

Application of Seasonal Time Series Models for Prediction of Monthly Inflow to Yamchi and Sabalan Reservoirs in Qarasu Catchment, Ardabil

AMIN KANOONI^{*1}, SOHEILA URJI¹

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(Received: June. 29, 2020- Revised: Aug. 4, 2020- Accepted: Aug. 9, 2020)

ABSTRACT

Predicting volume of water stored in reservoirs in the future periods plays an important role in planning and managing the optimal use of water resources systems. In this study, time series analysis method was used to predict the monthly inflow to Yamchi and Sabalan reservoirs in Ardabil province. The monthly flow data measured at hydrometric stations, located at the dam's entrance for 21 years (1994 to 2015) were used to build and test an appropriate model. The structures of the seasonal models were identified according to the auto-correlation charts (ACF) and partial auto-correlation (PACF), and then the appropriate model for each hydrometric station was selected based on the Akaike Information Criterion (AIC), Akaike Information Criterion Correction (AICC) and Bayesian Information Criterion (BIC). By fitting the model to the observational data, the parameters of each model were determined and the adequacy of the selected models was also examined by diagnostic tests. The results showed that ARIMA (1,0,0)(0,1,1)₁₂ and ARIMA (1,1,1)(0,1,1)₁₂ models, respectively for the monthly flow data of Yamchi and Arbabkandi stations have the lowest root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) and the highest determination coefficient. The values of these indicators in the model related to Yamchi hydrometric station were 1.04, 0.606 and 0.63, respectively, and for Arbabkandi hydrometric station were 1.35, 0.8 and 0.74, respectively. Therefore, the selected models accurately predict the monthly inflows to Yamchi and Sabalan reservoirs. Comparing the predicted results with the observational data showed that the selected models are not very accurate in predicting high discharge values.

Keywords: Forecasting, Monthly Inflow, Reservoir Operation, Seasonal Model, Time Series.

کاربرد مدل‌های فصلی سری زمانی در پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به مخزن سدهای یامچی و سبلان در حوضه آبخیز قره‌سو، اردبیل

امین کانونی^{*}، سهیلا اورجی^۱

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۵/۱۹)

چکیده

پیش‌بینی حجم آب ذخیره شده در سدهای مخزنی در دوره‌های آتی، نقش مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری بهینه از سامانه‌های منابع آب دارد. در این مطالعه، از روش تحلیل سری‌های زمانی برای پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به سدهای مخزنی یامچی و سبلان در استان اردبیل استفاده شد. داده‌های دبی جریان ماهانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در محل ورود آب به سد، طی سال‌های ۹۴-۱۳۷۳ به مدت ۲۱ سال تهیه و برای ساخت و آزمون مدل مناسب، به کار برده شد. پس از ایستادن نمودن سری داده‌ها، با توجه به نمودارهای خودهمبسته (ACF) و خودهمبسته جزئی (PACF)، ساختارهای مدل فصلی تشخیص داده شدند و پس از مقایسه آن‌ها با توجه به معیارهای آکائیکه (AIC)، آکائیکه اصلاح شده (AICC) و اطلاعات بیزی (BIC)، مدل مناسب برای هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری انتخاب شد. با برازش مدل به داده‌های مشاهداتی، پارامترهای هر مدل تعیین و کفایت مدل‌های منتخب نیز با آزمون‌های تشخیصی بررسی گردید. نتایج نشان داد مدل $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ و $ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$ به ترتیب برای داده‌های دبی ماهانه ایستگاه یامچی و ارباب‌کندی، دارای کمترین مقدار شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدرمطلق خطا (MAE) بوده و دارای بیش‌ترین ضریب تعیین است. مقدار این شاخص‌ها در مدل مربوط به ایستگاه هیدرومتری یامچی به ترتیب برابر ۰/۱۰۴، ۰/۶۰۶ و ۰/۶۳ و برای ایستگاه هیدرومتری ارباب‌کندی به ترتیب برابر ۰/۱۳۵، ۰/۸ و ۰/۷۴ به دست آمد. لذا مدل‌های منتخب، جریان ماهانه ورودی به مخزن سدهای یامچی و سبلان را با دقت خوبی پیش‌بینی می‌کند. همچنین مقایسه نتایج پیش‌بینی شده با داده‌های مشاهداتی نشان داد در پیش‌بینی مقادیر حد بالای دبی، مدل‌های منتخب از دقت بالایی برخوردار نیستند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری مخزن، پیش‌بینی، جریان ورودی ماهانه، سری‌های زمانی، مدل فصلی.

مقدمه

پیش‌بینی جریان رودخانه در محل ورود به سدهای مخزنی نقش مهمی در برنامه‌ریزی، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب دارد. مدیریت تولید انرژی در نیروگاه‌های برق‌آبی و برنامه‌ریزی تامین آب بخش‌های مختلف مصرف (شرب، کشاورزی، صنعت و زیست محیطی و ...) به پیش‌بینی حجم آب ذخیره مخزن در دوره‌های زمانی آینده وابسته است. با توجه به اهمیت پیش‌بینی جریان، در مطالعات گذشته از مدل‌های مختلفی در این زمینه استفاده شده است که شامل مدل‌های مبتنی بر فرآیندهای مفهومی (مثل مدل‌های بارش-رواناب) و مدل‌های مبتنی بر روش‌های آماری (مثل مدل‌های رگرسیون، سری زمانی، شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و نزدیکترین همسایه) است (Wang, 2006). از بین روش‌های آماری، مدل‌های

مبتنی بر سری‌های زمانی به دلیل کشف بهتر ارتباط بین پارامترهای موثر بر جریان، لحاظ اطلاعات غنی در مدل‌سازی و روند منظم آن در ساخت مدل، بطور گسترده در پیش‌بینی دبی جریان رودخانه مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Hu et al., 2011; Wang et al., 2015). در این مدل‌ها فرض بر این است که رفتارهای پیشین حاکم بر جریان در آینده نیز تکرار خواهد شد (Vahdat et al., 2011). از بین مدل‌های مبتنی بر سری‌های زمانی، مدل خودهمبسته با میانگین متحرک تجمعی (ARIMA) به‌طور موثری همبستگی خطی بین مشاهدات را مد نظر قرار می‌دهد که ابتدا توسط باکس-جنکینز (Box and Jenkins, 1970) ارائه شد و سپس به‌عنوان مدلی شناخته شده در پیش‌بینی پدیده‌های هیدرولوژیکی به کار رفت (Wong et al., 2007). مدل سری زمانی SARIMA نوعی از مدل ARIMA است که رفتار دوره‌ای پدیده‌ای را در یک بازه زمانی مشخص نشان می‌دهد و

در حوضه ساویتری در ایالت ماهاراشترای هند، مدل‌های مبتنی بر سری‌های زمانی را برای پیش‌بینی دبی جریان بررسی کردند. برای این منظور و با ارزیابی مدل‌های مختلف بر اساس معیارهای انتخاب مدل مناسب، دو مدل $SARIMA(1,1,1)(1,1,1)_{31}$ و $SARIMA(2,0,2)(0,0,0)_{31}$ به‌عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی دبی جریان روزانه انتخاب شدند. Shathir and Mohammed (2016) به‌منظور انتخاب بهترین مدل سری زمانی برای پیش‌بینی دبی ماهانه رودخانه فرات در کشور عراق، از سری زمانی داده‌ها از سال ۱۹۳۲ تا ۱۹۷۲ استفاده کردند و سپس با توجه به معیارهای مختلف، مدل $SARIMA(0,0,1)(0,1,1)_{12}$ را مناسب تشخیص دادند. Tadesse and Dinka (2017) از مدل $SARIMA(3,0,2)(3,1,3)_{12}$ را به‌عنوان مدلی مناسب معرفی کردند. Adnan et al. (2017) پیش‌بینی دبی ماهانه رودخانه آستور در شمال پاکستان را با استفاده از مدل‌های خودهمبسته (AR) و $SARIMA$ بررسی و مدل $SARIMA$ را به‌عنوان مدل منتخب با توجه به معیارهای میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، RMSE و ضریب تعیین (R^2) پیشنهاد دادند. Wagena et al. (2020) به ارزیابی پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از یک مدل مبتنی بر فرآیند (SWAT)، مدل ANN و مدل ARMA پرداختند و توانایی مدل‌ها را با توجه به داده‌های واقعی اخذ شده از اداره ملی هواشناسی ایالت متحده بررسی کردند. نتایج نشان داد هر سه مدل، دبی پیک جریان را کم‌تر از داده‌های مشاهداتی پیش‌بینی می‌کنند.

