پیش‌بینی دبی ماهانه رودخانه کاکارضا با استفاده از مدل‌های سری زمانی، ARIMA فصلی

چکیده

بررسی و شناخت تغییرات زمانی دبی پایه در مطالعات حوزه‌های آبخیز بخصوص در فصول با جریان کم اهمیت زیادی دارد. به همین منظور مدل‌های مختلف آماری و احتمالاتی ارائه و توسعه داده‌شده است. هدف از این پژوهش بررسی سری زمانی۳۰ ساله مربوط به دبی متوسط ماهانه رودخانه کاکارضا در شهرستان سلسله در استان لرستان می‌باشد. در گام اول توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی داده‌های واقعی در نرم‌افزار XLSTAT ترسیم و سپس داده‌ها با استفاده از روش باکس کاکس نرمال شده‌اند. در گام بعدی روند داده‌ها که نشان‌دهنده نا ایستایی داده‌ها بود تعیین شد. سپس با استفاده از روش عملگر تفاضل در نرم‌افزار MINITAB روند داده‌ها حذف و مدل با توجه به معیار آکائیک (AIC) شناسایی و مناسب با کمترین آکائیکه انتخاب شد. در آخر چهار دوره‌ی ۱۲، ۲۴، ۶۰ و ۸۴ ماهه پیش‌بینی گردید. نتایج حاکی از آن بود که مدل انتخابی در دوره‌ی ۱۲ ماهه دارای ضریب نش-سات کلایف ۸۵/. می‌باشد. بنابراین، دوره‌ی کوتاه‌مدت ۱۲ ماهه، توانست پیش‌بینی مناسب‌تری را نشان دهد.

واژگان کلیدی: سری زمانی، پیش‌بینی، کاکارضا، مدل، ARIMA فصلی.

حافظ میرزاپور[۱]

ناصر طهماسبی پور[۲*]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

***مسئول مکاتبات:**

ntahmasebipour@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۳۰

کد مقاله: ۱۳۹۶۰۴۰۳۷۳

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

مقدمه

اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و همچنین رشد روزافزون جمعیت و محدودیت منابع آب سطحی در کشور، پیش‌بینی دقیق‌تر جریان رودخانه با استفاده از ابزارها و روش‌های نوین مدل‌سازی را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است. از طرفی دیگر پیش‌بینی مناسب جریان رودخانه در ساماندهی رودخانه، سامانه‌های هشدار سیل و به‌خصوص برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری بهینه لازم است. به‌منظور پیش‌بینی جریان رودخانه در طی سالیان گذشته روش‌های مختلفی ابداع‌شده است که به‌طورکلی این روش‌ها را می‌توان به دودسته مدل‌های مفهومی و مدل‌های مبتنی بر آمار یا داده‌ای طبقه‌بندی کرد. اساس اکثر روش‌های پیش‌بینی، نوع شبیه‌سازی وضعیت موجود سیستم است که در اصطلاح به آن مدل‌سازی گفته می‌شود. با توجه به اینکه در اغلب موارد مدل‌های مفهومی به داده و دانش صحیح و کامل از فرآیندهای مؤثر بر پدیده نیاز دارند و این امر تاکنون با مشکلات زیادی همراه بوده است، پژوهشگران به استفاده از مدل‌های آماری روی آورده‌اند. در طی چهار دهه گذشته، مدل-های سری‌زمانی به‌عنوان یکی از مدل‌های آماری، کاربرد گسترده‌ای در پیش‌بینی جریان رودخانه پیداکرده‌اند (سیدیان و همکاران،۱۳۹۳؛ El-Nayak *et al*., 2004؛ Shafie *et al*., 2007). در هر علم، به آمار جمع‌آوری‌شده مربوط به متغیری که قرار است پیش‌بینی شود و در دوره‌های زمانی گذشته موجود است، اصطلاحاً سری زمانی می‌گویند. منظور از یک سری زمانی مجموعه‌ای از داده‌های آماری است که در فواصل زمانی مساوی و منظمی جمع‌آوری‌شده باشند. روش‌های آماری که این‌گونه داده‌های آماری را مورداستفاده قرار می‌دهد روش‌های تحلیل سری‌های زمانی نامیده می‌شود. اساس بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در فرایندهای هیدرولوژیکی و تصمیمات بهره‌برداری از منابع آب بر پایه پیش‌بینی و تحلیل سری‌های زمانی می‌باشد (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۹۳). برای پیش‌بینی سری زمانی و تعیین مدل پیش‌بینی، فنون مختلفی وجود دارد، این فنون را می‌توان به دودسته کمی و کیفی تفکیک کرد. ازجمله روش‌های کمی،مدل‌های میانگین متحرک ساده و موزون،

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

هموارسازی نمایی ساده و هالت وینترز، باکس جنکینز، اتو رگرسیون میانگین متحرک تلفیقی (ARIMA) و مدل‌های اقتصادسنجی و از روش‌های کیفی، روش‌های دلفی، طوفان مغزی و گروه اسمی را می‌توان برشمرد (آذر و مؤمنی، ۱۳۹۵). یکی از شرایط اولیه استفاده از داده‌ها در مباحث سری زمانی، ایستا بودن آن‌هاست، در غیر این صورت باید نا ایستایی رفع شود. اگر قوانین حاکم بر مدل مانند میانگین و کوواریانس در طول زمان به‌صورت دوره‌ای ثابت باشد سری از نوع ایستای دوره‌ای می‌باشد، چون این نوع سری قابل‌تبدیل به ایستا نمی‌باشد لذا باید از روش‌های جدید سری زمانی که بر مبنای ایستای دوره‌ای می‌باشند مانند مدل PMA، PAR و مدل PARMA استفاده کرد. در غیر این صورت برای ایستا نمودن داده‌ها در میانگین از روش تفاضلی و برای تبدیل پایداری در واریانس از روش باکس_کاکس می‌توان استفاده نمود. در جهت مدل‌سازی از سری‌های زمانی، در اغلب موارد متخصصان از انواع متنوع مدل‌های ریاضی و آماری بهره می‌گیرند، به طوری که همبستگی‌های موجود مابین زمان و مشاهدات مدنظر است (نیرومند، ۱۳۸۹).

