هیدروژئولوژی، سال دوم، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۶
Hydrogeology, Volume 2, No. 2, Winter 2018

ارزیابی کارایی الگوریتم‌های رقابت استعماری و ژنتیک در تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت بستان‌آباد)

سمیّه امامی*[۱]، محمد همتی[۲]، هادی ارونقی [۳]

چکیده

الگوریتم رقابت استعماری یک الگوریتم بهینه‌سازی جدید می‌باشد و با رویکرد نوین مدل‌سازی فرآیندهای سیاسی- اجتماعی ابداع گردیده است. تخمین نسبت جذب سدیم و اندازه‌گیری غلظت کلر به‌عنوان نمونه‌ای از پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، بسیار پرهزینه و زمان‌برتر از اندازه‌گیری شوری آب می‌باشد. در این مطالعه، جهت تخمین پارامترهای مذکور یک کد عددی طراحی شد و الگوریتم رقابت استعماری ضرایب وزنی داده‌های ورودی از تابع پیشنهادی را محاسبه نمود. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم رقابت استعماری مقدار میانگین مربعات در نمونه تست برای SAR و غلظت کلر به ترتیب ۰/۰۰۹۱۲ و ۰/۰۰۷۹۰ می‌باشد. همچنین مقادیر ضریب تبیین در مرحله صحت سنجی نیز برای SAR و کلر به ترتیب ۰/۹۸۰ و ۰/۹۸۶ بوده است. این مطالعه بر اساس نمونه‌های جمع‌آوری شده از آب زیرزمینی دشت بستان‌آباد انجام گرفته و قابل تعمیم برای سایر مناطق می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق قدرت، هم‌گرایی و سرعت بسیار بالای روش پیشنهادی را در مقایسه با نتایج روش الگوریتم ژنتیک به اثبات می‌رساند.

واژه‌های کلیدی: ***الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم ژنتیک، دشت بستان‌آباد، غلظت کلر، نسبت جذب سدیم (SAR).***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۰۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۹

۱-کارشناسی‌ارشد، گرایش سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
۳- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
*_ نویسنده مسئول

Performance Evaluation of Imperialist Competitive and Genetic Algorithm for Estimating Groundwater Quality Parameters (Case Study: Bostanabad Plain)

Somayeh Emami *[1], Mohammad Hemmati[2], Hadi Arvanaghi[3]

Abstract

Imperialist Competitive Algorithm (ICA) is a new socio-politically motivated global search strategy that has recently been introduced for dealing with different optimization tasks. The estimation of sodium adsorption ratio (SAR) and chloride content as example of groundwater quality parameters are much more time-consuming and expensive than water salinity measurement. For using this method, a numerical code was designed, and ICA algorithm calculated weight coefficients of the proposed function for the input data. The validation of the simulation with the ICA model showed that MSE in testing sample for SAR and chloride were 0.0134 and 0.0098, respectively. Also, R^2 of validity for SAR and chloride were 0.93 and 0.952, respectively. This study was done based on the sample collected from the groundwater of Bostanabad plain, and could be generalized to other areas. The results of this study indicated high speed, convergence and power of the proposed method compared to genetic algorithm (GA) in estimation of sodium adsorption ratio (SAR) and chloride.

Keywords: ***Bostanaabad Plain, Chloride Content, Genetic Algorithm, Imperialist Competitive Algorithm, Sodium Adsorption Ratio (SAR).***

Received: 2016/09/23
Accepted: 2017/12/29

1-Master of science of hydraulic structures, Department of water engineering, Agricultural faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran.
2- Assistant professor of water engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran
3- Associate professor, Department of water engineering, Agricultural faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran.
*- Corresponding Author: E-mail: somayehemami70@gmail.com