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در خصوص پیش‌بینی دبی جریان رودخانه قره‌سو به‌عنوان مهم‌ترین منبع تامین آب سطحی استان اردبیل مطالعاتی انجام نشده است. با این وجود و با توجه به وجود دو سد مخزنی چند منظوره یامچی و سبلان بر روی این رودخانه، برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری از سدهای مخزنی واقع بر آن نیازمند پیش‌بینی جریان در محل ورودی مخزن سدهای نامبرده بوده و نقش مهمی در مدیریت سیستم منابع آب رودخانه خواهد داشت. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از تحلیل سری‌های زمانی کارایی مناسبی در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها دارد ولی این بررسی‌ها عمدتاً محدود به یک نقطه از رودخانه و در محل خروجی حوضه بوده است. در تحقیق حاضر پیش‌بینی جریان ورودی به دو سد مخزنی در یک حوضه آبخیز (با وسعت و خصوصیات متفاوت حوضه مشرف به آن‌ها) مد نظر قرار گرفت تا ساختار مدل‌های پیش‌بینی جریان در دو حوضه با استفاده از تحلیل آماری سری‌های زمانی ارزیابی

یکی از مدل‌های فصلی استوکاستیک در پیش‌بینی سری داده‌های جریان ماهانه آبراهه‌ها به‌شمار می‌رود. این مدل همچنین می‌تواند سری‌های زمانی با رفتار غیر ایستا در طول یک دوره فصلی و درون فصلی را توصیف کند (Box et al., 2008).

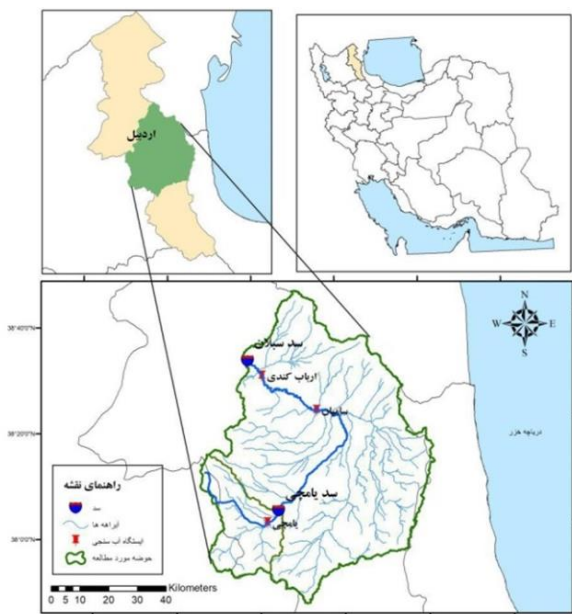
مطالعات وسیعی در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در دهه‌های اخیر با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی انجام شده است که می‌توان به تحقیقات اخیر انجام شده توسط Wang et al. (2013)، Wang et al. (2014) و Dastorani et al. (2016) در پیش‌بینی بارندگی، مطالعات انجام شده توسط Fernandez et al. (2009)، Han et al. (2012) و Yeh and Hsu (2019) در پیش‌بینی خشکسالی، مطالعات انجام شده توسط Ayare and Singh et al. (2011)، Abudu et al. (2010)، Dhekale (2015)، Valipour (2015)، Gharde et al. (2016)، Adnan et al. (2017)، Elganiny and Eldwer (2016) و Moeeni et al. (2017) و Tadesse and Dinka (2017) در پیش‌بینی دبی جریان رودخانه‌ها اشاره نمود. همچنین در سطح داخلی نیز پژوهش‌های وسیعی در پیش‌بینی پارامترهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژی با استفاده از روش تحلیل سری‌های زمانی انجام شده که می‌توان به مطالعات Nakhaee and Mirarabi (2010)، Bashari and Vafakhah (2011)، Moeeni et al. (2013) and Mirzaei et al. (2014)، Ahmadi et al. (2016)، Mirzapour and Tahmasebipour (2018)، Abbasi et al. (2019) و Mojiri and Halabian (2019) اشاره کرد.

در برخی از تحقیقات گذشته کاربرد مدل‌های فصلی در پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه و مقایسه آن با مدل‌های غیر فصلی تشریح و اهمیت آن بیان شده است. طی مطالعه‌ای بر روی داده‌های ۲۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۰۷) دبی ماهانه رودخانه چریتی در ایالت ماهاراشترای هند، با استفاده از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای نسبی (MRE) و انتگرال مربعات خطا (ISE) مدل $SARIMA(0,0,1)(0,1,1)_{12}$ به‌عنوان بهترین مدل از بین مدل‌های مختلف سری‌های زمانی پیشنهاد شد (Ayare and Dhekale, 2015). همچنین Valipour (2015) توانایی مدل‌های $SARIMA$ و $ARIMA$ را در پیش‌بینی درازمدت رواناب در ایالات متحده بررسی کرد و برتری مدل $SARIMA$ را نسبت به مدل $ARIMA$ در پیش‌بینی رواناب نشان داد. Elganiny and Eldwer (2016) به‌منظور پیش‌بینی دبی جریان ماهانه در شاخه اصلی رود نیل و دو سرشاخه فرعی آن در قاره آفریقا، مدل‌های $DARIMA$ و $SARIMA$ را بررسی و بر اساس نمودارهای گرافیکی و معیارهای عددی بهترین مدل را انتخاب کردند (Gharde et al., 2016) با مطالعه دبی جریان رودخانه مهد

استفاده از ضریب هارست^۱ کفایت طول دوره آماری برای هر دو ایستگاه از طریق رابطه ۱ بررسی شد (Moeeni et al., 2017).

$$H = \frac{\text{Log}(S_{\max} - S_{\min})}{\text{Log}N/2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن S_{\max} و S_{\min} به ترتیب حداکثر و حداقل اختلاف تجمعی از میانگین دبی‌ها، S_d انحراف معیار و N تعداد ماه‌ها است. بزرگ‌تر بودن این ضریب از ۰/۵ بیانگر کفایت طول دوره آماری است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و سد های مخزنی در منطقه مورد مطالعه

تحلیل سری‌های زمانی و تعیین مدل مناسب طی فرآیندی که اولین بار توسط باکس-جنکینز (Box and Jenkins, 1976) ارائه شد در ادامه تشریح می‌شود.

سری‌های زمانی

با توجه به اینکه در دنیای واقعی وقوع هیچ فرآیند هیدرولوژیکی به‌طور کامل قطعی نیست لذا تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی با استفاده از سری‌های زمانی غیر ایستا اهمیت زیادی دارد. مدل ARIMA یکی از روش‌های تحلیل سریهای زمانی غیر ایستا به شمار می‌رود که برای بیان آن ابتدا مدل میانگین متحرک اتورگرسیو (ARMA) در سری‌های زمانی ایستا تشریح می‌شود. ساختار مدل ARMA به‌صورت رابطه ۲ بیان می‌شود.

(رابطه ۲)

$$z_t = \alpha_1 z_{t-1} + \alpha_2 z_{t-2} + \dots + \alpha_p z_{t-p} - \beta_1 a_{t-1} - \beta_2 a_{t-2} - \dots - \beta_q a_{t-q} + a_t$$

که در آن p و q پارامترهای مدل AR و MA و $\alpha_1, \alpha_2, \dots$

گردد و بتوان عکس‌العمل حوضه‌های با وسعت و ویژگی‌های متفاوت را در سری زمانی رواناب خروجی از حوضه مشاهده کرد. از طرف دیگر در مطالعات قبلی به‌طور عمده از ساختار مدل ARIMA در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها استفاده شده است و بررسی‌ها نشان می‌دهد در پدیده‌هایی که تغییرات دوره‌ای دارند (همانند دبی جریان ماهانه) مدل‌های SARIMA می‌توانند پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه دهند. بنابراین هدف این پژوهش بررسی و انتخاب مدل‌های فصلی سری زمانی به منظور پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد یامچی و سبلان در حوضه قره‌سو است تا ضمن بررسی و مقایسه ساختار مدل‌های پیش‌بینی جریان ورودی به دو مخزن واقع بر یک حوضه آبخیز، بتوان از نتایج آن در برنامه‌ریزی منابع آب حوضه مورد نظر استفاده مناسب بعمل آورد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه قره‌سو اصلی‌ترین آبراهه و به‌عنوان یکی از مهمترین منبع تامین آب سطحی استان اردبیل به‌شمار می‌رود که دو سد مخزنی بزرگ به نام‌های یامچی و سبلان بر روی آن احداث شده است. ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی و ارباب‌کندی به‌عنوان محل اندازه‌گیری جریان ورودی به مخزن سد های یامچی و سبلان می‌باشند که مساحت تحت پوشش آن‌ها به ترتیب ۷۰۱ و ۵۳۹۳ کیلومتر مربع است. سد های مخزنی یامچی و سبلان به ترتیب با حجم مفید ۸۰ و ۱۰۵ میلیون متر مکعب بر روی رودخانه یامچی و قره‌سو احداث شده است که هر دو از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز ارس به‌شمار می‌روند. حوضه آبخیز مشرف به سد یامچی ناحیه‌ای کوهستانی بوده و آب‌های جاری در دامنه رشته کوه سبلان در محل سد یامچی ذخیره می‌شوند ولی سد سبلان پس از گذر از دشت اردبیل بر روی رودخانه قره‌سو احداث شده و مساحت وسیعی از زمین‌های کوهستانی و دشت مستعد کشاورزی را زیر پوشش قرار می‌دهد. شکل (۱) محدوده و موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه و سد های مخزنی را نشان می‌دهد.

