نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۳۰۷-۱۲۹۹

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1299-1307

پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از مدل غیرخطی سری زمانی دو-خطی (مطالعه موردی رودخانه‌های باراندوزچای و شهرچای ارومیه)

هادی ناوه[1*]- کیوان خلیلی[2] - محمد تقی اعلمی[3]- جواد بهمنش[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱

چکیده

یکی از ابزارهای مهم در مدل‌سازی و پیش‌بینی فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده از مدل‌سازی و تحلیل سری‌های زمانی است. سری‌های تولید شده جریان رودخانه با استفاده از مدل‌های سری‌زمانی در مطالعات مختلفی نظیر خشکسالی، سیلاب، طراحی سیستم‌های مخازن و اهداف فراوان دیگر قابل استفاده می‌باشد. با توجه به این که فرآیند جریان رودخانه می‌تواند در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی غیرخطی باشد، استفاده از مدل‌های غیرخطی سری‌های زمانی بسیار مفید خواهد بود. هدف از این تحقیق، به کارگیری مدل سری‌زمانی غیرخطی بی‌لینیر در پیش‌بینی جریان رودخانه بوده که بدین منظور از داده‌های ۳۱ و ۳۹ ساله دبی جریان ماهانه دو رودخانه، به ترتیب شهرچای و باراندوزچای ارومیه واقع در استان آذربایجان‌غربی استفاده شده است. که مساحت حوضه آبریز باراندوزچای و شهرچای به ترتیب ۱۲۰۳ و ۶۳۶ کیلومترمربع می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که در دو رودخانه مورد مطالعه مدل غیرخطی بی‌لینیر، به دلیل خطای کمتر نسبت به مدلهای خطی ARMA کارآیی بهتری داشته است. اما خطای مدل دو-خطی برازش شده برای رودخانه باراندوزچای برابر ۱/۶۰۵ و رودخانه شهرچای معادل ۱/۹۲۰ بوده که علت کم بودن خطای مدل رودخانه باراندوزچای ممکن است طولانی بودن دوره آماری این ایستگاه و یا تغذیه این رودخانه از چشمه‌ها و منابع آب‌های زیرزمینی باشد.

واژه‌های کلیدی: پیش بینی، دبی جریان، مدل ARMA، مدل دو-خطی، غیرخطی

مقدمه

پیش‌بینی جریان رودخانه با توجه به اهمیت آن در تحلیل خشکسالی و سیلاب، طراحی تأسیسات آبی، آبگیری از رودخانه‌ها، برنامه‌ریزی بهره‌برداری از مخازن سدها، کنترل فرسایش و رسوب رودخانه‌ها و غیره از دیرباز مورد توجه مهندسان آب بوده است. از سوی دیگر با توجه به محدودیت منابع آب شیرین قابل استحصال، پیش‌بینی هر چه دقیقتر دبی جریان و تغییرات آن در طول رودخانه از ارکان اساسی برنامه ریزی و مدیریت منابع آب‌های سطحی است. از این رو متخصصان همواره برای تخمین صحیح دبی رودخانه و اصلاح روش‌های موجود تلاش می‌نمایند. تاکنون روابط و الگوهای گوناگون و پیچیده‌ای برای پیش‌بینی میزان آبدهی رودخانه‌ها مانند انواع الگوهای مفهومی بارش-رواناب، الگوهای خطی سری زمانی و الگوهای ترکیبی هیبرید ارائه شده است، لیکن روابط ارائه شده به دلیل عدم شناخت دقیق و نیز پیچیدگی عوامل موثر در آبدهی رودخانه‌ها، در بسیاری از موارد با مقادیر مشاهده شده تطابق نداشته و در مواقعی نیز میزان مقادیر محاسبه شده از روابط گوناگون تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشته‌اند (۹). مدل‌های سری‌های زمانی از دو بخش یا مولفه اصلی شامل مولفه تصادفی و مولفه قطعی مدل تشکیل شده‌اند که مولفه جبری مدل با استفاده از ارقام مشاهداتی و مولفه تصادفی با استفاده از روش‌های مختلف استوکاستیک بدست می‌آیند. بنابراین ساختار مدل‌های سری زمانی می‌تواند با ساختار سری‌های هیدرولوژیکی در صورت انتخاب درست مدل و محاسبات صحیح آن سازگاری و تطابق داشته باشد (۲۸). بیشتر مدل‌های سری‌زمانی رایج در هیدرولوژی و منابع آب تحلیل مدل‌های خطی سری‌های زمانی است. مدل‌های مختلفی در سری‌های زمانی وجود دارد ولی آنچه که در هیدرولوژی کاربرد بیشتری داشته و در منابع مختلف دیده می‌شود، شامل مدل‌های خودهمبستگی[5]، میانگین متحرک[6]، میانگین متحرک

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- آب، گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد
(*- نویسنده و مسئول: Email: naveh2011@gmail.com)
۲و۴- استادیاران گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه
۳- دانشیار گروه عمران آب، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد مهاباد

5 - Autoregression (AR)
6 - Moving Average (MA)