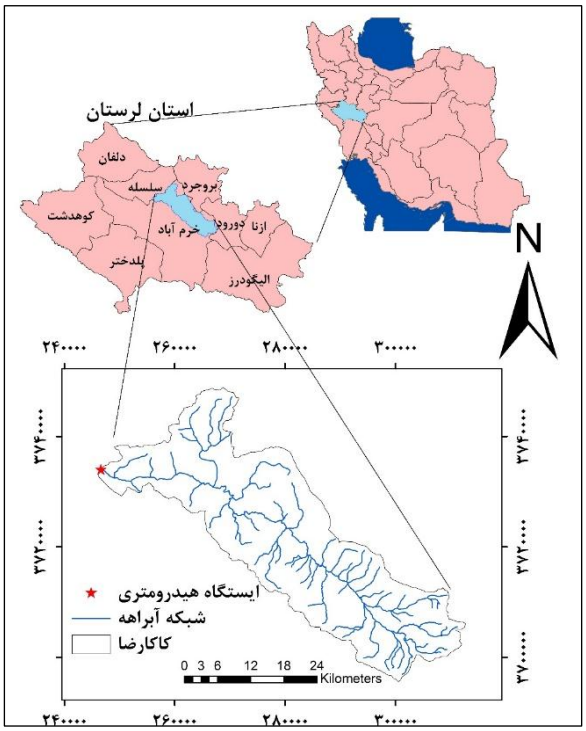
جهت برنامه‌ریزی صحیح و استفاده بهینه و منطقی از منابع باارزش آب و هم‌زمان حفظ این منابع برای نسل‌های آینده، استفاده از دانش روز هیدرولوژی اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد (مهدوی، ۱۳۹۴). تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده است ازجمله؛ دودانگه و همکاران (۱۳۹۱)، به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی مدل‌های سری زمانی ARIMA به کار گرفته شد نتایج این مطالعه بیانگر سودمندی مدل‌های سری زمانی در مطالعات منابع آب از طریق پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده است. دودانگه و کوپاپی (۱۳۹۰) با استفاده از مدل‌های Box-Jenkins سری زمانی ماهانه جریان رودخانه پل‌دختر را بررسی کردند و مدل ARIMA(2,0,2)(2,0,0)را به‌عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی جریان آن رودخانه انتخاب کردند. صباغیان و شریفی (۱۳۸۸)، از سری زمانی ۵۰ ساله مربوط به دبی متوسط سالانه یک نمونه رودخانه فرضی بررسی کردند، تا بتوان با استفاده از تحلیل هیدرولوژیکی این نمونه در مقیاس فرضی و عددی، به تحلیلی عینی در مقیاس واقعی و کاربردی دست یابند. نتیجه این بررسی در این مقاله، تولید داده‌هایی برای شرایط آینده با توجه به وجود داده‌های موجود برای تصمیم‌گیری کارآمد و مفید در شرایط آینده است. طراز کار و صدق آمیز (۱۳۸۷) دبی جریان رودخانه کرخه را در دو ایستگاه جلوگیر و پای پل با استفاده از روش سری زمانی در قالب الگوی خودرگرسیو میانگین متحرک و هوش مصنوعی در قالب شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی توانایی بیشتری در پیش‌بینی دبی ماهانه ایستگاه جلوگیر دارد. اما با توجه به غیر رژیم جریان در ایستگاه پای پل روش سری زمانی توانایی بیشتری در پیش‌بینی دبی ماهانه این ایستگاه دارد. Wang و همکاران (۲۰۱۵) رواناب سالانه را با ARIMA و EEMD-ARIMA موردبررسی قراردادند و با استفاده از معیارهای (RMSE، MAPE، R و NSEC) مدل را مورد ارزیابی قراردادند نتایج نشان داد EEMD-ARIMA با دقت قابل‌توجهی نسبت به ARIMA پیش‌بینی سالانه را انجام می‌دهد. Mirzavand و همکاران (۲۰۱۴) با تجزیه‌وتحلیل داده‌های ۳۶ حلقه چاه در کاشان سطح آب زیرزمینی را پیش‌بینی نمودند. نتایج حاصل مبین این بود که مدل AR(2) مناسب‌ترین مدل می‌باشد و برای دوره زمانی ۶۰ ماه پیش‌بینی مناسب‌تری را انجام خواهد داد. Valipour و همکاران (۲۰۱۳) مقایسه‌ی بین روش‌های ARMA، ARIMA و شبکه عصبی مصنوعی اتورگرسیو در جریان ورودی ماهانه به مخزن سد دز انجام دادند که نتایج نشان داد جریان ورودی پیش‌بینی‌شده در ARIMA بهتر از پیش‌بینی ARMA بوده است. Moeeni و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی در سد جامیشان استان کرمانشاه، توانایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی_الگوریتم ژنتیک و SARIMA در پیش‌بینی جریان ماهانه خروجی مخزن سد و مقایسه نتایج با شبکه عصبی مصنوعی ساده پرداختند. در این پژوهش ۲۱ سال اول به‌عنوان ورودی مدل و ۹ سال باقی‌مانده را برای صحت سنجی استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده دقت بالای مدل sarima در جریان‌های کم و جریان پایه بود، همچنین، مدل شبکه عصبی مصنوعی_الگوریتم ژنتیک در جریان‌های پیک و سیل‌آسا نتایج دقیق‌تری را نشان داد. Othman و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل ARIMA فصلی به پیش‌بینی دبی جریان ورودی به سد کرج پرداختند. نتایج، سازگاری مدل ARIMA(1,0,1)(2,1,1) را نشان داد. در این پژوهش ضریب همبستگی نتایج پیش‌بینی‌شده و مشاهداتی برای دوره زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه به ترتیب دقت ۰/۷۸ و ۰/۶۴ را نشان داد. Elganiny و Eldwer (۲۰۱۶) در پژوهشی در حوزه