روش انجام تحقیق

برای پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن سد یامچی و سبلان از داده‌های آماری مربوط به دبی دو ایستگاه هیدرومتری در دو حوضه مشرف به این دو ایستگاه، طی دوره آماری ۲۱ سال (سال آبی ۹۴-۱۳۷۳) استفاده گردید. داده‌ها از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل اخذ شدند و سپس مقادیر ماهانه آن‌ها استخراج و با

استفاده از نمودارهای ACF و PACF تعیین می‌شوند. علاوه بر استفاده از نمودارهای ACF و PACF برای تشخیص ساختارهای مختلف، از معیارهای دیگری برای مقایسه مدل‌های مختلف و تعیین بهترین ساختار در مدل‌سازی سری‌های زمانی استفاده می‌شود که می‌توان به معیارهای اطلاعات آکائیکه (AIC)، آکائیکه اصلاح شده (AICC) و اطلاعات بیزی (BIC) اشاره نمود که به صورت روابط ۹، ۱۰ و ۱۱ محاسبه می‌شوند (Mirzavand and Ghazavi, 2015; Brewer et al., 2016).

$$AIC = \ln(\text{MSE}) + 2k \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$AICC = AIC + \frac{2k(k+1)}{(n-k-1)} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$BIC = \ln(\text{RSS}/n) + k \ln(n) \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

که در آن، k تعداد پارامترهای مدل، n تعداد داده‌های مشاهداتی مورد استفاده در مرحله واسنجی، MSE میانگین مربعات خطا و RSS مجموع مربعات باقیمانده‌ها است.

ب) تخمین پارامترهای مدل (واسنجی)

پس از تشخیص ساختار مدل، پارامترهای آن با استفاده از الگوریتم مناسبی از جمله الگوریتم مارکوات^۲ تخمین زده می‌شوند. این پارامترها باید شرط ایستایی (برای مدل‌های اتورگرسیو) و شرط برگشت‌پذیری (برای مدل‌های میانگین متحرک) را ارضاء کرده و در سطح اطمینان مورد نظر از لحاظ آماری معنی‌دار باشند.

ج) بررسی مناسبیت مدل (آزمون)

در آزمون مدل، برقراری فرضیات اولیه در ساخت مدل (استقلال زمانی، نرمال بودن و ثبات واریانس) بر روی باقیمانده‌های مدل بررسی می‌شوند. آزمون پرت-مانتو^۳ روشی مناسب برای بررسی استقلال زمانی باقیمانده‌های مدل است که در آن آماره Q با استفاده از رابطه ۱۲ محاسبه و سپس معنی‌داری آن در سطح اطمینان مورد نظر بررسی می‌شود (Salas et al., 1980).

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2}{n-k} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

که در آن، n تعداد مشاهدات، r ضریب خودهمبستگی و m حداکثر مقدار تاخیر است.

نرمال بودن باقیمانده‌های مدل با استفاده از آزمون‌های مناسبی همچون آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۴ انجام می‌شود و همچنین ثابت بودن واریانس باقیمانده‌های مدل نیز با ترسیم نمودار باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش شده قابل بررسی است.

د) پیش‌بینی و بررسی عملکرد مدل (صحت‌سنجی)

α_p ضرایب مدل AR، $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q$ ضرایب مدل MA و α_i مقدار تصادفی و مستقل از زمان باقیمانده (noise) می‌باشد که از توزیع نرمال با میانگین صفر تبعیت می‌کند. با تعریف عملگر پسرو (B) به صورت رابطه ۴، سری زمانی ایستا (رابطه ۲) به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$B^k z_t = z_{t-k} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\phi(B)z_t = \theta(B)a_t \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن:

$$\phi(B) = 1 - \alpha_1 B - \alpha_2 B^2 - \dots - \alpha_p B^p \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\theta(B) = 1 - \beta_1 B - \beta_2 B^2 - \dots - \beta_q B^q \quad (\text{رابطه ۶})$$

در روابط فوق، k گام تاخیر، $\phi(B)$ عملگر اتورگرسیو و $\theta(B)$ عملگر میانگین متحرک بوده و بقیه پارامترها هم قبلاً تعریف شده‌اند. اگر سری زمانی (z_t) ایستا نباشد میتوان با تفاضل‌گیری آن را به سری ایستا تبدیل کرد (رابطه ۷).

$$y_t = (1-B)^d z_t = \nabla^d z_t \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن d تعداد تفاضل‌گیری است. بدین ترتیب با تفاضل‌گیری مرتبه d مدل ARIMA(p,d,q) ساخته می‌شود. در سری‌های زمانی با تغییرات فصلی میتوان از ساختار فصلی سری‌های زمانی (SARIMA) استفاده کرد. مدل SARIMA کاربردی از مدل‌های ARMA است که در آن رفتار فصلی و غیر ایستایی سری حذف شده است. شکل ضربی سری‌های زمانی فصلی به صورت رابطه ۸ بیان می‌شود (Box et al., 2008; Wang et al., 2008).

(رابطه ۸)

$\phi_p(B)\Phi_p(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D z_t = \theta_q(B)\Theta_q(B^S)a_t$ که در آن، Φ و Θ به ترتیب عملگرهای فصلی مدل AR و MA بوده و چند جمله‌ای‌هایی از درجه P و Q می‌باشند و S و D به ترتیب نشان‌دهنده طول دوره و تفاضل فصلی هستند. در ادامه، مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی فصلی مبتنی بر روش باکس-جنکینز که شامل مراحل چهارگانه است تشریح می‌شود.

الف) تشخیص ساختار مدل

برای تشخیص ساختار مدل ابتدا نمودار خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) سری زمانی ترسیم می‌شوند. این نمودارها علاوه بر تشخیص ایستایی سری زمانی، فصلی و غیر فصلی بودن آن را نیز نشان می‌دهند (Singh et al., 2011). در صورتی که سری زمانی نایستا باشد با تفاضل‌گیری به سری ایستا تبدیل می‌شود. مرتبه پارامترهای مدل (p, q, P, Q) نیز با

سری زمانی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده برای مقایسه و تحلیل کیفی نتایج استفاده می‌شود.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی و تحلیل مدل‌های سری زمانی منطبق بر سری داده‌های ماهانه دبی جریان در محل ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی و ارباب‌کندی، ابتدا ویژگی‌های آماری داده‌ها استخراج شد. برای این منظور از داده‌های سال ۸۸-۱۳۷۳ برای ساخت مدل و از داده‌های سال ۹۴-۱۳۸۸ برای آزمون مدل استفاده به عمل آمد. کفایت طول سری داده‌ها با توجه به ضریب هارست^۴ بررسی و با توجه به مقدار این ضریب برای هر دو ایستگاه یامچی و ارباب‌کندی (برابر حدود ۰/۶۷) کفایت طول دوره آماری انتخاب شده اثبات شد. خلاصه آماری سری جریان ماهانه در دوره‌های آزمون، صحت‌سنجی و کل دوره در جدول شماره (۱) ارائه شده است. چولگی داده‌ها در هر دو ایستگاه مثبت است و مقادیر بالای دبی و انحراف معیار داده‌ها در ایستگاه هیدرومتری ارباب‌کندی نسبت به یامچی به خوبی ویژگی‌های متفاوت دو حوضه آبخیز را بیان می‌کند.

