Journal of Regional Planning
Autumn 2023. Vol 13. Issue 51
ISSN (Print): 2251-6735 - ISSN (Online): 2423-7051
https://jzpm.marvdasht.iau.ir/

Research Paper

Application of Stochastic Methods and Mathematical Models in Forecasting of Groundwater Fluctuations in Shiraz City

Seyed Amir Shamsnia*: Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
Nazanin Pirnia: M.Sc. Student of Water Engineering, Shiraz branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
Reza Afshin Sharifan: Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

ARTICLEINFO
Received:2022/05/03
Accepted:2022/10/03
PP: 159-174

Use your device to scan and read the article online

Keywords: Model, Groundwater, Shiraz; Stochastic, Time series.

Abstract

Stochastic models will be used as a method, to study changes in time series data in the future. The purpose of this study is to analyzing the groundwater level of piezometer wells in Shiraz, simulating and short-term forecasting of its status in the future using stochastic methods. for modeling In this research, water level statistics of 14 piezometer wells that had more complete statistics from 1993 to 2019 were used and based on ARIMA model and partial autocorrelation and autocorrelation method and with evaluation of parameters and types of models and all possible patterns in terms of being static, suitable model for predicting groundwater level in each well was obtained separately. After validation and evaluation of the model, the groundwater level was predicted in the future years 2020 to 2026. The results of groundwater level forecasting in wells in Shiraz using time series models show that with assuming the consumption pattern remains constant and no noticeable change in the groundwater recharge process, during the next 7 years, on average, we will face a decrease of about 3.5 meters in the groundwater level compared to the current situation. Therefore, due to the significant drop in groundwater level in the future and the limited resources of drinking water supply in Shiraz and the need for more water in the future, appropriate decision-making for supply management and consumption management in this city, seems necessary.

Citation: Shamsnia, S. A., & Pirnia, N., Afshin Sharifan, R. (2023). **Application of Stochastic Methods and Mathematical Models in Forecasting of Groundwater Fluctuations in Shiraz City**.Journal of Regional Planning,Vol 13, No 51, PP: 159-174.
DOI: 10.30495/JZPM.2022.30385.4100
DOR:

* **Corresponding author:** Seyed Amir Shamsnia, **Email:** amir.shamsnia@iau.ac.ir, **Tel:** +989171124857

Extended Abstract

Introduction

Shiraz city, has faced with the problem of water shortage due to the increase in population in recent years. Currently, the most demand of drinking water is supplied by groundwater, which has been declining in recent years. In this research, quantitative status of groundwater will be analyzed according to the available information of the piezometric wells in city, during the last three decades. Then, by using time series models, its fluctuations are investigated and by representing a suitable ARIMA model, water level situation in the future can be predicted. Considering the importance of Shiraz plain aquifer in drinking water supply and the need to predict groundwater level changes to make decisions of relevant managers, for better management of water resources on the one hand and accuracy and ease of using time series models, what has been done in Iran and the world, led to the study of ARIMA time series models in this research.Finally, the purpose of this study is to predict the groundwater level in piezometric wells in Shiraz city by using stochastic methods and time series analysis.

Methodology

In the study area, 14 piezometric wells have been investigated. For predicting future conditions of water level, time series models based on Box-Jenkins, in ITSM software, were used. Model were calibrated with 4 parametes like R2, AIC, RMSE and EF. In the next phase, the suitability of the model is investigated and in short term (7 years), the groundwater level is predicted.

Results and Discussion

Results show that during past 27 years, water level has faced an avreage of 12.7-meter decrese and the general trend of groundwater unit hydrograph is downward and indicates a continuous drop in water level. Groundwater level prediction values obtained from Arima models, show that by assuming the current trend of water withdrawal in groundwater, in the next 7 years, we will face an average of 3.54 meters decrease above groundwater level in piezometric wells of Shiraz city.

Conclusion

The results of this study show that the trend of groundwater level is decreasing and will face water level drop in future.

According to the results of this study, the following can be mentioned:

1- The proposed ARIMA models predict the groundwater level well in short-term. However, the application of the proposed model is not recommended for long-term forecasts.
2- Since the trend of groundwater level changes in the past and in the future according to the results of the predicted model is declining, it is expected that this trend will continue in the following years.
3- By considering the trend of groundwater level changes, it can be concluded that the most important reason for this downward trend is seasonal changes and fluctuations due to reduced rainfall and uncontrolled withdrawal of groundwater resources. Both of which, Have significant affect on the process of water level changes in the future. It is necessary to study the consumption and demand management, in order to save water and prevent its loss in the city as a basic solution.

فصلنامه علمی برنامه‌ریزی منطقه‌ای

دوره ۱۳، شماره ۵۱، پاییز ۱۴۰۲

شاپا چاپی: ۶۷۳۵-۲۲۵۱ – شاپا الکترونیکی: ۷۰۵۱-۲۴۲۳

https://jzpm.marvdasht.iau.ir/

مقاله پژوهشی

کاربرد روش‌های استوکاستیک و مدل‌های ریاضی در پیش‌بینی نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی شهر شیراز

سید امیر شمس نیا* استادیار گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

نازنین پیرنیا: دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

رضا افشین شریفان: استادیار گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱

شماره صفحات: ۱۷۴-۱۵۹

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

واژه‌های کلیدی:

سری زمانی، مدل، آب زیرزمینی، شیراز، استوکستیک

چکیده

مدل‌های استوکستیک به عنوان یک روش جهت بررسی تغییرات داده‌های سری زمانی آینده مورد استفاده قرار می گیرند. هدف از پژوهش حاضر تحلیل وضعیت سطح آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری شهر شیراز، شبیه‌سازی و پیش بینی کوتاه‌مدت وضعیت آن در آینده با استفاده از روش‌های استوکستیک می‌باشد. در این تحقیق جهت مدل‌سازی، از آمار سطح آب ۱۴ عدد چاه پیزومتری که آمار کامل‌تری داشتند از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۸ استفاده شد. سپس بر اساس مدل آریما و روش خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی و با ارزیابی تمامی الگوهای احتمالی به لحاظ ایستا بودن و بررسی پارامترها و انواع مدل‌ها، مدل مناسب جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در هرچاه به صورت جداگانه بدست آمد. پس از اعتبارسنجی و ارزیابی مدل براساس معیارهای ضریب تعیین همبستگی خطی (R^2)، معیار اطلاعاتی ضریب آکاییک (AIC)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب کارایی مدل (EF)، پیش‌بینی مقدار سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۵ انجام گرفت. نتایج حاصل از پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در چاه‌های سطح شهر شیراز با استفاده از مدل‌های سری زمانی نشان داد که با فرض ثابت ماندن الگوی مصرف و عدم تغییر محسوس در روند تغذیه سفره آب زیرزمینی در طی ۷ سال آینده به طور متوسط با کاهش حدود ۳/۵ متر در سطح آب زیرزمینی نسبت به وضعیت فعلی مواجه خواهد شد. بنابراین با توجه به افت قابل ملاحظه سطح آب زیرزمینی در آینده و محدودیت منابع تأمین آب شرب شهر شیراز و لزوم برداشت آب بیشتر در آینده، تصمیم‌گیری مناسب جهت مدیریت تأمین و مدیریت مصرف در این شهر ضروری به نظر می‌رسد.

استناد: شمس‌نیا، سیدامیر؛ پیرنیا، نازنین؛ افشین شریفان، رضا (۱۴۰۲). **کاربرد روش‌های استوکاستیک و مدل‌های ریاضی در پیش‌بینی نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی شهر شیراز** . فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۱۳، شماره ۵۱، مرودشت: صص ۱۵۹-۱۷۴.

DOI: 10.30495/JZPM.2022.30385.4100

DOR:

* **نویسنده مسئول:** سید امیر شمس نیا، **پست الکترونیکی:** amir.shamsnia@iau.ac.ir، **تلفن:** ۰۹۱۷۱۱۲۴۸۵۷

مقدمه

از دیرباز با توجه به نیاز طبیعی بشر به آب و کمبود این مایع گرانبها، ارزش آن صدچندان بوده و در جایگاه مهمی قرار گرفته است. منابع آب زیرزمینی با توجه به اینکه عموماً تحت تأثیر خشکسالی‌های کوتاه مدت قرار نمی‌گیرند و آلودگی‌های کمتری دارند، جهت مصرف آب شرب، بیشتر مورد توجه بشر قرار گرفته است. از سویی دیگر، رشد سریع جمعیت و متناسب با آن نیاز فزاینده به آب آشامیدنی، موجب بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شده و تراز آب زیرزمینی در آبخوان‌ها منفی شده است. لذا می‌توان با اعمال روش‌های مدیریتی مناسب در استفاده از منابع آب موجود، علاوه بر کاهش مخارج سنگین بهره‌برداری، میزان استفاده از منابع آب زیرزمینی را بهینه کرد.