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

نیل که شامل چندین رودخانه است، به مقایسه مدل‌های SARIMA و DARMA در پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه‌ها پرداختند. نتایج حاصل از تطابق داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده، میانگین خطای مطلق و میانگین مربعات خطای کمتر و ضریب تعیین بیشتر مدل DARMA را نشان داد که نشان از برتری این مدل نسبت به مدل SARIMA می‌باشد. Noakes و همکاران (۱۹۸۵) قدرت پیش‌بینی کوتاه‌مدت مدل‌های ARIMA، SARIMA و مدل‌های خودهمبستگی دوره‌ای (PAR) را بر روی سری ۳۰ ماهه جریان مقایسه کردند و نشان دادند که مدل‌های خود همبسته دوره‌ای دقیق‌ترین پیش‌بینی را دارند آن‌ها همچنین برتری لگاریتمی را به دیگر تبدیل‌های باکس ـ کاکس بر اساس روش حداکثر درست نمایی به دست آوردند. با توجه به کاربردهای متعدد مدل‌های سری‌های زمانی نشان داده‌شده است که آن‌ها ابزار مناسبی در فرآیند شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب رودخانه و برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب می‌باشند میان‌آبادی و افشار (۱۳۷۸)، با توجه به تحقیقات انجام شده و اهمیت دبی جریان در رودخانه‌ها، پژوهش حاضر درصدد بررسی، مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی جریان ماهانه رودخانه کاکارضا با استفاده از تجزیه‌وتحلیل سری‌های زمانی بر این داده‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

رودخانه کاکارضا یا رود ولم در شهرستان سلسله در استان لرستان با طول"۲۱'۱۴°۴۴ و عرض جغرافیایی"۳۸'۴۲°۳۳ قرار دارد. این رود که بزرگ‌ترین رودخانه منطقه الشتر می‌باشد از کوه‌های جنوب غربی الشتر سرچشمه گرفته و پس از عبور از جنوب الشتر و مجاورت بسطام از طرف شرق به‌طرف جنوب غربی جریان پیدا می‌کند و به‌ویژه در فصل بهار سیلابی و غیرقابل‌عبور می‌باشد. موقعیت منطقه موردمطالعه در شکل ۱ مشخص‌شده است.



شکل۱: موقعیت منطقه موردمطالعه.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

در پژوهش حاضر دبی ماهانه ایستگاه کاکارضا (۱۳۹۰-۱۳۶۰) یکی از زیر حوزه‌های حوزه کرخه به‌منظور پیش‌بینی دبی مورداستفاده قرار گرفت. در این پژوهش به‌منظور تحلیل سری زمانی داده‌های دبی از روش Box و همکاران (۱۹۶۷) استفاده شد. مدل‌های سری زمانی به ۳ شکل اصلی دیده می‌شوند: مدل‌های خود همبسته (AR)، مدل‌های میانگین متحرک (MA) و مدل‌های تلفیقی خود همبسته و میانگین متحرک (ARMA). شرط استفاده از این مدل‌ها ایستا بودن داده‌های مورداستفاده است. اگر داده‌ها ایستا نباشند باید به روش‌های موجود سری داده‌ها ایستا شود. وجود «I» در ARIMA نشان‌دهنده‌ی غیر ایستا بودن داده‌های اصلی و تغییر در داده‌ها به‌منظور مدل‌سازی است (Han et al., 2010)، اگر سری داده‌ها دارای حالت چرخه و تناوب باشند آنگاه نوع مدل فصلی یا SARIMA می‌باشد. مدل‌های سری زمانی دارای ۲ جزء (p,d,q) و (P,D,Q)s می‌باشند که (P,D,Q)s جزء فصلی گفته می‌شود (Bowerman and O'Connell, 1993; Box et al., 2015). p و q به ترتیب پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک غیر فصلی P و Q پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک فصلی است. دو پارامتر دیگر یعنی D و d پارامترهای تفاضلی برای ایستا کردن سری زمانی است. عملگر تفاضلی مورداستفاده برای سری‌های زمانی پویا عبارت‌اند از $\Delta = 1- B$ (B عملگر جهش به عقب است) و $\Delta^d = (1-b)^d$ برای تفاضل گیری فصلی است، این شکل مدل‌های ARIMA غیر فصلی به شکل رابطه ۱ نوشته می‌شود:

رابطه ۱: $$\Phi(B)Z_t = \Phi(B)(1-B)Z_t = \theta(B)at$$

که Zt سری‌های مشاهده‌شده $\Phi(B)$ رتبه چندجمله‌ایp و $\theta(B)$ رتبه چندجمله‌ای q است. برای سری‌های زمانی فصلی که اغلب به‌صورت چرخه‌ای هستند، تفاضل‌گیری فصلی به کار برده می‌شود که در رابطه ۲ ارائه شده است:

رابطه ۲: $$\varphi_P(B)\phi_P(B^s)\Delta^d\Delta_s^D(z_t - \overline{Z}) = \theta_q(B)\Theta_Q(B^s)a_t$$

که Θ_Q و ϕ_P به ترتیب چندجمله‌ای‌های فصلی Q و p هستند.

مدل‌سازی به روش مذکور شامل: شناسایی مدل؛ به‌منظور شناخت مدل ابتدا نمودار تغییرات دبی در مقابل زمان ترسیم شد. در این مرحله با استفاده از توابع خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) مدل مناسب به داده‌های سری زمانی موردبررسی برازش داده می‌شود و با استفاده از این توابع ایستایی و فصلی بودن داده‌ها موردبررسی قرار گرفت. داده‌های مورداستفاده باید فاقد روند باشند روش‌های متفاوتی به‌منظور تعیین روند مورداستفاده قرار می‌گیرد که در این میان برای بررسی روند از آزمون من-کندال استفاده شد. آزمون من-کندال آزمونی غیرپارامتری رتبه‌ای است که توسط Mann (۱۹۴۵) و Kendall (۱۹۷۵) ارائه‌شده است و برای تعیین معنی‌داری روندهای خطی و غیرخطی مناسب می‌باشد (Hisdal et al 2001؛ Li et al 2008). در این آزمون فرض صفر و فرض مقابل به ترتیب معادل بدون روند و وجود روند در سری زمانی داده‌های مشاهده‌ای است. روابط مربوطه جهت تعیین مقادیر آماره من-کندال به‌صورت رابطه‌های زیر (رابطه ۳ تا ۶) است:

رابطه ۳: $$S = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}\operatorname{sgn}(x_j - x_i)$$

رابطه ۴: $$\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = \begin{pmatrix} +1 & if & (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & if & (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & if & (x_j - x_i) < 0 \end{pmatrix}$$

رابطه ۵: $$VAR(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right]$$

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

رابطه ۶:

$$Z_M = \begin{pmatrix} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & if & S>0 \\ 0 & if & S=0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & IF & S<0 \end{pmatrix}$$

که در روابط فوق n تعداد داده مشاهده‌ای (طول دوره آماری)، x_i و x_j به ترتیب i امین داده مشاهده‌ای و q تعداد گروه‌های ایجادشده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو)، t_p تعداد داده‌های برابر در p امین گروه و z_m مقدار آماره من-کندال می‌باشد. مقدار منفی z_m بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان‌دهنده روند افزایشی در سری داده‌ها می‌باشد. با توجه به سطح معنی‌داری ۹۵ درصد اگر $|Z_M| > 1.96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود.

