

بررسی و پیش‌بینی بارندگی سالانه و تخمین تغذیه ناشی از بارندگی به مخازن آب‌های زیرزمینی (دشت تایباد)

دکتر محمود دانشور کاخکی^۱، دکتر ناصر شاهنوشی^۲، دکتر بیژن قهرمان^۳، مهندس فرزانه صالحی^۴

۱. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی - دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی - دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳. دانشیار گروه مهندسی آب - دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اقتصاد کشاورزی - دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

daneshvar@um.ac.ir

چکیده:

پیش‌بینی بارندگی و برآورد میزان آن در هر زمان و برای هر منطقه و حوضه آبریز، به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای جوی، از اهمیت ویژه‌ای در استفاده بهینه از منابع آبی برخوردار است. برای پیش‌بینی این پارامتر می‌توان از سری‌های زمانی استفاده کرد. در این مطالعه، با استفاده از اطلاعات بارش ۳۲ سال آماری در ایستگاه‌های تایباد و باخرز، بارش ماهانه و فصلی (۳ ماهه) مدل‌سازی شد. برای به دست آوردن مدلی که بتواند بارندگی سالانه را با کمترین خطا پیش‌بینی کند، از داده‌های باران ۳ ماهه (فصلی) و ماهانه، مربوط به سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۵۴ استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا با داده‌های ۱۳۸۰-۱۳۵۴، مدل‌های $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_{12}$ و $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_4$ برای هر ایستگاه تعیین گردید. با استفاده از این مدل‌ها، مقادیر باران سالانه برای سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۸۵ پیش‌بینی شد. با در اختیار داشتن مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی، معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE)، محاسبه شد و مدل بهتر بر اساس این معیارها انتخاب گردید. سپس با به کارگیری مدل انتخاب شده، مقادیر بارندگی برای سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۶ و میزان تغذیه ناشی از بارندگی به مخازن آب‌های زیر زمینی دشت تایباد پیش‌بینی شد.

کلمات کلیدی:

پیش‌بینی، سری زمانی، SARIMA، دشت تایباد

۱- مقدمه:

پیش‌بینی رفتار فرآیندهای دینامیکی، ابزار مهمی در مدیریت و کنترل این فرآیندها در بسیاری از زمینه‌های علوم و فناوری می‌باشد. فرآیندهای جوی نیز از آن جمله هستند. پیش‌بینی بارندگی و برآورد

میزان آن در هر زمان و برای هر منطقه و حوضه آبریز، به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای جوی و منبع اصلی تامین‌کننده آب‌های سطحی و زیرزمینی، از اهمیت ویژه‌ای در استفاده بهینه از منابع آبی برخوردار است. یکی از روش‌های پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی، روش‌های آماری است. در هر مورد، آمار مربوط به متغیری که پیش‌بینی می‌شود، باید در دوره زمانی گذشته موجود باشد. این آمار را اصطلاحاً سری زمانی می‌گویند. روش‌های آماری که این‌گونه داده‌های آماری را مورد استفاده قرار می‌دهند، تحلیل سری‌های زمانی نامیده می‌شود^(۳). تحلیل سری‌های زمانی به‌طور نظری و عملی از سال ۱۹۷۰ به بعد برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی، توسعه‌یافته‌است^(۹). الگو سازی در خانواده $ARMA$ ، $ARIMA$ و $SARIMA$ یکی از شیوه‌های مهم و معتبر در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی است^(۱۱). پژوهش‌های متعددی در زمینه پیش‌بینی پارامترهای هیدرولوژیکی همچون بارندگی، دما و جریان‌های رودخانه صورت گرفته‌است. احمدی^(۱۳۸۳)، مقدار باران سالانه ایستگاه‌های هواشناسی استان خراسان را با استفاده از مدل $SARIMA$ ، پیش‌بینی نمود. جهانبخش و باباپور باصر^(۱۳۸۲)، متوسط دمای ماهانه تبریز را برای یک دوره آماری ۴۰ ساله را مورد بررسی قرار دادند و پس از انتخاب یک مدل $SARIMA$ مناسب، تغییرات متوسط دمای ماهانه ایستگاه تبریز را تا سال ۲۰۱۰ پیش‌بینی کردند. ترابی^(۱۳۸۰)، با استفاده از سری‌های زمانی و مدل آریمای پنج ایستگاه معرف در پنج ناحیه اقلیمی ایران را در فاصله سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۵ مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفته است که مقادیر حداقل و حداکثر دما، به جز مناطق نیمه خشک گرم ایران، در سایر مناطق، تغییرات دمایی داشته‌اند. خردمند نیا و عساکره^(۱۳۸۰)، با به‌کارگیری مدل $SARIMA$ ، به پیش‌بینی درجه حرارت متوسط ماهانه منطقه جاسک پرداختند. بورلاندو و همکاران^(۱۹۹۶)، به منظور پیش‌بینی بارندگی‌های ساعتی در زمان وقوع آن‌ها از مدل $ARIMA$ ، استفاده کردند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که با افزایش مدت دوام بارندگی، پیش‌بینی‌ها روند دقیق‌تری دارند. سوسا و همکاران^(۲۰۰۰) برای تخمین و پیش‌بینی بارندگی در مکزیک و جوانفسکی و دلی‌پتروف^(۲۰۰۷) برای پیش‌بینی بارندگی در مكدونیا^(۷) از مدل $ARIMA$ استفاده کردند. خومونکل و همکاران^(۲۰۰۷) نیز برای

1. *Autoregressive Moving Average*

2. *Autoregressive Integrated Moving Average*

3. *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average*

4. *Burlando and et al*

5. *Sosa and et al*

6. *Jovanovski and Delipetrov*

7. *Macedonia*

8. *Khummongkol and et al*

برازش سری‌های زمانی بارندگی در طی سال‌های ۱۹۷۴ تا ۲۰۰۳ الگوی $ARIMA$ را به‌کاربردند و مقدار بارندگی ماهانه را به منظور پیش‌بینی تقاضای واقعی آب در استان رایونگ^۱ تایلد پیش‌بینی کردند.

در این مطالعه سعی شده است که با بررسی آمار بارندگی سال‌های گذشته دشت تایباد و به‌کارگیری یک الگوی اتورگرسیو-میانگین متحرک فصلی ($SARIMA$) مناسب، بارندگی سالانه دو ایستگاه تایباد و باخرز که به ترتیب معرف دشت و ارتفاعات هستند، برای ده سال آینده تعیین گردد. سپس با استفاده از مقادیر پیش‌بینی شده بارندگی، میزان تغذیه ناشی از بارندگی به مخازن آب‌های زیرزمینی دشت تایباد برای ده سال آینده پیش‌بینی شود.

