تخمین پارامترهای مدل ARMA فصلی و غیر فصلی جهت پیش بینی جریان آب رودخانه کارون در استان خوزستان با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی

کورش محمدی*

حمید رضا اسلامی**

چکیده

پیش‌بینی آبدهی رودخانه یکی از مسائل مهم در هیدرولوژی کاربردی می‌باشد. روش‌های مختلفی تاکنون بدین منظور ارائه شده‌اند که یکی از معروفترین و پرکاربردترین آنها روش «اتورگرسیو-میانگین متحرک» (ARMA)[1] می‌باشد. در این روش بر اساس سری زمانی تاریخی پارامترهای مدل که به‌منظور پیش بینی مورد نیاز است تعیین شده و پس از کالیبره شدن مدل، می توان از آن برای پیش بینی استفاده کرد. در تعیین این پارامترها سعی بر آن است که خطا در کل سری زمانی به حداقل برسد لیکن در این تحقیق از مدل ARMA برای پیش بینی یک دوره و یا فصل خاص استفاده شده است. برای پیدا کردن بهترین پارامترها از روش برنامه ریزی آرمانی استفاده گردید. به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی از اطلاعات و آمار ایستگاه پل شالو روی رودخانه کارون که ۶۸ سال آمار داشت استفاده شده است. روش پیشنهادی با روش معمول تخمین پارامترها که همان روش «حداکثر درستنمایی» می باشد مقایسه گردیده و نتایج به‌دست آمده رضایت بخش بود.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های آماری، پیش بینی آبدهی رودخانه، برنامه‌ریزی آرمانی، مدل اتورگرسیو میانگین متحرک

---

*- استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس، kouroshm@modares.ac.ir

**- معاون بخش تحقیق و توسعه شرکت مهندسین مشاور جاماب، eslami@jamab.com

1-Auto Regressive Moving Average

تاریخ دریافت مقاله ۸۱/۱۰/۲۵ تاریخ دریافت نسخه نهایی ۸۲/۸/۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در برنامه‌ریزی بهره‌برداری طولانی و موقت از رودخانه یکی از مهم‌ترین مسائل، آگاهی از آبدهی رودخانه می‌باشد. زیرا برآورد پایین آن باعث خسارات‌های ناشی از سیلاب و یا سرریز کردن و از دست رفتن آب شده و برآورد زیاده از حد آن موجب برنامه‌ریزی غلط و اعتماد بیش از اندازه به موجودی آب گردیده که می‌تواند در صورت وقوع بحران خشکسالی، باعث کمبود شدید منابع آب گردد. یکی از روش‌های پیش‌بینی آبدهی رودخانه استفاده از آمار رواناب گذشته به‌منظور تولید و پیش‌بینی رواناب در آینده است. در روش اخیر که به مدل‌های «سری‌های زمانی» موسوم هستند، مدل اتورگرسیو برای تولید درازمدت جریاناتی با ضریب تغییرات پایین مثل کم‌آبی، مدل «اتورگرسیو- میانگین متحرک» [1] برای تولید و پیش‌بینی پدیده‌های سالانه و ماهانه و مدل جمع بسته اتورگرسیو میانگین متحرک برای جریانات فصلی، ماهانه، هفته‌ای و غیره، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پس از انتخاب نوع مدل، بایستی پارامترهای مورد نیاز مدل برآورد شوند. از بین روش های برآورد پارامترها، روش گشتاورها و حداکثر تابع درستنمایی [2] متداول‌تر بوده و نتایج قابل قبول‌تری ارائه داده‌اند. در مدل‌های ARMA سعی بر آن است که پارامترهای اصلی آماری یک سری زمانی را تولید کنند و بر آن اساس قادر به دوباره سازی و پیش بینی آن سری زمانی گردند. مدل کردن سری‌های فصلی هیدرولوژیکی گاهی اوقات موجب می شود که در سطح آمارهای فصلی مدل به‌خوبی جواب داده لیکن در سطح بالاتر (مثلاً سالانه) جواب‌های مناسبی نداشته باشند. بدین منظور از شمای Disaggregating استفاده می‌کنند تا مدل برای بیش از یک سطح (مثلاً هم فصلی و هم سالانه) کالیبره گردد (خلقی، ۱۳۶۸).

اشکالی که در اینگونه موارد بوجود می آید این است که انتخاب فصل در اختیار کاربر مدل نیست و مجبور است با آزمون خطاهای متوالی مدل خود را در جهت بهبود هدایت نماید و اغلب نیز در این امر ناموفق می‌ماند. به‌عنوان مثال چنانچه منظور فقط پیش بینی آبدهی فصل پاییز باشد، ممکن است مدلی به‌دست آوردکه گرچه خطای کل آن در طول سال حداقل باشد و یا حتی در فصل بهار پیش‌بینی خوبی را ارائه نماید، لیکن در فصل پاییز دارای خطای قابل ملاحظه‌ای باشد. از طرفی چنانچه فقط از آمارهای فصل پاییز استفاده کرده و مدلسازی شود این مشکل را به‌وجود می‌آورد که تغییرات رخ داده در فصول زمستان، بهار و تابستان را حذف کرده و به فرض روند کاهشی یا افزایشی پیش آمده را نادیده گرفت که موجب پیش بینی نادرست در فصل مورد نظر خواهد شد. لذا استفاده از یک روش که بتواند در عین حال که کل اطلاعات سال را در نظر می‌گیرد لیکن بر حداقل کردن خطا در یک دوره خاص تکیه دارد، ضروری است.