مقدمه

در هر طرح آبیاری باید به اصول شیمیایی خاک و کنش‌هایی که خاک با ترکیبات شیمیایی موجود در آب آبیاری صورت می‌دهد، به همان اندازه خصوصیات فیزیکی خاک اهمیت داد. این موضوع به‌خصوص در وضعیت آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک، که آب و خاک معمولاً از کیفیت مطلوبی برخوردار نیستند، دارای اهمیت می‌باشد. مسائل شیمیایی خاک و آب به دو بخش تقسیم می‌شوند: بخش اول مربوط به اثرات کلی تجمع نمک در خاک و تأثیر بر رشد گیاه و بخش دوم در رابطه با اثرات ویژه عناصر شیمیایی موجود در آب یا خاک بر گیاه می‌باشد. در ایران که تقریباً ۸۰ درصد آب‌های شیرین از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود، مسائل مربوط به شوری و سمیت عناصر شیمیایی، بسیار حائز اهمیت می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۹). افزایش جمعیت نیاز روزافزون به آب شیرین و مواد غذایی از یک طرف و کاهش و پراکندگی توزیع ریزش‌های جوی و هم‌چنین کاهش منابع آب‌های سطحی از سوی دیگر موجب شده است که با برداشت و استفاده بی‌رویه از طریق حفر چاه‌های غیرمجاز با کاهش سطح آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های کشور از جمله دشت ارومیه رو به رو باشیم. کاهش سطح آب زیرزمینی در بعضی از مناطق ساحلی مثل مازندران موجب پیشروی آب شور به سمت مناطق ساحلی و افزایش هدایت الکتریکی آب چاه‌ها شده است. تحقیقات حاکی از آن است که افزایش افت سطح آب زیرزمینی بر کیفیت سفره‌های آبی تأثیر مستقیمی دارد. به همین دلیل انجام یک مطالعه در زمینه شناخت و بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در مناطق آسیب‌پذیر و حساس ضروری است و این مسئله نشانگر اهمیت بررسی‌های کیفی آب زیرزمینی می‌باشد (احمدی و صدق آمیز ۲۰۰۸). جهت مدیریت بهتر در حوزه منابع آب و خاک و هم‌چنین برنامه‌ریزی ایده‌آل برای حصول عملکرد حداکثر در گیاهان زراعی، تعیین میزان عناصری مثل سدیم و کلر در آب آبیاری ضروری به نظر می‌رسد. برای بیان سدیم روش‌های مختلفی اعم از درصد سدیم محلول (SSP)، شاخص نمک و استفاده از دیاگرام ویلکاکس وجود دارد (دیسک، ۲۰۰۷). اما رایج‌ترین روشی که برای ارزیابی اثرات سدیم بر نفوذپذیری به‌کار می‌رود، استفاده از نسبت جذب سدیم (SAR) می‌باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

نسبت جذب سدیم یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده کیفیت آب به‌خصوص در مصارف آبیاری و کشاورزی می‌باشد و طبق فرمول زیر قابل محاسبه است (سوارز و همکاران، ۲۰۰۶):

$$\mathrm{SAR} = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}$$

که در آن غلظت‌ها بر حسب میلی اکی‌والان بر لیتر (meq.l) می‌باشد. طبق فرمول بالا جهت تعیین نسبت جذب سدیم، اندازه‌گیری سدیم، کلسیم و منیزیم ضروری است که بسیار زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. در مورد غلظت کلر موجود در آب آبیاری نیز روش‌های متعددی از جمله: وزن‌سنجی، روش حجمی با نیترات نقره (الکترومتریک) و روش حجم‌سنجی با معرف کرومات پتاسیم اشاره کرد، که روش‌های ذکر شده نیز نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار بالا می‌باشند. بنابر دلایل ذکر شده، نیاز اساسی به روش‌هایی است که بتوانند روند تغییرات شوری را در مدت زمان و هزینه کم‌تر و هم‌چنین با دقت و سرعت بالا در سطح وسیع یک دشت مورد بررسی قرار دهد (سامین و همکاران، ۲۰۱۲). امروزه محققین بسیاری با استفاده از فناوری‌های جدیدی مانند هوش مصنوعی، به تخمین کیفی پارامترهای آب زیرزمینی پرداخته‌اند، که از آن جمله می‌توان به مطالعات شمیم و همکاران (۲۰۰۴) اشاره نمود که غلظت فلزات سنگین مثل (آهن، مس و سرب) در آب زیرزمینی را با استفاده از شبکه‌های عصبی پیش‌بینی نمودند.

فی جونگ چانگ و همکاران (۲۰۱۰) از شبکه‌های عصبی در برآورد غلظت آرسنیک منطقه‌ای واقع در تایوان استفاده کردند که نتایج بیانگر تأثیر به‌سزای مدل در کاهش خطا بوده است. زارع ابیانه (۲۰۱۱) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به پیش‌بینی نیترات آب زیرزمینی در دشت همدان پرداختند. نتایج به‌دست آمده حاکی از تطابق مناسب بین مقادیر حاصل از اجرای شبکه‌ی عصبی مصنوعی و مقادیر واقعی بود. 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 میلی‌گرم در لیتر بوده و میزان آن در ۴۹ درصد از ایستگاه‌ها کم‌تر از استاندارد پیشنهاد شده از طرف سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور بوده است.

معاشری و همکاران (۲۰۱۳) نیز از ترکیب سه مدل زمین آماری، شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک جهت پیش‌بینی مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم در آب زیرزمینی دشت کاشان بهره گرفتند، که نتایج صحت‌سنجی مدل ارائه شده در حدود ۹۰/۹ گزارش شده است. با توجه به عملکرد مطلوب سیستم‌های هوشمند به‌ویژه در حوزه‌ی منابع آب از جمله در بررسی و پیش‌بینی کیفیتی آب زیرزمینی، در این نوشتار جهت تخمین نسبت جذب سدیم و غلظت کلر در آب زیرزمینی دشت بستان‌آباد، یکی از قدرتمندترین و جدیدترین الگوریتم‌های فراکاوشی یعنی الگوریتم رقابت استعماری مورد استفاده قرار گرفته است.

الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم جدیدی در حوزه بهینه‌سازی هوشمند است که توجه محققین بسیاری را به خود جلب کرده است. این الگوریتم با مدل‌سازی ریاضی فرآیند اجتماعی سیاسی استعمار، از آن در جهت ارائه یک الگوریتم قوی و کارا در حوزه بهینه‌سازی استفاده می‌کند.