برآورد پارامتر؛ پس‌ازاینکه مدل مناسب تشخیص داده شد باید پارامترهای مدل برآورد شوند. این پارامترها باید دارای دو شرط ایستایی برای خودهمبستگی و معکوس‌پذیری را برای میانگین متحرک باشند (Modarres, 2007 ;Box et al, 2015). این پارامترها همچنین ازنظر معنی‌داری مورد آزمون قرار گیرند که این معنی‌داری در ارتباط با انحراف استاندارد تخمین‌ها و مقدار t می‌باشد. اگر θ برآورد نقطه‌ای از پارامتر مورد نظر و $S\theta$ خطای برآورد باشد، مقدار t از رابطه ۷ به دست می‌آید:

رابطه ۷:

$$\frac{\theta}{s\theta}$$

اگر فرض صفر (Ho=0) با در نظر گرفتن احتمال خطای برابر یا بیشتر از α =۰/۰۵ رد شود در این صورت پارامتر معنی‌دار خواهد بود و در مدل باقی می‌ماند. همچنین اگر مقدار P-value کوچک‌تر یا مساوی سطح معنی‌دار بودن آزمون یعنی ۵ درصد باشد، فرض صفر (Ho) رد می‌شود (دودانگه و همکاران، ۱۳۹۱).

نکویی برازش؛ برای آزمون نکویی برازش روش‌های مختلفی وجود دارد. در پژوهش حاضر برای بررسی مدل‌های برازش داده‌شده به داده‌ها، باقیمانده‌های مدل ازنظر نرمال بودن و خودهمبستگی موردبررسی قرار گرفت. یکی از رایج‌ترین آزمون‌های نرمالیته داده‌ها روش Q-Q پلات است که در پژوهش حاضر نیز مورداستفاده قرارگرفته است.

نرم‌افزار مینی‌تب برای نخستین بار در پنسیلوانیای آمریکا نوشته‌شده است که دارای قابلیت‌های شگفت‌انگیز در تجزیه‌وتحلیل داده‌هاست. استفاده ساده و کاربرد زیاد و اجرای فرمان‌ها از طریق منوها و نوشتن دستورات در محیط session از خصوصیات آن می‌باشد. نرم‌افزار مینی تب یکی از نرم‌افزارهای مطرح آماری می‌باشد که در برخی زمینه‌های علم آمار، ازجمله کاربرد آمار در صنعت و در اقتصاد از قابلیت‌های خاصی برخوردار می‌باشد. تحلیل‌های سری زمانی با گستردگی و دقت بیشتری در نرم‌افزار مینی تب Minitab ارائه‌شده است. مبحث کنترل کیفیت آماری که رشته آمار را به صنعت و مقوله کنترل کیفیت پیوند می‌دهد نیز ازجمله موضوعات آماری است که به تفضیل در نرم‌افزار مینی تب به آن پرداخته‌شده است. همچنین طرح‌های عاملی و آنالیز واریانس به‌طور کامل مدنظر قرارگرفته است. محیط کار نرم‌افزار مینی تب برای انجام برخی عملیات مانند تولید اعداد تصادفی که از توزیع‌های آماری خاصی مانند توزیع نرمال، کی دو، گاما، اف، برنولی، پواسن، بتا، وایبل و... پیروی کنند به‌راحتی و سهولت خاصی در نرم‌افزار مینی تب امکان‌پذیر است. ازنظر قابلیت‌های گرافیکی در رسم نمودارهای آماری نیز این نرم‌افزار در سطح نرمالی قرار دارد. رسم نمودارهای سه‌بعدی از مشاهدات به‌آسانی در آن امکان‌پذیر است. انجام تحلیل سری‌های زمانی به کمک نرم‌افزار مینی تب؛ با توجه به ویژگی‌های این نرم‌افزار در بسیاری موارد از آن برای تحلیل سری‌های زمانی و پیاده‌سازی مدل‌های ARMA و ARIMA استفاده می‌گردد. انجام تحلیل کنترل کیفیت آماری به کمک نرم‌افزار مینی تب؛ قابلیت‌های نرم‌افزار مینی تب و منوهای مفصلی که

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

درزمینه‌ی کنترل کیفیت آماری دارد، باعث شده است که این نرم‌افزار درزمینه‌ی کنترل کیفیت بسیار مورد بهره‌برداری قرار گیرد. مینی تب با داشتن خروجی‌های بسیار دقیق و مناسب (در حد هزارم اعشار) در زمینه‌هایی از قبیل آمار توصیفی، رگرسیون، روش‌های چند متغیره پیوسته و گسسته، طرح آزمایش‌ها، سری‌های زمانی، کنترل کیفیت آماری و .... کاربرد دارد و از همه مهم‌تر مینی تب دارای یک ویژگی است که با داشتن یک راهنمای قوی و مناسب امکان دستیابی به منوها را تسهیل می‌سازد. همچنین می‌توان برای اجرای فرمان‌هایی که در منو موجود نیست، یک ماکروی کوچک نوشت و آن را اجرا کرد(Minitab, 1995).

الف) معیار اطلاعاتی آکائیکه (AIC): AIC (Akaike information criterion) معیاری برای سنجش نیکویی برازش است. این معیار بر اساس مفهوم انتروپی بنا شده‌است و نشان می‌دهد که استفاده از یک مدل آماری به چه میزان باعث از دست رفتن اطلاعات می‌شود. به عبارت دیگر، این معیار تعادلی میان دقت مدل و پیچیدگی آن برقرار می‌کند (Akaike, 1974).

با توجه به داده‌ها، چند مدل رقیب ممکن است با توجه به مقدار AIC رتبه‌بندی شوند و مدل دارای کمترین AIC بهترین است. از مقدار AICمی‌توان استنباط نمود که به‌عنوان مثال سه مدل بهتر وضعیت نسبتاً یکسانی دارند و بقیه مدل‌ها به مراتب بدتر هستند، اما معیاری برای انتخاب مقدار آستانه‌ای برای AIC که بتوان مدلی را به واسطه داشتن AIC بزرگ‌تر از این مقدار رد کرد وجود ندارد(Burnham and Anderson, 1998).