خود همبسته[1] و میانگین متحرک تجمعی خود همبسته[2] می‌باشد. مدل‌های غیرخطی بیشتر در علوم مرتبط با آمار، تحقیقات مرتبط با آمار، اقتصاد و ریاضیات مورد بحث قرار گرفته و توسعه یافته‌اند و کمتر در منابع آب استفاده شده است. در حالی که بسیاری از فرآیندهای مربوط به سیستم‌های طبیعی نسبت به زمان غیرخطی بوده اگرچه جنبه‌های خاصی از این سیستم ها ممکن است نسبت به جنبه‌های دیگر به فرآیند خطی نزدیکتر باشند. به هر حال ماهیت غیر خطی بودن برای ما کاملاً آشکار نیست (۳۵). کاربرد مدل‌های خطی سری‌های زمانی در هیدرولوژی از چهار دهه پیش آغاز شده و با ارائه مدل‌های باکس-جنکیز به اوج خود رسید. توماس و فایرینگ جزء اولین کسانی بودند که از مدل‌های خطی اتورگرسیو در تحلیل جریان‌های رودخانه بهره جستند (۳۳). پس از آنها مطالعات متعددی انجام گرفت که از بین آنها می‌توان به مطالعات هیپل و مک‌لود (۱۸)، تامپاستون و همکاران (۳۲)، وانگ و همکاران (۳۶) و یورکلی و همکاران (۳۸)، اشاره کرد. شاید بتوان گفت اولین گام مهم در کاربرد عملی سری‌های زمانی در هیدرولوژی توسط مک‌کرچار و دولر برداشته شد که باتوجه به ویژگیهای فصلی در پارامترهای جریان رودخانه مدل ساریما[3] و پارما[4] را جهت شبیه‌سازی رودخانه انتخاب نمودند (۲۰). مدل های غیر خطی سری زمانی متعددی نظیر مدل خودهمبستگی آستانهTAR و مدل غیرخطی واریانس شرطی ناهمسان خودهمبستهARCH وجود دارند. مدل دو-خطی یا بی‌لینیر[5] توسط گرانگر و آندرسون (۱۷) معرفی شد 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. مدل BL(p,0,p,1) توسط سوبارائو (۳۰) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته که در این تحقیق خصوصیات ریاضی این مدل مورد بررسی قرار گرفت. سوبارائو و گابر (۳۱) روی برخی خصوصیات و کاربردهای این مدل مباحثی انجام داده و نمایش ماتریسی و فضایی این مدل را ارائه نمودند. لیو و براکول (۲۲) مدل‌های عمومی بی‌لینیر را مورد مطالعه قرار دادند. محققانی مانند کیم و همکاران (۱۹) و سیسای و سوبارائو (۲۹) جهت تخمین پارامترهای مدل دو-خطی مطالعاتی انجام دادند. مشکل تخمین پارامترهای مدل فضایی دو-خطی توسط دای و بیلارد (۱۵) مورد توجه قرار گرفته و با فرض ایستا بودن سری، روشی به نام تخمین شرطی حداکثر درست‌نمایی با استفاده از الگوریتم عددی نیوتن رافسون، جهت تخمین پارامترهای مدل ارائه نمودند. فام (۲۵) تحقیقی بر روی خصوصیات پایه و محاسبات آماری مدل‌های دو-خطی انجام داد که در توسعه و کاربرد این مدل موثر واقع شد. لائوکس و همکاران (۲۰) با استفاده از مدل غیرخطی سری‌زمانی آرما- گارچ[6] با ارزیابی برروی داده‌های ایستگاه‌های منتخب در منطقه آلپ آلمان، شبیه سازی بارش باران تصادفی انجام دادند. و آنها با تمرکز روی جفت مثبت مشاهده و مدل سازی بارش[7]، این مدل را برای پالایش محلی در جهت اصلاح داده ها به کار گرفتند (۲۰). لیفشیتس (۱۸) در تحقیقی منشا تغییرات مدل دو-خطی در سری‌های زمانی با ماهیت غیرخطی ضعیف را مورد تحقیق قرار داد و به روابط و معادلات ریاضی حاکم بر این شرایط دست یافت. شاید یکی از بهترین راه‌ها جهت معرفی مدل‌های غیرخطی سری زمانی اضافه کردن یک عبارت به مدل خطی باشد که این عمل در مدل دو-خطی مشاهده می‌گردد (۱۶). مدل غیرخطی بی‌لینیر در شاخه‌های مختلف علوم نظیر اقتصاد به کار گرفته شده است. در ایران نیز مطالعاتی در زمینه مدل-های خطی سری زمانی انجام گرفته که می‌توان به علیزاده و صلوی تبار (۷)، خلیلی و همکاران (۴و۵)، صباغیان و شریفی (۶)، میرزایی و آرام (۸)، اشاره کرد. ولی به نظر می‌رسد تحقیقی راجع به استفاده از این مدل در مدل‌سازی و پیش‌بینی جریان رودخانه در ایران و دیگر کشورها صورت نگرفته باشد.