پس از انتخاب ساختار مناسب مدل و تعیین پارامترهای آن و اطمینان از کفایت مدل، صحت‌سنجی مدل با پیش‌بینی سری زمانی در دوره زمانی آتی و سپس بررسی دقت پیش‌بینی انجام می‌شود. در این راستا از شاخص‌های کمی همچون ریشه میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE)، میانگین قدرمطلق خطا^۲ (MAE) و ضریب تعیین^۳ (R²) طبق روابط ۱۳ تا ۱۵ استفاده به عمل می‌آید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - F_i)^2} \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - F_i| \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(F_i - \bar{F})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F})^2}} \right]^2 \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

که در آن O و F به ترتیب مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده، \bar{O} و \bar{F} به ترتیب میانگین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده، i گام زمانی و N تعداد کل داده‌ها است. مقادیر کم شاخص‌های RMSE و MAE و مقادیر بالای ضریب تعیین بیانگر توانایی بالای مدل در پیش‌بینی دبی جریان در دوره‌های آتی است. علاوه بر معیارهای فوق از نمودارهای پراکنش حول خط یک به یک و

جدول ۱- خصوصیات آماری مقادیر دبی جریان ماهانه در دو حوضه مشرف به سدهای یامچی و سبلان

ایستگاه	دوره زمانی	حداکثر	حداقل	متوسط	انحراف معیار	ضریب کورتسیس	ضریب چولگی
یامچی	۱۳۷۳-۱۳۹۴	۹/۲۴	۰/۳۵۹	۲/۲۶۶	۱/۵۹۵	۳/۳۱۰	۱/۶۶۰
	۱۳۷۳-۱۳۸۸	۸/۴۷۳	۰/۵۵۱	۲/۳۱۳	۱/۵۷۳	۲/۵۴۷	۱/۵۴۹
	۱۳۸۸-۱۳۹۴	۹/۲۴۴	۰/۳۵۹	۲/۱۴۶	۱/۶۵۶	۵/۴۷۱	۱/۹۸۶
ارباب‌کندی	۱۳۷۳-۱۳۹۴	۱۴/۳۷۳	۰/۲	۳/۵۹۴	۳/۳۶۵	۱/۴۳۷	۱/۳
	۱۳۷۳-۱۳۸۸	۱۴/۳۷۳	۰/۲۸۵	۳/۸۶۱	۳/۶۵۱	۰/۸۹۹	۱/۱۹۲
	۱۳۸۸-۱۳۹۴	۱۰/۴	۰/۲	۲/۹۲۷	۲/۴۰۶	۰/۸	۱/۰۳

است. ناپایداری در واریانس داده‌ها هم از طریق نمودار سری زمانی داده‌ها و ترسیم نمودار باکس-کاکس^۵ قابل تشخیص است. بر این اساس و با توجه به مقدار λ ($\lambda=1$) در نمودار باکس-کاکس، تبدیل لگاریتمی داده‌ها انجام شد که این عمل علاوه بر ایستا نمودن واریانس، تقریب نرمال بودن داده‌ها را نیز بهتر نمود.

با تبدیل لگاریتمی سری داده‌ها، سری جدیدی از داده‌ها به دست آمد و سپس تفاضلات فصلی مرتبه اول ($D=1$) بر روی سری تبدیل یافته اعمال شد و نمودار ACF و PACF مربوطه برای هر دو ایستگاه ترسیم شد. شکل (۴) نمودارهای ACF و PACF جزئی سری داده‌های تبدیل یافته تفاضلی را برای

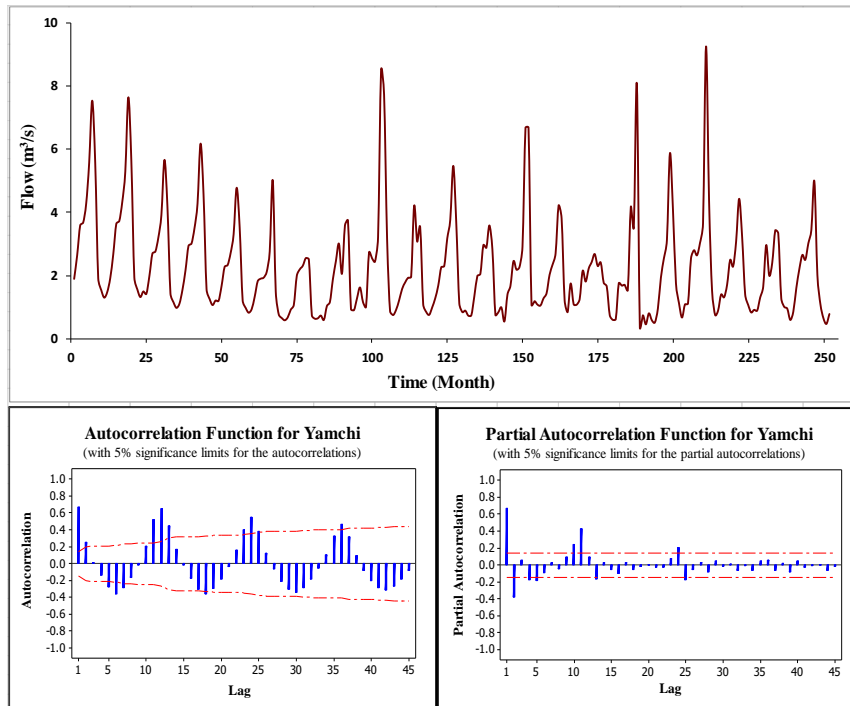
در مرحله بعد، نمودار سری زمانی و تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری داده‌های ماهانه جریان در محل ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی و ارباب‌کندی برای کسب آگاهی از ایستایی و ناپایداری سری داده‌ها و همچنین وجود ترم‌های خودهمبسته (AR) و میانگین متحرک (MA) فصلی و غیر فصلی ترسیم شد که نتایج آن در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده است. با توجه به این که نمودار ACF و PACF برای هر دو ایستگاه موج سینوسی میرایی را نشان می‌دهد لذا داده‌ها ضمن ناپیدا بودن در میانگین، دارای تناوب فصلی نیز هستند. یکی از روش‌های ایستا نمودن سری داده‌های ناپیدا در میانگین، انجام تفاضل‌گیری

4 Hurst Coefficient
5 Box-Cox

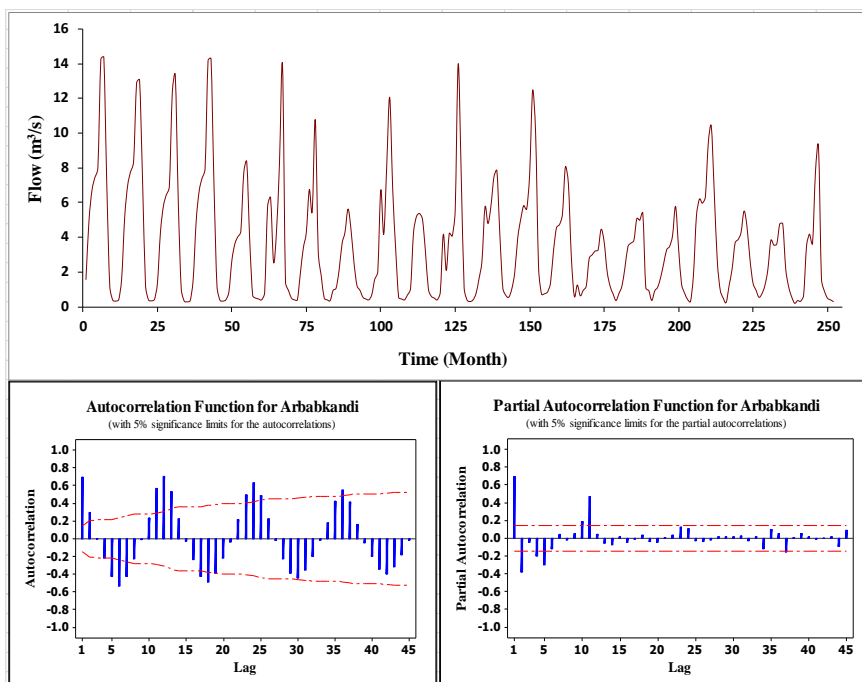
1 Root Mean Square Error
2 Mean Absolute Error
3 Coefficient of Determination

تعداد معنی‌داری خودهمبستگی‌ها در نمودارهای ACF، نشان می‌دهد که همبستگی در تاخیر ۱ و ۱۲ وجود دارد و با توجه به اینکه در نمودار PACF نقاط پیک در تاخیرهایی با مضرب ۱۲ وجود دارد لذا میانگین متحرک فصلی در مدل سری زمانی وجود خواهد داشت. لذا حالات مختلفی از مدل‌های فصلی با ترکیبی از مدل‌های خودهمبسته و میانگین متحرک که تاخیرهای مورد اشاره در همبستگی‌ها را دربر داشت انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت.