در حالت کلی، AIC طبق رابطه ۸ به دست می‌آید.

رابطه ۸: $$AIC = 2K - \ln(\mathrm{L})$$

که k تعداد پارامترهای مدل آماری است و L مقدار حداکثر تابع درستنمایی برای مدل برآورد شده است (Burnham and Anderson, 2003).

ب) میانگین انحراف خطا: این آزمون عبارت است از میانگین انحراف مقادیر محاسبه‌شده، از مقادیر واقعی و مشاهداتی که از رابطه ۹ برآورد می‌گردد. هرچه میانگین انحراف خطابه صفر نزدیک‌تر باشد، مدل ارائه‌شده از دقت بالاتری برخوردار است.

رابطه ۹: $$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N}(\mathrm{O}_i - S_i)\Big/ n$$

که در آن،n: تعداد داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

پ) متوسط خطای مطلق

رابطه ۱۰: $$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N}\left|S_i - O_i\right|$$

ت) ضریب نش–سات کلایف

رابطه ۱۱: $$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(S_i - \overline{O}_i)^2}$$

ث) میانگین مربعات خطا

رابطه ۱۲: $$MSE = \frac{1}{N}\sum\left(S_i - O_i\right)^2$$

$\overline{O_i}$: میانگین مقدار مشاهداتی متغیر، S_i : مقدار متغیر محاسبه‌شده توسط مدل و O_i مقدار متغیر مشاهداتی (واقعی) n: تعداد داده‌های موردبررسی می‌باشد (Sivapragasam and Muttil, 2005؛ Patra, 1998).

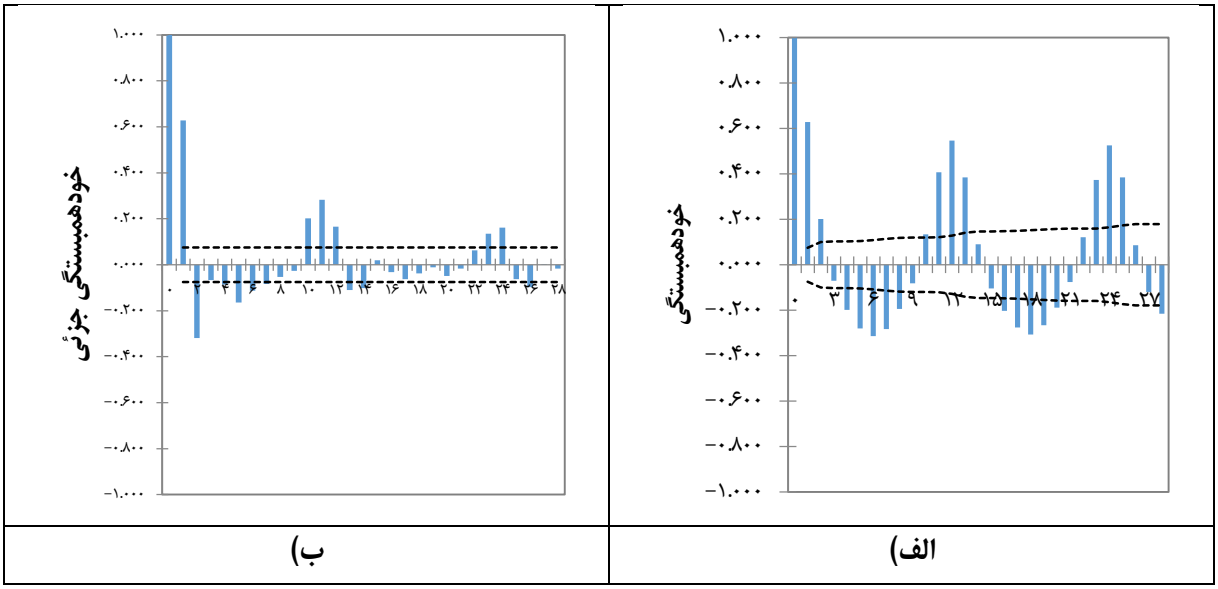
[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

نتایج

مشخصات آماری داده‌های دبی جریان در ایستگاه کاکارضا در جدول ۱ ارائه شده است. در گام اول توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی داده‌های واقعی در نرم‌افزار XLSTAT ترسیم گردید. همان‌طور که در نمودارهای ACF وPACF شکل ۲ دیده می‌شود هر دو در تأخیرهای اولیه جهش‌های بزرگی را نشان می‌دهند. بنابراین با استفاده از تابع خودهمبستگی (ACF) مقدار p و با استفاده از تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) مقدار q مشخص گردید.

جدول ۱: مشخصات آماری داده‌های دبی جریان در ایستگاه کاکارضا.

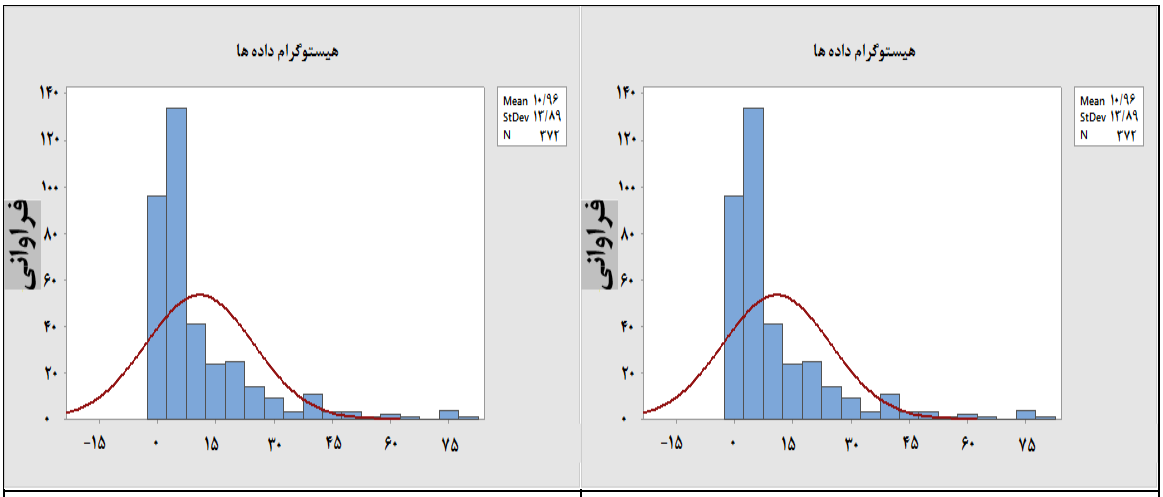
انحراف استاندارد	میانگین حسابی	بزرگترین	کمترین	میانه	مد	انحراف از معیار	واریانس	دامنه تغییرات	میانگین هندسی	میانگین هارمونیک
۱۰/۰۱	۱۱/۰۳	۱۲۵/۹۷	/۶۸	۴/۶۴	۴/۳۵	۱۴/۵۴	۲۱۱/۶۹	۱۲۵/۲۹	۵/۹	۳/۶۶



شکل ۲: الف) نمودارهای خودهمبستگی (ACF)، ب) خودهمبستگی جزئی (PACF).