محاسبه پارامترهای مدل اتورگرسیو- میانگین متحرک (ARMA) از مرتبه (p,q) توسط محققینی ازجمله Ljung and Box (1979)، Ansley (1979)، Gardner *et al.*(1980)، Pearlman (1980)، Melard (1984)، Azrak and Melard (1998) مطالعه گردیده است. بیشتر این روش ها

1- Auto Regressive Moving Average (ARMA) 2- Maximum Likelihood

www.SID.ir

Archive of SID

مبتنی بر استفاده از فیلتر کالمن[1] بوده ولی نیازمند عملیات محاسباتی بسیار زیاد بخصوص برای محاسبه ماتریس کوواریانس (p_0) بردار حالت در زمان اولیه ($t=0$) می‌باشد. آزمایش‌های مونت کارلو نشان داده است که برای مدل‌های ARMA با دوره داده‌های کم (به‌عنوان مثال ۵۰ یا ۱۰۰ داده) روش‌های دقیق حداکثر درست نمایی نسبت به روش‌های شرطی حداکثر درستنمایی یا حداقل مربع خطا برتری دارد (Azrak and Melard, 1998).

اخیراً اقداماتی صورت گرفته تا از شبکه عصبی مصنوعی برای تعیین پارامترهای مدل ARMA استفاده گردد. Chenoweth *et al*., 2000 نشان دادند که شبکه عصبی مصنوعی قادر به تعیین مرتبه مدل ARMA با دقت خوب و قابل قبول نبوده و بخصوص برای زمانی که تعداد داده‌ها کمتر از ۱۰۰ باشد، نتایج مناسبی بدست نمی‌دهد.

Hwarng (2001) روش پیش بینی سری زمانی توسط مدل ARMA(p,q) را با پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی مقایسه کرده و به نتایج خوبی نیز دست یافت. او از یک شبکه عصبی مصنوعی با روش «پس انتشار[2]» برای این کار استفاده نموده و ضمن بیان خلاصه‌ای از کارهای سایر محققین، در نهایت به این نتیجه رسید که نمی‌توان با قاطعیت شبکه عصبی مصنوعی را بهتر از روش استاندارد ARMA دانست.

در خصوص برنامه‌ریزی آرمانی تحقیقات بسیار زیادی صورت گرفته است. برنامه‌ریزی آرمانی یکی از قدیمی ترین مدل‌های موجود از تصمیم‌گیری‌های چند معیاره است که تا کنون کاربردهای وسیعی از خود نشان داده است. در دهه ۱۹۶۰ ایده آن توسط Charnes and Cooper (1961) مطرح گردید به‌طوری‌که آنها حداقل کردن مجموع قدر مطلق انحرافات از مقاصد مشخصی را مورد بررسی قرار دادند (اصغرپور، ۱۳۷۷). از آن زمان تاکنون محققین زیادی این روش را در زمینه‌های گوناگون به‌کار برده که از آن جمله می‌توان به Ijiri (1965)، Lee (1972)، Ignizio (1981)، Hillier and Lieberman (1990) و ... اشاره نمود. در این روش یک آرمان برای هر یک از اهداف بهمراه وزن‌های نسبی مربوط به اهمیت آنها در نظر گرفته شده وسپس انحراف از آرمان‌ها را به حداقل می‌رسانند (Gen *et al*., 1997).

دو مشکل اصلی که کاربرد مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی در مسائل جاری واقعی دارند یکی بیان ریاضی اهداف و یا محدودیت‌ها و دوم بهینه کردن همزمان همه اهداف است به‌طوری‌که بهترین جواب برای تصمیم‌گیرها باشد (Arikan and Gungor, 2001). با پیشرفت کامپیوترها در دهه اخیر و امکان اجرای آلگوریتم‌های حل ماتریس‌های بزرگ، تا حدودی مشکل دوم حل گردید. لیکن مسئله اول همچنان به‌قوت خود باقی است. در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از برنامه ریزی آرمانی، به حل یکی از مسائل کاربردی در علم هیدرولوژی پرداخت، که همان تخمین پارامترهای مدل ARMA برای پیش بینی سری زمانی آبدهی جریان رودخانه می‌باشد. هدف در این بررسی حداقل نمودن خطا در کل سری زمانی و همچنین در فصل خاص و مورد نظر است .

1- Kalman Filter 2 - Back Propagation

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کارون واقع در استان خوزستان با مساحت ۲۳۲۵۰ کیلومتر مربع در جنوب غربی ایران واقع شده و بخشی از حوضه آبریز خلیج فارس می‌باشد که از شمال به حوضه رودخانه‌های قره‌چای ساوه، گلپایگان و زاینده رود، از مغرب به حوضه رودخانه دز و کرخه، از مشرق به حوضه رودخانه‌های کُر و زاینده رود و مسیل آباده و از جنوب به حوضه رودخانه های زهره، مارون و جراحی محدود می‌گردد. این حوضه بین حدود ۳۰ تا ۳۴ درجه عرض شمالی و ۴۹ تا ۵۲ درجه طول شرقی قرار گرفته است و طیف ارتفاعی گسترده‌ای را از جلگه‌های پست ساحلی تا مناطقی که ارتفاع آنها از ۴۰۰۰ متر بیشتر است، شامل می‌شود.

در حوضه آبریز رودخانه کارون ۸۳ ایستگاه هیدرومتری روی شاخه‌های اصلی و فرعی رودخانه‌ها احداث شده است. در این ایستگاه‌ها آبدهی رودخانه‌ها، غلظت رسوبات و کیفیت شیمیایی آب در آنها اندازه‌گیری می‌شود. طولانی ترین آمار در این حوضه مربوط به رودخانه کارون در شهر اهواز است که از سال ۱۲۷۳ آمار تغییرات سطح آب و آبدهی آن از ۱۳۲۹ آماربرداری و ثبت شده است. از این تعداد ۲۰ ایستگاه تعطیل گردیده و ۳ ایستگاه جدید هستند که در سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۷۱ احداث گردیده‌اند (جاماب، ۱۳۷۸).

سری زمانی آبدهی ماهانه در ایستگاه پل شالو جهت آزمایش روش پیشنهادی انتخاب گردید. دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۱۲ برای این بررسی در نظر گرفته شده که متوسط آبدهی ماهانه آن برابر ۸۲۶/۲ مترمکعب در ماه می‌باشد. حداقل آن ۳۳۵/۹۱ و حداکثر آن ۱۷۷۵/۴۶ مترمکعب در ماه بوده که حداقل و حداکثر آن به‌ترتیب در ماه‌های مهر و فروردین اتفاق افتاده است.

