



## Forecasting The Water Level of Baldeh Qanat in Ferdows Using Time Series Methods

Shaghayegh Khosravi<sup>1</sup> | Hossein Khozaymehnezhad<sup>2</sup> | Amir Khayat<sup>3</sup> | Zahra Akhondi<sup>4</sup>

1. PhD student in Water Resources, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. PhD student in Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
4. Graduated with an MSc in Hydraulic Structures from the University of Zabol, Zabol, Iran.

✉ Corresponding Author: [Hkhozeymeh@birjand.ac.ir](mailto:Hkhozeymeh@birjand.ac.ir)

Received:  
02 March 2025

Accepted:  
11 May 2025

Published:  
19 March 2025

### Keywords:

*Qanat,  
Akaike Information Criterion,  
Stationarity,  
Autocorrelation.*

### Extended abstract

#### Abstract

Groundwater resources are among the most vital water supply sources for various uses, including drinking, agriculture, and industry, especially in arid and semi-arid regions. In Iran, qanats (traditional underground aqueducts) have historically played a crucial role in sustaining local communities. However, climate variability, declining rainfall, and improper management have significantly reduced qanat discharge in recent years. Accurate prediction of qanat discharge is therefore essential for sustainable water resource management. This study aims to forecast the discharge of the Baladeh Qanat in Ferdows, South Khorasan province, using time series models, providing a scientific basis for future water management decisions in the region.

### Materials and Methods

#### Study Area

The study area is the Baladeh Qanat, located 22 km northeast of Ferdows city in South Khorasan province, Iran.

**Cite this article:** Khosravi, Sh., Khozimehnezhad, H., Khayat, A., & Akhondi, Z. (2025). Forecasting The Water Level of Baldeh Qanat in Ferdows Using Time Series Methods. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 5 (2), 189-202. DOI: 10.22077/jaaq.2025.9039.1104



Copyright: © 2025 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

This ancient qanat, recognized as a UNESCO World Heritage site, currently supplies water for both agricultural and domestic purposes. Discharge data for the past ten years were obtained from the local Agricultural Jihad Organization. The research employed fundamental time series analysis methods, specifically Autoregressive (AR), Moving Average (MA), and Autoregressive Moving Average (ARMA) models. The data were first pre-processed to identify and remove outliers. The data's stationarity was assessed in variance (using the Box-Cox method) and mean (using differencing with a lag of 1). The normality of the data was verified using the Kolmogorov-Smirnov test. After ensuring stationarity, various ARIMA models were fitted to the data, and model selection was based on the Akaike Information Criterion (AIC). The best-fitting model was then used to forecast qanat discharge for the next ten years. All analyses were conducted using Minitab software.

### Results and Discussion

The initial analysis indicated a clear decreasing trend in the qanat discharge over the past decade, necessitating differencing to achieve stationarity in the mean. The Box-Cox test confirmed stationarity in variance. Among the tested models, the AR(2) model was identified as the most suitable based on the lowest AIC value and diagnostic checks using ACF and PACF plots.

The forecast results suggest a significant decline in the qanat's discharge, with an estimated reduction of approximately 433 liters per second over the next ten years. This projected decrease is alarming and highlights the vulnerability of the region's water resources to both climatic and anthropogenic pressures. The findings underscore the urgent need for improved management strategies, including water conservation, qanat maintenance, and adoption of sustainable agricultural practices.

### Conclusion

This study demonstrates the effectiveness of time series models, particularly the AR(2) model, in forecasting the discharge of traditional qanats. The predicted sharp decline in water availability over the coming decade calls for immediate and coordinated water management interventions in the Baladeh region. The methodology presented here can be applied to other qanats and groundwater systems facing similar challenges, aiding policymakers and local stakeholders in making informed decisions for sustainable water resource management.



## پیش‌بینی میزان آبدهی قنات بلده فردوس با استفاده از سری‌های زمانی

شقایق خسروی<sup>۱</sup> | حسین خزیمه‌نژاد<sup>۲</sup> | امیر خیاط<sup>۳</sup> | زهرا آخوندی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

✉ نویسنده مسئول: [Hkhozeymeh@birjand.ac.ir](mailto:Hkhozeymeh@birjand.ac.ir)

## چکیده

یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب برای مصارف مختلف از جمله آشامیدن، کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی، آب‌های زیرزمینی می‌باشند که نقش مهمی در تأمین نیازهای مردم ایفا می‌کنند. به دلیل اهمیت بالای این موضوع، هر ساله پژوهش‌های گسترده‌ای اعم از کمی و کیفی در خصوص این موضوع انجام می‌شود. هدف از این پژوهش پیش‌بینی میزان آبدهی قنات‌های بلده فردوس می‌باشد. در این پژوهش از روش‌های پایه در سری‌های زمانی استفاده شده که شامل مدل‌های خودرگرستی (AR)، میانگین متحرک (MA) و ترکیبی از این دو (ARMA) می‌باشد. داده‌های مورد مطالعه از اداره جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی، شهرستان بیرجند تهیه و مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت بعد از بررسی مانایی داده‌ها به ایستاسازی آن‌ها به روش تفاضل‌گیری با وقفه ۱ پرداخته شد. در ادامه به منظور اطمینان از مناسب بودن بهترین مدل انتخاب شده، از نمودارهای ACF و PACF استفاده گردید و در نهایت مدل انتخابی  $AR(2)$  به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی میزان آبدهی قنات بلده با استفاده از ضریب معیار آکائیک و همچنین با استفاده از نرم افزار Minitab انتخاب شد و به وسیله آن میزان تغییرات آبدهی برای ۱۰ سال بعدی پیش‌بینی گردید. با توجه به افت چشم‌گیر این مقدار در سال‌های آتی، تصمیم‌گیری برای مدیریت آب این منطقه الزامی است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

## کلیدواژه‌ها:

قنات،  
معیار آکائیک،  
ایستایی،  
خودهمبستگی.