از سوی دیگر نتایج پلات Q-Q نشان داد که داده‌های واقعی نرمال نیستند. نرمال بودن داده‌ها به این دلیل اهمیت دارد که تئوری سری‌های زمانی بر اساس نرمال بودن داده‌ها توسعه‌یافته است و درصورتی‌که داده‌ها نرمال نباشند بایستی با استفاده از روش‌های مختلف آن‌ها را نرمال‌سازی نمود، ازجمله روش‌های نرمال‌سازی داده‌ها استفاده از روش Box-Cox می‌باشد که در پژوهش حاضر از این روش استفاده‌شده است که هیستوگرام داده‌ها در شکل ۳ نمایش داده‌شده است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]



ب) الف)

شکل ۳: الف) هیستوگرام داده‌های نرمال شده، ب) هیستوگرام داده‌های واقعی.

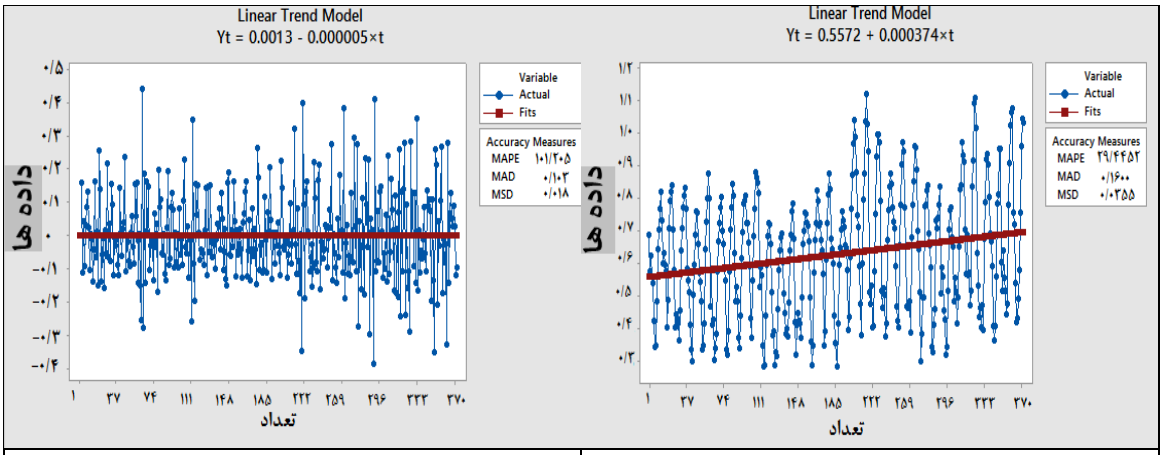
نوسانات ماهانه مشاهده‌شده در داده‌ها نشان‌دهنده رفتار فصلی و تناوب ۱۲ ماهه آن‌ها و درنتیجه S=12 و D=1 می‌باشد. مرحله بعد در تجزیه‌وتحلیل سری‌های زمانی، تعیین مؤلفه روند در سری زمانی و همچنین حذف آن در جهت ایستا کردن داده‌ها می‌باشد و پس از بررسی ایستایی داده‌ها، مدل‌های مناسب به داده‌ها برازش داده می‌شوند. نرم‌افزار برای تعیین مؤلفه روند، یک خط را بر داده‌ها برازش می‌دهد. شیب این خط برابر با مؤلفه روند می‌باشد. بدیهی است درصورتی‌که شیب این خط صفر باشد و خط افقی باشد، داده‌ها فاقد مؤلفه روند بوده و ایستا می‌باشند (نیرومند، ۱۳۸۹). با بررسی صورت گرفته مشخص گردید که داده‌ها دارای یک روند صعودی می‌باشند. معادله خط برازش داده‌شده بر داده‌ها به‌صورت رابطه ۱۳ می‌باشد.

رابطه ۱۳:
$$Yt = 0.5572+0.000374* t$$

این امر مبین نا ایستایی مدل می‌باشد. بنابراین با استفاده از روش عملگر تفاضلی در نرم‌افزار MINITAB روند داده‌ها را حذف نمودیم که در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به شکل مقدار$d=1$ می‌باشد.

مقدار$d=1$ می‌باشد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]



الف) ب)

شکل ٤: الف) آنالیز داده‌های نرمال شده، ب) آنالیز داده‌های حذف روند شده.

آزمون و معیار آکائیک (AIC) یکی از روش‌های مقایسه مدل‌های مختلف می‌باشد. این روش بر این مبنا استوار است که از بین مدل‌های مناسب، مدلی که دارای کمترین مقدار ضریب آکائیک باشد به‌عنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود (فاطمی قمی، ۱۳۷۵). بنابراین مقادیرP و Q را با آزمون‌وخطا به دست می‌آوریم. در جدول ۲ مدل‌های اولیه سری زمانی داده‌شده است. در این جدول بر اساس معیار کمترین آکائیکه مدل مناسب انتخاب گردید. با توجه به جدول ۲ مدل SARIMA انتخاب‌شده به‌صورت$(۱,۱,۲)\times(۴,۱,۲)_{۱۲}$ می‌باشد.