ایران در منطقه نیمه خشک قرار دارد و متوسط بارندگی سالانه آن حدود یک سوم بارندگی جهان است. در دهه‌های اخیر، رشد جمعیت در کشور بالا است و این امر با توجه به محدود بودن میزان آب قابل استحصال، پتانسیل سرانه آب را به شدت تهدید می‌نماید (Rahmani et al. 2004). استفاده از آب زیرزمینی جهت تأمین نیاز آب شرب مناطق شهری به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اهمیت زیادی دارد. به همین دلیل برای تأمین آب در این مناطق لازم است پیش‌بینی دقیقی از نوسانات سطح آب زیرزمینی انجام شود تا بتوان از آن در برنامه‌ریزی تأمین آب قابل اعتماد در مدیریت منابع آب سود جست. استفاده بی رویه از منابع آب زیرزمینی در بسیاری از استان‌های کشور به ویژه استان فارس سبب شده است که تراز آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌ها با استمرار افت مواجه شود، کیفیت آب برداشته شده کاهش یابد، و درنتیجه این دشت‌ها در وضعیت بحرانی باشند (Cheraghi et al. 2020: 83).

شهر شیراز با جمعیتی بالغ بر ۱/۵ میلیون نفر، به عنوان یکی از کلانشهرهای ایران به دلیل افزایش جمعیت در سال‌های اخیر با معضل کمبود آب روبرو شده است. در حال حاضر، درصد زیادی از آب شرب شهر، توسط آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود که در سال‌های اخیر با افت سطح آب مواجه بوده و نیاز آب در آینده را به استفاده از منابع دیگر همانند سد درودزن، وابسته می‌کند. لذا در این تحقیق سعی شده است که وضعیت کمی آب زیرزمینی در سطح شهر با توجه به اطلاعات موجود از سطح پیزومتریک چاه‌های فعال طی سه دهه گذشته مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. سپس با استفاده از مدل‌های سری زمانی، نوسانات آن بررسی و با ارائه مدل مناسب، وضعیت احتمالی آن در آینده مورد پیش‌بینی قرار گیرد.

با توجه به اینکه تغییرات سطح آب زیرزمینی پدیده‌ای مبتنی بر احتمالات با تغییرات زمان است، لذا به منظور مدلسازی و پیش‌بینی تغییرات سطح آب در آینده، از روش‌های استوکستیک و تحلیل سری زمانی استفاده می‌شود. سری‌های زمانی ابزار مهمی در تجزیه و تحلیل مشاهدات دارد. لذا از دیرباز از این تکنیک در علوم مختلف از جمله علوم زمین جهت پیش‌بینی و تحلیل آمار استفاده شده است. کاربرد سری‌های زمانی در هیدرولوژی از ۴ دهه پیش آغاز شد و با ارایه مدل‌های باکس و جنکینز به اوج خود رسید (poormohammadi et al. 2012:252). در سری زمانی به روش باکس و جنکینز با بررسی رفتار گذشته مشاهدات، مدل احتمالی مناسب را پیش‌بینی کرده و بر اساس همان مدل، مقادیر آینده سری را پیش‌بینی می‌کند. از آنجاییکه در سری‌های زمانی نیاز به داده‌های دیگری به عنوان ورودی نمی‌باشد و مدل تنها با استفاده از همان داده‌های سطح ایستابی یا پارامتر موردنظر قادر به پیش‌بینی می‌باشد لذا می‌توان از سری‌های زمانی در علوم هیدرولوژی به طور گسترده استفاده کرد (Poormohammadi et al. 2012:260).

پیشینه تحقیق و مبانی نظری

در راستای استفاده از مدل‌های سری زمانی جهت پیش‌بینی تغییرات تراز آب زیرزمینی، تحقیقات گسترده‌ای طی سال‌های مختلف در جهان به شرح زیر انجام شده است.

Rahmani et al. (2004) در تحقیقی به منظور ارائه مدلسازی و پیش‌بینی وضعیت سطح آب زیرزمینی دشت بهار همدان از مدل‌های سری زمانی استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در صورت ثابت ماندن الگوی مصرف و همچنین عدم تغییرات در روند تغییر سفره در طی ۲۰ سال آینده با کاهش حدود ۱۷/۵ متر نسبت به وضعیت فعلی سطح سفره مواجه خواهند بود که این مورد لزوم تصمیم‌گیری برای مدیریت آب زیرزمینی در محدوده دشت را الزامی می‌کند.

Mirzaee et al. (2005) در پژوهشی نشان دادند که مدل‌های باکس جنکینز با توجه به قابلیت‌های خود توانایی پیش‌بینی سری‌های زمانی داده‌های آب زیرزمینی را دارا می‌باشد. Poormohammadi et al. (2012) در تحقیقی با بررسی کارایی تکنیک شبکه عصبی مصنوعی و سری‌های زمانی در پیش‌بینی سطح ایستابی آب زیرزمینی زیرحوضه بختگان استان فارس، استفاده از مدل‌های سری زمانی از جمله آریما و آرما را در مدیریت بهینه منابع آب پیشنهاد نمودند.

Patle et al. (2015) در پژوهشی روند سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه هریانا هند را با مدل‌های سری زمانی، آزمون من کندال و آزمون شیب سن بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل آریما (۰،۱،۲) به عنوان مناسبترین و دقیق‌ترین مدل سری زمانی جهت پیش

بینی سطح آب زیرزمینی بدست آمده است. همچنین میانگین کاهش سطح آب زیرزمینی در حدود ۰/۳ متر در سال پیش‌بینی شده است. Mirzavand et al. (2016) در پژوهشی پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در محیط‌های خشک در آبخوان کاشان را با استفاده از آنالیز مدل های عدم قطعیت انجام داد. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل AR(2) دقیق‌ترین پیش‌بینی را در سطح آب زیرزمینی در آن منطقه نشان می‌دهد.

Gibrilla et al. (2017) تغییرات سطح آب زیرزمینی در حوزه رودخانه ولتای سفید در کشور غنا را با استفاده از مدل‌های آریما بررسی کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها روند افزایشی در تغییرات فصلی را نشان داد اما در مورد تغییرات سالانه روند مشخصی نشان داده نشده است. همچنین با وجود روند کاهشی بارندگی، می‌توان پیش‌بینی کرد که تغییرات سطح آب زیرزمینی روندی ثابت و کمی افزایشی در حدود ۰ تا ۰/۰۰۶ متر در سال را خواهد داشت. Naseri (2018) در یک پژوهش با ارزیابی افت سطح آب زیرزمینی دشت مرند به مدت ۴۵ سال با ۱۴ روش، الگوی اتورگرسیو تلفیقی میانگین متحرک (ARIMA) را به عنوان مناسبترین الگو پیشنهاد داد. طبق نتایج بدست آمده در این تحقیق از سال ۱۳۶۱، سطح آب زیرزمینی بیش از ۱۷ متر افت داشته است. لذا سناریوهای مختلف صرفه‌جویی برای کاهش اثرات روند نزولی تغییرات سطح آب درنظر گرفته شد. Shahraki et al. (2018) در پژوهشی به پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت کرمان با مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، سری زمانی آریما و رگرسیون خطی چندمتغیره پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که پیش‌بینی عمق آب زیرزمینی به وسیله مدل رگرسیون خطی چند متغیره از مدل‌های شبکه عصبی و سری زمانی آریما بهتر بوده است.

Takafuji et al. (2018) پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی و تحلیل عدم قطعیت آن را با مدل‌های ARIMA در ایستگاه سانتاباربارا برزیل را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های ARIMA در تمام دوره‌های زمانی دقت بالایی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دارند و با بکارگیری ضریب آکائیک بهینه می‌شوند. Jamalizadeh et al. (2020) نوسانات آب زیرزمینی دشت رفسنجان را با استفاده از مدل‌های سری زمانی پیش‌بینی کردند. بر طبق آن پژوهش، سالانه به طور متوسط یک متر افت آبخوان در دشت رخ خواهد داد. Cheraghi et al. (2020) روند تغییر کمی و کیفی آب زیرزمینی در دشت سروستان فارس را بررسی کردند. نتایج بدست آمده با استفاده از آمار ۲۴ چاه مشاهده‌ای نشان داد که تراز آب زیرزمینی در درازمدت به طور متوسط در هر سال ۴۷ سانتیمتر کاهش خواهد یافت. Retike et al. (2022) با استفاده از سری‌های زمانی و شناسایی مدل‌ها و معیارهای ارزیابی مناسب نشان دادند مدل‌های آرما و آریما مدل‌های مناسبی هستند و معیار آکائیکی می‌تواند جهت شناسایی خطاها مؤثر باشد.

