نشریه مهندسی اکوسیستم‌های بیابان
سال اول، شمارهٔ اول، زمستان ۱۳۹۱، صفحه ۵۱ـ۵۸

استفاده از مدل‌های غیرقطعی در پیش‌بینی دبی متوسط ماهیانه با استفاده از مدل‌های سری زمانی (مطالعه موردی: چشمه سلیمانیه کاشان)

محمد میرزاوند*[۱]/ هدی قاسمیه[۲]/ عباسعلی ولی[۳]

[۱*] کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
mmirzavand23@yahoo.com
[۲] استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
[۳] استادیار گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین- دانشگاه کاشان- کاشان- ایران

تاریخ دریافت: ۹۱/٤/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۵

چکیده:

استفاده از انواع مختلف روش‌های تحلیل سری‌های زمانی، از شیوه‌های متداول در پیش‌بینی عوامل هیدرولوژیکی است. در این پژوهش، وضعیت دبی چشمه سلیمانیه کاشان با استفاده از داده‌های ۱۱ ساله (داده‌های ماهیانه) ایستگاه چشمه سلیمانیه با استفاده از مدل‌های مختلف سری زمانی مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از بهترین مدل، اقدام به پیش‌بینی دبی چشمه برای ۹ سال آینده گردید. در این پژوهش، داده‌ها با استفاده از ۱۲ مدل سری زمانی که شامل مدل‌های اتورگرسیو، میانگین متحرک، اتورگرسیو- میانگین متحرک مرکب و مدل‌های فصلی و غیرفصلی باکس و جنکینز بودند، بررسی شدند. در نهایت با توجه به اینکه در مدل SARIMA $(1,1,0)(1,1,1)[12]$، مقدار AIC کمترین و پارامترهای مدل از عدد یک تجاوز نکردند، این مدل به منظور پیش‌بینی داده‌های دبی انتخاب شد. در ادامه به منظور بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌های پیش‌بینی شده از آزمون کلموگروف- اسمیرنف استفاده شد. نتایج به دست آمده از آزمون نرمالیته، حاکی از نرمال بودن داده‌های پیش‌بینی شده بود؛ بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که نوع مدل‌های انتخابی به عنوان تابع پیش‌بینی کننده بسیار مهم بوده و بر روی دقت جواب‌های خروجی کاملاً مؤثر است. همچنین با توجه به ماهیت غیرقطعی مسائل هیدرولوژیکی، سری‌های زمانی به عنوان یکی از روش‌های مناسب در پیش‌بینی پدیده‌های هیدرولوژیکی هستند.

واژه‌های کلیدی: سری زمانی، چشمه سلیمانیه کاشان، باکس و جنکینز، SARIMA، آکائیک.