جدول۲: معیار آکائیکه برای انتخاب مدل مناسب.

p	d	q	P	D	Q	AICC
۱	۱	۲	۱	۱	۳	-۶۹۰/۷۶۱
۱	۱	۲	۰	۱	۳	-۶۸۰/۲۱۴
۱	۱	۲	۴	۱	۲	-۷۰۱/۱۰
۱	۱	۲	۱	۱	۲	-۶۸۷/۳۳۶

پیش‌بینی دبی

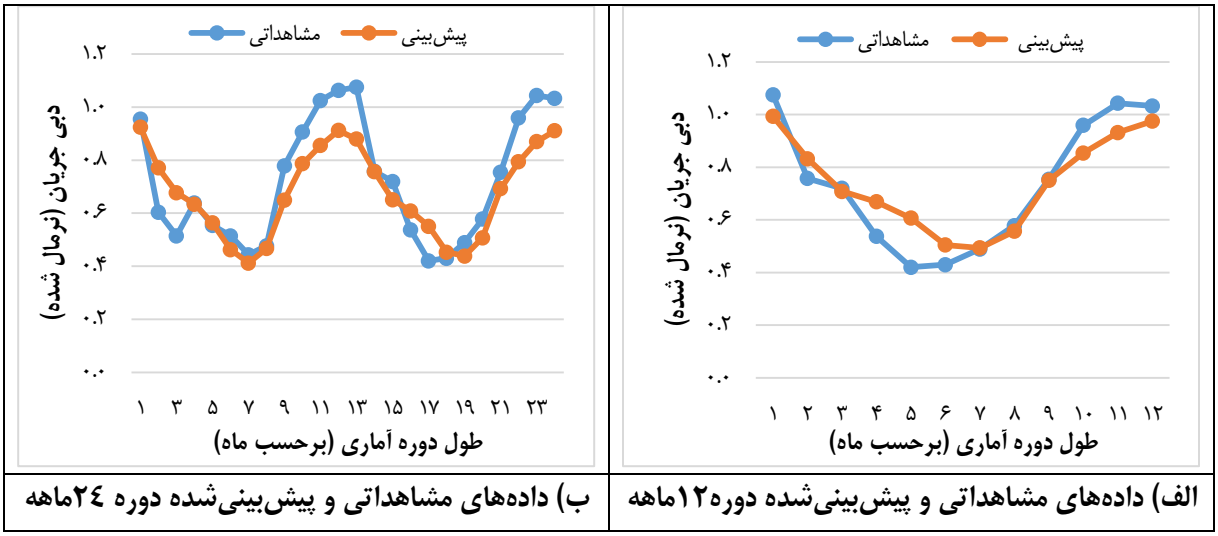
مدلSARIMA انتخاب‌شده برای پیش‌بینی از مهر۱۳۸۹ تا شهریور۱۳۹۱ در دو دوره‌ی ۱۲، ۲۴، ۶۰ و ۸۴ ماهه انجام گرفت و با توجه به معیارهای جدول ۳ بهترین دوره‌ی زمانی برای استفاده از مدل تعیین شد.

جدول۳: واسنجی نتایج مدل SARIMA در پیش‌بینی دوره‌های ۱۲، ۲٤، ٦۰ و ۸٤ ماهه.

دوره زمانی	NS	MAE	MBE	MSE
۱۲ ماهه	۰/۸۵	۰/۰۷۱	-۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۶۷۵
۲۴ ماهه	۰/۷۶	۰/۰۹	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۵
۶۰ ماهه	۰/۷۳	۰/۰۹۴	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۲
۸۴ ماهه	۰/۵۷	۰/۱۱۳	۰/۰۸۵	۰/۰۰۰۲۲

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

شکل ۵ نمودار داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده را در چهار دوره مورد بررسی را نمایش می‌دهد.



الف) داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده دوره۱۲ماهه | **ب) داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده دوره ۲۴ماهه**

شکل۵: نمودار داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده‌ی دبی رودخانه کاکارضا در دوره‌های مورد استفاده.

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر دبی ماهانه منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی (۱۳۹۰-۱۳۶۰) مورد استفاده قرار گرفت، ابتدا با استفاده از نرم‌افزارهای MINITAB و XLSTAT تناوب ، نرمال بودن و روند داده‌ها بررسی شد، سپس با استفاده از معیار آکائیکه، کمترین مقدار آکائیکه، مدل $SARIMA(1,1,2)\times(2,1,4)_{12}$ انتخاب شد که با استفاده از مدل انتخابی، دوره‌های ۱۲، ۲۴، ۶۰ و ۸۴ ماهه پیش‌بینی شدند. در ادامه جهت صحت سنجی نتایج مدل در دوره‌های مختلف، معیارهای میانگین مربعات خطا، ضریب نش_سات کلایف، متوسط خطای مطلق و میانگین انحراف خطا اعمال شد. همان‌طور که در جدول ۳ بخش نتایج ارائه‌شده است، مدل SARIMA در پیش‌بینی دبی جریان در دوره‌های ۱۲، ۲۴ و ۶۰ ماهه دارای نتایج قابل قبولی می‌باشد، همچنین دقت مدل در دوره ۸۴ ماهه بسیار ضعیف می‌باشد. نتایج حاصل از پیش‌بینی دبی جریان ماهانه رودخانه کاکارضا حاکی از آن است که مدل SARIMA در کوتاه‌مدت دقت مناسبی دارد، و هرچه طول دوره‌ی پیش‌بینی‌شده افزایش می‌یابد؛ دقت مدل کمتر می‌شود. درنهایت، نتایج صحت سنجی مدل بیانگر این است که؛ مدل انتخابی در دوره‌ی ۱۲ماهه با ضریب نش_سات کلایف ۰/۸۵ میانگین مربعات خطا ۰/۰۰۰۶۷۵، متوسط خطای مطلق ۰/۰۷۱ و میانگین انحراف خطا ۰/۰۰۰۵۶-، پیش‌بینی مناسب‌تری را نسبت به دوره‌های دیگر دارد. نتایج این پژوهش با نتایج (Frausto-Solis, *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2011; Othman *et al.*, 2017) مبنی بر پیش‌بینی مناسب مدل در دوره ۱۲ ماه همخوانی دارد. بیشترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده در فواصل دو ماه اسفند و فروردین می‌باشد که به دلیل بارش‌های فراوان مقدار دبی در ماه فروردین افزایش چشم‌گیری دارد.

منابع

آذر، ع. و مومنی، م.، ۱۳۹۵. آمار و کاربرد آن در مدیریت-جلد اول. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، ۳۵۰ ص.