مواد و روش‌ها

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) به‌عنوان امپریالیست[1] انتخاب می‌شوند. باقیمانده جمعیت نیز به‌عنوان مستعمره[2]، 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 تشکیل‌دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (به‌عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به‌صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به‌اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است. با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان 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 سیطره درآوردن 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 همسان‌سازی[3]، رقابت استعماری و انقلاب[4]، تشکیل می‌دهند. 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 به‌صورت الگوریتم ارائه می‌دهد که می‌توانند به حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی کمک کنند. در واقع این الگوریتم جواب‌های مسئله بهینه‌سازی 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 مسئله برساند.

به‌طور خلاصه، این الگوریتم، از چندین کشور در حالت اولیه شروع می‌شود. کشورها در حقیقت جواب‌های 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 (همگون‌سازی) در راستای محورهای مختلف بهینه‌سازی، کشورهای مستعمره را به سمت خود می-کشند. رقابت امپریالیستی در کنار سیاست همگون‌سازی، هسته‌ی اصلی این الگوریتم را تشکیل می‌دهد و باعث می‌شود که کشورها به سمت مینیمم مطلق تابع حرکت کنند.

مزایای الگوریتم رقابت استعماری را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

نو بودن ایده‌ی پایه‌ای الگوریتم: به‌عنوان اولین الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر یک فرایند اجتماعی ـ سیاسی.

توانایی بهینه‌سازی هم‌تراز و حتی بالاتر در مقایسه با الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی، در مواجهه با انواع مسائل بهینه‌سازی.

[1] Imperialist
[2] Colony
[3] Assimilation
[4] Revolution

سرعت مناسب یافتن جواب بهینه.

نحوه عملکرد الگوریتم رقابت استعماری به‌ترتیب مراحل زیر می‌باشد:

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 کمتر از امپریالیست داشته باشد؛ جای مستعمره امپریالیست را با هم عوض کن.

۴-هزینه کل یک امپراطوری را حساب کن (با در نظر گرفتن هزینه امپریالیست و مستعمراتشان).

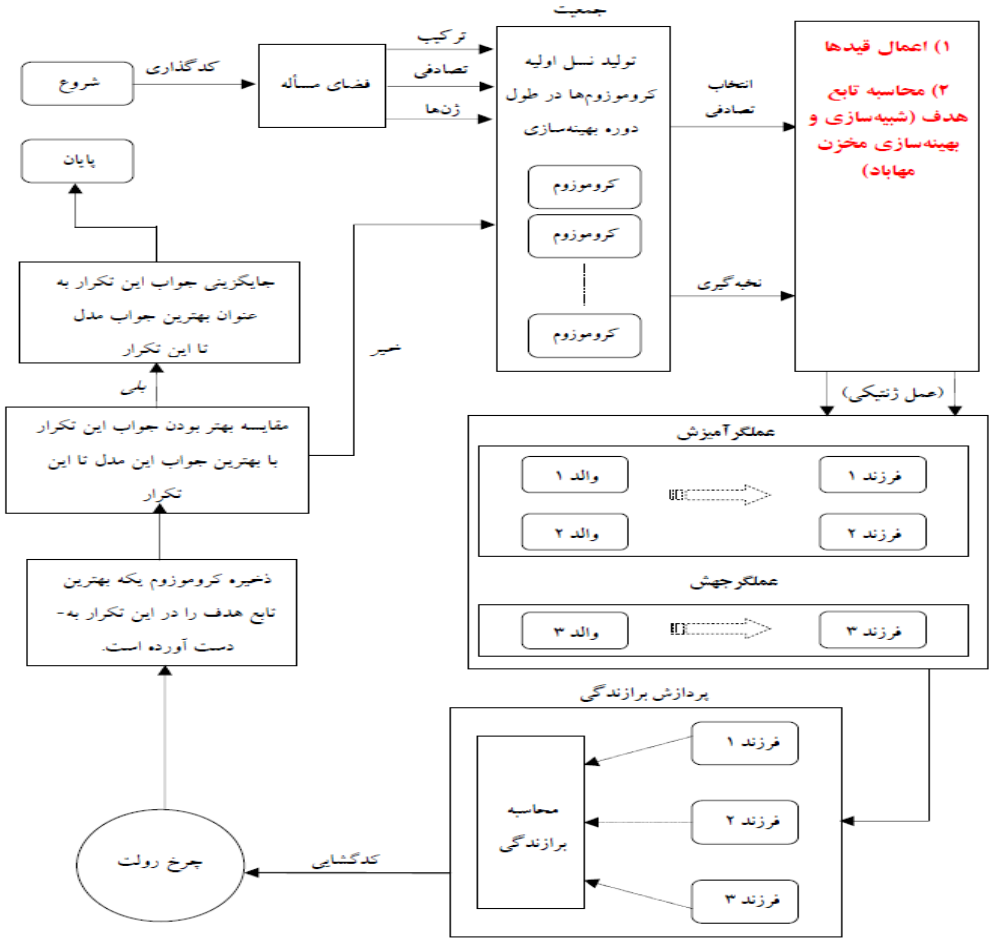
۵-یک مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری انتخاب کرده و آن را به امپراطوری‌ای که بیش‌ترین احتمال تصاحب را دارد، بده.