مقدمه

سری زمانی به طور ساده، یک متغیر هیدرولوژیکی وابسته به زمان، نظیر دبی یک رودخانه است. هنگامی که سری‌های زمانی در عمل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، مقدار محدودی دادهٔ ثبت‌شده یا یک نمونه وجود دارد. تمام تشخیص‌های ممکن از این فرآیند، یک جامعهٔ آماری را تشکیل می‌دهند. هدف مطالعات هیدرولوژیکی، درک و توصیف کمّی جامعه آماری و همین طور فرآیند ایجادکنندهٔ این جامعهٔ آماری، بر اساس تعداد محدودی نمونه است (ثلاث، ۱۳۷۵). تحلیل و مدل‌سازی سری‌های زمانی، ابزار مهمی در علوم مختلف از قبیل هیدرولوژی و منابع آب به شمار می‌آید. با استفاده از مدل‌سازی ریاضی سری‌های زمانی، می‌توان داده‌های مصنوعی هیدرولوژیکی تولید کرد، وقایع هیدرولوژیکی را پیش‌بینی کرد، روند[1] و پرش[2] در داده‌ها را مشخص نمود و یا خلأ آماری را تکمیل و دورهٔ آماری را تطویل کرد. سری‌های مصنوعی تولید شده جریان رودخانه برای مطالعات خشکسالی و سیلاب، بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم مخازن، طراحی ظرفیت سیستم‌های تأمین آب و اهداف بی‌شمار دیگر قابل استفاده‌اند (ثلاث و همکاران، ۱۹۸۰؛ ثلاث، ۱۹۹۶). یکی از فرضیات اساسی جهت مدل‌سازی سری‌های زمانی ایستایی است. یک سری زمانی نسبت به مشخصه‌های آماری خود (مانند میانگین و واریانس) ایستا است، اگر امید ریاضی آن مشخصهٔ مستقل از زمان باشد. در حالی که ممکن است بسیاری از سری‌های زمانی هیدرولوژیکی بنا به دلایل مختلف نظیر تغییرات آب و هوایی، خشکسالی و غیره در مؤلفه‌های آماری خود نظیر میانگین و انحراف معیار ناایستا باشند؛ بنابراین داشتن آگاهی و بینش کافی در مورد روش‌های تعیین ایستایی، حذف ناایستایی و ایستا بودن سری زمانی می‌تواند مفید و یا ضروری باشد (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۹). عوامل مهمی که سبب ناایستایی سری زمانی می‌شوند، عبارت‌اند از روند، پرش، پریودیک[3] یا فصلی بودن (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸٤) که با آزمون‌های ایستایی می‌توان تأثیر هریک از عوامل فوق را بر روی ایستایی سری‌های زمانی شناسایی کرد. از جهت دیگر، بررسی ناایستایی در سری‌های زمانی می تواند کمک مؤثری در درک مکانیزم فیزیکی موجود داشته باشد که این امر، اهمیت آزمون ایستایی را در تحلیل سری‌های زمانی هیدرولوژیکی نشان می‌دهد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵). به طور کلی، روش‌های تحلیل ایستایی سری‌های زمانی در دو گروه قرار می‌گیرند. دستهٔ اول، روش‌هایی است که بر مبنای ایدهٔ تحلیل تفاضل‌های آماری قطعات[4] مختلف سری زمانی بنا شده است. در دستهٔ دوم، آزمون ایستایی بر مبنای خصوصیات آماری کل سری زمانی انجام می‌گیرد (چن و روا، ۲۰۰۳). در زمینهٔ سری‌های زمانی در حوزهٔ علم هیدرولوژی، مطالعات زیادی شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. جاویدی و شریفی (۱۳۸۸) به منظور پیش‌بینی دبی متوسط سالانه رودخانه از سری‌های زمانی استفاده کردند و در نهایت با توجه به بررسی مدل‌های مختلف سری زمانی، با استفاده از فاکتور آکائیک (AIC) و واریانس باقی‌مانده‌ها به این نتیجه رسیدند که مدل AR(2) برای تولید داده‌ها مناسب‌تر است؛ لذا این مدل، به عنوان مدل نهایی انتخاب شد. خلیلی و همکاران (۱۳۸۹)، روند و ایستایی جریان رودخانه شهرچای ارومیه را با استفاده از دو روش KPSS و ADF مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که سری‌های سالانه دبی جریان با استفاده از دو روش ADF و KPSS در سطح معنی‌داری ۵ درصد، ایستاست. سری‌های ماهانه جریان در روش KPSS ایستا بوده و در روش ADF با تأخیر ۵ سری، ایستا و در تأخیر ۱٦ سری در سطح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد، ناایستا و در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد، ایستاست. سری‌های یک سوم ماه و روزانه با هر دو روش ADF و KPSS در تمام تأخیرها، ایستاست. هاشمی و جهانشاهی (۱۳۸٤) به تحلیل و پیش‌بینی کل بارندگی ماهانه و سالانه در منطقهٔ تربت حیدریه خراسان پرداختند. گل‌محمدی و شریفی (۱۳۸۹) در تحقیقی از سری‌های زمانی تک‌متغیره هیدرولوژیکی با استفاده از سیستم

1. Trend
2. Shift
3. Periodic
4. Segments

فازی بر پایهٔ شبکهٔ عصبی تطبیقی جهت پیش‌بینی دبی زایندهرود استفاده کردند. در نهایت، نتایج نشان‌دهندهٔ کارآیی مناسب این سیستم‌ها در پیش‌بینی بوده است. نخعی و میرعربی (۱۳۸۹) با استفاده از مدل باکس- جنکینز اقدام به پیش‌بینی سیلاب از طریق داده‌های سری زمانی دبی رودخانه سومار کردند. در این پژوهش به منظور انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی، از معیار ارزیابی آزمون و خطای باقی‌مانده استفاده شد و مدل (۱۲) (۱و۲و۲) (۰و۱و۱) ARMA به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی دبی رودخانه در ۲٤ ماه آینده در نظر گرفته شد. آهن (۲۰۰۰) با استفاده از مدل‌های ARIMA به پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی پرداخت. وی با توجه به داده‌ها از روش‌های تفاضل‌گیری درجه دوم برای حذف روند موجود استفاده کرد. سعیدیان و عبادی (۱۳۸۳) در پژوهشی به تعیین مدل سری زمانی داده‌های دبی جریان رودخانه آجی‌چای اقدام کردند. در این پژوهش، الگوهای مختلف سری زمانی بر روی داده‌های ۵۳ سال آمار دبی برازش گردید و بر اساس تست AIC، الگوی AR(2) به عنوان بهترین مدل تعیین شد. جلالی (۱۳۸۱) به منظور ارائه سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری بهره‌برداری از مخازن، از مدل‌های سری زمانی برای پیش‌بینی جریان‌های ماهانه ورودی به سد جیرفت استفاده کرد و مدل تک‌متغیره ARIMA را برای دبی ورودی سد واسنجی نمود.

