

معرفی و کاربرد الگوی تلفیقی پیشنهادی BL-ARCH در پیش‌بینی دبی روزانه رودخانه (مطالعه موردی رودخانه شهرچای ارومیه)

کیوان خلیلی^۱ - احمد فاخری فرد^۲ - یعقوب دین پڑوه^۳ - فرشاد احمدی^۴ - جواد بهمنش^{۵*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

چکیده

استفاده از مدل‌های سری زمانی یکی از راه‌های کاربردی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی داده‌های هیدرولوژیکی است. یکی از نقاط ضعف مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی داده‌های هیدرولوژیکی، نحوه تولید داده‌های تصادفی است. به طوریکه داده‌های تولیدی نیز با تغییر سری تصادفی، تغییر خواهند کرد. این تحقیق با الگوی غیرخطی ARCH بخش تصادفی مدل سری زمانی مختص آن رودخانه را مدل‌سازی می‌کند. سپس سری تصادفی تولید می‌شود. مدل تلفیقی پیشنهادی BL-ARCH برای پیش‌بینی جریان رودخانه، با تلفیق مدل ARCH و مدل غیرخطی BL ارائه گردیده است. داده‌های روزانه ۳۱ ساله دبی رودخانه شهرچای ارومیه واقع در غرب دریاچه ارومیه و استان آذربایجان غربی، برای پیش‌بینی ۱۱ ساله جریان رودخانه استفاده شده است. نتایج حاصل نشان داد که مدل تلفیقی پیشنهادی با خطای ۴/۵۲، نسبت به مدل دوخطی با خطای ۶/۷۷ برآزش بهتری نسبت به مدل دوخطی دارد. این مدل می‌تواند در پیش‌بینی جریان‌های کوتاه مدت رودخانه به ویژه جریان‌های روزانه به کارگرفته شود.

واژه‌های کلیدی: سری تصادفی، الگوی دوخطی، الگوی تلفیقی BL-ARCH، پیش‌بینی جریان روزانه

مقدمه

بسیار اندک است. خلاء انجام مطالعه در مورد جریان رودخانه مشهودتر است. به طوری که به نظر می‌رسد، تاکنون در ایران مطالعه‌ای در زمینه کاربرد مدل‌های غیرخطی سری زمانی فرآیندهای جریان رودخانه وجود نداشته و در سطح جهانی نیز مطالعات مزبور انگشت شمار بوده است.

مدل دوخطی^۶ توسط گرانگر و آندرسون معرفی شد (۹) و تحقیقات فراوانی پس از آن بر روی این مدل به عمل آمد. این محققان خصوصیات آماری مدل $BL(1,0,1,1)$ را مورد بررسی و توجه قرار دادند. سوپارائو (۱۸) مدل $BL(p,0,p,1)$ را مورد بررسی قرار داده و به نتایج جالبی در رابطه با خصوصیات سری‌های زمانی دست یافت. سوپارائو و گاب (۱۹) بر روی برخی خصوصیات و کاربردهای این مدل مباحثی انجام داده و نمایش ماتریسی و فضایی این مدل را ارائه نمودند. فام (۱۵) تحقیقی بر روی خصوصیات پایه و محاسبات آماری مدل‌های دوخطی انجام داد. محققانی مانند کیم و همکاران (۱۰)، لیو و چن (۱۴) و سیسی و سوپارائو (۱۷) برای تخمین پارامترهای مدل بی‌لینیر مطالعاتی انجام دادند. دای و بیلارد (۵) مشکل تخمین پارامترهای مدل فضایی دوخطی را مورد توجه قرار

بسیاری از فرآیندهای مربوط به سامانه‌های طبیعی نسبت به زمان غیرخطی هستند. اما برخی از جنبه‌های خاص این سامانه‌ها ممکن است نسبت به جنبه‌های دیگر، به فرآیند غیرخطی نزدیکتر باشند. به هر حال ماهیت غیر خطی بودن برای ما کاملاً آشکار نیست (۲۱). در میان سیستم‌های طبیعی، فرآیند جریان رودخانه یکی از سیستم‌هایی است که در آن دبی جریان در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی می‌تواند غیرخطی باشد.

مدل‌های غیرخطی در علوم مرتبط با آمار، اقتصاد و ریاضیات مورد بحث قرار گرفته و توسعه یافته‌اند (۱۶ و ۲۲). اکثر این مدل‌ها در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی اقتصادی کاربرد داشته‌اند (۸). تعداد مطالعات مربوط به مدل‌های غیرخطی سری‌های زمانی در تحلیل و پیش‌بینی در مقایسه با سری‌های زمانی خطی

۵- استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*- نویسنده مسئول: (Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir)