۱- مواد و روشها

۱-۲- پیش‌بینی بارندگی

در مطالعه حاضر به منظور پیش‌بینی بارندگی در دشت تایباد، داده‌های سری‌زمانی بارندگی دو ایستگاه تایباد و باخرز که به ترتیب معرف دشت و ارتفاعات هستند، مورد استفاده قرار گرفته‌است. سپس یک الگوی اتورگرسیو-میانگین متحرک فصلی ($SARIMA$) برای بارندگی‌های فصلی و ماهانه دو ایستگاه تعیین و پس از بررسی مدل‌ها از نظر فرض‌ها، مدلی که دقت پیش‌بینی آن در مقیاس سالانه بالاتر باشد انتخاب می‌شود و با استفاده از آن، بارندگی سالانه دو ایستگاه برای ده سال آینده تعیین می‌گردد.

مدل‌های اتورگرسیو-میانگین متحرک فصلی ($ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)$)

سری زمانی، مجموعه مشاهداتی است که بر حسب زمان و در فواصل مساوی از آن مرتب شده‌باشند، هرچند مرتب شدن داده‌ها ممکن است با توجه به ابعاد دیگری چون فاصله نیز باشد. به‌طور کلی وقتی در یک سری، بعد از هر S فاصله زمانی پایه، شباهت‌هایی پیدا می‌شود، گفته می‌شود که سری، رفتار فصلی یا تناوبی با دوره تناوب S را از خود نشان می‌دهد. در حالت کلی، مدل‌های فصلی مدل‌های دو بعدی هستند. در واقع بخشی از تغییرات سری زمانی به تغییرات درون هر فصل و بخشی دیگر، به تغییرات بین فصل‌های مختلف برمی‌گردد. اگر دوره تناوب سری S فرض شود، می‌توان هر مشاهده را بر اساس فصل و شماره مشاهده در فصل تجزیه کرد. واقعیت بنیادی در مورد سری‌های زمانی فصلی با دوره تناوب S آن است که مشاهداتی که S فاصله از هم دور هستند، مشابه هم می‌باشند. برای مثال، مشاهدات Y_1, Y_{S+1} و Y_{2S+1} ، همه از نظر زمانی در فصل مشابه، ولی در سال‌های متفاوت رخ

^۱ Ryong

می‌دهند. نوع خاصی از مدل‌های فصلی که بر ساختار کلی مدل‌های **ARIMA** منطبق می‌باشند، مدل فصلی ضربی باکس-جنکینز^۱ است.

چنانچه Z_t به عنوان یک فرایند فصلی ضربی **ARIMA** با درجات غیر فصلی (p, d, q) ، درجات فصلی (P, D, Q) و دوره تناوب S باشد، آنگاه مدل فصلی ضربی باکس-جنکینز به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} \phi_p(B)\varphi_P(B^S)W_t &= \theta_q(B)\theta_Q(B^S)\alpha_t \\ W_t - (1-B)^d(1-B^S)^D Z_t & \quad (1-2) \end{aligned}$$

$\phi_p(B)$ و $\theta_q(B)$ به ترتیب چندجمله‌ای‌های اتورگرسیو و میانگین متحرک غیر فصلی و $\varphi_P(B^S)$ و $\theta_Q(B^S)$ به ترتیب چندجمله‌ای‌های اتورگرسیو و میانگین متحرک فصلی می‌باشند. در روابط بالا B عملگر وقفه، p و q به ترتیب درجه عملگر اتورگرسیو و میانگین متحرک غیر فصلی، P و Q به ترتیب درجه عملگر اتورگرسیو و میانگین متحرک فصلی و d و D نیز به ترتیب مرتبه تفاضل‌گیری غیرفصلی و فصلی می‌باشند، دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی مستقل و هم‌توزیع با میانگین صفر و واریانس $\sigma_{\alpha_t}^2$ می‌باشد.

عملگرهای به کار رفته نیز به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$\psi_p(B) = 1 - \psi_1 B - \psi_2 B^2 - \dots - \psi_p B^p \quad (3)$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad (4)$$

$$\varphi_P(B^S) = 1 - \varphi_1 B^S - \varphi_2 B^{2S} - \dots - \varphi_P B^{PS} \quad (5)$$

$$\theta_Q(B^S) = 1 - \theta_1 B^S - \theta_2 B^{2S} - \dots - \theta_Q B^{QS} \quad (6)$$

شرط کافی برای اینکه فرایند تصادفی W_t ایستا باشد، این است که قدر مطلق هر یک از ریشه‌های دو معادله $\phi_p(B) = 0$ و $\varphi_P(B^S) = 0$ بزرگتر از واحد باشد و برای قابل استفاده بودن مدل در پیش‌بینی، شرط معکوس‌پذیری W_t نیز لازم است. یک شرط کافی برای معکوس‌پذیر بودن فرایند W_t این است که قدر مطلق هر یک از ریشه‌های معادله $\theta_q(B) = 0$ و $\theta_Q(B^S) = 0$ بزرگتر از واحد باشد (۱۰).

۲-۱-۲- مراحل ساخت مدل:

روش مدل‌سازی باکس-جنکینز، شامل سه مرحله به ترتیب ذیل است.

