

Groundwater Modeling Using Methods (Case Study: Dezful-Andimeshk Plain)

ABSTRACT

Background and Aim: Groundwater is one of the most important water resources on earth, and groundwater level and groundwater salinity studies are very important for the protection and planning of water resources, especially in arid and semiarid areas such as Iran. Groundwater quantitative and qualitative testing is time consuming and costly. Therefore, the use of models to simulate the quantity and quality of groundwater has become common. The aim of this research is to simulate the parameters of groundwater level and groundwater salinity using artificial neural network models.

Materials and methods: The present study simulated the groundwater level and groundwater salinity parameters of Dezful-Andimeshk plain by using ANN and ANN + GA models and in the end compare their results with measured data. The data collected for input to the two models includes Meteorological data and groundwater quality parameters gathered from monthly basis from 76 wells.

Results: The results showed that the optimal model is to simulate ANN + GA (Artificial Neural Network + Genetic Algorithm) groundwater level with sigmoid tangent stimulus function and the optimal model is to simulate ANN + GA groundwater salinity with sigmoid logarithm stimulus function. so that the MAE and RMSE statistics have the minimum and R^2 has the maximum value for the model (In the test phase, for groundwater level RMSE=7.47, MAE=9.5 and $R^2=0.979$ and for groundwater salinity RMSE=6.81, MAE=7.74 and $R^2=0.99$).

Conclusion: Therefore, optimizing the artificial neural network model using a genetic algorithm is very useful, effective and also reduces errors and saves time and money.

Keywords: Groundwater level, Simulation, Groundwater salinity, Artificial Neural Networks model.

Jeyran Askari

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@ymail.com.
a_eigder@ymail.com

Received: 2021/12/31

Accepted: 2022/04/20

Document Type: Research article

► **Citation:** Askari J, Egdernezhad A. Groundwater modeling using artificial intelligence methods (Case study: Dezful-Andimeshk plain). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2022; 8(2): 160-171.

مدل‌سازی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی (مطالعه موردی: دشت دزفول - اندیمشک)

جیران عسکری

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):
پست الکترونیک:

a_eigder@ymail.com .

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: آب زیرزمینی، یک منبع مهم آب در جهان به‌شمار می‌رود و مطالعه سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی برای حفاظت و برنامه‌ریزی در خصوص منابع آب، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران اهمیت به‌سزایی دارد. انجام آزمایش‌های کمی و کیفی، زمان‌بر و پرهزینه است. بنابراین، استفاده از مدل‌ها برای شبیه‌سازی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی متداول شده است. هدف از این پژوهش شبیه‌سازی پارامترهای سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر به منظور شبیه‌سازی پارامترهای سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی دشت دزفول- اندیمشک با استفاده از مدل‌های ANN و ANN+GA و در نهایت مقایسه نتایج آن‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده، انجام گرفت. اطلاعات جمع‌آوری شده برای ورودی به دو مدل شامل داده‌های هواشناسی و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به صورت ماهانه از ۷۶ چاه بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، مدل بهینه برای شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی ANN+GA با تابع محرک تانزانت سیگموئید و مدل بهینه برای شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی ANN+GA با تابع محرک لگاریتم سیگموئید می‌باشد؛ به‌طوری‌که مقدار آماره‌های RMSE و MAE کمترین مقدار و R^2 بیشترین مقدار را برای مدل‌های مذکور داشت (در مرحله آزمون، برای پارامتر سطح آب زیرزمینی مقدار $RMSE=7/47$ ، $MAE=9/5$ و $R^2=0/99$ و برای پارامتر شوری آب زیرزمینی مقدار $RMSE=6/8$ ، $MAE=7/47$ و $R^2=0/99$ محاسبه گردید).

نتیجه‌گیری: بهینه‌سازی مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بسیار مفید، مؤثر و همچنین باعث کاهش خطا و صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: سطح آب زیرزمینی، شبیه‌سازی، شوری آب زیرزمینی، مدل شبکه عصبی مصنوعی

◀ **استناد:** عسکری ج، اگدرنژاد الف. مدل‌سازی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی (مطالعه موردی: دشت دزفول- اندیمشک). *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۴۰۱: ۸(۲): ۱۶۰-۱۷۱.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی، یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین منابع آب به‌شمار می‌روند که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آن‌ها می‌تواند در توسعه پایدار فعالیت‌های اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی یک منطقه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش به‌سزایی داشته باشد. عدم شناخت صحیح، کاهش دبی چاه‌ها و قنوات، تغییر الگوی جریان آب زیرزمینی مانند پیشروی جبهه‌های آب شور و تداخل آب شور را به‌همراه خواهد داشت. بدین منظور برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آن لازم است که بررسی دقیقی از نوسانات و شبیه‌سازی پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی انجام گردد (۱). مدیریت منابع آب زیرزمینی در وهله اول نیازمند شناخت عملکرد سطح آب زیرزمینی در شرایط طبیعی و سپس پیش‌بینی تغییرات آن می‌باشد. بدون شک بهترین حالت شناخت رفتارهای یک سیستم آب زیرزمینی، انجام یک سری تحقیقات بلندمدت برای هر منطقه خاص می‌باشد که با توجه به وضعیت کنونی و سقف محدود بودجه‌های تحقیقاتی عملاً امکان‌پذیر نیست. در این میان با ابزاری مانند شبیه‌سازها و یا مدل‌ها می‌توان با دقت قابل قبولی شرایطی مشابه آنچه در طبیعت موجود است، به‌وجود آورد و نتایج قابل قبولی دریافت کرد (۲).

اساس اکثر روش‌های پیش‌بینی بر پایه نوعی شبیه‌سازی از وضعیت موجود سیستم است که اصطلاحاً به آن مدل‌سازی گفته می‌شود. مدل‌های احتمالاتی یا مدل‌های آماری از رابطه بین یک یا چند سری زمانی بهره می‌گیرند. امروزه برای شبیه‌سازی و یافتن درک روابط بین پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی از تکنیک‌های پیشرفته کامپیوتری استفاده می‌گردد. یکی از این روش‌ها، استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی است که این شبکه‌ها، الهام گرفته از مغز انسان و چگونگی پردازش اطلاعات، آموزش و یادگیری روند آن‌ها می‌باشند. از طرفی تلفیق تکنولوژی شبکه‌های عصبی مصنوعی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی، نتایج رضایت‌بخشی را در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده غیرخطی در مسائل هیدرولوژی و مدیریت منابع آب نشان داده است که به تفصیل توسط محققان در حوزه‌های مختلف گزارش شده است (۳).