تبدیل‌های ریاضی برای نرمال و استاندارد کردن داده‌ها

دراین تحقیق از روش Box-Cox جهت نرمال نمودن داده‌ها استفاده شده است. روابط ریاضی مورد استفاده در این روش عبارتند از (Karamouz and Delleur, 1982):

$$Z_T = \frac{(Z+\lambda_2)^{\lambda_1}-1}{\lambda_1 g^{(\lambda_1-1)}} \qquad \lambda_1 \neq 0 \qquad (۱\text{-a})$$

$$Z_T = g.Ln(Z+\lambda_2) \qquad \lambda_1 = 0 \qquad (۱\text{-b})$$

که در آن: Z داده‌های تاریخی با توزیع غیر نرمال، Z_T داده‌های تبدیل شده، λ_1 و λ_2 پارامترهای تبدیل، و g میانگین هندسی داده‌ها می‌باشد.

ضمناً به‌منظور همسان سازی اطلاعات ماه‌های مختلف از رابطه زیر برای استاندارد کردن داده‌ها استفاده شده است:

$$Y_T = \frac{Z_T - \overline{Z}_T}{\sigma_{ZT}} \qquad (۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن، Y_T داده‌های استاندارد شده هر فصل، Z_t داده‌های نرمال شده هر فصل، $\overline{Z}_T$ میانگین داده‌های نرمال شده هرفصل، σ_{ZT} انحراف معیار داده‌های نرمال شده هر فصل می‌باشند.

به‌منظور انجام این تبدیلات و یافتن بهترین ضرایب λ_2 و λ_1 یک برنامه کامپیوتری نوشته شده و انجام این تبدیلات توسط آن صورت می‌گیرد. در برنامه کامپیوتری تهیه شده، به‌منظور بررسی نتایج مراحل فوق، سری نرمال و استاندارد ساخته شده و امکان رسم نمودار آزمون نرمال فراهم بوده است. هرچه نقاط نمودار که معرف سری تبدیل یافته هستند به خط توزیع نرمال نزدیکتر باشند، نشانگر انجام موفقیت آمیز مراحل فصل بندی است. در این مرحله، امکان مقایسه فصل‌بندی های مختلف نیز برای انتخاب بهترین گزینه جهت ادامه مراحل مدلسازی وجود دارد. پس از انجام مراحل فوق، سری نرمال و استاندارد شده آماده مدلسازی می‌گردد. نمودارهای شماره ۱ تا ۳ نشان دهنده هیستوگرام توزیع آبدهی و منحنی احتمال نرمال را برای داده‌های «ایستگاه پل شالو» قبل از تبدیل نرمال و بعد از آن می‌باشد.

تخمین پارامترهای سری زمانی آبدهی رودخانه کارون

انتخاب بهترین نوع مدل‌های ARMA بر اساس نوع و میزان خود همبستگی، همبستگی های جزئی و نتایج آزمون‌های «پورت مانتو[1]»، «آکائیک[2]» و «کولموگرف-اسمیرنف[3]» می باشد. آزمون «پورت مانتو» و «کولموگرف-اسمیرنف» برای مشخص نمودن اینکه آیا خطاهای مدل ARMA (مقایسه اطلاعات واقعی با اطلاعاتی که مدل تولید مینماید) کاملاً احتمالی نرمال بدون همبستگی و مستقل می‌باشند، انجام می‌گیرد. آزمون آکائیک براساس حداقل کردن تعداد پارامترها تنظیم شده است و اولویت را به مدل‌هایی می‌دهد که پارامترهای کمتری داشته باشند. هرچند که داشتن همبستگی در تأخیرهای مختلف شرط لازم و کافی برای در نظر گرفتن پارامترهای «اتورگرسیو (AR) و میانگین متحرک (MA) » نمی‌باشد، در اکثر مواقع به‌عنوان یکی از بهترین شاخص‌ها برای نشان دادن تعداد پارامترها در نظر گرفته می‌شوند.

برای تعیین تعداد پارامتر AR [4] و MA [5] از نمودار خود همبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) استفاده گردید (نمودارهای۴ و ۵). با توجه به نمودارهای مذکور مشاهده می‌شود که مقادیر ACF و PACF در سطوح ۱ و ۲ نسبتاً زیاد می‌باشد، بنابراین دو پارامتر اتورگرسیو و دو پارامتر میانگین متحرک می‌تواند مدل مناسبی برای سری زمانی آبدهی در محل ایستگاه پل شالو باشد. بدین لحاظ در بررسی‌های بعدی حداکثر مدل ARMA(۲،۲) در نظر گرفته شده است. از طرفی با توجه به «اصل امساک» که استفاده هر چه کمتر از پارامترها را در مدل توصیه می‌نماید کلیه حالات ازجمله ARMA(۱،۰) و ARMA(۰،۱) تا ARMA(۲،۲) مورد بررسی قرار گرفت. جهت انجام محاسبات مربوط به تخمین پارامترهای مدل ARMA به روش «حداکثر درستنمایی» از نرم افزار MiniTAB تحت نرم افزار ویندوز استفاده گردید.

1- Portemanteau
2- Akaike
3- Kolmogorov-Smirnov
4- Auto Regressive
5– Moving Average

www.SID.ir

Archive of SID

تخمین پارامترهای مدل ARMA با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی

به‌منظور تعیین پارمترهای مدل‌های ARMA که در بخش قبل با استفاده از روش حداکثر درستنمایی بدست آمد، در این بخش از«روش بهینه سازی» استفاده گردید. برنامه‌ریزی آرمانی روشی است که دستاوردهای همزمان با چندین هدف را بررسی می‌کند. اصول کار چنین است که برای هریک از هدف‌ها، عدد مشخصی به‌عنوان آرمان تعیین و تابع هدف مربوط به آن معادله سازی می‌شود. سپس جوابی جستجو می‌شود که مجموع وزنی انحراف هر هدف نسبت به آرمانی که برای همان هدف تعیین شده است را حداقل نماید (مدرس و آصف وزیری، ۱۳۷۶). در تعیین این پارامترها با توجه به توضیحات ارائه شده و نتایج بدست آمده از آزمون خودهمبستگی، حداکثر دو پارامتر اتورگرسیو و دو پارامتر میانگین متحرک به‌صورت «فصلی» و «غیر فصلی» در نظر گرفته شد.