۲، ۳ و ۴- به ترتیب استاد، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

حوضه شهرچای ارومیه یکی از زیرحوضه‌های مهم دریاچه ارومیه می‌باشد که در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان غربی واقع شده و موقعیت جغرافیایی آن بین $35^{\circ}44'$ تا $48^{\circ}44'$ طول شرقی و $37^{\circ}20'$ تا $33^{\circ}37'$ عرض شمالی می‌باشد. ارتفاع منطقه از ۱۵۱۳ متر از سطح دریا در خروجی حوضه تا ۳۵۹۵ متر در مرز ایران و ترکیه تغییر می‌کند و متوسط بارش سالانه $614/9$ میلیمتر می‌باشد (۱). شکل ۱ موقعیت زیرحوضه مورد مطالعه در ایران و استان آذربایجان غربی نشان داده شده است. در این تحقیق از داده‌های روزانه ۳۱ ساله ایستگاه هیدرومتری میرآباد از سال آبی ۱۳۵۲ الی ۱۳۸۲ واقع در بالادست حوضه استفاده گردیده است. مساحت بالادست حوضه ایستگاه هیدرومتری میرآباد حدود ۱۹۰ کیلومتر مربع می‌باشد. در داده‌ها هیچ خلأ آماری وجود ندارد. مشخصات آماری سری‌های جریان رودخانه در جدول ۱ به طور خلاصه ارائه گردیده است.

الگوی دوخطی

مدل‌های خطی سری زمانی در واقع بسط مرتبه اول سری‌های تیلور^۵ هستند (۲۰). ایده اصلی مدل دوخطی نیز غیرخطی بودن بسط مرتبه دوم سری تیلور است. شکل کلی مدل دوخطی مطابق رابطه ۱ است (۲۰).

$$X_t = \sum_{j=1}^p (b_j \cdot X_{t-j}) - \sum_{k=1}^q (a_k \cdot \varepsilon_{t-k}) + \varepsilon_t \quad (1)$$

که در آن X_t سری زمانی موردنظر و p, q, P, Q اعداد صحیح مثبت می‌باشند که رسته یا مرتبه مدل دوخطی را نشان می‌دهند. مدل فوق در برخی منابع به صورت مدل $BL(p, q, P, Q)$ نیز نمایش داده می‌شود (۷). a, b, c ضرایب مدل دوخطی است. ε_t نیز سری تصادفی نرمال می‌باشد. به عنوان نمونه در صورتی که مقادیر رسته مدل بی‌لینیر $P=Q=q=p=1$ باشد، مدل دوخطی به صورت $BL(1,1,1,1)$ نمایش داده شده و می‌توان مطابق رابطه ۲ نوشت. که در آن، ε_t سری تصادفی مستقل با توزیع نرمال است:

$$BL(1,1,1,1) = X_t = b \cdot X_{t-1} - a \cdot \varepsilon_{t-1} + c \cdot X_{t-1} \cdot \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

داده و با فرض ایستا بودن سری، روشی به نام تخمین شرطی حداکثر درست نمایی با استفاده از الگوریتم عددی نیوتن رافسون، جهت تخمین پارامترهای مدل ارائه نمودند. لیفشیتس (۱۳) منشا تغییرات مدل دوخطی در سری‌های زمانی با ماهیت غیرخطی ضعیف را مورد تحقیق قرار داد و به روابط و معادلات ریاضی حاکم بر این شرایط دست یافت. به نظر می‌رسد، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی جریان رودخانه در علوم مرتبط با هیدرولوژی از این مدل استفاده نشده است. مدل واریانس شرطی ناهمسان خوهمبسته^۱ ARCH توسط انگل ارائه گردید (۶). هدف اصلی این محقق مدل‌سازی واریانس نرخ تورم در انگلیس بود. ایده اصلی مدل‌های ARCH از مطالعات اقتصادی نشأت گرفته و برای مدل‌سازی پدیده‌های ناپایدار نظیر نرخ بهره و سهام به کار گرفته شده است. واریانس در این مدل‌ها پایای زمانی نیست. انواع دیگر از مدل‌های ARCH نیز ارائه شده‌اند. مهمترین آنها مدل واریانس شرطی ناهمسان خوهمبسته تعمیم یافته^۲ (GARCH) است (۳).

وانگ و همکاران (۲۲) از ترکیب مدل $ARMA^3$ و مدل GARCH برای برازش واریانس و میانگین روزانه جریان رودخانه زرد در چین استفاده کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل $ARMA-GARCH$ نتایج بسیار سودمندی در مدل‌سازی سری روزانه جریان رودخانه ارائه می‌کند. کایادو (۴) 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. آنها مدل‌های $ARIMA^4$ و GARCH را بر روی سری داده‌های مشاهداتی برازش داده و کارایی این مدل‌ها مورد ارزیابی و تایید قرار گرفت. در ضمن جهت بهبود نتایج پیش‌بینی پیشنهاد شده، که از مدل‌های ترکیبی استفاده گردد. لائوکس و همکاران (۱۲) با استفاده از مدل غیرخطی سری زمانی $ARMA-GARCH$ با برازش بر روی داده‌های ایستگاه‌های منتخب در منطقه آلپ آلمان، شبیه‌سازی بارش باران تصادفی را انجام دادند. آنها با تمرکز روی جفت مثبت مشاهداتی و مدل‌سازی بارش، این مدل را برای پالایش محلی جهت اصلاح داده‌ها به کار گرفتند.