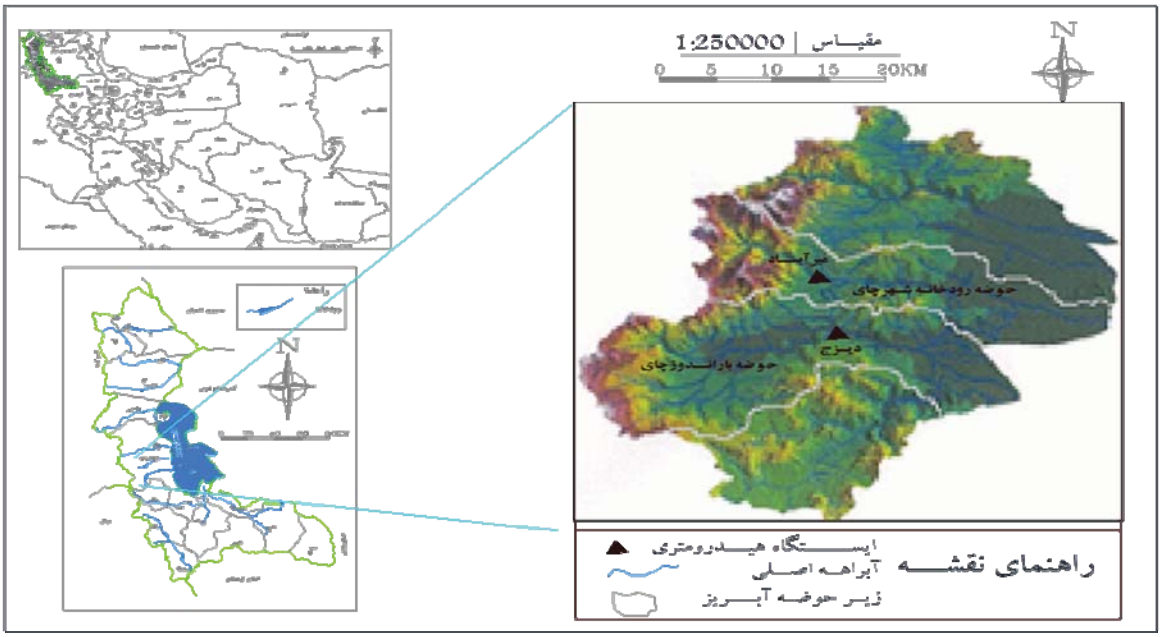
در این تحقیق از بین مدل‌های غیرخطی سری زمانی موجود، از مدل غیرخطی سری زمانی دو-خطی استفاده شده که به نظر می‌رسد در تحقیقات مرتبط با منابع آب، مدل جدیدی باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های دبی جریان ماهانه رودخانه‌های باراندوزچای و شهرچای ارومیه استفاده شده است. حوضه باراندوزچای با مساحت ۱۲۰۳ کیلومترمربع در شمال غرب کشور بین دریاچه ارومیه و مرز ایران و کشورهای عراق و ترکیه واقع شده است. گستردگی جغرافیایی این حوضه از ´۴۵ °۴۴ تا ´۱۴ °۴۵ طول شرقی و ´۰۶ °۳۷ تا ´۲۹ °۳۷ عرض شمالی است (۱). طول آبراهه اصلی ۷۵ کیلومتر بوده، حداکثر ارتفاع این حوضه ۳۵۰۰ متر و حداقل ارتفاع در خروجی معادل ۱۲۵۰ متر از سطح آزاد آبها می‌باشد. این حوضه دارای چهار ایستگاه هیدرومتری در مناطق بابارود، دیزج، قاسملو و بی‌بکران است (۲).

حوضه شهرچای ارومیه یکی از زیرحوضه‌های مهم دریاچه ارومیه بوده که در مجاورت حوضه باراندوز چای و شمال غرب ایرن و در مرز ایران و ترکیه قرار گرفته است. مساحت آن حدود ۶۳۶ کیلومتر مربع بوده که موقعیت آن بین ´۳۵ °۴۴ تا ´۴۸ °۴۴ طول شرقی و ´۲۰ °۳۷ تا ´۳۳ °۳۷ عرض شمالی است. 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 ۶۱۴/۹ میلیمتر می‌باشد (۱۱). در شکل۱ موقعیت زیرحوضه باراندوزچای و شهرچای و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده، نشان داده شده است.

1 - Autoregression Moving Average (ARMA)
2-Autoregression Integrated Moving Average (ARIMA)
3 - Seasonal ARIMA
4 – Periodic ARMA
5 - Bilinear Models
6 - ARMA–GARCH
7 - RCM



شکل ۱ - موقعیت حوضه‌های باراندوزچای و شهرچای در ایران و استان آذربایجان‌غربی

جدول ۱- مشخصات آماری سری‌جریان ماهانه رودخانه‌های شهرچای و باراندوزچای ارومیه به ترتیب در ایستگاه میرآباد و دیزج

رودخانه	ایستگاه هیدرومتری	دوره آماری (سال)	میانگین‌دبی (m^3/s)	انحراف معیار (m^3/s)	حداکثر دبی (m_3/s)	حداقل دبی (m^3/s)	ضریب چولگی
شهرچای	میرآباد	۳۱ ۳۹	۵/۰۹ ۸/۰۶	۶/۸۹	۴۰/۲۱	۰/۱۶	۲/۱۸
باراندوزچای	دیزج			۸/۱۸	۴۵/۱۳	۰/۰۲	۱/۸۸

در ایـن تحقیـق از داده‌هـای آمـاری ۳۹ سـاله دبـی رودخانـه باراندوزچای در محل ایـستگاه هیـدرومتری دیـزج از سـال آبـی ۵۱-۱۳۵۰ تا سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ و داده‌هـای رودخانـه شـهرچای از آمـار ایستگاه هیدرومتری میرآباد استفاده شده که به مدت ۳۱ سال از سـال آبی ۵۳-۱۳۵۲ تا ۸۳-۱۳۸۲ مورد استفاده قرار گرفت. در داده‌ها هـیچ خلأ آماری وجود نداشته و پـس از کنتـرل همگنـی در مقطـع زمـانی ماهانه مورد استفاده قرار گرفته‌انـد و مقـادیر میـانگین ماهانـه از آمـار روزانه بدست آمده است. در جدول ۱ مشخصات آمـاری سـری‌جریـان ماهانه رودخانه‌های باراندوزچای و شهرچای ارومیه ارائه شده است.