بنابراین با توجه به تحقیقات صورت گرفته و توانایی تکنیک‌های سری زمانی، در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از داده‌های سری زمانی ۱۱ ساله ایستگاه چشمه سلیمانیه (فین) در دشت کاشان، وضعیت دبی چشمه سلیمانیه (فین) با استفاده از مدل‌های مختلف سری زمانی بررسی و در نهایت با استفاده از بهترین مدل به دست آمده، اقدام به پیش‌بینی دبی چشمه برای ۹ سال آینده شود.

مواد و روش‌ها

حوضهٔ آبخیز کاشان در موقعیت جغرافیایی ٤۹۱٤۷۰ تا ٦۰۱۰٦۰ طول شرقی و ۳۸۱۸۳۲۵ تا ۳۸۱۸۹۲۵ عرض شمالی در سیستم UTM واقع شده است. این حوضه از شمال و شمال غربی به محدودهٔ قم، از جنوب غربی به محدودهٔ موته، از جنوب به دشت نطنز و از شرق به محدودهٔ دریاچه نمک محدود می‌شود و دارای وسعت ۷۰۸۳ کیلومتر مربع است که ۳۰٤۰ کیلومتر مربع آن، شامل ارتفاعات و مناطق کوهپایه‌ای و ٤۰٤۳ کیلومتر مربع مابقی، شامل دشت واقع در شمال و شمال شرق ارتفاعات است. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، چشمهٔ سلیمانیه واقع در دشت کاشان است که تأثیر مهمی بر تغذیه آبخوان دشت کاشان دارد. در این پژوهش از داده‌های دبی چشمه سلیمانیه در دورهٔ آماری ٦۹-۸۰ به منظور پیش‌بینی دبی در سال‌های ۸۱ تا ۸۹ با استفاده از سری‌های زمانی در نرم‌افزار R استفاده شده است. اولین مرحله در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، رسم سری زمانی داده‌هاست. هدف از این اقدام، مشخص کردن وجود و یا عدم وجود روند در داده‌های مورد بررسی است. مرحلهٔ دوم در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، تعیین مؤلفه روند در سری زمانی و همچنین حذف آن به منظور ایستا کردن داده‌های مورد بررسی است. پس از بررسی ایستایی داده‌ها، مدل مناسب به داده‌ها برازش داده می‌شود تا بهترین مدل مشخص شود و بر اساس آن مدل، پیش‌بینی صورت گیرد. لازم به ذکر است که اگر داده‌ها دارای روند فصلی باشند، لازم است تفاضل‌گیری بر روی داده‌ها صورت گیرد تا میانگین داده‌ها صفر شود و روند فصلی نیز حذف شود. مرحلهٔ سوم در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، بررسی نرمال بودن داده‌های حاصل از پیش‌بینی مدل است که در این پژوهش از آزمون کلموگروف- اسمیرنف جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش شامل مدل‌های AR، MA، ARMA، ARIMA و SARIMA بوده‌اند. با توجه به مدل‌های مورد استفاده، نیاز به به دست آوردن معادله خط برازش داده‌ها و حذف روند نیست و مدل‌های مورد استفاده خود عمل حذف روند را بر روی داده‌ها انجام می‌دهند و در مدل‌های ARIMA و SARIMA با عمل تفاضل‌گیری، حالت فصلی داده‌ها نیز حذف خواهد شد.

ساختار کلی مدل AR (Auto Regressive)

مدل AR، از جمله مدل‌های متداول استوکاستیک است و

همان‌گونه که از نام آن پیداست، بر روی جملات خود عملیات رگرسیون‌گیری را اعمال می‌کند. البته این رگرسیون‌گیری روی مقادیر گذشته z_t انجام می‌شود. این مدل برای سری‌های زمانی ایستا و ناایستا، قابل کاربرد است و ساختار اصلی آن مطابق رابطهٔ (۱) است:

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \ldots\ldots \phi_p z_{t-p} + a_t \qquad (۱)$$

در رابطهٔ فوق، ϕ_1، ϕ_2، ϕ_p و ... ، ضرایب و پارامترهای مدل AR و a_t مقدار تصادفی و مستقل از زمان باقیمانده (noise) است که از توزیع نرمال میانگین صفر تبعیت می‌کند. در این مدل، در صورتی که $\sum_{j=0}^{\infty}\phi_j$ همگرا باشد، فرآیند ایستاست (جاویدی صباغیان، ۱۳۸۸).