^۱ Box - Jenkins

برای تشخیص الگوی مناسب یک سری زمانی ابتدا باید شکل داده‌های سری زمانی را رسم کرد. از طریق بررسی دقیق شکل سری می‌توان در مورد غیرساکن بودن در واریانس، وجود روند و آثار فصلی، ایده‌های مناسبی را به دست آورد. در تحلیل سری‌های زمانی، تبدیل‌هایی که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند، تبدیل تثبیت‌کننده واریانس و تفاضل‌گیری هستند. برای بررسی غیر ساکن بودن سری در میانگین، بایستی توابع خود همبستگی و خودهمبستگی جزئی نمونه سری را بررسی کرد. یک قاعده کلی در این زمینه آن است که اگر تابع خود همبستگی نمونه به طور کند کاهش یابد و تابع خودهمبستگی جزئی نمونه بعد از یک تاخیر محو شود، سری غیر ساکن در میانگین بوده و باید از آن به طریق تفاضل‌گیری روندزدایی کرد. همچنین اگر با داده‌های سری زمانی فصلی سر و کار داشته باشیم و تابع خودهمبستگی نمونه در مضارب فصلی به طور کند کاهش یابد، به منظور دستیابی به یک سری زمانی ساکن، تفاضل‌گیری فصلی نیز لازم است (۱). یک روش مناسب برای تعیین مقادیر D و d حداقل کردن واریانس سری تفاضلی حاصل (σ^2) است. بنابراین با اختیار نمودن مقادیر مختلف برای D و d و مقایسه واریانس سری تفاضلی شده به ازای مقادیر مزبور، می‌توان درجه تفاضلی را برای مراتب فصلی و غیرفصلی تعیین نمود. بعد از اینکه سری به سری ساکن تبدیل شد، برای تعیین رتبه‌های اجزای خودهمبسته و میانگین متحرک، یعنی P و Q ، توابع خود همبستگی نمونه و خود همبستگی جزئی نمونه سری زمانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با فرض اینکه $r(k)$ تابع خود همبستگی نمونه مربوط به سری تفاضل‌گیری شده باشد، مقادیر P و Q طوری تعیین می‌شوند که $r(1), r(2), \dots, r(S-1)$ بطور معقولی منطبق بر تابع خود همبستگی نظری فرایند $ARIMA(P, Q)$ باشد. سپس نمودار تابع خود همبستگی نمونه مربوط به سری تفاضلی شده در تاخیرهایی که مضربی از S هستند مورد توجه قرار می‌گیرند. مقادیر P و Q نیز طوری تعیین می‌شوند که $r(S), r(2S)$ و ... بطور معقولی منطبق بر تابع خود همبستگی نظری فرایند $ARIMA(P, Q)$ باشد (۱۰).

۲-۱-۲-۲- تخمین:

بعد از تشخیص مدل، در قدم بعد باید پارامترهای مدل مورد نظر را برآورد کرد. چندین روش برای تخمین پارامترهای مدل وجود دارد. از آن جمله می‌توان به روش گشتاورها، روش حداکثر درست‌نمایی شرطی، روش حداکثر درست‌نمایی دقیق و روش حداقل مربعات غیرخطی اشاره کرد.

۲-۱-۲-۳- بازبینی تشخیصی و معیارهای انتخاب الگو:

مراحل ساخت الگوهای سری زمانی با تشخیص الگو و تخمین پارامترها شروع و با بررسی کفایت الگو به وسیله آزمون برقراری فرض‌های اساسی، ادامه می‌یابد. اگر شواهدی حاکی از عدم کفایت الگوی انتخابی وجود

داشته باشد، مجدداً با تکرار مراحل روش باکس-جنکینز، در الگوی قبلی تجدید نظر شده و مراحل شناسایی و تخمین برای الگوهای جدید صورت می‌گیرد (۱). باکس-جنکینز دو روش را برای اجرای بازبینی تشخیصی پیشنهاد کرده‌اند. این روش‌ها، روش برازش بیش از حد^۱ و روش بازبینی تشخیصی باقیمانده‌ها می‌باشند.

در روش اول پس از تشخیص یک مدل مناسب، مدل عمومی‌تر به داده‌ها برازش داده می‌شود. مدل اصلی در صورتی مورد تایید قرار خواهد گرفت که پارامترهای اضافی در مدل عمومی‌تر، تفاوت معنی‌داری با صفر نداشته باشند. روش دوم مبتنی بر این فرض است که اگر یک الگوی سری زمانی به‌طور صحیحی مشخص شده باشد، در این صورت باقیمانده‌های حاصل از برازش آن مدل، باید دارای خواص متغیرهای تصادفی نرمال مستقل هم توزیع، با میانگین صفر و واریانس ثابت باشند. یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل باقیمانده‌ها، بررسی نمودارهای مربوط به باقیمانده‌ها می‌باشد. در کنار روش‌های نموداری، یک آزمون مفید برای کنترل و بررسی کفایت مدل، آزمون پرت - ماتتو^۲ است. این آزمون از خود همبستگی‌های باقیمانده‌ها برای بررسی فرضیه صفر توأم $H_0 = \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$ با آماره آزمون ذیل استفاده می‌کند.

$$Q = n(n+2) \sum_{h=1}^k (n-h)^{-1} \hat{\rho}_h^2 \quad (7)$$

که در آن n تعداد مشاهدات می‌باشد. این آماره، به آماره Q اصلاح شده باکس-پیرس^۳ یا آماره Q جانگ-باکس^۴ شهرت دارد و تحت فرض H_0 ، تقریباً دارای توزیع χ^2_{k-m} است. m تعداد پارامترهای برآورد شده در مدل می‌باشد. هر گاه مقدار آماره Q از مقدار متناظر جدول کی دو بیشتر باشد، فرضیه H_0 رد می‌شود. گاهی فرضیه H_0 را فرضیه کفایت مدل نیز می‌نامند (۶).

اگر برای یک مجموعه داده، چند مدل قابل قبول وجود داشته باشد، معمولاً ملاک انتخاب مدل بهتر بر مبنای آماره‌های خلاصه شده‌ای است که از باقیمانده‌های مدل برازش شده، محاسبه می‌شوند. روش دیگر بر پایه خطاهای پیش‌بینی است که از پیش‌بینی‌های خارج نمونه محاسبه می‌گردد. در مورد روش اول می‌توان معیار آکایک^۵ (AIC)، معیار اطلاعات بیزین^۶ (BIC)، معیار شوارز-بیزین^۷ (SBC)، و در مورد انتخاب الگو بر مبنای خطای پیش‌بینی، معمولاً از معیارهای ذیل استفاده می‌شود:

1. *overfitting*
2. *Port - Manteau Test*
3. *Box - Pierce*
4. *Ljung - Box*
5. *Akaike Information Criterion*
6. *Bayesian Information Criterion*
7. *Schwarz Bayesian Criterion*

- معیار ریشه میانگین مربعات خطا^۱ ($RMSE$):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}} \quad (۸ - ۲)$$

میانگین قدر مطلق خطا^۲ (MAE):

$$MAE = \frac{\sum |\hat{y}_t - y_t|}{n} \quad (۹ - ۲)$$

میانگین قدر مطلق درصد خطا^۳ ($MAPE$):

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \right|}{n} \times 100 \quad (۱۰ - ۲)$$

مدلی که آماره‌های فوق در آن کمتر باشد، به عنوان مدل مناسب انتخاب می‌گردد.