لذا با توجه به اهمیت آبخوان دشت شیراز در تأمین آب شرب و لزوم پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی جهت تصمیم‌گیری مدیران زیربط، برای مدیریت بهتر منابع آب از یک سو و دقت و سهولت استفاده از مدل‌های سری زمانی بر اساس نتایج تحقیقات گسترده‌ای که در ایران و جهان انجام شده، موجب شد تا مدل‌های سری زمانی ARIMA در این پژوهش مورد بررسی قرار گیرد. روش فوق، مدلی مبتنی بر تحولات گذشته داده‌ها است که با بکارگیری اطلاعات تراز آب زیرزمینی، وضعیت آتی آبخوان را شبیه‌سازی و پیش‌بینی می‌کند. در نهایت، هدف از این پژوهش، پیش‌بینی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری موجود در کلانشهر شیراز به کمک روش‌های استوکستیک و تحلیل سری‌های زمانی در دوره ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۵ می‌باشد.

مواد و روش تحقیق

از آنجا که در بحث توسعه پایدار و مدیریت کوتاه‌مدت منابع آب، اطلاع از وضعیت میزان آب در دسترس در سفره‌های آب زیرزمینی یکی از موارد ضروری به‌شمار می‌آید، لذا جهت پیش‌بینی این مورد، از مدلسازی و تحلیل سری‌های زمانی استفاده می‌شود. سری‌های زمانی در زمره مدل‌های ریاضی تحلیل داده‌ها و یکی از ابزارهای اصلی در هیدرولوژی است. با شروع دهه شصت، همزمان با توسعه مدل‌های استوکستیک سری زمانی در هیدرولوژی، کاربرد مدل‌های اتورگرسیو آغاز شد. از آن زمان تا کنون تحقیقات زیادی در خصوص مدل‌های سری زمانی انجام شده است (Salehi et al. 2018).

تحلیل سری‌های زمانی معمولاً دو هدف را دنبال می‌کنند. به مدل درآوردن مکانیسم تغییرات فرآیند مورد نظر در طول زمان و پیش‌بینی مقادیر آینده فرآیند (Rahmani et al. 2004).

در یک سری زمانی با بررسی گذشته داده‌ها، مدل احتمالی را شناسایی کرده و سپس با فرض اینکه داده‌ها در آینده نیز رفتاری مشابه خواهند داشت، مقادیر آینده سری را پیش‌بینی می‌کنیم. مدلسازی سری زمانی شامل سه مرحله کلی زیر است: تشخیص مدل اولیه، برآورد پارامتر های مدل شناسایی شده و بررسی مناسبت مدل (Babazadeh et al. 2012:29).

روش ساخت مدل

مدل‌های سری زمانی عبارتند از:

الف) مدل تصادفی خود همبسته (AR (p، ب) مدل میانگین متحرک (MA (q، ج) مدل خود همبسته میانگین متحرک (ARMA (q,p و د) مدل خود همبسته یکپارچه میانگین متحرک ARIMA (Salehi et al. 2018).

الف) مدل تصادفی خود همبسته AR (p) : اساس این مدل بر پایه زنجیره مارکف در زنجیره زمانی بنا شده است.

$$X_t = C + \sum_{i=1}^{p} \varphi_i X_{t_i} + \varepsilon_t \quad (۱)$$

که در آن ϕ پارامتر مدل، C عدد ثابت و ε_t جملات خطا

ب) مدل میانگین متحرک MA (q): در این مدل متغیر در زمان t از روی مقدار تصادفی همان لحظه به علاوه q برابر مقدار تصادفی مربوط به زمان‌های قبل از t برآورد می‌شود.

$$X_t = \mu + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t_1} + \cdots + \theta_q \varepsilon_{t_q} \quad (۲)$$

که در آن μ میانگین سری، θ پارامتر مدل، q مرتبه مدل و ε_t جملات خطا.

ج) مدل خود همبسته میانگین متحرک ARMA (q,p): هرگاه دو مدل قبلی در یکدیگر ادغام شوند، مدل ARMA با مرتبه‌های p و q تصادفی مربوط به زمان‌های قبل از t، برآورد می‌شود:

$$Z_t = \mu + \sum_{i=1}^{p} (Z_{t_i} - \mu) - \sum_{i=1}^{q} \theta_i \alpha_{t_i} + a_t \quad (۳)$$

که در آن Zt مقدار پیش‌بینی شده، Zt-i مقدار متغیر در گام زمانی با تأخیر iام، مربوط به گذشته سری، μ

a_t و a_{t-i} به ترتیب درجه تصادفی زمان i و i-1

د) مدل خود همبسته یکپارچه میانگین متحرک ARIMA : در حالتی که سری زمانی دارای میانگین ثابت نبوده اما تغییرات یا تفاضل‌های متوالی آن ثابت باشد، ممکن است زمانی بتوان مدل‌های ARMA را برای سری‌های ناایستا و بر روی سری شامل تفاضل‌های آن‌ها بکار برد. متناسب با اولین، دومین و یا، در حالت کلی d امین تفاضل، از مدل‌های ساده غیر فصلی، تحت عنوان ARIMA(p,d,q) استفاده می‌گردد.

مدل‌های ARIMA برای پیش‌بینی مقادیر آتی یک سری مفیدند. تفاضل‌گیری از یک سری زمانی جهت حذف ناایستایی سری بکار می‌رود. تفاضل مرتبه اول و دوم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$U_t = X_t - X_{t-1} \quad (۴)$$

$$W_t = U_t - U_{t-1} \quad (۵)$$

در صورت نیاز برای رسیدن به ایستایی، می‌توان تفاضل‌گیری پریودیک را d بار انجام داد. بدین ترتیب، رفتار سری تفاضلی u_t را می‌توان با یک فرآیند ARIMA(p,d,q) با پارامترهای p، q و تعداد تفاضل d مدل نمود (Salehi et al. 2018).

معیارهای ارزیابی مدل

در این تحقیق، از پارامترهای زیر در ارزیابی کارایی مدل استفاده شده است:

- ضریب تعیین همبستگی خطی (R^2)
- معیار اطلاعاتی ضریب آکاییک (AIC)
- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)
- ضریب کارایی مدل (EF)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(H_i - Q_i)^2}{(Q_i - Q_{avg})^2} \quad (۶)$$

$$AIC\ (p+q) = N.\ln(\sigma_\varepsilon)^2 + 2(p+q) \quad (۷)$$

$$RMSE = (\sum_{i=1}^{n} \frac{(H_i - O_i)^2}{n})^{0.5} \quad (۸)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(H_i - O_i)^2}{\sum(O_i - O_{avg})^2} \quad (۹)$$

در معادله‌های بالا: P مرتبه مدل AR ، و q مرتبه مدل MA ، N تعداد داده‌ها، σ_ε واریانس تخمینی، H_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر مشاهده شده و O_{avg} میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

ضریب تعیین همبستگی خطی، میزان انطباق مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهده شده را نشان می‌دهد. هرچقدر این ضریب به عدد یک نزدیکتر باشد نشان می‌دهد که انطباق بهتر صورت گرفته و خطای حاصله کمتر است. ضریب آکاییک (AIC)، تحت تأثیر دو عامل خطای مدل و تعداد پارامترهاست که نشان‌دهنده مناسب بودن این پارامترها برای بررسی مدلهاست. هرچه میزان این ضریب کمتر باشد مدل مناسبتر است (Salehi et al. 2018). جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میزان خطای میان داده‌های محاسباتی و مشاهداتی را بیان می‌کند. لذا هرچقدر این مقدار کمتر باشد، شبیه‌سازی داده‌ها بهتر صورت گرفته است. ضریب کارایی مدل (EF) نیز، هرچقدر به مقدار یک نزدیکتر باشد مدل بهتر است.

یکی از روش‌های مدلسازی سری زمانی، روش باکس جنکینز است که در تحقیق حاضر از این روش استفاده شده است. جهت مدل نمودن تغییرات سطح آب زیرزمینی از مدل آریما با استفاده از نرم‌افزار ITSM و تست ضریب آکاییک (AIC)، استفاده گردید. مطابق این تست، هر مرتبه‌ای که کمترین ضریب آکاییک (AIC)، را داشته باشد از نظر پیش‌بینی و تطبیق ایده‌آل‌تر است.

در ابتدا نمودار سری زمانی رسم می‌شود و درصورت ناایستا بودن در میانگین، سری زمانی را d مرتبه تفاضلی می‌کنیم. همچنین رفتار دو نمودار ACF و PACF بررسی می‌شود. سپس پارامترهای جملات اتورگرسیو و میانگین متحرک تخمین‌زده می‌شود.