## مقدمه

سری زمانی بیانگر یک عبارت هیدرولوژیکی است که به زمان وابسته می‌باشد. برای اولین بار دنیل و همکاران در سال ۲۰۱۱ برای بررسی ویژگی‌های فصلی در یک رودخانه از مدل‌های ساری‌ما و پارما استفاده کردند (Daniel et al., 2011). مدل ساری‌ما یک مدل پیش‌بینی تک‌متغیره در تحلیل سری‌های زمانی است که با افزودن مؤلفه فصلی به مدل‌های آریما ایجاد می‌شود. در نهایت بررسی کارایی مدل تک‌متغیره فصلی ساری‌ما و مدل چندمتغیره فصلی پارما در پیش‌بینی خشکسالی در رودخانه‌ی مورد مطالعه نشان داد که مدل پارما در مقیاس یک ماهه، بر پایه پارامتر کمکی تبخیر و تعرق پتانسیل عملکرد بهتری دارد (Daniel et al., 2011). لودی و همکاران نیز در سال ۲۰۰۷ یک مدل برای سطح آب زیرزمینی ارائه دادند که در آن مدل‌سازی به روش اجزای محدود انجام شده بود و به کمک سری‌های زمانی به پیش‌بینی آن پرداختند (Loudyi et al., 2007). در سال ۲۰۱۰ نیز فاروک در یک پژوهش به بررسی کیفیت آب رودخانه بویوک مندرس که در ترکیه واقع شده است پرداختند. آن‌ها مدل‌سازی را با استفاده از یک روش ترکیبی از مدل‌های شبکه عصبی با سری‌های زمانی انجام دادند و بر این عقیده بودند که عملکرد ترکیب این دو مدل‌سازی بهتر از شبکه عصبی به تنهایی است. یکی از دلایلی که سری‌های زمانی این روزها مورد توجه بسیاری از کاربران و پژوهشگران قرار گرفته، سادگی در محاسبات این مدل‌سازی است. این تحلیل‌ها به انواع گوناگونی از قبیل روش‌های فازی و هوش مصنوعی تقسیم می‌شوند (Faruk, 2010). یونسی و همکارانش در سال ۲۰۱۷ در بررسی کیفیت آب رودخانه لانگات واقع در ایالت سلانگور مالزی پرداختند و از مدل‌سازی باکس جنگیز و آرما استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل آرما به واقعیت نزدیک‌تر است (Younesi, 2017). ستاری و شمسی سوسهباب در سال ۲۰۱۴ به بررسی مدل‌های سری زمانی تجربی و فیزیکی پرداختند و سطح آب زیرزمینی را پیش‌بینی کردند (Sattari & Shamsi Sosahab, 2014). وانگ و همکاران نیز در سال ۲۰۱۵ به پیش‌بینی رواناب سالیانه با استفاده از مدل‌های آریما پرداخت و بر این عقیده واقف بودند که روش تجزیه‌ای هم می‌تواند مدل

آریما را بهبود ببخشد (Wang et al., 2015). آل‌سیاح و همکاران نیز تغییرات اقلیم را در حوضه آبخیز نهر ابراهیم که در ۳ کیلومتری لبنان واقع شده‌است، به کمک شاخص‌های خشک‌سالی طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ با آریما بررسی کردند و به این نتایج دست یافتند که میانگین، حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۰/۹، ۰/۸ و ۰/۷ افزایش و میانگین بارش ۶ میلی‌متر کاهش را تا سال ۲۰۳۰ خواهد داشت (Al Sayah et al., 2020). ایمانی و همکاران، به بررسی بارش ماهانه ایستگاه سینوپیتیک اردبیل با استفاده از مدل‌های تصادفی سری زمانی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مقدار بارندگی سالانه در ۵ سال آینده نسبت به میانگین بارندگی طی ۲۰ سال گذشته، بین ۳ تا ۱۷ درصد کاهش خواهد داشت که بیشترین کاهش آن نیز مربوط به سال ۲۰۲۱ میلادی است (Imani et al., 2021). استان خراسان جنوبی نیز جزء استان‌های کم‌آب کشور محسوب می‌شود و قنات‌ها حکم شاهرگ اصلی را برای ادامه‌ی حیات ساکنین این استان ایفا می‌کنند. اصلاح الگوی مصرف و مدیریت بهینه منابع آبی در این استان از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (Khayat et al., 2025). با توجه به پیشینه مطالعات صورت گرفته در ایران و خارج از ایران و ضرورت آگاهی از وضعیت آبدی قنات به منظور مدیریت بهتر و صحیح‌تر منابع آب به خصوص در نواحی کم‌باران، پیش‌بینی میزان آبدی از مباحث حائز اهمیت محسوب می‌گردد. منطقه‌ای که در این پژوهش مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است قنات بلده در شهرستان فردوس می‌باشد. در پژوهش حاضر، با بهره‌گیری از داده‌های مربوط به آبدی قنات منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ده سال اخیر و به کارگیری مدل‌های سری زمانی، بررسی‌های لازم به منظور پیش‌بینی روند تغییرات آبدی در ده سال آتی صورت پذیرفت. پس از ارزیابی و انتخاب بهترین مدل، نتایج حاصل از پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که آبدی قنات در ده سال آینده با کاهش تقریبی ۴۳۳ لیتر بر ثانیه مواجه خواهد شد. کاهش آبدی پیش‌بینی شده، ضرورت اتخاذ رویکردهای مدیریتی بهینه و پایدار در زمینه بهره‌برداری از منابع آب منطقه را بیش از پیش نمایان می‌سازد. از نوآوری این پژوهش می‌توان به استفاده از روش سری

حدودی ۲۰۰ کیلومتری شمال غرب شهر بیرجند، مرکز استان خراسان جنوبی قرار دارد. در شکل ۱ موقعیت استان خراسان جنوبی در کشور و همینطور موقعیت شهرستان فردوس نشان داده شده است.

### روش پژوهش

#### تشریح مدل‌های خانواده ARIMA

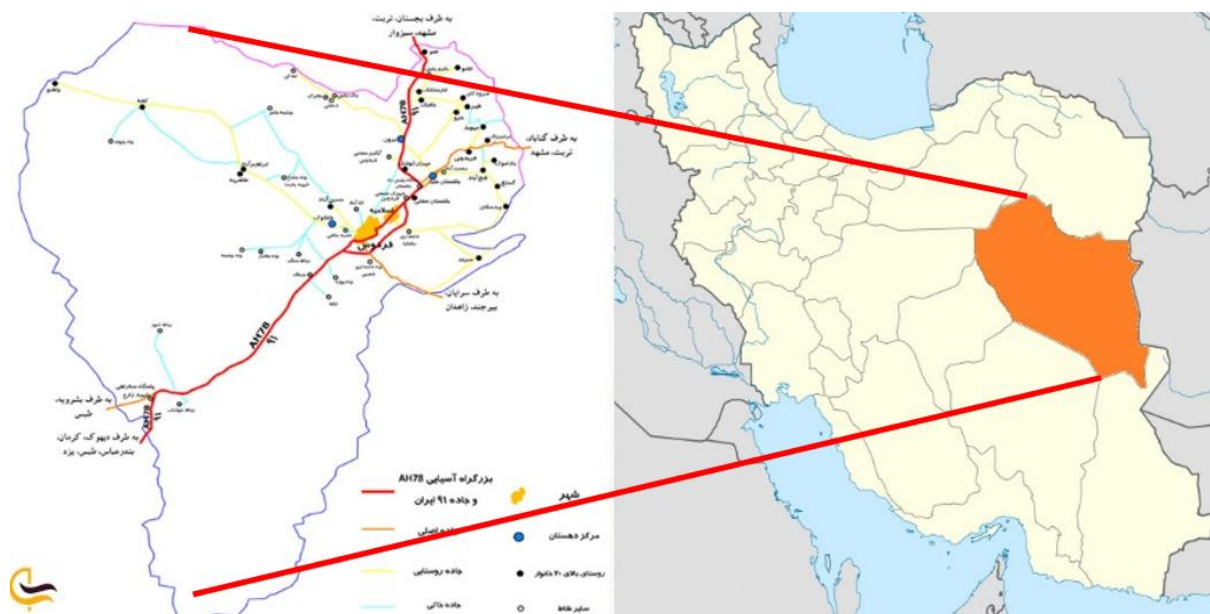
سری‌های زمانی به داده‌های ترتیبی اطلاق می‌گردد که به صورت گسسته در یک بازه زمانی گردآوری شده‌اند. این داده‌ها تا زمان  $t$  به صورت  $(X_1, X_2, \dots, X_{t-1}, X_t)$  می‌باشد؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که پیدا کردن رابطه بین سری زمانی و ساختن یک الگوی مناسب در آنالیز سری زمانی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. یکی از مهم‌ترین اهداف ساختن یک الگوی مناسب برای یک سری زمانی این است که بتوان مقدار آینده سری را نیز با توجه به اطلاعات گذشته آن پیش‌بینی کرد (Ahmadi Shali & Vasfi, 2017). از معروف‌ترین مدل‌ها برای پیش‌بینی سری زمانی، مدل ARIMA با مرتبه  $p, q$  و  $d$  است. در ادامه به شرح کامل هریک از مدل‌ها پرداخته شده است:

زمانی در برآورد میزان آبدهی در سنوات آتی و همچنین ایستاسازی داده‌ها با روش تفاضل‌گیری اشاره کرد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

از نظر شرایط اقلیمی، بخش زیادی از کشور جزء مناطق خشک و همچنین نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. از بارزترین ویژگی‌های این مناطق می‌توان به ناچیز بودن مقدار بارندگی سالانه و توزیع نامناسب بارندگی هم از نظر زمانی و هم مکانی اشاره کرد (Hassanpur & Khozaymehnejad 2017). قنات بلده، یکی از قدیمی‌ترین قنات‌های ایران که در استان خراسان جنوبی و در ۲۲ کیلومتری شمال شرق شهرستان فردوس واقع شده است و در فهرست میراث جهانی یونسکو نیز قرار دارد. این قنات امروزه نیز فعال است و علاوه بر تأمین بخش مهمی از آب موردنیاز زمین‌های کشاورزی، از مکان‌های دیدنی شهر فردوس نیز محسوب می‌شود. قنات بلده در استان خراسان جنوبی و ۲۲ کیلومتری شمال شرق شهر فردوس واقع شده است. این کاریز دارای ۲۷ رشته قنات و ۴ چشمه بوده که در حال حاضر ۱۶ دشته آن فعال است. قنات بلده در فاصله



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان فردوس در استان خراسان جنوبی (Abedini, 2022).

Fig 1. Geographical Location of Ferdous City in South Khorasan Province (Abedini, 2022).

$$Z_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} - p + e_t - \theta_1 Y_{t-1} + \theta_2 Y_{t-2} + \dots + \theta_q Y_{t-q} - q \quad (3)$$

### مراحل پیش‌بینی آبدهی قنات

این مدل‌سازی به وسیله پرکاربردترین مدل‌های آماری (الگوهای خانواده ARIMA) در چندین مرحله انجام شد که در ادامه به بررسی جزئیات هریک از این مراحل پرداخته می‌شود:

### مرحله اول: انتخاب و پیش‌پردازش داده‌ها

در پژوهش پیش‌رو داده‌های مربوط به میانگین آبدهی قنات بلده فردوس در ۱۰ سال اخیر از اداره جهاد کشاورزی دریافت شد و سپس با توجه به ماهیت اصلی سری زمانی، ابتدا به منظور مشخص‌شدن داده‌های پرت و یا غیرقابل قبول یک پیش‌پردازش روی این داده‌ها انجام شد.

### مرحله دوم: آماده‌سازی داده‌ها

یکی از مواردی که باید در این مرحله بررسی شود؛ مانایی مدل می‌باشد. بدین منظور از دو روش اسمیرنوف-کلموگروف و آزمون کای-اسکوئر می‌توان استفاده کرد. باید توجه داشت در صورتی که داده‌ها نرمال نباشند، باید از طریق روش‌های مختلف داده‌ها را نرمال نمود. عدد به‌دست آمده برای مقدار p-value در نرم افزار برابر با ۰/۱۵۰ می‌باشد و با توجه به این‌که این مقدار بیشتر از ۰/۰۵ است می‌توان به این نتیجه رسید که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند (Al Balasmeh et al., 2019).

البته چون پراکندگی داده‌ها در شکل ۲ حول یک خط صاف است؛ می‌توان تا حدودی به این‌که از توزیع نرمال پیروی می‌کند پی برد.

### مدل میانگین متحرک MA(q)

مقادیر مربوط به MA(q) نشان‌دهنده مرتبه‌ی میانگین متحرک است چنانچه  $Y_{t-1}$  و  $Y_{t-q}$  به ترتیب سری زمانی تصادفی نرمال و استاندارد در زمان  $t-1$  و  $t-q$  (مجموعه متغیرهای تصادفی که  $t$  برحسب زمان مرتب شده‌اند) باشد؛ فرایند  $Y_t$  یک فرایند میانگین متحرک مرتبه‌ی  $q$ ، خواهد بود و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Y_t = C + \theta_1 Y_{t-1} + \theta_2 Y_{t-2} + \dots + \theta_q Y_{t-q} + e_t \quad (1)$$

که در آن  $\theta_i$  پارامترهای مدل،  $C$  مقدار ثابت مدل و  $e_t$  باقیمانده‌ی تصادفی در زمان  $t$  است (Ghafourian et al., 2019).

### بررسی مدل خودبرگشتی AR(p)

این نوع مدل عمل رگرسیون‌گیری را بر روی جملات خود اعمال می‌کند و برای سری‌های زمانی ایستا و نایستا کاربرد دارد. اساس این مدل بر پایه زنجیره مارکف در زنجیره زمانی بنا شده است و ساختار کلی آن مانند رابطه (۲) است:

$$Y_t = C + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + e_t \quad (2)$$

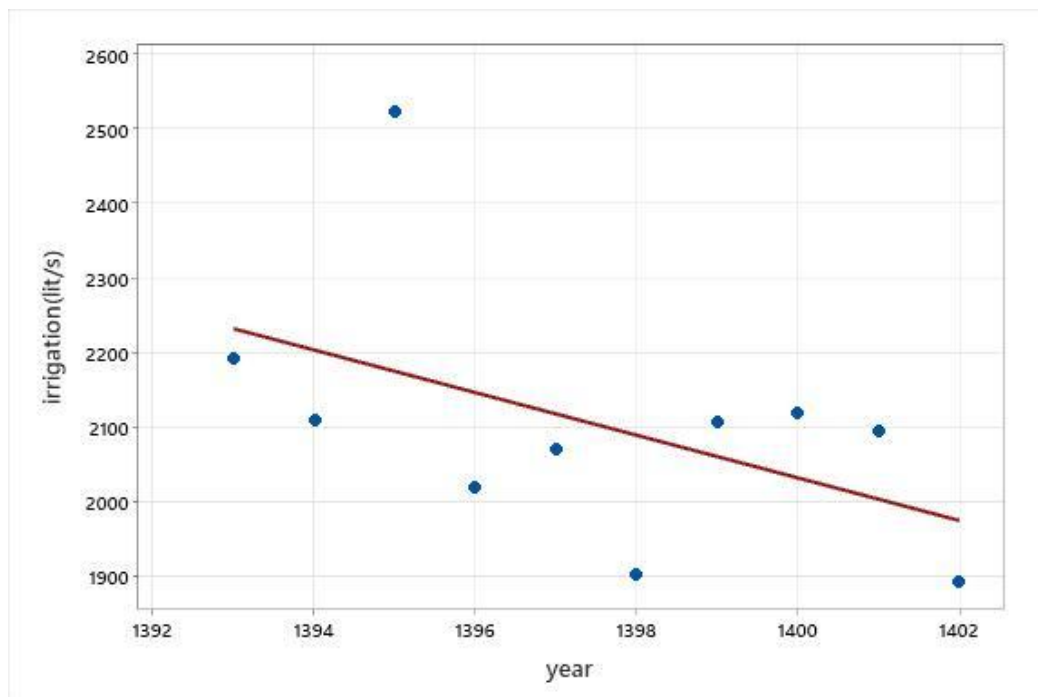
که در آن  $\Phi_i$  پارامترهای مدل،  $C$  مقدار ثابت مدل و  $e_t$  باقیمانده تصادفی در زمان  $t$  است (Ghafourian et al., 2019).