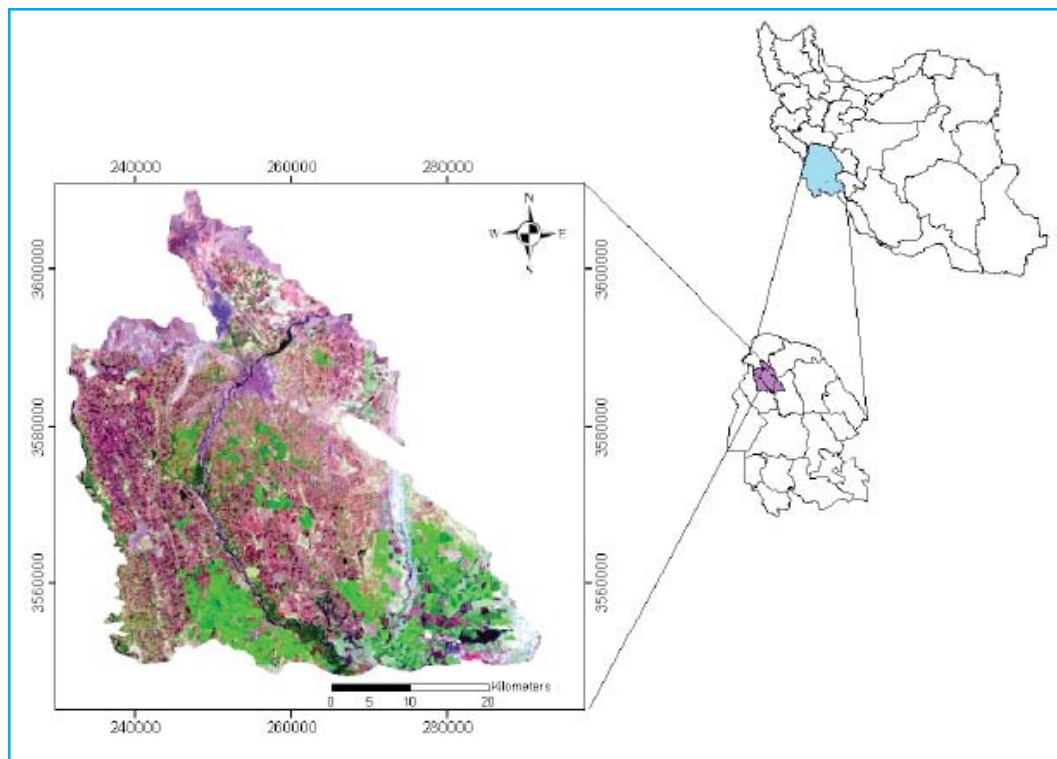
رجائی و پوراصلان، به پیش‌بینی زمانی و مکانی تراز آب زیرزمینی دشت داورزن با استفاده از روش‌های پرسپترون چند لایه شبکه عصبی و کریجینگ پرداختند. داده‌های ورودی شامل سری زمانی آب زیرزمینی به مدت ۸ سال بود. نتایج مطالعه آنان نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی، نتایج قابل قبولی برای پیش‌بینی مکانی و زمانی تراز آب زیرزمینی ارائه داد (۴). محمدی و همکاران، کارایی الگوریتم هیبریدی ازدحام ذرات در شبیه‌سازی تراز سطح ایستابی آبخوان دشت اردبیل را بررسی کردند. نتایج این پژوهش حاکی از عملکرد مناسب این الگوریتم با مجذور میانگین مربعات خطا $0/417$ بود (۵). همچنین امامی و همکاران، از الگوریتم‌های انتخابات، ژنتیک و مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی دشت میان‌دوآب استفاده کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، الگوریتم انتخابات، نسبت به دو روش شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک، نتایج بهتری در پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی ارائه نموده است (۶). در ادامه رضایی و همکاران، به تخمین تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت عباس ایلام با استفاده از ۴ تکنیک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم رقابت استعماری و شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل شبکه عصبی ترکیب شده با الگوریتم ژنتیک، عملکرد بهتری نسبت به سه مدل دیگر برای تخمین سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه داشته است (۷). همچنین در پژوهشی دیگر گونگ و همکاران، به پیش‌بینی و مدل‌سازی سطح تراز آب زیرزمینی با استفاده از آمار ۱۰ ساله مربوط به دو چاه نزدیک دریاچه اوکه چوبه فلوریدا با استفاده از مدل‌های هوشمند پرداختند. ارزیابی مدل‌های مورد استفاده، نشان‌دهنده دقت و توانایی بالای مدل محاسباتی هوش مصنوعی در پیش‌بینی تغییرات سطح آب بود (۸).

شمال استان تا مناطق کم‌ارتفاع مرکز استان را در برمی‌گیرد. در آبخوان دشت دزفول- اندیمشک برخلاف اکثر دشت‌های ایران، حداکثر تراز سطح آب زیرزمینی در 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 گرم‌وخشک منطقه، محصولات کشاورزی در تمام فصول سال کشت می‌شوند. در این منطقه، مقدار بارندگی اندک و تبخیر بسیار بالا است. 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 بوده 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. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

با توجه به مطالعات انجام شده، اهمیت ویژه شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی به دلیل صرفه‌جویی در هزینه و زمان مشخص می‌گردد. از آنجایی که تعداد مطالعات مورد بررسی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی محدود هستند، در این پژوهش از مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل شبکه عصبی تلفیق شده با الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای شبیه‌سازی پارامترهای سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی دشت دزفول- اندیمشک استفاده شد.

روش کار

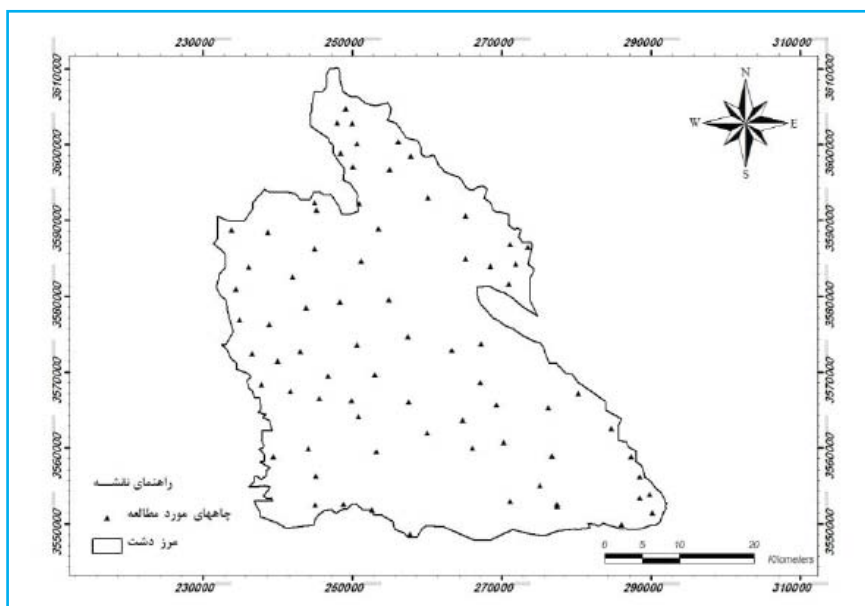
منطقه مورد مطالعه: دشت دزفول- اندیمشک، وسیع‌ترین دشت در حوضه آبریز دز و از دشت‌های وسیع در استان خوزستان است که با وسعتی بالغ بر ۲۴۷۸ کیلومتر مربع واقع در مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی از مناطق کوهستانی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت دزفول- اندیمشک

شبکه عصبی مصنوعی (ANN) ^۱ و الگوریتم ژنتیک (ANN+GA) ^۲ پارامترهای سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی پیش‌بینی شد. سپس دقت پیش‌بینی‌های دو مدل محاسبه و با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده، مقایسه گردید. کدنویسی، آماده‌سازی داده‌ها، محاسبه شاخص‌های آماری و شبیه‌سازی پارامترهای هدف در محیط نرم‌افزار MATLAB انجام گردید. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. در این تحقیق از اطلاعات ۷۶ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود در دشت دزفول- اندیمشک (از هر پارامتر به‌طور میانگین ۶۳۸۴ داده) استفاده شد. نحوه پراکنش چاه‌ها در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۲ نشان داده شده است.

از آنجایی که برای رسیدن به دقت قابل قبول مدل‌ها و اهداف پژوهش نیاز به اندازه‌گیری بلندمدت داده می‌باشد، تمام پارامترهای ورودی مدل شامل سطح آب زیرزمینی، شوری آب زیرزمینی، پارامترهای هواشناسی (بارندگی، حداقل دما، حداکثر دما، میانگین دما، حداقل رطوبت نسبی، حداکثر رطوبت نسبی، میانگین رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری و مجموع ساعات آفتابی) و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، اسیدیته، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، مقدار کل نمک‌های محلول و بی‌کربنات) در دشت دزفول- اندیمشک طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۷ از سازمان آب و برق خوزستان دریافت گردید. با استفاده از مدل



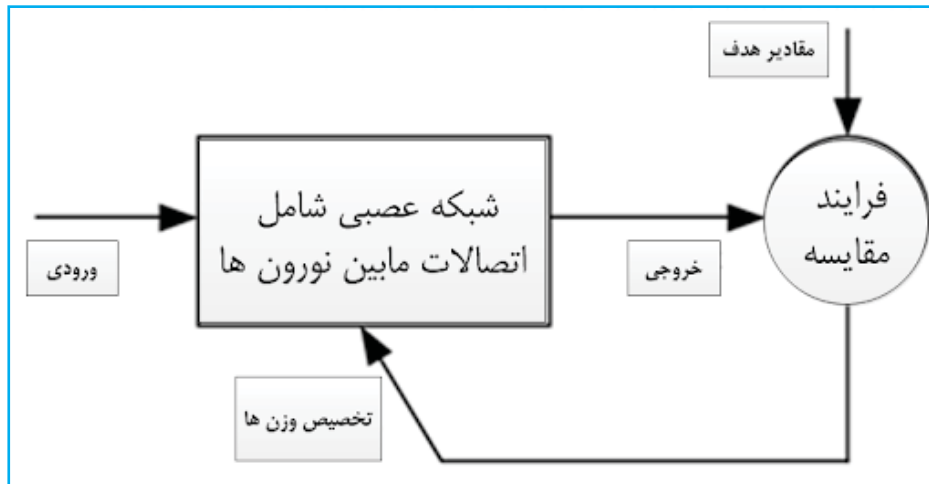
شکل ۲. نحوه پراکنش چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه مورد مطالعه

می‌گردد. یادگیری شبکه، زمانی انجام می‌شود که وزن‌های ارتباطی بین لایه‌ها چنان تغییر کند که اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و محاسبه شده در حد قابل قبولی باشد. با دست‌یابی به این شرایط، فرآیند یادگیری محقق شده است. این وزن‌ها حافظه و دانش شبکه را بیان می‌کنند. شبکه عصبی آموزش دیده می‌تواند برای شبیه‌سازی خروجی‌های متناسب با مجموعه جدید داده‌ها به کار رود (۹). با توجه به ساختار شبکه عصبی مصنوعی، ویژگی‌های عمده آن، سرعت بالای

مدل شبکه عصبی مصنوعی: شبکه عصبی مصنوعی، یکی از روش‌های محاسباتی است که به کمک فرآیند یادگیری و با استفاده از پردازشگرهایی به نام نرون تلاش می‌کند، با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها، نگاشتی میان فضای ورودی (لایه ورودی) و فضای مطلوب (لایه خروجی) ارائه دهد (شکل ۳). لایه‌های مخفی، اطلاعات دریافت شده از لایه ورودی را پردازش کرده و در اختیار لایه خروجی قرار می‌دهند. هر شبکه با دریافت مثال‌هایی آموزش می‌بیند. آموزش فرآیندی است که در نهایت منجر به یادگیری

1. Artificial Neural Network
2. Artificial Neural Network+ Genetic Algorithm

پردازش، توانایی یادگیری الگو به روش اراده الگو، توانایی تعمیم دانش پس از یادگیری، انعطاف پذیری در برابر خطاهای ناخواسته و عدم ایجاد اختلال قابل توجه در صورت بروز اشکال در بخشی از اتصال ها، به دلیل توزیع وزن های شبکه است. (۱۰).



شکل ۳. شمای ساختاری مدل شبکه عصبی مصنوعی

ANN+GA پردازش شده. خروجی هر کدام از مدل ها برای هر دو پارامتر هدف به ازای دو تابع محرک به دست آمد. سپس با توجه به معیارهای ارزیابی مدل، سناریویی که دارای کمترین مقدار خطا در دوره های آموزش و تست بود، به عنوان ساختار بهینه انتخاب شد. همچنین ۷۰٪ داده ها برای آموزش، ۱۰٪ صحت سنجی و ۲۰٪ برای تست در نظر گرفته شد.

الگوریتم ژنتیک^۱: الگوریتم ژنتیک برخلاف دیگر روش های جستجو که توسط طراحان نگاه شده می شوند، در حقیقت به دست دستگاه آفرینش پدید آمده و پس از شناخت نسبی دانشمندان از این روش به صورت مسأله ای ریاضی فرموله شده و وارد دانش مهندسی کامپیوتر و دیگر علوم مرتبط گردیده است (۱۱). ایده اساسی این الگوریتم، انتقال خصوصیات موروثی توسط ژن ها است (ژن ها قطعاتی از یک کروموزوم هستند که اطلاعات مورد نیاز برای یک مولکول DNA یا یک پلی پپتید را دارند).

الگوریتم ژنتیک که روشی بهینه سازی الهام گرفته از طبیعت جاندار (موجودات زنده) است، می توان در طبقه بندی ها از آن به عنوان یک روش عددی، جستجوی مستقیم و تصادفی یاد

تعمیم پذیری مدل شبکه عصبی مصنوعی: هنگام آموزش مدل شبکه عصبی مصنوعی، کار با مجموعه ای از داده ها آغاز می گردد. مرحله نخست، تقسیم کردن مجموعه داده ها به دو دسته آموزش و تست می باشد. در ابتدا توسط مجموعه آموزش، شبکه آموزش داده شده و سپس با استفاده از مجموعه تست، شبکه ارزیابی می گردد تا اطمینان حاصل گردد که شبکه طراحی شده توانایی شبیه سازی با استفاده از مجموعه آموزش را دارد یا خیر. هدف آموزش، کاهش مقدار خطا از طریق تعدیل اوزان است. بنابراین در خلال آموزش شبکه، خطا باید کاهش یابد و آموزش زمانی متوقف خواهد شد که این مقدار کاهش، مقدار اندکی باشد.

از معضلاتی که در استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی وجود دارد، مسئله آموزش آن است که به روش پس انتشار خطا آموزش داده می شود. در انجام این پژوهش با استفاده از آموزش به روش الگوریتم ژنتیک تلاش می گردد این مشکل برطرف شود. نحوه آموزش مدل و تابع محرک، از مهم ترین پارامترهایی هستند که می توانند در خروجی مدل شبکه عصبی مصنوعی تأثیرگذار باشند. در این پژوهش به منظور شبیه سازی پارامترهای سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی به مقایسه دو مدل ANN و

1. Genetic Algorithm

مقادیر RMSE، MAE و R^2 استفاده شد. هرچه مقادیر RMSE و MAE به صفر نزدیک تر و مقدار R^2 به ۱ نزدیک تر باشد، دقت مدل در شبیه سازی بیش تر است.

معادله (۱):

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

معادله (۲):

$$MAE = 100 * \frac{1}{n} \sum |y_{\text{observed}} - y_{\text{predicted}}|$$

معادله (۳):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_{\text{predicted}} - y_{\text{observed}})^2}{\sum y_{\text{observed}}^2 - \frac{\sum y_{\text{observed}}^2}{n}}$$

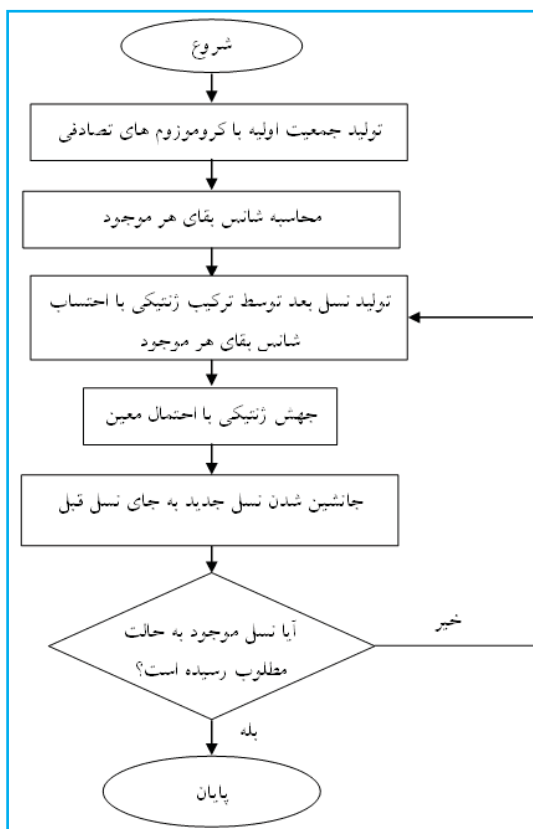
که در آن‌ها $y_{\text{predicted}}$: مقادیر پیش بینی شده، y_{observed} : مقادیر مشاهداتی، y_{average} میانگین داده های مشاهداتی و n : تعداد داده ها است.

یافته ها

در این پژوهش به منظور مدل سازی پارامترهای سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی از داده های هواشناسی دشت دزفول- اندیمشک طی سال های ۹۷-۱۳۹۱ استفاده شد. اطلاعات جمع آوری شده برای ورودی مدل های ANN و ANN+GA شامل پارامترهای هواشناسی و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی می باشد. مشخصات آماری پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین همبستگی بین سطح آب زیرزمینی، شوری آب زیرزمینی و پارامترهای هواشناسی در جدول ۲ و همبستگی بین شوری آب زیرزمینی با پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است.

کرد. این الگوریتم، الگوریتمی مبتنی بر تکرار است و اصول اولیه آن از علم ژنتیک اقتباس گردیده است و با تقلید از تعدادی از فرآیندهای مشاهده شده در تکامل طبیعی اختراع شده است و به طور مؤثری از اطلاعات قدیمی موجود در یک جمعیت استفاده می کند تا حل های جدید و بهبود یافته را ایجاد کند. این الگوریتم در مسائل متنوعی نظیر بهینه سازی، شناسایی و کنترل سیستم، پردازش تصویر و مسائل ترکیبی، تعیین توپولوژی و آموزش شبکه های عصبی مصنوعی و سیستم های مبتنی بر تصمیم و قاعده به کار می رود.

اساس این الگوریتم، قانون تکامل داروین (بقا بهترین) است که می گوید: موجودات ضعیف تر از بین می روند و موجودات قوی تر باقی می ماند (۱۲). شکل ۴، نمای کلی الگوریتم ژنتیک را نشان می دهد.



شکل ۴. نمای کلی الگوریتم ژنتیک

معیارهای ارزیابی مدل ها: برای تعیین میزان دقت مدل ها از

جدول ۱. مشخصات آماری پارامترهای مورد استفاده در پژوهش طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۱

پارامتر	واحد	تعداد نمونه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
سطح آب زیرزمینی	متر	۶۳۷۵	۴۰/۲۵	۱۲۹/۱۶	۸۰/۱۱	۲۳/۲۱
شوری آب زیرزمینی	میکروزیمنس بر متر	۶۳۸۰	۱۹۲/۳	۳۵۴۲/۷۱	۱۰۹۲/۸	۴۹۵/۵۵
بارندگی	میلی‌متر	۶۳۶۵	۰	۶۸	۲۷/۱۴	۲۵/۴۱
حداقل دما	درجه سانتی‌گراد	۶۳۷۸	۹/۵	۲۵/۴	۲۰/۱۱	۱۰/۲
حداکثر دما	درجه سانتی‌گراد	۶۳۸۴	۱۵/۴۱	۴۵/۶۱	۳۲/۵۱	۱۴/۴
میانگین دما	درجه سانتی‌گراد	۶۳۸۱	۱۱/۹	۳۸/۸۴	۲۱/۷	۸/۷
حداقل رطوبت نسبی	درصد	۶۳۸۲	۱۵	۴۵	۲۷	۲۸/۵۴
حداکثر رطوبت نسبی	درصد	۶۳۵۵	۴۹	۷۸	۷۰	۲۰/۱۴
میانگین رطوبت نسبی	درصد	۶۳۴۸	۳۱	۶۵	۴۵	۱۲/۶۵
سرعت باد در ارتفاع ۲ متری	متر بر ثانیه	۶۳۸۱	۱/۸	۳/۱	۲/۲۵	۴/۱۶
مجموع ساعات آفتابی	...	۶۳۴۹	۷/۹	۱۸۱/۵۶	۱۲۱/۲۷	۷۱/۰۵
SAR	...	۶۳۳۲	۰/۶۵	۳۱/۴۸	۱۰/۵۴	۷/۷
Ca ²⁺	میلی‌گرم بر لیتر	۶۳۷۴	۹۷/۵۵	۴۱۰/۴۲	۲۱۰/۳۳	۵۰/۴۵
Mg ²⁺	میلی‌گرم بر لیتر	۶۳۵۵	۱۷/۱۱	۸۹/۴	۴۸/۰۴	۲۹/۱۱
SO ₄ ²⁻	میلی‌گرم بر لیتر	۶۳۵۹	۹/۷۱	۴۴۲/۲۵	۱۷۹/۱۵	۱۰۰/۲۱
HCO ₃ ⁻	میلی‌گرم بر لیتر	۶۳۷۹	۱۵۲/۱۵	۴۱۰/۷	۲۶۳/۷۹	۶۲/۸۴
Na ⁺	میلی‌گرم بر لیتر	۶۳۷۰	۱۰/۴۵	۸۱۹/۳۱	۱۲۱/۴۷	۱۲۵/۰۹
TDS	میلی‌گرم بر لیتر	۶۳۸۳	۱۸۹/۱۱	۲۵۷۰/۱	۶۹۴/۴۴	۵۰۲/۲

جدول ۲. همبستگی پیرسون بین سطح آب زیرزمینی، شوری آب زیرزمینی و پارامترهای هواشناسی

متغیر	بارندگی	حداقل دما	حداکثر دما	میانگین دما	حداقل رطوبت نسبی	حداکثر رطوبت نسبی	میانگین رطوبت نسبی	سرعت باد در مجموع ساعات آفتابی
سطح آب زیرزمینی	**۰/۸۹۹	۰/۴۰۲	**۰/۵۰۲	**۰/۸۱۸	۰/۳۲۷	۰/۳۸۴	۰/۴۷	۰/۱۰۲
شوری آب زیرزمینی	**۰/۸۴۶	۰/۲۵	**۰/۶۸۲	**۰/۶۴	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۱۱۲	۰/۱۹

** معنی‌داری در سطح ۱٪

جدول ۳. همبستگی پیرسون بین شوری آب زیرزمینی و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

متغیر	Na	Ca	Mg	SO ₄	HCO ₃	EC	TDS	SAR
شوری آب زیرزمینی	**۰/۷۲۱	۰/۸۰۷**	۰/۴۱۵	۰/۷۰۹**	۰/۳۹	۱	۰/۴۷۹	۰/۷۹۸**

** معنی‌داری در سطح ۱٪

انتخاب الگوریتم یادگیری در واقع مهم‌ترین بخش طراحی یک شبکه چند لایه است. خروجی هرکدام از مدل‌ها برای هر دو پارامتر سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی برای دو تابع محرک به‌دست آمد. سپس با توجه به معیارهای ارزیابی مدل، سناریویی که دارای کمترین مقدار خطا در دوره‌های آموزش، صحت‌سنجی و آزمون بود، به‌عنوان ساختار بهینه انتخاب شد. مقادیر RMSE، MAE و R²

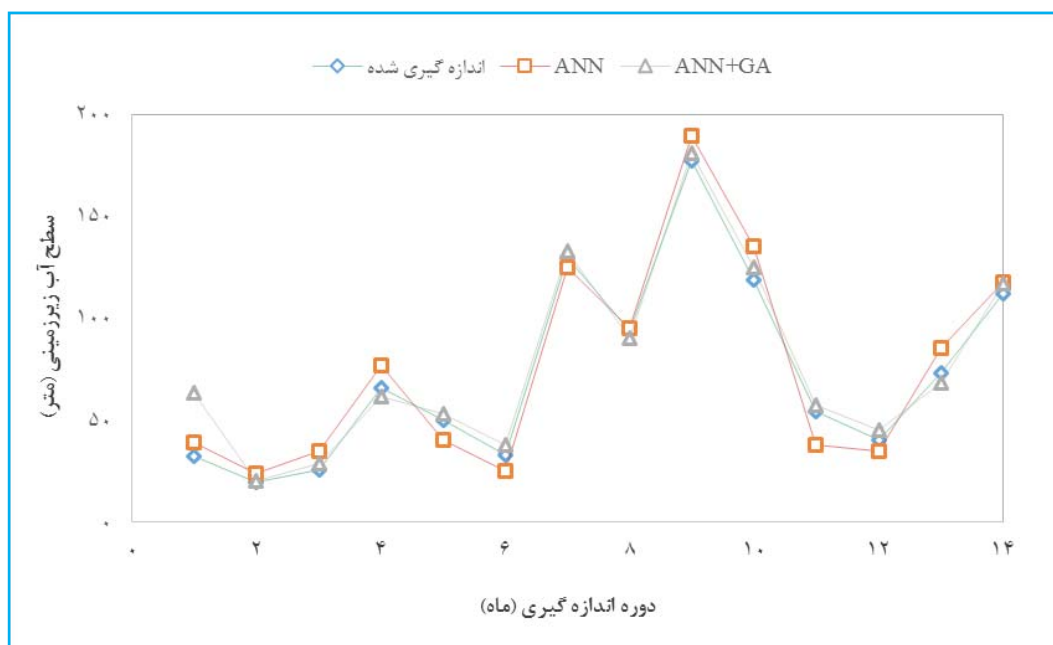
با استفاده از دو مدل ANN و ANN+GA با دو تابع محرک تانژانت سیگموئید و لگاریتم سیگموئید در سه مرحله آموزش، صحت سنجی و آزمون برای دو پارامتر سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی به ترتیب در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از مدل های ANN و ANN+GA در شبیه سازی پارامترهای سطح آب زیرزمینی

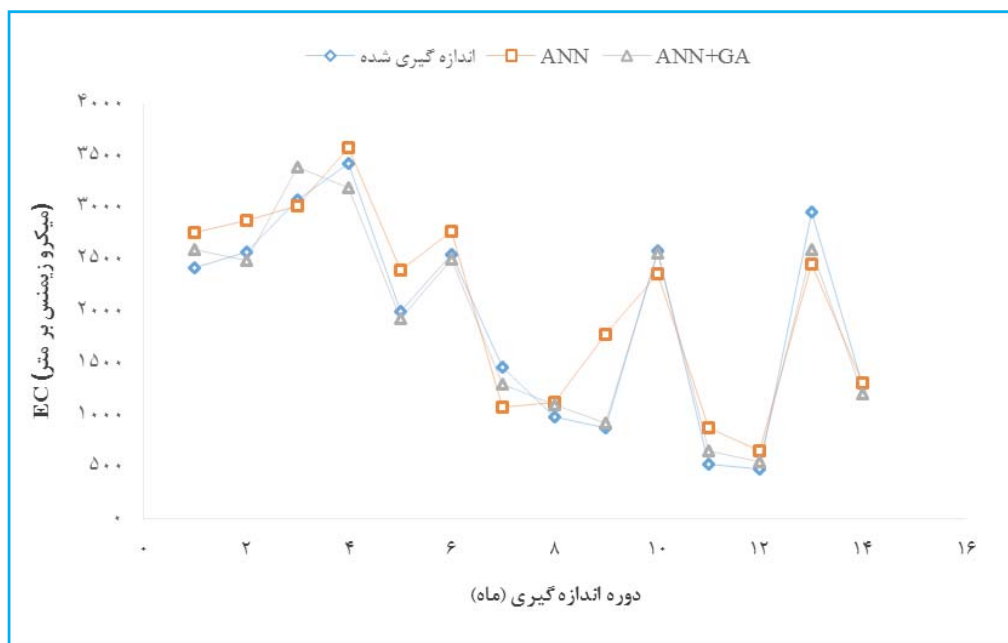
مدل	تابع محرک	تست		صحت سنجی		آموزش
		MAE	RMSE	R ²	R ²	
ANN	Tan sig	۱۷/۱	۱۴/۱۲	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۸۹
ANN	Log sig	۱۳/۲۷	۱۱/۳۴	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۹
ANN+GA	Tan sig	۹/۵	۷/۴۷	۰/۹۷۹	۰/۹۸۵	۰/۹۸۸
ANN+GA	Log sig	۱۰/۱۵	۹/۲۱	۰/۹۵۴	۰/۹۷	۰/۹۸

جدول ۵. نتایج حاصل از مدل های ANN و ANN+GA در شبیه سازی پارامترهای شوری آب زیرزمینی

مدل	تابع محرک	تست		صحت سنجی		آموزش
		MAE	RMSE	R ²	R ²	
ANN	Tan sig	۱۴/۲۵	۱۵/۰۹	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۸۸
ANN	Log sig	۱۹/۳۶	۱۹/۷۱	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۸۱
ANN+GA	Tan sig	۱۰/۰۷	۹/۳۹	۰/۹۸۸	۰/۹۹۱	۰/۹۹۴
ANN+GA	Log sig	۷/۷۴	۶/۸۱	۰/۹۹	۰/۹۹۵	۰/۹۹۷



نمودار ۱. نتایج حاصل از شبیه سازی سطح آب زیرزمینی با استفاده از دو مدل ANN و ANN+GA



نمودار ۲. نتایج حاصل از شبیه سازی شوری آب زیرزمینی با استفاده از دو مدل ANN و ANN+GA

بحث

در نظر گرفتند (۱۴). در پژوهش سلطانی محمدی و همکاران که در دشت راهرمز انجام شد، بیشترین همبستگی پارامتر شوری آب زیرزمینی در سطح اطمینان ۰/۹۹ به ترتیب مربوط به کلسیم و سولفات بود (۱۵).

با توجه به جدول ۴، در مدل ANN و ANN+GA بیشترین دقت شبیه سازی سطح آب زیرزمینی به ترتیب در مدل با تابع محرک لگاریتم سیگموئید و تانژانت سیگموئید بود. همچنین بر اساس نتایج جدول ۵، دقت شبیه سازی شوری آب زیرزمینی در مدل های ANN و ANN+GA، به ترتیب با توابع محرک تانژانت سیگموئید و لگاریتم سیگموئید، بیشترین مقدار بود؛ به طوری که مقدار RMSE و MAE کمترین مقدار و شاخص R^2 بیشترین مقدار را داشت. به طور کلی با توجه به نتایج جداول ۴ و ۵، دقت مدل ANN+GA هم بالاتر از مدل ANN، برای شبیه سازی سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی دشت دزفول- اندیشک برآورد شده است. بنابراین در این پژوهش، مدل بهینه برای شبیه سازی سطح آب زیرزمینی ANN+GA با تابع محرک تانژانت سیگموئید و مدل بهینه برای شبیه سازی شوری آب زیرزمینی

با توجه به جدول ۲، بالاترین ضریب همبستگی سطح آب زیرزمینی به ترتیب مربوط به پارامترهای هواشناسی بارندگی، میانگین و حداکثر دما و بالاترین ضریب همبستگی شوری آب زیرزمینی به ترتیب مربوط به پارامترهای بارندگی، حداکثر دما، میانگین دما و مجموع ساعات آفتابی بود. با توجه به جدول ۳، بالاترین ضریب همبستگی شوری آب زیرزمینی با پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به ترتیب مربوط به کلسیم، نسبت جذب سدیم، سدیم و سولفات بود. بنابراین پارامترهای مذکور به عنوان ورودی برای شبیه سازی سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی توسط مدل های ANN و ANN+GA در نظر گرفته شد. در پژوهش کریمیان و اگدرنژاد، بالاترین ضریب همبستگی سطح آب زیرزمینی به ترتیب مربوط به پارامترهای هواشناسی بارندگی، میانگین، حداکثر و حداقل دما و بالاترین ضریب همبستگی شوری آب زیرزمینی به ترتیب مربوط به پارامترهای بارندگی، مجموع ساعات آفتابی و حداکثر و میانگین دما به دست آمد (۱۳). همچنین کماسی و همکاران، بارش، دما و دبی رودخانه ها را به عنوان عوامل مؤثر بر تراز آب زیرزمینی آبخوان دشت سیلاخور

ANN+GA با تابع محرک لگاریتم سیگموئید بود. صیادی شهرکی و همکاران، برای شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی، مدل شبکه عصبی تلفیق شده با الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات را به‌عنوان مدل بهینه معرفی نمودند (۱۶). زمانی احمد محمودی و همکاران، با استفاده از ترکیب مدل شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک به تخمین سطح ایستابی دشت رامهرمز پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از دقت بالای مدل بوده و مدل شبکه عصبی مصنوعی تلفیقی با الگوریتم ژنتیک را به‌عنوان یک روش ترکیبی مناسب برای سطح ایستابی پیشنهاد کردند (۱۷). در پژوهشی دیگر رضایی و همکاران، از ترکیب مدل شبکه عصبی با الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم کلونی مورچگان برای تخمین تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت عباس استان ایلام استفاده نمودند. نتایج مطالعه عملکرد بهتر مدل شبکه عصبی مصنوعی تلفیقی با الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر الگوریتم‌ها را برای تخمین سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان داد (۷). جلال کمالی و همکاران نیز عملکرد بالای مدل شبکه عصبی مصنوعی ترکیبی با الگوریتم ژنتیک را برای تخمین سطح آب زیرزمینی تأیید نمودند (۱۸، ۱۹).

با توجه به نمودارهای ۱ و ۲، مدل ANN+GA توانسته نتایج خوبی را برای شبیه‌سازی پارامترهای سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی ارائه دهد. با اینکه مدل شبکه عصبی مصنوعی، توانایی بالایی در مدل‌سازی رفتارهای غیرخطی دارد، ولی ترکیب آن با الگوریتم ژنتیک به‌منظور بهینه نمودن پارامترهای مدل شبکه عصبی مصنوعی، باعث دقت بالای شبیه‌سازی شده است. الگوریتم ژنتیک مزایای زیادی دارد که عبارتند از: ۱- ماهیت جستجوی تصادفی این الگوریتم در فضای مسئله که به نوعی یک جستجوی موازی به حساب می‌آید، زیرا هر کدام از کروموزم‌های تصادفی تولید شده به‌وسیله این الگوریتم، یک نقطه شروع جدید برای جستجوی بخشی از فضای حالت مسئله به حساب آمده و جستجو در تمام آن‌ها به شکل هم‌زمان صورت می‌گیرد. ۲- به دلیل وسعت

و پراکندگی نقاطی که مورد جستجو قرار می‌گیرند، در مسائلی که فضای جستجوی بزرگی داشته باشد، نتیجه مطلوبی کسب می‌کند. ۳- نوعی جستجوی تصادفی هدفمند به حساب آمده که از مسیرهای مختلف به جواب‌های متفاوتی خواهد رسید. علاوه بر آن، با هیچ محدودیتی در مسیر جستجو و انتخاب پاسخ‌های تصادفی روبرو نمی‌باشد. ۴- به دلیل رقابت و تنازع بقاع پاسخ‌ها و انتخاب بهترین‌ها از میان جمعیت، با احتمال بالایی به نقطه بهینه سراسری دست پیدا خواهد کرد. ۵- پیاده‌سازی این الگوریتم ساده و نیازی به روال پیچیده حل مسئله ندارد.

نتیجه‌گیری: در چند دهه اخیر، عوامل چالش‌برانگیزی مانند رشد جمعیت، عوامل آب‌وهوایی و همچنین تحولات اجتماعی-اقتصادی، باعث افزایش نیاز روزافزون به منابع آبی گردیده است و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به‌عنوان جایگزین کمبود آب در مصارف مختلف صورت می‌گیرد، لذا نیاز به مدیریت یکپارچه این منابع بیش از پیش محسوس می‌گردد و شبیه‌سازی پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی برای برنامه‌ریزی یکپارچه امری بسیار ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر به‌منظور شبیه‌سازی پارامترهای سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی دشت دزفول اندیمشک با استفاده از مدل‌های ANN و ANN+GA و در نهایت مقایسه نتایج آن‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد، در مدل ANN و ANN+GA بیشترین دقت شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی به ترتیب در مدل با تابع محرک لگاریتم سیگموئید و تانژانت سیگموئید می‌باشد. همچنین دقت شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی در مدل‌های ANN و ANN+GA، به ترتیب با توابع محرک تانژانت سیگموئید و لگاریتم سیگموئید، بیشترین مقدار بود؛ به طوری که مقدار RMSE و MAE کمترین مقدار و شاخص R^2 بیشترین مقدار را داشت. به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل شده، دقت مدل ANN+GA هم بالاتر از مدل ANN، برای شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی دشت دزفول- اندیمشک برآورد شده است.

ملاحظات اخلاقی: نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم

ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مدیریت منابع آب با کد شناسایی ۱۰۶۲۹۱۹۷۱۶۴۸۹۹۱۱۳۹۹۱۶۲۳۳۲۱۷۱ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می‌باشد. بدین‌وسیله از مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جهت همکاری در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی: این مقاله بخشی از پایان‌نامه مقطع کارشناسی

References

- Naderianfar M, Ansari H, Ziaie A, Davary K. Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 2011; 1(3): 22-37 [In Persian].
- Anonymous. Report on the mathematical model of groundwater in the Marvast area. 2001; Yazd Regional Water Joint Stock Company [In Persian].
- Luk KC, Ball J.E, Sharma A. An application of artificial neural network for rainfall forecasting. *Mathematical and Computer Modelling*. 2001; 33 (6-7): 683-693.
- Rajaei T, Pouraslan F. Temporal and spatial forecast of Davarzan plain groundwater level. *Hydrogeomorphology*. 2015; 1(4): 1-19 [In Persian].
- Mohammadi B, Biazar M, Asadi E. Efficiency of particle swarm hybrid algorithm in simulating water level (Case study: Ardabil plain aquifer). *Journal of Rainwater Reservoir Systems*. 2017; 5(15): 77-87 [In Persian].
- Emami S, Chooapan Y, Javad P. Modeling the groundwater level of Miandoab plain using selection algorithms, genetics and artificial neural network method. *Echo hydrology*. 2018; 5(4): 1175-1189 [In Persian].
- Rezaee M.J, Rezaee M.R, Rezaee J. Estimation of Groundwater Level Changes Using Four Different Evolutionary Neural Network Techniques, Case Study: Dasht-e Abbas, Ilam Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 2020; 12 (3): 737-755 [In Persian].
- Gong Y, Zhang Y, Lan S, Wang H. A comparative study of artificial neural networks, support vector machines and adaptive neuro fuzzy inference system for forecasting groundwater levels near Lake Okeechobee, Florida. *Water resources management*. 2016; 30(1), 375-391.
- Dayhoff J. E. *Neural Network Principles*. Prentice-Hall International, U.S.A. 1990.
- Khanna T. *Foundation of neural networks*. Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A. 1990.
- Kia M. *Magnetic algorithms in MATLAB*. Kian Rayane Sabz Publishing Services, Tehran. 2010 [In Persian].
- Goldberg D.E. *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley. 1989.
- Karimiyan A.R, Egdernezhad A. Simulation of groundwater level and groundwater salinity parameters of Ramhormoz plain using artificial neural network model and optimized artificial neural network mode. *Journal of Environmental Health Research*. 2021; 7(1): 17-26 [In Persian].
- Kamasi M, Sharghi S, Nourani V. Identification of Factors Affecting Groundwater Level Reduction Using Wavelet-Entropy Criterion (Case Study: Silakhor Plain Aquifer). *Hydrogeomorphology*. 2016; 9 (4): 63-86 [In Persian].
- Soltani Mohammadi A, Sayadi Shahraki A, Naseri A.A. Simulation of Groundwater Quality Parameters Using ANN and ANN+PSO Models (Case Study: Ramhormoz Plain). *Journal of Pollution*. 2016; 3 (2): 191-200.
- Sayadi Shahraki A, Soltani Mohammadi A, Naseri A. A, Mokhtaran A. Simulation of groundwater salinity using Artificial Neural Network (ANN), Particle Swarm Optimization (PSO) and model SEAWAT (Case study: Debal khazaie sugarcane plantation). *Journal of Water and Soil Conservation*. 2017; 23(5): 307-316 [In Persian].
- Zamani Ahmad Mahmoodi R, Akhound Ali A.M, Zareie H, Raadmanesh F. Estimation of water table using a hybrid method optimized by genetic algorithm. *Journal of Water Resources Engineering*. 2014; 4(15): 26-38 [In Persian].
- Jalalkamali A, Jalalkamali N. Groundwater modeling using hybrid of artificial neural network with genetic algorithm. *African Journal of Agricultural Research*. 2011; 6(26): 5775-5784.
- Dash N.B, Panda S.N, Remesan R, Sahoo, N. Hybrid neural modeling for groundwater level prediction. *Neural Computing and Applications*. 2010; 19(8): 1251-1263.