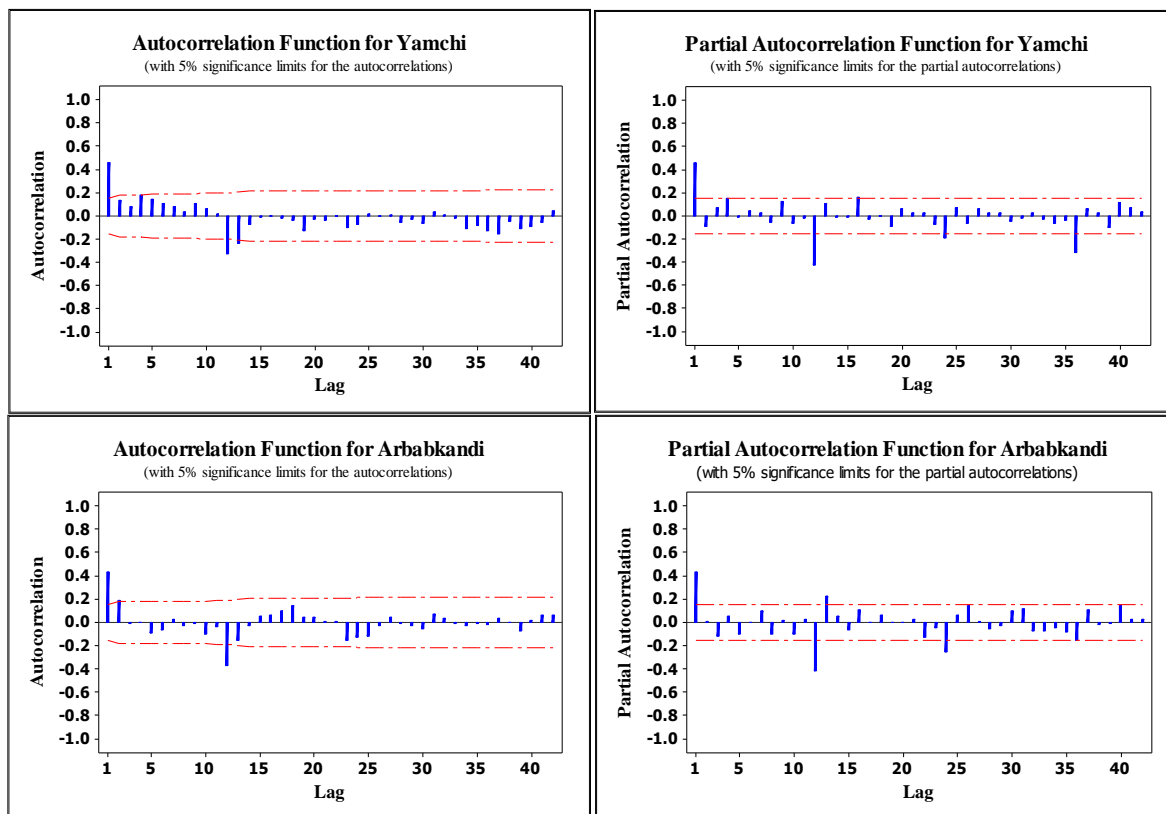
ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی و ارباب‌کندی نشان می‌دهد. نظر به اینکه تابع خودهمبستگی قطع شده و تابع خودهمبستگی جزئی آهسته‌تر کاهش می‌یابد مدل دارای شکل میانگین متحرک خواهد بود. به بیان دیگر، با توجه به میرایی هر دو تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی در هر دو ایستگاه هیدرومتری به صورت موج سینوسی، مدل‌های ترکیبی خودهمبسته با میانگین متحرک تناسب بهتری با داده‌ها دارد.



شکل ۲- نمودار سری زمانی، خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری داده‌ها در ایستگاه یامچی



شکل ۳- نمودار سری زمانی، خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری داده‌ها در ایستگاه ارباب‌کندی



شکل ۴- نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری داده‌های تقاضاگیری فصلی ($D=1$) در ایستگاه یامچی و ارباب‌کندی

مناسب برگزیده می‌شود. در جدول (۲) نتایج معیارهای ارزیابی الگوهای مختلف مدل ARIMA در دو ایستگاه یامچی و ارباب-کندی گزارش شده است. با توجه به جدول (۲) ساختارهای $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ و $ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$ به‌عنوان بهترین مدل به ترتیب برای ایستگاه هیدرومتری یامچی و ارباب-کندی انتخاب شدند.

پس از انتخاب بهترین مدل، پارامترهای مدل منتخب در هر ایستگاه به صورت جدول (۳) تعیین شدند. همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر پارامترهای مدل در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار هستند.

در نهایت با توجه به معنی‌داری نمودارهای ACF و PACF در تاخیرهای ذکر شده و بررسی مدل‌های مختلف، چهار ساختار به نام‌های $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ ، $ARIMA(1,1,0)(0,1,1)_{12}$ ، $ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$ و $ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$ به‌عنوان مدل‌های با تطبیق بیشتر بر دبی جریان ماهانه در هر دو ایستگاه هیدرومتری، انتخاب و برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفتند.

پس از انتخاب مدل‌ها، از معیارهای AIC، AICC و BIC به منظور بررسی مناسبیت مدل‌های مختلف استفاده شد. هر مدلی که دارای مقادیر کوچک از معیارهای فوق باشد به عنوان مدل

جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل‌های فصلی در ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی و ارباب‌کندی

ایستگاه	ساختار مدل	Mean Square	Sum of Square	AIC	AICC	BIC
یامچی	$ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	۰/۰۷۸۴	۱۲/۹۴	-۱۹۵/۰۲۳	-۱۹۲/۸۸۷	-۴۶۳/۴۸۸
	$ARIMA(1,1,0)(0,1,1)_{12}$	۰/۰۹۶۸	۱۵/۹۷	-۱۷۸/۵۴۲	-۱۷۶/۴۰۶	-۴۲۵/۶۱۸
	$ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$	۰/۰۸۴۸	۱۳/۹۹	-۱۸۸/۸۸۹	-۱۸۶/۷۵۲	-۴۴۹/۴۴۵
	$ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$	۰/۰۷۷۴	۱۲/۶۹	-۱۹۴/۰۲۷	-۱۹۱/۷۹۸	-۴۶۱/۸۰۷
ارباب‌کندی	$ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	۰/۱۷۲۸	۲۹/۱۰۲	-۱۳۳/۲۴۲	-۱۳۱/۱۰۶	-۳۱۷/۶۰۴
	$ARIMA(1,1,0)(0,1,1)_{12}$	۰/۲۰۵۱	۳۳/۸۴۵	-۱۱۹/۸۴۶	-۱۱۷/۷۱	-۲۹۰/۴۲۵
	$ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$	۰/۲۰۰۴	۳۳/۰۷۲	-۱۲۱/۶۵۸	-۱۱۹/۵۲۲	-۲۹۴/۵۸۴
	$ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$	۰/۱۶۲۸	۲۷/۰۲۷	-۱۳۵/۹۰۲	-۱۳۳/۶۷۴	-۳۲۵/۷۲

جدول ۳- مقادیر پارامترهای مدل‌های منتخب و معنی‌داری آن‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی و ارباب‌کندی

