

## Comparison of Artificial Neural Network and Kriging models in predicting groundwater quality parameters (SAR, TDS and EC) of Dezful Andimeshk plain

### Fariborz Bahrami

M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

### Aslan Egdernezhad

\* Assistant professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. (Corresponding author):  
Email: a\_eigder@gmail.com

Received: 2022/08/06

Accepted: 2022/10/02

**Document Type:** Research article

### ABSTRACT

**Background and purpose:** Due to the complexities in the nature of ground water systems, it sounds like a demanding job to model either the time or the location of ground water. However, artificial neural networks have a high capability to model both complicated and non-linear models. Besides, Geostatistic Methods are, to a good extent, accurate in modelling ground water.

**Materials and methods:** The aim of this study is to simulate groundwater quality parameters (SAR, TDS and EC) of Dezful Andimeshk plain using ANN-PSO and geostatistical models. For this purpose, information from 61 observation wells in Dezful-Andimeshk plain has been used. Neural network model inputs including qualitative parameters  $SO_4^{2-}$ , pH,  $HCO_3^{2-}$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , TDS, SAR and EC were considered.

**Results:** The results of simulation with intelligent model showed that the highest accuracy of ANN-PSO model in simulation is related to EC, SAR and TDS parameters, respectively. The results of interpolation by geostatistical method showed that the highest accuracy of Kriging model in simulation is related to EC, TDS and SAR parameters, respectively. The general results obtained from the simulation of groundwater quality parameters showed that the ANN-PSO model is more accurate in simulating the groundwater quality parameters of the plain in Andimeshk than the Kriging model. So that the value of  $R^2$  for simulating SAR, TDS and EC parameters using ANN-PSO model in the test phase is 0.92, 0.918 and 0.955 respectively and using kriging model is 0.902, 0.915 and 0.931 were estimated.

**Conclusion:** The results of this study also showed that the combination of intelligent models with optimization algorithms is used as a useful tool to simulate groundwater quality parameters.

**Keywords:** Groundwater, Quality Parameters, Geostatistics, modeling.

► **Citation:** Bahrami F, Egdernezhad A. Comparison of Artificial Neural Network and Kriging models in predicting groundwater quality parameters (SAR, TDS and EC) of Dezful Andimeshk plain. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2023; 8(4): 365-377.

## مقایسه مدل های شبکه عصبی مصنوعی و کریجینگ در پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (EC و SAR, TDS) دشت دزفول اندیمشک

فریبرز بهرامی

دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

اصلان اگدرنژاد

\* استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. (مسئول مکاتبات): a\_eigder@ymail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰

نوع مقاله: پژوهشی

### چکیده

**زمینه و هدف:** به دلیل پیچیدگی‌های موجود در سیستم‌های آب زیرزمینی و همچنین محدودیت‌های موجود، مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی به آسانی میسر نمی‌باشد، اما مدل شبکه عصبی مصنوعی، دارای توانایی بالایی در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و غیرخطی هستند و از طرفی روش‌های زمین آماری هم در مدل‌سازی آب زیرزمینی دارای دقت مناسبی می‌باشند.

**مواد و روش‌ها:** هدف از پژوهش حاضر، شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (EC و SAR, TDS) دشت دزفول اندیمشک با استفاده از مدل‌های ANN-PSO و زمین آمار می‌باشد. بدین‌منظور از اطلاعات ۶۱ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود در دشت دزفول- اندیمشک استفاده شد. ورودی‌های مدل شبکه عصبی شامل پارامترهای کیفی SAR, TDS, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, pH, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> و EC در نظر گرفته شد. **یافته‌ها:** بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی با مدل شبکه عصبی مصنوعی، بالاترین دقت مدل ANN-PSO در شبیه‌سازی به‌ترتیب مربوط به پارامترهای EC, SAR و TDS و بر اساس نتایج حاصل از درون‌یابی با روش زمین آمار، بالاترین دقت مدل کریجینگ در شبیه‌سازی به‌ترتیب مربوط به پارامترهای EC, SAR و TDS بود. نتایج کلی حاصل از شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی نشان داد که مدل ANN-PSO دقت بیشتری در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت دزفول اندیمشک نسبت به مدل کریجینگ دارد؛ به‌طوری‌که مقدار R<sup>2</sup> برای شبیه‌سازی پارامترهای SAR, TDS و EC با استفاده از مدل ANN-PSO در مرحله آزمون به‌ترتیب ۰/۹۲، ۰/۹۱۸ و ۰/۹۵۵ و با استفاده از مدل کریجینگ ۰/۹۰۲، ۰/۹۱۵ و ۰/۹۳۱ برآورد شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش نشان داد، تلفیق مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی، به‌عنوان ابزاری مفید برای شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی کاربرد دارند.

**کلید واژه‌ها:** آب زیرزمینی، پارامترهای کیفی، زمین آمار، مدل‌سازی

◀ **استناد:** بهرامی ف، اگدرنژاد الف. مقایسه مدل های شبکه عصبی مصنوعی و کریجینگ در پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (EC و SAR, TDS) دشت دزفول اندیمشک. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. زمستان ۱۴۰۱؛ (۴): ۳۶۵-۳۷۷.

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یکی از منابع اصلی آب شرب و کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌حساب می‌آیند. به‌دلیل تأمین پارامترهای مختلف در رفتار آب‌های زیرزمینی، تعیین معادلات حاکم بر آن دشوار بوده و در صورت تعیین مدل ریاضی، دسترسی به اطلاعات پیچیده زمین‌شناسی، مشخصات لایه‌های آبخوانی و ... به آسانی امکان‌پذیر نیست و ارزیابی تغییرات آب زیرزمینی و پیش‌بینی آن، با توجه به وجود پارامترهای متنوع مانند متغیرهای هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی و ... یک مسئله پیچیده می‌باشد. در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی از یک سو و فعالیت برای تأمین غذا از سوی دیگر، باعث خسارت‌های جبران‌ناپذیری به این منابع از نقطه نظر کمی و کیفی گردیده است. برای اعمال یک مدیریت صحیح، نیاز به شناسایی، به مدل درآوردن و تخمین سطح آب و همچنین کیفیت آب زیرزمینی در دشت‌ها برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استفاده بیشتر و بهتر از پتانسیل‌های آبی موجود در دشت‌ها، به‌طور وسیعی مورد نیاز است. از اساسی‌ترین موارد مدیریت کمی منابع آب زیرزمینی، برآورد مؤلفه‌های کیفی آب با استفاده از داده‌های برداشت شده از شبکه چاه‌های مشاهده‌ای می‌باشد (۱).

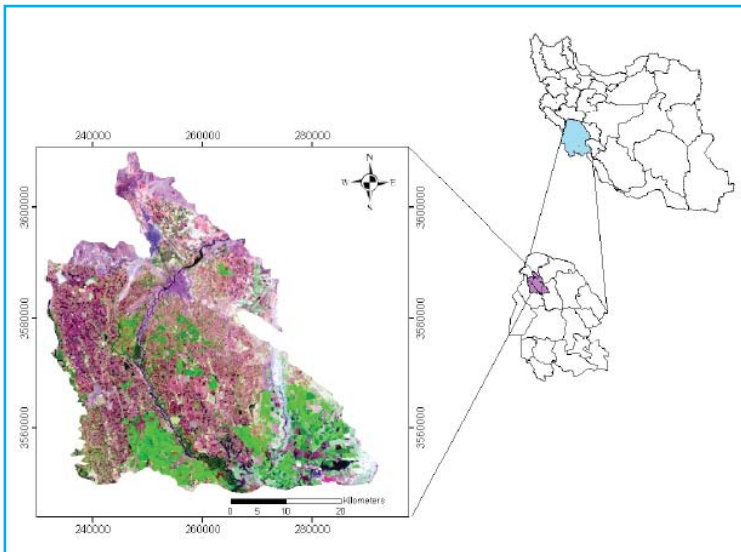
به‌منظور ارزیابی اثرات ناشی از توسعه در شرایط موجود و ارائه روش‌های مدیریتی بر منابع آب‌های زیرزمینی، چه از نقطه نظر کمی و چه کیفی، شبیه‌سازی ریاضی و کامپیوتری این منابع، ابزاری قدرتمند در بهره‌برداری بهینه از این منابع محسوب می‌گردد. امروزه روش‌های آماری، ریاضی و کامپیوتری بسیاری به‌منظور شبیه‌سازی و برآورد پارامترهای هیدرولیکی آبخوان و همچنین پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته است. برای برآورد پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی، از روش‌های پیشرفته استفاده می‌گردد. از جمله این روش‌ها و مدل‌های ریاضی که در دو دهه اخیر به‌کار گرفته شده است، می‌توان به علم زمین آمار و شبکه‌های عصبی مصنوعی اشاره کرد (۲).

زمین آمار، گرایشی از آمار با زمینه‌های کاربردی در علوم فیزیکی و علوم مربوط به زمین می‌باشد. این علم شامل مجموعه مطالعاتی است که بررسی تغییرات یک پدیده در زمان و مکان می‌پردازد و قادر به مدل‌سازی آن پدیده به‌صورت قطعی یا زمانی و مکانی می‌باشد (۳).

از جمله دیگر روش‌های مدل‌سازی و برآورد، مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. این شبکه‌ها برگرفته از مغز انسان می‌باشند و چگونگی پردازش اطلاعات در آن‌ها منطبق بر اصول آموزش و یادگیری است. این شبکه‌ها، مدل‌های ریاضی و انعطاف‌پذیری هستند که در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده به‌کار می‌روند (۴). مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با آموزشی که می‌بینند، می‌توانند بدون ایجاد رابطه صریح ریاضی، رفتار سیستم را پیش‌بینی کنند (۵).

سامانی و یاری، به بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری آب زیرزمینی دشت قم پرداختند. در این تحقیق که برای بررسی تغییرات مکانی آب زیرزمینی، از روش کریجینگ استفاده شد، نتایج نشان داد که مدل کریجینگ، ابزاری قدرتمند برای پردازش و تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی شوری آب زیرزمینی است (۶). رحمانی، در پژوهشی به شبیه‌سازی منابع کیفی آب زیرزمینی دشت عقیلی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با نتایج مدل ریاضی تفاضل محدود پرداخت. نتایج نشان داد مدل شبکه عصبی مصنوعی، قدرت بالاتری در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی منطقه مورد مطالعه نسبت به مدل ریاضی تفاضل محدود دارد (۷). عیسی‌زاده و همکاران، برای تخمین پارامترهای کیفی آبخوان دشت قروه-دهگلان، از مدل شبکه عصبی مصنوعی و زمین آمار استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل شبکه عصبی مصنوعی، دقت بسیار خوبی برای تخمین هر سه پارامتر کلر، اسیدیته و شوری ارائه نموده است. همچنین اظهار کردند، در صورت کمبود زمان و نیاز به دقت قابل قبول در تخمین پارامترهای کیفی، استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به سایر مدل‌های آماری ارجحیت دارد (۸). سبقتی و غلامی، با استفاده از

ماه‌های مهر و آبان و حداقل تراز در ماه‌های بهمن و اسفند مشاهده می‌شود. کاربری غالب این دشت کشاورزی است و بیش از ۹۰٪ آب کشاورزی دشت، از شبکه آبیاری پایین‌دست سد دز تأمین می‌شود. با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه، محصولات کشاورزی در تمام فصول سال کشت می‌شوند. حداکثر میانگین دمای سالانه شهرستان دزفول و اندیمشک ۳۲ درجه سانتی‌گراد در تیر ماه و حداقل دمای سالیانه آن‌ها به ترتیب ۱۵ تا ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد در دی ماه می‌باشد. بارش‌های سالیانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر است که حداقل آن در دی ماه (صفر میلی‌متر) و حداکثر آن در آذر ماه (۱۳۷/۱ میلی‌متر) می‌باشد. تبخیر سالانه در این منطقه برابر ۲۴۷۰ میلی‌متر است (۱۱). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت دزفول- اندیمشک

با توجه به این که برای رسیدن به دقت قابل قبول مدل‌ها و اهداف پژوهش، نیاز به اندازه‌گیری بلندمدت داده می‌باشد، تمام پارامترهای ورودی مدل شامل هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، اسیدیته، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، مقدار کل نمک‌های محلول و بی‌کربنات از دشت دزفول- اندیمشک طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۸ از ۶۱ حلقه چاه مشاهده‌ای به صورت ماهانه از سازمان آب و برق خوزستان دریافت گردید. با استفاده از ترکیب

تلفیق قابلیت‌های مدل شبکه عصبی مصنوعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، به شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی سواحل جنوبی خزر پرداختند. نتایج این پژوهشگران در مرحله ارزیابی کارایی شبکه عصبی مصنوعی و همچنین تحلیل هم‌پوشانی مقادیر برآوردی و مقادیر مشاهداتی، دلالت بر دقت و کارایی بالای مدل شبکه عصبی مصنوعی بود (۹). داس سانتوس و همکاران، در منطقه نادر هند به بررسی کمیّت و کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از زمین آمار پرداختند. این پژوهش از ۱۸ نمونه آب جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد در بخش جنوب و جنوب‌شرقی منطقه، مقدار غلظت سدیم و کلر بالاتر از سایر بخش‌ها می‌باشد که حاکی از پیشروی آب دریا و فعالیت‌های انسانی در این مناطق بوده است (۱۰).

پژوهش‌های انجام شده در داخل و خارج از کشور، اهمیت کاربرد علوم جدید مانند زمین آمار و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی پارامترهای مختلف را نشان می‌دهد. همچنین با توجه به اهمیت بالای منابع آب زیرزمینی در این مناطق، باید پیش‌بینی درستی از رفتار و حجم این منابع در دسترس باشد. آشنایی با نحوه تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در طول زمان و پیش‌بینی آن با استفاده از روند حاکم، برای اطلاع از وضعیت سفره و میزان آب قابل دسترس ضروری است. در این پژوهش از مدل شبکه عصبی مصنوعی تلفیق شده با الگوریتم‌های بهینه‌سازی زمین آمار برای شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت دزفول- اندیمشک استفاده شد.

## روش کار

**منطقه مورد مطالعه:** دشت دزفول- اندیمشک، وسیع‌ترین دشت در حوضه آبریز دز و از دشت‌های وسیع در استان خوزستان است که با وسعتی بالغ بر ۲۴۷۸ کیلومترمربع واقع در مختصات جغرافیایی ۳۱° ۵۱' تا ۳۳° ۳۵' عرض شمالی و ۴۵° ۵۰' تا ۴۸° ۱۴' طول شرقی از مناطق کوهستانی شمال استان تا مناطق کم‌ارتفاع مرکز استان را در بر می‌گیرد. در آبخوان دشت دزفول- اندیمشک برخلاف اکثر دشت‌های ایران، حداکثر تراز سطح آب زیرزمینی در

مصنوعی نیز با ایده گرفتن از رفتار شبکه عصبی بیولوژیکی شکل یافته است. در این شبکه‌ها نیز لایه‌های موازی نرون‌ها مشاهده می‌گردد که نرون‌های هر لایه، نقش خاصی را ایفا می‌کنند.

معمولاً ورودی‌هایی که از خارج به شبکه عصبی داده می‌شوند، به دسته‌ای از نرون‌ها که در یک لایه مرتب شده‌اند، اعمال می‌شود. این ورودی‌ها با وزن‌های خاص جمع شده به تابع تحریک هر نرون فرستاده می‌شوند که این تابع، اقدام به پردازش جمع وزن‌دار ورودی‌های اعمال شده به نرون می‌کند و خروجی نرون را به لایه بعدی و در نهایت به لایه خروجی می‌فرستد که جواب شبکه نسبت به ورودی‌های اعمال شده به آن است (۵).

### الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات

اصل این الگوریتم بر این اساس است که افراد جمعیت در یک فضای جستجو به سمت نواحی موفقیت‌آمیز قبلی وفق داده می‌شوند و از موفقیت افراد همسایه نیز تأثیر می‌پذیرند. هر فرد در جمعیت ذرات، یک جزء یا "particle" نامیده می‌شود که یک حل بالقوه را نشان می‌دهد و در فضای جستجو، موقعیت خود را تغییر داده و سرعت خود را بر اساس تجربیات پرواز خود و اجزای همسایه، به‌هنگام می‌کند که برای کسب موقعیت بهتر کمک می‌کند.

### ترکیب مدل شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم بهینه‌سازی

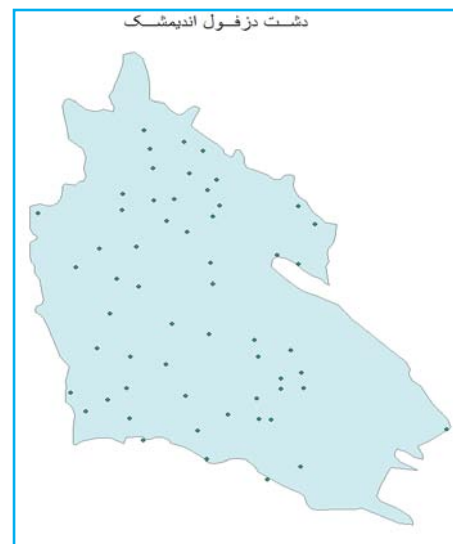
#### تجمع ذرات

مفهوم آموزش شبکه عصبی در حقیقت تعیین مقادیر وزن‌ها و بایاس‌ها در شبکه است. در شبکه عصبی معمول از روش پس‌انتشار خطا برای آموزش شبکه استفاده می‌شود که اصلی‌ترین عیب آن، همگرایی زودرس به بهینه محلی و بالا بودن مقدار خطای شبیه‌سازی می‌باشد. در بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم تجمع ذرات، متغیرهای بهینه‌سازی در آموزش یک شبکه عصبی شامل وزن‌ها و بایاس‌های مربوط به شبکه می‌شوند.

#### مدل کریجینگ

مدل کریجینگ، یکی از مدل‌های پرکاربرد زمین آمار می‌باشد. روش کریجینگ از مدل‌های آماری استفاده می‌کند و این امکان را فراهم می‌سازد تا گسترده‌ای از نقشه‌های خروجی شامل پیش‌بینی، پیش‌بینی استاندارد، احتمال و ... فراهم گردد. کریجینگ یک

مدل شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات<sup>۱</sup> و مدل کریجینگ (معمولی)، پارامترهای کیفی آب زیرزمینی شامل نسبت جذب سدیم<sup>۲</sup>، هدایت الکتریکی<sup>۳</sup> و کل جامدات محلول<sup>۴</sup> شبیه‌سازی شد. سپس دقت پیش‌بینی‌های دو مدل محاسبه و با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده، مقایسه گردید. نحوه پراکنش چاه‌های منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. نحوه پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه مورد مطالعه

### مدل شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی، از عناصر عملیاتی ساده‌ای ساخته می‌شوند که به‌صورت موازی در کنار هم عمل می‌کنند. این عناصر از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند. از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی برای پیاده‌سازی توابع پیچیده در زمینه‌های مختلف از جمله تشخیص الگو، تشخیص هویت، طبقه‌بندی و سیستم‌های کنترلی استفاده می‌گردد. در مدل شبکه عصبی مصنوعی، بلوک‌های ساختاری و یا نرون‌ها، دستگاه‌های محاسباتی ساده‌ای هستند و ارتباط بین نرون‌ها عملکرد شبکه را تعیین می‌کند و هدف از آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی، تعیین ارتباط مناسب برای حل مسائل مختلف است. در واقع شبکه عصبی

1. Artificial Neural Network-Particle Swarm Optimization
2. Sodium Adsorption Ratio
3. Electrical Conductivity
4. Total Dissolved Solids

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_{observed} - Y_{predicted})^2} \quad (1)$$

$$MAE = 100 * \frac{1}{n} \sum |Y_{observed} - Y_{predicted}| \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_{predicted} - Y_{observed})^2}{\sum Y_{predicted}^2 - \frac{Y_{observed}^2}{n}} \quad (3)$$

در رابطه بالا  $Y_{predicted}$ : مقادیر پیش‌بینی شده،  $Y_{observed}$ : مقادیر مشاهداتی و  $n$ : تعداد داده‌ها است. هرچه RMSE و MAE به صفر نزدیک‌تر و مقدار  $R^2$  به ۱ نزدیک‌تر باشد، دقت مدل در پیش‌بینی بهتر است.

روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار (WMA) استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمین‌گر خطی ناریب (BLUE) است. در واقع در این روش برای هر یک از نمونه‌ها، وزن آماری مشخصی به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که واریانس تخمین مبتنی بر آن‌ها حداقل باشد. در روش کریجینگ هر چقدر نمونه در فاصله دورتری قرار داشته باشد، به همان نسبت وزن آماری که به آن نسبت داده می‌شود، کمتر است. اما در عین حال موقعیت نمونه نیز مدنظر قرار می‌گیرد. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمین، خطای مرتبط به آن را می‌توان محاسبه نمود. بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شده می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد، در حالی که در روش‌های کلاسیک معمولاً چنین امکانی وجود ندارد (۱۲).

### نرم‌افزارهای مورد استفاده

در این مطالعه کدنویسی، آماده‌سازی داده‌ها، محاسبه شاخص‌های آماری و شبیه‌سازی پارامترهای هدف در محیط نرم‌افزار MATLAB و درون‌یابی با استفاده از زمین‌آمار به کمک نرم‌افزار GIS انجام گردید. همچنین برای انجام آزمون‌های آماری و رسم نمودارها به ترتیب از نرم‌افزارهای SPSS (Ver.20) و اکسل استفاده شد.

### معیارهای ارزیابی مدل‌ها

برای تعیین میزان دقت مدل‌ها از مقادیر MAE، RMSE و  $R^2$  استفاده شد:

### نتایج

در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی پارامترهای کیفی SAR، EC و TDS از داده‌های کیفی دشت درفول- اندیمشک طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۸ استفاده شد. اطلاعات جمع‌آوری شده برای طراحی دو مدل ANN-PSO و کریجینگ شامل: هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، اسیدیت، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، مقدار کل نمک‌های محلول و بی‌کربنات بود. مشخصات ورودی پارامترهای کیفی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات آماری پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت درفول اندیمشک

پارامترهای کیفی آب	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
SAR	-	۰/۰۱	۲۵/۲۴	۲/۳۱	۲/۶۶
EC	میکروموس بر سانتی‌متر	۱۷۴	۲۰۴۲۴	۱۴۱۶/۷۲	۱۷۷۷/۵۸
Ca <sup>2+</sup>	میلی‌گرم بر لیتر	۱/۲۲	۳۸/۰۷	۵/۹۳	۶/۲۴
Mg <sup>2+</sup>	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۱	۸۳/۰۱	۴/۰۶	۶/۲۴
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۰۶	۲۱۹/۱۵	۷/۴۵	۱۵/۵۱
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۳	۴۹/۸	۳/۲۵	۲/۷۱
Na <sup>+</sup>	میلی‌گرم بر لیتر	۰/۱۲	۸۰/۴۸	۱۷/۱۸	۱۸/۰۴
TDS	میلی‌گرم بر لیتر	۱۰۰	۱۲۹۱۳	۹۹۶/۶	۱۲۷۳/۱۹
pH	-	۱	۸/۹	۸/۲۱	۰/۳۴

1. Weighted Moving Average
2. Best Linear Unbiased Estimator

به عنوان ورودی مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید.

### ضریب همبستگی بین متغیرهای ورودی مدل

در جدول ۲ همبستگی بین متغیرهای اندازه گیری شده با پارامترهای TDS، SAR، EC در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

با مروری بر منابع موجود از جمله ۱۳ و ۱۴، می توان دریافت

که انتخاب پارامترهای  $\text{SO}_4^{2-}$ ، pH،  $\text{HCO}_3^{2-}$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Ca}^{2+}$ ، EC در مدل سازی پارامترهای کیفی مورد بحث، نتایج خوبی را ارائه داده است، لذا ترکیب های مختلف همین پارامترها

جدول ۲. میزان همبستگی بین EC، TDS و SAR با پارامترهای ورودی مدل ها

متغیر	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	pH	EC	TDS	SAR
EC	۰/۸۵۷**	۰/۶۹۲**	۰/۶۱۵**	۰/۷۹۲**	۰/۲۵۱	۰/۲۱۱	۱	۰/۵۵۵**	۰/۶۰۲**
TDS	۰/۸۸۲**	۰/۵۴۲**	۰/۵۱۷**	۰/۶۶۱**	۰/۵۰۷**	۰/۱۱۹	۰/۸۷۵**	۱	۰/۵۴۹**
SAR	۰/۵۹۷**	۰/۵۰۹**	۰/۵۰۵**	۰/۲۱	۰/۳۱۷	۰/۲۸	۰/۳۹۸	۰/۸۴**	۱

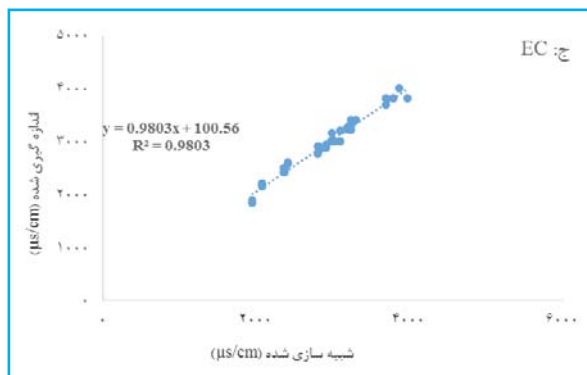
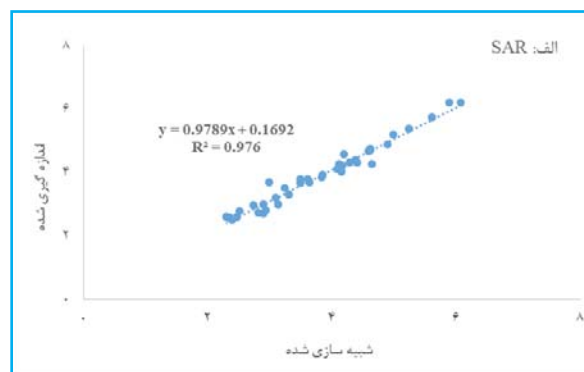
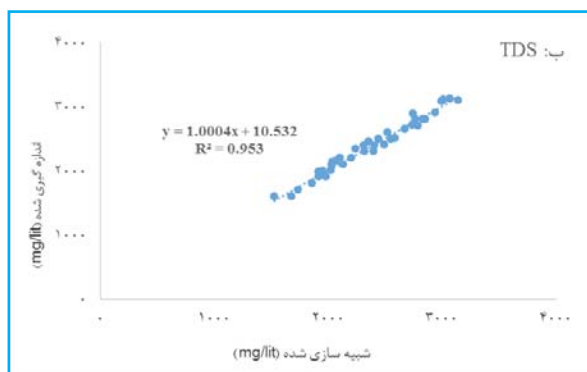
\*\* معنی داری در سطح ۱٪

برای آزمون و تائزانت سیگموئید به عنوان تابع محرک مدل ها در نظر گرفته شد. برازش منحنی بین نقاط شبیه سازی شده و اندازه گیری شده پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در نمودار ۱ و همچنین نتایج حاصل از شبیه سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از مدل طراحی شده، در جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج مدل سازی پارامترهای TDS، SAR و EC با استفاده از

### مدل ANN-PSO

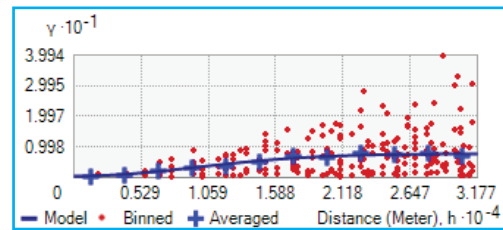
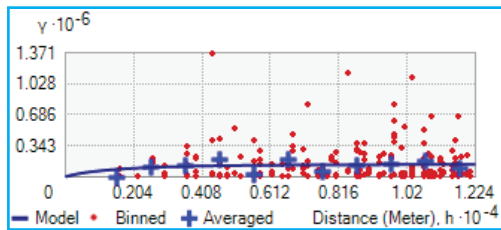
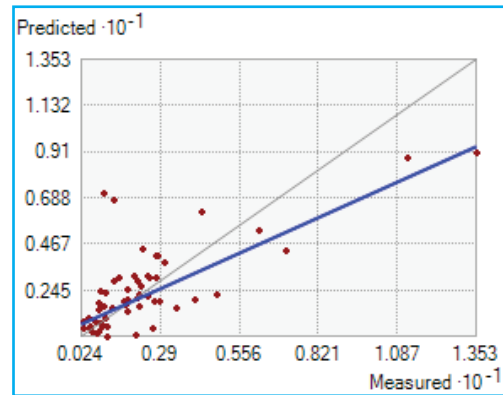
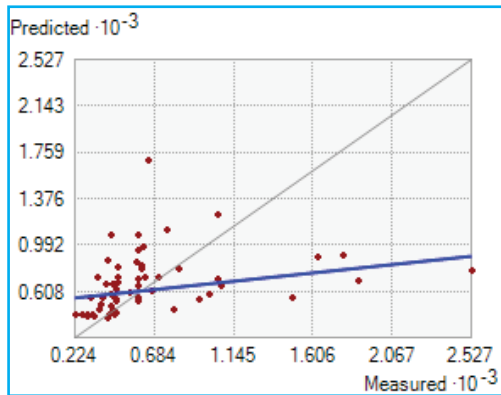
مدل شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم بهینه سازی تجمع ذرات، به عنوان الگوریتم آموزشی مدل تلفیق شد. سپس با استفاده از روش سعی و خطا، پارامترهای مدل تعیین شد؛ بدین صورت که در مدل طراحی شده ۷۰٪ داده ها برای آموزش، ۱۰٪ صحت سنجی و ۲۰٪



نمودار ۱. برازش منحنی بین نقاط شبیه سازی شده و اندازه گیری شده پارامترهای کیفی مورد بررسی با استفاده از مدل ANN-PSO

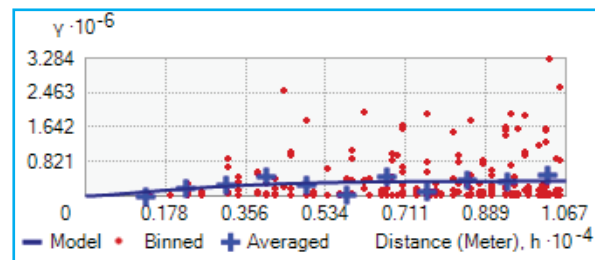
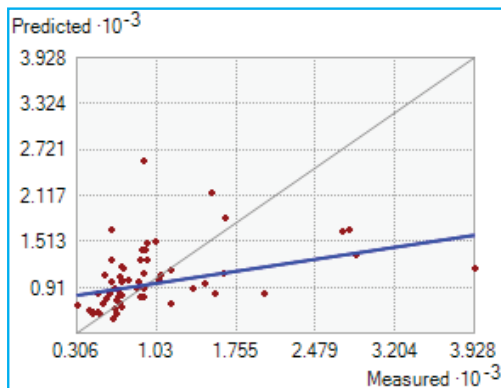
جدول ۳. نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامترهای SAR، TDS و EC با استفاده از مدل ANN-PSO

آموزش		صحت‌سنجی		آزمون		پارامتر کیفی آب زیرزمینی	
R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	MAE		RMSE
۰/۹۵۶	۱/۰۸	۰/۹۴۱	۰/۹۹۸	۰/۹۲	۱/۱۴۵	۱/۰۲	SAR
۰/۹۲۲	۱/۱۵	۰/۹۳۷	۱/۰۴	۰/۹۱۸	۱/۳۷۹	۱/۱۴	TDS
۰/۹۵۹	۱/۰۶	۰/۹۶۹	۰/۹۷	۰/۹۵۵	۱/۰۱	۰/۹۸	EC



ب. پارامتر کیفی TDS

الف. پارامتر کیفی SAR



ج. پارامتر کیفی EC

نمودار ۲. نمودار پیش‌بینی و تغییرنمای پارامترهای کیفی مورد بررسی با استفاده از مدل کریجینگ



آگدرنژاد، پارامترهای ورودی مدل ها برای پارامتر کیفی TDS شامل: هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، سولفات، کلسیم، منیزیم و سدیم؛ برای پارامتر کیفی SAR شامل: مقدار کل نمک های محلول، سدیم، بی کرینات و برای پارامتر کیفی EC شامل: سولفات، کلسیم، منیزیم و نسبت جذبی سدیم بود (۱۵).

با توجه به جدول ۳، بالاترین دقت مدل ANN-PSO در شبیه سازی به ترتیب مربوط به پارامترهای SAR، EC و TDS بود. با توجه به جدول ۴، بالاترین دقت مدل کریجینگ در شبیه سازی به ترتیب مربوط به پارامترهای TDS، EC و SAR بود. با مقایسه نتایج حاصل از جداول ۳ و ۴، می توان دریافت که مدل ANN-PSO دقت بیشتری در شبیه سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت درفول اندیمشک نسبت به مدل کریجینگ دارد که با نتایج برخی مطالعات مطابقت داشت (۱۶-۲۲).

از جمله مزایای مدل شبکه عصبی نسبت به سایر مدل ها این است که این مدل ها به پارامترهای کمتری نیاز داشته و برای ساخت آن ها نیاز به صرف هزینه و دانستن پارامترهای هیدرولیکی منطقه وجود ندارد؛ به این ترتیب که قسمتی از داده های آماری برای آموزش در نظر گرفته شده و مدل آموزش می بیند که با داشتن ورودی های مشخص، خروجی های مشخصی را نتیجه دهد. در واقع مدل، رابطه ای غیرخطی بین ورودی ها و خروجی ها ایجاد می نماید. برای اطمینان از کارایی مدل، قسمتی از داده ها برای آزمایش در نظر گرفته می شوند؛ به این ترتیب که مدل با استفاده از رابطه ای که بین ورودی ها و خروجی های مجموعه آموزش به دست آورده، خروجی های مربوط به ورودی های مجموعه آزمون را که قبلاً ندیده است، پیش بینی می نماید. اگر نتایج به دست آمده نزدیک به مقادیر واقعی آن باشد، نشان دهنده کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی است. از طرفی مدلی از شبکه عصبی که برای آموزش از روش الگوریتم بهینه سازی ذرات (PSO) استفاده می کند، بر اساس جست و جو عمل کرده و در این صورت می تواند تا حدودی برای هرچه بیشتر تصادفی شدن انتخاب نقاط با یک روش غیرقطعی تلاش کند. ذرات در این روش برحسب موقعیت ها و سرعت های شان

نتایج مدل سازی پارامترهای TDS، SAR و EC با استفاده از مدل کریجینگ

قبل از شروع درون یابی در نرم افزار GIS، ابتدا برای اطمینان از نرمال بودن داده ها از هیستوگرام و نمودار Q-Q plot استفاده شد. سپس از قسمت Geostatistical Wizard روش کریجینگ انتخاب و درون یابی پارامترهای کیفی انجام شد. نمودار ۲، پیش بینی و تغییرنا و جدول ۴، نتایج حاصل از شبیه سازی پارامترهای SAR، TDS و EC با استفاده از مدل کریجینگ را نشان می دهند.

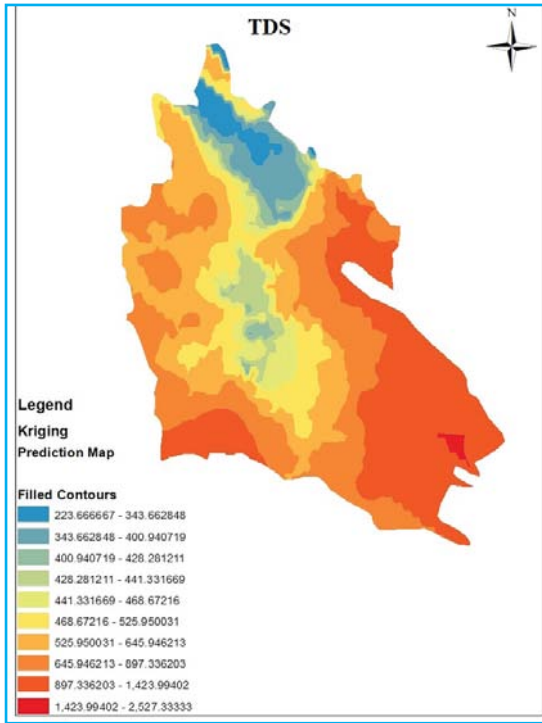
جدول ۴. نتایج حاصل از شبیه سازی پارامترهای TDS، SAR و EC با استفاده از مدل کریجینگ

پارامتر کیفی آب زیرزمینی	آماره های مورد بررسی		
	R <sup>2</sup>	MAE	RMSE
SAR	۰/۹۰۲	۱/۸۷۷	۱/۳۸
TDS	۰/۹۱۵	۱/۶۶۹	۱/۱۱
EC	۰/۹۳۱	۱/۵۰۱	۱/۰۵

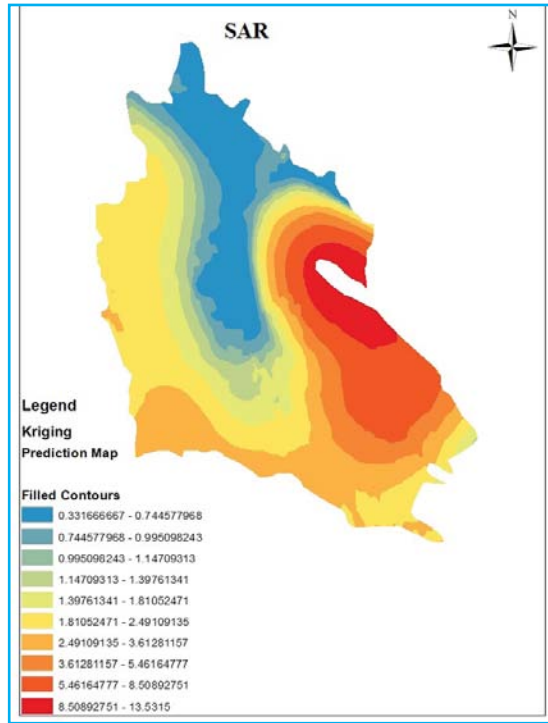
شکل ۳، نقشه پیش بینی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش کریجینگ را نشان می دهد.

## بحث

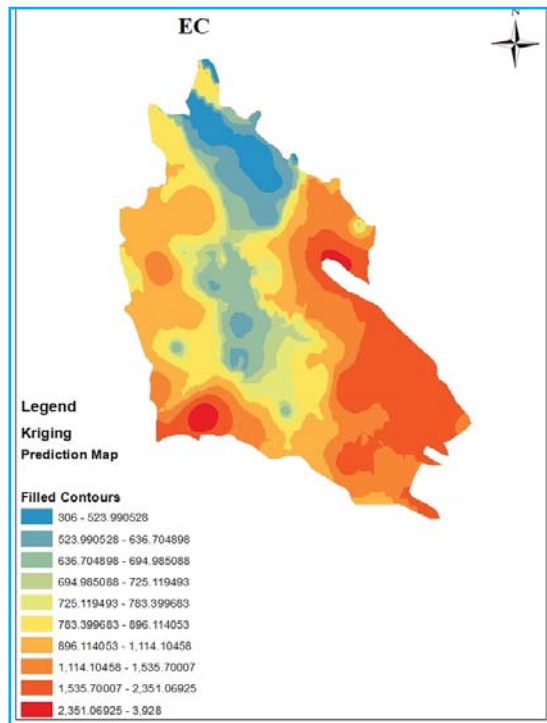
بر اساس نتایج جدول ۲، بیشترین همبستگی پارامتر EC در سطح اطمینان ۰/۹۹ به ترتیب مربوط به سدیم، سولفات، کلسیم، منیزیم و کل نمک های محلول و همچنین بیشترین همبستگی به پارامتر TDS به ترتیب مربوط به سدیم، هدایت الکتریکی، سولفات، نسبت جذب سدیم، گلسیم، منیزیم و بی کرینات بود. برای پارامتر کیفی SAR نیز بالاترین میزان همبستگی مربوط به کل نمک های محلول، سدیم، کلسیم و منیزیم بود. بنابراین پارامترهای ورودی مدل ها برای پارامتر کیفی TDS شامل: سدیم، هدایت الکتریکی، سولفات، نسبت جذب سدیم، کلسیم، منیزیم و بی کرینات؛ برای پارامتر کیفی SAR شامل: کل نمک های محلول، سدیم، کلسیم و منیزیم و برای پارامتر کیفی EC شامل: سدیم، سولفات، کلسیم، منیزیم و کل نمک های محلول بود. در پژوهش آهین جان و



ب. نقشه پیش‌بینی پارامتر کیفی TDS



الف. نقشه پیش‌بینی پارامتر کیفی SAR



ج. نقشه پیش‌بینی پارامتر کیفی EC

شکل ۳. نقشه پیش‌بینی پارامتر کیفی مورد بررسی با استفاده از مدل کریجینگ

دشت بود که نشان دهنده نقش مهم سازند بختیاری در تغذیه آبخوان است.

### نتیجه گیری

با توجه به اهمیت فراوان آب زیرزمینی در توسعه پایدار فعالیت های اقتصادی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، مطالعه دقیق و برآورد صحیح پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی همواره مورد توجه محققین بوده است. هدف از پژوهش حاضر، شبیه سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (SAR، TDS و EC) دشت دزفول اندیمشک با استفاده از مدل های ANN-PSO و زمین آمار می باشد. نتایج کلی حاصل از شبیه سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی نشان داد که مدل ANN-PSO دقت بیشتری در شبیه سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی دشت دزفول اندیمشک نسبت به مدل کریجینگ دارد.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می کنند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مدیریت منابع آب با کد شناسایی ۱۰۶۲۹۱۹۷۱۶۴۸۹۹۱۱۴۰۱۶۲۵۱۹۷۶۴ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می باشد. بدین وسیله از مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جهت همکاری در انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می شود.

تلاش می کنند بهینه ترین نقاط را در هر تکرار انتخاب و به روز کنند و به همین علت، نتایج شبیه سازی با دقت بالایی ارائه می شود. با توجه به اینکه الگوریتم PSO، یک روش بهینه سازی ساده، سریع، دارای پارامترهای تنظیم کم و غیردیفرانسیلی می باشد، استفاده از این الگوریتم و ترکیب آن با شبکه عصبی مصنوعی به منظور آموزش بهینه شبکه عصبی مصنوعی، منجر به دستیابی به نتایج دقیق در شبیه سازی می شود.

با توجه به شکل ۳-الف، بالاترین مقدار نسبت جذب سدیم در نواحی شرقی دشت بود؛ به این معنا که پارامتر مذکور تحت تأثیر مجاری آورنده رواناب های سطحی و رودخانه کهنک می باشد. منابع آب سطحی یاد شده دارای کیفیت مناسب نبوده و در بالا رفتن مقدار نسبت جذب سدیم تأثیر داشته است. همچنین در این نواحی تأثیر منفی سازند آغاچاری بسیار مشهود می باشد. این سازند شامل تناوبی از ماسه سنگ، مارن و لای سنگ می باشد و به علت دارا بودن مواد قابل انحلال و سرعت کم آب زیرزمینی، تأثیر منفی بر روی کیفیت آب زیرزمینی منطقه دارد (۱۱).

با توجه به شکل های ۳-ب و ۳-ج، بیشترین مقدار هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول در قسمت شرق و جنوب شرق مشاهده شد. به طور کلی هدایت الکتریکی آب به درجه یونیزاسیون املاح موجود در آب و غلظت آن بستگی دارد؛ به این معنا که با افزایش غلظت املاح محلول در آب، میزان هدایت الکتریکی افزایش می یابد. علت بالا بودن هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول در این نواحی می تواند ناشی از انحلال بیشتر کانی های سازندهای آهکی، شیل و مارن، نفوذ آب های صنعتی از مناطق صنعتی، نشت فاضلاب شهری و همچنین جریان شمالی- جنوبی آب زیرزمینی باشد (۲۳). همچنین کاربری این محدوده از دشت مراتع کم تراکم، نیمه تراکم و پرتراکم، زراعت دیم، زراعت آبی و باغ ها می باشند و می توان گفت استفاده از کودهای شیمیایی و آفت کش ها در مزارع بالادست باعث کاهش کیفیت آب در پایین دست می گردد.

کم ترین مقدار هدایت الکتریکی در قسمت شمال و مرکز

## References

- Sarani N, Soltani J, Sarani S A, Moasheri SA. Comparison of Artificial Neural Network and Multivariate Linear Regression Model to Predict Sodium adsorption ratio (SAR), the Case of Sistan River, Iran. *International Journal of Biological, Ecological and Environmental Sciences (IJBEESB2012)*. 2012 [In Persian].
- Samin M, Soltani J, Zeraatcar Z, Moasheri SA, Sarani N. Spatial Estimation of Groundwater Quality Parameters Based on Water Salinity Data using Kriging and Cokriging Methods. *International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering (ICTECE')*, Kuala Lumpur. 2012; August 25-26, Malaysia, pp. 75-79.
- Moasheri SA, Mohamad RO, Beyranvand Z, Poornoori Z. Estimating the spatial quality parameters of Kashan plain with integration method of Geostatistics - Artificial Neural Network Optimized by Genetic-Algorithm. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2013; 5 (20): 2434-2442.
- Govindaraju RS, Rao AR E. Artificial neural networks in hydrology. *Journal of Springer Science and Business Media*. 2013; 36: 1-60.
- Menhaj MB. Basics of artificial neural networks. Amirkabir University of Technology Publications, Tehran, 2001 [In Persian].
- Vali Samani J, Yari RA. Examining temporal and spatial changes of groundwater salinity using kriging method. *The 7th Iranian Hydraulic Conference*. Tehran University of Water and Power Industry, Tehran. 2008. [In Persian].
- Rahmani Gh R. Simulation of Aghili Plain Groundwater Resources Using Artificial Neural Networks and Its Comparison with the Results of the Finite Difference Mathematical Model. [Msc Thesis]. University of shahid chamran, Ahvaz, Iran. 2011; 150 pp [In Persian].
- Isa Zadeh M, Arab Zadeh R, Darbandi S. Evaluating the performance of geostatistics and artificial neural network methods in estimating the qualitative parameters of the aquifer (case study: Garveh Plain - Dehgolan). *Journal of water and soil sciences (agricultural sciences and techniques and natural resources)*. 2016; 20 (78): 197-201.
- Sebghati M, Gholami V. Groundwater salinity simulation by combining the capabilities of artificial neural network and GIS on the southern shores of the Caspian Sea. *Journal of Irrigation Science and Engineering*. 2019; 42(4): 181-194 [In Persian].
- Dos Santos V.F, Calda G.V, Borges C.R, Franklin Lapa M.C. Use of geographic information system (GIS) in the characterization of the Cunha Canal, Rio de Janeiro, Brazil: effects of the urbanization on water quality. *Environmental Earth Sciences*. 2015; 73 (3): 1345-1356.
- Anonymous. Semi-detailed hydrogeological studies of Dezful Andimeshk plain. Ahwaz Water Engineering Company, 2011 [In Persian].
- Hasani Pak A. Geostatistics (University of Tehran). 1998; 330 pp [In Persian].
- Musavi-Jahromi SH, Golabi M. Application of artificial neural networks in the river water quality modeling: Karoon river, *Journal of Applied Sciences*. 2008; 8 (12):2324-2328.
- Banejad H, Kamali M, Amirmoradi K, Olyaie F. Forecasting Some of the Qualitative Parameters of Rivers Using Wavelet Artificial Neural Network Hybrid (W-ANN) Model (Case of study: Jajroud River of Tehran and Gharaso River of Kermanshah). *Journal Health & Environ*. 2013; 6(3): 277-294.
- Ahaninjan K, Egdernezhad A. Modeling Qualitative Parameters of SAR, EC, and TDS in Groundwater using Optimized Artificial Neural Network Model (Case Study: Behbahan Plain). *Journal of Environment and Water Engineering*. 2020; 6(2), 161-172 [In Persian].
- Jamshidi Avanaki M, Ebrahimi K. Comparison of artificial neural networks and geostatistical approach in predicting groundwater level (Case study: Mashhad plain aquifer). *Second Conference on Environmental Management and Planning, University of Tehran, Tehran, 2013* [In Persian].
- Rajaei T, Pouraslan F. Temporal and spatial forecast of Davarzan plain groundwater level. *Hydrogeomorphology*. 2015; 1 (4): 1-19 [In Persian].
- Habibi M, Nadiri A, Asghari Moghadam A, Naderi K. Combination of artificial intelligence and geostatistical methods for temporal and spatial prediction of groundwater level in Hadishahr plain. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 2016; 23 (10): 27-32 [In Persian].
- Isazadeh M, Arabzadeh R, Darbandi S. Evaluation of the performance of geostatistical methods and artificial neural network in estimating the aquatic qualitative parameters (Case study: Qorveh-Dehgolan plain). *Journal of Soil and Water Sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)*. 2016; 20 (78): 197-201 [In Persian].
- Nourani V, Goli Ejlali R, Alami MT. Spatiotemporal Groundwater Level Forecasting in Coastal Aquifers by Hybrid Artificial Neural Network-Geostatistics Model: A Case Study. *Environmental Engineering Science*. 2011; 28(3): 217-228.
- Ebadi Y, Javdan J, Rezaee Moghaddam MH. Assessing the

- accuracy of artificial neural networks and geostatistics in intervening groundwater level level Case study: Shabestar-Sufian plain. Geographical Information Quarterly. 2018; 28 (110): 133-145 [In Persian].
22. Ghaffari Razin MR, Voosoghi B, Mohammadzadeh A. Efficiency of artificial neural networks in map of total electron content over Iran. Acta Geodaetica et Geophysica. 2015; 1-15.
23. Behzad A, Hamzeh F. Investigation of the effect of geological formations on water quality, West Dehdasht aquifer. Geography Research Quarterly. 2011; 3 (11): 93-112 [In Persian].