پیش‌بینی دقیق جریان رودخانه‌ها یکی از مهمترین ارکان در مدیریت منابع آب‌های سطحی به ویژه اتخاذ تدابیر مناسب در مواقع سیلاب و بروز خشکسالی‌ها است. هدف از این مطالعه معرفی و استفاده از مدل تلفیقی $BL-ARCH$ در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه شهرچای ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی می‌باشد.

1 - Autoregressive Conditional Heteroskedastic Model (ARCH)

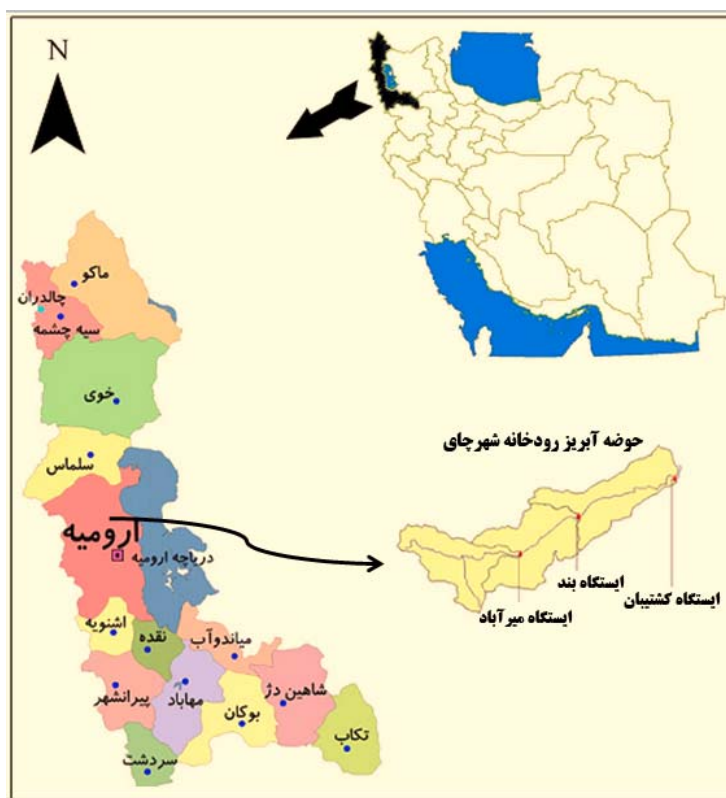
2 - Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedastic Model (GARCH)

3 - Autoregressive Moving Average (ARMA)

4 - Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

جدول ۱- مشخصات آماری سری‌های جریان رودخانه شهرچای ارومیه

نام ایستگاه	دوره زمانی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مساحت بالادست ایستگاه هیدرومتری (km ²)	مقیاس زمانی	مقدار (m ³ /s)	انحراف معیار (m ³ /s)	ضریب چولگی
میرآباد	۱۳۵۲-۸۲	۴۴-۵۳	۳۷-۲۶	۱۹۰	ماهانه	۵/۰۹	۶/۸۹	۲/۱۸
					روزانه	۵/۱۵	۷/۵۴	۲/۴۵
					سالانه	۵/۰۹	۱/۸۹	۰/۵۲۴



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

$$Z_t = \sum_{i=1}^p (\phi_i \cdot Z_{t-i}) - \sum_{j=1}^q (\theta_j \cdot \varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (3)$$

که پارامترها در این مدل مانند مدل ARMA بوده و فقط عبارت $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s (\beta_{ij} \cdot Z_{t-i} \cdot \varepsilon_{t-j})$ به آن اضافه شده است. رسته مدل و (p, q, r, s) نیز ضرایب مدل دوخطی است که در این تحقیق و در بخش نتایج و بحث از این علائم برای نمایش نتایج مدل دوخطی استفاده شده است.

مدل دوخطی یک مدل ARMA (خطی) است که عبارت غیرخطی $\sum_{j=0}^p \sum_{K=1}^q (c_{jk} \cdot X_{t-j-k} \cdot \varepsilon_{t-k})$ به آن اضافه شده است (۲). در این عبارت حاصلضرب دو متغیر X_t و ε_t که هر دو نسبت به زمان متغیراند، سبب شده معادله از حالت خطی خارج و غیرخطی شود. شاید یکی از بهترین روش‌ها برای معرفی مدل‌های غیرخطی سری زمانی اضافه کردن یک عبارت به مدل خطی باشد که این عمل در مدل دوخطی مشاهده می‌شود (۷). اگر بخواهیم مدل دوخطی را به همان روال قبلی مدل‌های خطی سری زمانی نمایش رابطه ۳ به وجود می‌آید:

مدل ARCH به همراه ضریب α قرار داده شود. در واقع مدل ARCH بخش تصادفی مدل دوخطی را تعیین خواهد کرد. به عنوان نمونه می توان شکل کلی مدل را برای مدل $BL(1,1,1,1)$ ARCH(1) مطابق رابطه ۷ نوشت.