سیدیان، س، م.، سلیمانی، م. وکاشانی، م.، ۱۳۹۳. پیش‌بینی دبی جریان رودخانه با استفاده از داده کاوی و سری زمانی. نشریه اکوهیدرولوژی، دوره۱، شماره۳، زمستان ۱۳۹۳، صفحات ۱۷۹-۱۶۷.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

ودانگه، ا. و سلطانی کوپائی.، س ۱۳۹۰. بررسی کارایی مدل‌های سری زمانی وینترز و آریما در پیش‌بینی جریان رودخانه (مطالعه موردی :ایستگاه پل‌دختر). مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه اصفهان.

دودانگه، ا.، عابدی کوپائی، ج. و گوهری، س، ع.، ۱۳۹۱. کاربرد مدل‌های سری زمانی به‌منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک / سال شانزدهم / شماره پنجاه و نهم / بهار ۱۳۹۱.

صباغیان، ر.، شریفی، م، ب.، ۱۳۸۸. استفاده از مدل‌های اتفاقی در شبیه‌سازی جریان رودخانه و پیش‌بینی دبی متوسط سالانه رودخانه توسط تحلیل سری‌های زمانی. اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی شاهرود.

طراز کار، م، ح. و صدق آمیز، ع.، ۱۳۸۷. مقایسه پیش‌بینی دبی جریان ماهانه رودخانه کرخه با استفاده از روش‌های سری زمانی و هوش مصنوعی. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره۸۰، صفحات ۵۸-۵۱.

فاطمی قمی، م، ت.، ۱۳۷۵. پیش‌بینی و تجزیه‌وتحلیل سری‌های زمانی، نشر دانش امروز (وابسته به مؤسسه انتشارات امیرکبیر)، چاپ دوم، تهران، ۴۳۲ ص.

کارآموز، م. و عراقی نژاد، ش.، ۱۳۹۳. هیدرولوژی پیشرفته. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ سوم، ۶۴۶ ص.

مهدوی، م.، ۱۳۹٤. هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه تهران،چاپ یازدهم، ۳۶۰ ص.

میان‌آبادی، ح. و افشار، ع.، ۱۳۷۸. کاربرد سری‌های زمانی ماهانه پریودیک در تولید رواناب ماهانه و مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه کشف رود. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۲۳ الی ۲۵ مهرماه، تبریز.

چتفیلد، سی.، مترجم؛ نیرومند، ح.، ۱۳۸۹. مقدمه‌ای بر تحلیل سری‌های زمانی (ترجمه) انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ویرایش اول, چاپ سوم، ۲۹۰ ص.

Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE transactions on automatic control, 19(6), 716-723.

Bowerman, B. L., and O'Connell, R. T. 1993. Forecasting and time series: An applied approach. 3rd.

Box, G. E., Jenkins, G. M. and Reinsel, G. C., 2015 .Time series analysis: forecasting and control. John Wiley & Sons, 736p.

Burnham, K. P. and Anderson, D. R., 1998. Practical Use of the Information-Theoretic Approach. In Model Selection and Inference (pp. 75-117). Springer New York.

Burnham, K. P. and Anderson, D. R., 2003. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer Science & Business Media, 488p.

El-Shafie, A., Taha, M. R. and Noureldin, A., 2007. A neuro-fuzzy model for inflow forecasting of the Nile river at Aswan high dam. Water resources management, 21(3), 533-556.

Elganiny, M. A. and Eldwer, A. E., 2016. Comparison of Stochastic Models in Forecasting Monthly Streamflow in Rivers: A Case Study of River Nile and Its Tributaries. Journal of Water Resource and Protection, 8(02), 143.

Frausto-Solis, J., Pita, E. and Lagunas, J., 2008. Short-term streamflow forecasting: ARIMA vs Neural Networks. In American Conference on Applied Mathematics (MATH'08), Harvard, Massachusetts, USA (pp. 402-407).

Han, P., Wang, P. X., Zhang, S. Y., Zhu, D. H., 2010. Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models. Mathematical and Computer Modelling, 51(11), 1398-1403.

Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L. M. and Demuth, S., 2001. Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent, Int. J. Climatol, 21:317-333.

Kendall, M. G., 1975. Rank correlation methods. Charles Griffin, London, 160p.

Li, Z. L., Xu, Z. X., Li, J. Y., and Li, Z. J., 2008. Shift trend and step changes for runoff time series in the Shiyang River basin, northwest China. Hydrological Processes, 22(23), 4639-4646.

Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend. Econometrica 13, pp 245 -259.

Minitab Inc. 1995. Minitab Reference Manual, release 10Xtra, ed.Minitab Inc., State College, PA.

Mirzavand, M., Sadatinejad, S. J., Ghasemieh, H., Imani, R. and Motlagh, M. S., 2014. Prediction of ground water level in arid environment using a non-deterministic model. Journal of Water Resource and Protection, 6(07), 669.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]

Modarres, R., 2007. Streamflow drought time series forecasting. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 21(3), 223-233

Moeeni, H., Bonakdari, H., Fatemi, S. E., and Zaji, A. H. 2017. Assessment of stochastic models and a hybrid artificial neural network-genetic algorithm method in forecasting monthly reservoir inflow. INAE Letters, 2(1), 13-23.

Nayak, P. C., sudheer, K. P., Rangan, D. M., and Ramasastri, K. S., 2004. A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series. Journal of Hydrology, 291: 52-66.

Noakes, D. J., Mcleod A. I. and Hipel, W., 1985. Forecasting monthly river flow time series. Internattional Journal of Forecasting, 1: 179-190.

Othman, F., Heydari, M., Ahmadizadeh, M., Nozari, H. and Sadegh, M. 2017. Investigating the effectiveness of seasonalization based on statistical parameters in normalizing, modeling and forecasting inflow time series. Fresenius Environmental Bulletin, 26, 590-597.

Patra, K.C. 1998. Hydrology and Water Resources Engineering. Alpha Science International Ltd., New Delhi.

Singh, M., Singh, R. and Shinde, V., 2011. Application of software packages for monthly stream flow forecasting of Kangsabati River in India. International Journal of Computer Applications, 20(3), 7-14.

Sivapragasam, C. and Muttil, N., 2005. Discharge rating curve extension–a new approach. Water Resources Management, 19(5), 505-520.

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, 433-441.

Wang, W. C., Chau, K. W., Xu, D. M., and Chen, X. Y. 2015. Improving forecasting accuracy of annual runoff time series using ARIMA based on EEMD decomposition. Water Resources Management, 29(8), 2655-2675.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-10-31]