### بررسی مدل اتورگرسیو میانگین متحرک مرکب ARMA

همان‌طور که از اسم این مدل مشخص است از ترکیب دو مدل میانگین متحرک (MA) با مرتبه  $q$  و خودبرگشتی (AR) با مرتبه  $p$  به‌دست می‌آید و ساختار کلی این مدل به شکل رابطه ۳ است (Imani et al., 2022):

جدول ۱. میزان آبدهی قنات بلده در بازه سال‌های ۱۹۰۳-۱۸۹۳ میلادی.

| سال  | میزان آبدهی (لیتر برثانیه)   | سال  | میزان آبدهی (لیتر برثانیه)   |
|------|------------------------------|------|------------------------------|
| Year | Amount of Irrigation (lit/s) | Year | Amount of Irrigation (lit/s) |
| 1393 | 2193                         | 1398 | 1903                         |
| 1394 | 2110                         | 1392 | 2107                         |
| 1395 | 2523                         | 1400 | 2120                         |
| 1396 | 2020                         | 1401 | 2096                         |
| 1397 | 2071                         | 1402 | 1893                         |



شکل ۲. پراکندگی داده‌های مورد مطالعه.

Fig 2. Dispersion of The Studied Data.

(تغییرات افزایشی و یا کاهشی خطی و یا اغلب غیرخطی در کل داده‌ها) وجود دارد. یکی از روش‌های رایج برای ایستاسازی سری‌های زمانی که در میانگین ناپایدار هستند، روش تفاضل‌گیری کردن است که در آن مقدار  $X_t$  مشاهده شده در زمان  $t$ ،  $\nabla^d X_t$  روش تفاضل‌گیری مرتبه  $d$  ام از داده‌ها است که در ادامه روش محاسبه آن آورده شده است:

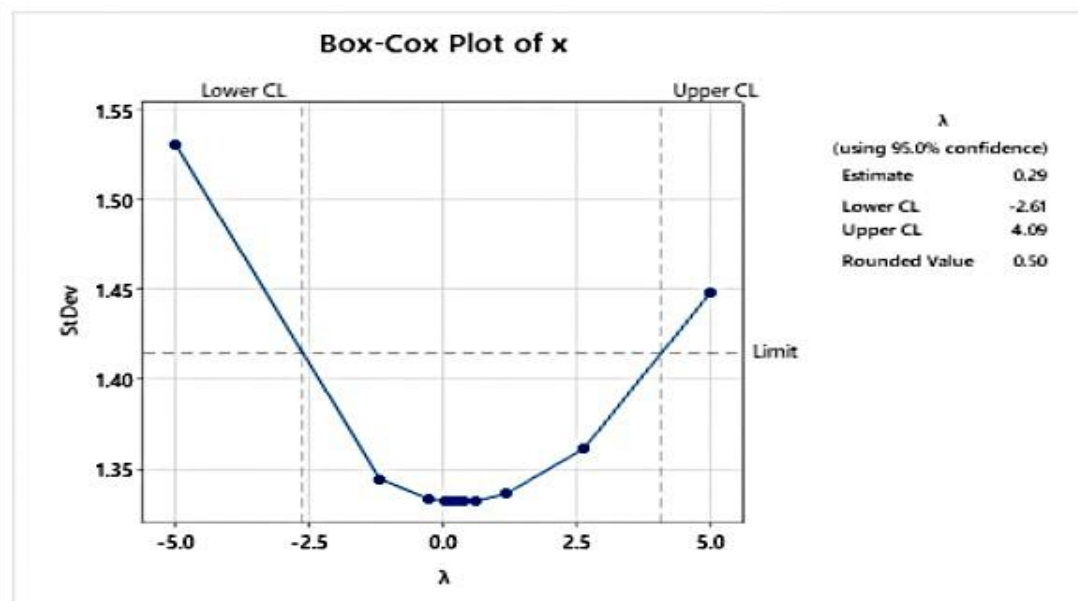
$$\begin{aligned} \nabla^d X_t &= X_t - X_{t-1} && \text{تفاضلات اولیه:} \\ \nabla^2 X_t &= X_t - 2X_{t-1} + X_{t-2} && \text{تفاضلات ثانویه:} \end{aligned} \quad (4)$$

در ادامه داده‌های ایستا شده با وقفه ۱ مشاهده می‌شود (جدول ۲):

در استفاده از روش ARIMA در پیش‌بینی سری‌های زمانی باید به ایستایی داده‌ها توجه داشت. بررسی ایستایی اغلب در دو مرحله ایستایی در واریانس و ایستایی در میانگین بررسی می‌شود.

برای بررسی ایستایی داده‌ها در واریانس از روش باکس-کاکس در نرم افزار Minitab کمک گرفته شده است. چنانچه بعد از ترسیم نمودار حد بالا و پایین در برگیرنده‌ی مقدار عددی ۱ باشد ایستا در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شکل ۳ واحد در نظر گرفته شده توسط نرم افزار، مقدار ۱ را در بر می‌گیرد و ایستا در واریانس محسوب می‌شود.

برای بررسی ایستایی داده‌ها در میانگین با توجه به ماهیت سری زمانی آبدهی، ناپایستایی عمدتاً در بخش اصلی روند



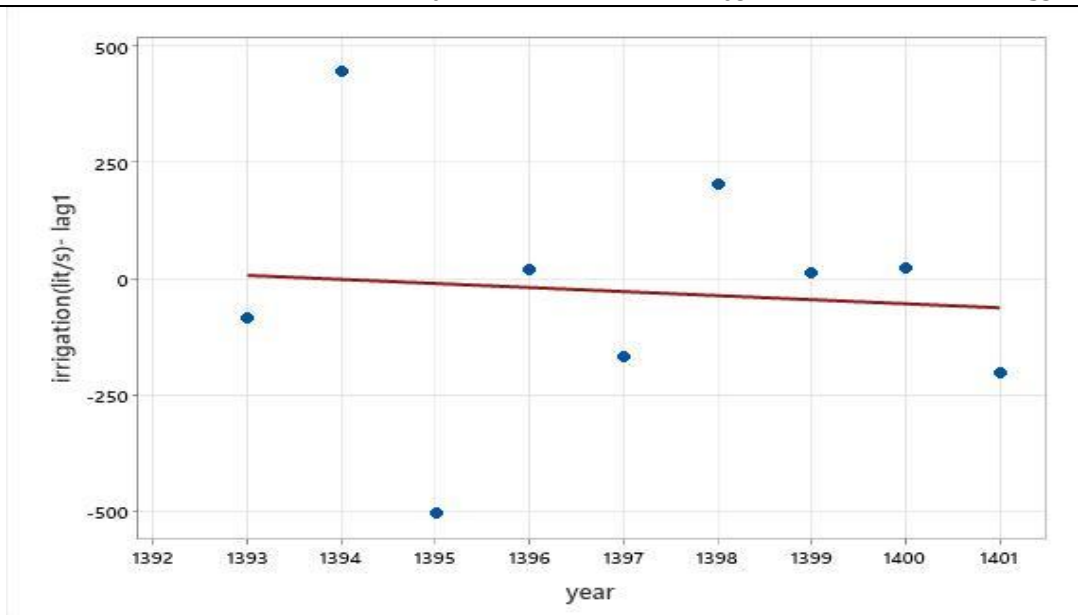
شکل ۳. بررسی ایستایی داده‌ها در واریانس به روش باکس-کاکس.