مدل‌سازی سری‌های زمانی شامل مراحل زیـر اسـت: ۱- تبـدیل سری زمانی به سری زمانی نرمال و استاندارد ۲- انتخاب نوع مدل که در ایـن تحقیـق از مـدل بـی‌لینیـر اسـتفاده شـده اسـت. ۳- تعیـین پارامترهای مدل ۴- آزمون نکویی برازش. با توجه به ایـن کـه مـدل ARMA رایج‌ترین مدل کاربردی در پـیش‌بینـی سـری‌هـای زمـانی هیدرولوژیکی است و حالت خاصی از مدل غیرخطی بی‌لینیر محسوب می‌شود، شکل کلی این مدل به صورت زیر ارائه می گردد:

$$\text{ARMA(p, q)} : Z_t = \sum_{i=1}^{P} (\phi_i . Z_{t-i}) - \sum_{j=1}^{q} (\theta_j . \varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (۱)$$

در رابطه فوق Z_t سری زمانی نرمال و استاندارد، ϕ_j ضرایب مـدل خودهمبستگی (AR)، ε_t سری زمانی مـستقل یـا سـری تـصادفی مدل، q و p رسته یا مرتبه مدل می‌باشند. به منظور تبدیل یـک سـری زمانی به حالت ایستا از تابع $Y_t = \sqrt{X_t}$ استفاده شده که در آن X سری زمانی هیـدرولوژیکی اسـت کـه در ایـن تحقیـق دبـی جریـان رودخانـه‌هـا در مقطـع زمـانی ماهانـه مـی‌باشـد. سـپس از تـابع $Z_t = \frac{Y_t - \overline{Y_t}}{SD}$ برای استاندارد کردن سـری نرمـال اسـتفاده شـده است. در این رابطه Y_t سری زمانی نرمال ماهانه، $\overline{Y_t}$ میانگین همان ماه در دوره آماری موجود و SD انحراف معیار ماه مورد نظر می‌باشـد. مدل‌های خطی سری‌زمانی در واقع بسط مرتبه اول سری‌هـای تیلـور می‌باشند. ایده اصلی مدل بی‌لینیر نیز غیرخطی بودن بسط مرتبـه دوم سری تیلور می‌باشد. شکل کلی مدل دو-خطی به صـورت زیـر اسـت

(۳۴).

(۲)

$$Z_t = \sum_{i=1}^{P}(\phi_i.Z_{t-i}) - \sum_{j=1}^{q}(\theta_j.\varepsilon_{t-j}) + \sum_{i=0}^{r}\sum_{j=1}^{s}(\beta_{ij}.Z_{t-i-j}.\varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t$$

که در آن Z_t سری زمانی مورد نظر و p، q، r و s اعداد صحیح مثبت می‌باشند که رسته یا مرتبه مدل بی‌لینیر را نشان می‌دهند. مدل فوق در برخی منابع مانند فان و یائو (۱۶) به صورت مدل $BL(p,q,r,s)$ نیز نمایش داده می‌شود β، θ و ϕ ضرایب مدل دو-خطی می‌باشند. ε_t نیز سری تصادفی نرمال و استاندارد می‌باشد. مدل دو-خطی در واقع مدل ARMA(خطی) بسط داده شده می‌باشد که عبارت غیرخطی $\sum_{i=0}^{r}\sum_{j=1}^{s}(\beta_{ij}.Z_{t-i-j}.\varepsilon_{t-j})$ به سمت راست آن اضافه شده است (۱۲). در این عبارت حاصل‌ضرب دو متغیر ε_t و X_t که هر دو نسبت به زمان متغیرند، باعث شده معادله از حالت خطی خارج شده و مدل غیرخطی شود. برازش مدل سری-زمانی غیرخطی دو-خطی شامل دو جنبه مهم است: یکی تعیین رسته یا مرتبه‌های مدل شامل (p,q,r,s) و دیگری تخمین ضرایب مدل شامل مقادیر ϕ,θ,β می‌باشد. تعیین رسته مدل با استفاده از روش‌های شناخته شده مانند معیار AIC و AICC انجام می گیرد. مقدار AICC برای رسته‌های مختلف محاسبه شده و هر رسته که مقدار کمتری داشته باشد، به عنوان رسته مدل انتخاب خواهد شد (۱۳). البته هنوز عملکرد این روش‌ها در مدل دو-خطی بررسی نشده و ناشناخته می‌باشد که این موضوع به دلیل فقدان ارائه تئوری تخمین حداکثر درست نمایی برای مدل‌های دو-خطی می‌باشد (۱۶). با داشتن رسته مدل (p,q,r,s) دو-خطی می‌توان از روش استاندارد تابع تخمین درست‌نمایی برای تخمین ضرایب مدل استفاده کرد. فرض می‌کنیم $Z_1,\ldots,Z_t$ سری داده‌های مشاهداتی باشند که به حالت ایستا تبدیل شده‌اند. فرض می‌کنیم $\theta=(\theta_1^\tau,\theta_2^\tau)^\tau$ باشد که در آن:

$$\theta_2=(c_{11},\ldots c_{1s},c_{21},\ldots,c_{rs})^\tau \qquad (۳)$$
$$\theta_1=(b_1,\ldots b_p,a_1,\ldots,a_q)^\tau$$

می‌توان تابع لگاریتم لایکلیهود (ضمنی)[1] را به صورت زیر نوشت (۱۶):

$$l(\theta,\sigma^2) = -\frac{N-p'}{2}\log\sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2}\sum_{t=p'+1}^{T}\hat{\varepsilon}_t(\theta)^2 \qquad (۴)$$

که در آن $p'=\max\{p,r\}$ و مقادیر $\hat{\varepsilon}_{p'}(\theta),\hat{\varepsilon}_{p'+1}(\theta),\ldots$ با در نظر گرفتن شرایط $q'=\max\{q,s\}$ و با استفاده از مدل عمومی دو-خطی قابل محاسبه خواهند بود. جهت آزمون نکویی برازش از روش پورت مانتئو[2] استفاده شده و شکل کلی آن به صورت زیر می‌باشد.

$$Q = N\sum_{K=1}^{L} r_k^2(\varepsilon_t) \qquad (۵)$$

که در آن N تعداد داده، L حداکثر تاخیر در نظر گرفته شده، r_k ضریب همبستگی در تاخیر Kام و ε_t سری باقیمانده مدل می‌باشد.