ساختار کلی مدل MA (Moving Average)

فرم عمومی مدل MA با مرتبه q به صورت رابطهٔ (۲) است:

$$z_t = \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + \ldots\ldots \theta_q a_{t-q} + a_t \qquad (۲)$$

در این رابطه، θ_1، θ_2، θ_q و غیره، ضرایب و پارامترهای مدل MA هستند (جاویدی صباغیان، ۱۳۸۸).

ساختار کلی مدل ARMA (Auto Regressive-Moving Average)

مدل ARMA با مرتبهٔ (p,q) از ترکیب مدل AR با مرتبه p و مدل MA با مرتبه q، ایجاد می‌شود. ساختار کلی این مدل به صورت رابطهٔ (۳) است:

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \ldots \phi_p z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \theta_q a_{t-q} \qquad (۳)$$

در این رابطه، پارامترهای مربوط به مدل فوق مانند پارامترهای مدل‌های AR و MA هستند (جاویدی و صباغیان، ۱۳۸۸).

در عمل، بیشتر سری‌های زمانی ناایستا هستند و الگوهای ایستایی در وهلهٔ اول مناسب نیستند. الگوی سری زمانی باید به صورت تفاضل درآورده شود تا ایستا شود، سپس یک الگوی AR، MA یا الگوی مرکبی به سری تفاضلی شده برازش داده شود. الگوی نتیجه شده برای سری تفاضلی نشده، الگوی جامع تلفیق شده (ARIMA) نامیده می‌شود (نیرومند و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۹).

الگوی فصلی باکس و جنکینز

در عمل بیشتر سری‌های زمانی شامل یک مؤلفه دوره‌ای فصلی است که هر S مشاهده را تکرار می‌کند که برای سهولت ماهانه S برابر ۱۲ در نظر گرفته می‌شود، ولی کاربرد آن برای سایر مقادیر S، مشابه است. باکس و جنکینز (۱۹۷۰) برای بررسی فصلی بودن، الگوی ARIMA را تعمیم می‌دهند (نیرومند و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۹).

ساختار کلی مدل ARIMA (Autoregressive integrated moving average model)

مدل‌های غیرفصلی سری زمانی، مدل‌های به هم پیوسته اتورگرسیو میانگین متحرک نامیده می‌شوند که به وسیلهٔ ARIMA (p,d,q) نمایش داده می‌شوند. در این مدل، p مرتبهٔ مدل اتورگرسیو، q مرتبهٔ مدل میانگین متحرک و d نشان‌دهندهٔ مرتبهٔ تفاضل‌گیری است. اگر سری زمانی ایستا باشد، d=۰ است و مدل ARIMA به ARMA تبدیل می‌شود. در این مدل، الگوی فصلی ضربی کلی به صورت رابطهٔ (٤) تعریف می‌شود:

$$\phi_p(B)\Phi_p(B^{12})W_t = \theta_q(B)\Theta_Q(B^{12})a_t \qquad (٤)$$

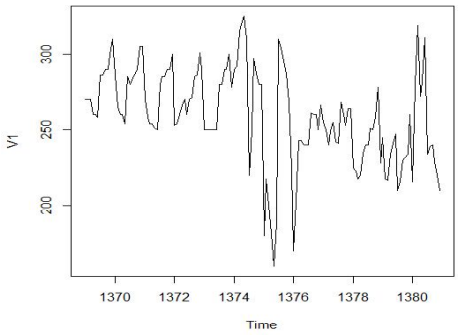
در این معادله، B عملگر انتقال پس‌بر و ϕ_p، Φ_p، θ_q و Θ_Q به ترتیب چند جمله‌ای‌هایی از مرتبه p، P، q و Q هستند و $\{a_t\}$ که به جای $\{z_t\}$ به کار رفته، نمادی است که باکس و جنکینز برای یک فرآیند تصادفی محض با میانگین صفر و واریانس σ_a^2 به کار می‌برند. متغیرهای $\{W_t\}$ که از سری اولیه $\{X_t\}$ با تفاضلی کردن، برای از بین بردن روند و فصلی بودن به وجود می‌آید، به وسیلهٔ رابطهٔ (۵) به دست می‌آید:

$$W_t = \nabla^d \nabla_{12}{}^D X_t \qquad (۵)$$

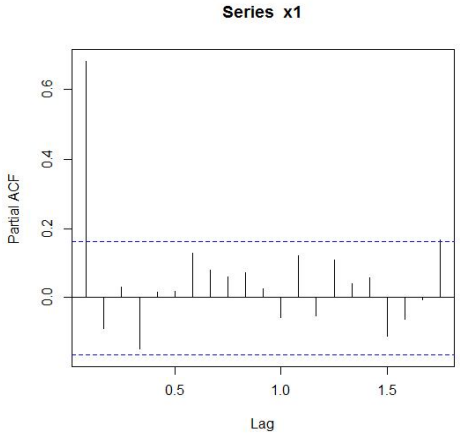
در مدل ARIMA تفاضل‌گیری به صورت غیرفصلی (d) است، حال اگر تفاضل‌گیری به صورت فصلی (D) باشد، مدل ARIMA به SARIMA تبدیل می‌شود. در این پژوهش با توجه به اینکه داده‌های مورد بررسی به صورت ماهیانه بودند، تأخیری که در این مدل‌ها اعمال شد، تأخیر ۱۲ ماهه بود.

نتایج

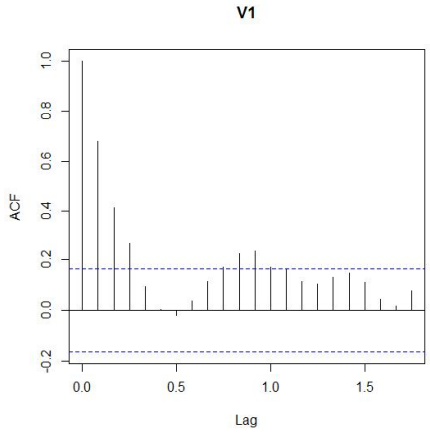
با توجه به بررسی وضعیت مؤلفه روند و فصلی بودن داده‌ها در این پژوهش، نمودار سری داده‌ها به همراه نمودار تابع خودهمبستگی و تابع خودهمبستگی جزئی، قبل از حذف روند و بعد از حذف روند در داده‌ها در شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ٤ نشان داده شده است.



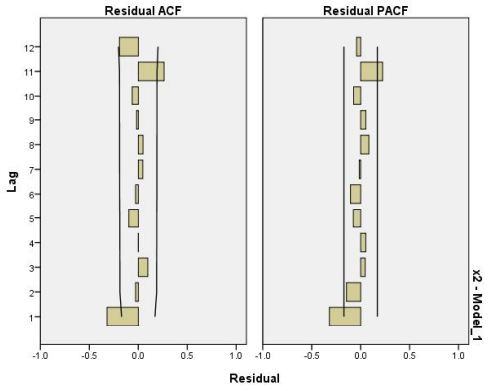
شکل (۱): سری زمانی مربوط به داده‌های دبی از سال ۱۳٦۹ تا ۱۳۸۰



شکل (۲): نمودار تابع ACF داده‌ها قبل از حذف روند و تفاضل‌گیری



شکل (۳): نمودار تابع PACF داده‌ها قبل از حذف روند و تفاضل‌گیری



شکل (٤): نمودار ACF و PACF بعد از حذف روند داده‌ها

جدول (۱): مقادیر ضرایب AIC، پارامترهای مدل و مدل‌های مختلف مورد بررسی برای انتخاب مدل نهایی

مدل	Φ_1	Φ_2	θ_1	θ_2	SΦ1	SΦ2	Sθ1	AIC
AR(1)	−۰/۱۲	---	---	---	---	---	---	۱۳۱٤/۵۱
AR(2)	−۰/۱۵	−۰/۱٦	---	---	---	---	---	۱۳۱۳/۸۷
MA(1)	---	---	−۰/۱۹	----	---	---	---	۱۳۱۳/٤۱
MA(2)	---	---	−۰/۵۲	−۰/٦٤	---	---	---	۱۲۷۹/۵۸
ARMA(1,1)	۰/۵۷	---	−۰/۸٦	---	---	---	---	۱۳۰۲/٤۱
ARMA(1,2)	۰/٤۹	---	−۰/۸۳	−۰/۲۹	---	---	---	۱۲۷٦/٦۷
ARMA(2,1)	۰/٦۳	−۰/۱۸	−۱/۱۱	---	---	---	---	۱۲۷۳/٦۲
ARMA(2,2)	۰/۱۵	۰/۳۹	−۰/۳۲	−۰/٤۹	---	---	---	۱۳۱۰/۲۳
ARIMA(1,1,2)	۰/۵۲	۰/۵۲	−۰/۸٦	−۰/۱۳	---	---	---	۱۲۹۲/۹۵
ARIMA(1,2,1)	−۰/۱۲	---	−۱	---	---	---	---	۱۳۱۰/۹۵
SARIMA (1,1,0)(1,1,1) [12]	−۰/۱۲	---	---	---	−۰/۵٦	−۱	---	۱۱۹۲/۷٤
SARIMA (1,1,1)(2,2,1) [12]	۰/٦۳	---	−۰/۹۹	---	−۱/۰٤	−۰/٤۵	−۰/۹۹	۱۱۵۲/۸