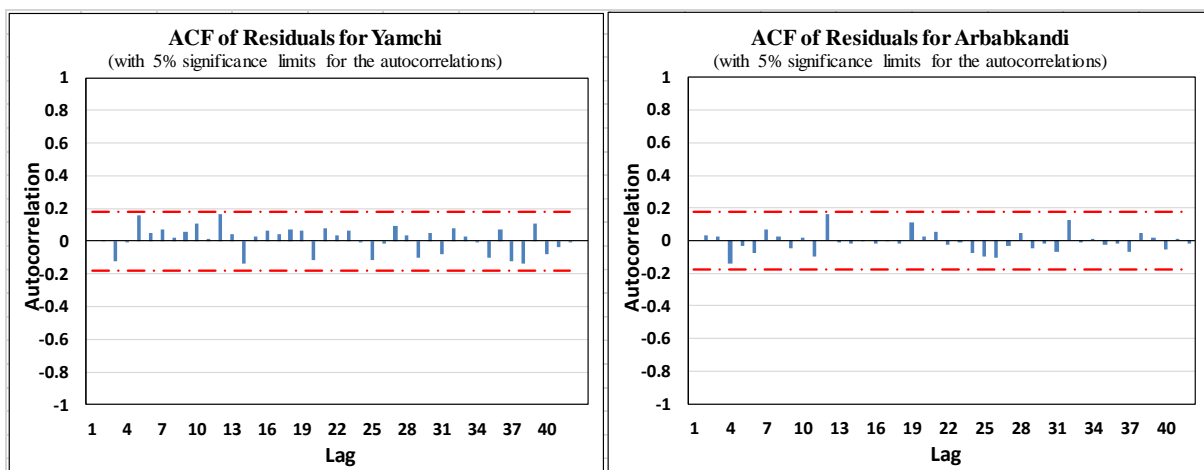
ایستگاه	مدل منتخب	پارامتر	مقدار	SE	t-value	p-value
یامچی	ARIMA(1,0,0) (0,1,1) ₁₂	φ1	۰/۵۶۵۵	۰/۰۶۵۴	۸/۶۵	۰/۰۰
		Θ1	۰/۸۸۶۵	۰/۰۵۸۵	۱۵/۱۵	۰/۰۰
ارباب‌کندی	ARIMA(1,1,1) (0,1,1) ₁₂	φ1	۰/۴۷۹۷	۰/۰۶۷۶	۷/۰۹	۰/۰۰
		Θ1	۰/۹۸۵۸	۰/۰۰۲۳	۴۳۰/۷۹	۰/۰۰
		Θ1	۰/۷۳۵۴	۰/۰۶۷۱	۱۰/۹۶	۰/۰۰

کفایت مدل نیز می‌گویند در صورت پذیرفته‌بودن، بیان‌کننده ناهمبسته‌بودن همه خودهمبستگی‌های مربوط به باقیمانده‌ها تا تاخیر k می‌باشد و خود دلیلی بر شایستگی مدل است. نمودار ACF باقیمانده‌های مدل (شکل ۵) نیز بیانگر استقلال باقیمانده‌ها است زیرا تمام باقیمانده‌های مدل در همه تاخیرها در داخل سطح اطمینان ۹۵ درصد قرار دارند و نشان می‌دهد که هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری بین باقیمانده‌های مدل وجود ندارد.

آزمون پورت-مانتو بر اساس آماره جانگ-باکس برای آزمون استقلال باقیمانده‌های مدل منتخب انجام شد که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است. آماره آزمون در تمام تاخیرها کمتر از مقدار بحرانی آن (آماره جدول) بوده است که p-value بزرگتر از سطح معنی‌داری مورد نظر ($\alpha=0.05$) را نشان می‌دهد، لذا باقیمانده‌های مدل‌های منتخب، مستقل هستند. به بیان دیگر با توجه به اینکه p-value در همه تاخیرها بزرگتر از ۰/۰۵ است بنابراین فرضیه صفر پذیرفته می‌شود. فرضیه صفر که آن را فرضیه

جدول ۴- نتایج آزمون پرت-مانتو برای مدل‌های منتخب در ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی و ارباب‌کندی

ایستگاه	پارامتر	تاخیر			
		۱۲	۲۴	۳۶	۴۸
یامچی	Chi Square	۱۴/۲	۳۰/۸	۴۴/۷	۵۸/۶
	DF	۸	۲۰	۳۲	۴۴
	P-Value	۰/۰۷۶	۰/۰۵۸	۰/۰۶۷	۰/۰۶۹
ارباب‌کندی	Chi Square	۱۴/۲	۲۱/۵	۲۸	۳۵/۶
	DF	۹	۲۱	۳۳	۴۵
	P-Value	۰/۱۱۶	۰/۴۳۰	۰/۷۱۶	۰/۸۴۱



شکل ۵- خودهمبستگی باقیمانده‌های مدل منتخب در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

شاخص‌های آماری RMSE، MAE و R² برای ارزیابی کمی عملکرد مدل بکار برده شد که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است. در بین مدل‌های مورد بررسی، ساختار ARIMA(1,0,0)(0,1,1)₁₂ برای داده‌های دبی ماهانه ایستگاه

به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های فصلی مختلف در پیش-بینی سری ماهانه دبی جریان در هر دو ایستگاه یامچی و ارباب-کندی، هر یک از مدل‌ها برای دوره مهرماه سال ۱۳۸۸ تا مهرماه سال ۱۳۹۴ اجرا و نتایج آن با داده‌های مشاهداتی مقایسه شدند.

۰/۸ برای ایستگاه ارباب‌کندی، دارای کمترین مقدار بوده و دارای بیشترین ضریب تعیین برای هر ایستگاه یامچی و ارباب‌کندی به ترتیب برابر ۰/۶۳ و ۰/۷۴ است.

یامچی و ساختار $ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$ برای داده‌های دبی ماهانه ایستگاه ارباب‌کندی، با شاخص‌های آماری RMSE و MAE به ترتیب برابر با ۱/۰۴ و ۰/۶۰۶ برای ایستگاه یامچی و ۱/۳۵ و

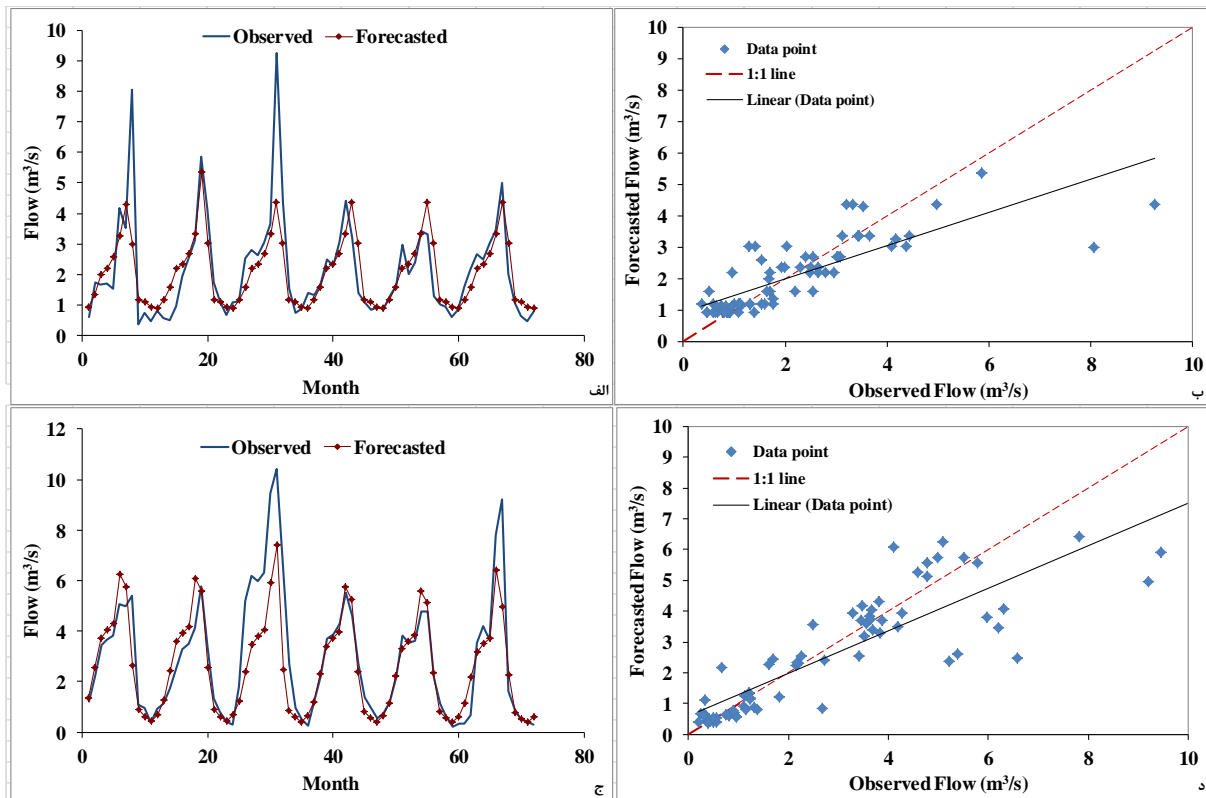
جدول ۵- تحلیل آماری دقت مدل‌های فصلی بر اساس معیارهای ارزیابی مختلف