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \theta_1 (\alpha \varepsilon_{t-1}) + \beta_1 Z_{t-1} (\alpha \varepsilon_{t-1}) + (\alpha \varepsilon_t) \quad (7)$$

نتایج

نتایج برازش مدل‌های دوخطی و تلفیقی BL-ARCH بر روی سری روزانه جریان رودخانه

پس از نرمال و استاندارد کردن سری زمانی، از مدل دوخطی برای مدل سازی جریان روزانه رودخانه و تلفیق آن با مدل ARCH استفاده شده است. از بین مدل‌های دوخطی مدل $BL(1,18,1,1)$ با داشتن کمترین مقدار AIC معادل $6817/69$ به عنوان مدل مناسب انتخاب شد. بدین منظور مدل $BL(1,18,1,1)$ بر روی سری جریان روزانه رودخانه برازش داده شده و شکل کلی مدل به صورت زیر بدست آمده است:

$$\begin{aligned} Z_t = & 0.9868 \times Z_{t-1} - 0.0941 \times \varepsilon_{t-1} - 0.1181 \times \varepsilon_{t-2} \\ & - 0.0913 \times \varepsilon_{t-3} - 0.0431 \times \varepsilon_{t-4} - 0.0460 \times \varepsilon_{t-5} \\ & - 0.0440 \times \varepsilon_{t-6} - 0.0492 \times \varepsilon_{t-7} - 0.0128 \times \varepsilon_{t-8} - \\ & 0.0182 \times \varepsilon_{t-9} - 0.0221 \times \varepsilon_{t-10} + 0.0010 \times \varepsilon_{t-11} \\ & - 0.0010 \times \varepsilon_{t-12} - 0.0283 \times \varepsilon_{t-13} + 0.0155 \times \varepsilon_{t-14} - \\ & 0.0100 \times \varepsilon_{t-15} - 0.0113 \times \varepsilon_{t-16} + 0.0124 \times \varepsilon_{t-17} \\ & - 0.0300 \times \varepsilon_{t-18} - (0.584 \times Z_{t-1} \times \varepsilon_{t-1}) + \varepsilon_t \end{aligned}$$

که در این مدل $\beta = -0.584$ و $\theta_{18} = -0.0300$ ، $\theta_{15} = -0.0100$ ، $\theta_{16} = -0.0113$ ، $\theta_{17} = -0.0124$ ، $\theta_{12} = -0.0010$ ، $\theta_{13} = 0.0283$ ، $\theta_{14} = -0.0155$ ، $\theta_9 = -0.0182$ ، $\theta_{10} = -0.0221$ ، $\theta_{11} = 0.0010$ ، $\theta_6 = -0.0440$ ، $\theta_7 = -0.0492$ ، $\theta_8 = -0.0128$ ، $\theta_3 = -0.0913$ ، $\theta_4 = -0.0431$ ، $\theta_5 = -0.0460$ ، $\phi_1 = 0.9868$ ، $\theta_1 = -0.0941$ ، $\theta_2 = -0.1181$ ، می باشد.

نتایج مقایسه آمار واقعی با مقادیر پیش بینی حاصل از مدل غیرخطی $BL(1,18,1,1)$ از سال آبی ۱۳۷۸ الی ۱۳۸۲ (به مدت ۵ سال) در شکل ۲ نشان داده شده است. خطای کل حاصل از مدل غیرخطی دوخطی در پیش بینی پنج ساله برابر $6/77$ محاسبه گردید. همچنین مدل تلفیقی پیشنهادی BL-ARCH برای سری جریان روزانه رودخانه شهرچای ارومیه مورد استفاده قرار گرفت. در این

مدل تلفیقی پیشنهادی BL-ARCH

یکی از مشکلات مهم در مدل سازی سری‌های زمانی، تعیین بخش تصادفی مدل است. زیرا با هر بار قرار دادن یک سری داده تصادفی جدید، سری جدیدی تولید می‌شود. درحالی که ممکن است تاثیری در روند کلی مقادیر پیش بینی نداشته باشد. بنابراین در مدل تلفیقی پیشنهادی سعی شده تا بخش تصادفی یا واریانس سری نیز مدل سازی شود. در ضمن در بیشتر مطالعات مرتبط با مدل سازی و پیش بینی فرآیندهای هیدرولوژیکی توجه اصلی بر روی مقادیر میانگین داده‌ها است. در حالی که کمتر به پدیده متغیر بودن واریانس نسبت به زمان توجه شده است. با توجه به پیشرفت مطالعات انجام گرفته در زمینه ریسک و عدم قطعیت در مهندسی منابع آب، توسعه و کاربرد روش‌های مدل سازی تغییرات واریانس نسبت به زمان نیز ضروری به نظر می‌رسد. این مطالعه سعی نموده تا با تلفیق مدل واریانس شرطی ناهمسان خودهمبسته (ARCH) و دوخطی گام موثری بردارد.