در این پژوهش ۱۲ مدل سری زمانی مورد بررسی قرار گرفت که برای هر مدل، پارامترها و معیار آکائیک به دست آمده است (جدول ۱).

در نهایت با توجه به اینکه بهترین مدل از بین مدل‌های مورد بررسی انتخاب شد، داده‌های دبی برای سال‌های مورد نظر بر اساس این مدل پیش‌بینی شدند (جدول ۲).

جدول (۲): دبی پیش‌بینی شده برای سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹

دبی (لیتر بر ثانیه)	زمان (ماه)	دبی (لیتر بر ثانیه)	زمان (ماه)	دبی (لیتر بر ثانیه)	زمان (ماه)
۱۸۳/۸۳	۷۳	۱۹۷/۳۷	۳۷	۱۹٤/۱۸	۱
۱۹۳/٦۲	۷٤	۲۰۷/۳۰	۳۸	۱۹٦/۰۹	۲
۲۰۲/۰٤	۷۵	۲۱۵/۷۸	۳۹	۲۰۰/۱۳	۳
۱۹۸/۳۲	۷٦	۲۱۱/۸٤	٤۰	۲۰۹/۷۲	٤
۲۰۲/۰۸	۷۷	۲۱۵/٦۱	٤۱	۲۱۳/٤٤	۵
۲۰۸/٦۷	۷۸	۲۲۲/۲۸	٤۲	۲۱۵/۳۳	٦
۱۹۸/۹۵	۷۹	۲۱۲/۲۷	٤۳	۲۲۳/۳۰	۷
۲۰۸/۹۳	۸۰	۲۲۲/۲۱	٤٤	۲۳٤/۹۵	۸
۲۱٤/۰۷	۸۱	۲۲۷/۳۳	٤۵	۲٤۱/٤۱	۹
۲۱۲/۲۸	۸۲	۲۲۵/۵	٤٦	۲٤۲/۱۳	۱۰
۲۱٤/۵٦	۸۳	۲۲۷/۷۳	٤۷	۲٤۷/۳۸	۱۱
۲۰۷/۸۱	۸٤	۲۲۰/۹۷	٤۸	۲٤۱/۵۳	۱۲
۱۷۹/٤۰	۸۵	۱۹۲/٦۲	٤۹	۲۰۹/۹۸	۱۳
۱۸۹/۲۱	۸٦	۲۰۲/۳۸	۵۰	۲۲۱/۸۱	۱٤
۱۹۷/٦۲	۸۷	۲۱۰/۷۸	۵۱	۲۳۱/۳٦	۱۵
دبی (لیتر بر ثانیه)	زمان (ماه)	دبی (لیتر بر ثانیه)	زمان (ماه)	دبی (لیتر بر ثانیه)	زمان (ماه)
۱۹۳/۸۹	۸۸	۲۰۷/۱۱	۵۲	۲۲٤/۲۷	۱٦
۱۹۷/٦٦	۸۹	۲۱۰/۸۸	۵۳	۲۲۸/۰٦	۱۷
۲۰٤/۲۵	۹۰	۲۱۷/٤۵	۵٤	۲۳۵/۸٤	۱۸
۱۹٤/۵۳	۹۱	۲۰۷/۷۹	۵۵	۲۲۱/٦٤	۱۹
۲۰٤/۵۰	۹۲	۲۱۷/۷۸	۵٦	۲۳۱/۱۹	۲۰
۲۰۹/٦٤	۹۳	۲۲۲/۹۲	۵۷	۲۳۵/۹۹	۲۱
۲۰۷/۸۵	۹٤	۲۲۱/۱٤	۵۸	۲۳۳/۵۷	۲۲
۲۱۰/۱۳	۹۵	۲۲۳/٤۳	۵۹	۲۳۵/۱۰	۲۳
۲۰۳/۳۸	۹٦	۲۱٦/٦۹	٦۰	۲۲۸/۱۲	۲٤
۱۷٤/۹۸	۹۷	۱۸۸/۲۷	٦۱	۲۰۰/۵۲	۲۵
۱۸٤/۷۸	۹۸	۱۹۸/۰۸	٦۲	۲۰۹/۸	۲٦
۱۹۳/۱۹	۹۹	۲۰٦/۵	٦۳	۲۱۷/۹۳	۲۷
۱۸۹/٤۷	۱۰۰	۲۰۲/۷٦	٦٤	۲۱۵/۰٦	۲۸
۱۹۳/۲٤	۱۰۱	۲۰٦/۵۳	٦۵	۲۱۸/۸۲	۲۹
۱۹۹/۸۳	۱۰۲	۲۱۳/۱۳	٦٦	۲۲۵/۱۱	۳۰
۱۹۰/۱۰	۱۰۳	۲۰۳/۳۸	٦۷	۲۱٦/۵۲	۳۱
۲۰۰/۰۷	۱۰٤	۲۱۳/۳۵	٦۸	۲۲٦/٦	۳۲
۲۰۵/۲۱	۱۰۵	۲۱۸/٤۹	٦۹	۲۳۱/۸۲	۳۳
۲۰۳/٤۲	۱۰٦	۲۱٦/۷۷	۷۰	۲۳۰/۱۹	۳٤
۲۰۵/۷	۱۰۷	۲۱۸/۹۷	۷۱	۲۳۲/٦٦	۳۵
۱۹۸/۹۵	۱۰۸	۲۱۲/۲۲	۷۲	۲۲۵/۹۷	۳٦