در مرحله بعد مناسبت مدل با روش‌های زیر بررسی می‌شود:

۱- در صورت نرمال بودن باقیمانده‌ها نمودار هیستوگرام باقیمانده‌ها به صورت ناقوسی متقارن خواهد بود.

۲- در صورت مستقل و تصادفی بودن، در نمودارهای ACF و PACF هیچ ساختار یا تجاوزی از حدود مجاز مشاهده نمی‌شود.

۳- استفاده از آماره‌های معیار اطلاعاتی ضریب آکاییک (AIC) و آماره‌های ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب کارایی مدل (EF).

در نهایت بعد از انتخاب مدل سری زمانی و بررسی مناسبت آن، پیش‌بینی کوتاه‌مدت انجام می‌شود.

در این تحقیق از آمار تراز آب زیرزمینی در چاه‌هایی استفاده شده است که آمار آن‌ها کامل موجود است. همچنین مدلسازی هر چاه، مستقل از چاه دیگر انجام می‌شود و تعداد چاه‌های انتخابی تأثیری در دقت مدلسازی ندارد. آمار نوسانات ماهانه سطح ایستابی چاه‌های مذکور از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۸، جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در ابتدا نمودار داده‌های سطح آب زیرزمینی مربوط به هرچاه، در نرم‌افزار ITSM رسم می‌شود. سپس برای رفع ناایستایی در میانگین سری زمانی d مرتبه تفاضلی شده است. مدل‌های مختلف با سعی و خطا بررسی می‌شوند. جهت برآورد پارامترهای جملات اتورگرسیو مدل ARIMA از روش Yule-Walker و برای برآورد میانگین متحرک مدل ARIMA از روش Hannen-Rissane استفاده شده است.

پس از انجام مدلسازی در نرم‌افزار و تعیین پارامترهای آن جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل، سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به عنوان شاهد درنظر گرفته شد و مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. در راستای تأیید مدل نیز از شاخص کارایی مدل (EF) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و نمودار همبستگی (R^2) استفاده گردید. در کنار آن، فرض نرمال بودن باقیمانده‌ها با توجه به هیستوگرام آن و فرض استقلال باقیمانده‌ها با توجه به نمودارهای ACF و PACF بررسی می‌شود. سپس با استفاده از مناسبترین مدل، سطح ایستابی در ۷ سال آینده تا سال ۱۴۰۵، پیش‌بینی شده است. در روش سری زمانی تنها از داده‌های سطح ایستابی به عنوان ورودی مدل استفاده می‌شود.

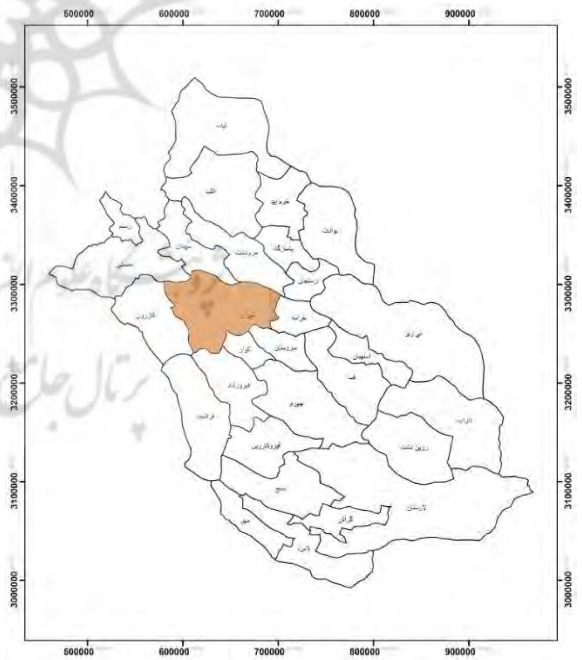
نحوه مدلسازی، صحت‌سنجی و پیش‌بینی با سری زمانی بدین نحو است که در مجموع ۳۴ سال (۱۳۷۲ تا ۱۴۰۵) تغییرات سطح آب زیرزمینی تحلیل گردیده است. حدود ۲۵ سال آن برای مدلسازی اولیه (۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶)، ۲ سال برای صحت‌سنجی (۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸) و ۷ سال آن (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۵) برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی استفاده گردیده است.

محدودهٔ مورد مطالعه

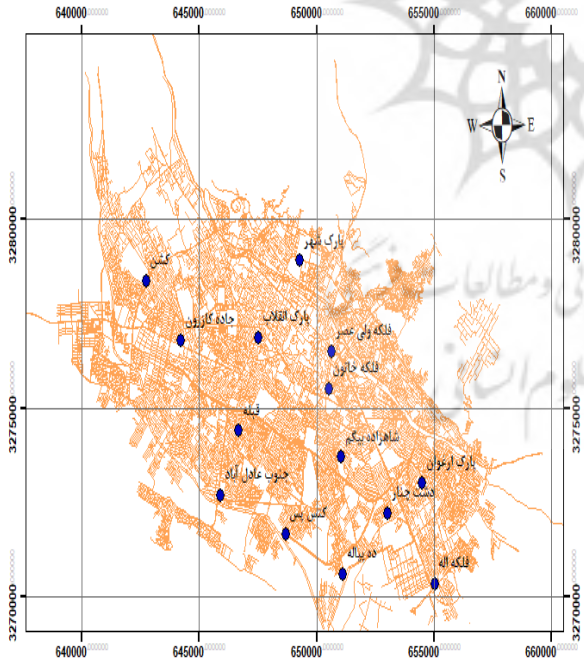
شهر شیراز، مرکز استان فارس بخشی از حوضه آبخیز دریاچه مهارلو می‌باشد و بین عرض‌های جغرافیایی ´۳۰ °۲۹ — ´۴۵ °۲۹ شمالی و طول‌های جغرافیایی ´۳۵ °۵۲ — ´۲۵ °۵۲ شرقی واقع شده است. دشت شیراز از شمال به ارتفاعات باباکوهی و کفترک، از شمال غربی به ارتفاعات کوه دراک، از جنوب به ارتفاعات سبزپوشان و سلطان‌آباد و از شرق و جنوب‌شرقی به ارتفاعات پل فسا و دریاچه مهارلو محدود می گردد (Karimipour et al. 2012:32).

با توجه به اینکه کلانشهر شیراز جهت تأمین نیاز آب شرب کوتاه مدت، به آب‌های زیرزمینی وابسته است لذا هدف از پژوهش حاضر، بررسی وضعیت سطح آب زیرزمینی، شبیه‌سازی و ارائه مدلی جهت پیش‌بینی سطح آب در کوتاه مدت با استفاده از روش‌های آماری تحلیل سری زمانی و مدل‌های استوکستیک در چاه‌های پیزومتریک می‌باشد. طبق مطالعاتی که سابقاً انجام شده، اکتشافات ژئوفیزیکی در دشت بیانگر آن است که لایه آبدار دشت شیراز تا عمق ۲۰۰ متر محدود می‌گردد و در اعماق بیشتر در صورتی که لایه آبداری وجود داشته باشد از کیفیت مناسبی برخوردار نیست (Karimipour et al. 2012:32).

در محدوده مورد مطالعه تعداد ۱۴ حلقه چاه پیزومتریک مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های ماهانه سطح آب در چاه‌های پیزومتری از سال ۱۳۷۲ تا پایان سال آبی ۹۸–۱۳۹۷ و موقعیت جغرافیایی آن‌ها از شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس دریافت گردید. سپس با کسر عمق آب چاه از ارتفاع دهانه چاه، ارتفاع سطح آب درون چاه بدست آمد.