مدل ARCH یک مدل غیرخطی سری زمانی است که برای مدل سازی تغییرات واریانس نسبت به زمان توسط انگل به صورت رابطه ۴ ارائه شد (۶).

$$\varepsilon_t = \sigma_t z_t \quad \text{و} \quad \sigma_t^2 = a_0 + \sum_{i=1}^m b_i \varepsilon_{t-i}^2 \quad (4)$$

که در آن σ_t^2 واریانس شرطی ε_t ، عبارت خطا یا باقی مانده مدل، $a_0 \geq 0, b_i \geq 0$ پارامترهای مدل، m رسته مدل و $\{z_t\} \sim IID(0,1)$ می باشد.

گام‌های برازش الگوی ARCH به شرح زیر است:

۱- بهترین مدل AR با مرتبه m بر روی سری داده‌های ایستا (Z_t) برازش داده می‌شود (رابطه ۵).

$$Z_t = \sum_{i=1}^m (\phi_i \cdot Z_{t-i}) + \varepsilon_t \quad (5)$$

۲- مقدار خطای ε_t از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

۳- ε_t^2 محاسبه و رابطه برازشی زیر برای سری ε_t^2 بدست می‌آید:

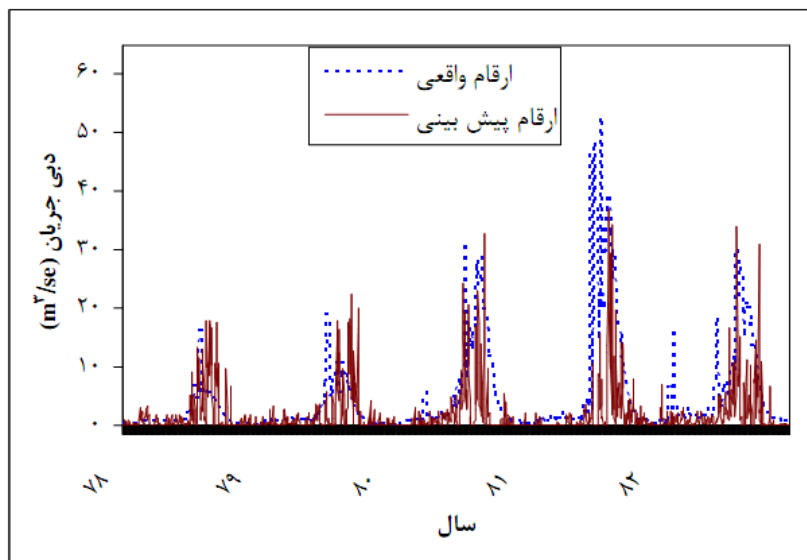
$$\hat{\varepsilon}_t^2 = a_0 + \sum_{i=1}^m b_i \hat{\varepsilon}_{t-i}^2 \quad (6)$$

اگر برای مقادیر مختلف $i = 1, \dots, q$ مقدار $a_i = 0$ باشد، رابطه‌ای بین مقادیر خطای مدل قابل برازش نخواهد بود.

۴- گام بعدی تلفیق دو مدل ARCH و دوخطی (BL) است. پس از کنترل و انتخاب نهایی مدل‌ها، برای تلفیق دو مدل کافی است به جای بخش تصادفی مدل دوخطی (ε_t)، نتایج حاصل از برازش

بر روی نمودار نشان داده می‌شود تا نقطه یا مقدار بهینه برای ضریب α بدست آید. نتایج حاصل از برازش مدل ARCH بر روی سری روزانه جریان رودخانه در جدول ۲ ارائه گردیده است.

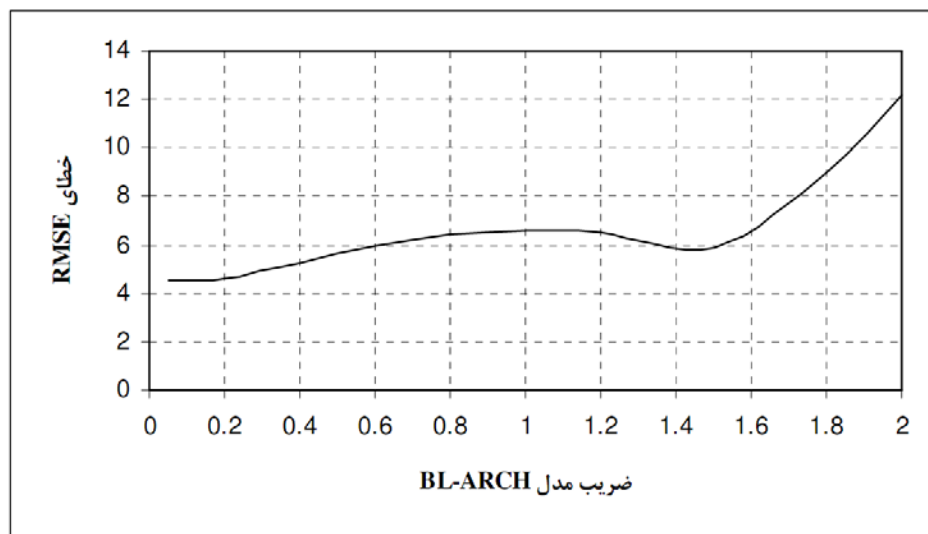
تحقیق برای محاسبه ضریب α از روش آزمون و خطا، بدین ترتیب استفاده شده است که ابتدا با در نظر گرفتن مقادیر مختلف α دبی جریان برای دوره ۵ ساله از سال آبی ۱۳۷۸ الی ۱۳۸۲ با استفاده از مدل تلفیقی محاسبه می‌گردد. سپس نتایج حاصل به صورت گرافیکی



