



Use of Artificial Neural Network and Imperialist Competitive Algorithm to Evaluate the Groundwater Quality of Jolfa Plain for Various Uses

S. Emami^{1,*}, R. Norouzi Sarkarabad¹, Y. Choopan²

¹ Water Engineering Department, Tabriz University, Tabriz, Iran.

² Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

ABSTRACT: Assessment of groundwater quality and quantity are important in the management of these resources. The use of modern methods, including ANN and evolutionary algorithms in estimating water quality, due to its high speed, convergence, and efficiency, saves and reduces costs and the best management. The main purpose of this study is to evaluate the results of the chemical analysis of groundwater samples from 14 wells in the Jolfa plain and also estimate the groundwater quality parameters using an imperialist competitive algorithm (ICA) and ANN. Therefore, groundwater quality parameters include TDS, EC, and SAR estimates using the imperialist competitive algorithm (ICA) and ANN, and groundwater resources quality in terms of drinking, agriculture, and industry were examined by Wilcox, Schuler, and Piper and standards. A correlation coefficient of (R²) 90%, indicates the acceptable accuracy of ANN compared with the ICA algorithm in estimating groundwater quality parameters. By using different diagrams the results show that the hardness of samples is too much and not suitable for drinking. It should also be noted that very high hardness and corrosion of sample, water not be used in industry. The salinity of 7 samples is very high and according to classification is located in the C4S2 class and not suitable for agricultural consumption.

Review History:

Received: 3/29/2018

Revised: 6/24/2018

Accepted: 7/26/2018

Available Online: 8/15/2018

Keywords:

Agricultural

ANN

Drinking

Imperialist Competitive Algorithm

Water Quality

INTRODUCTION

Groundwater resources are one of the best and in some cases the only solutions to the problem to providing drinking water and agriculture in arid and semi-arid areas, including Iran. The reduction of water level and water quality due to increased utilization of groundwater resources and a low level of natural nutrition is recently increasing.

In recent years, increasing salinity and reducing groundwater quality have been considered as one of the most important environmental issues in the world. Due to the infiltration and mixing of pollutants, Infiltration of pollutant waters into aquifers is one of the problems that has been exacerbated by human activities and industrial growth that led to reduce the quality of groundwater.

Today, water resources are one of the basics of sustainable development, besides, water quality is also considered an important parameter. Therefore, water quality parameters are components that should be carefully predicted and simulated in the programming.

The evolutionary algorithms and artificial neural networks have shown satisfactory results in the modeling of non-linear complex systems in water resources management issues, which have been reported to various areas by researchers. Artificial neural networks and evolutionary algorithms with compatibility and unpredicted changes are an appropriate

*Corresponding author's email: somayehemami70@gmail.com

alternative to physical and regression models for estimating the behavior of water resources.

Due to the role of sodium absorption ratio (SAR) in soil management and stability, the estimation of this parameter in groundwater is very important. The electric conductivity parameter (EC) is also a major parameter in the monitoring of drinking and agricultural water quality. This parameter is directly related to the amount of water salinity, sodium absorption, and drinking water quality [1]. TDS is also a very effective parameter for creating the drinking water tasted.

Various studies have been conducted in the groundwater level prediction, including:

Emami et al, (2017) Evaluated imperialist competitive and genetic algorithm for estimating groundwater quality parameters in Bostanabad plain. The validation of the simulation with the ICA model showed that MSE in the testing sample for SAR and chloride were 0.0134 and 0.0098, respectively. Also, R² of validity for SAR and chloride were 0.93 and 0.952, respectively.

Due to the literature, and the Jolfa plain is one of the most important plains in the northwest and the most important source of water supply to various sections of its neighboring areas, estimating and modeling the groundwater quality in this plain is very necessary. Therefore, the purpose of this study was to introduce and apply the ICA algorithm and compare its results with artificial neural network (ANN) and Wilcox,



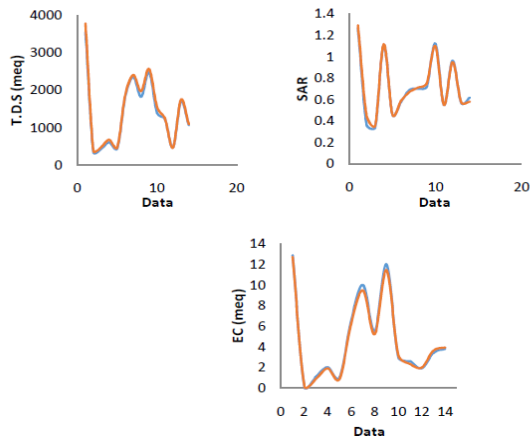


Fig. 1. Observed and estimated values of groundwater quality parameters of ICA.

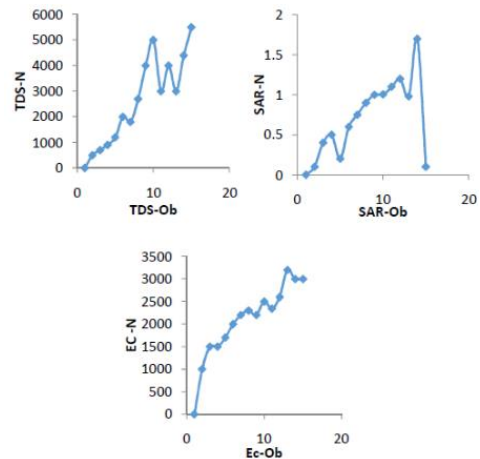


Fig. 2. Observed and estimated values of groundwater quality parameters of ANN.

Schuler, and Piper diagrams in estimating and optimizing the water quality parameters.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Case Study

Jolfa plain is located in the northwest of East Azerbaijan between 45° 17' and 46° 31' east longitude and between 38° 39' and 39° 2' northern latitudes. It leads to the Aras River and the Nakhchivan, Armenia, and Azerbaijan republics. The area of this plain is 1670.31 km², which leads from the east to Kaleybar and the south to Marand and Ahar cities.

2.2. Preparation of Data

To determine the chemical of groundwater quality in the case study used information from 14 wells in June 2014 and chemical chemistry tests, cations, anions, acidity (pH), electrical conductivity (EC), TDS, and hardness of the water.

2.3. ICA Algorithm

Pseudocode for the proposed algorithm as follows [2-3]:

- 1) Select some random points on the function and initialize the empires.
- 2) Move the colonies toward their relevant imperialist (Assimilating).
- 3) If there is a colony in an empire that has a lower cost than that of imperialist, exchange the positions of that colony and the imperialist.
- 4) Compute the total cost of all empires (Related to the power of both imperialists and their colonies).
- 5) Pick the weakest colony (colonies) from the weakest empire and give it (them) to the empire that has the most likely to possess it (Imperialistic competition).
- 6) Eliminate the powerless empires.
- 7) If there is just one empire, stop, if not go to 2.

2.4. Optimization using Artificial Neural Network (ANN)

All optimization problems consist of two stages of modeling and planning including, the formation of the

objective function, constraints, and limitations (first stage, modeling), and the determination of the optimal conditions to achieve the ideal solution (second stage, planning). An artificial neural network consists of a set of neurons with internal links with one another, which can provide output responses based on the input data and information. Neural networks are usually created in a layered and regular manner. The first layer, in which the input data are entered, is the input layer. The middle layers of the hidden layers and the last layer, which provides the output responses are the model, is the output layer [4].

2.5. Wilcox and Schuler Methods

The Wilcox classification method and the use of its diagram are the most practical method for categorizing agriculture in hydrological studies because in the Wilcox diagram, the horizontal axis is the water salinity ($\mu\text{m}/\text{cm}$) and the vertical axis in the sodium absorption ratio (SAR) belongs. In the Schuler diagram, for each of the cations (Na, K, Mg, and Ca) and also the water hardness degree (TH), a separate axis is considered for each of them, which by its determination in the laboratory and connecting their respective points on these axes, can see the drinking water hardness balance.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The data used in this study is a total of 168 data. 148 data of current data was used for training the network and 20 data calibrations of the network. For the ICA algorithm, the numerical code was used in Matlab software to estimate SAR, EC, and TDS. To determine the water quality for industrial uses, the lingual coefficient (SI) of the water sample used according to the following equation:

$$SI = 2pH_s - pH \quad (1)$$

In Figs. 1 and 2, observed and estimated values of groundwater quality parameters are shown using two ICA and ANN models.

4. CONCLUSIONS

The results of the ICA and ANN models showed that a good match with the observed data, which shows the efficiency of these methods. The high correlation coefficient (R2) obtained from ANN in comparison ICA algorithm indicates that the ability and the accuracy of ANN methods for estimation of groundwater quality parameters. The results of the chemical analysis of Jolfa plain groundwater by Wilcox, Schuler, and Piper diagrams also showed that the water of this plain is not very good for drinking and difficult to food digest.

REFERENCES

- [1] M. M. Mirsanjouri, F. Mohammadyari, R. Basiri, F. Hamidipour, Modeling the EC, SAR and TDS in groundwater using artificial neural network (case study: Mehran and Dehloran Plain), *Human and Environmental Quarterly Journal*, 42 (2015) 1-12. (In Persian)
- [2] S. Emami, M. Hemmati, H. Arvanaghi, Evaluation and comparison Imperialist Competitive and Genetic algorithms in Estimation of groundwater quality parameters, *Journal of Hydrogeology*, 292 (2017) 44-53. (In Persian)
- [3] E. Atashpaz-Gargari, C. Lucas, Imperialist competitive algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition, *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, (2007) 4661-4667.
- [4] M. B. Menhaj, Computational Intelligence, No. 1, The Basic of Artificial Neural Networks, Amirkabir University, (1998). (In Persian)

HOW TO CITE THIS ARTICLE

S. Emami, R. Norouzi Sarkarabad, Y. Choopan, Use of Artificial Neural Network and Imperialist Competitive Algorithm to Evaluate the Groundwater Quality of Jolfa Plain for Various Uses, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(1) (2021) 75-78.