۶-امپراطوری‌های ضعیف را حذف کن.

۷-اگر تنها یک امپراطوری باقی‌مانده باشد، توقف کن وگرنه به ۲ برو.

الگوریتم ژنتیک

این الگوریتم‌ها با الهام از روند تکاملی طبیعت مسائل را حل می‌نمایند. یعنی مانند طبیعت یک جمعیت از موجودات را تشکیل می‌دهند و با اعمالی بر روی این مجموعه به یک مجموعه بهینه و یا موجود بهینه دست می‌یابند. در شکل ۱ ساختار الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است (جان هلند، ۱۹۷۳).



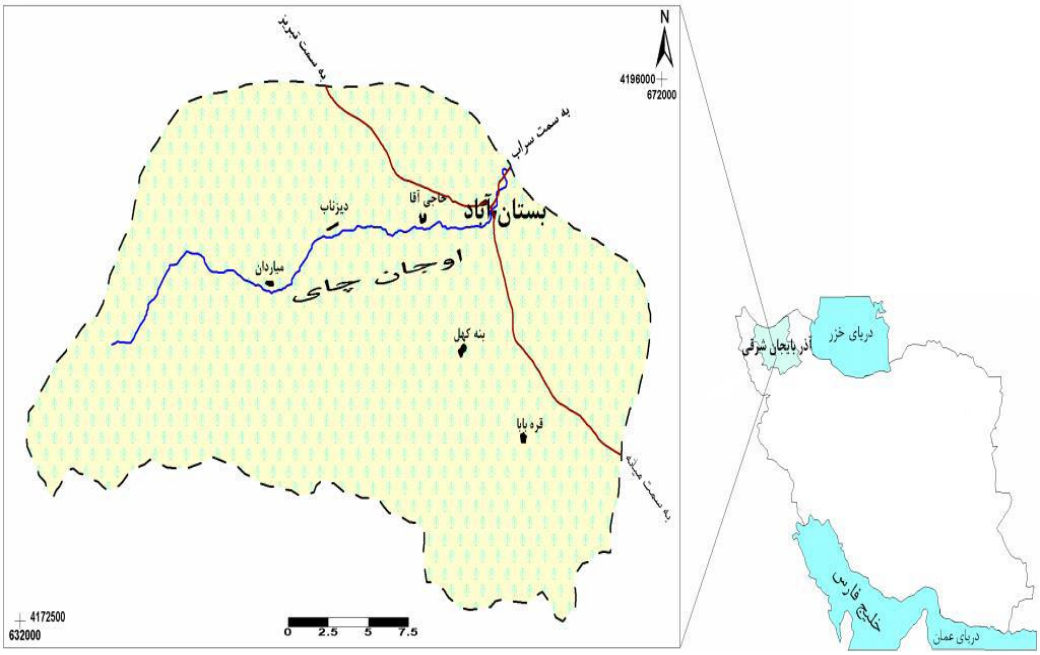
شکل ۱- ساختار الگوریتم ژنتیک.

برای حل یک مسأله با الگوریتم‌های ژنتیک مراحل ذیل را داریم:

۱- مدل‌سازی مسأله یا بازنمایی
۲- تشکیل جمعیت اولیه
۳- ارزیابی جمعیت
۴- انتخاب والدین
۵- باز ترکیبی
۶- جهش
۷- انتخاب فرزندان
۸- تست شرط خاتمه الگوریتم

کلیاتی در مورد منطقه مورد مطالعه

دشت بستان‌آباد در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان‌شرقی به فاصله ۴۵ کیلومتری جنوب شرق شهرستان تبریز و از نظر جغرافیایی بین ۴۶ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۷ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه و ۳۸ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این منطقه از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه خشک کشور محسوب می‌شود. مهم‌ترین رودخانه بستان‌آباد رودخانه اوجان‌چای می‌باشد که میزان سطح حوزه آبریز اوچان چای ۵۶۸ کیلومتر مربع و حجم جریان آب آن ۴۶ میلیون مترمکعب است. به دلیل فصلی بودن اکثر رودخانه‌های استان آذربایجان‌شرقی، در حال حاضر آب زیرزمینی منبع اصلی برای آب شرب و کشاورزی این مناطق محسوب می‌شود. متوسط درجه حرارت سالانه این دشت ۷/۳ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه برابر ۳۰۱/۶۱ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲- موقعیت دشت بستان‌آباد بر روی نقشه.

تعریف مسئله

در تحقیق حاضر، هدف تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی بر پایه سه دسته داده ورودی شامل شوری آب زیرزمینی (EC)، اسیدیته (pH) و مقدار کل مواد جامد محلول (TDS) می‌باشد. داده‌های به‌کار گرفته شده در این نوشتار مجموعاً ۷۶ داده می‌باشد که ۵۶ نمونه شامل داده‌های آموزشی جهت ساخت مدل توسط شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی در پاییز سال ۹۰ برداشت و آنالیز شده است. داده‌ی تست جهت صحت‌سنجی نیز ۲۰ نمونه مربوط به پاییز سال ۱۳۹۱ می‌باشد. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم

رقابت استعماری و ژنتیک در جداول ۱ و ۲ و هم‌چنین تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۳ آورده 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 π/4، در اکثر پیاده‌سازی‌ها، انتخاب مناسبی بوده است. β عددی بزرگ‌تر از یک و نزدیک به ۲ می‌باشد. یک انتخاب مناسب می‌تواند β=۲ باشد. وجود ضریب β>۱ 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. کوچک در نظر گرفتن ζ، باعث می‌شود که هزینه کل یک امپراطوری، تقریباً برابر با هزینه حکومت مرکزی آن (کشور امپریالیست)، شود و افزایش ζ نیز باعث افزایش تأثیر میزان هزینه مستعمرات یک امپراطوری در تعیین هزینه کل آن می‌شود.

جدول ۱-پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم رقابت استعماری.

عنوان	تعداد
تعداد کشورهای اولیه	۱۰۰
تعداد استعمارگران اولیه	۶
تعداد مستعمرات	۹۴
β	۲
γ	π/۴
ζ	۰/۰۱

جدول ۲-پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک.

عنوان	تعداد
تعداد جمعیت اولیه	۴۰
حداکثر تعداد نسل	۲۰۰۰
نسل باقی‌مانده	۵۰۰
تعداد فرزندان نخبه	۴
درصد جهش فرزندان	۰/۷۵
تعداد فرزندان تلفیق یافته	۹

جدول ۳- تجزیه و تحلیل داده‌های آماری به‌کار گرفته شده.

عنوان	نسبت جذب سدیم	غلظت کلر
میانگین	۱/۹۵۲	۳/۳۳۵
مینیمم	۰/۴۹۰	۰/۱۵
ماکزیمم	۴/۹۵۲	۱۵
واریانس	۱/۲۲۵	۱۸/۳۶۷
انحراف معیار	۱/۱۰۷	۴/۲۸۵
ضریب چولگی	۰/۸۴۵	۱/۴۶۴

برای مقایسه بهتر، کلیه داده‌های ورودی و خروجی به‌کار رفته در پژوهش، به روش مطرح شده لاروس (لاروس، ۲۰۰۵)، طبق فرمول‌های زیر در بازه [L , H]، در این نوشتار معادل [۱و ۰] انتخاب گردید، نرمالیزه شده‌اند.

$$X^* = mX_I \qquad (۱)$$

$$M = \frac{H-L}{Max(X)-Min} \qquad (۲)$$

$$b = \frac{Max(X)L-Min}{Max(X)-Min} \qquad (۳)$$

که X* متغیر نرمالسازی شده و X_i متغیر اصلی است.

شاخص‌های ارزیابی

جهت مقایسه مدل‌ها با یکدیگر و ارزیابی آن‌ها نیاز به شاخص‌هایی است که بتواند کارکرد مدل‌ها را در کل مجموعه داده‌ها مورد قضاوت قرار دهد. در تحقیق حاضر از شاخص‌های ضریب تبیین(R^2) و میانگین مربعات برای این منظور استفاده شد. روابط بدین صورت می‌باشند:

$$R^2 = \frac{\sum_{1}^{N}(\text{calc}-\text{avg.obs})^2}{\sum_{1}^{N}(obs-\text{avg.obs})^2} \qquad (۴)$$

که در آن:

ave.obs: میانگین داده‌های مشاهداتی

n: تعداد کل زوج داده‌های مشاهداتی و محاسباتی

calc: داده‌های محاسباتی متناظر با داده‌های مشاهداتی می‌باشند.

میانگین مربعات خطا (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{1}^{N}(obs - calc)^2}{N} \quad (۵)$$

پس از تعریف تابع هدف، برای قسمت‌های مختلف الگوریتم رقابت استعماری مثل جمعیت اولیه، سیاست جذب و ... باید مقادیر مناسب را انتخاب نمود که البته انتخاب صحیح این مقادیر تأثیر مستقیمی در نحوه عملکرد و سرعت الگوریتم رقابت استعماری در مسئله مدنظر خواهد داشت.

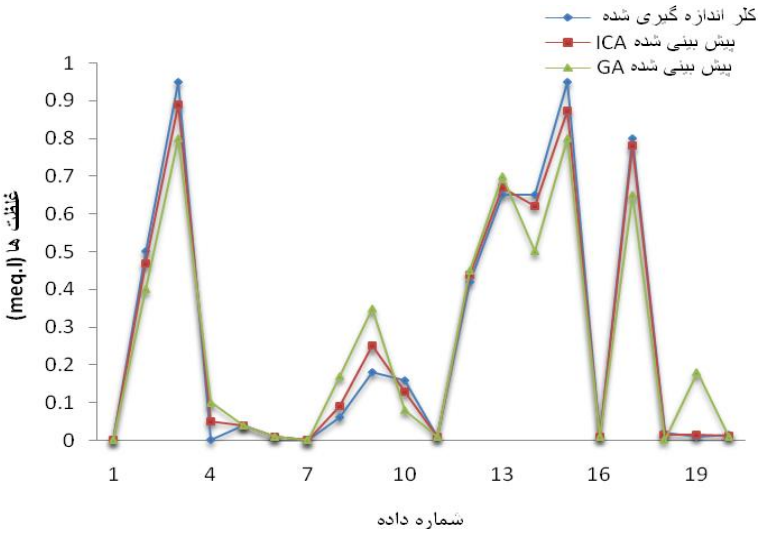
نتایج و بحث

پس از معرفی تابع هدف و انجام تحلیل حساسیت، یافتن مقادیر بهینه پارامترهای مؤثر الگوریتم و به‌کارگیری آن‌ها در مدل، مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین به‌عنوان معیارهای کارایی مدل مورد نظر محاسبه گردید. جدول ۴، نتایج حاصل از آموزش و صحت‌سنجی الگوریتم رقابت استعماری را در برآورد SAR و کلر نشان می‌دهد.

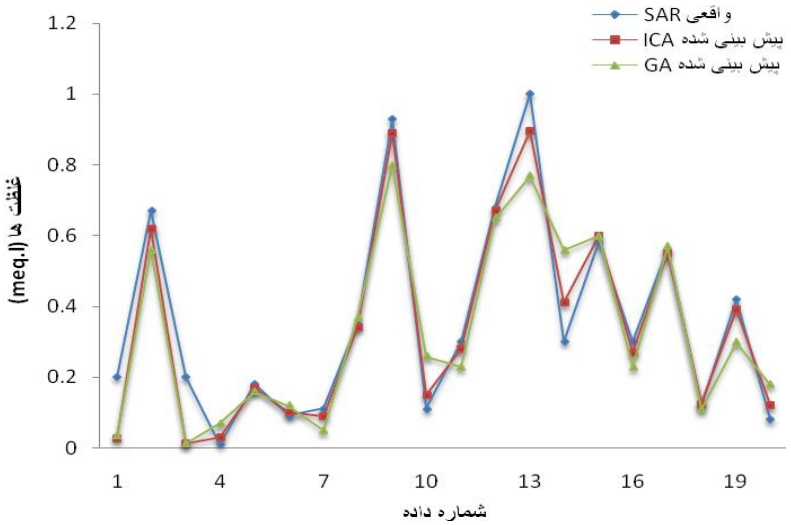
جدول ۴- مقایسه نتایج حاصل از آموزش و صحت‌سنجی الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک در برآورد SAR و غلظت کلر.

متغیرها	نتایج داده‌های آموزشی حاصل از (ICA)		نتایج داده‌های آموزشی حاصل از (GA)		نتایج داده‌های تست حاصل از (ICA)		نتایج داده‌های تست حاصل از (GA)	
	MSE	R^2	MSE	R^2	MSE	R^2	MSE	R^2
SAR	۰/۰۱۰۱۳	۰/۹۷۳	۰/۰۱۰۶	۰/۹۴۸	۰/۰۰۹۱۲	۰/۹۸۰	۰/۰۱۳۴	۰/۹۳
غلظت کلر	۰/۰۰۴۱۲	۰/۹۸۱	۰/۰۰۶۵	۰/۹۶۶	۰/۰۰۷۹	۰/۹۸۶	۰/۰۰۹۸	۰/۹۵۲

در شکل‌های۳ و ۴ مقدار SAR و غلظت کلر پیش‌بینی شده با استفاده از دو روش الگوریتم رقابت استعماری، ژنتیک و مقدار واقعی آن‌ها، مقایسه گردیده است.

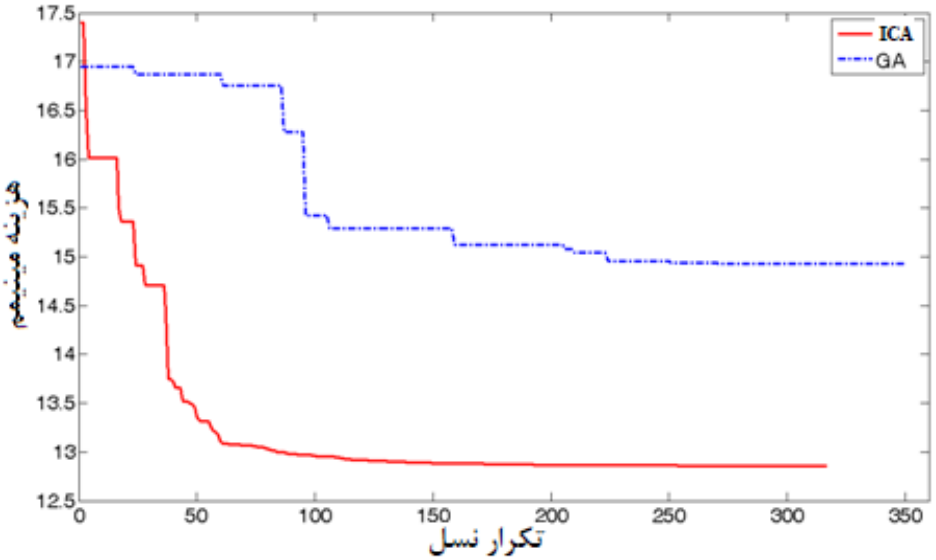


شکل ۳- مقایسه مقدارSAR واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم‌های رقابت استعماری و ژنتیک.



شکل ۴- مقایسه مقدار غلظت کلر و نسبت جذب سدیم.

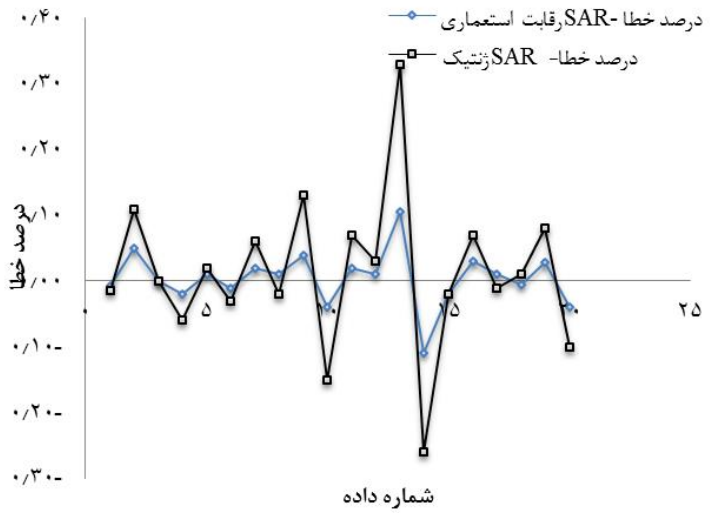
همان‌گونه که ملاحظه می‌شود نتایج به‌دست آمده از الگوریتم رقابت استعماری بسیار بهینه بوده و اختلاف بسیار ناچیزی با مقادیر واقعی SAR و غلظت کلر واقعی دیده می‌شود که این نشان‌دهنده کارآیی و راندمان بسیار بالای الگوریتم رقابت استعماری در مقایسه با الگوریتم ژنتیک می‌باشد. شکل ۵ هزینه مینیمم ICA و GA را بر حسب تکرار نسل نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل نیز نشان داده شده است، حد نهایی هم‌گرایی ICA برابر با ۱۲/۸۵۲۴ است که کم‌تر از مقدار معادل آن در الگوریتم ژنتیک GA با مقدار۱۴/۹۲۲۹ می‌باشد. هم‌چنین نرخ همگرایی الگوریتم رقابت استعماری بسیار بیش‌تر از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.



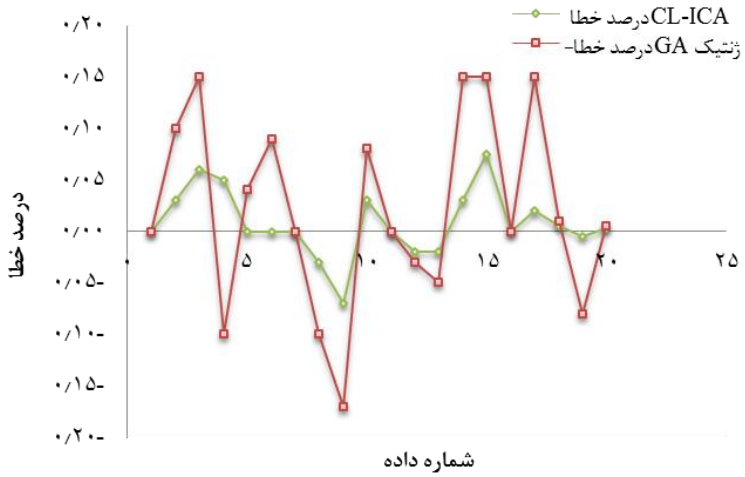
شکل ۵- هزینه مینیمم ICA و GA برحسب تکرار نسل.

از آنجا که هنوز گزارش‌های مستندی در خصوص مطالعات انجام شده توسط الگوریتم رقابت استعماری در حوزه‌ی تخمین یا پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب مشاهده نشده، مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج مشابه دیگر امکان-پذیر نبوده است. در تحقیق حاضر، کارایی روش پیشنهادی (الگوریتم رقابت استعماری) با گزینه معادل با الگوریتم ژنتیک

مورد مقایسه قرار گرفت. در شکل‌های ۶ و ۷ درصد خطای بین مقادیر اندازه‌گیری شده نسبت جذب سدیم و غلظت کلر با مقادیر به‌دست آمده از اجرای الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری آورده شده است. با توجه به درصد خطای اجرای هر دو مدل، می‌توان دریافت که نتایج حاصل از اجرای الگوریتم رقابت استعماری در مقایسه با الگوریتم ژنتیک بسیار رضایت‌بخش می‌باشد.



شکل ۶- مقایسه درصد خطا نسبت جذب سدیم پیش‌بینی شده حاصل از اجرای دو روش الگوریتم ICA و GA.



شکل ۷- مقایسه درصد خطا غلظت کلر پیش‌بینی شده حاصل از اجرای دو روش الگوریتم ICA و GA.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از الگوریتم رقابت استعماری بسیار رضایت‌بخش می‌باشد. زیرا اولاً همان‌طور که از نمودارها نیز استنباط می‌شود، پارامترهای نسبت جذب سدیم و غلظت کلر را با دقت بسیار بالا و نزدیک به مقدار واقعی این پارامترها پیش‌بینی نمود. ثانیاً نتایج اجرای روش پیشنهادی درصد خطای بسیار کمی در مقایسه با روش الگوریتم ژنتیک به‌دست می‌دهد و این نشان از راندمان، سرعت و دقت بسیار بالای الگوریتم رقابت استعماری در مقایسه با الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای اولین بار جهت پیش‌بینی و تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی از روش نوین و قدرتمند الگوریتم رقابت استعماری بهره گرفته شد. با انجام تحلیل حساسیت و یافتن مقادیر بهینه پارامترهای مؤثر الگوریتم و بکارگیری آن‌ها در مدل، مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین به‌عنوان معیارهای کارایی مدل مورد نظر محاسبه گردید. مقادیر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین حاصل از اجرای الگوریتم رقابت استعماری در نمونه تست برای SAR و غلظت کلر به ترتیب ۰/۰۰۹۱۲ و ۰/۰۰۷۹۰ و هم‌چنین در مرحله صحت سنجی برای SAR و غلظت کلر به ترتیب ۰/۹۸۰و ۰/۹۸۶ به‌دست آمد. نتایج حاصل نشان داد که در تخمین پارامترهای کیفی این مدل بسیار بهینه بوده و در یافتن جواب بهینه در مقایسه با الگوریتم ژنتیک از همگرایی، سرعت و دقت بالایی برخوردار است. در سیستم مورد مطالعه جمعیت اولیه ۱۰۰ و انتخاب یکنواخت احتمالی بهترین نتایج را در برداشت. نتایجی که از اجرای الگوریتم پیشنهادی در نرم‌افزار متلب به دست آمد، برتری الگوریتم رقابت استعماری را نسبت به روش الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد و کارایی و نرخ هم‌گرایی بالای روش جدید را در تخمین و پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی به اثبات می‌رساند. نتایج حاصل نشان داد که ICA، برای تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی نتایج رضایت‌بخشی به‌دست داده و برای استفاده در دیگر مسائل آبی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

علیزاده، ا.، ۱۳۸۹. طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات آستان قدس رضوی. ۴۵۰ ص.

Asadi Sakhmarsi, A., Akhbari, H., Naeimi, P., Kiapey, A., 2014. The effect of the cutoff wall conditions on the seepage characteristics of homogeneous earth-fill dams using SEEP/W. WALIA journal, 30(S2): 176-182.

Ahmadi, S. H., Sedghamiz, A., 2008. Application and evaluation of kriging and cokiriging metods on groundwater depth mapping. Environ. Moint. Assess. 138: 357- 368.

Chang, F., Kuo, Y., Wuing Liu, C., 2010. Artificial neural networks for estimating regional arsenic concentrations in a black foot disease area in Taiwan. Journal of Hydrol. 388: 65-76.

Dick, J. b., Heuvelink, B. M., 2007. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. Geoderma. 138: 86-95.

Holland, J. H., 1973. Genetic algorithms and the optimal allocation of trails. SIAM J. Comput. 2: 88-105.

Moasheri, S. A., Tabatabai, S. M., Sarani, N., Alai, Y., 2012. Estimation Spatial distribution of Sodium adsorption ratio SAR. in Groundwater's using ANN and Geostatistics Methods, the case of Birjand Plain, Iran. Paper presented at the ISEM-PSR Centre Conferences, Bangkok, 17-18 March.

Moasheri, S. A., Rezapour, O. M., Beyranvand, Z., Poornoori, Z., 2013. 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 Sciences. 23: 2434-2442.

Morshed, J., Kaluarachchi, J. J., 1998. Parameter estimating using artificial neural network and genetic algorithm for free product and recovery. Water Resource Researches. 34(5): 1101-1113.

Rafati, L., Mokhtari, M., Fazelinia, F., Momtaz, S. M., Mahvi, A. H., 2013. Evaluation of ground water fluoride concentration in Hamadan Province west of IRAN (2012). Iranian Journal of Health Sciences. 1(3):71-76.

Rogers, L. L., 1992. Optimal groundwater remediation using artificial neural network and the genetic algorithm. PhD Dissertation, Stanford University, Stanford, Galif.

Samin, M., Soltani, J., Zeraatcar, Z., Moasheri, S. A., Sarani, N., 2012. Spatial Estimation of Groundwater Quality Parameters Based on Water Salinity Data using Kriging and Cokriging Methods. International Conference on Transport, Environment and Civil Engineering, 5 p.

Shamim, M. A., Ghumman, A. R., Ghani, U., 2004. Forecasting groundwater contamination using artificial neural networks. International Conference on Water Resources & Arid Environment.

Suarez, D. L., Wood, J. D., Lesch, S. M., 2006. Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain-irrigation management system. Agric. Water Manage. 86: 150-164.

Yesilnacar, M. I., Sahinkaya, E., Naz, M., Ozkaya, B., 2008. Neural network prediction of niture in groundwater of Harran Plain, Turkey. Environ. Geol. 56: 19- 25.