شکل ۳- مقایسه دبی جریان روزانه پیش‌بینی شده از مدل $BL(1,18,1,1)$ با مقادیر واقعی از سال ۷۸ الی ۸۲

جدول ۲- نتایج برازش مدل ARCH بر روی سری واریانس روزانه جریان رودخانه شهرچای در دوره آماری ۳۱ ساله

LogLikelihood	ضرایب مدل		رسته مدل	مدل
	b_1	a_0	m	
-۱۲۳۵۹/۵۴	۰/۵۲۱	$۸/۳۹ \times e^{-\alpha}$	۱	ARCH



شکل ۳- خطای RMSE به ازای مقادیر مختلف ضریب α در مدل تلفیقی برازشی جریان روزانه رودخانه شهرچای

آزمون نکویی برازش، قبل از استفاده و معرفی مدل منتخب جهت برازش و پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه شهرچای ارومیه انجام گرفته است. نتایج آزمون نکویی برازش پورت مانتو در جدول ۳ ارائه گردیده است. نتایج حاصل از آزمون نکویی برازش صحت و کفایت مدل برازشی را تایید می‌نماید.

پس از آزمون نکویی برازش و انتخاب مدل تلفیقی ARCH-BL(1,18,1,1) به عنوان مدل مناسب، از این مدل جهت تولید آمار و پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه شهرچای ارومیه به مدت ۱۱ سال استفاده شده است. نمایش نموداری این نتایج در اشکال ۴ و ۵ نشان داده شده است.

نتیجه گیری

پیش‌بینی جریان رودخانه با توجه به اهمیت آن در تحلیل خشکسالی و سیلاب، طراحی تأسیسات آبی، آبیگری از رودخانه‌ها، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از مخازن سدها، کنترل فرسایش و رسوب رودخانه‌ها و غیره از دیرباز مورد توجه مهندسان آب بوده است. از مدل‌های غیرخطی سری‌زمانی برای برازش و پیش‌بینی جریان رودخانه در این تحقیق استفاده شده است.

مدل ARCH برازشی مطابق رابطه ۸ می‌باشد.

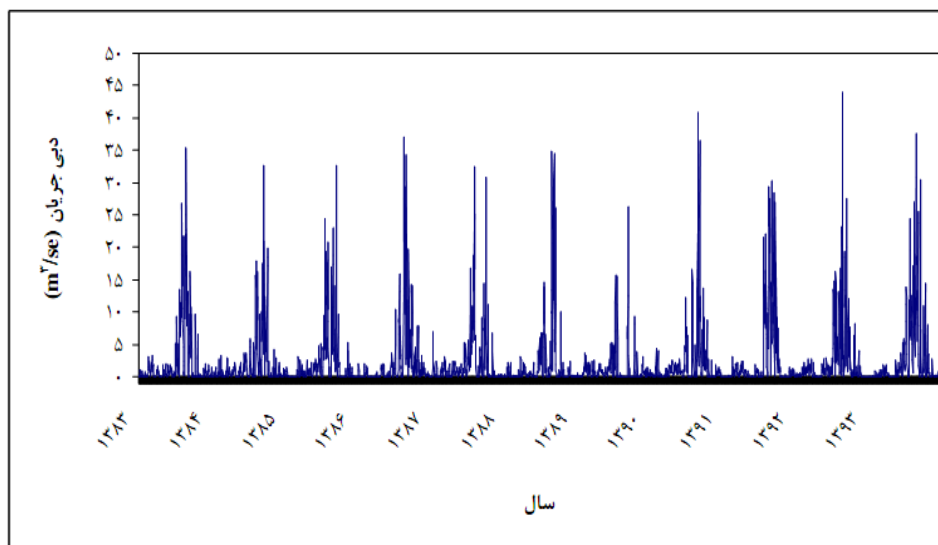
$$\sigma_t^2 = 8.39 \times e^{-9} + 0.521 \times \varepsilon_{t-1}^2 \quad (8)$$

پس از محاسبه و برازش مدل ARCH، دو مدل ARCH و BL(1,18,1,1) تلفیق شده و مدل تلفیقی به دست آمده است. محاسبه ضریب α نیز با قرار دادن مقادیر مختلف α در معادله تلفیقی، دبی جریان روزانه رودخانه شهرچای ارومیه از سال آبی ۱۳۷۸ الی ۱۳۸۲ محاسبه و پیش‌بینی شده است. خطای حاصل از مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی به دست آمده و برای تکرارهای مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. مقدار بهینه ضریب α برای مدلی تلفیقی پیشنهادی BL-ARCH دبی جریان روزانه رودخانه شهرچای در محل ایستگاه میرآباد معادل ۰/۱ برآورد شده است.