نتایج و بحث

داده‌های ۳۱ و ۳۹ ساله رودخانه‌های شهرچای و باراندوزچای ارومیه به دلیل بروز خشکسالی در سالهای اخیر دارای روند نزولی معنی‌داری می‌باشند (۳). بنابراین انتظار می‌رود با حذف روند از داده‌ها سری زمانی ایستا شود. با استاندارد کردن داده‌ها مشاهده گردید که ضرایب مدل در دایره واحد قرار گرفته و سری ایستاست. پس از نرمال و استاندارد کردن سری زمانی، از مدل غیرخطی بی‌لینیر جهت مدل‌سازی استفاده شده است که نتایج حاصل از مدل برای ایستگاه‌های هیدرومتری دیزج و میرآباد به ترتیب برروی دو رودخانه باراندوزچای و شهرچای ارومیه بدست آمده است. از بین مدل‌های غیر خطی دو-خطی مدل BL(1,2,1,1) با داشتن کمترین مقدار AICC معادل ۷۸۱/۵۷ به عنوان مدل مناسب برای ایستگاه میرآباد واقع بر رودخانه شهرچای انتخاب شد. بدین منظور این مدل بر روی سری جریان ماهانه رودخانه شهرچای برازش داده شده است. پس از محاسبه ضرایب مدل مزبور، شکل کلی مدل به صورت زیر بدست آمده است:

که در این مدل $\beta = 0.012$: و $\phi_1 = 0.896$ ،$\theta_2 = 0.1636$ ،$\theta_1 = -0.3358$ می‌باشد. همچنین برای ایستگاه دیزج واقع برروخانه باراندوزچای مدل BL(6,0,1,1) با کمترین معیار AICC معادل ۹۳۴/۹۲ بدست آمد. مقدار بالای ضریب خودهمبستگی نشان می‌دهد که دبی جریان رودخانه با شش ماه قبل از خود همبستگی نشان داده که شاید به دلیل وجود دبی پایه با منشا آب زیرمینی در این رودخانه باشد. شکل مدل به صورت زیر می‌باشد:

که در این مدل $\beta = .02$ و ϕ_1 تا ϕ_6 به ترتیب ۰/۵۰۶۶، ۰/۱۰۸۴، ۰/۰۱۲۷، ۰/۰۹۵۷، ۰/۰۱۲۴-، ۰/۱۵۸۴ می‌باشد. نتایج مقایسه آمار مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی مدل غیرخطی BL(6,0,1,1) برای باراندوزچای و مدل BL(1,2,1,1) برای شهرچای در شکل ۳و۴ ارائه شده است.

جهت مقایسه مدل خطی با مدل غیرخطی بی‌لینیر، نتایج حاصل نشان داد که مدل خطی AR(6) به عنوان بهترین مدل خطی و مدل غیرخطی BL(6,0,1,1) برای باراندوزچای می‌باشد. که خطای کل

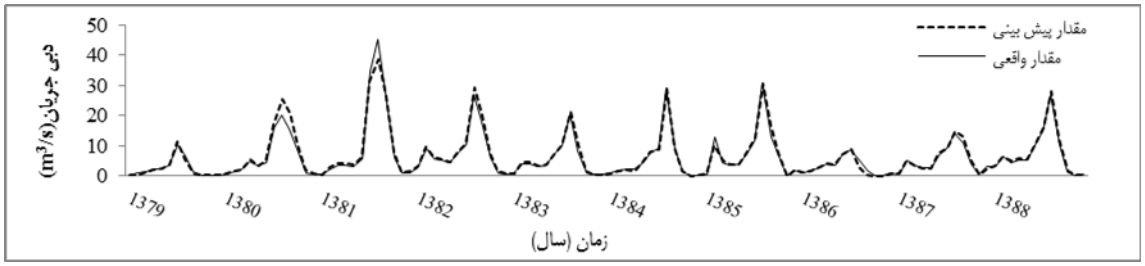
1 - Conditional Log Likelihood Function

2 - Porte Manteau

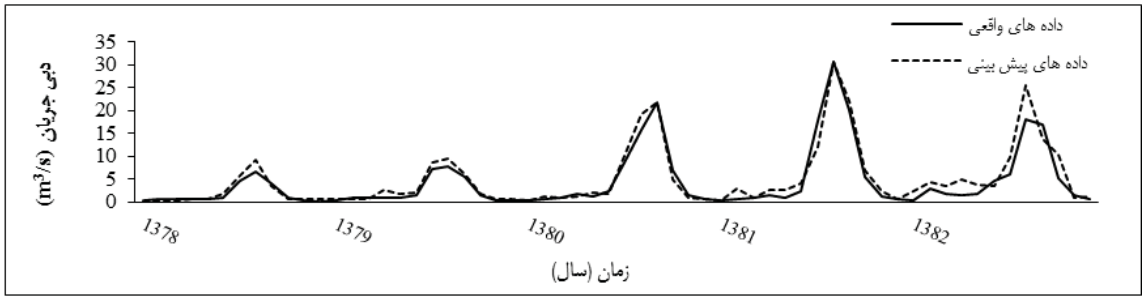
حاصل از مدل غیرخطی دو-خطی در پیش‌بینی ۱۰ ساله برابر ۱/۶۰۵ و خطای کل مدل AR نیز برابر با ۱/۹۰۷ می‌باشد. همچنین نتایج مدل خطی ARMA(1,2)و مدل BL(1,2,1,1) برای شهرچای نشان می‌دهد که خطای کل حاصل از مدل غیرخطی دو-خطی در پیش‌بینی ۵ ساله برابر ۱/۹۲۰ و خطای کل مدل خطی ARMA نیز برابر با ۳/۱۶۰ می‌باشد. که در مجموع مدل دو-خطی خطای کمتری داشته و برای پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه باراندوزچای و شهرچای ارومیه مناسب‌تر است. قبل از استفاده و معرفی مدل دو-خطی منتخب جهت برازش و پیش‌بینی جریان ماهانه آزمون نکویی برازش انجام گرفته است. نتایج آزمون نکویی برازش از روش پورت مانتئو در جدول ۲ ارائه گردیده است.