معادله مورد استفاده در تعیین پارامترهای مدل به شرح زیر می‌باشد:

تابع هدف:

$$MIN \sum_{i=1}^{NT} [\ U_m * EP_i + C_m * EN_i\ ] \qquad (۳)$$

محدودیت‌ها:

$$\begin{aligned} &AR_1 * X_{i-1} + AR_2 * X_{i-2} + ... + AR_n * X_{i-n} \\ &\quad + MA_1 * R_{i-1} + MA_2 * R_{i-2} + ... + MA_n * R_{i-n} + \\ &\quad + SAR_1 * X_{i-12} + SAR_2 * X_{i-24} + ... + SAR_n * X_{i-n*12} + \\ &\quad + SMA_1 * R_{i-12} + SMA_2 * R_{i-24} + ... + SMA_n * R_{i-n*12} + \\ &\quad + C_m + EP_i - EN_i < (1 + div) * X_i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &AR_1 * X_{i-1} + AR_2 * X_{i-2} + ... + AR_n * X_{i-n} \\ &\quad + MA_1 * R_{i-1} + MA_2 * R_{i-2} + ... + MA_n * R_{i-n} + \\ &\quad + SAR_1 * X_{i-12} + SAR_2 * X_{i-24} + ... + SAR_n * X_{i-n*12} + \\ &\quad + SMA_1 * R_{i-12} + SMA_2 * R_{i-24} + ... + SMA_n * R_{i-n*12} + \\ &\quad + C_m + EP_i - EN_i > (1 - div) * X_i \end{aligned}$$

$$0 \le EP_i \le Ediv * X_i$$

$$0 \le |EN_i| \le Ediv * X_i \qquad (۴)$$

که در آن:

$AR_1 \ldots AR_n$ پارامترهای اتورگرسیو غیر فصلی، $SAR_1 \ldots SAR_n$ پارامترهای اتورگرسیو فصلی، $MA_1 \ldots MA_n$ پارامترهای میانگین متحرک غیرفصلی، $SMA_1 \ldots SMA_n$ پارمترهای میانگین متحرک فصلی، U_m ضریب جریمه ماهانه انحراف از مقدار واقعی (خطا)، EP خطای نسبی مثبت، EN خطای نسبی منفی، Ediv محدوده خطای نسبی انتخابی برای رعایت حداکثر خطا، div میزان خطای نسبی

www.SID.ir

Archive of SID

انتخابی برای کنترل خطای پیش بینی، X سری زمانی ورودی، R سری زمانی باقیمانده‌ها، C_m اعداد ثابت برمبنای ماهانه در مدل ARMA، NT تعداد ماه‌های موجود در سری زمانی ماهانه می‌باشند.

با توجه به معادلات فوق و با استفاده از زبان برنامه نویسی Fortran-۹۹ برنامه بهینه سازی به‌گونه‌ای طراحی گردید که بتواند همزمان به اهداف حداقل کردن خطا برای کل سری زمانی و حداقل کردن خطا برای فصل بهره برداری مهر تا دی هر سال نایل آید.

بحث و نتایج

در این تحقیق دو روش مختلف جهت تعیین پارامترهای مدل ARMA به‌کار رفته است. این دو روش عبارت بودند از روش «حداکثر درستنمایی» که اکثر نرم افزارهای موجود از آن استفاده می‌کنند و روش «حداقل کردن خطا» با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی که مزیت روش اخیر در این است که امکان واسنجی مدل را بصورت موضعی و برای یک فصل خاص از سال امکان پذیر می‌سازد. برای مقایسه نتایج از ۶۳ سال اول داده‌ها برای تخمین پارامترها و کالیبره نمودن مدل ها استفاده گردید. از داده‌های ۵ سال آخر در واسنجی و یافتن پارامترهای مدل‌های ARMA استفاده نگردیده بلکه تنها برای تأیید مدل به‌کار رفته‌اند.

هر دو روش برای کل دوره نتایج مناسبی را به‌دست داد و نتایج مقایسه برای مدل ARMA (2,0)(2,0) که بهترین نتیجه را داشته در نمودار ۶ نشان داده شده است. همانطوری که ملاحظه می‌گردد روش بهینه سازی آبدهی‌های زیاد را نسبت به روش حداکثر درستنمایی بهتر پیش بینی نموده لیکن در آبدهی‌های کم روش «حداکثر درستنمایی» کارایی بهتری داشته است.

برای بررسی کارایی مدل در خصوص پیش بینی برای یک فصل خاص، دوره ماه‌های آذر تا اسفند انتخاب گردید. علت انتخاب این دوره عدم کارایی سایر روش‌های پیش بینی از قبیل مدل‌های بارش-رواناب، ذوب برف، شبکه عصبی مصنوعی و ... برای آن بوده است که پیش بینی را برای بهره برداران با دشواری روبرو می‌ساخت. نتایج به‌دست آمده از دو روش در جداول ۱ تا ۴ ارائه شده‌اند. در این جداول تنها مدل‌هایی که دارای نتایج قابل قبول و نزدیکی با روش حداکثر درستنمایی بوده‌اند آورده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد هر چه تعداد پارامترهای AR و MA به‌کار رفته بیشتر می‌شود مدل بهینه سازی جواب‌های بهتری نسبت به روش حداکثر درستنمایی به‌دست می‌دهد به‌طوری‌که برای مدل ARMA(2,2) در هر دو حالت واسنجی و تأیید مدل، نتایج استفاده از روش بهینه سازی بهتر می‌باشد. معیار مقایسه در جداول مذکور متوسط قدر مطلق خطا بوده است.