Fig 3. Checking Data Stationarity in Variance by The Box-Cox Method.

جدول ۲. داده‌های ایستاده قنات بلده.

Table 2. The Static Data of Qanat Baladeh.

| سال  | میزان آبدهی (لیتر بر ثانیه)  | سال  | میزان آبدهی (لیتر بر ثانیه)  |
|------|------------------------------|------|------------------------------|
| Year | Amount of Irrigation (lit/s) | Year | Amount of Irrigation (lit/s) |
| 1393 | -83                          | 1398 | 204                          |
| 1394 | 434                          | 1399 | 13                           |
| 1395 | -503                         | 1400 | 24                           |
| 1396 | 51                           | 1401 | -203                         |
| 1397 | -168                         | 1402 | -                            |



شکل ۴. نمایش پراکندگی داده‌ها پس از تفاضل‌گیری.

Fig 4. Display of Data Scatter After Differentiation.

بعد از تحلیل مدل‌های برازش‌شده و انتخاب مدل نهایی بر این اساس که رفتار مناسب‌تری را برای پیش‌بینی ارائه دهد، بر اساس الگوی گذشته، آینده عناصر اقلیمی پیش‌بینی می‌شود؛ یعنی الگوی به دست آمده از مقادیر گذشته، همان رفتاری را خواهد داشت که در گذشته نزدیک داشته است در برخی مواقع، این فرض صحیح نبوده و فرایند مورد بررسی با زمان تغییر می‌کند. از این جهت، انتظار می‌رود دقت بازآفرینی و پیش‌بینی به سمت انتهای افق پیش‌بینی کاهش یابد با این وصف، مدلی که ثبات بیشتری در بازه اطمینان پیش‌بینی ارائه دهد، از مقبولیت بیشتری برخوردار است (Al Balasmeh et al., 2019).

### نتایج و بحث

هدف اصلی این پژوهش، پیش‌بینی میزان آبدهی قنات بلده فردوس با استفاده از مدل ARIMA در ۱۰ سال آتی بوده است. عوامل متعددی بر آبدهی قنات تاثیر می‌گذارند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: عوامل زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی که شامل نوع و جنس سازنده‌های زمین‌شناسی شیب زمین، سطح ایستایی آب و... بوده. عوامل اقلیمی که شامل میزان بارندگی، نوع بارش و تبخیر و تعرق بوده است. عوامل انسانی از قبیل حفر چاه‌های غیر مجاز و مدیریت نادرست منابع آبی می‌باشد. و در نهایت عوامل ساختاری قنات که شامل طول و عمق مادر چاه، شیب قنات، جنس مصالح و... از جمله عوامل متعددی هستند که بر میزان آبدهی تاثیر گذارند.

بدین منظور با توجه به ماهیت واقعی سری‌های زمانی، میزان آبدهی ابتدا پیش‌پردازش شد تا داده‌های پرت از بین بروند و سپس به بررسی ایستایی داده‌ها در واریانس و میانگین پرداخته شد. برای بررسی ایستایی داده‌ها در واریانس از روش باکس-کاکس استفاده شد و ایستایی تایید شد. در روش تعیین ایستایی در میانگین نیز چون داده‌ها دارای روند کاهشی بودند نایستایی داده‌ها به وضوح دیده شد و با استفاده از روش تفاضل‌گیری با وقفه ۱ داده‌های ایستا در میانگین به دست آمد. نهایتاً با به دست آوردن ضرایب معیار آکائیک و پارامترهای مدل‌های ARIMA بهترین مدل جهت پیش‌بینی داده‌ها در

در کموگراف شکل ۴ مشاهده می‌شود که تقریباً نسبت به شکل ۲ روند کاهشی از بین رفته و داده‌ها تقریباً حول یک خط افقی امتداد پیدا کرده است.

### مرحله سوم: مدل‌سازی

در این مرحله، سری‌های زمانی ایستا شده با توجه به محدوده تغییرات اتورگرسیون و میانگین متحرک، الگوسازی شدند، الگوسازی سری‌های زمانی همواره با شناخت الگو و برآورد پارامترها شروع می‌شود و مدل‌های مختلفی به صورت آزمون و خطا و با مرتبه‌های متغیر بین ۰ تا ۲ انتخاب می‌شوند. بر اساس مراحل انجام‌شده چنانچه مدل پیشنهادی نامناسب باشد؛ باید مدل دیگری را در نظر گرفت. اما در صورتی که بعد از مراحل فوق به دو یا چند مدل مناسب دست پیدا شد و تحلیل برای تشخیص اینکه کدام مدل بهتر است؛ کافی نبود، در آن صورت از روش‌های دیگری از جمله معیار آکائیک<sup>۱</sup> (AIC) و معیار بیزی<sup>۲</sup> (BIC) برای شناسایی و انتخاب مدل مناسب باید استفاده شود. که در این پژوهش از معیار آکائیک بهره گرفته شده است. معیار آکائیک یک روش مناسب برای مقایسه مدل‌های مختلف است (Brockwell & Davis, 1991) و شیوه عملکردی آن به این صورت است که هر مدلی که مقدار عددی معیار آکائیک آن از همه کمتر باشد؛ با توجه به اینکه معیار آکائیک هم برازش مدل بر داده‌ها و هم پیچیدگی مدل را در نظر می‌گیرد نسبت به معیار بیزی کاربردی تر و دقیق‌تر عمل می‌کند. بنابراین مناسب‌ترین مدل است و ساختار کلی این دو معیار به صورت روابط (۵) و (۶) بیان شده است (Marofi et al., 2013):

$$AIC = N \ln(\delta_{\epsilon}^2) + \frac{2N(p+q+1)}{(N-2-p-q)} \quad (5)$$

$$BIC = N \ln(\delta_{\epsilon}^2) + \frac{N(p+q+1)}{(N-2-p-q)} + \ln(N) \quad (6)$$

که در آن  $\delta$  واریانس باقی مانده‌ها،  $N$  تعداد مدل‌ها و  $p$  و  $q$  مرتبه مدل‌ها می‌باشد.