۲-۲- تخمین تغذیه ناشی از بارندگی به ذخایر آب زیرزمینی

از آنجا که میزان زیادی از آب حاصل از بارندگی قابل استحصال نبوده و بخشی از آن تبخیر شده و مقداری از آن نیز غیر قابل دسترس خواهد بود، لازم است با استفاده از روش‌های مناسب، میزان آب قابل استحصال از آب بارندگی را برآورد نمود. بدین منظور لازم است میزان تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی ناشی از بارندگی را مشخص ساخت تا با در نظر گرفتن حد بهینه‌ی استفاده فیزیکی با عدم بیلان منفی در استفاده از سفره‌های آب زیرزمینی میزان برداشت از آن را تعیین نمود. بدین منظور برای محاسبه تغذیه ناشی از بارندگی به ذخایر آب زیرزمینی به این صورت عمل می‌شود:

$$\bar{R}_t = \frac{(R_{ad} \times A_d) + (R_{rh} \times A_h)}{A_d + A_h} \quad (۱۱)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_t^n \bar{R}_t}{n} \quad (۱۲)$$

$$\bar{E} - \bar{ST} = \bar{VM} \quad (۱۳)$$

$$\bar{ST} = 10^6 \times d \times c \times A_t \quad (۱۴)$$

$$\alpha = \frac{\bar{VM}}{A_d \times \bar{R}} \times 10^{-3} \quad (۱۵)$$

^۱ Root Mean Square Error

^۲ Mean Absolute Error

^۳ Mean Absolute Percentage Error

که در آن:

\bar{R}_t : میانگین موزون بارندگی منطقه در سال t ام بر حسب میلی متر

R_{t+1} , R_{t+2} : به ترتیب بارندگی سالیانه ارتفاعات و دشت در سال $t+1$ ام بر حسب میلی متر

A_{t+1} , A_{t+2} : به ترتیب سطح ارتفاعات و دشت بر حسب کیلومتر مربع

\bar{R} : میانگین طولانی مدت بارندگی سالیانه دشت بر حسب میلی متر

\bar{E} : میانگین تخلیه طولانی مدت بر حسب مترمکعب

\bar{ST} : میانگین افت طولانی مدت بر حسب مترمکعب

\bar{VM} : میانگین تغذیه طولانی مدت بر حسب مترمکعب

a : افت متوسط سطح آب بر حسب متر

c : ضریب ذخیره

A_t : سطح تیسس بر حسب کیلومتر مربع و

α : درصد تغذیه از بارندگی در مقیاس طولانی مدت می باشد.

حال ارتفاع و حجم تغذیه برای هر سال $t+1$ ام به صورت زیر محاسبه می شود

$$H_{t+1M} = \alpha \times \bar{R}_{t+1} - \bar{E} \quad (۱۶)$$

$$V_{t+1M} = H_{t+1M} \times A_d \times 10^8 - \bar{ST} \quad (۱۷)$$

که در آن:

\bar{R}_{t+1} : میانگین وزنی بارندگی سالیانه دشت در سال $t+1$ ام بر حسب میلی متر

H_{t+1M} : ارتفاع تغذیه در سال $t+1$ ام بر حسب میلی متر

V_{t+1M} : حجم تغذیه در سال $t+1$ ام بر حسب مترمکعب می باشد (۸).

۲-۳- آمار و اطلاعات

داده های مربوط به ذخایر و تخلیه منابع آب زیرزمینی و بارندگی از سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی گردآوری شده است. سری های زمانی در نظر گرفته شده برای پیش بینی بارندگی در ایستگاه باخرز و تایباد مربوط به دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۵۴ می باشد. همچنین در این مطالعه از بسته های نرم

افزاری Excel، Minitab و Eviews برای انجام محاسبات و تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شده است.

۲-۴- معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تایباد با وسعت ۲۹۷۵/۵ کیلومتر مربع در ۲۰ کیلومتری جنوب شهرستان تربت جام و در جنوب حوضه آبریز قره قوم قرار دارد. به لحاظ جغرافیایی در محدوده‌ی ۱۱° ۶۰' تا ۰۹° ۶۰' طول شرقی و ۳۶° ۳۴' تا ۱۲° ۳۵' عرض شمالی واقع شده است. به لحاظ تقسیمات سیاسی نیز در محدوده شهرستان تایباد واقع شده است. این محدوده از شمال به ارتفاعات دوشاخ و میان جام، از شرق به کشور افغانستان، از جنوب به ارتفاعات هزارمیش و یکه کوه و از غرب به ارتفاعات گری، سر پله و بازه محدود می شود. خروجی این محدوده به هریرود می ریزد. متوسط بارندگی سالانه محدوده مورد مطالعه به تفکیک کوه و دشت به ترتیب ۲۳۹/۵ و ۲۰۷/۹ میلی متر برآورد گردیده و بر اساس حجم متوسط ریزش های جوی در ارتفاع و دشت به ترتیب ۲۳۹/۶ و ۴۲۰/۸ میلیون مترمکعب محاسبه گردیده است. حداکثر تبخیر از سطح تشتک تبخیر در ماه های تیر و مرداد و حداقل آن در ماه های دی و بهمن حادث گشته و میزان تبخیر سالیانه از سطح آزاد آب در محدوده مورد مطالعه، ۲۵۰۶/۴ میلی متر برآورد شده است. با توجه به توزیع مکانی بارندگی در دشت تایباد و همچنین شبکه ایستگاه های اندازه گیری ریزش های جوی از میان ایستگاه های موجود دو ایستگاه تایباد و باخرز به ترتیب معرف دشت و ارتفاع انتخاب گردیدند، این ایستگاه ها به گونه ای انتخاب شدند که اولاً بهترین معرف برای محدوده خود بوده و ثانیاً دارای آمار طولانی مدت و مشاهده ای باشند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از پیش بینی بارندگی

برای به دست آوردن مدلی که بتواند بارندگی سالانه را با کمترین خطا پیش بینی کند، از داده های باران ۳ ماهه (فصلی) و ماهانه، مربوط به سال های ۱۳۸۵-۱۳۵۴ استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا با داده های ۱۳۸۰-۱۳۵۴، مدل های $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_{12}$ و $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_4$ برای هر ایستگاه تعیین گردید. سپس با استفاده از این مدل ها، مقادیر باران سالانه برای سال های ۱۳۸۵-۱۳۸۰ پیش بینی گردید. با در اختیار داشتن مقادیر پیش بینی شده و مقادیر واقعی، معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE)، محاسبه شد و مدل بهتر بر اساس این معیارها انتخاب شد. در پایان با استفاده از مدل انتخاب شده، مقادیر بارندگی برای سال های ۱۳۹۵-۱۳۸۶ پیش بینی شد.