شکل۱- موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه استان فارس (منبع: داده‌های پژوهش، ۱۴۰۱)



شکل۲- محدوده شهر شیراز و پراکنش چاه‌های پیزومتریک بر روی آن (منبع: داده‌های پژوهش، ۱۴۰۱)

بحث و یافته‌های تحقیق

بررسی روند سطح آب زیرزمینی

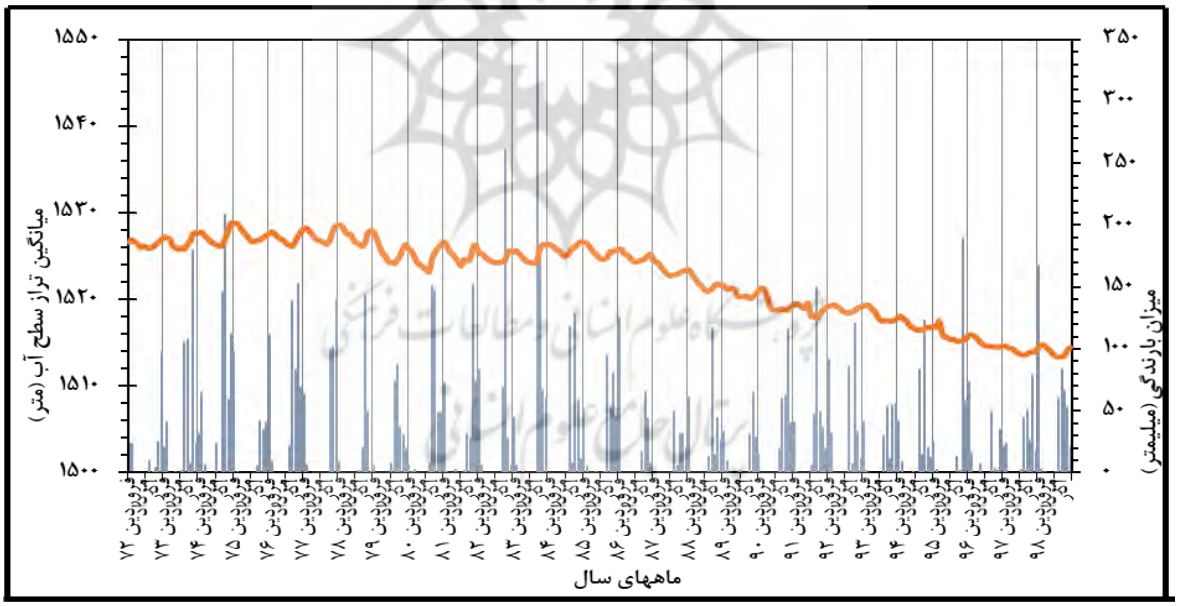
جدول (۱) میزان افت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مورد مطالعه در سطح شهر شیراز را در سال پایه ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در طول ۲۷ سال مورد بررسی، به طور میانگین سطح آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری ۱۲/۹ متر افت داشته است.

همچنین در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۸، هیدروگراف واحد آبخوان آبرفتی، رسم شده است (شکل ۳). روند کلی هیدروگراف واحد آب زیرزمینی، نزولی و نشانگر افت مداوم سطح آب و کاهش ذخایر آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین با توجه به شکل، روند کلی سطح آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری در شش ماهه اول سال نزولی و در شش ماهه دوم سال صعودی است. در این دوره زمانی، افت متوسط سالیانه برابر ۰/۵ متر می‌باشد که حاکی از تغییرات نگران‌کننده‌ای در کاهش ذخایر آب زیرزمینی منطقه است.

جدول ۱- میزان افت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری شهر شیراز طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۸

نام چاه	کشن	پارک شهر	جاده کازرون	پارک انقلاب	فلکه ولیعصر	فلکه خانون	قبله	شاهزاده بیگم	ده پیاله	کنس بس	پارک ارغوان	دشت چنار	جاده عادل‌آباد	فلکه اله	میانگین
میزان افت (متر)	13.4	20.9	13.6	16.9	12.1	10.6	11.1	40.2	7.9	7.5	8.6	14.4	3.4	6.5	12.9

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱



شکل ۳- نمودار هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی و بارندگی ایستگاه بارانسنجی شیراز (منبع: شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس، ۱۴۰۰)

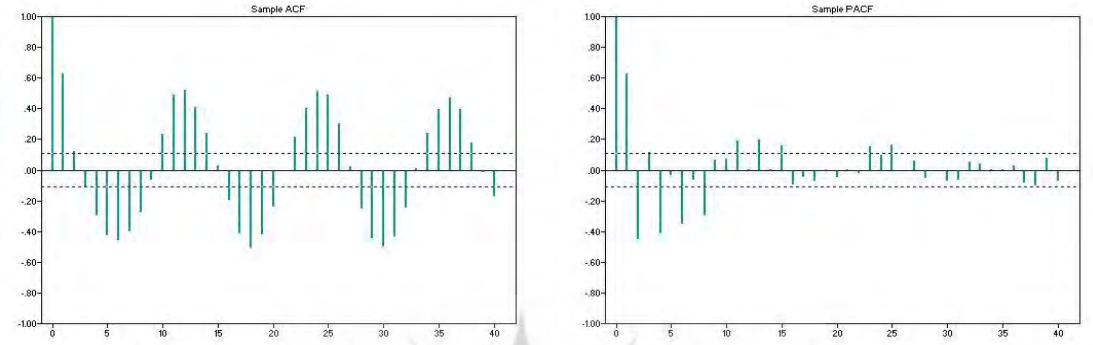
مدلسازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت سطح آب زیرزمینی

در این پژوهش، با استفاده از اطلاعات مربوط به سال‌های گذشته سطح آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری دشت شیراز، اقدام به مدلسازی برای روند تغییرات سطح آب در طول زمان شده و سپس با توجه به مدل ارائه شده، سطح آب در سال‌های آینده پیش‌بینی شده است. بدین منظور، داده‌های سطح آب ماهیانه مربوط به سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۸ جمع‌آوری شد. سپس به منظور مدلسازی و پیش‌بینی سطح آب در آینده، از تحلیل سری زمانی با استفاده از نرم‌افزار ITSM استفاده شده است.

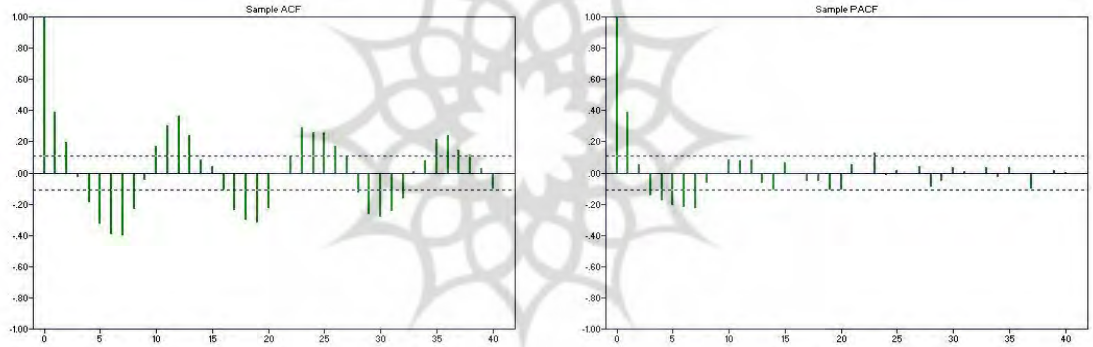
با توجه به اینکه نتایج مراحل تشخیص، تخمین و کنترل برای همه چاه‌های مورد مطالعه مشابه بودند، این نتایج به طور نمونه فقط برای دو چاه پارک انقلاب و دشت چنار شیراز ارائه شده است. اما در نهایت، نتایج کلی تراز سطح آب زیرزمینی مربوط به همه چاه‌ها در جدول (۲)

ارائه شده است. در ابتدا، آمار سطح آب مربوط به سال‌های پایه وارد نرم‌افزار ITSM گردید. سپس نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی رسم گردید تا الگوی اولیه مدل مشخص گردد. نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی داده‌های ایستا شده در شکل (۴) نشان داده شده است.

مطابق نمودارهای مشاهده شده در شکل (۴)، تغییرات منظم فصلی در سری زمانی مشاهده می‌شود. با هر ۱۲ بار مشاهده، الگوی تغییرات سری زمانی تکرار می‌شود و میرایی سریع در همبستگی‌ها دیده نمی‌شود. در نتیجه سری ایستا نیست و دارای تغییرات فصلی است. با توجه به اینکه تغییرپذیری سری زمانی به مرور زمان افزایش می‌یابد لذا سری داده‌ها در واریانس ایستا نیست و بر اساس روش باکس کاکس ایستا گردید.