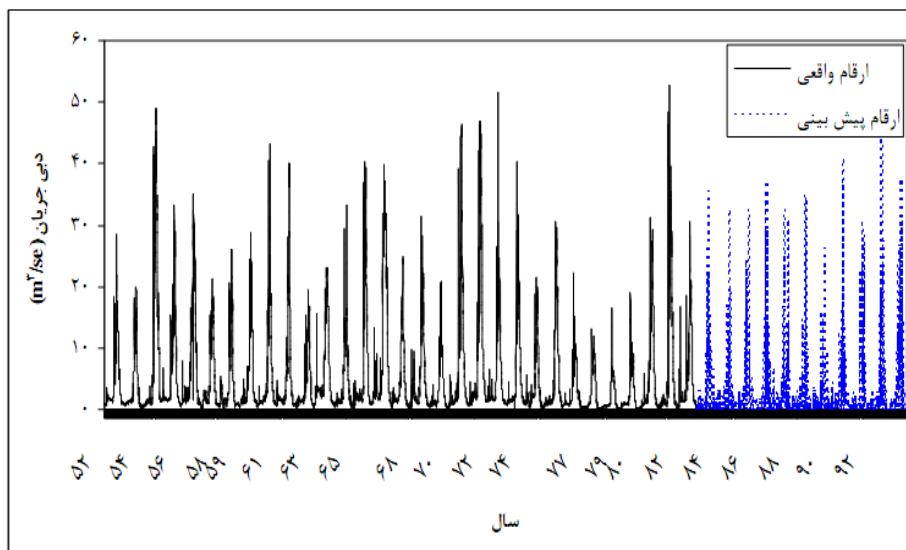
دبی جریان روزانه رودخانه شهرچای ارومیه پس از تعیین ضریب $\alpha=0/1$ در مدل BL-ARCH به مدت ۵ سال از سال آبی ۱۳۷۸ الی ۱۳۸۲ پیش‌بینی و با مقادیر واقعی مقایسه شد. نتایج حاصل از این مقایسه نشان داد که خطای کلی مدل تلفیقی BL-ARCH معادل ۴/۵۲ بوده که در مقایسه با مدل BL(1,18,1,1) که خطای آن معادل ۶/۷۷ می‌باشد، کمتر و در نهایت مدل تلفیقی ARCH-BL(1,18,1,1) برای پیش‌بینی دبی جریان روزانه رودخانه شهرچای ارومیه پیشنهاد می‌شود.

جدول ۳- نتایج آزمون پورت مانتو مدل ARCH-BL(1,18,1,1) برازشی جریان روزانه رودخانه شهرچای ارومیه

تعداد داده	درجه آزادی	سطح معنی‌داری	آزمون Q	مقدار جدول	نتیجه آزمون
۱۱۳۰۱	۱۰۱	۹۵ درصد	۹۸/۳۷	۱۲۴/۳	مورد قبول



شکل ۴- مقادیر دبی جریان روزانه پیش‌بینی شده از سال ۸۳ الی ۹۳ با استفاده از مدل ARCH-BL



شکل ۵- دبی جریان روزانه واقعی و پیش‌بینی شده از سال ۵۲ الی ۹۳ با استفاده از مدل BL-ARCH

را نیز در برگیرد و انتظار بر این است که بتواند خطای مدل را کاهش دهد. نتایج نشان داد که مدل تلفیقی پیشنهادی (با خطای ۴/۵۲) نسبت به مدل دوخطی (با خطای ۶/۷۷) برازش بهتری داشته است. به نظر می‌رسد از تلفیق مدل‌های سری‌زمانی با مدل‌های واریانس شرطی خودهمبسته در داده‌های هیدرولوژیکی می‌توان برازش‌های بهتری داشت. تلفیق مدل‌های غیرخطی با سایر مدل‌های واریانس شرطی خودهمبسته نظیر GARCH، EGRACH، Nonlinear GRACH و مقایسه این روش‌ها با هم می‌تواند در تحقیقات بعدی مدنظر قرار گیرد.