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش از سری‌های زمانی در نرم‌افزار R به منظور پیش‌بینی دبی چشمه سلیمانیه در سال‌های ۸۱ تا ۸۹ با استفاده از داده‌های ماهیانه دبی چشمه در سال‌های ٦۹ تا ۸۰ استفاده شد. مسئله مهم در سری‌های زمانی، بررسی ایستایی سری‌های زمانی هیدرولوژیکی قبل از مدل‌سازی سری‌های زمانی است که در نتیجه، تحلیل ایستایی سری‌های هیدرولوژیکی می‌تواند در شناخت و تفسیر فرآیندهای هیدرولوژیکی و ارتباط آن با روند و تغییرات اقلیمی مؤثر باشد. با توجه به اینکه در نرم‌افزار R، مدل‌های مختلف به‌ویژه مدل‌های فصلی مورد بررسی قرار می‌گیرند، خود مدل‌ها عمل حذف روند را انجام می‌دهند و دیگر نیازی به معادلهٔ روند نیست. در این پژوهش، ۱۲ مدل مختلف سری زمانی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نمودارهای ACF و PACF (شکل ۲ و ۳) به دست آمده قبل از حذف روند داده‌ها و شکل (۱) مشخص شد که داده‌های دبی چشمه سلیمانیه دارای یک روند فصلی بوده است؛ لذا به منظور حذف روند و ایستا کردن سری از مدل‌های مختلف استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی مدل‌های مختلف بر اساس آزمون و معیار آکائیک (AIC) (یکی از روش‌های معمول مقایسه مدل‌های مختلف سری زمانی) و همچنین بر اساس میزان پارامترهای مدل مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت از بین مدل‌های مذکور، مدلی مناسب است که اولاً میزان قدر مطلق پارامتر مدل از عدد یک تجاوز نکند و ثانیاً دارای کمترین مقدار معیار آکائیک باشد (جدول ۱). بنابراین از بین ۱۲ مدل مورد بررسی بر اساس معیار آکائیک و پارامترهای مدل‌ها، مدل SARIMA(1,1,1)(2,2,1)[12] و ARMA(2,1) به دلیل تجاوز پارامتر مدل از عدد یک، از بین مدل‌های مورد بررسی حذف شدند. در نهایت با توجه به اینکه پارامترهای مدل‌های باقی‌مانده از عدد یک تجاوز نکرده‌اند، برای تعیین بهترین مدل از بین مدل‌های باقی‌مانده از معیار آکائیک استفاده شد. بر اساس معیار آکائیک، مدلی

مناسب‌تر است که معیار آکائیک کمتری داشته باشد؛ بنابراین بر اساس این معیار، مدل SARIMA(1,1,0)(1,1,1)[12] که یکی از الگوهای فصلی باکس و جنکینز است، نسبت به مدل‌های دیگر مناسب‌تر تشخیص داده شد و به عنوان مدل نهایی برای پیش‌بینی مقادیر دبی چشمه انتخاب شد و با توجه به مدل انتخابی، داده‌های دبی چشمه سلیمانیه برای سال‌های ۸۱ تا ۸۹ پیش‌بینی شدند (جدول ۲). سپس آزمون کلموگروف‌ـ اسمیرنف برای بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌های پیش‌بینی شده مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با توجه به مقدار معنی‌داری گزارش شده که بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است (sig=۱)، فرض صفر یعنی نرمال بودن داده‌های پیش‌بینی شده مورد پذیرش قرار گرفت.