الف) چاه پیزومتری پارک انقلاب شیراز



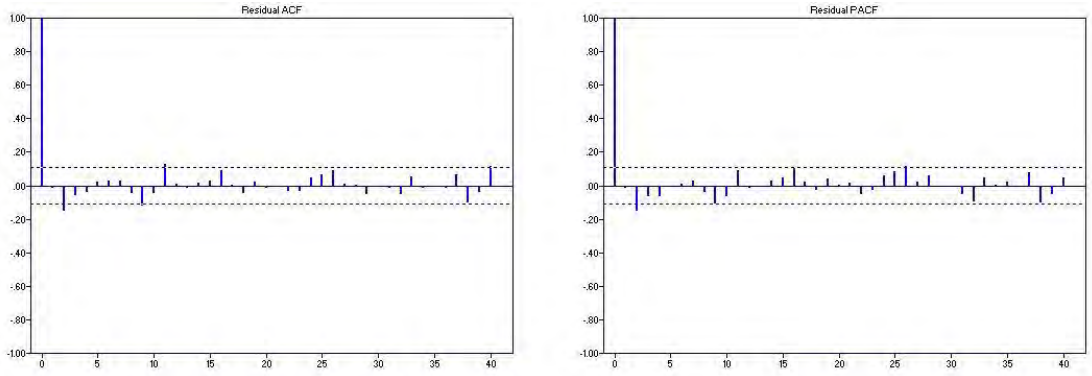
ب) چاه پیزومتری دشت چنار شیراز

شکل ۴- نمودار تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی داده‌های ایستا شده سطح آب زیرزمینی (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱)

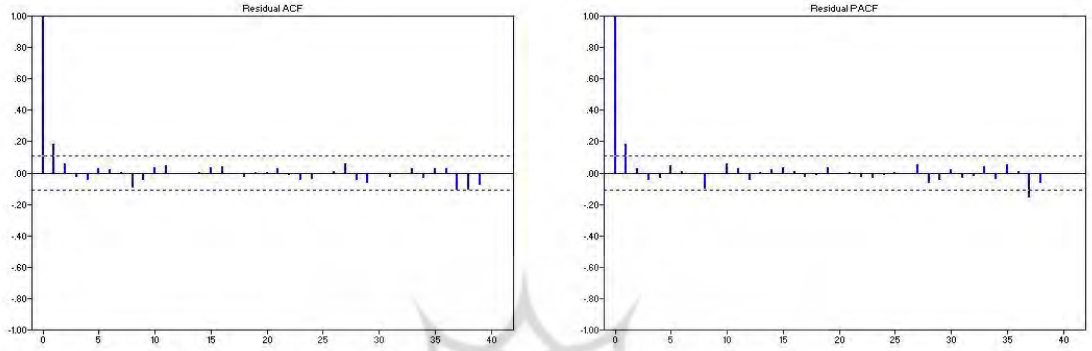
در نمودارهای میله‌ای ACF و PACF شکل (۴)، حدود معنی‌داری آن‌ها با دو خط نقطه‌چین موازی با محور افقی نشان داده شده است. عبور نمودارهای میله‌ای از خطوط نقطه‌چین بیانگر معنی‌دار بودن داده‌ها است. این موضوع لزوم روندزدایی از سری زمانی را مشخص می‌کند. جهت مدلسازی با روش خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) بررسی مقادیر مربوط به اتورگرسیو و میانگین متحرک انجام گرفت و درنهایت مدل مناسبی که جهت تخمین مقادیر سطح آب زیرزمینی هر چاه بدست آمد (جدول ۲). سپس برای تعیین پارامترها، مدل بر سری زمانی برازش داده شد و برای تأیید مدل حاصله از نمودار ACF و PACF باقیمانده‌ها استفاده شد (شکل ۵).

مطابق نمودارهای شکل(۵)، فرض استقلال و تصادفی بودن داده‌ها پذیرفته می‌شود.

در شکل (۶) نمودار هیستوگرام باقیمانده‌ها حاصل از برازش مدل بر روی داده‌های سری زمانی تراز آب زیرزمینی مشاهده می‌شود که نشان دهنده برازش خوب هیستوگرام مقادیر باقیمانده است که بیانگر توزیع نرمال داده‌ها است. به طور کلی شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که مدل‌های ارائه شده به خوبی نوسانات سطح آب زیرزمینی را شبیه‌سازی می‌کنند.



الف) چاه پیزومتری پارک انقلاب شیراز

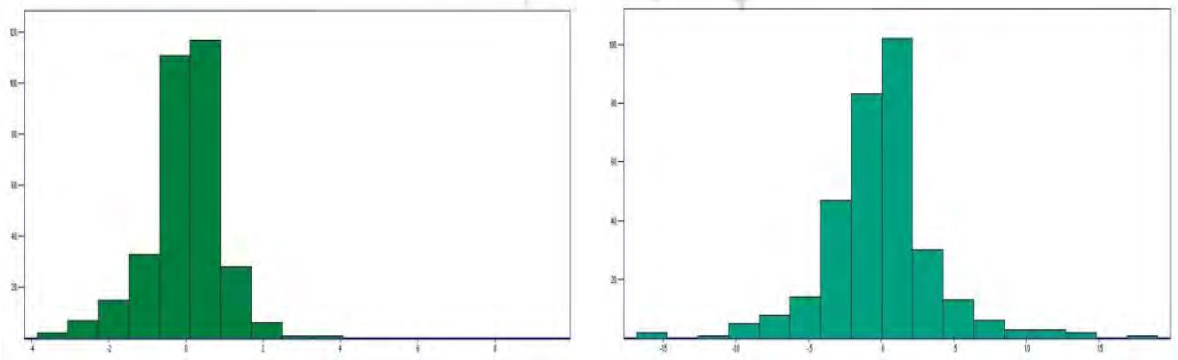


ب) چاه پیزومتری دشت چنار شیراز

شکل ۵- نمودار تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌های سطح آب زیرزمینی (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱)

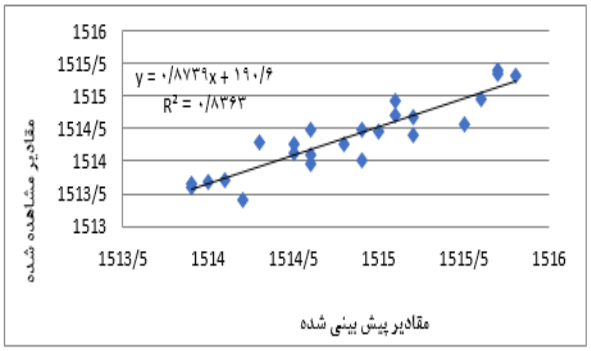
همانطور که قبلاً ذکر گردید، نمودارهای اولیه نشان می‌دهد که داده‌ها دارای روند هستند. لذا به منظور ایستاسازی داده‌ها فرآیند تفاضل‌گیری انجام می‌شود. در مرحله بعد مدل‌های مختلف با سعی و خطا بررسی می‌شوند. با تغییر مقادیر p و q از صفر تا ۲۴ در ترکیب‌های مختلف و تغییر درجه پارامترهای قصلی، کلیه حالات ممکن در نظر گرفته شده و با توجه به نمودارهای ACF و PACF و کمترین مقدار ضریب آکاییک (AIC)، مدل مناسب آریما انتخاب می‌گردد. مناسبت مدل با استفاده از آماره‌های ذکر شده بررسی می‌گردد. درنهایت پس از انتخاب مدل مناسب آریما، سطح آب زیرزمینی در سال‌های آینده با استفاده از نرم‌افزار ITSM پیش‌بینی و نمودار آن رسم شده است.

جهت بررسی دقیق‌تر مدل، آمار سطح آب زیرزمینی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ ارزیابی و اعتبارسنجی گردید. نتایج نشان داد بیشتر داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده و روند آن‌ها شبیه یکدیگر است. به عنوان نمونه در مورد دو چاه پیزومتری پارک انقلاب و چاه دشت چنار، نمودار همبستگی میان مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ با استفاده از مدل سری زمانی بدست آمده رسم گردید. شکل (۷) نمودار همبستگی را نشان می‌دهد.

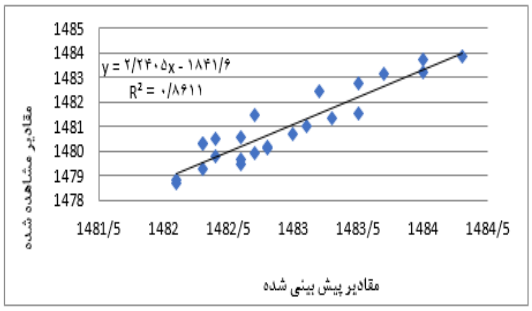


الف) چاه پیزومتری پارک انقلاب شیراز **ب) چاه پیزومتری دشت چنار شیراز**

شکل ۶- نمودار هیستوگرام باقیمانده‌های سطح آب زیرزمینی(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱)



الف) چاه پیزومتری پارک انقلاب شیراز



ب) چاه پیزومتری دشت چنار شیراز

شکل ۷- همبستگی مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده سطح آب زیرزمینی (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱)

ضریب همبستگی (R^2) در هر دو نمودار در شکل (۷)، بالای ۰/۸ است که نشان می‌دهد مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر مشاهده‌شده دارای یک روند هستند. لذا صحت مدل تأیید می‌شود. پس از بررسی نهایی صحت مدل، در مورد هر کدام از چاه‌های پیزومتری مورد مطالعه، یک مدل مناسب آریما انتخاب گردید و آن مدل به عنوان مناسبترین مدل جهت نشان دادن روند تغییرات سطح آب زیرزمینی پیشنهاد گردید. با توجه به نمودارهای ACF و PACF و اینکه باقی‌مانده‌ها دارای توزیع نرمال هستند مدل‌های ارائه شده به عنوان مناسبترین مدل‌ها درنظر گرفته شدند. جدول (۲) مدل‌های آریمای مناسب جهت هر چاه را نشان می‌دهد.