به منظور استفاده از فرآیند $SARIMA$ ، در ابتدا با رسم نمودار سری زمانی و نمودارهای خود همبستگی (ACF) و خود همبستگی جزئی ($PACF$)، ایستایی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نمودار سری زمانی، نالیستایی در میانگین را نشان داد و نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی نیز این مطلب را تأیید کردند. بنابراین لازم است برای حصول ایستایی، داده‌ها تفاضلی شوند. مقادیر p ، q ، P و Q نیز با استفاده از نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی به دست آمد. مقادیر d ، D ، p ، q و P و Q در جدول ۱ آورده شده است.

پس از تشخیص الگوی فصلی مناسب، بایستی پارامترهای الگو برآورد گردد. جهت برآورد پارامترهای الگو در بسته نرم افزاری $MINITAB$ از روش کمترین مربعات غیر شرطی استفاده می شود که نتایج حاصل از برآورد پارامترها، در ایستگاه های مورد بررسی در جدول ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول ۱: مقادیر p ، q ، P و Q مدل نهایی $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_T$ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع مدل	Q	D	P	q	d	p
تایباد	$SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_4$	۴	۱	۳	۰	۰	۰
تایباد	$SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_{12}$	۲	۱	۴	۱	۰	۱
باخرز	$SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_4$	۰	۱	۴	۰	۰	۰
باخرز	$SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_{12}$	۰	۱	۵	۰	۰	۰

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۲: نتایج حاصل از برآورد پارامترهای مدل در ایستگاه تایباد

مدل	پارامتر	مقدار	SE	T	P
$SARIMA(0,0,0)(3,1,4)_4$	$SAR(4)$	-۰/۲۱۵۶	۰/۱۹۴	-۱/۱۱	۰/۲۷۰
	$SAR(8)$	-۰/۳۳۲	۰/۱۵۴	-۲/۱۵	۰/۰۳۴
	$SAR(12)$	-۰/۸۵۶	۰/۱۸۱	-۴/۷۲	۰/۰۰۰
	$SMA(4)$	۰/۹۱۴	۰/۲۳۲	۳/۹۴	۰/۰۰۰
	$SMA(8)$	-۰/۲۱۰	۰/۳۹۵	-۰/۵۳	۰/۵۹۶
	$SMA(12)$	-۰/۶۰۱	۰/۴۰۱	-۱/۵۰	۰/۱۳۳
$SARIMA(1,0,1)(4,1,2)_{12}$	$SMA(16)$	۰/۶۷۲	۰/۲۲۷	۲/۹۶	۰/۰۴۰
	$AR(1)$	-۰/۸۹۲	۰/۶۷۴	-۱/۳۲	۰/۱۸۷
	$SAR(12)$	-۰/۷۷۴	۰/۳۶۴	-۲/۱۳	۰/۰۳۴
	$SAR(24)$	-۰/۵۵۳	۰/۱۳۷	-۴/۰۵	۰/۰۰۰
	$SAR(36)$	-۰/۳۸۸	۰/۱۳۶	-۲/۸۵	۰/۰۰۵
	$SAR(48)$	-۰/۲۱۳	۰/۰۷۸	-۲/۷۴	۰/۰۰۶
$MA(1)$	-۰/۸۷۲	۰/۷۰۸	-۱/۲۳	۰/۲۱۹	

معیار	۰/۵۳۵	۰/۶۲	۰/۳۶۸	۰/۲۲۹	SMA (12)
معیار	۰/۳۷۰	۰/۹۰	۰/۲۹۱	۰/۲۶۲	SMA (24)

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳: نتایج حاصل از برآورد پارامترهای مدل در ایستگاه باخرز

مدل	پارامتر	مقدار	SE	T	P
SARIMA (0,0,0)(4,1,0) ₁₂	SAR(4)	-۰/۵۷۴	۰/۰۹۸	-۵/۸۳	۰/۰۰۰
	SAR(8)	-۰/۳۱۰	۰/۱۰۷	-۲/۸۹	۰/۰۰۵
	SAR(12)	-۰/۴۹۰	۰/۱۱۳	-۴/۳۲	۰/۰۰۰
SARIMA (0,0,0)(5,1,0) ₁₂	SAR(16)	-۰/۲۰۶	۰/۱۰۶	-۱/۹۴	۰/۰۵۵
	SAR(12)	-۰/۷۳۸	۰/۰۵۶	-۱۳/۲۷	۰/۰۰۰
	SAR(24)	-۰/۵۴۶	۰/۰۶۷	-۸/۱۹	۰/۰۰۰
SARIMA (0,0,0)(5,1,0) ₁₂	SAR(36)	-۰/۵۳۱	۰/۰۷۰	-۷/۶۴	۰/۰۰۰
	SAR(48)	-۰/۴۴۱	۰/۰۷۰	-۶/۲۶	۰/۰۰۰
	SAR(60)	-۰/۲۶۳	۰/۰۶۰	-۴/۴۰	۰/۰۰۰

ماخذ: یافته‌های تحقیق.

همانطور که گفته شد برای بررسی صحت مدل برازش شده، لازم است که به تجزیه و تحلیل باقی‌مانده‌های مدل برازش شده پرداخت. تجزیه و تحلیل باقی‌مانده‌ها به کمک نمودارهای مربوط به باقی‌مانده‌ها و همچنین آزمون پرت-مانتو انجام می‌شود. نمودارهای مربوط به باقی‌مانده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و مناسبیت مدل‌های انتخاب شده تایید شد. به منظور اطمینان از کفایت مدل، علاوه بر روش نموداری، از آزمون پرت-مانتو که بر مبنای آماره اصلاح شده باکس-پیرس (جانگ-باکس) می‌باشد، استفاده شد. نتایج مربوط به این آزمون در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، فرضیه ناهمبسته بودن باقی‌مانده‌ها پذیرفته می‌شود. بنابراین با توجه به بررسی‌های فوق، مناسبیت مدل‌های انتخاب شده مورد تایید قرار می‌گیرد.

همانگونه که قبلاً بیان گردید، به منظور مقایسه قدرت پیش‌بینی الگوها، از معیارهای **RMSE**، **MAE** و **MAPE** استفاده شد. که نتایج آن در جداول ۵ و ۶ آورده شده است. این معیارها بر اساس مقایسه داده‌های واقعی دوره ۱۳۸۵-۱۳۸۱ و مقادیر پیش‌بینی شده به‌دست آمد.