نتایج به دست آمده از شکل (٤) نیز نشان داد که تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی با ۱۲ بار تأخیر پس از حذف روند داده‌ها، دارای وضعیت معنی‌داری است؛ بنابراین با توجه به نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط کارآموز و عراقی‌نژاد (۱۳۸٤)، هاشمی و جهانشاهی (۱۳۸٤)، جاویدی و شریفی (۱۳۸۸) و نخعی و میرعربی (۱۳۸۹) و دیگر محققان و با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که نوع مدل‌های انتخابی به عنوان تابع پیش‌بینی کننده، بسیار مهم است و بر روی دقت جواب‌های خروجی کاملاً مؤثر است. همچنین با توجه به ماهیت اتفاقی و غیرقطعی مسائل هیدرولوژیکی، سری‌های زمانی به عنوان یکی از روش‌های مناسب در پیش‌بینی پدیده‌های هیدرولوژیکی هستند.

منابع

۱. جاویدی صباغیان، رضا و شریفی، محمدباقر، ۱۳۸۸. **استفاده از مدل‌های اتفاقی در شبیه‌سازی جریان رودخانه و پیش‌بینی دبی متوسط سالانه رودخانه توسط تحلیل سری‌های زمانی**، اولین کنفرانس بین‌المللی منابع آب، شاهرود- دانشگاه صنعتی شاهرود، ۲۵ الی ۲۷ مرداد ماه ۱۳۸۸، ۹ ص.

۲. جلالی، کمالی، ۱۳۸۱. پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن سد جیرفت با استفاده از تئوری سری‌های زمانی، ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، ۹ ص.

۳. خلیلی، کیوان، فاخری‌فرد، احمد، دین‌پژوه، یعقوب و قربانی، محمدعلی، ۱۳۸۹. «تحلیل روند و ایستایی جریان رودخانه به منظور مدل‌سازی سری‌های زمانی هیدرولوژیکی»، مجله دانش آب و خاک، دانشگاه تبریز، ۲۰/۱، ص ٦۱ـ۷۲.

٤. سعیدیان، یاشار. عبادی، حسین. ۱۳۸۳. تعیین مدل سری زمانی داده‌های دبی جریان (مطالعه موردی: ایستگاه هیدرومتری ونیار در حوضهٔ آبریز رودخانه آجی‌چای)، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، ۲۳ و ۲٤ اردیبهشت ماه، ۷ ص.

۵. کارآموز، محمد و عراقی‌نژاد، شهاب، ۱۳۸٤. هیدرولوژی پیشرفته، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، چاپ اول، ٤٦٤ ص.

٦. گل‌محمدی، محمدحسین و صفوی، حمیدرضا، ۱۳۸۹. پیش‌بینی سری‌های زمانی تک متغیره هیدرولوژیکی با استفاده از سیستم فازی بر پایهٔ شبکهٔ عصبی تطبیقی، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱٤ الی ۱٦ اردیبهشت ماه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۸ ص.

۷. نخعی، محمد و میرعربی، علی. ۱۳۸۹. «پیش‌بینی سیلاب از طریق داده‌های سری زمانی دبی رودخانه سومبار با استفاده از مدل باکس‌ـ جنکینز»، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، ٤ (۱): ۹۱۵-۹۰۱.

۸. نیرومند، ح و بزرگ‌نیا، ا. ۱۳۸۹. مقدمه‌ای بر تحلیل سری‌های زمانی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ سوم، ۲۸۷ ص.

۹. هاشمی، ر. جهانشاهی، م، ۱۳۸٤. تحلیل و پیش‌بینی کل بارندگی ماهانه و سالانه در منطقهٔ تربت حیدریه خراسان، پنجمین سمینار احتمال و فرآیند تصادفی، بیرجند، **۹ ص.**

10. Ahn, H., 2000. Modeling of groundwater heads based on second order difference time series modeling, J. Hydrology, 234: 82-94.
11. Chen, H.L. and Rao, A.R., 2003. Linearity analysis on stationary segments of hydrologic time series. J. Hydro., 277: 89-99
12. Salas, J.D., Delleur, J.W, Yevjevich, V and Lane W.L., 1980 . Applied modeling of hydrologic time series. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.