازی سری های زمانی هیدرولوژیکی. مجله دانش آب و خاک (دانشگاه تبریز)، ۲۰(۱): ۶۱-۷۲.
- کارآموز م.، عراقی نژاد ش، ۱۳۸۹. هیدرولوژی پیشرفته. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۴۶۴ صفحه.
- Abrahart, R. J. and See, L., 2000. Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments. *Hydrological processes*, 14(11-12), pp.2157-2172.
- Babbar-Sebens, M. and Minsker, B. S., 2012. Interactive genetic algorithm with mixed initiative interaction for multi-criteria ground water monitoring design. *Applied Soft Computing*, 12(1), pp.182-195.
- Box, G. E. and Jenkins, G. M., 1976. *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Caiado, J., 2007. *Forecasting water consumption in Spain using univariate time series models*.
- Dorigo, M., 1992. *Optimization, learning and natural algorithms*. PhD Thesis, Politecnico di Milano.
- Engle, R. F., 1982. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 987-1007.

- analysis of river basins by simulation. Design of water resource systems, pp.459-493.
- Valipour, M., Banihabib, M. E. and Behbahani, S. M. R, 2013. Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir. Journal of hydrology, 476, pp.433-441.
- Wang, W., Vrijling, J. K., Van Gelder, P. H. and Ma, J, 2005. Testing for nonlinearity of streamflow processes at different timescales. Journal of Hydrology, 322(1), pp.247-268.
- Yu, Y. S., Zou, S. and Whittemore, D, 1993. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. Journal of Hydrology, 150(1), pp.61-80.

Optimization of the residual values of combined time series models and suggesting of ARMA-ARCH-ACA model

Mohammad Nazeri Tahroudi ^{1*}, Yousef Ramezani ²

¹ Ph.D Student of Water Resources Management, Birjand University, Birjand, Iran.

² Assistant Professor, Department of Water Engineering, Birjand University, Birjand

*Corresponding Author Email: m_nazeri2007@yahoo.com

Received: 25 August 2018, accepted: 11 November 2018

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate two ARMA and ARCH linear and nonlinear models in modeling the maximum and minimum temperature of Birjand synoptic station in the statistical period of 1961-2005 and finally presenting the ARMA-ARCH and ARMA-ACA-ARCH hybrid models for model these values should be set. This study evaluates the accuracy of modeling the minimum and maximum temperature of the Birjand synoptic station with a new approach in modeling the residual values of linear time series models. In this study, two ARMA and ARCH base models and three ARMA-ARCH, ARMA-ACA and ARMA-ACR-ARCH hybrid models were used. Also, an ant colony algorithm has been used to optimize the parameters of the ACA model. After completing and correcting the used data, the models were applied to the minimum and maximum temperature data of the Birjand synoptic station. The results of the investigation of the accuracy and efficiency of the models used showed that ARMA, ARMA-ACA, ARMA-ARA-ARCH and ARMA-ARCH models were the most accurate and efficient respectively. The results showed that by combining the ARMA model with ACA model, the error rate of modeling the minimum and maximum temperature values of the Birjand station was improved about 12 and 20 percent, respectively. In the combining the ARMA and ARCH model, the modeling error rate in the modeling of the minimum and the maximum temperature of the Birjand synoptic station decreased about 74% and 94%, respectively.

Keywords: Conditional Variance Models, Hybrid Models, Precipitation, Temperature, Univariate Models

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Nazeri Tahroudi, M.; Ramezani, Y. (2018). Optimization of the Residual Values of Combined Time Series Models and Suggesting of ARMA-ARCH-ACA Model. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(3): 258-271.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JM AS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