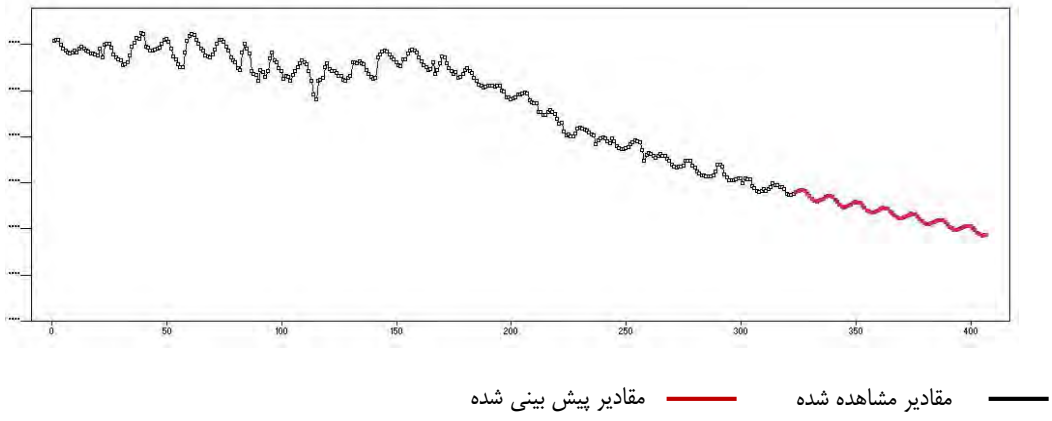
جدول ۲- نتایج انتخاب مدل آریما مناسب و بررسی دقت آماری هر مدل در چاه‌های پیزومتری شیراز

نام چاه	ARIMA	AICC	BIC	R^2	RMSE	EF
کشن	(۲۴،۱،۰)	۳۴۵/۲	۳۵۳/۹	۰/۷۶۳۸	۰/۵۸۲	-۰/۸۳۲
پارک شهر	(۶،۱،۳)	۷۵۹/۱	۷۷۱/۴	۰/۸۴۲۵	۰/۹۰۶	-۰/۲۶۳
فلکه ولیعصر	(۲،۲،۴)	۵۹۹	۵۹۶/۷	۰/۸۸۶	۰/۸۸۹	-۱/۶۱۴
قبله	(۲،۲،۴)	۳۴۴	۳۵۳/۶	۰/۸۳۶۳	۰/۵۱	-۰/۱۴۲
ده پیاله	(۶،۱،۳)	۴۲۷/۳	۴۳۳/۲	۰/۷۷۳۹	۱/۵۸۸	-۳/۵۴۳
پارک ارغوان	(۱۲،۱،۱)	۴۲۰/۶	۴۲۵/۳	۰/۷۴۹۳	۰/۲۴۳	-۱/۳۰۲
جاده عادل آباد	(۲۴،۱،۱)	۴۸۲	۴۸۸/۵	۰/۸۵۰۴	۰/۸۳۴	-۰/۷۹۸
جاده کازرون	(۲۴،۱،۰)	۸۵۲	۸۵۱/۶	۰/۷۶۶	۰/۴۱	-۰/۵۹۹
پارک انقلاب	(۲۴،۱،۳)	۴۹۶/۸	۵۰۱/۹	۰/۸۱۹۴	۱/۰۶۶	-۱/۱۷۵
فلکه خاتون	(۱۲،۱،۰)	۴۱۷	۴۲۱/۲	۰/۹۱۶۴	۰/۷۲۵	-۵/۷۵
شاهزاده بیگم	(۶،۱،۲)	۲۶۳/۸	۲۵۶/۹	۰/۸۴۱	۰/۷۲	-۲/۰۱۷
کتس بس	(۲۴،۱،۳)	۹۲۱/۷	۹۳۴/۳	۰/۸۶۱۱	۲/۲۰۶	-۱/۱۶۶
دشت چنار	(۲۴،۱،۰)	۲۵۴/۹	۲۵۹/۵	۰/۸۲۷۱	۰/۲۳۱	۰/۴۰۷
فلکه الله	(۲۴،۱،۴)	۳۸۲/۵	۳۸۴/۵	۰/۸۱	۰/۷۰۹	-۴/۳۱۵

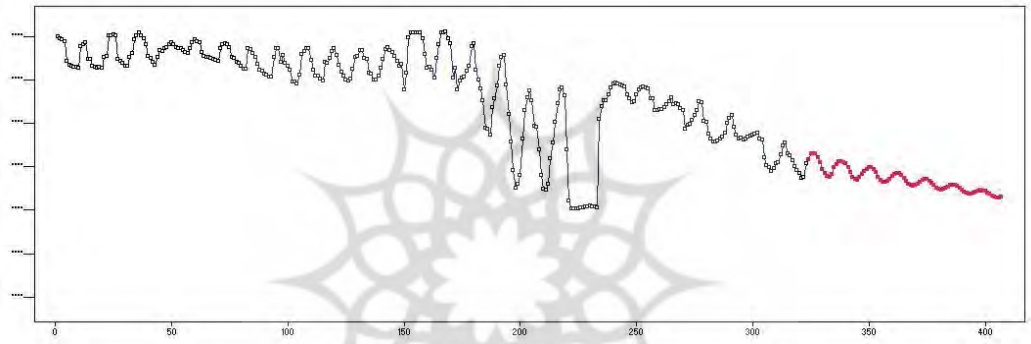
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱)

با استفاده از مدل‌های ذکر شده، سطح آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری سطح شهر شیراز طی ۷ سال آینده (سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۵) با استفاده از نرم‌افزار ITSM پیش‌بینی گردید. مدل‌های آریما یگ گزینه خوب جهت مدلسازی و پیش‌بینی داده‌های سطح آب زیرزمینی است

زیرا داده‌ها با درنظر گرفتن معیار اطلاعاتی آکائیک (AIC)، به صورت خودکار مدلسازی می‌شوند. همچنین نتایج آن‌ها با دقت کافی و رضایت بخش روندهای مناسب را تولید می‌کند. (Salehi et al. 2018)



الف) چاه پارک انقلاب شیراز



ب) چاه دشت چنار شیراز

شکل ۸- نمودار مقادیر سطح آب زیرزمینی مشاهده شده (سال‌های ۷۲ تا ۹۸) و مقادیر پیش‌بینی شده (سال‌های ۹۹ تا ۱۴۰۵) (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱)

در نمودارهای بالا، خطوط و نقاط مشکی نشان‌دهنده روند مقادیر سطح آب در دوره پایه و خطوط و نقاط قرمزرنگ، نشان‌دهنده مقادیر پیش بینی شده تراز آب با استفاده از مدل مناسب آریما و نرم‌افزار ITSM می‌باشد. که این مقادیر روندی ادامه‌دهنده و مشابه مقادیر دوره پایه است.

مقادیر پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی حاصل از مدل‌های آریما نشان می‌دهد با فرض ادامه یافتن روند کنونی در تغذیه سفره آب زیرزمینی و میزان برداشت آب، در ۷ سال آینده به طور متوسط ۳/۵۴ متر، از سطح آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری سطح شهر شیراز، با کاهش سطح آب روبرو خواهیم بود (جدول ۳).