DOI: [10.22060/ceej.2018.14258.5605](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.14258.5605)





استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و الگوریتم رقابت استعماری به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت جلغا برای مصارف مختلف

سمیه امامی^۱، رضا نوروزی سرکارآباد^۱، یحیی چوپان^{۲*}

^۱ گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز

^۲ گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۰۹

بازنگری: ۱۳۹۷/۰۴/۰۳

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۰۹

ارائه آنلاین: ۱۳۹۷/۰۱/۰۹

کلمات کلیدی:

کیفیت آب

شبکه عصبی مصنوعی

الگوریتم رقابت استعماری

شرب

کشاورزی

خلاصه: بررسی های کمی و کیفی آب های زیرزمینی اهمیت ویژه ای در مدیریت این منابع دارند. بکارگیری روش های نوین از جمله شبکه های عصبی و الگوریتم های تکاملی در تخمین کیفیت آب به دلیل سرعت، همگرایی و کارایی بسیار بالای خود، موجب صرفه جویی، کاهش هزینه ها و مدیریت هر چه بهتر می شود. هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی نتایج آنالیز شیمیایی آب های زیرزمینی دشت جلغا با توجه به نمونه برداری از ۱۴ حلقه چاه، نمودارهای ویلکاکس، شولر و پایپر و هم چنین تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و الگوریتم رقابت استعماری می باشد. در همین راستا، پارامترهای کیفی آب زیرزمینی شامل *TDS*، *EC* و *SAR* با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و الگوریتم رقابت استعماری تخمین زده شد و کیفیت منابع آب زیرزمینی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت با استانداردهای ویلکاکس، پایپر و شولر مورد بررسی قرار گرفت. ضریب همبستگی بالای ۹۰ درصد، نشان دهنده دقت قابل قبول شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با الگوریتم رقابت استعماری در تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی است. هم چنین نتایج استفاده از دیاگرام های مختلف نشان می دهد نمونه ها دارای سختی و خوردگی خیلی زیاد بوده و از نظر استفاده در شرب و صنعت نامناسب نمی باشند. طبق طبقه بندی کلاس ها، اکثر داده ها در کلاس C4S2 قرار دارند که آب این گروه برای مقاصد کشاورزی نامناسب می باشد.

۱- مقدمه

و رشد صنعتی تشدید گردیده و این پدیده موجب کاهش کیفیت آب های زیرزمینی شده است (طاهری، ۱۳۹۴). امروزه منابع آب یکی از پایه های اساسی توسعه پایدار محسوب می شود که علاوه بر کمیت، کیفیت آب نیز جزء پارامترهای مهم مورد توجه قرار می گیرد. در همین راستا پارامترهای کیفی آب جزء مولفه هایی می باشند که بایستی در برنامه ریزی ها به دقت پیش بینی و شبیه سازی شوند. با تخمین و مدل سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی علاوه بر مدیریت بهره برداری منابع آب به منظور تأمین نیاز، می توان حوادث طبیعی هم چون خشکسالی را نیز مهار نمود. اجرای یک مدل بهینه سازی جهت بررسی صحت داده ها، اصلاح و یا تکمیل داده ها مورد استفاده قرار می گیرد. تکنیک های بسیاری برای بررسی و تخمین کیفیت

منابع آب زیرزمینی یکی از بهترین و در برخی موارد تنها راه حل مشکل تأمین آب شرب و کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران می باشد. افت شدید سطح ایستابی و نیز تخریب کیفیت آب در اثر افزایش بهره برداری از منابع آب زیرزمینی و کم بودن تغذیه طبیعی نسبت به میزان برداشت، روز به روز در حال افزایش می باشد. طی سال های اخیر افزایش میزان شوری و کاهش کیفیت آب زیرزمینی به دلیل نفوذ و اختلاط آلاینده ها به یکی از مشکلات زیست محیطی جدی دنیا تبدیل شده است. نفوذ آب های آلوده به آبخوان ها یکی از مشکلاتی است که عموماً در اثر فعالیت های انسانی

* نویسنده عهده دار مکاتبات: somayhemami70@gmail.com



معاشری و همکاران (۲۰۱۳)، به تخمین توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت کاشان با روش ترکیبی زمین آمار، شبکه عصبی مصنوعی و بهینه شده با الگوریتم ژنتیک اقدام نمودند. نتایج، عملکرد دقیقی را از رویکرد ترکیبی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک به منظور تخمین پارامترهای کیفی مورد بررسی نشان داد، به طوری که مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم به ترتیب با ضرایب ۰/۹۹، ۰/۹۹ و ۰/۹۸ تخمین زده شدند.

اسلامیان و لوایی (۲۰۰۹)، آلودگی نترات در شهر اصفهان را با روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و گزارش کردند که نتایج حاصل از این پژوهش می تواند در اهداف مدیریت آب های زیرزمینی منطقه مفید واقع شود.

امیری و همکاران (۲۰۱۳)، در مطالعه ای، عنصر سرب (II) را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون غیر خطی چند متغیره، مدل سازی کردند. آن ها از پنج مدل ANN^1 و $MNLR^2$ شامل ترکیبی از پارامترهای عملیاتی توسعه یافته استفاده کرده و نتیجه گرفتند که مدل $ANN5$ با الگوریتم لوبنبرگ - مارکوارت (LM^3) و تابع فعال مماس یادگیری در بین سایر پارامترهای ورودی دقیق ترین روش بود.

کریمی و گلابی (۲۰۱۳)، به شبیه سازی و تخمین پارامترهای کیفیت آب رودخانه ی کارون در استان خوزستان با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، روش فازی- عصبی و رگرسیون آماری، پرداختند. نتایج پژوهش آن ها نشان داد شبکه های عصبی مصنوعی و فازی- عصبی تخمین مطلوب تری در شبیه سازی و برآورد SAR ، TDS و EC دارد.

اعلایی (۲۰۱۵)، کیفیت آب دشت نیشابور را با استفاده از شبکه های MLP^4 و سیستم استنتاجی عصبی-فازی، تخمین زدند. در این مطالعه برای تخمین و ارزیابی میزان مواد جامد محلول (TDS) دشت نیشابور با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی از داده های کمی و کیفی دبی جریان، دما، کربنات، بی کربنات و مقادیر یونی کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم و سدیم بهره گرفته شد.

خمر و همکاران (۱۳۹۰)، در بررسی کیفیت منابع آب در منطقه

آب مورد استفاده قرار می گیرند که بیش تر آن ها نیازمند اطلاعات ورودی فراوان و غیر قابل دسترس بوده و یا اندازه گیری این اطلاعات صرف هزینه های زمانی و مالی فراوانی را به دنبال خواهد داشت (میرسنجری و همکاران، ۱۳۹۵). الگوریتم های فرا ابتکاری و شبکه های عصبی مصنوعی نتایج رضایت بخشی را در مدل سازی سیستم های پیچیده غیرخطی در مسایل مدیریت منابع آب نشان داده اند که به تفصیل توسط پژوهشگران در حوزه های مختلف گزارش شده است. شبکه های عصبی مصنوعی و الگوریتم های فرا ابتکاری با قابلیت سازگاری و با تغییرات پیش بینی نشده، جایگزین مناسبی برای مدل های تجربی و رگرسیونی جهت تخمین رفتار منابع آب محسوب می شوند. با توجه به نقش نسبت جذب سدیم (SAR) در مدیریت و پایداری خاک، تخمین این پارامتر در آب های زیرزمینی استفاده شده در اراضی کشاورزی از اهمیت خاصی برخوردار است. پارامتر هدایت الکتریکی (EC) نیز از پارامترهای اصلی در پایش کیفیت آب به لحاظ شرب و کشاورزی می باشد. این پارامتر ارتباط مستقیم با میزان شوری آب، میزان جذب سدیم و کیفیت آب شرب دارد (میرسنجری و همکاران، ۱۳۹۵). TDS (کل مواد جامد محلول) نیز پارامتری بسیار مؤثر در ایجاد طعم آب آشامیدنی می باشد. با توجه به اهمیت پارامترهای TDS ، EC و SAR ، این پارامترها جهت مدل سازی انتخاب می شوند. در سالیان اخیر مطالعات متعددی بر روی تخمین و شبیه سازی کیفیت آب های سطحی، زیرزمینی و بررسی کیفیت آن ها برای مصارف مختلف هم چون کشاورزی، شرب و صنعت با استفاده از روش های نوین (الگوریتم های فرا ابتکاری، روش های فازی، شبکه های عصبی مصنوعی و ...) صورت گرفته است. رفعتی و همکاران (۲۰۱۱)، روند تغییرات و پایش فلوراید در آب زیرزمینی استان همدان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که روند تغییرات آنیون بین ۰ تا ۱/۷۸ میلی گرم در لیتر بوده و میزان آن در ۴۹ درصد از ایستگاه ها کم تر از استاندارد پیشنهاد شده از طرف سازمان حفاظت محیط زیست کشور بوده است. ماگش و همکاران (۲۰۱۲)، با بررسی کیفیت آب زیر زمینی در منطقه تامیل نادوی هندوستان، گزارش کردند که کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر آلاینده های سطحی، انحلال مواد معدنی و تبخیر بوده و وجود ترکیبات نیتروژن دار، ناشی از فعالیت های کشاورزی و سایر تأثیرات انسانی می باشد.

1 Artificial Neural Network
2 Multivariate Nonlinear Network
3 Levenberg Marquardt
4 Multilayer Perceptron

آب زیرزمینی انتخاب گردید. نتایج نشان داد روش شبکه عصبی با ضریب همبستگی بالای ۹۰ کارایی بالایی در تخمین مقادیر پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دارد.

ساکي زاده (۱۳۹۶)، تغییرات پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در محدوده شهرستان ملایر را با تأکید بر تأثیر کاربری کشاورزی بر کیفیت آب مورد بررسی قرار داد. داده های پایش شده در ارتباط با ۱۴ پارامتر کیفیت آب مربوط به ۲۶ چاه در طی سال های ۱۳۹۲-۱۳۹۱ و ۱۹ چاه طی سال های ۱۳۸۹-۱۳۹۰ به دست آمدند. نتایج نشان داد شاخص کیفیت آب ۷۶/۹ درصد از ایستگاه ها در حد آلودگی ناچیز تا متوسط قرار داشتند. در کل، مقادیر نترات در ۲۱ چاه (۸۰/۷ درصد)، بالاتر از حد استاندارد آلودگی ناشی از منابع انسانی (۱۳ میلی گرم در لیتر) و در دو چاه بالاتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی جهت مصارف شرب (۴۰ میلی گرم در لیتر) بود.

مکرم و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی کیفیت آب زیرزمینی در یک دوره ۱۰ ساله با استفاده از شبکه های عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS)^۴ و سه روش خوشه بندی^۵، پارتیشن بندی شبکه ای^۶ و FCM^۷ در دو حالت هیبرید^۸ و پس انتشار خطا^۹ در غرب استان فارس اقدام نمودند. پارامترهای آموزش شامل هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) بود. نتایج مطالعه ی آن ها نشان داد، از بین مدل های مختلف تخمین کیفیت آب زیرزمینی، مدل هیبرید در روش FCM با بیش ترین ضریب همبستگی ($R^2 = 0.99$) و کم ترین خطا، بیش ترین دقت در تخمین کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده را دارد.

در مجموع با توجه به پیشینه مطالعات صورت گرفته و ذکر این نکته که دشت جلفا یکی از مهم ترین دشت ها در شمال غرب و مهم ترین منبع تأمین کننده آب بخش های مختلف نواحی مجاور خود می باشد، تخمین و مدل سازی کیفیت آب زیرزمینی این دشت بسیار ضروری است. از این رو، هدف پژوهش حاضر معرفی و به کارگیری روش الگوریتم رقابت استعماری (ICA)^{۱۰} و مقایسه نتایج آن با روش های شبکه عصبی مصنوعی و نمودار ویلکاکس، شولر

معدنی کوه زر در غرب تربت حیدریه، پس از اندازه گیری کاتیون و آنیون های نمونه های آب برداشت شده از منابع زیرزمینی، تیپ آب منطقه را Na-Cl و Na-HCO₃ گزارش کردند و کیفیت آب را براساس نمودارهای شولر و ویلکاکس، از نظر شرب و کشاورزی نامناسب معرفی نمودند.

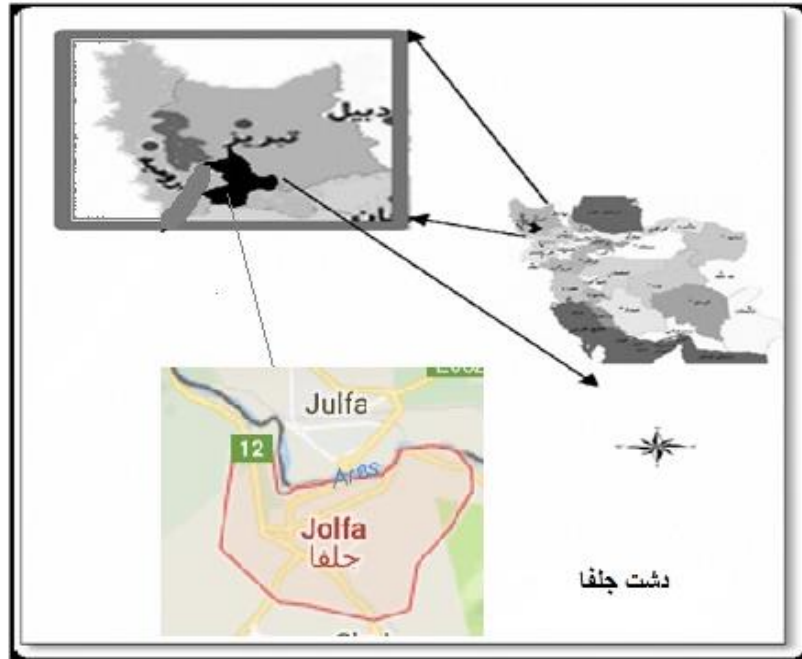
صالحی و زینی وند (۱۳۹۳)، به بررسی کیفیت آب زیرزمینی برای شرب، کشاورزی و انتخاب مناسب ترین روش میان یابی مکانی آن در غرب شهرستان مریوان پرداختند. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی منطقه از نظر کیفی برای شرب در محدوده ی مناسب و قابل قبول قرار دارد. هم چنین برای آبیاری، بیشتر منطقه در محدوده ی قابل قبول قرار دارد. نتایج میان یابی مکانی براساس معیارهای ریشه ی دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)^۱، میانگین خطای مطلق (MAE)^۲ و بیش ترین مقدار ضریب همبستگی (R^2)^۳ نشان داد که از بین روش های مختلف میان یابی، روش تخمین گر موضعی برای پارامترهای سولفات، غلظت مواد محلول و شوری، روش تابع شعاعی برای پارامترهای سدیم و نسبت جذب سدیم، روش تخمین گر عام برای پارامتر کلر و روش کریجینگ ساده برای پارامتر سختی آب، مناسب ترین برآورد سالانه را دارند.

امامی و همکاران (۱۳۹۵)، به تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت بستان آباد واقع در آذربایجان شرقی پرداختند. ایشان اقدام به تخمین پارامترهای کیفی غلظت نسبت جذب سدیم (SAR) و کلر (Cl) با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک نمودند. نتایج حاصل نشان داد مقدار میانگین مربعات خطا در نمونه تست برای غلظت نسبت جذب سدیم و کلر به ترتیب برابر با ۰/۰۰۹۱۲ و ۰/۰۰۷۹۰ می باشد. همچنین نتایج حاصل از اجرای دو الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه نشان داد الگوریتم رقابت استعماری در مقایسه با روش الگوریتم ژنتیک از قدرت، هم گرایی و سرعت بالایی برخوردار می باشد.

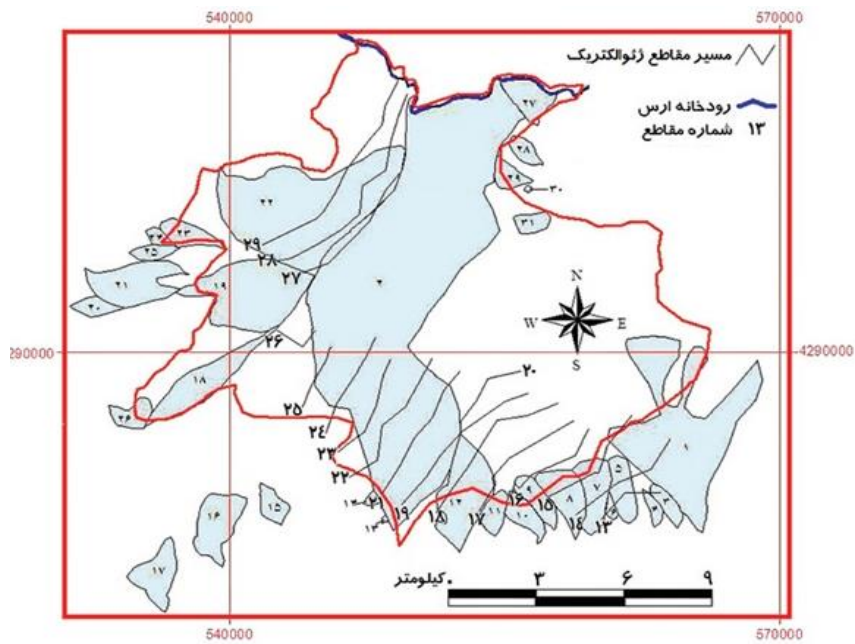
میر سنجری و همکاران (۱۳۹۵)، پارامترهای کیفی SAR, EC و TDS آب زیرزمینی دشت مهران و دهلران را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل سازی کردند. در این مطالعه شبکه عصبی با الگوریتم لوبنبرگ - مارکوارت (LM) برای تخمین پارامترهای کیفی

4 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
5 Sub Clustering
6 Grid Partitioning
7 Front control Model
8 Hybrid
9 Back Propagation
10 Imperialist Competitive Algorithm

1 Root Mean Square Error
2 Mean Absolute Error
3 Correlation Coefficient



(الف)



(ب)

شکل ۱. الف و ب) موقعیت دشت جلغا بر روی نقشه

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت جلغا در شمال غربی استان آذربایجان شرقی، بین ۴۵ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و بین ۳۸

و پایپر در تخمین و بهینه سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (TDS و EC , SAR) و هم چنین استفاده از این روش جهت تصمیم گیری های مدیریتی و اعتمادپذیری نتایج پایش و کاهش هزینه های مربوط به آن می باشد.

جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت جلفا (آب و منطقه ای آذربایجان شرقی)

meq=واحد اندازه گیری												
EC	TDS	PH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	دما	علامت اختصاری
۵۹۲۰	۳۵۵۲	۷/۶	۷	۷	۴۵	۰/۱۱	۶/۲۵	۰	۴۰	۱۲/۹	۲۱	A
۵۶۲	۳۳۷/۲	۶/۸	۲	۲/۴	۱/۱۸	۰/۰۳	۵	۰	۰/۵	۰/۱	۲۱	B
۷۳۶	۴۴۱/۶	۷/۶	۲/۶۸	۳/۲۴	۱/۳۶	۰/۰۷	۵/۶۵	۰	۰/۶	۱/۱	۲۱	C
۱۰۰۸	۶۰۴/۸	۸/۹	۰/۸	۲/۰۸	۷/۱	۰/۰۸	۶/۱۵	۰/۴	۱/۵	۲	۲۱	D
۷۴۱	۴۴۴/۶	۷/۵	۲/۴	۲/۷۶	۲/۲	۰/۰۴	۵/۲	۰	۱/۲	۱	۲۱	E
۳۰۵۰	۱۸۳۰	۸/۳	۵	۱۳/۲	۱۲/۲	۰/۰۸	۷/۳۵	۰/۲۵	۱۶/۲۵	۶/۶	۲۱	F
۳۹۳۰	۲۳۵۸	۷	۹	۱۱	۱۹	۰/۲۲	۱۱/۷۵	۰	۱۷/۵	۱۰	۲۱	G
۳۰۴۰	۱۸۲۴	۷/۵	۷/۶	۷/۶	۱۵	۰/۱۹	۹/۸۵	۰	۱۵	۵/۵	۲۱	H
۴۱۴۰	۲۴۸۴	۷/۸	۹/۸	۱۰/۴	۲۱	۰/۱۹	۸/۱	۰	۲۱/۲۵	۱۲	۲۱	I
۲۳۳۰	۱۳۹۸	۸/۱	۳/۲	۳/۴	۱۶/۶	۰/۰۷	۷/۷۵	۰	۱۲/۵	۳	۲۱	J
۲۰۴۰	۱۲۲۴	۷/۶	۵/۸	۶/۸	۷/۶	۰/۰۸	۱۱/۲۵	۰	۶/۵	۲/۶	۲۱	K
۷۷۹	۴۶۷/۴	۷/۹	۴/۰۴	۳/۴۴	۱۲	۰/۰۷	۵/۱	۰	۰/۷۵	۱/۹	۲۱	L
۲۸۲۰	۱۶۹۲	۷/۵	۷	۱۰	۱۱	۰/۱۸	۱۱	۰	۱۳/۷۵	۳/۴	۲۱	M
۲۷۷۴	۱۰۶۴/۴	۷/۷	۴/۶۴	۵/۲۸	۷/۶	۰/۲	۸/۴	۰	۵/۵	۳/۸	۲۱	N

۲-۳- الگوریتم رقابت استعماری

همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن‌ها یک "کشور" نامیده می‌شوند، شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان امپریالیست^۱ انتخاب می‌شوند. باقی مانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره^۲، در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می‌آید، به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است.

با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان

درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی به صورت نوار باریکی در مرز شمالی استان واقع شده و از شمال به رودخانه ارس و جمهوری‌های نخجوان و ارمنستان و آذربایجان منتهی می‌شود (شکل ۱). وسعت این دشت ۱۶۷۰/۳۱ کیلومترمربع می‌باشد که از شرق به شهرستان‌های کلیبر و از جنوب به مرند و اهر منتهی می‌شود. با توجه به این که حوضه ی آبخیز مورد نظر از لحاظ کشاورزی، صنعت، گردشگری و غیره دارای اهمیت بالایی است، لذا بررسی کیفیت آب زیرزمینی جهت استفاده در مصارف مختلف ضروری می‌باشد.

۲-۲- تهیه داده‌ها

برای تعیین کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، از اطلاعات ۱۴ حلقه چاه در خرداد ماه سال ۱۳۹۳ استفاده و با انجام آزمایش‌های شیمی آب، کاتیون‌ها، آنیون‌ها، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (Ec)، مقدار کل مواد جامد محلول (TDS)

و سختی آب طبق جدول ۱ به دست آمدند.

1 Imperialist
2 Colony

- کمتر از امپریالیست داشته باشد؛ جای مستعمره و امپریالیست را با هم عوض کن.
۴. هزینه‌ی کل یک امپراطوری را حساب کن (با در نظر گرفتن هزینه‌ی امپریالیست و مستعمراتشان).
۵. یک مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری انتخاب کرده و آن را به امپراطوری‌ای که بیشترین احتمال تصاحب را دارد، بده.
۶. امپراطوری‌های ضعیف را حذف کن.
۷. اگر تنها یک امپراطوری باقی مانده باشد، توقف کن و گرنه به ۲ برو.

۲-۴- شبیه سازی شبکه ی عصبی مصنوعی

تمامی مسائل بهینه سازی شامل دو مرحله مدل سازی و برنامه ریزی است که به ترتیب شامل تشکیل تابع هدف، قیود و محدودیت ها (مرحله اول، مدل سازی) و تعیین شرایط بهینه در رسیدن به جواب ایده آل (مرحله دوم، برنامه ریزی) می باشند.

شبکه عصبی مصنوعی متشکل از مجموعه ای از نرون ها با ارتباطات داخلی بین یکدیگر می باشد که قادر است بر اساس اطلاعات و داده های ورودی، جواب های خروجی را تهیه نماید. شبکه های عصبی معمولاً به صورت لایه لایه و منظم ایجاد می گردند. اولین لایه که اطلاعات و داده های ورودی به آن وارد می گردند لایه ورودی است. لایه های میانی لایه های مخفی و آخرین لایه که جواب های خروجی از مدل را فراهم می نماید، لایه خروجی می باشند (منهاج، ۱۳۷۹).

مجموعه کل ورودی به نرون از رابطه (۱) به دست می آید:

$$net_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i \quad (1)$$

که در آن، net_j کل ورودی به نرون، x_i لایه ورودی و w_{ij} شدت اتصال نرون ها می باشد که در طول فرآیند یادگیری مشخص می شوند. مرحله ی بعدی شامل تعیین سطح خروجی از نرون به روی جمع ورودی ها اعمال می شود. تابع فعالیت مورد استفاده در تحقیق حاضر، تابع سیگموئید بوده و خروجی شبکه، ۰ و ۱ می باشد، که به صورت زیر تعریف می شود:

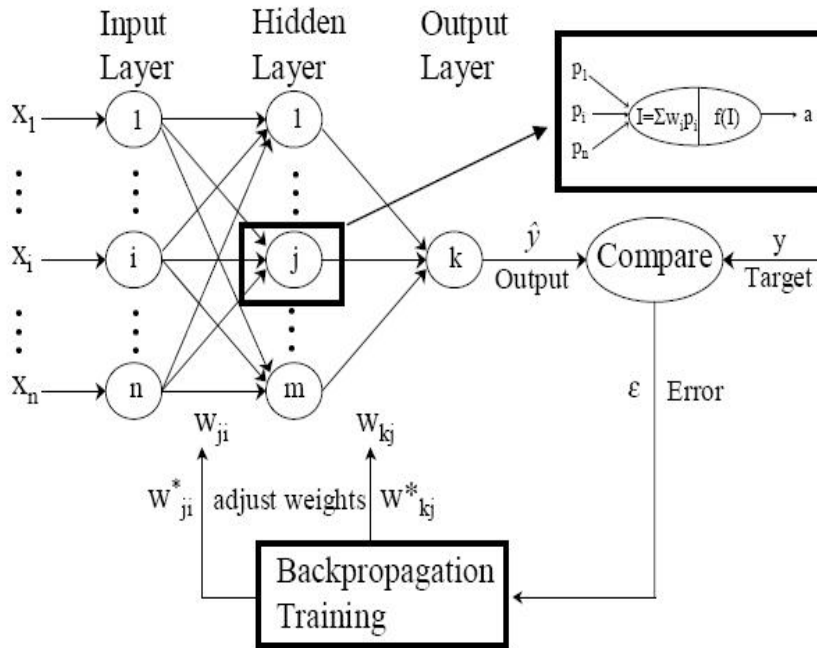
$$f(s_j) = \frac{1}{1 + e^{-s_j}} \quad (2)$$

آن‌ها شروع می‌شود. هر امپراطوری‌ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کرده و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند)، از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد. بنابراین بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب، و به سيطرة در آوردن آنها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری‌های بزرگتر افزوده شده و امپراطوری‌های ضعیف‌تر، حذف خواهند شد. امپراطوری‌ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند. پایه‌های اصلی این الگوریتم را سیاست هم سان سازی^۱، رقابت استعماری و انقلاب^۲، تشکیل می دهند. این الگوریتم با تقلید از روند تکامل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی کشورها و با مدل سازی ریاضی بخش‌هایی از این فرآیند، عملگرهایی را در قالب منظم به صورت الگوریتم ارائه می‌دهد که می‌توانند به حل مسائل پیچیده بهینه سازی کمک کنند. در واقع این الگوریتم جواب های مسأله بهینه سازی را در قالب کشورها نگریسته و سعی می‌کند در طی فرآیندی تکرار شونده این جواب‌ها را رفته رفته بهبود داده و در نهایت به جواب بهینه مسأله برساند (امامی و همکاران، ۱۳۹۵).

به طور خلاصه، این الگوریتم، از چندین کشور در حالت اولیه شروع می‌شود. کشورها در حقیقت جواب های ممکن مسأله هستند و معادل کروموزوم در الگوریتم ژنتیک و ذره در بهینه‌سازی گروه ذرات هستند. همه‌ی کشورها، به دو دسته تقسیم می‌شوند: امپریالیست و مستعمره. کشورهای استعمارگر با اعمال سیاست جذب (همگون سازی) در راستای محورهای مختلف بهینه‌سازی، کشورهای مستعمره را به سمت خود می کشند. رقابت امپریالیستی در کنار سیاست همگون سازی، هسته‌ی اصلی این الگوریتم را تشکیل می‌دهد و باعث می‌شود که کشورها به سمت مینیمم مطلق تابع حرکت کنند. در زیر مراحل این الگوریتم نشان داده شده است:

۱. چند نقطه تصادفی روی تابع انتخاب کرده و امپراطوری‌های اولیه را تشکیل بده.
۲. مستعمرات را به سمت کشور امپریالیست حرکت بده (سیاست همسان‌سازی).
۳. اگر مستعمره‌ای در یک امپراطوری، وجود داشته باشد که هزینه‌ای

1 Assimilation
2 Revolution



شکل ۲. شبکه عصبی سه لایه پیش رو با الگوریتم آموزش انتشار برگشتی

جدول ۲. طبقه بندی آب از نظر کشاورزی بر اساس معیار ویلکاکس

طبقه	حدود EC	طبقه	حدود SAR
عالی C ₁	۰ - ۲۵۰	عالی S ₁	۰ - ۱۰
خوب C ₂	۲۵۰ - ۷۵۰	خوب S ₂	۱۰ - ۱۸
متوسط C ₃	۷۵۰ - ۲۲۵۰	متوسط S ₃	۱۸ - ۲۶
ضعیف C ₄	۲۲۵۰ - ۵۰۰۰	ضعیف S ₄	۲۶ - ۳۲

نمودار آن کاربری ترین روش برای طبقه بندی آب از نظر کشاورزی در مطالعات آب شناسی است، زیرا در نمودار ویلکاکس، محور افقی به شوری آب (بر حسب میکرومینیس بر سانتی متر) و محور عمودی به نسبت جذب سدیم (SAR) اختصاص دارد. در جدول ۲، طبقه بندی آب از نظر کشاورزی بر اساس معیار ویلکاکس ارائه شده است.

از تلفیق دو عامل (هدایت الکتریکی EC و نسبت جذب سدیم SAR)، آب ها به ۱۶ طبقه تقسیم می شوند که از S₁ - C₁ (عالی) شروع و به S₄ - C₄ (نامناسب) ختم می شوند (۱۰).

در نمودار شولر، برای هر یک از مقادیر کاتیون ها (Na, K, Mg, Ca) و آنیون ها (Cl, SO₄, HCO₃) و نیز درجه سختی آب (TH)، محور

در این رابطه، $f(s_j)$ معرف تابع سیگنویید می باشد.

۲-۵- روش نمودار ویلکاکس، شولر و پایپر

در مصارف کشاورزی، آب با غلظت نسبت جذب سدیم کم توصیه می شود، زیرا به ازای مقدار معینی از کاتیون سدیم، افزایش کاتیون های کلسیم و منیزیم آب منجر به قابلیت جذب سدیم به وسیله ی خاک شده و در نتیجه زیان آن برای گیاه کمتر می شود. اما سدیم به تنهایی نمی تواند معیار کیفی آب به لحاظ کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد و بهتر است که تأثیر آن در ارتباط با شوری کل آب در نظر گرفته شود. لذا روش طبقه بندی ویلکاکس و استفاده از

۲-۶-۱- نحوه ورود داده ها در الگوریتم رقابت استعماری

به منظور بررسی میزان اهمیت هر یک از پارامترهای کیفی استفاده شده در تخمین مقادیر EC ، TDS و SAR با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری، پارامترهای Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، pH ، Cl و SO_4^{2-} به عنوان ورودی شبکه انتخاب شدند. در ابتدای کار جهت سنجش کارایی الگوریتم رقابت استعماری، به آموزش و صحت سنجی الگوریتم در تخمین پارامترها اقدام شد. نتایج ارائه شده در جدول ۴ بیانگر این مطلب می باشد. به طور کلی برای تخمین مقادیر کاتیون ها و آنیون ها با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری، مقادیر EC و TDS با استفاده از سایر پارامترهای کیفی یعنی کاتیون ها و آنیون های اصلی (جدول ۴) و SAR استفاده شد. جهت مدل سازی SAR به عنوان متغیر وابسته نیز از میزان کل عناصر محلول، فراسنج های طول و عرض جغرافیایی، EC ، TDS و مقادیر pH به عنوان متغیر مستقل استفاده شد. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم رقابت استعماری در جدول ۳ و هم چنین تجزیه و تحلیل آماری داده های مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۴ و ۵ آورده شده است.

برای الگوریتم رقابت استعماری، کد عددی در نرم افزار متلب^۱ بکار گرفته شد که به ترتیب جهت تخمین غلظت SAR و EC و TDS به فرم رابطه های (۶) تا (۸) و تابع هدف در رابطه های (۹) تا (۱۱) آورده شده است:

$$SAR = C_1 * EC^{C_2} + C_3 * pH^{C_4} + C_5 * TDS^{C_6} + C_7 \quad (6)$$

$$EC = C_1 Mg^{C_2} + C_3 Ca^{C_4} + C_5 pH^{C_6} + C_7 Cl^{C_8} + C_9 \quad (7)$$

$$TDS = C_1 Na^{C_2} + C_3 EC^{C_4} + C_5 Cl^{C_6} + C_7 \quad (8)$$

$$MSE = \sum_{i=1}^n \frac{1}{N} (SAR_{obs} - SAR_{ICA})^2 \quad (9)$$

$$MSE = \sum_{i=1}^n \frac{1}{N} (EC_{obs} - EC_{ICA})^2 \quad (10)$$

$$MSE = \sum_{i=1}^n \frac{1}{N} (TDS_{obs} - TDS_{ICA})^2 \quad (11)$$

جداگانه ای در نظر گرفته شده که با تعیین آن ها در آزمایشگاه و اتصال نقاط متناظرشان روی این محورها می توان به درجه تناسب آب برای شرب پی برد. هم چنین در نمودار شولر، یون ها در دو مثلث به صورت درصدی از آنیون ها و کاتیون ها به میلی اکی والان بر لیتر رسم می شوند که مقادیر ترسیمی برای آنالیز لوزی بین دو مثلث منتقل می شود. در دیگرام پایپر، مقایسه تعداد زیادی داده های آنالیز شده امکان پذیر می شود، علاوه بر این در دیگرام پایپر میدان عمل محدودتر و شلوغ تر است. اندازه دایره های ترسیمی در نمودار پایپر می تواند مقدار مواد محلول کلی را نشان دهد. این نمودار بیانگر مشخصات شیمیایی آب بر حسب غلظت نسبی تشکیل دهنده ی آن ها می باشد.

۲-۶-۲- تعریف مسأله

در تحقیق حاضر، از مدل شبکه ی عصبی مصنوعی و الگوریتم رقابت استعماری در تخمین و بهینه سازی مقادیر SAR ، TDS و EC با استفاده از کاتیون ها و آنیون های اصلی (پارامترهای کیفی Mg ، Ca ، Na ، Cl ، SO_4 ، HCO_3) و pH استفاده شد. داده های به کار گرفته شده در این نوشتار مجموعاً ۱۶۸ داده می باشد که ۱۴۸ نمونه شامل داده های آموزشی جهت ساخت مدل و ۲۰ نمونه دیگر جهت صحت سنجی این مدل توسط شرکت آب منطقه ای برداشت و آنالیز شده است.

با توجه به این که وارد کردن داده ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت مدل می شود، بنابراین ورودی ها و خروجی ها باید طبق فرمول های زیر در بازه $[L, H]$ ، که در این پژوهش معادل $[0, 1]$ انتخاب گردید، استاندارد شوند، از این رو داده های مورد استفاده به مدل ها به صورت روابط (۳) تا (۵) نرمالیزه شدند (لاروس، ۲۰۰۵):

$$X^* = mX_i + b \quad (3)$$

$$m = \frac{H - L}{Max(X) - Min(X)} \quad (4)$$

$$b = \frac{Max(X)L - Min(X)H}{Max(X) - Min(X)} \quad (5)$$

که X^* متغیر نرمال سازی شده و X_i متغیر اصلی است.

جدول ۳. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم رقابت استعماری

عنوان	تعداد
تعداد کشورهای اولیه	۱۰۰
تعداد استعمارگران اولیه	۶
تعداد مستعمرات	۹۴
β	۲
γ	$\pi/4$
ζ	۰/۰۱

پایاده‌سازی ها، انتخاب مناسبی بوده است. β عددی بزرگتر از یک و نزدیک به ۲ می‌باشد. یک انتخاب مناسب می‌تواند $\beta = 2$ باشد. وجود ضریب $\beta > 1$ باعث می‌شود تا کشور مستعمره در حین حرکت به سمت کشور استعمارگر، از جهت‌های مختلف به آن نزدیک شود. ζ عددی مثبت است که معمولاً بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می‌شود (امامی و همکاران، ۱۳۹۵).

۳- نتایج و بحث

تحلیل آب‌های زیرزمینی دشت جلفا از طریق نتایج حاصل از اجرای الگوریتم رقابت استعماری، شبکه عصبی مصنوعی و نمودار ویلکاکس، شولر و پایپر صورت گرفت. در این پژوهش تعداد لایه‌های مخفی و شمار نرون‌ها در لایه‌های میانی متناسب با تعداد نرون‌ها در لایه‌ی میانی بر مبنای مقایسه‌ی عملکرد شبکه انتخاب شد. جهت تخمین پارامترها، از یک شبکه عصبی (ANN) سه لایه استفاده شد. جهت مدل‌سازی (SAR)، شبکه عصبی دارای ۳ نرون در لایه ورودی (Na, Ca, Mg) و یک نرون در لایه خروجی (SAR) می‌باشد. شبکه عصبی در مدل‌سازی (EC) دارای ۴ نرون در لایه ورودی (Cl, Mg, Ca, pH) و یک نرون در لایه خروجی (EC) و در مدل‌سازی (TDS) شبکه دارای ۳ نرون در لایه ورودی (EC, Na, Cl) و یک نرون در لایه خروجی (TDS) تعریف شد. مقدار ضریب همبستگی بالا بین مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده در داده‌های آموزش و آزمون (میانگین ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده EC, TDS, SAR به ترتیب برابر با ۰/۹۸۵، ۰/۹۹۲ و ۰/۹) برای پارامترهای تخمین زده شده، حاکی از قابلیت بالای شبکه عصبی طراحی شده برای تخمین کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد.

نتایج حاصل از آموزش و صحت‌سنجی الگوریتم رقابت استعماری و آمار توصیفی پارامترهای مشاهداتی و شبکه عصبی مصنوعی بر مبنای شاخص‌های آماری ارائه شده در روابط (۱۳) و (۱۴)، در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است (با توجه به مطالعات صورت گرفته بیش‌تر پژوهش‌ها به کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی در تخمین و ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی اقدام نموده بودند، لذا هدف از پژوهش حاضر اثبات کارایی الگوریتم رقابت استعماری در مقایسه با روش شبکه عصبی مصنوعی در تخمین و بهینه‌سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی می‌باشد).

در این روابط، $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8$ و ضرایب وزنی و نمایی برای ورودی‌های مورد نظر (این ضرایب برای تخمین SAR، TDS و EC متفاوت است)، MSE میانگین مربعات خطا، EC_{obs} ، SAR_{obs} و TDS_{obs} به ترتیب هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم و کل مواد جامد محلول مشاهداتی و SAR_{ICA} ، EC_{ICA} ، TDS_{ICA} نیز به ترتیب نسبت جذبی سدیم، هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول تخمین زده شده توسط الگوریتم رقابت استعماری می‌باشند. C_7 و C_9 مقدار ثابت معادله‌ها می‌باشند.

جهت تعیین کیفیت آب از نظر شرب انسان از نمودار شولر، قابلیت استفاده کشاورزی از نمودار ویلکاکس و نوع آب منطقه از نمودار تلفیقی پایپر استفاده شده است.

پس از تعریف تابع هدف، برای قسمت‌های مختلف مدل‌های مورد استفاده اعم از جمعیت اولیه، سیاست جذب، نسبت داده‌های آموزش و تست و غیره باید مقادیر مناسب را انتخاب نمود، که البته انتخاب صحیح این مقادیر تأثیر مستقیمی در نحوه عملکرد و سرعت مدل‌ها در مسأله مدنظر خواهد داشت.

پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم رقابت استعماری، در جدول ۳ ارائه شده است.

پارامترهای β ، γ و ζ جهت مدل‌سازی سیاست جذب در الگوریتم رقابت استعماری مورد استفاده قرار می‌گیرند. γ پارامتری دلخواه می‌باشد که افزایش آن باعث افزایش جستجوی اطراف امپریالیست شده و کاهش آن نیز باعث می‌شود تا مستعمرات تا حد ممکن، به بردار واصل مستعمره به استعمارگر، نزدیک حرکت کنند. با در نظر گرفتن واحد رادیان برای θ ، عددی نزدیک به 4π ، در اکثر

جدول ۴. نتایج حاصل از آموزش و صحت سنجی الگوریتم رقابت استعماری را در تخمین پارامترها

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ³⁻	CO ³²⁻	CL ⁻	So ₄ ²⁻
۶/۷۳	۶/۱۶	۴۳/۱۵	۰/۱۲	۶/۳۸	۰	۳۹/۲	۱۲/۷۱
۱/۷۹	۲/۲۶	۱۱/۱۵	۰/۰۲۵	۴/۷۳	۰	۰/۳۶	۰/۱۶
۲/۳۳	۳/۴۲	۱/۴۵	۰/۰۸۱	۵/۵۰	۰/۳۵	۰/۵۷	۰/۹
۰/۸۴	۲/۱۱	۷/۳۵	۰/۰۸۷	۶/۳۰	۰	۱/۳۲	۱/۸۹
۲/۶۰	۲/۳۶	۲/۱۱	۰/۰۴۳	۵/۱۰	۰/۲۱	۱/۱۷	۰/۸۷
۴/۸۵	۱۳/۱۲۵	۱۲/۳۱	۰/۰۷۲	۷/۴۵	۰	۱۶/۱۲۵	۶/۳۰
۹/۱۲	۱۰/۷۳	۱۷/۸۰	۰/۲۲	۱۱/۸۲	۰	۱۷/۲۸	۹/۴۵
۷/۴۵	۷/۴۲	۱۵/۰۸	۰/۱۷۵	۹/۹۲	۰	۱۵/۱۹	۵/۲۱
۹/۶۵	۱۰/۲۸	۲۲/۵۰	۰/۱۸۱	۸/۲۴	۰	۲۱/۰۸	۱۱/۴۳
۳/۲۸	۳/۲۶	۱۵/۷۳	۰/۰۷۳	۷/۳۳	۰	۱۲/۶۵	۳/۲۰
۵/۷۸	۶/۶۲	۷/۴۶	۰/۱۹۵	۱۱/۱۰	۰	۶/۴۲	۲/۳۲
۴/۱۶	۲/۱۶	۱/۳۵	۰/۰۶۳	۵/۳۵	۰	۰/۶۲	۱/۹۷
۶/۷۶	۹/۵۶	۱۰/۷۴	۰/۱۶۵	۱۰/۷	۰	۱۳/۵۵	۳/۶۲
۴/۷۸	۵/۱۰	۶/۶۴	۰/۱۸۶	۸/۲۳	۰	۵/۷۲	۳/۹۳

جدول ۵. نتایج آمار توصیفی پارامترهای مشاهداتی

پارامتر	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
Na	۴۳/۰۸	۱/۹	۱۲/۴۰	۹/۳۵	۸۶/۴
Ca	۸/۵	۰/۸	۴/۹۰	۳/۷	۱۳/۵
Mg	۱۳	۲/۱	۶/۲	۶/۳۸	۳۵/۲
Cl	۳۸/۷	۰/۳	۱۰/۲۰	۸/۸	۷۶/۲
So ₄	۱۲/۱	۰/۱۵	۴/۵	۴/۱	۱۵/۲
HCO ₃	۱۱/۵	۵/۰۵	۷/۵	۵/۹	۲۷/۱
CO ₃	۰/۳۲	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۲	۰/۶
K	۰/۱۸۵	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۶۵

جهت تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی، از ضریب لانزالیه (SI) نمونه آب ها بر طبق رابطه (۱۲) استفاده شد.

$$SI = 2pH_s - pH \quad (12)$$

که، pH_s مقدار pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم می‌باشد.

در رابطه (۱۲)، چنانچه $SI > 0$ باشد آب تمایل به رسوب گذاری دارد، اگر $SI < 0$ باشد آب خورنده بوده و اگر $SI = 0$ باشد آب حالت خنثی دارد. با توجه به جدول ۶ نتایج نشانگر رسوب گذار بودن آب منطقه می باشد که به علت رسوب گذاری، قابل استفاده در صنعت نمی باشد.

در شکل های ۳ تا ۵ مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده

جدول ۶. بررسی کیفیت آب از نظر صنعت

کیفیت آب برای مصارف صنعتی	PHs-PH	PH	PHs	کیفیت آب برای مصارف صنعتی	PHs-PH	PH	PHs
رسوب گذار	-0.8	8.3	7.5 18	رسوب گذار	-0.4	7.5	7.1
خورنده	0.4	6.6	7 19	خورنده	0.8	6.8	7.6
رسوب گذار	-1.6	6.8	5.2 20	متعادل	0	7	7
رسوب گذار	-1	7.8	6.8 21	رسوب گذار	-0.3	7	6.7
رسوب گذار	-2.4	7.6	5.2 22	رسوب گذار	-1.7	7	5.3
خورنده	0.1	7.7	7.8 23	رسوب گذار	-2.1	7.3	5.2
رسوب گذار	-0.9	7.2	6.3 24	رسوب گذار	-1.8	6.9	5.1
رسوب گذار	-1.5	6.6	5.1 25	رسوب گذار	-0.8	6.2	5.4
رسوب گذار	-1.1	6.9	5.8 26	رسوب گذار	-1	6.4	5.4
رسوب گذار	-1.4	6.6	5.2 27	رسوب گذار	-1.6	6.8	5.2
خورنده	1	6.1	7.1 28	رسوب گذار	-1.2	6.1	4.9
خورنده	0.4	6.9	7.3 29	رسوب گذار	-0.6	6.3	5.7
رسوب گذار	-0.6	6.6	6 30	خورنده	0.3	6.4	6.7
رسوب گذار	-1.5	6.7	5.2 31	رسوب گذار	-1.2	6.3	5.1
خورنده	0.2	7.1	7.3 32	رسوب گذار	-0.7	6.7	6
رسوب گذار	-1.2	7.2	6 33	خورنده	0.8	6.6	7.4
خورنده	0.4	6	6.4 34	رسوب گذار	-0.5	7.6	7.1

(R^2) مورد بررسی قرار گرفت. روابط محاسبه پارامترهای مذکور به صورت معادلات (۱۳) و (۱۴) می باشند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (13)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right)} \quad (14)$$

در روابط بالا، x_i و y_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده هر کدام از پارامترهای کیفی و n تعداد کل داده ها می باشند.

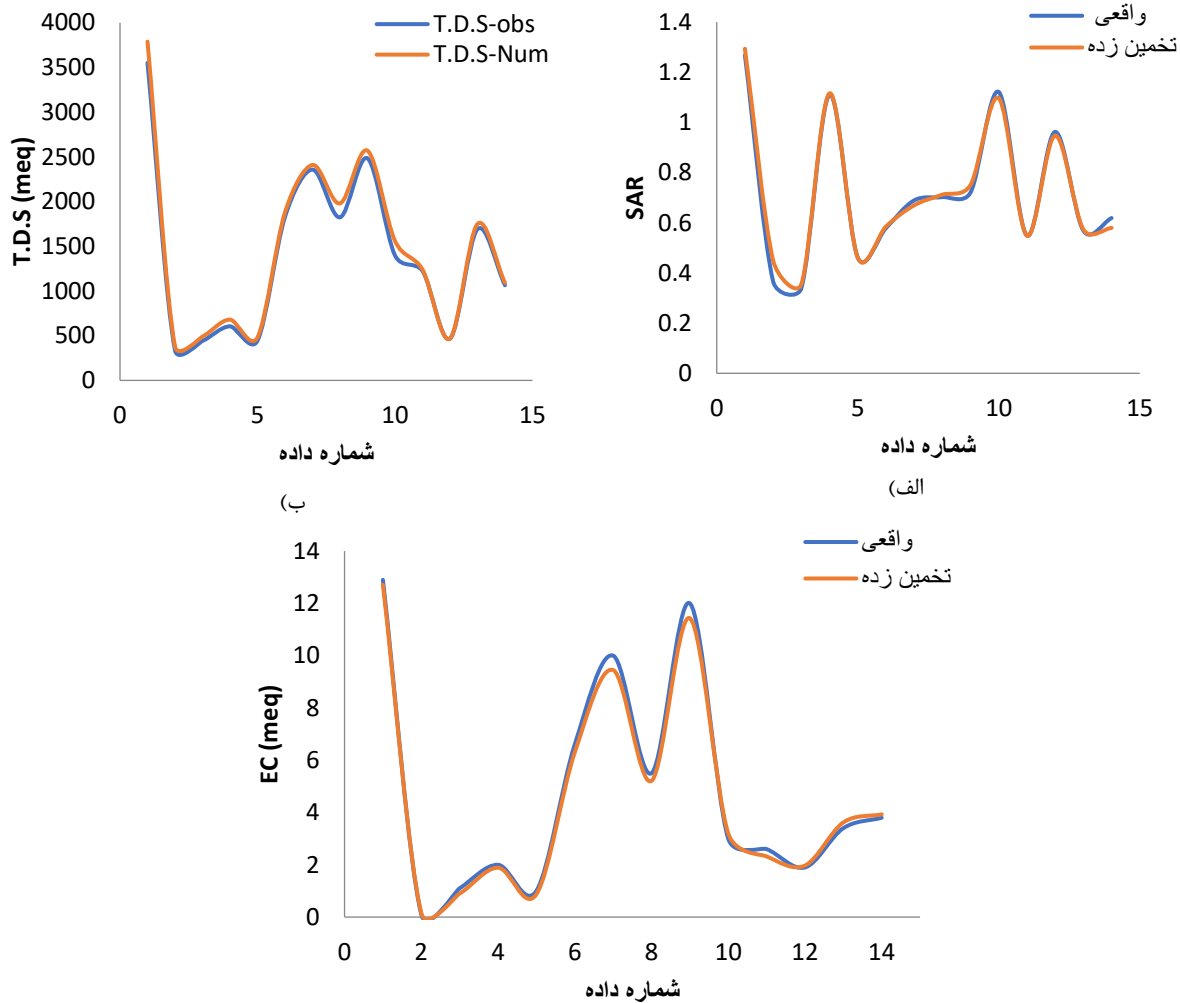
در جدول ۷، ارزیابی دقت برآورد مدل ها در تخمین پارامترهای کیفی ارائه شده است.

پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از دو مدل شبکه ی عصبی مصنوعی و الگوریتم رقابت استعماری نشان داده شده است.

با توجه به شکل های بالا می توان نتیجه گرفت که مقادیر به دست آمده از اجرای هر دو مدل مورد استفاده (الگوریتم رقابت استعماری و شبکه ی عصبی مصنوعی)، در مرحله ی اول توانایی و کارایی این دو مدل را در برآورد و تخمین غلظت پارامترهای کیفی آب در مقایسه با مقادیر مشاهداتی نشان می دهد، ثانیاً هر دو مدل در تخمین غلظت های پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت جلفا بسیار موفق عمل نموده و درصد خطای کمی دارند.

۳-۱- تحلیل خطا

خطای بین روش های تخمین زده شده و داده های مشاهداتی توسط جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و ضریب همبستگی



(ج)

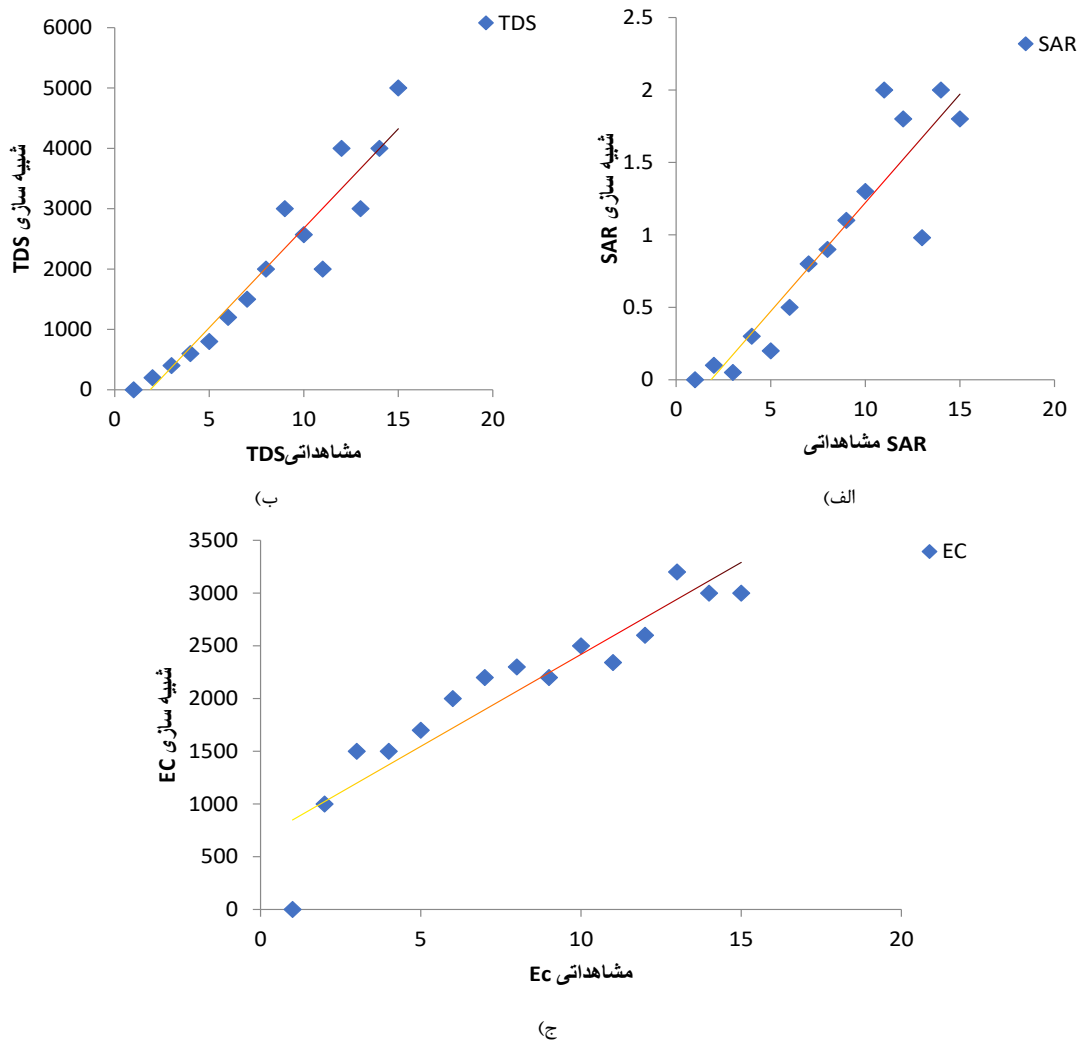
شکل ۳. الف تا ج) مقایسه ی مقدار غلظت SAR, TDS, و EC مشاهداتی و مقادیر به دست آمده از اجرای الگوریتم

است، برای مصرف کنندگان آب اهمیت ویژه ای دارد. آب دارای سختی خیلی زیاد برای شرب گوارا نیست. این نوع آب ها هضم غذا را مشکل می کنند. استفاده از این منابع برای برخی صنایع از جمله صنایع غذایی توصیه نمی شود و هم چنین نتایج نشانگر رسوب گذار بودن آب منطقه می باشد. شوری باعث افزایش قدر مطلق پتانسیل اسمزی می شود، این امر سبب می گردد که تبخیر و تعرق گیاه کاهش یابد و در اثر کاهش تبخیر و تعرق محصول تقلیل پیدا می کند. سدیم علاوه بر سمیت برای گیاهان، تأثیر نامطلوبی بر ساختمان خاک و نفوذپذیری دارد. بر طبق دباگرام ویلکاکس که یکی از معیارهای طبقه بندی آب آبیاری می باشد که طبق این معیار آب این منطقه در محدوده خیلی شور می باشد.

با توجه به شکل های ۳ تا ۵ و جدول های ۴ و ۵، می توان نتیجه گرفت که هر دو مدل نتایج رضایت بخش و قابل قبولی ارائه دادند، اما مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با الگوریتم رقابت استعماری با داشتن کم ترین میزان جذر میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی بسیار بالا، روش مناسبی در تخمین املاح، هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم موجود در آب می باشد.

همچنین در شکل های ۶ تا ۸، نمودارهای ویلکاکس، شولر و پایپر در آنالیز شیمیایی دشت جلفا آورده شده است.

نتایج حاصله از نمودارها نشان داد آب دشت جلفا، با قرارگرفتن در ظروفی مانند سماور در زمان جوشش آب املاح کربناته را رسوب می دهند. این ویژگی که در آزمایش شیمی آب کمتر مورد توجه



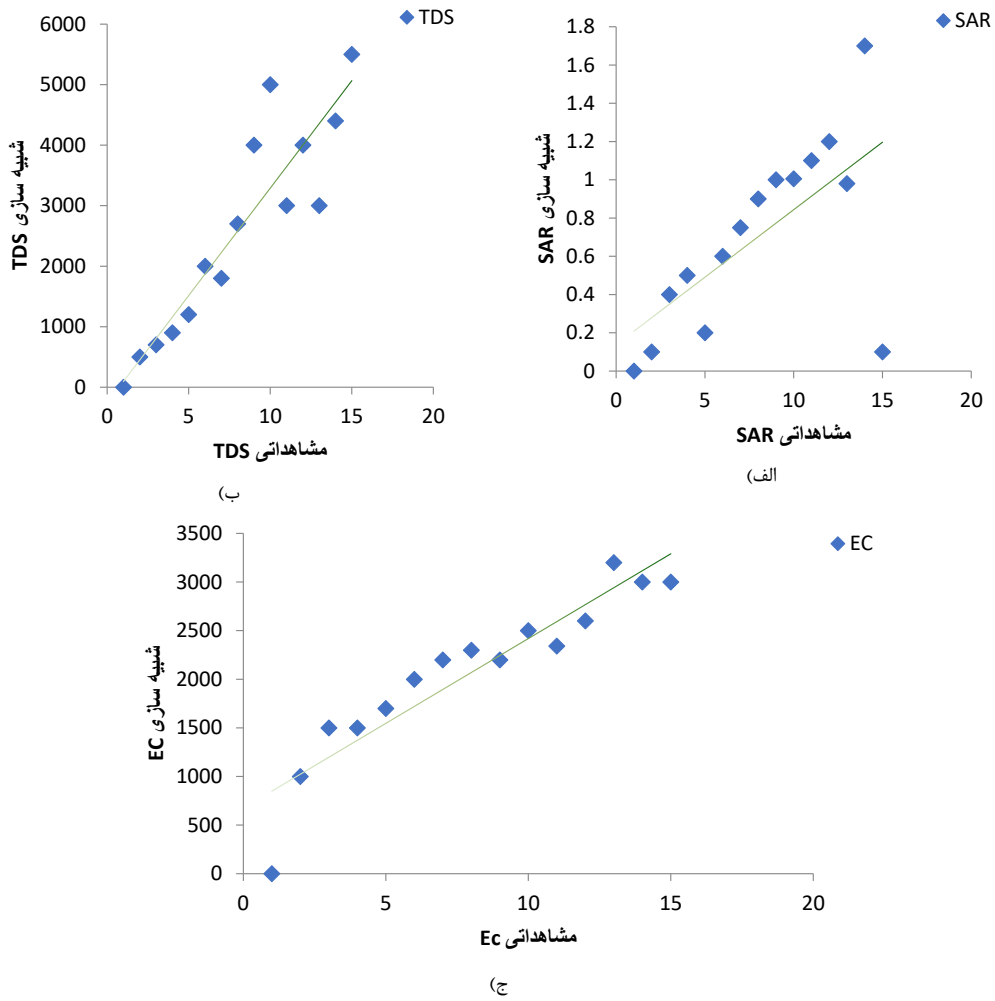
شکل ۴. الف تا ج) نمودار پراکنش مقادیر مشاهده‌ای - تخمین زده شده مرحله آموزش شبکه عصبی

جدول ۷. ارزیابی دقت برآورد مدل‌ها در تخمین پارامترهای کیفی

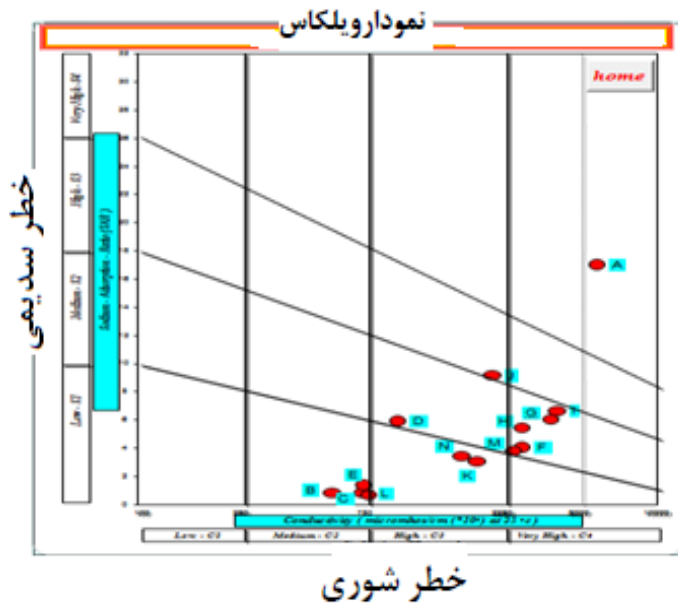
پارامتر		RMSE		R ²	
ICA	ANN	ICA	ANN	ICA	ANN
TDS (mg/Lit)	TDS (mg/Lit)	۰/۵۸	۰/۵	۰/۹۷	۰/۹۸
EC (µm/cm)	EC (µm/cm)	۲۳/۱۸	۲۰/۷	۰/۹۷	۰/۹۸
SAR	SAR	۶/۷۲	۴/۹	۰/۹۴	۰/۹۶

(۱۳۹۵) و روکی و همکاران (۱۳۹۵) که با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، زمین آمار و آماری چند متغیره به بررسی کیفیت آب زیرزمینی و تخمین پارامترهای کیفی آن پرداخته بودند،

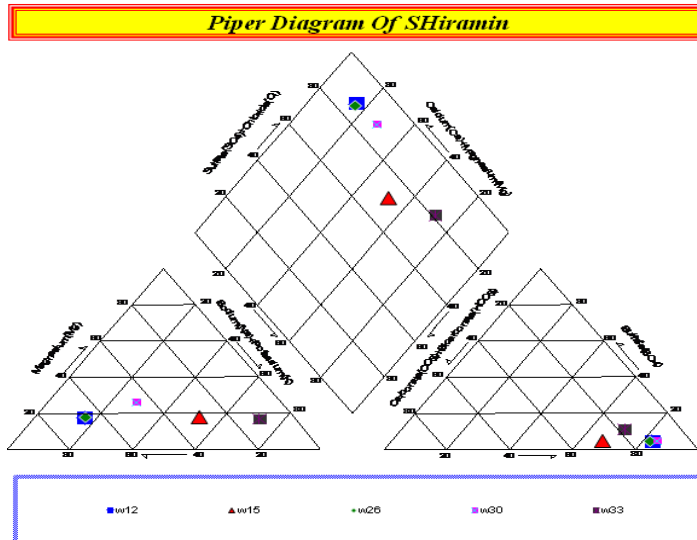
۲-۳- مقایسه مطالعه حاضر با نتایج سایر پژوهشگران جهت اثبات کارایی مدل‌های به کار گرفته شده، نتایج حاصل از پژوهش حاضر با دستاوردهای تحقیقات عیسی زاده و همکاران



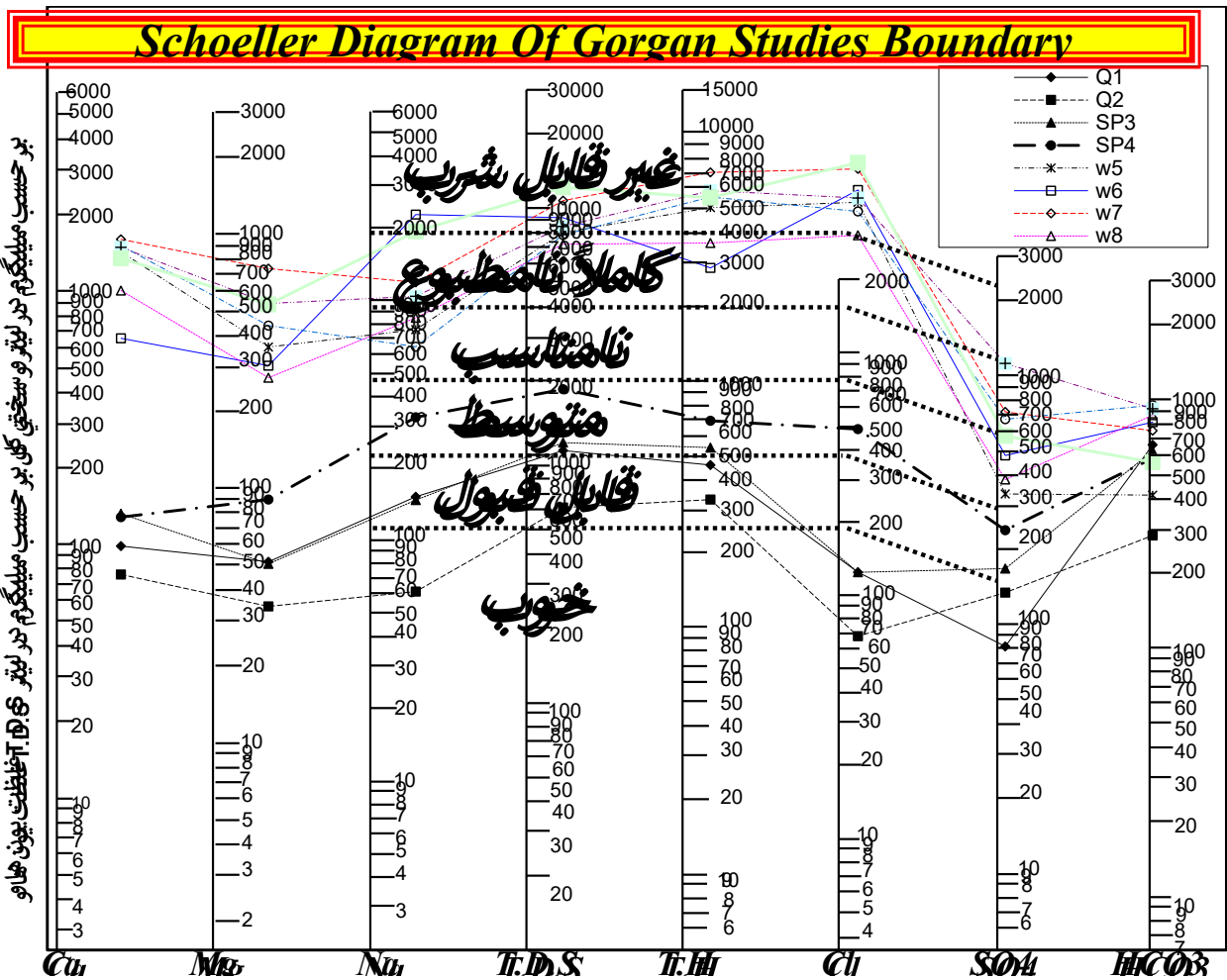
شکل ۵. الف تا ج) نمودار پراکنش مقادیر مشاهداتی - تخمین زده شده مرحله تست شبکه عصبی



شکل ۶. نمودار ویلکاس آنالیز شیمیایی دشت جلغا



شکل ۷. نمودار پایپر آنالیز شیمیایی دشت جلفا



شکل ۸. نمودار شولر آنالیز شیمیایی دشت جلفا

2(7) (2015) 1-12.

- [2] S. Emami, H. Arvanaghi, J. Parsa, Evaluation and comparison Imperialist Competitive and Genetic algorithms in Estimation of groundwater quality parameters. *Journal of Hydrogeology*, (2016). (In Persian).
- [3] M. M. Mirsanjouri, F. Mohammadyari, R. Basiri, F. Hamidipour, Modeling the EC, SAR and TDS in groundwater using artificial neural network (case study: Mehran and Dehloran Plain). *Human and Environmental Quarterly Journal*, 42 (2015) pp. 1-12. (In Persian)
- [4] M. Asgharimoghaddam, *Water and urban habitat*. Sara Press, (2005). (In Persian).
- [5] H. Zare-Abiyaneh, M. Bayat-Varshaki, S. Akhavan, M. Mohammadi, Estimation of groundwater in Hamedan plain using artificial neural network (ANN) and effect of data separation on prediction accuracy. *Journal of Ecology*, 58 (2011) 129-140.
- [6] S. A. Moasheri, O. M. Rezapour, Z. Beyranvand, Z. Poornoori, Estimating the spatial distribution of groundwater quality parameters of Kashan plain with integration method of Geostatistics - Artificial Neural Network Optimized by Genetic-Algorithm. *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 5 (20) (2013) 2434-2442.
- [7] A. Safilo, gh. Ahmadzadeh, A. Kanooni, A. Rasoulzadeh, Evaluation of groundwater quality for agriculture use in Azarshar Plain. *First Iranian National Irrigation and Drainage Congress*, (2015). (In Persian).
- [8] S. Ghasemian, H. Khosravi, Investigation of the process of quantitative and quantitative changes of the Haraz river. *First Iranian National Irrigation and Drainage Congress*, (2015). (In Persian).
- [9] M. J. Amiri, J. Abedi- Koupai, S. Eslamian, S. F. Mousavi, M. Arshadi, Modeling pb adsorption based on synthetic and industrial wastewaters by ostrich bone char using artificial Neural Network and Multivariate non-linear regression, *Int. J. Hydrology Science and Technology*, 3 (3) (2013) 221-240.
- [10] S. S. Eslamian, N. Lavaei, Modeling Nitrat pollution of Groundwater using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm in an Arid zone, *international Journal*

مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بیانگر این است که مدل شبکه عصبی مصنوعی با تابع سیگموئید و الگوریتم رقابت استعماری در دوره صحت سنجی با متوسط مقادیر $RMSE$ به ترتیب $۲۰/۷$ و $۲۳/۱۸$ در پیش بینی مقادیر پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در مقایسه با نتایج شبکه ی عصبی پیش رو با آموزش لوبرگ- مارکوارت و روش های زمین آمار و آماری چند متغیره با مقدار $RMSE$ برابر با $۰/۴۰$ موفق تر عمل نموده اند و این برتری و کارایی مدل های به کار گرفته شده در پژوهش حاضر را به اثبات می رساند.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق ابتدا به تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت جلفا با استفاده از دو مدل شبکه ی عصبی مصنوعی و الگوریتم رقابت استعماری پرداخته شد. نتایج حاصل از اجرای دو مدل با مقادیر واقعی پارامترها مورد مقایسه قرار گرفت و نتیجه گرفته شد نتایج حاصل از دو روش شبکه عصبی و الگوریتم رقابت استعماری (ICA)، از تطابق مناسبی با داده های واقعی برخوردارند و این نشان دهنده قدرت و کارایی روش های پیشنهادی است. مقدار بالای ضریب همبستگی به دست آمده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با الگوریتم رقابت استعماری، نشانگر تطابق مقادیر مشاهداتی با مقادیر تخمین زده شده است که توانایی و دقت بالای روابط بین متغیرهای ورودی با خروجی است. نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی آب زیرزمینی دشت جلفا توسط نمودارهای ویلکاکس، شولر و پایپر نیز نشان داد که آب این دشت به خاطر سختی خیلی زیاد، برای شرب گوارا نبوده و برای هضم غذا مشکل ساز هستند. هم چنین نتایج نشانگر رسوب گذار بودن آب منطقه می باشد که برای صنایع به دلیل سختی زیاد و رسوب گذاری، قابل استفاده نمی باشد و طبق طبقه بندی کلاس ها اکثراً در کلاس C4S2 قرار دارند که آب این گروه برای مقاصد کشاورزی نامناسب می باشد. توصیه می گردد جهت آبیاری با این نوع آب ها، زمین هایی با دارای نفوذپذیری کاملاً خوب و با عمل شست و شوی منظم نمک های اضافی خاک، انتخاب شوند.

مراجع

- [1] A. Saffarzadeh, S. KhayatRostami, Laboratory evaluation of the effect of elevation on the submerged rectangular Piano Key weirs hydraulic. *Journal of Dam and Hydroelectric*,

- 1728-1731.
- [18] Y. P. Ouyang, Q. T. Nkedi-Kizza, D. Wu, C. H. Shinde, Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Research*. 20 (2006) 3800-3810.
- [19] K. S. Palupi, S. Sumengen, L. Inswiasri, S. A. Agustina, W. Nunik, A. Sunarya, River water quality study in the vicinity of Jakarta. *Water Science and Technology*. 9 (1995) 17-25.
- [20] L. Rafati, M. Mokhtari, F. Fazelinia, S. M. Momtaz, A. H. Mahvi, Evaluation of ground water fluoride concentration in Hamadan Province west of IRAN (2012). *Iranian Journal of Health Sciences*, 1(3) (2013) 71-76.
- [21] F. Chang, Y. Kuo, C. Wuing Liu, Artificial neural networks for estimating regional arsenic concentrations in a blackfoot disease area in Taiwan. *Journal. Hydrology*, 388 (2010) 65-76.
- [22] D. T. Larose, *Discovering knowledge in data: an introduction to data mining*. Jhon Wiley & Sons Inc, (2005) 240 p.
- [23] M. Isazadeh, R. Arabzadeh, S. Darbandi, Performance evaluation of geostatistical methods and Artificial Neural Network in estimation of aquifer quality parameters (case study: Qorveh Dehghan plain). *J. Water and Soil Sci. (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)*, 20 (77) (2015) 197-210.
- [24] R. Rooki, A. Ariaifar, J. Adeli-Nasab, Evaluation of groundwater quality of Gonabad plain aquifer in Khorasan Razavi using multivariate statistical methods and Artificial Intelligence. *Mineral Resources Engineering Journal*, 2 (1) (2017) 49-61.
- [25] D. T. Larose *Discovering knowledge in data: an introduction to data mining*. Jhon Wiley & Sons Inc. (2005) 240 p.
- of water, Special Issue on Groundwater and surface water Interaction (GSWI), 5 (2) (2009) 194-203.
- [11] S. Karimi-Sissi, R. Dalir Hasannia, K. Farajzadeh, A. Asadi, Modeling hydrochemical parameters of Aji-Chayriver using genetic planning. First international congress of earth sciences, (2013). (In Persian).
- [12] N. Naseri, H. Mohammadzadeh, S. Ebrahimpour, investigation of Hydrochemistry and hydrological of Sahand area. First national conference on Water resource research in Iran, (2010). (In Persian).
- [13] M. M. Mirsanjori, F. Mohammadyari, R. Basiri, F. Hamidipour, Modeling of EC, SAR and TDS quality parameters of groundwater using neural artificial network (ANN) (case study: Mehran and Dehloran plain), *Human and Environmental Quarterly Journal*, 42 (2016) 2-12. (In Persian).
- [14] Engineers PC. Semi-detailed studies of groundwater resources in Semnan province. Regional Water Authority of Semnan: 2017.
- [15] G. K. Holz, Seasonable variation in groundwater levels and quality under intensively drained. Seasonable variation in groundwater levels and quality under intensively drained and grazed pasture in the montage catchment NW Tasmania. *Agricultural water management*. 96 (2009) 255-266.
- [16] N. S. Magesh, S. Krishnakumar, N. Chandrasekar, Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu, India. *Arab Journal of Geoscience*. 6 (2013) 4179-4189.
- [17] S. Marofi, Z. Maryanji, Stream water quality in the western regions of Iran. *Journal of Biotechnology*. 6 (2007)

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. Emami, R. Norouzi Sarkarabad, Y. Choopan, Use of Artificial Neural Network and Imperialist Competitive Algorithm to Evaluate the Groundwater Quality of Jolfa Plain for Various Uses, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(1) (2021) 313-330.

DOI: [10.22060/ceej.2018.14258.5605](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.14258.5605)