از دیگر نتایج مثبت این روش امکان استفاده مستقیم کد تهیه شده در محیط‌های نرم افزاری کاربردی است که اجرای برنامه تهیه شده را برای کاربرمدل راحت‌تر می‌نماید.

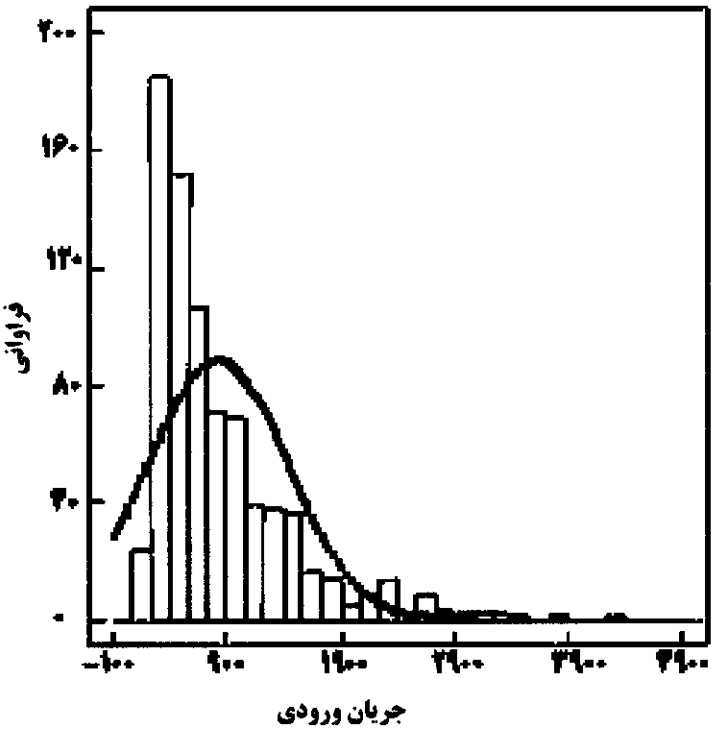
همچنین روش بهینه سازی، دوره پرآبی را بهتر از روش حداکثر درستنمایی شبیه سازی نموده است و این موضوع در نمودار ۵ نشان داده شده است به‌طوری‌که شاخه صعودی هیدروگراف (آبنمود) انطباق بهتری با روش بهینه سازی دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

از معایب روش بهینه سازی، حجم زیاد محاسبات کامپیوتری بوده بخصوص برای حالاتی که نیاز به درنظر گرفتن تعداد زیادی پارامترهای اتورگرسیو یا میانگین متحرک می‌باشد. در این شرایط با توجه به تعداد زیاد سال‌های آماری؛ دستگاه معادلات به‌وجود آمده، بسیار بزرگ شده و برای حل آن نیاز به آلگوریتم‌های پیشرفته بهینه سازی می‌باشد. البته اخیراً با توجه به پیشرفت قابل ملاحظه رایانه‌ها به لحاظ سرعت محاسبات این امکان فراهم آمده است که چنین روش‌هایی را آزمون نموده و به نتایج قابل قبولی نیز دست یافت.

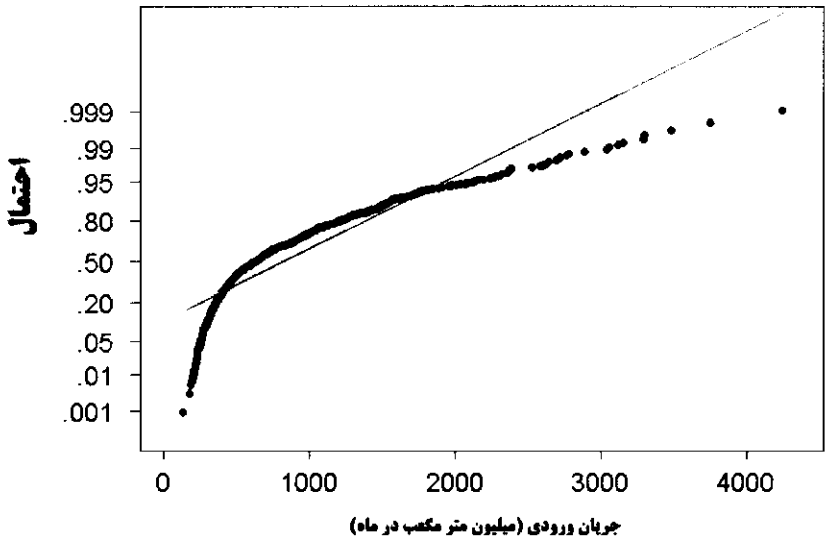
از آنجا که این روش در مراحل اولیه آزمایش می‌باشد، در این تحقیق تعداد پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک توسط کاربر انتخاب می‌گردد. در مراحل بعدی می‌توان تعداد بهینه پارامترها را نیز تعیین نمود که انجام آن نیازمند استفاده از آلگوریتم برنامه‌ریزی اعداد صحیح می‌باشد.