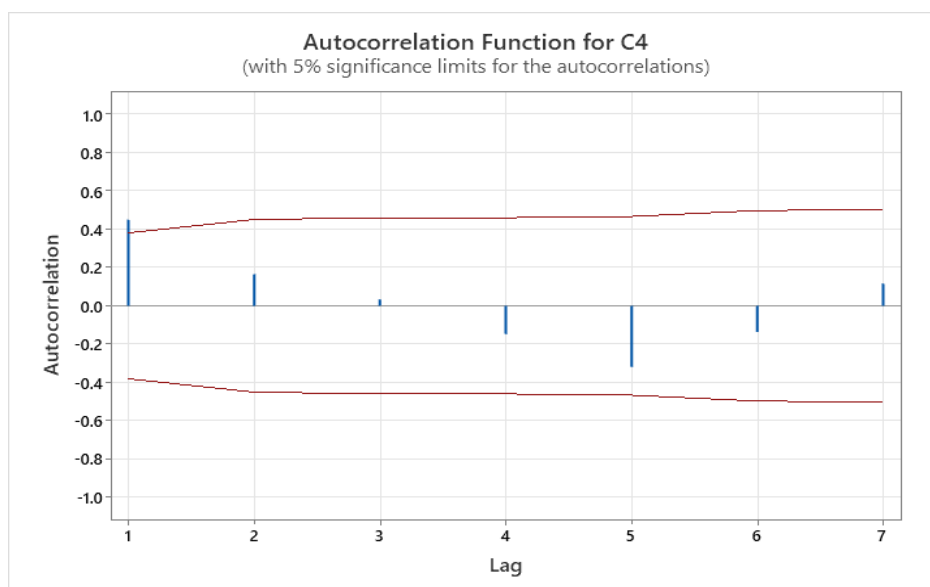
### مرحله چهارم: پیش‌بینی

<sup>1</sup> Akaike Information Criterion

<sup>2</sup> Bayesian Information Criterion

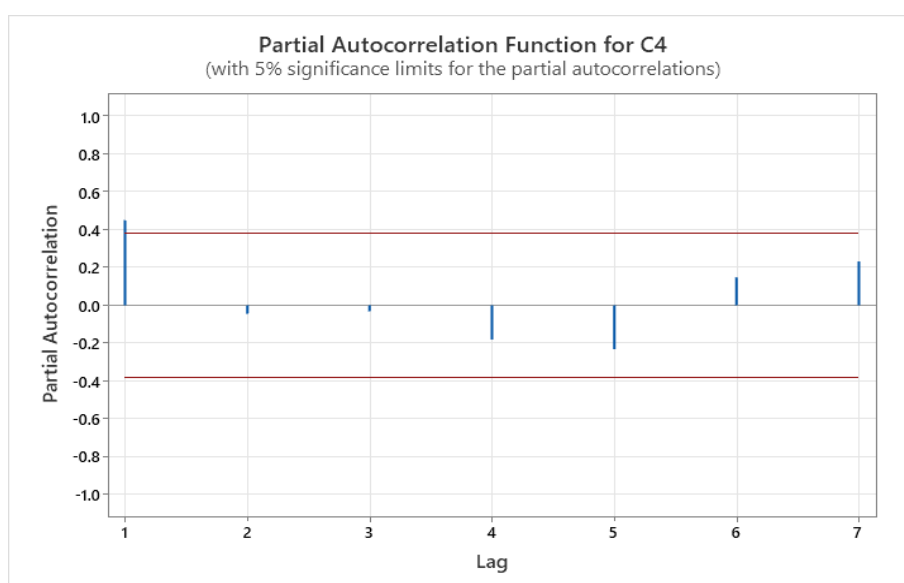
برای بررسی خودهمبستگی جزئی با استفاده از نرم افزار Minitab، از تابع PACF استفاده شده است. این تابع نیز مانند تابع ACF، از دو خط قرمز رنگ که نمایانگر حدود بالا و پایین معنا داری در سطح ۵ درصد می باشد و خطوط آبی که خودهمبستگی در گام های زمانی مختلف را نشان می دهد. هرگاه که یک خط آبی، خطوط قرمز را قطع کند، خودهمبستگی معنا دار می باشد.

سال های آینده انتخاب شد. در ادامه نمودارهای ACF و PACF با استفاده از نرم افزار Minitab رسم شده است. تابع خودهمبستگی از دو خط قرمز رنگ که نمایانگر حدود بالا و پایین از لحاظ معنا داری در سطح ۵ درصد و خطوط آبی همبستگی داده ها را در گام های زمانی متفاوت نشان می دهد؛ در هر گام زمانی که خط آبی خطوط قرمز را قطع کند، همبستگی معنا دار می باشد. در گزارش حاضر همبستگی بر اساس شکل ۵ در گام ۱ در سطح ۵٪ معنا دار است.



شکل ۵. نمودار خود همبستگی داده های آبدی قنات بلده فردوس.

Fig 5. Autocorrelation Diagram of Irrigation Data of Baladeh Ferdous Aqueduct.



شکل ۶. نمودار خودهمبستگی جزئی داده های آبدی قنات بلده فردوس

Fig 6. Partial Autocorrelation Diagram of Irrigation Data of Baladeh Ferdous Aqueduct.

- با توجه به نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی و بررسی جداگانه هریک از این نمودارها با مدل‌های  $AR(1)$ ،  $AR(2)$ ،  $MA(1)$ ،  $MA(2)$ ،  $ARMA(1,1)$  و  $ARMA(2,1)$  مدل انتخابی با در نظر گرفتن موارد ذیل انتخاب شده است:
- ۱- در نمودار PACF که برای انتخاب مرتبه مدل کاربرد دارد؛ باید ارتباط آن با محدوده  $2/\sqrt{n}$  بررسی شود.
- ۲- معیار آکائیک (AIC) بررسی شود.
- در جدول (۳) مقادیر ضرایب AIC و پارامترهای مدل‌های سری زمانی که با استفاده از نرم افزار Minitab به دست آمده بررسی شده‌اند:

جدول ۳- مقادیر ضرایب AIC و پارامترهای مدل‌ها

Table 3. Values of AIC Coefficients and Model Parameters

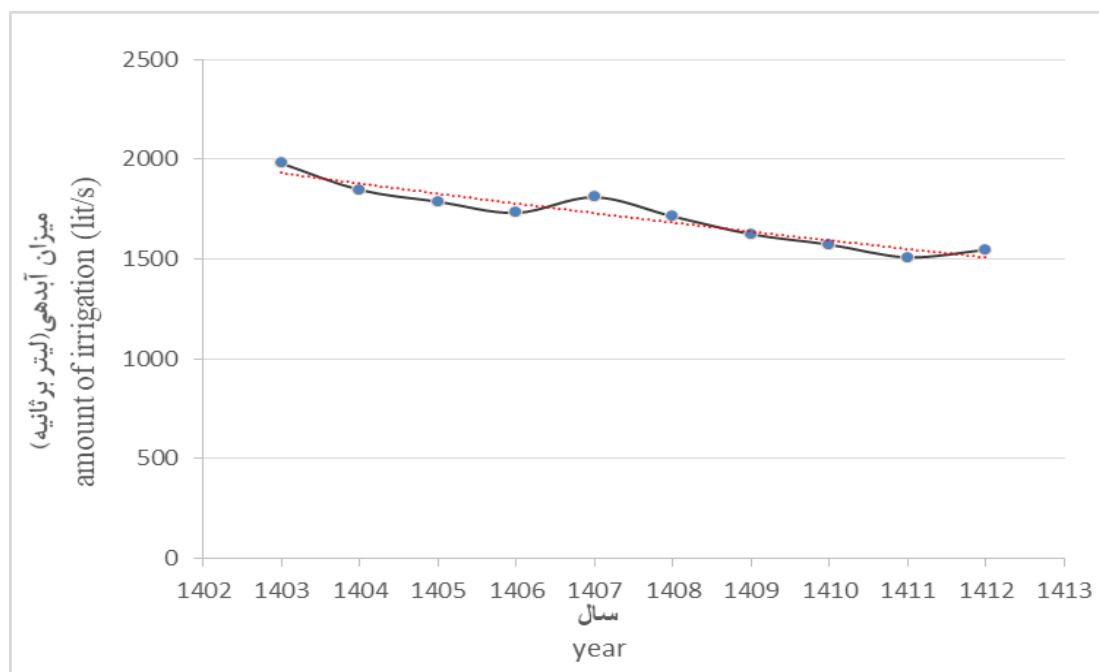
| ضریب AIC<br>AIC coefficient | $\theta_2$ | $\theta_1$ | $\Phi_2$ | $\Phi_1$ | نوع مدل<br>Model |
|-----------------------------|------------|------------|----------|----------|------------------|
| -298.993                    | -          | -          | -        | 0.865    | AR(1)            |
| -167.12                     | -          | -          | -0.078   | 0.765    | AR(2)            |
| -79.705                     | -          | -0.925     | -        | -        | MA(1)            |
| -199.407                    | -0.885     | -0.643     | -        | -        | MA(2)            |
| -367.12                     | -          | -0.132     | -        | 0.356    | ARMA(1,1)        |
| -196.594                    | -0.860     | -0.429     | -        | 0.536    | ARMA(1,2)        |
| -445.36                     | -          | -1.0158    | 0.821    | -0.078   | ARMA(2,1)        |

- و اشتباه بالا در آن رد می‌شوند. بین مدل‌های AR و MA چون مقدار ضریب AIC برای  $AR(2)$  از همه کمتر است؛ پس مدل انتخابی همین مدل می‌باشد (همانطور که قبلاً نیز گفته شد در معیار آکائیک، مدلی قابل قبول است که مقدار این معیار در آن کمتر باشد).
- با استفاده از نرم افزار Minitab و مدل انتخابی  $AR(2)$  مقدار آبدهی قنات بلده فردوس در ۱۰ سال آتی به دست آمد که در جدول ۴ و شکل ۷ مورد اشاره قرار گرفته‌است.
- برای انتخاب مناسب‌ترین مدل جهت پیش‌بینی میزان آبدهی، فاصله‌ی بین گام‌ها، تعداد پارامترها در هر مدل و نهایتاً مقدار عددی معیار آکائیک حائز اهمیت است. از بین مدل‌ها و پارامترهای تعیین شده توسط نرم افزار مینی تب مشهود است که مدل  $ARMA(1,1)$  به دلیل فاصله زیادی که بین گام‌های آن وجود دارد؛ رد می‌شود. مدل‌های  $ARMA(1,2)$  و  $ARMA(2,1)$  به دلیل زیاد بودن تعداد پارامترها و در نتیجه پیچیده شدن محاسبات و امکان خطا

جدول ۴. پیش‌بینی میزان آبدهی قنات بلده فردوس با استفاده از سری‌های زمانی

Table 4. Forecasting the amount of irrigation in Belde Ferdous aqueduct using time series

| سال<br>Year | میزان آبدهی (لیتر بر ثانیه)<br>Amount of Irrigation (lit/s) | سال<br>year | میزان آبدهی (لیتر بر ثانیه)<br>Amount of Irrigation (lit/s) |
|-------------|-------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------|
| 1403        | 1980                                                        | 1408        | 1714                                                        |
| 1404        | 1847                                                        | 1409        | 1625                                                        |
| 1405        | 1788                                                        | 1410        | 1573                                                        |
| 1406        | 1732                                                        | 1411        | 1509                                                        |
| 1407        | 1810                                                        | 1412        | 1547                                                        |



شکل ۷. نمودار پیش‌بینی میزان آبدهی قنات بلده فردوس با استفاده از سری زمانی.

Fig 6. Forecasting Graph of the Amount of Irrigation of the Balde Ferdous Aqueduct Using Time Series.

نمودارها با مدل‌های  $AR(1)$ ،  $AR(2)$ ،  $MA(1)$ ،  $MA(2)$ ،  $ARMA(1,1)$ ،  $ARMA(1,2)$  و  $ARMA(2,1)$  مدل انتخابی  $AR(2)$  بهترین مدل شناخته شد و می‌توان پیش‌بینی کرد که در ده سال آتی روند آبدهی قنات مذکور نزولی بوده و تقریباً ۴۳۳ لیتر بر ثانیه کاهش خواهد داشت.

برای افزایش آبدهی قنات، راه‌کارهای مختلفی وجود دارد که با توجه به شرایط و موقعیت هر قنات، می‌توان از آن‌ها استفاده کرد که در این بخش به چند مورد می‌توان اشاره کرد:

ترمیم و نگهداری صحیح قنات: انجام تعمیرات لازم و جلوگیری از ریزش‌های زمین و گرفتگی‌های ناشی از رسوبات، می‌تواند به افزایش آبدهی کمک کند. بازسازی و بهسازی قنات اثر مثبتی بر جریان آب دارد و از اتلاف آب جلوگیری می‌کند. استفاده از فناوری‌های نوین و مواد کمکی برای تقویت ساختار قنات نیز می‌تواند مفید باشد. مرمت و بازسازی مسیرهای قنات که به دلیل سال‌ها عدم تعمیر و نگهداری دچار انسداد و تخریب می‌شوند، با پاکسازی استوانه‌ها و لوله‌های زیرزمینی، جریان آب را بهبود بخشیده و آبدهی قنات‌ها را افزایش می‌دهد.

مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی: استفاده بهینه از آب‌های زیرزمینی و جلوگیری از استخراج غیرمجاز به

بر اساس نتایج این مطالعه و بعد از سعی و خطای مدل مذکور با مقادیر مختلف مؤلفه‌ها، مشخص شد که مدل  $AR(2)$  بهترین عملکرد را دارد همانطور که در جدول شماره ۴ و شکل شماره ۷ بیان شد میزان آبدهی در قنات مذکور طی ۱۰ سال آینده روند نزولی خواهد داشت و شاهد کاهش حجم آبدهی به مقدار ۴۳۳ لیتر بر ثانیه خواهیم بود.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش با توجه به ماهیت واقعی سری‌های زمانی، میزان آبدهی ابتدا پیش‌پردازش شد تا داده‌های پرت از بین بروند و سپس به بررسی ایستایی داده‌ها در واریانس و میانگین پرداخته شد. برای بررسی ایستایی داده‌ها در واریانس از روش باکس-کاکس استفاده شد و ایستایی تایید شد سپس با استفاده از روش تفاضل‌گیری با وقفه ۱ داده‌های ایستا در میانگین به‌دست آمد. نهایتاً با به‌دست آوردن ضرایب معیار آکائیک و پارامترهای مدل‌های  $ARIMA$  بهترین مدل جهت پیش‌بینی داده‌ها در سال‌های آینده انتخاب شد. در ادامه نمودارهای  $ACF$  و  $PACF$  با استفاده از نرم‌افزار Minitab رسم شده است. نهایتاً با توجه به نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی و بررسی جداگانه هریک از این

تأمین آب پایدار برای نسل‌های آینده اطمینان حاصل کرد.