$$BL(1,2,1,1) = Z_t = 0.896 \times Z_{t-1} - 0.3358 \times \varepsilon_{t-1} + 0.1636 \times \varepsilon_{t-2} + (0.012 \times \varepsilon_{t-1} \times Z_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (۶)$$

$$BL(6,0,1,1) = .5066 \times Z_{t-1} + .1084 \times Z_{t-2} + .0127 \times Z_{t-3} + .0957 \times Z_{t-4} - .0124 \times Z_{t-5} + .1584 \times Z_{t-6} + (0.02 \times \varepsilon_{t-1} \times Z_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (۷)$$



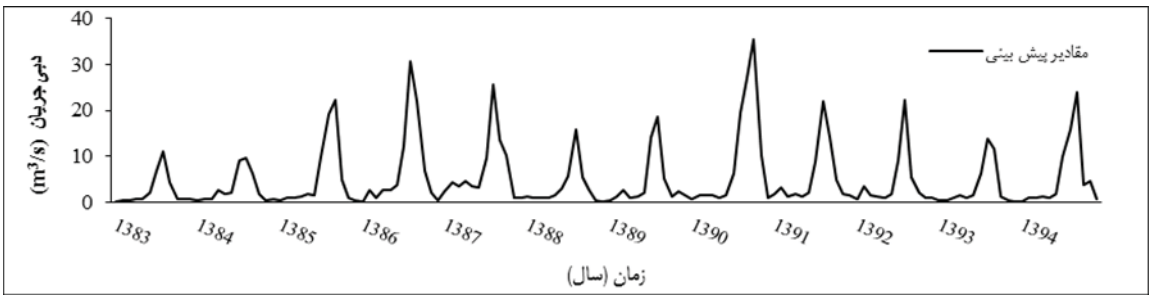
شکل۲- مقایسه مقادیر واقعی دبی ماهانه جریان رودخانه باراندوزچای با مقادیر حاصل از مدل BL(6,0,1,1) از سال ۱۳۷۹ الی ۱۳۸۸



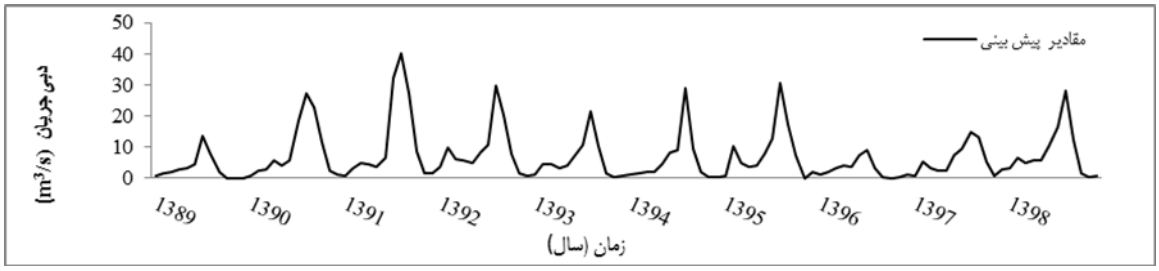
شکل۳- مقایسه مقادیر واقعی دبی ماهانه جریان رودخانه شهرچای با مقادیر حاصل از مدل BL(1,2,1,1) از سال ۱۳۷۸ الی ۱۳۸۲

جدول ۲- نتایج آزمون نکوئی برازش به روش پورت مانتئو

نام مدل	تعداد داده	درجه آزادی	سطح معنی داری		آماره آزمون	مقدار جدول
BL(1,2,1,1)	۳۷۱	۳۵	٪۹۵	٪۹۵	۳۷/۷۴	۴۹/۷۶
BL(6,0,1,1)	۴۶۸	۳۲			۴۲/۰۰	۴۶/۱۷



شکل ٤- دبی جریان ماهانه پیش‌بینی شده رودخانه شهرچای از سال ۱۳۸۳ الی ۱۳۹٤ با مدل BL(1,2,1,1)



شکل۵ - دبی جریان ماهانه پیش‌بینی شده رودخانه باراندوزچای از سال ۸۹ الی ۹۸ با مدل BL(6,0,1,1)