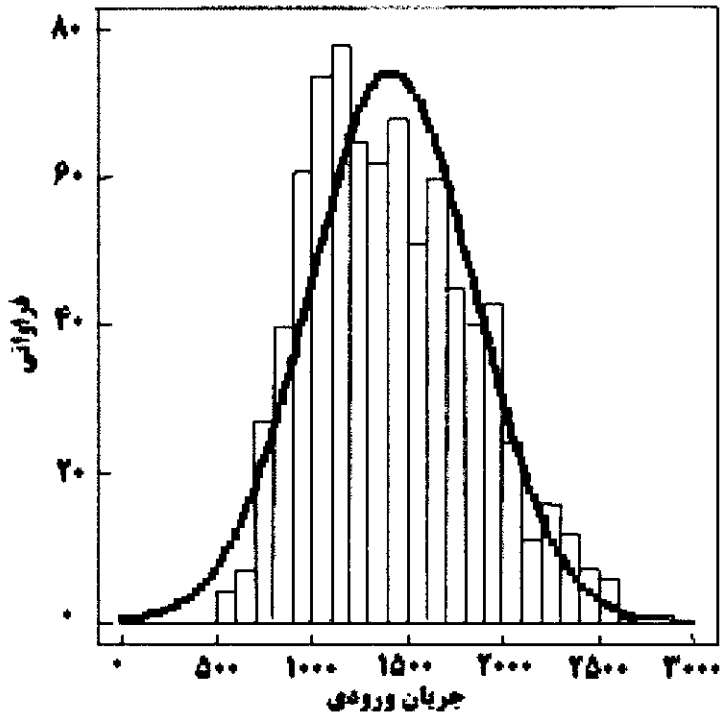
شکل۱- هیستوگرام توزیع آبدهی رودخانه کارون در محل پل شالو

www.SID.ir

Archive of SID



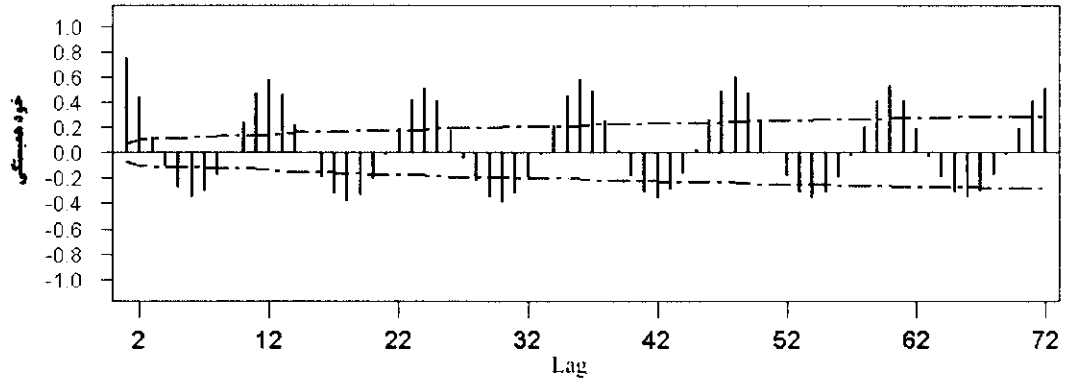
شکل ۲- نمودار احتمال نرمال برای داده‌های آبدهی پل شالو قبل از تبدیل Box-Cox



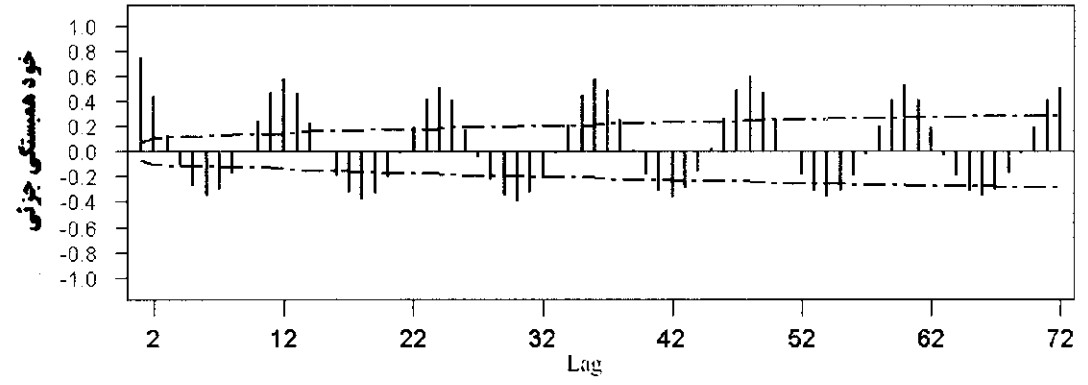
شکل۳- هیستوگرام توزیع آبدهی رودخانه کارون در محل پل شالو پس از نرمال شدن