ایستگاه	ساختار مدل	RMSE	MAE	R ²
یامچی	$ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	۱/۰۴	۰/۶۰۶	۰/۶۳
	$ARIMA(1,1,0)(0,1,1)_{12}$	۱/۵۹	۱/۰۸	۰/۶۱
	$ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$	۱/۱۰	۰/۶۳	۰/۶۰
	$ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$	۱/۲۰	۰/۷۹	۰/۵۲
ارباب‌کندی	$ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	۱/۴۲	۱/۰۶	۰/۷۱
	$ARIMA(1,1,0)(0,1,1)_{12}$	۱/۷۸	۱/۳۰	۰/۷۱
	$ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}$	۱/۵۵	۱/۱۵	۰/۷۱
	$ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$	۱/۳۵	۰/۸۰	۰/۷۴

در شکل (۶) نیز نمودارهای پراکنش داده‌ها حول خط یک به یک و سری زمانی مدل‌های منتخب در هر دو ایستگاه، برای مرحله آزمون و به ازای بهترین ساختار، نمایش داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مدل‌های منتخب پراکنش مناسبی حول محور یک به یک دیده می‌شود و در نمودارهای سری زمانی آن‌ها، هم‌پوشانی قابل قبولی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی وجود دارد. بر اساس این نمودارها می‌توان گفت هر چند که مدل‌های منتخب، پیش‌بینی مناسبی برای دبی ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی و ارباب‌کندی دارد ولی در بعضی نقاط، بیش‌برآوردی و در بعضی نقاط، کم‌برآوردی در پیش‌بینی دبی قابل مشاهده است و مدل‌های منتخب قابلیت بسیار بالایی در پیش‌بینی دبی‌های با مقادیر حدی بالا ندارند. با توجه به مقادیر ضریب تعیین و نمودارهای پراکنش داده‌ها، می‌توان اظهار کرد که مدل منتخب برای پیش‌بینی دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری ارباب‌کندی بهتر از مدل منتخب ایستگاه هیدرومتری یامچی عمل می‌کند و دقت بالایی در پیش‌بینی دارد. این موضوع توجیه خوبی برای وجود نوسانات بالای دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری یامچی است به طوری که در بعضی از دوره‌های زمانی نقطه اوج دبی در نمودار سری زمانی، مقدار بالایی را نشان می‌دهد. دقت پایین داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری یامچی در مطالعه‌ای که توسط ارسی (۱۳۹۶) انجام یافته است مورد تاکید قرار گرفته و نتایج این پژوهش نیز تاییدی بر آن است.

بنابراین با توجه به بررسی مدل‌های مختلف، مدل خودهمبسته میانگین متحرک فصلی با ساختار

$ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ برای داده‌های دبی یامچی و ساختار $ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$ برای داده‌های دبی ماهانه ایستگاه ارباب‌کندی، ساختار منتخب برای پیش‌بینی دبی جریان ماهانه ورودی به مخزن سدهای یامچی و سبلان خواهد بود. در مدل با ساختار $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ برای داده‌های دبی ماهانه ایستگاه یامچی، مقدار p برابر ۱ به این معنی است که سری زمانی جاری (Z_t) به داده‌های ماه قبل خود (Z_{t-1}) وابسته است و مقدار Q برابر ۱ نشان می‌دهد که Z_t به جزء تصادفی ماقبل فصلی خودش یعنی a_{t-12} وابسته است. همچنین چون بخش غیر فصلی مدل ایستا است لذا تفاضل غیر فصلی برابر صفر بوده ($d=0$) ولی تفاضل‌گیری فصلی برابر ۱ ($D=1$) برای حذف روند فصلی داده‌ها در مدل لحاظ شده است. همچنین در مدل با ساختار $ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$ برای داده‌های دبی ماهانه ایستگاه ارباب‌کندی، مقدار p برابر ۱ به این معنی است که سری زمانی جاری (Z_t) به داده‌های ماه قبل خود (Z_{t-1}) وابسته است و مقدار q برابر ۱ نیز نشان می‌دهد که Z_t به جزء تصادفی ماقبل خودش یعنی a_{t-1} وابسته است. رتبه Q برابر ۱ نشان می‌دهد که Z_t به جزء تصادفی ماقبل فصلی خودش یعنی a_{t-12} وابسته است. همچنین تفاضل‌گیری فصلی و غیر فصلی برابر ۱ ($d=1, D=1$) برای حذف روند فصلی و غیر فصلی داده‌ها در مدل لحاظ شده است. بنابراین مدل‌های پیش‌بینی جریان ورودی به دو مخزن واقع در یک حوضه آبخیز اصلی، ساختار متفاوتی داشته و اثرات تولید رواناب در بخش‌های اولیه حوضه و نقاط خروجی آن را نشان می‌دهند.



شکل ۶- نمودارهای پراکنش زمانی و مقایسه‌ای حاصل از مدل منتخب و مقادیر مشاهداتی (الف و ب- ایستگاه یامچی، ج و د- ایستگاه ارباب‌کندی)

مشاهده می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی کاملی دارد ولی نتایج مطالعات Adnan et al. (2017) که برتری مدل‌های فصلی را نسبت به مدل‌های غیرفصلی در پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه نشان دادند با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد زیرا مدل فصلی منتخب در آن پژوهش در پیش‌بینی مقادیر حد بالای دبی جریان، بیش‌برآوردی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن در سامانه‌های منابع آب واقع در حوضه‌های آبخیز، نقش مهمی در مدیریت و برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه از منابع آب دارد. در تحقیق حاضر با توجه به ماهیت تغییرات دوره‌ای داده‌ها، از مدل‌های فصلی مبتنی بر تحلیل سری‌های زمانی برای پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد یامچی و سبلان در حوضه آبخیز قره‌سو استفاده گردید. پس از انتخاب ساختارهای مناسب مدل SARIMA، عملکرد هر یک از مدل‌ها بر اساس مقادیر پیش‌بینی و مشاهداتی در طی دوره آزمون (۱۳۸۸-۱۳۹۴) بررسی گردید. نتایج بررسی مدل‌های مختلف منطبق بر سری داده‌ها نشان داد مدل خودهمبسته میانگین متحرک فصلی با ساختار $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ برای داده‌های دبی ماهانه ایستگاه یامچی و ساختار $ARIMA(1,1,1)(0,1,1)_{12}$ برای داده‌های دبی ماهانه ایستگاه

معنی‌داری پارامترهای غیر فصلی $AR(1)$ و فصلی $MA(1)$ در هر دو مدل منتخب مربوط به ایستگاه‌های یامچی و ارباب‌کندی، نتیجه حافظه طولانی مدت سری زمانی جریان در حوضه‌های آبخیز مشرف به ایستگاه‌های هیدرومتری و وجود رابطه خطی در مکانیسم‌های تولید جریان همچون فرآیند ذوب برف در پهنه حوضه‌های آبخیز و آب زیرزمینی ورودی به نقطه خروجی حوضه مربوطه است. این نتیجه‌گیری منطبق بر مدل مفهومی ارایه شده توسط Thomas and Fiering (1962) و Salas and Smith (1981) است که وجود فرآیند بارش مستقل را دلیلی بر مدل $ARMA(1,1)$ در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها عنوان کرده بودند. مدرس و اسلامیان (2006) نیز نتایج مشابهی برای حوضه آبخیز زاینده‌رود ارائه داده‌اند و وجود $MA(1)$ در مدل سری زمانی را نتیجه اثرات تغییرات عوامل هواشناسی حوضه بر تغییرات فصلی جریان رودخانه دانسته‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مطالعات Tadesse and Valipour (2015)، Ayare and Dhekale (2017)، Dinke (2015) که در مطالعات خود کارآیی مدل‌های فصلی در پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه را نشان دادند همخوانی دارد. در مطالعات Wagena et al. (2020) و Elganiny and Eldwer (2016) مدل‌های فصلی را در پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه بکار گرفتند نیز کم‌برآوردی در پیش‌بینی مقادیر بالای دبی جریان

حوضه بر تغییرات فصلی جریان رودخانه به خوبی در مدل‌های منتخب، منعکس شده است. بررسی پراکنش زمانی سری داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهداتی نشان داد که در مقادیر حدی بالا، دقت بالایی در پیش‌بینی جریان ماهانه وجود ندارد. دلیل این موضوع به ساختار خطی مدل‌های مربوط به سری‌های زمانی مربوط می‌شود و ممکن است بررسی مدل‌های غیرخطی بتواند