نتایج حاصل از این روش صحت و کفایت مدل برازشی را تایید می‌نماید. پس از آزمون نکویی برازش و انتخاب مدل BL(6,0,1,1)و BL(1,0,1,1) به عنوان مدل مناسب، از این مدل جهت تولید آمار و پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه، به ترتیب برای باراندوز چای و شهرچای ارومیه به مدت ۱۰ سال استفاده شده است. طبق پیشنهاد سالاس (۲۷) یک چهارم تا یک سوم داده‌های اصلی را می‌توان پیش‌بینی کرد که با توجه به اینکه در این تحقیق انتخاب بیش از یک سوم داده‌ها جهت پیش‌بینی خطای معنی‌داری ایجاد می‌کند. یک چهارم داده‌ها حدود ۱۰ سال جهت پیش‌بینی انتخاب شده است. که نتایج حاصل از پیش‌بینی در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی جریان رودخانه در مهندسی منابع آب و پیشگیری از خسارات احتمالی سیل و خشکسالی اهمیت فراوانی دارد. از طرفی به نظر می‌رسد فرآیند جریان رودخانه در مقطع زمانی کوتاه‌مدت به ویژه روزانه غیرخطی باشد (۳۶). یکی از کاربردهای این تحقیق معرفی و استفاده از مدل غیرخطی دو-خطی در منابع آب می‌باشد. این مدل با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق با سری زمانی جریان رودخانه هم‌خوانی داشته و باعث بهبودی نتایج حاصل از مدل غیرخطی نسبت به مدل‌های خطی می‌شود. استفاده از این مدل به‌دلیل شباهت زیاد به ساختار مدل‌های سری زمانی رایج ARMA و سادگی ساختار آن نسبت با سایر مدل‌های غیرخطی سری زمانی می‌تواند در هیدرولوژی و منابع آب به سهولت مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به جستجوی منابع داخلی و خارجی به نظر می‌رسد استفاده از این مدل جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی جریان رودخانه در هیدرولوژی و منابع آب، کار جدیدی باشد. هرچه فرآیند جریان رودخانه بهتر شناسایی و درک شود به همان میزان می‌توان به نتایج بهتری در مدل‌سازی و پیش‌بینی جریان رودخانه دست یافت. فرآیندهای جریان رودخانه اساسا تحت تاثیر عوامل اقلیمی بوده و به دلیل اینکه معمولا سری‌های کوتاه‌مدت اقلیمی مانند سری‌های ماهانه و روزانه منشا غیرخطی دارند، انتظار می‌رود که فرآیند جریان‌های کوتاه مدت رودخانه نیز غیرخطی باشند (۲۶). در این تحقیق مدل دو-خطی بر روی جریان ماهانه دو رودخانه باراندوزچای و شهرچای ارومیه برازش داده شد و پس از آزمون نکویی برازش جهت پیش‌بینی جریان رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد مدل غیرخطی بی‌لینیر نسبت به مدل‌های خطی رایجARMA از دقت بیشتری برخوردار است. همچنین از بین دو مدل دو-خطی، مدل BL(6,0,1,1) برای رودخانه باراندوزچای از دقت بیشتری نسبت به مدل BL(1,2,1,1) برای رودخانه شهرچای ارومیه برخوردار است. علت این موضوع ممکن است طولانی بودن دوره آماری ایستگاه دیزج واقع بر رودخانه باراندوزچای و یا وجود منابع تغذیه آب زیرزمینی نظیر چشمه‌های فراوان در حوزه آبریز این ایستگاه باشد. که در مدل بدست آمده خود همبستگی بالای مدل (p=6) وجود رابطه جبری معنی‌دارتری را به دلیل تغذیه رودخانه از منابع آب زیر زمینی تائید می‌نماید. بنابراین با توجه به ساختار غیرخطی اکثر سری‌های جریان رودخانه به ویژه سری‌های کوتاه مدت نظیر ماهانه و روزانه انتظار می‌رود استفاده از مدل های غیرخطی مانند مدل دو-خطی نتایج موفقیت آمیزی داشته باشند. که این موضوع با تحقیق خلیلی و همکاران (۳) همخوانی دارد.

منابع

۱- جهاد دانشگاهی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه. ۱۳۷۶. گزارشات پوشش گیاهی، خاکشناسی، فیزیوگرافی، هیدرولوژی، هواشناسی طرح منابع طبیعی تجدید شونده حوضه باراندوزچای.

۲- خانی ج. ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی بررسی و شناخت ویژگی‌های رودخانه‌ها و مسیل‌های استان آذربایجان‌غربی. وزارت جهاد

کشاورزی. معاونت تحقیقات و آموزش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌غربی. بانک اطلاعات رودخانه‌ها ومسیل‌های استان آذربایجان‌غربی. ص ۸۷.

۳- خلیلی ک.، فاخری فرد ا.، دین پژوه ی.، قربانی م.ق. ۱۳۹۰. بررسی غیرخطی بودن فرآیند جریان رودخانه با استفاده از آزمون BDS . مجله دانش آب و خاک دانشگاه تبریز، جلد۲۱، شماره ۲، ص ۳۷-۲۵.

۴- خلیلی ک. و حصاری ب. ۱۳۸۳. پیش‌بینی روند خشکسالی هواشناسی توسط مدل‌های سری‌زمانی. اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، ۲۶-۲۷ آبان. دانشگاه تهران. ۱۶۵- ۱۵۴.

۵- خلیلی ک. و فاخری فرد ا. و حصاری ب. ۱۳۸۶. آنالیز منحنی‌های شدت— مدت و فراوانی خشکسالی و طرح مخازن برای کشاورزی و شرب، سومین کنگره عمران، ۱۱-۱۳ اردیبهشت، دانشگاه تبریز.

۶- صباغیان ر. ج. و شریفی م.ب. ۱۳۸۸. استفاده از مدلهای اتفاقی درشبیه سازی جریان رودخانه و پیش بینی دبی متوسط سالانه رودخانه توسط تحلیل سری های زمانی. اولین کنفرانس بین المللی مدیریت منابع آب ۲۵-۲۷ مرداد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

۷- علیزاده م.ت و صلوی تبار ع. ا. ۱۳۷۵. تولید آمار آبدهی رودخانه. مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران ۲۰ تا ۲۳ خرداد. دانشگاه تهران، دانشکده فنی. ۳۴۰-۳۱۷.

۸- میرزایی ق.پ. و آرام س. ۱۳۹۰. تحلیل داده‌های سری‌زمانی دبی ماهیانه رودخانه طرق مشهد، اولین همایش منطقه ای توسعه منابع آب، ۱۳ بهمن، دانشگاه آزاد ابرکوه.

۹- داننده مهر ع. و مجدزاده طباطبائی م. ر. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر توالی دبی روزانه در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک. - نشریه آب و خاک ۲۴: ۳۲۵-۳۳۳.

۱۰- صباغیان ر. ج. و شریفی م. ب. ۱۳۸۸. استفاده از مدلهای اتفاقی درشبیه سازی جریان رودخانه و پیش بینی دبی متوسط سالانه رودخانه توسط تحلیل سری های زمانی. اولین کنفرانس بین المللی مدیریت منابع آب ۲۵-۲۷ مرداد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۱- نجفی ایگدیر ا. و قدوسی ج. و ثقفیان ب. و پرهمت ج. ۱۳۸۶. برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنجش دور و سامانه اطلاعات جغرافیائی در حوضه شهرچای ارومیه. پژوهش و سازندگی ۷۶.