www.SID.ir

Archive of SID



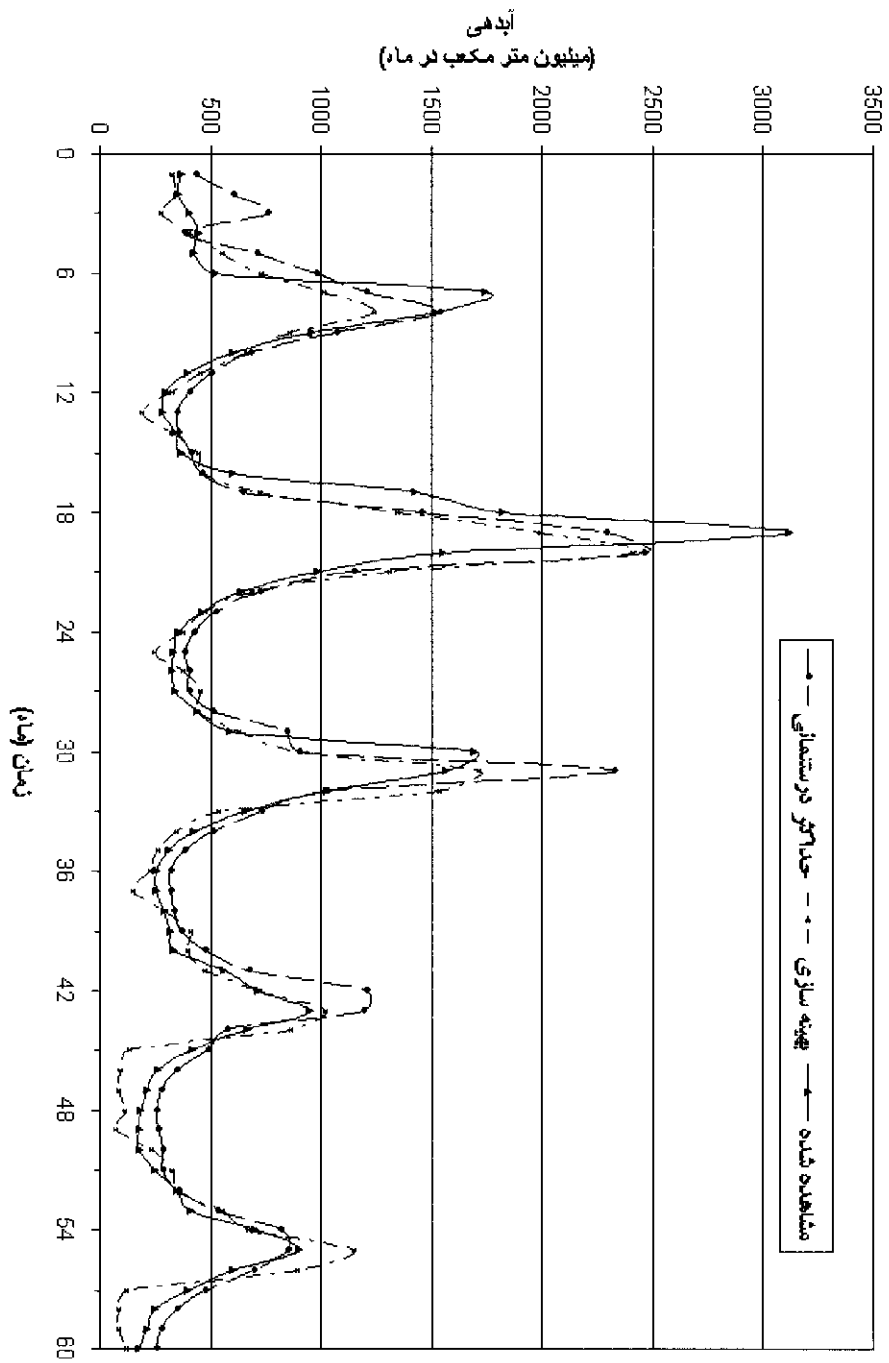
شکل٤- تابع خود همبستگی (ACF) برای سری زمانی آبدهی در پل شالو



شکل٥- تابع خود همبستگی جزئی (PACF) برای سری زمانی آبدهی در پل شالو

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶- مقایسه بین مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده توسط دو روش

www.SID.ir

جدول ۱- خلاصه نتایج مقایسه دو روش محاسبه پارامترها برای دوره واسنجی برای کل دوره

مقدار خطا	بدون عدد ثابت				با عدد ثابت							
	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی
	ARMA(1,0)(1,0)		ARMA(2,0)(2,0)		ARMA(1,0)(1,0)		ARMA(2,0)(2,0)		ARMA(1,1)(0,0)		ARMA(2,2)(0,0)	
MAX	۲۳۳/۵۱۴	۷۴/۰۱۹	۲۴۶/۳۱۲	۷۵/۰۰۸	۲۵۳/۸۱۸	۷۳/۰۴۸	۱۸۲/۲۴۶	۷۵/۰۴۱	۲۲۶/۷۲۷	۸۵/۰۱۲	۲۲۶/۷۲۷	۹۴/۹۸۵
AVE	۲۰/۸۶۷	۲۰/۳۹۷	۳۲/۱۹۲	۱۹/۵۷۸	۳۴/۰۸۲	۲۲/۲۸۱	۲۴/۲۲۷	۱۷/۲۷۷	۲۶/۲۷۲	۲۱/۲۳۷	۲۶/۲۷۲	۲۵/۸۱۲
MIN	۰/۰۳۸	۰/۰۳۴	۰/۰۰۸	۰/۱۴۶	۰/۰۲۱	۰/۰۲۶	۰/۱۲۶	۰/۰۱۲	۰/۰۹۲	۰/۰۱۷	۰/۰۹۲	۰/۱۸۳
STD	۲۰/۰۸۴	۱۶/۷۵۸	۲۶/۳۳۸	۱۶/۷۷۸	۲۳/۰۲۶	۱۷/۲۰۹	۲۲/۹۷۹	۱۶/۰۸۵	۲۳/۸۷۹	۱۷/۷۲۹	۲۳/۸۷۹	۱۸/۶۰۷

جدول۲- خلاصه نتایج مقایسه دو روش محاسبه پارامترها برای دوره واسنجی برای فصل بهره برداری (آذر تا اسفند)

مقدار خطا	بدون عدد ثابت				با عدد ثابت							
	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی
	ARMA(1,0)(1,0)		ARMA(2,0)(2,0)		ARMA(1,0)(1,0)		ARMA(2,0)(2,0)		ARMA(1,1)(0,0)		ARMA(2,2)(0,0)	
MAX	۷۴/۰۱۹	۱۲۶/۶۵۱	۷۵/۰۰۵	۹۴/۰۲۵	۷۳/۰۴۸	۱۸۲/۲۴۶	۷۵/۰۴۱	۲۲۶/۷۲۷	۸۵/۰۱۲	۲۲۶/۷۲۷	۹۴/۸۴۸	۲۳۳/۵۱۴
AVE	۲۴/۳۳۴	۳۲/۳۸۰	۲۴/۶۰۷	۲۷ /۵۶۵	۲۵/۳۳۸	۲۹/۸۷۵	۲۴/۷۴۷	۲۸/۷۰۸	۲۷/۱۴۴	۲۸/۷۰۸	۳۵/۸۷۵	۲۹/۷۶۴

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- خلاصه نتایج مقایسه دو روش محاسبه پارامترها برای دوره تأیید مدل برای کل دوره