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

ارباب‌کندی برآزش خوبی با داده‌های جریان ماهانه دارد که این موضوع با ارزیابی مدل‌های مختلف با توجه به معیارهای تشخیص به اثبات رسید. معنی‌داری پارامترهای غیر فصلی (AR(1) و فصلی MA(1) در هر دو مدل منتخب مربوط به ایستگاه‌های یامچی و ارباب‌کندی، نتیجه حافظه طولانی مدت سری زمانی جریان در حوضه‌های مشرف به ایستگاه‌های هیدرومتری و وجود رابطه خطی در مکانیسم‌های تولید جریان همچون فرآیند ذوب برف در پهنه حوضه‌های آبخیز و آب زیرزمینی ورودی به نقطه خروجی حوضه مربوطه است. همچنین اثرات تغییرات عوامل هواشناسی

REFERENCES

- Abbasi, M., Araghinejad, S. and Ebrahimi, K. (2019). Evaluation of Moving Average Pre-processing Approach to Improve the Efficiency of Support Vector Regression Model for Inflow Prediction. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(1), 247-258. (In Farsi).
- Abudu, S., Cui, CL., King, JP. and Abudukadeer, K. (2010). Comparison of performance of statistical models in forecasting monthly streamflow of Kizil River, China. *Water Science and Engineering*, 3(3), 269-281.
- Adnan, R. M., Yuan, X., Kisi, O. and Yuan, Y. (2017). Streamflow forecasting of Astore River with Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average model. *European Scientific Journal*, 13(12), 145-156.
- Ahmadi, F., Dinpajoh, Y., Fakheri Fard, A. and Khalili, K. (2014). Comparing linear and nonlinear time series models in river flow forecasting (case study: Baranduz-chai river). *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 37(1), 93-105. (In Farsi).
- Ayare, B.L. and Dhekale, B.S. (2015). Multiplicative seasonal ARIMA modeling of monthly stream flow of Choriti river. *International Journal of Agricultural Engineering*, 8(1), 97-102.
- Bashari, M. and vatankhah, M. (2011). Comparison of Different Time Series Analysis Methods for Forecasting Monthly Discharge in Karkheh Watershed. *Irrigation and Water Engineering*, 1(2), 75-86. (In Farsi).
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1970). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976). *Time series analysis, forecasting and control*. (Revised Ed.). San Francisco: Holden-Day.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. (2008). *Time series analysis: forecasting and control*. (4th ed.). New Jersey: Wiley and Sons.
- Brewer, M., Butler, A. and Cooksley, S.L. (2016). The relative performance of AIC, AICC and BIC in the presence of unobserved heterogeneity. *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 679-692.
- Dastorani, M., Mirzavand, M., Dastorani, M.T. and Sadatinejad, S.J. (2016). Comparative study among different time series models applied to monthly rainfall forecasting in semi-arid climate condition. *Nat Hazards*, 81, 1811-1827.
- 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, 143-153.
- Fernandez, C., Vega, J.A., Fonturbel, T. and Jimenez, E. (2009). Streamflow drought time series forecasting: a case study in a small watershed in North West Spain. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23, 1063-1070.
- Gharde, K.D., Kothari, M. and Mahale, M. (2016). Developed Seasonal ARIMA Model to Forecast Streamflow for Savitri Basin in Konkan Region of Maharashtra on Daily Basis. *Journal of Indian Society Coastal Agriculture Research*, 34(1), 110-119.
- Han, P., Wang, P., Tian, M., Zhang, Sh., Liu, J. and Zhu, D. (2012). Application of the ARIMA Models in Drought Forecasting Using the Standardized Precipitation Index. In 6th International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture, 19-21 Oct., Zhangjiajie, China.
- Hu, C.H., Wu, Z.N., Wang, J.J. and Liu, L. (2011). Application of the Support Vector Machine on precipitation-runoff modelling in Fenhe River. International Symposium on Water Resource and Environmental Protection (ISWREP), IEEE, 2, 1099-1103.
- Khazaei, M. and Mirzaei, M. (2013). Comparison prediction performance of monthly discharge using ANN and time series. *Watershed Engineering and Management*, 5(2), 74-84. (In Farsi).
- Mirzapour, H. and Tahmasebipour, N. (2018). Predicting the monthly discharge of KAKAREZA River using time-series models ARIMA seasonal.

- Wetland Ecobiology*, 9 (4), 75-86. (In Farsi).
- Mirzavand, M. and Ghazavi, R. (2015). A stochastic modelling technique for groundwater level forecasting in an arid environment using time series methods. *Water Resources Management*, 29(4), 1315-1328.
- Modarres, R. and Eslamian, S.S. (2006). Streamflow time series modeling of Zayandehrud river. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, 30(B4), 567-570.
- Moeeni, H., Bonakdari, H. and Ebtehaji, I. (2017). Monthly reservoir inflow forecasting using a new hybrid SARIMA genetic programming approach. *Journal of Earth System Science*, 126(18), 1-13.
- Moeeni, H., Bonakdari, H. and Abdolahi, S. (2016). Performance evaluation of some statistical and soft computing models to predict river flow. *Iran Water Resources Research*, 12(3), 201-206. (In Farsi).
- Mojiri, H. and Halabian, A. (2019). Prediction of the Surface Runoff in Semrom Mehregerd Watershed Using ARIMA Model. *Journal of watershed Management Science*, 13(46), 74-81. (In Farsi).
- Nakhaee, M. and Mirarabi, A. (2010). Flood Forecasting in Sombar River by Time series Analysis using Box-Jenkins Model. *Journal of Engineering Geology*, 4(1), 901-915. (In Farsi).
- Salas, J. D. and Smith, R. A. (1981). Physical basis of stochastic models of annual flows. *Water Resources Research*, 17(2), 428-430.
- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V. and Lane, W.L. (1980). *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. (1st Ed.). Water Resources Publication, Colorado: Littleton.
- Shathir, A.K. and Mohammed Saleh, L.A. (2016). Best ARIMA models for forecasting inflow of HIT station. *Basrah Journal for Engineering Sciences*, 16(1), 62-71.
- 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.
- Tadesse, K.B. and Dinka, M.O. (2017). Application of SARIMA model to forecasting monthly flows in Waterval River, South Africa. *Journal of Water and Land Development*, 35, 229-236.
- Thomas, H. A. and Fiering, M. B. (1962). Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analysis of river basins by simulation. In: *Design of water resources systems*, Cambridge: Harvard University Press.
- Vahdat, S.F., Sarraf, A., Shamsnia, A. and Shahidi, N. (2011). Prediction of monthly mean Inflow to Dez Dam reservoir using time series models (Box-Jenkins). 2011 International Conference on Environment and Industrial Innovation, 4-5 Jun., Asia-Pacific Chemical, Biological & Environmental Engineering Society, Kuala Lumpur. pp. 162-166.
- Valipour, M. (2015). Long-term runoff study using SARIMA and ARIMA models in the United States. *Meteorological Applications*, 22(3), 592-598.
- Wagena, M.B., Georing, D., Collick, A.S., Bock, E., Fuka, D.R., Buda, A. and Easton, Z.M. (2020). Comparison of short-term streamflow forecasting using stochastic time series, neural networks, process-based, and Bayesian models. *Environmental Modelling & Software*, 126:104669.
- Wang, H.R., Wang, C., Lin, X. and Kang, J. (2014). An improved ARIMA model for precipitation simulations. *Nonlinear Processes Geophysics*, 21, 1159-1168.
- Wang, J., Du, Y.H. and Zhang X.T. (2008). *Theory and application with seasonal time series*. (1th ed.). Nankai: Nankai University Press.
- Wang, J., Hu, J., Ma K. and Zhang, Y. (2015). A self-adaptive hybrid approach for wind speed forecasting. *Renewable Energy*, 78, 374-85.
- Wang, Sh., Feng, J. and Liu, G. (2013). Application of seasonal time series model in the precipitation forecast. *Mathematical and computer modeling*, 58, 677-683.
- Wang, W. 2006. *Stochasticity, Nonlinearity and Forecasting of Streamflow Processes*. Amsterdam: IOS.
- Wong, H.W., Zhang R. and Xia, J. (2007). Non-parametric time series models for hydrological forecasting. *Journal of Hydrology*, 332, 337-347.
- Yeh, H. and Hsu, H. (2019). Stochastic Model for Drought Forecasting in the Southern Taiwan Basin. *Water*, 11, 1-15.