جدول ۳: مقدار سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مورد مطالعه و بررسی میزان افت آن

نام چاه	سطح آب زیرزمینی حال حاضر (متر)	سطح آب زیرزمینی در آینده (متر)	میزان افت سطح آب (متر)
کشن	۱۵۴۱/۱۶	۱۵۳۷/۷	۳/۴۶
پارک شهر	۱۵۰۰/۷۹	۱۴۹۵/۹	۴/۸۹
فلکه ولیعصر	۱۵۰۷/۳۶	۱۵۰۲/۸	۴/۵۶
قبله	۱۵۱۴/۴۴	۱۵۱۱/۴	۳/۰۴
ده پیاله	۱۴۸۹/۳۷	۱۴۸۷	۲/۳۷

نام چاه	سطح آب زیرزمینی حال حاضر (متر)	سطح آب زیرزمینی در آینده (متر)	میزان افت سطح آب (متر)
پارک ارغوان	۱۴۸۲/۷۳	۱۴۸۰/۸	۱/۹۳
جاده عادل آباد	۱۵۲۷/۶۱	۱۵۲۶/۶	۱/۰۱
جاده کازرون	۱۵۲۸/۵۱	۱۵۲۴/۱	۴/۴۱
پارک انقلاب	۱۵۱۳/۴۱	۱۵۰۹/۳	۴/۱۱
فلکه خاتون	۱۵۰۳/۷۵	۱۵۰۱	۲/۷۵
شاهزاده بیگم	۱۴۶۷/۳۲	۱۴۵۷/۳	۱۰/۰۲
کتس بس	۱۵۰۳/۷۶	۱۵۰۱/۷	۲/۰۶
دشت چنار	۱۴۸۰/۵۶	۱۴۷۶/۵	۴/۰۶
فلکه الله	۱۴۸۰/۳۲	۱۴۷۹/۴	۰/۹۲

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱)

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

از آنجاییکه منابع آب زیرزمینی یک عامل مهم در تأمین آب شرب شهرها به شمار می‌رود لذا کاهش سطح آب زیرزمینی عواقب جبران ناپذیری را به دنبال خواهد داشت. به منظور مدیریت صحیح این معضل در آینده، پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب از اهمیت به سزایی برخوردار است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روند سطح آب زیرزمینی کاهشی بوده و در سال‌های آینده با افت مواجه خواهد شد. از سال پایه (۱۳۷۲) تا انتهای بیست و هشتمین سال (۱۳۹۸) سطح آب زیرزمینی بیش از ۱۲ متر افت داشته است. به طور میانگین هرسال حدود ۴۶ سانتیمتر از سطح آب زیرزمینی در این شهر کاسته شده است. در تحقیق حاضر مشابه با سایر تحقیقات انجام گرفته (Rahmani et al. (2004)، Naseri (2018) و Jamalzade et al. (2020)) از مدل‌های ARIMA جهت پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی استفاده گردید و براساس نتایج حاصل میزان افت طی سال‌های آینده تخمین‌زده شد.

در این پژوهش با استفاده از اطلاعات گذشته، روند تغییرات سطح آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری شهر شیراز مورد بررسی قرار گرفته است و با توجه به مدل آریمای انتخاب شده، تغییرات آن در آینده پیش‌بینی شده است. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- نتایج نشان داد مدلهای ARIMAپیشنهادی، تراز آب زیرزمینی را در دوره‌های کوتاه‌مدت بخوبی پیش‌بینی می‌کنند. اما کاربرد مدل ارائه شده برای پیش‌بینی‌های بلندمدت توصیه نمی‌شود. زیرا با افزایش دوره زمانی، از کیفیت پیش‌بینی کم می‌شود.

۲- معیارهای مورد استفاده جهت بررسی صحت مدل، طبق نتایج ارائه شده در جدول ۲، نشان می‌دهد که مدل‌های آریما انتخاب شده در مورد هر چاه، مناسبترین مدل می‌باشد.

۳- از آنجا که روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در گذشته و در زمان آینده طبق نتایج مدل پیش‌بینی شده، نزولی است، انتظار می‌رود این روند تا سال‌های بعد هم ادامه یابد.

۴- با توجه به روند تغییرات سطح آب زیرزمینی می‌توان چنین استنباط کرد که مهمترین دلیل این روند نزولی، تغییرات و نوسانات فصلی بوده که به دلیل کاهش بارندگی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی است که هر دو این عوامل می‌تواند تأثیر معنی داری در روند تغییرات سطح آب در آینده داشته باشد. از طرفی ادامه مداخلات انسانی به موازات تغییرات طبیعی نظیر تغییر اقلیم و خشکسالی‌ها می تواند روند نزولی را در دوره‌های آینده تشدید نماید.

با توجه به کلیه موارد ذکر شده می‌توان اینگونه برداشت کرد که روند نزولی سطح آب زیرزمینی در آینده قطعی است و تبدیل به معضل بزرگی خواهد شد. از آنجا که بخش زیادی از آب شرب شهر شیراز از چاه‌های آهکی تأمین می‌شود لذا این کاهش سطح آب زیرزمینی در آینده منجر به کاهش حجم آب شرب مورد تقاضا در کلانشهر شیراز خواهد شد. منابع دیگری جهت تأمین کمبود آب شرب در آینده باید مدنظر قرار گیرد که می‌توان به تأمین آب از سد درودزن اشاره کرد. با توجه به این معضل مطرح شده در کلانشهر شیراز پیشنهاد می‌شود که

مدیریت بهینه مصرف و تقاضا در جهت صرفه‌جویی آب و جلوگیری از هدررفت آن و مدیریت تأمین در جهت استفاده بهینه از منابع موجود در سطح شهر به عنوان یک راه‌حل اساسی و مهم مورد مطالعه قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی:

پیروی از اصول اخلاق پژوهش: در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی:

تعارض منافع: بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References

1. Afruzi, A., & Zare Abyaneh, H. (2017). Groundwater level modeling and forecasting using time series models: Case study of the plains of Hamedan province. Journal of Watershed Management Research, 8(15), 102-111. [In Persian]
2. Babazadeh, H., Shamsnia, A., Boostani, F., Norouzi Aghdam, E., & Khodadadi Dehkordi, D. (2012). Investigation of drought, wet season, and prediction of climatic parameters of rainfall and temperature in Shiraz region using stochastic methods. Journal of Geography and Planning, 16(41), 23-47. [In Persian]
3. Cheraghi, A. M., Najafi, B., Shajari, Sh., & Javan, M. (2020). The trend of changes in groundwater quantity and quality in the Sarvestan plain of Fars province. Journal of Watershed Management Research, 33(2), 82-96. DOI: 10.22092/wmej.2019.128069.1283 [In Persian]
4. Gibrilla, A., Anornu, G., & Adomako, D. (2017). Trend analysis and ARIMA modeling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. Journal of Geographical Sciences, doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.006
5. Jamalizadeh, M. A., Bazrafshan, O., Mahdavi Najafabadi, R., Azare, A., & Rafee Sardooni, E. (2020). Predicting groundwater level fluctuations using time series models and GMS: Case study of Rafsanjan plain. Ecohydrology, 7(1), 97-109. [In Persian]
6. Karimipoor, A., Rakhshanderoo, Gh., & Banitalebi Dehkordi, G. (2011). Evaluation of the drainage system to lower the groundwater aquifer in Shiraz plain using Pmwin model. Journal of Water and Wastewater, 91(2), 30-41. [In Persian]
7. Mirzavand, M., Sadatinejad, S. A., Ghasemieh, H., Imani, R., & SoleymaniMotlagh, M. (2014). Prediction of groundwater level in arid environment using a non-deterministic model. Journal of Water Resource and Protection, 6(2014), 669-676. doi.org/10.4236/jwarp.2014.67064.
8. Mirzavand, M., & Ghazavi, R. (2014). A stochastic modeling technique for groundwater level forecasting in an arid environment using time series methods. DOI 10.1007/s11269-014-0875-9
9. Nasseri, N. (2019). Comparison of fourteen methods of time series to analyze and predict groundwater changes in Marand Plain-North of Urmia Lake. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 13(1), 58-68. [In Persian]
10. Patle, G. T., Singh, D. K., Sarangi, A., Rai, A., Khanna, A., & Sahoo, R. N. (2015). Time series analysis of groundwater level projection of future trend. Geological Society of India, V85, 232-242.
11. Poormohammadi, S., Malekinezhad, H., & Poorshareyati, R. (2013). Comparison of ANN and time series appropriately in the prediction of groundwater table: Case Study Bakhtegan basin. Journal of Water and Soil Conservation, 20(4) [In Persian]
12. Rahmani, A., & Sedehi, M. (2004). Prediction of groundwater level changes in the plain of Hamedan-Bahar using the time series model. [In Persian]
13. Retike, I., Bikse, J., Kalvans, A., Delina, A., Avotniece, Z., Zaadnoordjik, W., Jemeljanova, M., Popovs, K., Babre, A., Zelenkevics, A., & Baikovs, A. (2022). Rescue of groundwater level time series: How to visually identify and treat errors. Journal of Hydrology, 605, 127294.
14. Salehi, M., Radmanesh, F., Zaree, H., Mansoori, B., & Solgi, A. (2018). Predicting groundwater level by using time series-wavelet combination model. Journal of Irrigation Science and Engineering, 41(4), 1-16. [In Persian]

15. Shahraki, N., Yunesi, M., & Taheri Tizro, A. (2019). Comparison of artificial neural network, ARIMA time series, and multivariate linear regression models in predicting groundwater level changes. Journal of Hydrogeology, 4(1), 126-139. [In Persian]

16. Takafuji, E., Rocha, M., & Manzione, R. (2018). Groundwater level prediction/forecasting and assessment of uncertainty using SGS and ARIMA models: A case study in the Bauru aquifer system (Brazil). Natural Resources Research, doi.org/10.1007/s11053-018-9403-6

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی