



# Evaluating the effectiveness of artificial neural network and multivariate regression methods in investigating the drawdown in the level of aquifers (case study: Arak plain aquifer)

Saadat Hanifian<sup>1</sup> | Mohammad Reza Khaleghi<sup>2</sup> | Mohsen Najarchi<sup>3</sup> | Reza Jafarinia<sup>4</sup> | Javad Varvani<sup>5</sup>

1. Department of Water Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: [shanifian@yahoo.com](mailto:shanifian@yahoo.com)
2. Corresponding Author, Department of Agriculture and Natural Resources, Torbate-Jam Branch, Islamic Azad University, Torbate-Jam, Iran. E-mail: [mr.khaleghi@iau.ac.ir](mailto:mr.khaleghi@iau.ac.ir)
3. Department of Water Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: [m-najarchi@iau-arak.ac.ir](mailto:m-najarchi@iau-arak.ac.ir)
4. Department of Water Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: [r-jafarinia@iau-arak.ac.ir](mailto:r-jafarinia@iau-arak.ac.ir)
5. Department of Natural Resources and Environmental Sciences, Applied Plant Science Research Center, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: [varvani\\_55@iau-arak.ac.ir](mailto:varvani_55@iau-arak.ac.ir)

## Article Info

### Article type:

Research Article

### Article history:

Received 29 January 2023

Received in revised form 13

April 2023

Accepted 01 May 2023

Published online 23 September 2023

### Keywords:

*Aquifer formation,*  
*Artificial neural network,*  
*GWD drawdown,*  
*Multiple linear regression.*

## ABSTRACT

In recent years, the groundwater resources of Arak plain have been under severe stress, so in some areas, due to the drying up of wells, they have increased the depth of wells to access water. In some areas, the groundwater depth (GWD) is high, which will lead to the salinization of those lands in the future. Regional modeling was used to organize and measure the response of the groundwater resources of Arak plain against the implementation of different management and implementation scenarios. This study aims to investigate the effective factors in the GWD to provide a regional model with multiple linear regression (MLR) method for Arak plain aquifer. For this purpose, the average GWD in the Arak plain, as a dependent variable, and the transmissivity of the aquifer formations, groundwater exploitation values, altitude, average precipitation of the region, the amount of evaporation, and the distance from water resources are considered independent variables and regression analysis is done in SPSS software media. It was done to present a linear model. In the next stage, the presented model was evaluated by applying it to places where its statistics and information were not used to present the model, and finally, by applying this model in the GIS environment, the GWD map for the region was created. The study was prepared. Also, an artificial neural network (ANN) was used to simulate the depth of underground water. The performance of the ANN was measured through parameters such as root mean square error (RMSE) and correlation coefficient between real and desired outputs (R). The results of both methods indicate that factors such as the transmissivity of aquifer formations, GWD drawdown, topography (the height of the well site on the level of the watershed), the groundwater exploitation values at the maximum operating radius of the well, and the distance from water resources are the main factors of GWD drawdown. But the effectiveness of ANN in estimating GWD drawdown is higher than the MLR method.

**Cite this article:** Hanifian, S., Khaleghi, M.R., Najarchi, M., Jafarinia, R., & Varvani, J. (2023). Evaluating the effectiveness of artificial neural network and multivariate regression methods in investigating the drawdown in the level of aquifers (case study: Arak plain aquifer). *Journal of Natural Environment*, 76 (3), 399-412. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.353826.2518>





## ارزیابی کارایی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره در بررسی افت سطح آبخوان‌های کشور (مطالعه آبخوان دشت اراک)

سعادت حنیفیان<sup>۱</sup> | محمد رضا خالقی<sup>۲</sup> | محسن نجارچی<sup>۳</sup> | رضا جعفری نیا<sup>۴</sup> | جواد وروانی<sup>۵</sup>

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران. رایانامه: [shanfian@yahoo.com](mailto:shanfian@yahoo.com)

۲. نویسنده مسئول، گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تربت جام، تربت جام، ایران. رایانامه: [mr.khaleghi@iau.ac.ir](mailto:mr.khaleghi@iau.ac.ir)

۳. گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران. رایانامه: [m-najarchi@iau-arak.ac.ir](mailto:m-najarchi@iau-arak.ac.ir)

۴. گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران. رایانامه: [r-jafarinia@iau-arak.ac.ir](mailto:r-jafarinia@iau-arak.ac.ir)

۵. گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی و کشاورزی، مرکز تحقیقات علوم گیاهی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران. رایانامه: [varvani\\_55@iau-arak.ac.ir](mailto:varvani_55@iau-arak.ac.ir)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

در سال‌های اخیر، منابع آب زیرزمینی دشت اراک تحت تنش شدید قرار گرفته است، به طوری که در بعضی مناطق به علت خشک شدن چاه‌های بهره‌برداری، برای دسترسی به آب اقدام به افزایش عمق چاه کرده‌اند. در بعضی مناطق، سطح آب زیرزمینی بالاست که در آینده، زهدار شدن آن اراضی را در پی خواهد داشت. برای ساماندهی و سنجش واکنش منابع آب زیرزمینی دشت اراک در مقابل اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی و اجرایی از مدل‌سازی منطقه‌ای استفاده شد. هدف این مطالعه، بررسی عوامل مؤثر در عمق سفره‌های آب زیرزمینی به منظور ارائه مدل منطقه‌ای با روش رگرسیون چند متغیره برای آبخوان دشت اراک بود. بدین منظور عمق متوسط سفره‌های آب زیر زمینی در دشت اراک، به عنوان متغیر وابسته و عوامل هدایت آبی تشکیلات آبخوان، ارتفاع، متوسط بارش منطقه، میزان تبخیر و فاصله از منابع آبی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد و در محیط نرم‌افزار SPSS تجزیه رگرسیونی به منظور ارائه یک مدل خطی انجام گرفت. در مرحله بعد مدل ارائه شده با بکارگیری در مکان‌هایی که از آمار و اطلاعات آن برای ارائه مدل استفاده نشده بود، مورد ارزیابی و کارایی آن مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با بکارگیری این مدل در محیط GIS نقشه عمق سفره آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد. همچنین از شبکه عصبی مصنوعی ANN برای شبیه‌سازی عمق آب زیرزمینی استفاده گردید. عملکرد شبکه عصبی از طریق پارامترهایی چون خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب همبستگی بین خروجی‌های حقیقی و دلخواه (R) سنجیده شد. نتایج حاصل از هر دو روش نشان داد که عوامل نوع قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان، افت سفره، توپوگرافی (ارتفاع محل چاه در سطح حوضه آبخیز)، مقادیر بهره‌برداری در حداکثر شعاع عمل چاه و فاصله از منابع آب از عوامل اصلی افت آب زیرزمینی می‌باشند اما کارایی شبکه عصبی مصنوعی در برآورد افت آب زیرزمینی بیشتر از روش رگرسیون چندمتغیره است.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

افت آب زیرزمینی،

تشکیلات آبخوان،

رگرسیون چندمتغیره،

شبکه عصبی مصنوعی.

استناد: حنیفیان، سعادت؛ خالقی، محمد رضا؛ نجارچی، محسن؛ جعفری نیا، رضا؛ و وروانی، جواد (۱۴۰۲). ارزیابی کارایی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره در بررسی افت سطح آبخوان‌های کشور (مطالعه آبخوان دشت اراک). محیط زیست طبیعی، ۷۶ (۳)، ۳۹۹-۴۱۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.353826.2518>



## مقدمه

در بسیاری از کشورهای خشک جهان از جمله ایران اصلی‌ترین منبع تأمین آب، ذخایر آب زیرزمینی بوده و نقش کلیدی در پایداری منابع آب ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر به علت خشکسالی‌های پیاپی و تغییر اقلیم در مناطق مختلف کره زمین و همچنین برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی، تراز آب زیرزمینی در این نواحی دچار تغییرات محسوسی شده است. ارزیابی و اعمال مدیریت صحیح در این منابع، مستلزم داشتن اطلاعات کافی از وضعیت آبخوان می‌باشد. بنابراین، برآورد و شبیه‌سازی روند افت آب زیرزمینی دارای اهمیت فراوانی است که در سال‌های اخیر توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Priyanka and Mahesha, 2015; Vaheddoost and Aksoy, 2018).

شناخت رفتارهای یک سیستم سفره آب زیرزمینی به انجام تحقیقات بلند مدت برای هر منطقه نیاز دارد که با توجه به وضعیت کنونی و سقف محدود بودجه‌ها عملاً امکان‌پذیر نیست. از طرفی، مدل‌های رایانه‌ای ابزاری برای مدیریت منابع آب فراهم نموده‌اند (Gualbert and Essink, 2001) و امروزه استفاده از مدل‌های ریاضی نرم‌افزاری برای پیش و مدیریت آب‌های زیرزمینی توسعه چشمگیری یافته است (Chelsea and Wan, 2013; Nofal et al., 2015). در این میان، با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، می‌توان شرایطی مشابه آنچه در طبیعت موجود است را به وجود آورد. در این زمینه یکی از روش‌های، مؤثر و سریع مطالعه چگونگی حرکت، بررسی بیلان و مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، روش‌های غیر مستقیم مطالعه یعنی استفاده از مدل‌های کامپیوتری است. این مدل‌ها شرایط طبیعی سفره را با یک سری روابط ریاضی شبیه‌سازی می‌کنند. روش‌های هوش مصنوعی اخیراً به صورت گسترده برای برآورد و شبیه‌سازی نحوه هجوم آب‌های شور به سمت آبخوان‌های شیرین استفاده شده‌اند. به عنوان مثال، Lallahem و همکاران (۲۰۰۵)، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی<sup>۱</sup> (ANN) به ارزیابی تغییرات سطح آب زیرزمینی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ANN کارایی مطلوبی در برآورد سطح آب زیرزمینی دارد. Ioannis (۲۰۰۵)، برای برآورد سطح آب زیرزمینی از مدل ANN با روش پس انتشار خطا و الگوریتم لونیگ مارکوات<sup>۲</sup> (LM) استفاده کرد و به این نتیجه رسید که این مدل قادر است با استفاده از داده‌های محدود، برآورد قابل قبولی را برای سطح آب زیرزمینی در آینده ارائه دهد. Krishna (۲۰۰۸)، با استفاده از ANN به مدل‌سازی آب زیرزمینی در شهر ساحلی کاکینادا در هند پرداخت و به این نتیجه دست یافت که این مدل با متد پس انتشار خطا<sup>۳</sup> (BP) و الگوریتم LM بهترین پیش بینی را ارائه می‌دهد. Azari و Samani (۲۰۱۸) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پارامترهای سفره آب زیرزمینی نامحدود را تعیین نمودند. آن‌ها برای آموزش مدل عصبی از روش پس-خور استفاده نمودند. Roshni و همکاران (۲۰۱۹) نوسانات تراز آب زیرزمینی درون سفره‌های مرکب را توسط شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور و مدل ترکیبی ویولت-شبکه عصبی مصنوعی برآورد کردند. آن‌ها با بررسی نتایج مدل‌های عددی بیان نمودند که مدل ترکیبی مقادیر تابع هدف را با دقت بهتری شبیه‌سازی کرد. Zare و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که شبکه عصبی به خوبی قادر است رفتار کمی و کیفی سیستم آب زیرزمینی را شبیه‌سازی کند. از یک طرف، به دلیل برداشت زیاد از سفره‌های آب زیرزمینی، مدل‌سازی پارامترهای کمی و کیفی این منابع تأمین آب شرب از اهمیت به‌سزایی برخوردار هستند. از طرف دیگر، تکنیک‌های هوش مصنوعی و مدل‌های عددی از دقت قابل قبولی برخوردار هستند. علاوه بر این، سرعت بالای محاسبات و کاهش هزینه‌های آزمایشگاهی و مطالعات میدانی از دیگر مزایای استفاده از روش‌های عددی محسوب می‌شوند. همچنین، اخیراً مدل‌های عددی به صورت گسترده‌ای برای شبیه‌سازی مسائل مختلف بکاربرد گرفته شده‌اند و روز به روز بر محبوبیت آن‌ها افزوده می‌شود. در حوضه آبریز اراک، عمده تقاضا برای آب شرب و کشاورزی از طریق آب زیرزمینی تأمین می‌شود. فعالیت اقتصادی مهم در این دشت کشاورزی است و همچنین عمده تقاضا برای آب از طریق آب زیرزمینی تأمین می‌شود. بنابراین به منظور مدیریت هرچه مؤثرتر این منابع، مطالعه و بررسی سطح آب زیرزمینی در این دشت ضرورت دارد. مشاهده هیدروگراف واحد ۱۰ ساله دشت نشان داد تراز سطح آب زیرزمینی طی این مدت حدود ۶ متر افت داشته است. بنابراین کنترل برداشت از سفره اهمیت فراوان دارد. به طور کلی عوامل مؤثر در نوسانات عمق آب زیرزمینی شامل: نوع قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان، افت سفره، توپوگرافی (ارتفاع محل چاه در

<sup>۱</sup>Artificial Neural Network

<sup>۲</sup>Levenberg Marquart

<sup>۳</sup>Back propagation

سطح حوضه آبخیز)، مقادیر بهره‌برداری در حداکثر شعاع عمل چاه و فاصله از منابع آب می‌باشد (Zhang, 2001; Brunner and Kinzelbach, 2005). هدف از تحقیق حاضر بکارگیری روش رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد نوسانات عمق آب زیرزمینی و مقایسه عملکرد و کارایی این دو روش در شبیه‌سازی نوسانات آب زیرزمینی در دشت اراک می‌باشد. بنابراین در این مطالعه به بررسی وضعیت تغذیه و تخلیه آبخوان دشت اراک پرداخته می‌شود. این امر به مدیریت بلندمدت آبخوان می‌انجامد و موجب تصمیم‌گیری مناسب توسط برنامه‌ریزان می‌شود. نتایج این نوع تحقیقات می‌تواند به‌عنوان راهکارهایی برای مدیریت و کنترل بحران کمی منابع آب زیرزمینی استفاده شود. به‌طور مثال، می‌توان با پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت، محل‌های مناسب را برای تغذیه مصنوعی آبخوان شناسایی و از افت بی‌رویه سطح ایستابی و تأثیرات بعد از آن جلوگیری به‌عمل آورد. با بررسی وضعیت کنونی منابع آب و نیز ارزیابی راهکارها و دستورالعمل‌های مختلف می‌توان به جلوگیری از ایجاد بحران و حتی برون‌رفت از آن امیدوار بود که این کار تنها با جامع‌نگری و لحاظ همه مؤلفه‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر در وضعیت منابع آب ممکن خواهد شد.

### روش‌شناسی پژوهش

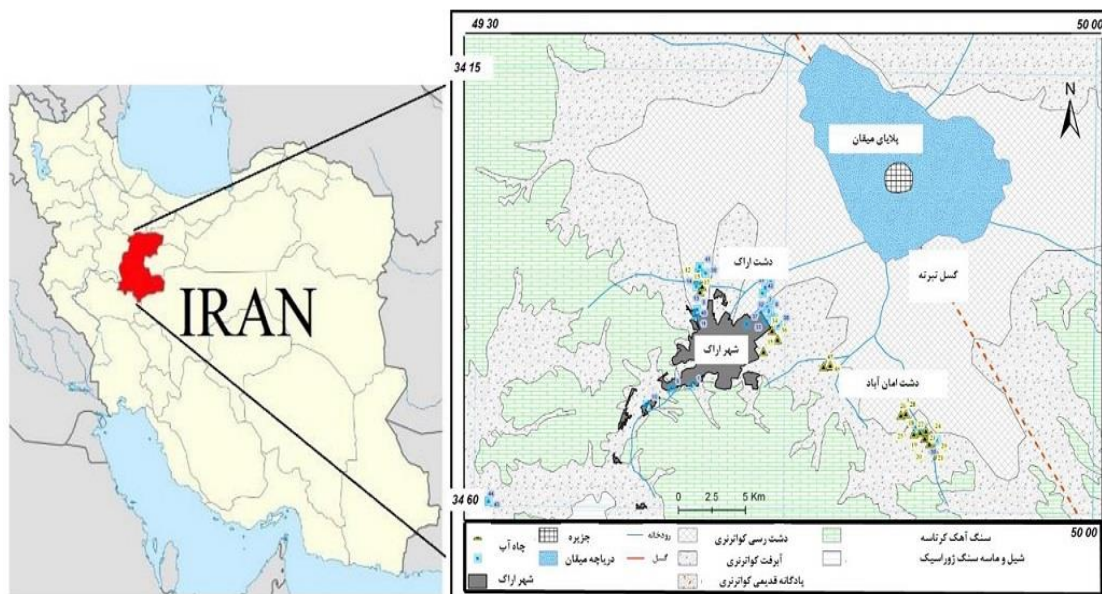
**معرفی منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه در استان مرکزی و به مرکزیت شهر اراک واقع شده که دارای آب و هوای نیمه‌خشک، بارش متوسط سالیانه ۲۸۰ میلی‌متر و درجه حرارت ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. آبخوان اراک بین کوه‌های اراک در جنوب و پلایای میقان در شمال اراک، توسط دو رودخانه قره‌کهریز و امان‌آباد در جنوب و شرق شهر اراک تغذیه می‌شود. به لحاظ زمین‌شناسی، منطقه در زون سندج-سیرجان قرار داشته که حاوی سنگ‌های با دگرگونی ضعیف از جمله شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک و اسلیت و همچنین آهک‌های متبلور کرتاسه است. سنگ کف آبخوان از جنس آهک متبلور کرتاسه است (شکل ۱). دشت اراک بین کوه‌های اراک در جنوب و پلایای میقان در شمال دارای چاه‌های آب شربی بوده که تحت تأثیر ترکیب آهکی ارتفاعات و لایه‌های شور پلایای میقان قرار گرفته است (Ghadimi et al., 2016).

**روش کار:** متاسفانه اطلاعات کمی و کیفی جامع از منابع آب در کشور ما محدود است و این امر موجب اهمیت بکارگیری روش‌ها و مدل‌های مختلف به‌منظور برآورد پارامترهای کمی و کیفی منابع آب شده است. در این تحقیق برای ارائه یک مدل خطی به‌منظور برآورد عمق متوسط سفره آب زیرزمینی در دشت اراک از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شد. بدین‌منظور عمق متوسط سفره‌های آب زیرزمینی در دشت اراک، به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل هدایت آبی تشکیلات آبخوان، ارتفاع، متوسط بارش منطقه، میزان تبخیر و فاصله از دریا به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده و در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ تجزیه رگرسیونی به‌منظور ارائه یک مدل خطی انجام گرفت.

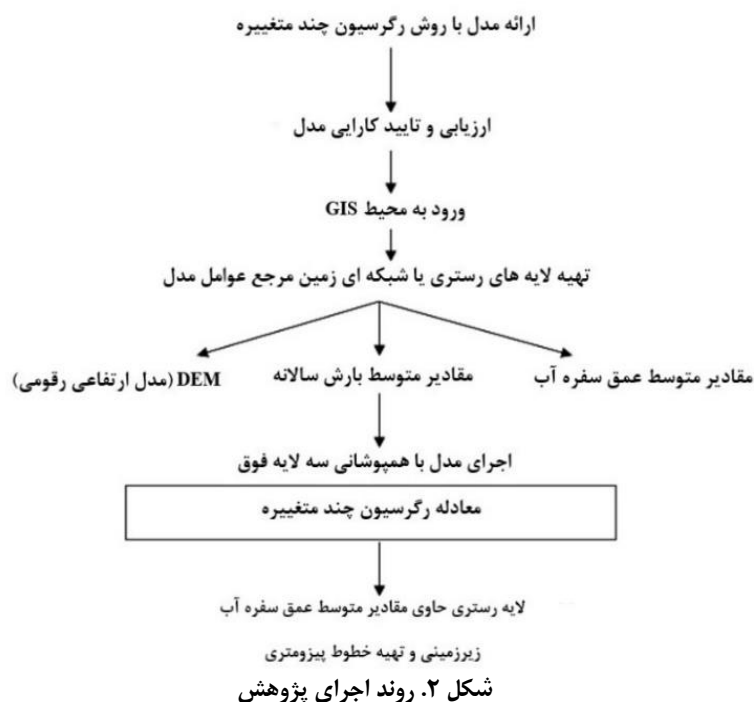
در مرحله بعد مدل ارائه‌شده با بکارگیری در مکان‌هایی که از آمار و اطلاعات آن برای ارائه مدل استفاده نشده باشد، مورد ارزیابی و کارایی آن مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با بکارگیری این مدل در محیط ArcGIS 10.3 نقشه عمق سفره آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه تهیه خواهد شد (شکل ۲).

**عوامل مؤثر در افت سفره آب زیرزمینی:** در این بخش از مطالعات، مقادیر افت سالانه سطح آب زیرزمینی به‌عنوان خروجی شبکه عصبی و عوامل مؤثر در نوسانات عمق سفره به‌عنوان ورودی‌های شبکه در فرآیند مدل‌سازی بکار گرفته شدند. عوامل ورودی شبکه یا عوامل مؤثر در نوسانات عمق سفره آب زیرزمینی شامل مقادیر بهره‌برداری، عمق سفره آب، قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان، توپوگرافی (شیب و ارتفاع)، موقعیت مکانی در حوضه آبخیز، فاصله از منابع آب (تغذیه سفره آب)، بارش سالانه، تبخیر سالانه و فاصله از صنایع و مراکز مسکونی بوده‌اند. بنابراین، برای چاه‌های مطالعاتی خروجی و ورودی‌های شبکه به شرح زیر برآورد گردید.

براساس آمار مشاهداتی عمق سفره آب در چاه‌های مطالعاتی، مقادیر عمق متوسط سفره آب تعیین شد. از طرفی، براساس داده‌های شرکت آب منطقه‌ای اراک و آزمایشات پمپاژ در چاه‌های مطالعاتی، قابلیت انتقال در مکان هر یک از چاه‌های مطالعاتی تعیین شده است (تماب). سپس، نقشه قابلیت انتقال متوسط تشکیلات آبخوان در سطح دشت اراک براساس ارقام تعیین شده در



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه در استان مرکزی ( Ghadimi and Javadi Sharif, 2019 )



مکان چاه‌ها و تعیین سطوح همگن، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی توسط شرکت آب منطقه‌ای استان مرکزی تهیه شد. به‌منظور تعیین مقادیر بهره‌برداری از آب زیرزمینی، داده‌های تمامی چاه‌های آب شرب روستایی و شهری و چاه‌های صنایع از شرکت آب و فاضلاب و شرکت آب منطقه‌ای اراک اخذ و مقادیر بهره‌برداری سالانه آن‌ها تعیین شد. همچنین، یک نقشه کاداستر رقومی دقیق در سطح دشت اراک تهیه گردید که تمامی کاربری‌ها به‌خصوص اراضی کشاورزی و باغ‌ها در آن مشخص گردید. از آنجا که حداکثر شعاع عمل چاه ۱۰۰۰ متر می‌باشد، بنابراین، در پیکسل اندازه ۲۰۰۰ متر ( طرفین ۱۰۰۰ متر) سطح اراضی کشاورزی در حجم مصارف آب ضرب گردید. سپس، نقشه یا لایه حجم بهره‌برداری سالانه در شعاع عمل چاه، به‌صورت مجموع مصارف کشاورزی، باغ‌ها و چاه‌های موجود با فرمت رستری برای هر مکان از سطح دشت برآورد گردید. برای برآورد توزیع مکانی بارش و تبخیر در سطح مطالعاتی از آمار مقادیر نرمال بارش (ایستگاه باران‌سنجی) و تبخیر سالانه (ایستگاه تبخیرسنجی) در یک دوره سی‌ساله در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. در این راستا، از روش درون‌یابی در محیط GIS استفاده

گردید و نقشه یا لایه رستری بارش و تبخیر متوسط سالانه تهیه شد. از خطوط تراز ۱۰ متر نقشه‌های توپوگرافی برای تهیه مدل ارتفاعی رقومی ۱۰ متر، نقشه شیب و تعیین موقعیت مکانی چاه در سطح حوضه آبخیز استفاده شده است. تمامی رودخانه‌ها و دریاچه‌های دشت مطالعاتی براساس نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای بررسی شدند و نقشه فاصله از منابع آب در محیط GIS در سطح دشت تهیه شد. در نهایت یک بانک اطلاعاتی از صنایع استان تهیه شده و بر روی تصاویر ماهواره‌ای کنترل و تدقیق شدند. مناطق مسکونی نیز براساس نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۲۵۰۰۰ تهیه و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تدقیق گشت. سپس نقشه‌های فاصله از صنایع و مناطق مسکونی در محیط GIS تهیه شد.

**مرحله مدل‌سازی:** ارائه مدل با روش رگرسیون چند متغیره: تجزیه و تحلیل‌های آماری با بکارگیری نرم‌افزار SPSS به روش گام به گام صورت گرفت. افت متوسط آب زیرزمینی به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل مؤثر در آن به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. در مرحله بعد صحت و کارایی مدل ارائه‌شده در مکان‌هایی از دشت اراک که از آمار و اطلاعات آن برای ارائه مدل استفاده نشده بود، مورد ارزیابی قرار گرفت و مقادیر برآوردشده که شامل مقدار متوسط افت برای آن مکان بوده با مقادیر متوسط گزارش شده توسط سازمان تحقیقات منابع آب ایران مقایسه شدند (۸۰ درصد داده‌ها برای ارائه مدل و ۲۰ درصد داده‌ها برای تست مدل بکار گرفته شدند). با این روش یک مدل خطی ارائه شد که نیاز به مقادیر متوسط افت آب سطحی دارد که چنین آماری فقط در محدوده ایستگاه‌های هیدرومتری در دسترس می‌باشد و از طرفی با حذف این عامل مدل خطی حاصله معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین یک مدل غیرخطی براساس دو عامل قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان و فاصله از منابع آب برای برآورد افت متوسط آب زیرزمینی ارائه شد و کارایی این مدل غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفت.

پیش‌بینی میزان افت آب زیرزمینی با استفاده از شبکه‌های عصبی<sup>۴</sup>: برای فرآیند مدل‌سازی از ساختارهای مختلف شبکه عصبی به‌منظور دستیابی به یک شبکه بهینه جهت برآورد مقادیر افت سالانه سطح آب زیرزمینی استفاده شد. در این راستا، مقادیر افت به‌عنوان خروجی و تمامی عوامل مؤثر به‌عنوان ورودی شبکه در نظر گرفته شدند. در ابتدا، داده‌ها نرمال شده و سپس به‌صورت تصادفی درآورده شدند. در مرحله بعد داده‌ها به سه دسته داده‌های آموزش (۶۵ درصد داده‌ها)، داده‌های صحت‌سنجی (۱۰ درصد داده‌ها) و داده‌های تست یا اعتبارسنجی (۲۵ درصد داده‌ها) تقسیم شدند. همچنین، برای ارزیابی ورودی‌های شبکه و تعیین عوامل اصلی افت سفره آب، آنالیز همبستگی بین ورودی‌ها و خروجی انجام پذیرفت.

ارزیابی و تأیید کارایی مدل: جهت ارزیابی کارایی شبکه‌های بکار رفته از شاخص‌های خطا و همبستگی بین مقادیر برآوردی و مشاهداتی در مراحل آموزش و تست استفاده شده است. همچنین، مقادیر مشاهداتی افت سفره آب در چاه‌های مطالعاتی بر روی نقشه افت سالانه شبیه‌سازی شده همپوشانی شد و صحت شبیه‌سازی و مقادیر افت مقایسه و بررسی شدند.

$$MSE = \frac{\sum(Q_i - \hat{Q}_i)}{n} \quad (1)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i) \cdot (\hat{Q}_i - \bar{\hat{Q}}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (\hat{Q}_i - \bar{\hat{Q}}_i)^2}} \right]^2 \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Q}_p - Q_o)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_{oi})^2} \quad (3)$$

اجرای مدل با همپوشانی سه لایه فوق: برای تهیه نقشه افت متوسط آب از روش بهینه در مدل‌سازی و نقشه‌برداری افت متوسط آب استفاده شد. استفاده از GIS در کنار روش بهینه، مبنای خوبی برای پشتیبانی از مدل‌سازی افت متوسط آب فراهم می‌کند (Solomatine and Ostfeld, 2008). در ابتدا مقادیر کمی پارامترهای مدل شامل قابلیت انتقال تشکیل آبخوان، مقادیر استخراج در حداکثر شعاع عملیاتی چاه، فاصله از منابع آب و توپوگرافی (ارتفاع سایت) با استفاده از داده‌ها، نقشه‌ها و لایه‌های دیجیتال در محیط GIS ارزیابی گردید. پس از انجام فرآیند مدل‌سازی برای شبیه‌سازی افت متوسط آب، مدل آزمایش شده و بهینه برای

<sup>4</sup>Prediction of groundwater drawdown by using ANNs

جدول ۱. نتایج حاصل از اجرای مدل خطی با روش رگرسیون چند متغیره ( $R^2=0/632$ )

سطح معنی‌داری	F	میانگین خطا	درجه آزادی	خطای جذر میانگین مربعات	مدل
		۰/۵۰۸۴	۳	۱/۵۲۵	
۰/۰۰۰	۱۰/۴۵	۰/۰۴۸۶	۲۴	۱/۱۶۸	باقیمانده خطای مدل
			۲۷	۲/۶۹۳	

جدول ۲. خلاصه‌ای از مشخصات هیدرولوژیکی دشت اراک (سازمان هواشناسی کشور)

مقدار	مشخصه
۱۷۰۰	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۳۴۰۰	مساحت (کیلومتر مربع)
۸	شیب
۱۳/۸	متوسط دما (سانتی‌گراد)
۲۸۰	بارش نرمال سالانه (mm)
۴۶	متوسط رطوبت (درصد)
۱۵۳۵/۶	مقادیر متوسط تبخیر (mm)
نیمه خشک سرد	اقلیم (طبقه‌بندی دمارتن)

پیش‌بینی افت متوسط آب در دشت مورد مطالعه انتخاب گردید. ورودی‌های مدل در محیط GIS و عمق افت متوسط آب با استفاده از بهترین مدل آزمایش شده برای کل سطح دشت برآورد و در نهایت با استفاده از قابلیت GIS نقشه افت متوسط آب دشت تهیه گردید.

## یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از روش رگرسیون چند متغیره: جدول ۱ نتایج حاصل از اجرای مدل خطی با روش رگرسیون چند متغیره ( $R^2=0/632$ ) را نشان می‌دهد. این مدل برای برآورد مقادیر افت متوسط آب زیرزمینی به چند پارامتر قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان، بهره‌برداری سالانه، ارتفاع و فاصله از منابع آبی نیاز دارد که برای تمامی سطح استان مرکزی اطلاعات آن‌ها موجود می‌باشد. در محدوده مطالعاتی اراک ۸۰۰ حلقه چاه دارای سطح آب زیرزمینی به‌منظور بررسی با شماره مشخص شده است. جدول ۲ خلاصه‌ای از مشخصات هیدرولوژیکی دشت اراک را نشان می‌دهد. همچنین، جهت تعیین ورودی‌های بهینه و تعیین عوامل اصلی افت سفره آب در دشت مطالعاتی از آنالیز همبستگی بین ورودی‌ها و خروجی شبکه استفاده شد که ضرایب همبستگی آن‌ها در جدول شماره ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود عوامل متعددی از جمله مقادیر بهره‌برداری، قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان، مقادیر بارش و تبخیر سالانه، ارتفاع مکان، و فاصله از منابع آبی در تغییرات عمق سفره آب تأثیر دارند. همچنین براساس ضریب همبستگی مهمترین عوامل مؤثر شامل مقادیر قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان (۰/۷۴)، ارتفاع (۰/۵۶)، مقادیر بهره‌برداری از آب زیرزمینی (۰/۴۷) و فاصله از منابع آب (۰/۴۱) بوده‌اند. در رابطه با متغیر قابلیت انتقال (مترمربع در روز)، یک رابطه کاملاً مستقیم بین قابلیت انتقال تشکلات آبخوان و عمق سفره وجود دارد. همچنین این رابطه در مورد متغیرهای ارتفاع مکان (متر)، تبخیر سالانه، فاصله از منابع آب، و بهره‌برداری سالانه یک رابطه مستقیم و در خصوص متغیر بارش سالانه به‌صورت یک رابطه معکوس است. رابطه مستقیم قابلیت انتقال یا آگذری تشکیلات آبخوان با عمق سفره بدین معنی است که هر چقدر قابلیت انتقال یا آگذری تشکیلات آبخوان بیشتر باشد، به‌علت بالاتر بودن امکان بهره‌برداری با دبی پمپاژ بالاتر، عمق سفره آب بیشتر خواهد بود (Nordqvist et al. 2008). بارش به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تغذیه طبیعی سفره‌های آب زیرزمینی رابطه معنی‌دار و معکوس ضعیفی با مقادیر عمق سفره آب دارد (Doll et al. 2014). تبخیر به‌واسطه کاهش منابع آب‌های سطحی، رابطه مستقیم معنی‌دار و ضعیفی با مقادیر عمق سفره در منطقه دارد (Sahour et al. 2020). در رابطه با متغیر ارتفاع مکان، بررسی‌های Gholami و همکاران (۲۰۲۱ و ۲۰۲۲) بیانگر این است که مناطق کم ارتفاع، به‌علت قابلیت بالا در آگیری، دارای

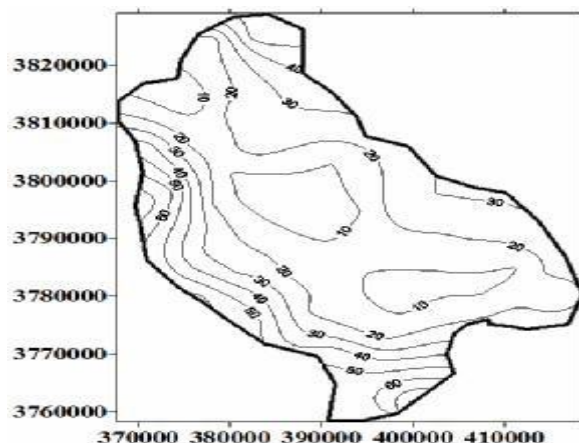
جدول ۳. ضرایب همبستگی (پیرسون) بین میزان عمق سفره آب زیرزمینی و پارامترهای مؤثر در عمق سفره آب

فاکتور	همبستگی (پیرسون) با میزان عمق سفره آب زیرزمینی	Sig. (P-value)
قابلیت انتقال	۰/۷۴	۰/۰۰۰
بهره برداری سالانه	۰/۴۷	۰/۰۰۰
بارش سالانه	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۲
تبخیر سالانه	۰/۱۸	۰/۰۰۰
ارتفاع	۰/۵۶	۰/۰۰۰
شیب	۰/۰۶	۰/۰۰۳
فاصله از منابع آب	۰/۴۱	۰/۰۰۰

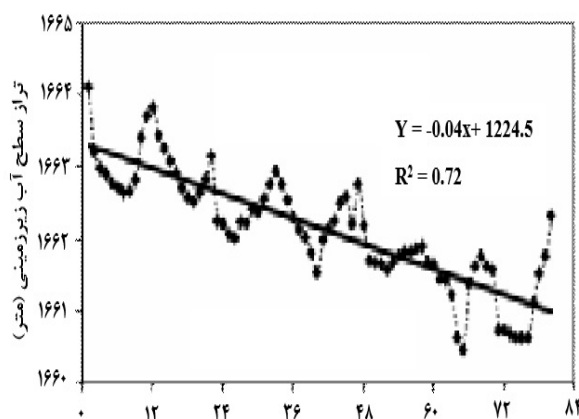
سطح ایستابی بالا و مقادیر افت ناشی از برداشت کمتری می‌باشند. براساس نتایج، ارتفاعات پایین‌تر نسبت به ارتفاعات بالاتر پتانسیل آب زیرزمینی بیشتری داشته و سطح ایستابی در آن‌ها بالاتر است. از دلایل این امر می‌توان به ایجاد رواناب بیشتر در ارتفاعات بالاتر و تغذیه و نفوذ آب زیرزمینی در ارتفاعات پایین‌تر اشاره کرد که با نتایج Davoodi Moghaddam و همکاران (۲۰۱۵)، Arabameri و همکاران (۲۰۱۸) و Rahmati و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی دارد. پارامتر شیب نشان داد که در شیب‌های پایین‌تر به دلیل کاهش رواناب، میزان پتانسیل آب زیرزمینی بیشتر است که نتیجه نفوذ بیشتر آب در این مناطق است و با نتایج Lee و همکاران (۲۰۱۹) و Golkarian و Rahmati (۲۰۱۸) همخوانی دارد. همچنین با فاصله گرفتن از آبراهه‌ها، میزان پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده کاهش پیدا کرده است که ارتباط بین آب‌های زیرزمینی با آبراهه‌ها را نشان می‌دهد (Arabameri et al., 2017; Haghizade et al., 2018). در رابطه با فاصله از منابع آبی، Sahour و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که هر چه این فاصله کمتر باشد، نوسانات سطح ایستابی نیز کاهش می‌یابد، چرا که افت ناشی از برداشت از طریق تغذیه رودخانه جبران می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود عمق سطح آب زیرزمینی محدوده اراک در قسمت مرکزی آن کمتر از سایر نقاط آن می‌باشد که این به ارتفاع کمتر مرکز دشت نسبت به محدوده اطراف دشت اراک مربوط می‌شود.

**تغییرات زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی:** اکثر چاه‌های مشاهداتی در آبخوان اراک افتی بین ۰ تا ۵ متر داشته‌اند. به‌طور متوسط در ۶۲ درصد از مساحت دشت اراک سطح آب زیرزمینی بین صفر تا ۳ متر، در ۲۲ درصد بین ۳ تا ۶ متر، در ۸ درصد بین ۶ تا ۹ متر، در ۷ درصد بین ۹ تا ۱۲ متر و در ۰/۶ درصد بین ۱۲ تا ۱۵ متر افت کرده است (Mohammadi et al., 2011). میانگین سالانه تراز سطح آب زیرزمینی در یکی از چاه‌های نمونه در شکل ۴ رسم و به‌منظور تعیین روند تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی خطی بر آن برازش داده شده است. ضریب تعیین بالا در خطوط برازش داده شده بر تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت اراک حاکی از وجود رابطه خطی بین نوسانات سطح آب زیرزمینی با زمان و ساختار زمانی قوی آن می‌باشد. **نتایج حاصل از کاربرد شبکه عصبی:** نتایج نشان داد که مدل ANN دارای قابلیت بالایی در شبیه‌سازی عمق سفره آب زیرزمینی در مراحل آموزش ( $R-sqr=0/96$ ) و تست یا اعتبارسنجی ( $R-sqr=0/85$ ) داشته است. در این راستا، متوسط عمق سفره آب زیرزمینی در ۸۰۰ چاه پیژومتری برآورد و به‌عنوان خروجی سامانه و عوامل قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان، افت سفره، توپوگرافی (ارتفاع محل چاه در سطح حوضه آبخیز)، مقادیر تبخیر سالانه، مقادیر بهره‌برداری در حداکثر شعاع عمل چاه و فاصله از منابع آب به‌عنوان ورودی‌های سامانه در نظر گرفته شدند. آموزش سامانه، صحت‌سنجی و تست در محیط نرم‌افزار نروسولوشن انجام پذیرفت. نتایج ارزیابی شبکه در جدول ۴ ارائه شده است که مقادیر خطا را در مرحله آموزش نشان می‌دهد. بر این اساس، نتایج قابل‌قبولی در مرحله آموزش مشاهده شد. همچنین قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان، افت سفره، توپوگرافی (ارتفاع محل چاه در سطح حوضه آبخیز)، مقادیر بهره‌برداری در حداکثر شعاع عمل چاه و فاصله از منابع آب به‌ترتیب مهمترین ورودی‌ها یا عوامل مؤثر در میزان افت سفره آب زیرزمینی می‌باشند. درنهایت با بکارگیری سامانه تست‌شده و لایه‌های رستری ورودی‌های مذکور در محیط GIS، نقشه پهنه‌بندی میزان افت سفره آب زیرزمینی تهیه شد و صحت و دقت آن از طریق مقایسه مقادیر برآوردی و مشاهداتی عمق سفره آب زیرزمینی ارزیابی و مورد تأیید قرار گرفت ( $R-sqr=0/96$ ). نقشه‌های رقمی این عوامل در محیط GIS





شکل ۳. نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی دشت اراک (Mohammadi Ghalehi et al., 2011)



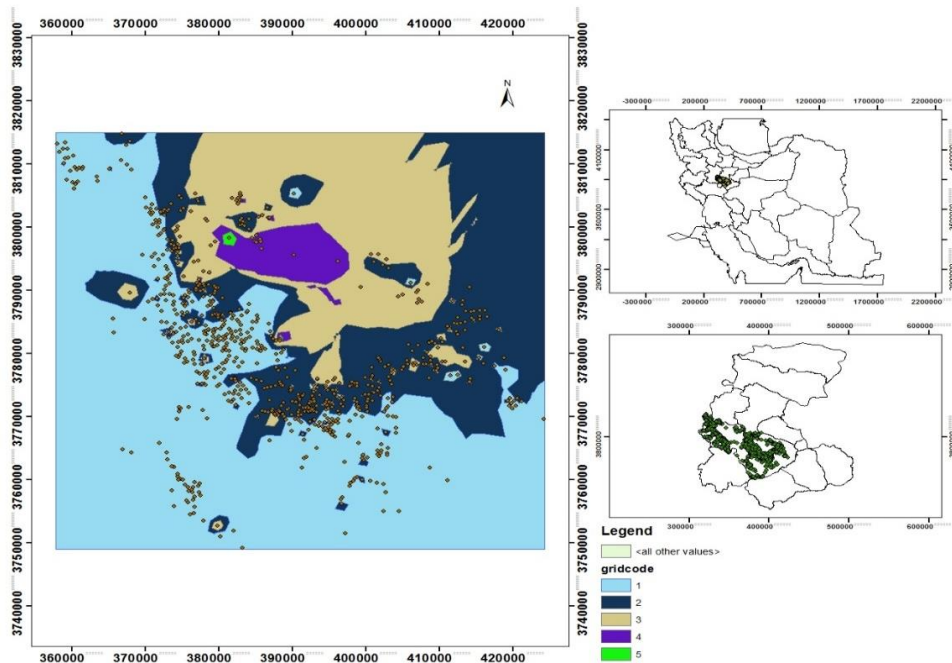
شکل ۴. تغییرات زمانی تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان اراک در یک چاه نمونه

تهیه شدند که در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج ارزیابی عملکرد مدل ANN در شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در مرحله آموزش در جدول ۴ ارائه شده است. همبستگی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ( $R$ ) برای ورودی مدل بهینه برابر ۰/۹۶ می‌باشد. نتایج نشان داد که عوامل مؤثر در تراز آب زیرزمینی و بهترین ورودی‌ها در شبیه‌سازی تراز آب‌های زیرزمینی شامل قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان، افت سفره، توپوگرافی (ارتفاع محل چاه در سطح حوضه آبخیز)، مقادیر بهره‌برداری در حداکثر شعاع عمل چاه و فاصله از منابع آب بود. نتایج ارزیابی عملکرد روش ANN در شبیه‌سازی افت تراز آب زیرزمینی در مرحله آزمایش یا اعتبارسنجی در جدول ۴ و شکل ۶ ارائه شده است. جدول ۴ خطای مرحله آموزش را نشان می‌دهد و با توجه به آن‌ها، نتایج خوبی در مرحله آموزش به دست آمد. به گونه‌ای که در خصوص برآورد شاخص افت تراز آب زیرزمینی، مدل ANN از کارایی و دقت قابل قبولی برخوردار هستند ( $R=0/96$ ). چنین نتایجی با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Samani et al., 2007; Zoghi et al., 2013). همچنین در مرحله آموزش، در خصوص در شبیه‌سازی عمق سفره آب زیرزمینی، روش‌های بکار رفته دارای کارایی قابل قبولی بر مبنای معیارهای آماری ( $R$ -squared، NSE و NRMSD) می‌باشد، به طوری که با دارا بودن کمترین خطا در مقادیر شبیه‌سازی شده، دارای بالاترین تطابق بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بود. (جدول ۴).

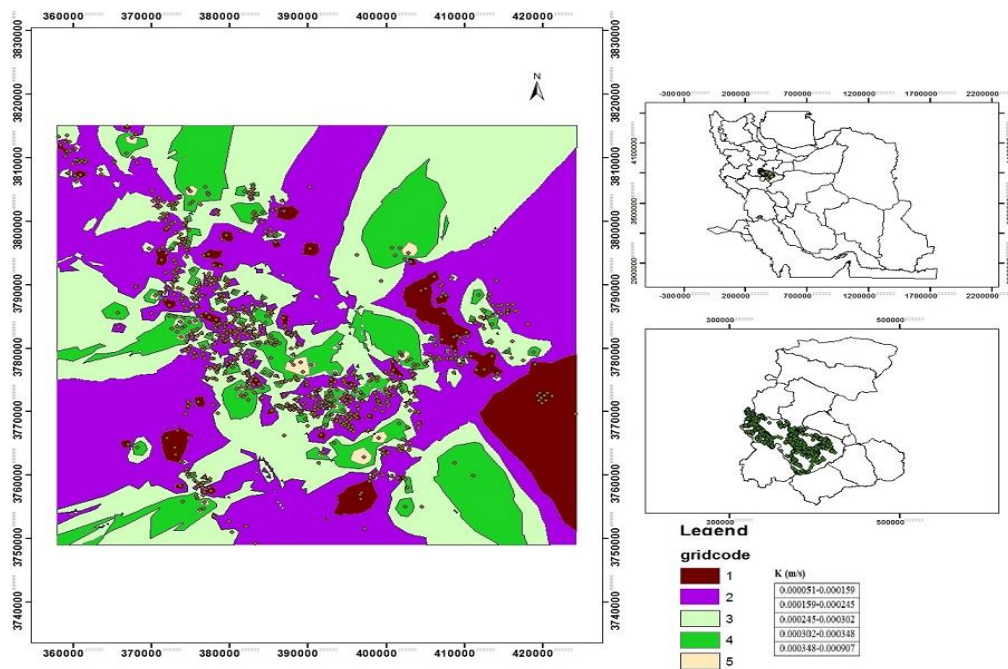
نتایج مرحله اعتبارسنجی یا تست (جدول ۴) نیز نشان داد که بر مبنای شاخص‌های NSE، NRMSD و  $R$ -squared، روش مدل ANN به‌عنوان روشی کارآمد جهت شبیه‌سازی عمق سفره می‌باشد. شکل ۷ نتایج حاصل از مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی عمق سفره در مرحله تست را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده کارآمدی روش ANN بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی می‌باشد. سپس، مقادیر عمق برآوردی روش ANN برای کل سطح، در محیط GIS به صورت نقشه مقادیر عمق سالانه سفره آب ارائه شد (شکل ۸). جهت ارزیابی کارایی روش بکار رفته و صحت نتایج حاصل، ارقام مشاهداتی عمق سالانه آب زیرزمینی در چاه‌های مطالعاتی روی نقشه مذکور همپوشانی شده است. مقایسه نقشه مقادیر عمق سفره با مقادیر

جدول ۴. نتایج حاصل از ANN در مرحله آموزش و آزمون

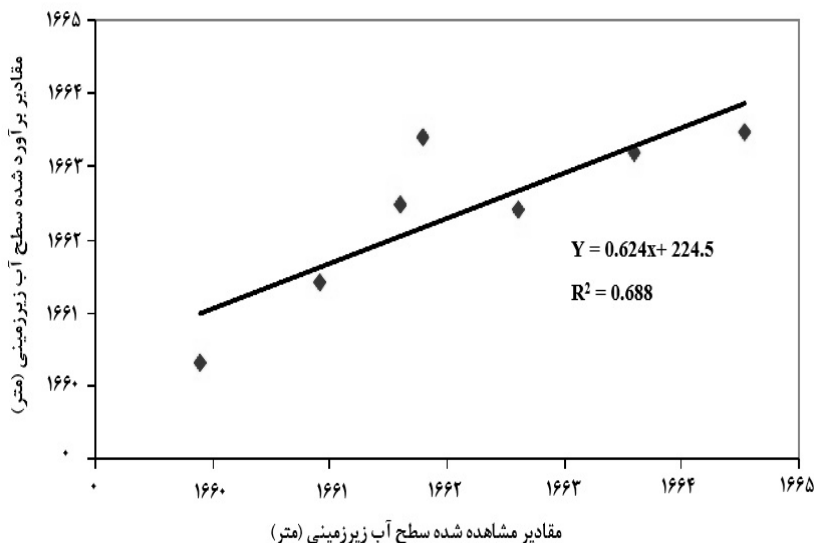
مرحله	R-squared	NRMSD	NSE
آموزش	۰/۹۶	۰/۰۱	۰/۹۵
آزمایش	۰/۸۵	۰/۵	۰/۸



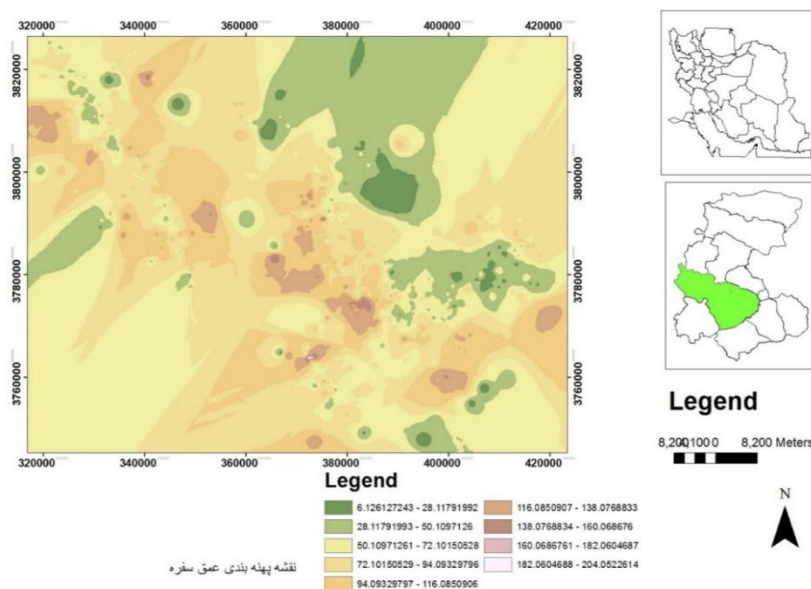
شکل ۵. نقشه انتقال پذیری تشکیلات آبخوان در دشت مورد مطالعه (مترمربع در روز)



شکل ۶. نقشه هدایت هیدرولیکی تشکیلات آبخوان در دشت مورد مطالعه (متر در روز)



شکل ۷. نمودار پراکندگی داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل شبکه عصبی



شکل ۸. نقشه مقادیر عمق سالانه سفره آب

مشاهداتی عمق، دلالت بر صحت نتایج و کارایی روش بکار رفته دارد (R-sqr=۰/۹۶). هدف از این مطالعه، ارزیابی تراز آب زیرزمینی در مکان‌های فاقد داده و در دسترس قرارگیری نتایج آن برای عموم است. در این مرحله، از قابلیت‌های GIS برای نظارت بر نتایج مدل ANN به‌عنوان لایه رستری تراز آب زیرزمینی استفاده شد و نتایج در شکل ۸ ارائه گردید. مقایسه مقادیر مشاهده شده با مناطقی از عمق آب زیرزمینی برآورد شده، عملکرد بالای مدل ANN را نشان می‌دهد (Krishna et al., 2008).

**بحث**

دو روش رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی با داده‌های یکسان برای شبیه‌سازی افت آب زیرزمینی در دشت اراک بکار گرفته شد. نتایج حاصل از هر دو روش حاکی از آن است که قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان، افت سفره، توپوگرافی (ارتفاع محل چاه در سطح حوضه آبخیز)، مقادیر بهره‌برداری در حداکثر شعاع عمل چاه و فاصله از منابع آب به‌ترتیب مهمترین ورودی‌ها یا عوامل مؤثر در میزان افت سفره آب زیرزمینی دشت اراک می‌باشند. بنابراین پارامترهای مذکور به‌عنوان ورودی برای شبیه‌سازی افت سطح آب زیرزمینی توسط مدل‌های رگرسیون چند متغیره و ANN در نظر گرفته شد. Kamasi و همکاران (۲۰۱۶)، بارش،

دما و دبی رودخانه‌ها را به‌عنوان عوامل مؤثر بر تراز آب زیرزمینی آبخوان دشت سیلاخور در نظر گرفتند. متوسط افت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های محدوده اراک برابر با  $3/38$  متر و بیشترین افت برابر  $15/33$  متر و افت سالیانه  $2/19$  متر اتفاق افتاده است. Akbari و همکاران (۲۰۱۰)، متوسط افت سطح آب زیرزمینی را در دشت مشهد حدود  $0/6$  متر گزارش کردند که کمتر از مقدار افت در دشت اراک می‌باشد. این افت در اثر چند عامل مهم اتفاق افتاده است. اولین و مهمترین دلیل، برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی آبخوان اراک و دومین دلیل، رخداد خشکسالی‌های اخیر در منطقه می‌باشد. ارزیابی کارایی مدل‌های خطی با روش رگرسیون چند متغیره نشان داد که حداکثر همبستگی بین مقادیر برآورد شده و مقادیر مشاهده‌ای از  $0/62$  بیشتر نمی‌شود، اما بکارگیری همان داده‌ها برای ارزیابی کارایی شبکه عصبی مصنوعی، همبستگی  $0/68$  بین مقادیر برآورد شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و مقادیر مشاهده‌ای (واقعی) ارائه نمود. بنابراین کارایی و دقت شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی افت آب زیرزمینی بیش از روش رگرسیون چندمتغیره می‌باشد. با توجه نتایج، در هر کدام از مدل‌های رگرسیون چند متغیره و ANN به‌طور جداگانه دقت شبیه‌سازی پارامترهای سطح آب زیرزمینی، در مدل با تابع محرک تانژانت سیگموئید بود؛ به‌طوری که NRMSD و NSE کمترین مقدار و شاخص R-squared بیشترین مقدار را داشت. بنابراین مدل بهینه برای برآورد پارامترهای سطح آب زیرزمینی، شبکه عصبی با تابع محرک تانژانت سیگموئیدی می‌باشد. Alipour (۲۰۱۲)، سطح آب زیرزمینی دشت مهبیار شمالی را با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی پیش‌بینی کرد. الگوریتم یادگیری بهینه براساس کمترین خطای جذر میانگین مربعات لونبرگ-مارکوارت<sup>۵</sup> به‌دست آمد. تابع محرک لایه مخفی و خروجی لگاریتم سیگموئید و خطی به‌دست آمد. Moradi Farahabadi و همکاران (۲۰۱۲) اقدام به شبیه‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور با الگوریتم آموزش لونبرگ-مارکوارت نموده و نتایج را رضایت‌بخش اعلام نمودند. Mirzavand و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (شامل پرسپترون چندلایه و تابع شعاعی) و رگرسیون چند متغیره اقدام به شبیه‌سازی کیفی آب زیرزمینی دشت کاشان نمودند. نتایج نشان داد که مدل پرسپترون چندلایه نسبت به مدل‌های تابع شعاعی و رگرسیون چند متغیره دارای نتیجه بهتری در پیش‌بینی غلظت کلر در ۱۱ سال آینده بوده است. Keykhosravi و همکاران (۲۰۱۹) از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون و پایه شعاعی برای پیش‌بینی گردوغبار کارخانه سیمان سبزوار استفاده کردند. نتایج بیانگر دقت بالاتر مدل شبکه عصبی پرسپترون نسبت به مدل پایه شعاعی در پیش‌بینی میزان گرد و غبار بود. همچنین همان‌طور که در نمودارهای شکل‌های ۴ تا ۶ مشاهده شد، بیشترین همپوشانی با مقادیر اندازه‌گیری شده پارامتر سطح آب زیرزمینی مربوط به مدل ANN است. در مدل شبکه عصبی مصنوعی برای آموزش از روش پس انتشار خطا استفاده می‌شود. این روش معمولاً برای پیش‌بینی، نتایج نسبتاً خوبی در بردارد؛ اما اشکال آن، گیر افتادن در بهینه محلی و سرعت پایین در رسیدن به جواب می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده شد مقدار بالایی از ضریب همبستگی به‌دست آمده است که در واقع بیانگر نزدیک بودن مقادیر پیش‌بینی گردیده با داده‌های اندازه‌گیری شده و توانایی و دقت بالای روابط بین متغیرهای ورودی با خروجی است. این نتایج نشان‌دهنده دقت قابل قبول شبکه عصبی مصنوعی و یادگیری خوب و کارآمد شبکه با استفاده از الگوریتم آموزشی موردنظر و داده‌های ارائه شده به شبکه است. با توجه به تحقیق انجام گرفته می‌توان نتیجه کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی افت متوسط آب را مناسب و بهینه ارزیابی نموده و توانایی کافی آن در این مورد را تأیید نمود. نتایج تحقیقات Piri و همکاران (۲۰۱۴)، Poormohammadi و همکاران (۲۰۱۶)، Mirsanjari و همکاران (۲۰۱۷)، Hazbavi و Dehghani (۲۰۱۹)، Karimiyan و Egdernezhad (۲۰۲۱)، Gholami و همکاران (۲۰۱۵ و ۲۰۲۱)، Zare و همکاران (۲۰۲۱) و Gholami و Sahour (۲۰۲۲)، نیز بیانگر کارایی بالای شبکه عصبی در برآورد و شبیه‌سازی پارامترهای آب زیرزمینی است. رهیافت این تحقیق، شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه با الگوریتم لونبرگ-مارکوارت بوده است. نتایج تحقیقات گذشته نیز حاکی از کارایی بالای شبکه عصبی در برآورد و شبیه‌سازی پارامترهای آب زیرزمینی است (Samani et al., 2007; Zoghi et al., 2013).

<sup>5</sup> Levenberg Marquardt

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که شبکه عصبی قادر است قانون حاکم بر داده‌ها، حتی داده‌های مغشوش را نیز استخراج نماید. این خصوصیت شبکه‌های عصبی را می‌توان از برجسته‌ترین ویژگی‌های این روش در مقایسه با سایر روش‌ها دانست. ولی از آنجا که نمی‌توان قانون مشخصی برای تعیین تعداد بهینه لایه مخفی و تعداد گره در لایه مخفی در برآورد تعداد مناسب عوامل ورودی بیان نمود. بنابراین لازمه یافتن ساختار بهینه برای این منظور استفاده از روش آزمون و خطا است. با انتخاب نوع مناسب روش یادگیری، تعداد مناسب نرون و لایه پنهان، نوع و تعداد مناسب عوامل ورودی و نیز کالیبره کردن مناسب آن می‌توان گفت که این روش ابزاری بسیار کارا و مناسبی برای برآورد افت آب زیرزمینی در دشت اراک می‌باشد. همچنین این مدل می‌تواند در نوبه خود برای تسهیل توسعه و پیاده‌سازی استراتژی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی مفید باشد و گامی در اتخاذ تصمیمات مدیریتی در جهت بهبود آب زیرزمینی حوضه‌های آبخیز می‌باشد.

## References

- Akbari, M., Jorge, M.R., Madanisadat, H., 2010. Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer). *Journal of Water and Soil Conservation* 16(4), 63-78.
- Alipour, Z., 2012. Evaluation of Adaptive Fuzzy-Neural Inference System and Neural Network in Groundwater Level Prediction (North Mahyar Plain). [M.Sc. Thesis]. University of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran; 177 p. (in Persian)
- Arabameri, A.R., Sohrabi, M., Rezaei, K.H., Yamani, M., Shirani, K., 2018. Simulation of Najaf-Abad watershed groundwater using data driven ensemble model EBF-Index of entropy. *Journal of Water and Soil Conservation* 25(2), 25-48. (in Persian)
- Azari, T., Samani, N., 2018. Modeling the Neuman's well function by an artificial neural network for the determination of unconfined aquifer parameters. *Computational Geosciences* 22(4), 1135-1148.
- Brunner, P., Kinzelbach, V., 2005. Groundwater Modeling in a remote Chinese Basin- How can models be improved in areas where data are scarce? *European Geosciences Union 2005*. 2 p.
- Chelsea, Q., Wan, Y., 2013. Time series modeling and prediction of salinity in the Caloosahatchee River Estuary. *Water Resources Research* 49(9), 5804-5816.
- Davoodi Moghaddam, D., Rezaei, M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghie, Z.S., Pradhan, B., 2015. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arabian Journal Geoscience* 8(2), 913-929.
- Doll, P., Schmied, H.M., Schuh, C., Portmann, F.T., Eicker, N., 2014. Global-scale assessment of groundwater depletion and related groundwater abstractions: Combining hydrological modeling with information from well observations and GRACE satellites. *Water Resources Research* 50(7), 5698-5720.
- Ghadimi, F., Ghomi, M., Azimi, R., 2016. Sources of nitrate and bromide contaminants of groundwater in alluvial aquifer of Arak, Iran, *Journal of Tethys* 4(2), 100-115.
- Ghadimi, F., Javadi Sharif, P., 2019. Determination of the source of groundwater pollution in Arak aquifer by stage factor analysis. *Journal of Range and Watershed Management* 72(3), 801-818.
- Gholami, V., Goli A., Kalteh, A.M., 2015. Modeling sanitary boundaries of drinking water wells on the Caspian Sea southern coasts, Iran. *Environmental Earth Sciences* 74(4), 2981-2990.
- Gholami, V., Khaleghi, M.R., Pirasteh, S., Booij, M.J., 2021. Comparison of self-organizing map, artificial neural network, and co-active neuro-fuzzy inference system methods in simulating groundwater quality: geospatial artificial. *Water Resources Management* 36, 451-469.
- Gholami, V., Sahour, H., 2022. Prediction of groundwater drawdown using artificial neural networks. *Environmental Science and Pollution Research* 29, 33544-33557.
- Golkarian, A., Rahmati, O., 2018. Use of a maximum entropy model to identify the key factors that influence groundwater availability on the Gonabad Plain, Iran. *Environmental Earth Sciences* 77, 369.
- Gualbert, H.P., Essink, O., 2001. Improving Fresh Groundwater Supply-Problems and Solutions Center of Hydrology (ICHU), Institute of Earth Science, Ocean & Coastal Management. pp. 429-449.
- Haghizade, A., Moghaddam, D., Pourghasemi, H., 2017. GIS-based bivariate statistical techniques for groundwater potential analysis. *Journal of Earth System Science* 126, 109.
- Hazbavi, I., Dehghani, R., 2019. Assessment of Intelligent models for Estimating the Electrical Conductivity in Groundwater (Case study: Mazandaran plain). *Journal of Environmental Science and Technology* 21(1), 87-98.

- Ioannis, N., Daliakopoulos, P., Coulibalya, I., Tsanis, K., 2005. Groundwater level forecasting using artificial neural networks. *Journal of Hydrology* 309, 229-240.
- Kamasi, M., Sharghi, S., Nourani, V., 2016. Identification of Factors Affecting Groundwater Level Reduction Using Wavelet-Entropy Criterion (Case Study: Silakhor Plain Aquifer). *Hydrogeomorphology* 9(4), 63-86. (in Persian)
- Karimiyan, A., Egdernezhad, A., 2021. Simulation of Groundwater Level and Salinity in Ramhormoz Plain Using Artificial Neural Network Model and Optimized Artificial Neural Network Model. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*, Spring 7(1), 17-26.
- Keykhosravi, S.S., Nejadkoorki, F., Amintoosi, M., 2019. Estimation of Artificial Neural Networks Accuracy in Anticipation of the Dust of the Sabzevar Cement Factory. *Journal of Research in Environmental Health* 5(1), 43-52.
- Krishna, B., Satyaji Rao, Y.R., Vijaya, T., 2008. Modeling groundwater levels in an urban coastal aquifer using artificial neural networks. *Journal of Hydrological Process* 22, 1180-1188.
- Lallahem, S., Mania, J., Hani, A., Najjar, Y., 2005. On the use of neural networks to evaluate groundwater levels in fractured media. *Journal of Hydrology* 307(1-4), 92-111.
- Lee, S., Hyun, Y., Lee, M., 2019. Groundwater Potential Mapping Using Data Mining Models of Big Data Analysis in Goyang-si, South Korea. *Sustainability* 11, 1678.
- Mirsanjari, M., Mohammadyari, F., Basiri, R., Hamidi pour, F., 2017. Modeling quality parameters EC, SAR and TDS in groundwater using artificial neural network (case study: Mehran Plain and DEHLORAN). *Human & Environment* 15(3), 1-12.
- Mirzavand, M., Ghasemieh, H., Sadatinejad, S., Akbari, M., 2015. Comparison of Artificial Neural Network (ANN) and Multi Variable Regression Analysis (MRA) Models to Predict Ground Water Quality Changes (Case Study: Kashan Aquifer). *Water and Soil Science* 25(2), 207-220.
- Moradi Farahabadi, M., Habibnejad Roshan, M., Wahabzadeh, G., 2013. Examination and simulation of underground water level fluctuations using artificial neural network (case study: Sari Neka coastal aquifer), 5th Iranian Water Resources Management Conference, Tehran, <https://civilica.com/doc/269067>.
- Nofal, E.R., Amer, M.A., El-Didy, S.M. Fekry, A.M., 2015. Delineation and modeling of seawater intrusion into the Nile Delta Aquifer: a new perspective. *Water Science* 29(2), 156-166.
- Nordqvist, R., Gustafsson, E., Andersson, P., Thur, P., AB, G., 2008. Groundwater flow and hydraulic gradients in fractures and fracture zones at Forsmark and Oskarshamn. SKB Rapport. pp. 1-69.
- Priyanka, B.N., Mahesha, A., 2015. Parametric studies on saltwater intrusion into coastal aquifers for anticipate sea level rise. *Aquatic Procedia* 4, 103-108.
- Piri, H., Bameri, A., 2014. Estimation of Sodium Absorption Ration (SAR) in Groundwater Using the Artificial Neural Network and Linear Multiple Regression: Case Study: The Bajestan Plain. *Water Resources Engineering* 7(21), 67-80.
- Poormohammadi, S., dastorani, M.T., Jafari, H., Rahimian, M.H., Goodarzi, M., Mesmarian, Z., Baqeri, F. 2016. The groundwater balance analysis in Tuyserkan-Hamedan plain, by using the mathematical model MODFLOW. *The Journal of Echohydrology* 2(4), 371-382. (in Persian)
- Rahmati, O., Naghibi, S.A., Shahabi, H., Bui, D.T., Pradhan, B., Azareh, A., et al., 2018. Groundwater spring potential modeling: Comprising the capability and robustness of three different modeling approaches. *Journal of Hydrology* 565, 248-261.
- Roshni, T., Jha, M.K., Deo, R.C., Vandana, A., 2019. Development and evaluation of hybrid artificial neural network architectures for modeling spatio-temporal groundwater fluctuations in a complex aquifer system. *Water Resources Management*, pp. 1-17.
- Sahour, H., Gholami, V., Vazifedan, M., 2020. A comparative analysis of statistical and machine learning techniques for mapping the spatial distribution of groundwater salinity in a coastal aquifer. *Journal of Hydrology* 591, 125321.
- Samani, N., Gohari-Moghadam, M., Safavi, A.A. 2007. A simple neural network model for the determination of aquifer parameters. *Journal of Hydrology* 340, 1-11.
- Solomatine, D.P., Ostfeld, A., 2008. Data-driven modelling: some past experiences and new approaches. *Journal of Hydroinformatics* 10(1), 3-22.
- Vaheddoost, B., Aksoy, H., 2018. Interaction of groundwater with Lake Urmia in Iran. *Hydrological Processes* 32(21), 3283-3295.
- Zare, M., Ghafouri, H., Safavi, H., 2021. Comparative Evaluation of Numerical Model and Artificial Neural Network for Quantity and Quality Simulation of Najafabad Aquifer. *Water and Soil Science* 31(1), 75-87.
- Zhang, M., 2001. Information-Statistics evaluation on the effects of ground water buried depth to upper soil and groundwater salinity, China postdoctoral preceding science press, Beijing, China, pp. 221-224.