جدول ۴: نتایج آزمون پرت-مانتو

ایستگاه	مدل	آماره Q	تعداد وقفه ها (k)	P - Value
تایباد	$SARIMA(0,0,0)(3,1,4)_4$	۲۱/۲	۳۶	۰/۸۵۳
تایباد	$SARIMA(1,0,1)(4,1,2)_{12}$	۲۶/۹	۳۶	۰/۵۲۲
باخرز	$SARIMA(0,0,0)(4,1,0)_4$	۲۹/۶	۳۶	۰/۵۸۷
باخرز	$SARIMA(0,0,0)(5,1,0)_{12}$	۳۴/۶	۳۶	۰/۳۰۰

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۵: ارزیابی و مقایسه قدرت پیش بینی مدل ها در ایستگاه تایباد

نوع مدل	RMSE	MAE	MAPE
$SARIMA(0,0,0)(3,1,4)_4$	۲۵/۳۸	۲۰/۳۱	۱۱/۸۳
$SARIMA(1,0,1)(4,1,2)_{12}$	۴۱/۸۹	۳۶/۱۰	۲۱/۵۴

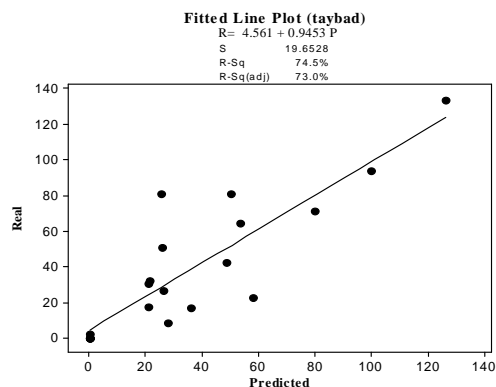
ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۶: ارزیابی و مقایسه قدرت پیش بینی مدل ها در ایستگاه باخرز

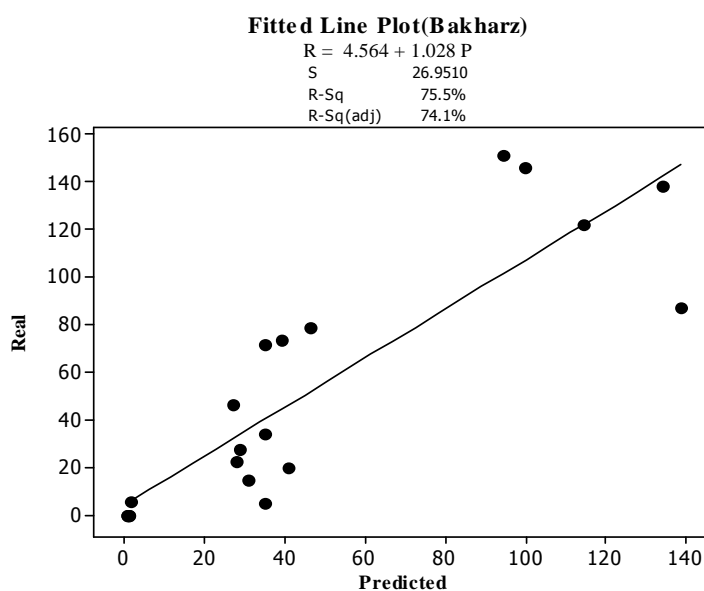
نوع مدل	RMSE	MAE	MAPE
$SARIMA(0,0,0)(4,1,0)_4$	۳۹/۳۰	۲۹/۵۹	۱۳/۲۴
$SARIMA(0,0,0)(5,1,0)_{12}$	۴۸/۵۸	۳۹/۹۳	۱۸/۲۲

ماخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج جداول ۵ و ۶ مدلی که بر اساس داده‌های فصلی (سه‌ماهه) ساخته شده، نسبت به مدلی که با استفاده از داده‌های ماهانه ساخته شده دارای خطای کمتری است. در واقع کلیه معیارها نشان‌دهنده برتری مدل $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_4$ بر مدل $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_{12}$ در هر دو ایستگاه می‌باشد. پس از تعیین بهترین مدل در هر ایستگاه، با استفاده از یک رابطه رگرسیونی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده، ضریب تبیین برای هر مدل به‌دست آمد. همانطور که نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۱ و ۲، نشان می‌دهند، مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل های پیش بینی ایستگاه های باخرز و تایباد، به ترتیب ۷۵/۵ و ۷۴/۵ درصد با مقادیر واقعی مشاهده شده همخوانی دارد.



شکل ۱: مقایسه مقادیر واقعی و پیش بینی شده در ایستگاه تایباد



شکل ۲: مقایسه مقادیر واقعی و پیش بینی شده در ایستگاه باخرز

همچنین از نظر آماری اختلاف خط رگرسیونی بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده $(Real = \alpha + \beta \times Predicted)$ با خط تطابق ایده آل $(Real = 1 \times Predicted)$ مورد بررسی قرار گرفت. برای آزمون معنی داری اختلاف بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده، از آزمون‌های t و $Wald$ استفاده شد. نتایج مربوط به این قسمت در جداول ۷ و ۸ آورده شده است. نتایج حاصل از آزمون‌های t و $Wald$ نشان داد که از نظر آماری بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی اختلاف معنی داری وجود ندارد.

جدول ۷: نتایج آزمون t

ایستگاه باخرز				
متغیر	ضریب	SE	T	P
α	۴/۵۶۴	۸/۸۰۹	۰/۵۱۸	۰/۶۱۱
β	۱/۰۲۸	۰/۱۳۸	۷/۴۴۷	۰/۰۰۰
ایستگاه تایباد				
متغیر	ضریب	SE	T	P
α	۴/۵۶۱	۶/۴۵۱	۰/۷۱	۰/۴۸۹
β	۰/۹۴۵۳	۰/۱۳۰۵	۷/۲۴	۰/۰۰۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۸: نتایج آزمون والد

ایستگاه باخرز	
آزمون فرضیه صفر: $\alpha = 0$ و $\beta = 1$	$F = ۰/۴۹۸ (۰/۶۱۶) = ۰/۹۹۷ (۰/۶۰۷) = \chi^2$
ایستگاه تایباد	
آزمون فرضیه صفر: $\alpha = 0$ و $\beta = 1$	$F = ۰/۲۶۰ (۰/۷۷۴) = ۰/۵۲۰ (۰/۷۷۱) = \chi^2$

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس مدل بهینه بدست آمده در هر یک از ایستگاه‌ها، مقادیر بارندگی فصلی برای سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۹۵ محاسبه شده که نتایج آن در جداول ۹ و ۱۰ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، کمترین و بیشترین میزان بارندگی، در ایستگاه تایباد به ترتیب مربوط به سال‌های ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۲-۱۳۹۱ می‌باشد. کمترین و بیشترین میزان بارندگی در ایستگاه باخرز به ترتیب مربوط به سال‌های ۹۰-۱۳۸۹ و ۸۸-۱۳۸۷ می‌باشد.

جدول ۹: مقادیر بارندگی فصلی پیش بینی شده ده سال آینده ایستگاه تایباد

سال	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	سالانه
۱۳۸۶-۸۷	۲۱/۳	۱۱۵/۳	۵۲/۳	۰/۴	۱۸۹/۳
۱۳۸۷-۸۸	۲۱/۶	۹۴/۱	۳۳/۶	۰/۵	۱۴۹/۷
۱۳۸۸-۸۹	۲۴/۷	۵۱/۲	۲۰/۵	۰/۳	۹۶/۷
۱۳۸۹-۹۰	۲۸	۵۴/۴	۳۴/۵	۰/۲	۱۱۷/۱
۱۳۹۰-۹۱	۲۶	۸۶/۱	۵۱/۹	۰/۲	۱۶۴/۲
۱۳۹۱-۹۲	۲۲/۷	۱۱۵	۵۴/۷	۰/۴	۱۹۲/۸
۱۳۹۲-۹۳	۲۱/۲	۹۵/۴	۳۶/۳	۰/۵	۱۵۳/۴
۱۳۹۳-۹۴	۲۴/۳	۶۲/۹	۲۴/۵	۰/۴	۱۱۲/۱
۱۳۹۴-۹۵	۲۷	۵۱/۷	۳۰/۷	۰/۲	۱۰۹/۶
۱۳۹۵-۹۶	۲۶/۷	۸۱/۶	۴۹/۱	۰/۲	۱۵۷/۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۱۰: مقادیر بارندگی فصلی پیش بینی شده ده سال آینده ایستگاه باخرز

سال	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	سالانه
۱۳۸۶-۸۷	۳۶/۵	۱۱۳/۷	۳۷/۱	۰/۸	۱۸۸/۱
۱۳۸۷-۸۸	۳۴/۱	۱۱۸/۹	۳۴/۶	۰/۹	۱۸۸/۵
۱۳۸۸-۸۹	۳۳/۴	۱۱۳/۱	۳۱/۹	۰/۸	۱۷۹/۲
۱۳۸۹-۹۰	۳۴/۹	۱۰۶/۸	۳۱/۹	۰/۷	۱۷۴/۳
۱۳۹۰-۹۱	۳۶	۱۰۶/۸	۳۳/۵	۰/۷	۱۷۷
۱۳۹۱-۹۲	۳۵/۷	۱۱۰/۵	۳۴/۴	۰/۸	۱۸۱/۴
۱۳۹۲-۹۳	۳۴/۹	۱۱۲/۶	۳۴	۰/۸	۱۸۲/۳
۱۳۹۳-۹۴	۳۴/۶	۱۱۱/۶	۳۳/۲	۰/۸	۱۸۰/۲
۱۳۹۴-۹۵	۳۵	۱۰۹/۸	۳۳	۰/۷	۱۷۸/۵
۱۳۹۵-۹۶	۳۵/۳	۱۰۹/۳	۳۳/۴	۰/۷	۱۷۸/۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۳-۲- نتایج حاصل از تخمین حجم تغذیه سالانه به ذخایر آب زیرزمینی

جدول ۱۱ مقادیر بارندگی دشت و ارتفاعات، میانگین موزون بارندگی طی سال‌های ۷۶-۱۳۷۵ تا ۸۴-۱۳۸۳ را به همراه میزان تخلیه ذخایر آب زیرزمینی منطقه را در طی دو دوره آمار برداری نشان می‌دهد. در جدول ۱۲ مقادیر پارامترهای مورد نیاز جهت تخمین میزان تغذیه به آب‌های زیرزمینی نشان داده شده‌است.



جدول ۱۱: مقادیر بارندگی دشت و ارتفاعات، میانگین موزون بارندگی منطقه و میزان تخلیه ذخایر آب زیرزمینی

سال	$R_{Td}(mm)$	$R_{Tn}(mm)$	$\bar{R}_p(mm)$	$E(m^3)$
۱۳۷۵-۷۶	۱۶۲/۵	۲۱۱	۱۷۸/۵	۱۴۱۸۰۰۰۰۰
۱۳۷۶-۷۷	۱۸۴	۳۵۹/۵	۲۴۲	_____
۱۳۷۷-۷۸	۱۷۶	۲۴۱	۱۹۷/۵	_____
۱۳۷۸-۷۹	۴۱	۱۲۳/۵	۶۸-۳	_____
۱۳۷۹-۸۰	۱۰۵	۱۱۵/۵	۱۰۸/۵	_____
۱۳۸۰-۸۱	۱۳۹/۵	۱۶۷	۱۴۱/۹	_____
۱۳۸۱-۸۲	۲۳۰	۲۳۷/۵	۱۳۲/۵	_____
۱۳۸۲-۸۳	۱۷۲	۱۸۷/۵	۱۷۷/۱	_____
۱۳۸۳-۸۴	۹۹/۵	۱۸۴	۱۲۷/۴	۱۶۴۰۰۰۰۰۰
میانگین	۱۴۴/۴	۲۰۲/۹	۱۶۳/۷	۱۵۲۹۰۰۰۰۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۱۲: مقادیر پارامترهای مورد نیاز جهت تخمین میزان تغذیه به آب‌های زیرزمینی

مقادیر	پارامتر	
۹۸۳/۶	سطح ارتفاعات (کیلومتر مربع)	A_1
۱۹۹۱/۸	سطح دشت (کیلومتر مربع)	A_2
۸۴۳	سطح تپسن (کیلومتر مربع)	A_3
۴/۵	ضریب ذخیره (درصد)	c
۱/۲	افت متوسط سطح آب (متر)	d
۴۵۵۲۲۰۰۰	میانگین افت طولانی مدت (متر مکعب)	ST
۱۵۲۹۰۰۰۰۰	میانگین تخلیه طولانی مدت (متر مکعب)	\bar{E}
۱۶۳/۷	میانگین طولانی مدت بارندگی سالیانه دشت (میلی متر)	\bar{R}
۱۰۷۳۷۸۰۰۰	میانگین تغذیه طولانی مدت (متر مکعب)	VM
۰/۳۳	درصد تغذیه از بارندگی در مقیاس طولانی مدت	α

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با استفاده از جداول ۹ و ۱۰ که پیش‌بینی مقادیر بارندگی سالانه را طی سال‌های ۸۶-۱۳۸۵ تا ۹۷-۱۳۹۶ را نشان می‌دهد و همچنین جداول ۱۱ و ۱۲، می‌توان حجم تغذیه سالانه به ذخایر آب زیرزمینی دشت تایباد را در ده سال آینده، با استفاده از فرمول‌های ۲-۱۶ و ۲-۱۷ محاسبه کرد. مقادیر تغذیه به ذخایر آب زیرزمینی در سال‌های ۸۷-۱۳۸۶ تا ۹۶-۱۳۹۵ در جدول ۱۳ آورده شده‌است.

جدول ۱۳: نتایج حاصل از تخمین میزان تغذیه به آبهای زیرزمینی

سال	میانگین وزنی بارندگی سالانه دشت (میلی متر)	مقادیر تغذیه به آبهای زیرزمینی (متر مکعب)
۱۳۸۶-۸۷	۱۸۸/۹	۱۲۴۱۶۲۸۳۶/۶
۱۳۸۷-۸۸	۱۶۲/۶	۱۰۶۸۷۶۰۰۴/۴
۱۳۸۸-۸۹	۱۲۴	۸۱۵۰۴۴۵۶
۱۳۸۹-۹۰	۱۳۶/۱	۸۹۴۵۷۷۱۳/۴
۱۳۹۰-۹۱	۱۶۸/۵	۱۱۰۷۵۴۰۳۹
۱۳۹۱-۹۲	۱۸۹	۱۲۴۲۲۸۵۶۶
۱۳۹۲-۹۳	۱۶۳	۱۰۷۱۳۸۹۲۲
۱۳۹۳-۹۴	۱۳۴/۶	۸۸۴۷۱۷۷۲/۴
۱۳۹۴-۹۵	۱۳۲/۴	۸۷۰۲۵۷۲۵/۶
۱۳۹۵-۹۶	۱۶۴/۶	۱۰۸۱۹۰۵۹۲/۴
میانگین	۱۵۶/۳۷	۱۰۲۷۸۱۰۶۲/۸

ماخذ: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که در جدول ۱۳ آورده شده است، کمترین مقدار تغذیه ۸۱۵۰۴۴۵۶ متر مکعب می‌باشد که مربوط به سال ۸۹-۱۳۸۸ است و بیشترین مقدار تغذیه ۱۲۴۲۲۸۵۶۶ متر مکعب است که مربوط به سال ۹۲-۱۳۹۱ می‌باشد. میانگین تغذیه در طی ده سال آینده ۱۰۲۷۸۱۰۶۲/۸ میلیون مترمکعب پیش‌بینی شده است.

منابع:

۱. ابریشمی، ح. و مهرآرا، م. ۱۳۸۱. اقتصاد سنجی کاربردی (رویکردهای نوین). انتشارات دانشگاه تهران.
۲. احمدی، ف. ۱۳۸۳. پیش‌بینی بارندگی سالانه استان خراسان با استفاده از سری‌های زمانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳. اصلاحی، م. ۱۳۸۴. بررسی روش‌های آماری برای ارائه پیش‌بینی‌های بلندمدت (فصلی-سالانه) بارش و دما در استان آذربایجان شرقی. پروژه شماره ۳۴۰ سازمان هواشناسی کشور.
۴. ترابی، س. ۱۳۸۰. بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران. پایان‌نامه دکترای جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.



۵. جهانبخش، س.، باباپور باصر، ع. ۱۳۸۲. بررسی و پیش بینی متوسط دمای تبریز با استفاده از مدل آریما. مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۰.
۶. خرمی، م. و بزرگ نیا، ا. ۱۳۸۶. تجزیه و تحلیل سریهای زمانی با نرم افزار **MINITAB14**. انتشارات سخن گستر
۷. خردمندیا، م. و عساکره، ح. ۱۳۸۰. الگوسازی **ARIMA** برای متوسط درجه حرارت سالانه هوا در جاسک. سومین سمینار احتمال فرآیندهای تصادفی، ۷ و ۸ شهریور، دانشگاه اصفهان.
۸. محمدیان، ف. ۱۳۸۶. تعیین الگوی زراعی پایدار با تأکید بر آب مجازی (مطالعه موردی دشت فریمان - تربت جام). پایان نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۹. مهدویان، ع. ۱۳۸۴. تحلیل پیش بینی بارندگی سالانه و فصلی در استان خراسان جنوبی با استفاده از سری زمانی. پروژه شماره ۲۹۶ سازمان هواشناسی کشور.
۱۰. نیرومند، ح. و بزرگ نیا، ا. ۱۳۷۲. مقدمه ای بر تحلیل سری های زمانی. تالیف سی چتفیلد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
11. Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C. 1994. Time Series Analysis : Control Third Edition, Holden-Day. Forecasting and
12. Burlando, P., Montana, A. and Raze, R. 1996. Forecasting of storm rainfall by combined use of radar, rain gages and linear models, Atmospheric Research, 42: 199-216.
13. Jovanovski, V., Delipetrov, T. 2007. Auto-regressive integrated moving average (ARIMA) modeling of rainfall process: estimation and forecast.
14. Khummongkol, R., Sutivong, D., kuntanakulwong, S. 2007. Water resource management using multi-objective optimization and rainfall forecast. International conference on volume, Issue, 21-23 Nov.
15. Sosa, J., Sosa, C., Paz, B. 2000. ARIMA models in the rain attenuation prediction in a Mexican tropical area. Antennas and Propagation Society International Symposium. IEEE Volume 2, Issue , 2:546 – 549.

Rainfall forecasting and estimation of groundwater recharge in Taybad plain

Mahmood Daneshvar Kakhki¹, N. Shahnoushi¹, F. Salehi¹

Abstract:

Rainfall forecasting on different times and plains as one of the most significant climatic parameter has a special importance to optimize use of water resource. Time series data can be use to forecast rainfall. In this study seasonal and monthly raining in Taybad and Bakharz simulated via data of 32 years between 1975 and 2006. First SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)₄ and SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)₁₂ models have estimated by using data from 1975-2001 period to predict rainfall. Given actual and predicted values of rainfall, RMSE, MAE and MAPE criteria has calculated and use for choosing best model. Finally rainfalls for 2007-2016 period and groundwater recharge in Taybad plain have predicted.

Keyword: forecast, time series, SARIMA, Taybad plain.

¹. Department of Agricultural Economics, University of Ferdowsi, Mashhad ,Iran
Email : Daneshvar@Ferdowsi.um.ac.ir