تفاوت اساسی این مطالعه با سایر تحقیقات در این است که اولاً به جای مدل‌های رایج خطی خانواده ARMA از مدل دوخطی استفاده شده و ثانیاً بخش تصادفی مدل که یکی از ارکان مهم مدل سری زمانی محسوب می‌شود، از برازش مدل غیرخطی ARCH به دست آمده و با مدل دوخطی تلفیق شده است. هم‌چنین در این مطالعه دبی جریان روزانه رودخانه مدنظر قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل دوخطی می‌تواند در پیش‌بینی جریان کوتاه مدت روزانه کاربرد موثری داشته باشد. علاوه بر این مدلی به عنوان مدل تلفیقی BL-ARCH پیشنهاد شده که بتواند بخش خطای مدل

منابع

- ۱- نجفی ایگدیر ا، قدوسی ج، ثقفیان ب. و پرهمت ج. ۱۳۸۶. برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنجش دور سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهرچایی ارومیه. پژوهش و سازندگی ۷۶.
- 2- Ainkaran P. 2004. Analysis of some linear and nonlinear time series models. A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, School of Mathematics and Statistics, University of Sydney.
- 3- Bollerslev T. 1986. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. Journal of Econometrics, 31: 307-327.
- 4- Caiado J. 2007. Forecasting water consumption in Spain using univariate time series models. Munich Personal RePEc Archive, no: 6610.
- 5- Dai Y., and Billard L. 2003. Maximum likelihood estimation in space time bilinear models. Journal of Time Series Analysis, 24(1): 25-44.
- 6- Engle R.F. 1982. Autoregressive conditional heteorcedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflations. Econometrica, 50: 987-1007.
- 7- Fan J., and Yao Q. 2003. Nonlinear time series, nonparametric and parametric methods. Springer-Verlag, NewYork, Inc.
- 8- Franses P.H., and Van Dijk D. 2002. Non-linear time series models in empirical finance, Cambridge University Press.
- 9- Granger C.W.J., and Andersen A.P. 1978. An Introduction to Bilinear Time Series Models. Vandenhoeck and Ruprecht: Göttingen.
- 10- Kim W.K., Billard L., and Basawa I.V. 1990. Estimation of first order diagonal bilinear time series model. Journal

- of Time Series Analysis, 11:215-230.
- 11- 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.
 - 12- 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 *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 2401–2419.
 - 13- Lifshits M.A. 2006. Invariance principle in a bilinear model with weak nonlinearity. *Journal of Mathematical Sciences*, Vol. 137 , No.1 4541-4545.
 - 14- Liu J., and Chen Z.G. 1991. Bilinear(p,0,1,1) model and its consistent identification. Preprint.
 - 15- Pham D.T. 1993. Bilinear time series models. In *Dimension Estimation and Models* (H.Tong, ed.), World Scientific, Singapore.
 - 16- Priestley M.B. 1988. *Non-linear and Non-stationary Time Series Analysis*, Academic Press: London.
 - 17- Sesay S.A.O., and Subba Rao T. 1992. Frequency domain estimation of a bilinear time series model. *Journal of Time Series Analysis*, 13: 521-545.
 - 18- Subba Rao T. 1981. On the theory of bilinear series models. *J. of the Royal Stat. Soc. B*, 43: 224-255.
 - 19- Subba Rao T., and Gabr M.M. 1984. *An Introduction to Bispectral Analysis and Bilinear Time Series Models*. Lecture Notes in Statistics, 24. Springer-Verlag: New York.
 - 20- Tsay R.S. 2002. *Analysis of financial time series*, University of Chicago, A Wiley – Interscience Publication, John Wiley f Sons; Inc.
 - 21- Tsonis A.A. 2001. Probing the linearity and nonlinearity in the transitions of the atmospheric circulation. *Nonlinear Processes Geophysics*. 8, 341-345.
 - 22- Tong H. 1990. *Non-Linear Time Series: A Dynamical System Approach*, Oxford University Press.
 - 23- Wang W., Van Gelder P.H.A.J.M., and Vrijling J.K. 2005a. Testing and modeling autoregressive conditional heteroskedasticity of streamflow processes. *Nonlin. Process. Geophys.* 12: 55-66.



Introducing and Application of Combined BL-ARCH Model for Daily River flow Forecasting (Case study: Shahar-Chai River)

K. Khalili¹- A. Fakhri Fard²- Y. Dinpaghoh³- F. Ahmadi⁴- J. Behmanesh^{5*}

Received:08-08-2012

Accepted:10-03-2013

Abstract

One of the applicable ways for simulation and forecasting hydrological processes is time series modeling. An important problem in forecasting hydrological data using time series is generating stochastic data. Any changes in stochastic series will change generating data. In this study nonlinear ARCH model presented in order to modeling and generating stochastic component of time series. After combing ARCH model with nonlinear bilinear model, BL-ARCH model suggested to forecasting river flow discharge. Daily river flow of Shahar-Chai River located in the west of Urmia Lake and West Azarbaijan province have been used for data analysis and 11 years forecasting. As results shown suggested model with 4.52 error has better than bilinear model with 6.77 error. So this model can be used for short-time river flow forecasting specially daily series.

Keywords: Stochastic series, Bilinear model, Combined BL-ARCH, Forecasting daily flow

1,5 - Assistant Professors of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran
(*-Corresponding Author Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir)

2,3,4- Professor, Associate Professor and Msc. Student of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Iran, Respectively