12- 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.

13- Akaike H. 1974. A New Look at the Statistical Model Identification. IEEE Transactions on Automatic Control, AC-19, 716–723.

14- Dai Y., and Billard L. 2003. Maximum likelihood estimation in space time bilinear models. Journal of Time Series Analysis, 24(1): 25-44.

15- Deo M.C., and Thirumalaiah K. 2000. Real time forecasting using neural networks. In: Artificial neural networks in hydrology. R.S. Govindaraju and A.R. Rao (Eds.), Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. 53–71.

16- Fan J., and Yao Q. 2003. Nonlinear time series, nonparametric and parametric methods. Springer-Verlag, NewYork, Inc.

17- Granger C.W.J., and Andersen A.P. 1978. An Introduction to Bilinear Time Series Models. Vandenhoek and Ruprecht: Gottingen.

18- Hipel K.W., McLeod A.I., 1994. Time series modeling of water resources and environmental systems. Elsvier, Amsterdam.

19- 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.

20- 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.

21- Lifshits M.A. 2006. Invariance principle in a bilinear model with weak nonlinearity. Journal of Mathematical Sciences, Vol. 137, No:1, 4541-4545.

22- Liu J., Brockwell P.J. 1988. On the general bilinear time-series model. Journal of Applied Probability, 25: 553–564,

23- Mckerchar A.I., and Delleur L.W. 1974. Application of seasonal parametric linear stochastic models to monthly flow data. J. water resource reservoir, N10, p 246-255.

24- Mohammadi K., Eslami H.R., Kahawita R. 2006. Parameter estimation of an ARMA model for river

flow forecasting using goal programming. Journal of Hydrology, Vol. 331, pp. 293-299.
25- Pham D.T. 1993. Bilinear time series models In Dimension Estimation and Models (H.Tong, ed.). World Scientific, Singapore.
26- Rao A.R., and Yu G.H. 1990. Gaussianity and linearity tests of hydrologic time series. Stochast, Hydaul, 4, 121-134.
27- Salas J. D., Dellear J.W., Yevjevich V., and Lane W.L. 1980. Applied modeling of hydrologic time series, Water Resources Publications, Littelton , Colorado.
28- Salas J.D. 1993. Analysis and modeling of hydrological time series. In: Handbook of Hydrology, edited by David R, Maidment, McGraw-Hill, New York.
29- 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.
30- Subba Rao, T. 1981. On the theory of bilinear series models", Journal of the Royal Stat., Soc., B, 43: 224-255.
31- 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.
32- Thompstone, R.M., Hipel K.W., and Mcleod, A.I. 1985. Forecasting quarter-monthly riverflow. Water ResourcesBulletin, 21(5), 731-741.
33- Thomas H.A., Fiering M.B. 1962. Mathematical synthesis of stream flow sequences for the analysis of river basin by simulation. Harward university press, cambrige, 751pp.
34- Tsay R.S. 2002. Analysis of Financial Time Series, University of Chicago, A Wiley – Interscience Publication, John Wiley f Sons; Inc.
35- Tsonis, A.A. 2001. Probing the linearity and nonlinearity in the transitions of the atmospheric circulation. Nonlinear Processes Geophysics. 8, 341-345.
36- Wang W., Van Gelder P. H. A. J. M., Vrijling J. K., and Ma J. 2005. Testing and modelling autoregressive conditional heteroskedasticity of streamflow processes. Nonlin. Processes Geophys., 12, 55–66, doi:10.5194/npg-12-55.
37- Wang W., Vrijling J.K., Pieter H.A.J.M., Van Gelder, J.K. and Ma, J. 2005. Forecasting daily streamflow using hybrid ANN models. Journal of Hydrology, 14830: 1-17.
38- Yurekli K., Kurung A., and Ozturk F. 2005. Testing the Residuals of an ARIMA Model on the Cekerek Stream Watershed in Turkey. Turkish J. Eng. Env. Sci., 29, 61-74.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1299-1307

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۳۰۷-۱۲۹۹

Forecasting River flow By Bilinear Nonlinear Time Series Model (Case Study : Barandoz-Chay & Shahar-Chai Rivers)

H. Naveh[1]*- K. Khalili[2]- M. T. Alami[3] -J. Behmanesh [4]

Received: 17-12-2012
Accepted: 22-07-2012

Abstract

One of the important tools in modeling and forecasting of hydrological processes, is using and analysis of time series. The generated river flow series by using time series models have been used in many researches such as drought, flood periods, reservoir systems design and other purposes. The use of nonlinear time series is very useful in river flow forecasting because of nonlinear river flow behavior in different spatial and time scales. The purpose of this study is to investigate the efficiency of bilinear nonlinear time series model in river flow forecasting. In this research monthly flow of Shahar-Chai and Barandouz-Chai rivers located in West Azarbaijan for duration of 31 and 39 years respectively were used. Despite of simplicity of bilinear nonlinear model, the results showed that this model had high efficiency in modeling and forecasting of two rivers and presented best results from ARMA model. The error of fitted model of Barandouz-Chai (1.605) was less than the model fitted for Shahar-Chai river (1.920). The reason may be due to longer data period for Barandouz-Chai river or it's recharge from springs and ground waters.

Keywords: ARMA model, Bilinear model, Forecasting, Nonlinear, River discharge

1 - Msc Student, Department of Civil Eng, Islamic Azad University, Mahabad branch, Mahabad, Iran
(*-Corresponding Author Email: naveh2011@gmail.com)
2,4- Assistant Professors, Water Engineering Department of Urmia University
3 - Associate Professor, Dept. of Civil Eng., Islamic Azad University, Mahabad branch