مقدار خطا	بدون عدد ثابت				با عدد ثابت							
	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی
	ARMA(1,0)(1,0)		ARMA(2,0)(2,0)		ARMA(1,0)(1,0)		ARMA(2,0)(2,0)		ARMA(1,1)(0,0)		ARMA(2,2)(0,0)	
MAX	۷۸/۰۷۶	۱۵۳/۴۴۱	۷۵/۶۵۶	۱۱۰/۸۳۰	۷۰/۷۶۳	۸۷/۵۶۵	۶۷/۲۵۴	۱۰۴/۳۵۷	۷۹/۷۷۰	۹۰/۱۵۷	۷۲/۲۹۹	۹۵/۶۹۵
AVE	۲۴/۹۴۱	۴۷/۰۳۷	۲۱/۸۹۳	۴۴/۵۴۷	۲۶/۹۵۰	۲۸/۲۰۵	۲۰/۴۳۴	۳۱/۴۶۱	۱۹/۲۶۵	۱۹/۴۸۱	۲۱/۸۶۸	۱۷/۵۷۸
MIN	۰/۹۱۱	۰/۸۶۳	۰/۳۰۰	۱/۳۴۶	۰/۲۲۷	۰/۱۶۵	۰/۰۶۰	۰/۳۹۴	۱/۰۲۷	۰/۲۴۶	۰/۲۶۳	۰/۲۲۹
STD	۱۸/۷۱۳	۳۵/۵۸۲	۱۸/۲۵۹	۲۷/۸۱۲	۱۹/۶۰۶	۱۹/۸۶۳	۱۵/۰۰۹	۱۹/۳۴۵	۱۶/۷۸۵	۲۱/۶۷۹	۱۶/۹۳۶	۱۹/۹۴۸

جدول ۴- خلاصه نتایج مقایسه دو روش محاسبه پارامترها برای دوره تأیید مدل برای فصل بهره برداری (آذر تا اسفند)

مقدار خطا	بدون عدد ثابت				با عدد ثابت							
	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی	حداکثر درستنمایی	بهینه سازی
	ARMA(1,0)(1,0)		ARMA(2,0)(2,0)		ARMA(1,0)(1,0)		ARMA(2,0)(2,0)		ARMA(1,1)(0,0)		ARMA(2,2)(0,0)	
MAX	۵۴/۹۶۳	۸۹/۲۰۰	۵۲/۵۸۴	۶۰/۰۶۹	۴۹/۰۸۶	۸۷/۵۶۵	۵۳/۱۳۶	۱۰۴/۳۵۷	۶۰/۳۷۷	۹۰/۱۵۷	۷۲/۲۹۹	۹۵/۶۹۵
AVE	۲۳/۲۹۰	۳۶/۸۵۴	۲۲/۳۱۰	۲۵/۶۳۰	۲۲/۴۸۶	۳۴/۶۶۰	۲۳/۴۲۴	۳۲/۶۴۹	۲۳/۵۶۰	۳۲/۷۰۷	۳۴/۰۳۵	۲۹/۹۹۷

Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID

منابع و مآخذ:

۱- اصغرپور، م، ج (۱۳۷۷). تصمیم گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۹۸ ص.

۲- جاماب (۱۳۷۸). طرح جامع آب کشور – حوزه آبریز دز و کارون، انتشارات شرکت مهندسین مشاور جاماب، وزارت نیرو.

۳- خلقی، م (۱۳۶۸). تعیین مدل بارندگی رواناب در جنوب شرقی ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۴- مدرس، م و آصف وزیری، ا (۱۳۷۶). تحقیق در عملیات، جلد اول. (تألیف فردریک س. هیلیر و جرالد ج. لیبرمن) چاپ هشتم، انتشارات تندر، ۴۲۰ ص.

5- Ansely, C. F. (1979). An algorithm for the exact likelihood of a mixed autoregressive-moving average process. Biometrika 66: 59-65.

6- Arikan, F. and gungor, Z. (2001). An application of fuzzy goal programming to a multiobjective project network problem. Journal of Fuzzy Sets and Systems, 119: 49-58.

7- Azrak, R. and Melard, G. (1998). The exact quasi-likelihood of time-dependent ARMA models. Journal of Statistical Planning and Inference, 68: 31-45.

8- Charnes, A. and Cooper, W.W. (1961). Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, John Wiley & Sons, New York, USA.

9- Chenoweth, T., Hubata, R. and St. Louis, R. D. (2000). Automatic ARMA identification using neural networks and the extended sample autocorrelation function: a reevaluation. Journal of Decision Support Systems, 29: 21-30.

10- Gardner, G., Harvey, A. C. and Phillips, G. D. A. (1980). Algorithm AS 154: an algorithm for exact maximum likelihood estimation of autoregressive-moving average models by means by Kalman filtering. J. Roy. Statist. Soc. Ser. C. Appl. Statist., 29: 311-322.

11- Gen, M. Ida, K., Lee, J. and Kim, J. (1997). Fuzzy nonlinear goal programming using genetic algorithm,

12- Hillier, F. S. and Lieberman, G. J. (1990). Introduction to Operations Research, 5th edn., McGraw-Hill Inc., New York, USA.

13- Hwarng, H.B. (2001). Insights into neural network forecasting of time series corresponding to ARMA(p,q) structures. Journal of Omega, 29: 273-289.

14- Ignizio, J. (1981). Linear Programming in single & Multiple-Objective System. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs, NJ. USA.

15- Ijiri, Y. (1965). Management Goals and Accounting for Control. North-Holland, Amsterdam, The Netherlands.

16- Lee, S. (1972). Goal Programming for Decision Analysis. Auerbach Publishers, Philadelphia, USA.

17- Ljung, G. and Box, G.E.P. (1979). The likelihood function of stationary autoregressive-moving average models. Biometrica 66, 265-270.

18- Melard, G. (1984). Algorithm AS197: a fast algorithm for the exact likelihood of autoregressive-moving average models. J. Roy. Statist. Soc. Ser. C. Appl. Statist., 33: 104-114.

19- Pearlman, J. G. (1980). An algorithm for the exact likelihood of a high-order autoregressive-moving average process. Biometrika, 67: 232-233.

www.SID.ir