### منابع

- Abedini, Z. (2022). Places to visit in Ferdows, Travel guide to Ferdows. Rahbal Blog. Retrieved May14,2025, from <https://blog.rahbal.com/ferdows/>
- Ahmadi Shali, J. & Vafsi, M. (2017). Liquidity forecasting based on point and interval estimation of the ARIMA method and its comparison with the double exponential smoothing method. *Financial Economics (Financial Economics and Development)*, 11(40), 159-175. [in Persian]
- Al Balasmeh, O., Babbar, R., & Karmaker, T. (2019). Trend analysis and ARIMA modeling for forecasting precipitation pattern in Wadi Shueib catchment area in Jordan. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4205-z>
- Al Sayah, M. J., Abdallah, C., Khouri, M., Nedjai, R., & Darwich, T. (2021). A framework for climate change assessment in Mediterranean data-sparse watersheds using remote sensing and ARIMA modeling. *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 639-658. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03442-7>
- Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (1991). *Time series: theory and methods*. Springer science & business media. [https://doi.org/10.1007/0-387-21657-x\\_11](https://doi.org/10.1007/0-387-21657-x_11)
- Daniel, E. B., Camp, J. V., LeBoeuf, E. J., Penrod, J. R., Dobbins, J. P., & Abkowitz, M. D. (2011). Watershed modeling and its applications: A state-of-the-art review. *Open Hydrology Journal*, 5(1), 26-50. <https://doi.org/10.2174/1874378101105010026>
- Faruk, D. Ö. (2010). A hybrid neural network and ARIMA model for water quality time series prediction. *Engineering applications of artificial intelligence*, 23(4), 586-594. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2009.09.015>
- Ghafourian, H., Sanaei Nejad, S. H., and Jabbari Nooghabi, M. (2020). Evaluation of Time Series Models in Prediction of Seasonal Precipitation Based on Remote Sensing Data (Case Study: Arid and Semi-arid Climates). *Journal of Climate Research*, 1399(42), 77-94. [https://clima.irimo.ir/article\\_125162](https://clima.irimo.ir/article_125162)
- Loudyi, D., Falconer, R. A., & Lin, B. (2007). Mathematical development and verification of a non-orthogonal finite volume model for groundwater flow applications. *Advances in water resources*, 30(1), 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2006.02.010>
- Hassanpour, M., & Khozaymehnejad, H. (2017). Determination of suitable areas for artificial recharge to increase qanat discharge in the Gonabad
- افزایش آبدهی قنات کمک می‌کند. آبیاری تحت فشار و روش‌های مدرن آبیاری می‌توانند به کاهش مصرف آب و در نتیجه افزایش آبدهی قنات کمک کنند. ایجاد زمینه‌های مساعد برای قرارگیری و نگهداری آب‌های سطحی نیز مؤثر است.
- آگاهی‌بخشی به کشاورزان درباره روش‌های صحیح آبیاری و استفاده بهینه از آب‌های موجود، می‌تواند به بهبود وضعیت قنات و افزایش آبدهی آن‌ها منجر شود. تعامل با مجامع محلی و ایجاد برنامه‌های آموزشی نیز در این راستا اهمیت دارد. آموزش کشاورزان و ساکنان محلی در زمینه روش‌های درست آبیاری و نگهداری از قنات می‌تواند به بهبود وضعیت آبدهی کمک کرده و استفاده پایدار از منابع آب را تضمین کند.
- استفاده از فناوری‌های نوین: به کارگیری حسگرهای دیجیتال و نرم‌افزارهای مدیریتی می‌تواند به بهبود فرآیند پایش و مدیریت آب قنات کمک کند. با تجزیه و تحلیل داده‌ها، می‌توان نقاط ضعف را شناسایی و برنامه‌ریزی بهینه‌تری برای بهره‌برداری از قنات انجام داد. سرمایه‌گذاری در پژوهش و توسعه تکنولوژی‌های مرتبط با قنات و آبدهی نیز بسیار مؤثر است. تحقیقات درباره روش‌های نوین در حفاری و نگهداری قنات، و بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر آبدهی قنات می‌تواند به دستیابی به راه‌کارهای مؤثرتر منجر شود.
- از آن جایی که قنات‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش حیاتی در توسعه کشاورزی و استقرار جوامع محلی ایفا می‌کنند، تغییرات اقلیمی، برداشت‌های بی‌رویه و عدم مدیریت صحیح، سبب کاهش آبدهی این سازه‌های ارزشمند شده است. به منظور حفظ و احیای این قنات و جلوگیری از کاهش آبدهی آن‌ها، اتخاذ تدابیر جامع و پایدار ضروری به نظر می‌رسد. اتخاذ رویکردی جامع و یکپارچه، با در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های فنی، اجتماعی، اقتصادی و قانونی، برای حفاظت از این قنات و جلوگیری از کاهش آبدهی آن ضروری است. اجرای این تدابیر، نیازمند همکاری و هماهنگی بین تمامی ذی‌نفعان، از جمله دولت، کشاورزان، جوامع محلی و سازمان‌های مردم‌نهاد است. با اجرای این تدابیر، می‌توان به حفظ این میراث ارزشمند و

- Sattari, M., Shamsi Sosahab, R. (2014). *Estimation of Groundwater Level in Ardebil Plain Using Artificial Neural Networks*. Pages 1-7. 11th National Students Conference. University of Urmia, Urmia, September 11-13. <https://doi.org/10.1111/gwat.12620>
- Wang, W. C., Chau, K. W., Xu, D. M., & Chen, X. Y. (2015). Improving forecasting accuracy of annual runoff time series using ARIMA based on EEMD decomposition. *Water resources management*, 29, 2655-2675. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0962-6>
- Younesi, H., Torabi Podeh, H., Arshiya, A., & Mirzapour, H. (2017). *Simulation of average monthly flow of Badavar-Noorabad River using time series models*, 6th Scientific Research Conference on Soil Resources Management, Kerman. [in Persian]
- aquifer. *Journal of Auifer and Qanat*, 1(1), 13-25. . <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-2236> [In Persian]
- Imani, R. I. , Ghazavi, R. and Esmali Ouri, A. (2021). Stochastic Monthly Rainfall Time Series Analysis, Modeling and Forecasting ( A case study: Ardebilcity. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 12(44), 84-98. [in Persian]
- Khayat, A., Akhondi, Z., & Khozaymehnezhad, H. (2025). Evaluation of the accuracy of fuzzy neural network in estimating the discharge of Qanats in Birjand city. *Journal of Aquifer and Qanat*. <https://doi.org/10.5040/9780755650828.0007>
- Marofi, S., Khetar, B., Sadeghifar, M., Parsafar, N., & Ildoromi, A. (2013). Drought prediction using SARIMA time series and SPI index in the central region of Hamedan province. *Water Research in Agriculture*, 28(1), 213-225.