



ارزیابی الگوریتم های انتخابات، رقابت استعماری و روش شبکه عصبی مصنوعی در بررسی روند افت تراز سطح ایستابی دشت رشتخوار

یحیی چوپان^{۱*}، سمیه امامی^۲، میلاد خیری قوجه بیگلو^۳

^۱ گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۲ گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز

^۳ کارشناسی ارشد آب و سازه های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پارس آباد مغان

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۰۹-۰۵

بازنگری: ۱۳۹۷-۱۱-۲۲

پذیرش: ۱۳۹۷-۱۱-۲۳

ارائه آنلاین: ۱۳۹۷-۱۱-۲۷

کلمات کلیدی:

سطح ایستابی

الگوریتم انتخابات

الگوریتم رقابت استعماری

شبکه عصبی مصنوعی

پیش بینی

خلاصه: ارزیابی نوسانات سطح ایستابی در مناطق خشک و نیمه خشک کشور، نیازمند پیش بینی دقیق و کارآمدی از نوسانات آن می باشد. استفاده از روش های نوین از جمله الگوریتم های فراابتکاری، شبکه های عصبی مصنوعی و روش های فازی، جهت تولید داده های سطح آب مصنوعی و پیش بینی آینده تراز سطح ایستابی به دلیل کارایی بسیار بالای خود، بسیار کاربردی است. در پژوهش حاضر، با استفاده از روش های الگوریتم های انتخابات و رقابت استعماری، شبکه عصبی مصنوعی، داده های ماهانه به مدت ۹ سال و هم چنین عمق سطح آب زیرزمینی ۱۰ حلقه چاه مشاهده ای، به پیش بینی زمانی ۷ ساله تراز سطح ایستابی دشت رشتخوار در استان خراسان رضوی پرداخته شد. به منظور آموزش مدل ها از اطلاعات ۱۰ چاه مشاهده ای که دارای آمار ۹ ساله (۹۳-۱۳۸۵) بودند استفاده گردید، به نحوی که از ۷۰ درصد داده ها به عنوان داده های آموزشی به مدل معرفی و ۳۰ درصد داده ها به عنوان آزمون برای واسنجی به کار گرفته شد. نتایج روش الگوریتم انتخابات، تراز سطح ایستابی آبخوان رشتخوار را برای سال ۱۴۰۰ را بین ۱۴ و ۱۶/۵ متر در مناطق مختلف دشت پیش بینی کرد. براساس محاسبه های انجام شده و نتایج به دست آمده از پارامترهای آماری، الگوریتم انتخابات به ترتیب با مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (R^2) و معیار نش-سانکلیف (NSE)، ۰/۰۲۹، ۰/۹۰ و ۰/۷۳ نسبت به دو روش شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم رقابت استعماری، دارای توانایی قابل توجهی در پیش بینی تراز سطح ایستابی بود.

۱- مقدمه

بارش باران و برف و فرو رفتن آن ها در خاک، از زیرزمین برداشت می شوند. علاوه بر این، در بسیاری از موارد، ما هنوز هم در مورد این که چقدر زمان داریم تا قبل از این که تخلیه آب های زیرزمینی تأثیرات ویران کننده ای بر سیستم های زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی داشته باشد، در حال بحث و محاسبه ایم. حال آن که این اثرات ویرانگر در حال حاضر هم مشاهده می شود. بیش ترین تأثیر مستقیم تخریب آب های زیرزمینی، کاهش سطح آب های زیرزمینی است. تأثیر مستقیم بعدی، افزایش هزینه های پمپاژ آب زیرزمینی خواهد بود، بنابراین هزینه های حفر چاه های عمیق تر نیز افزایش خواهد یافت. یکی از عوارض غیر مستقیم کاهش سطح

تغییر آب و هوا، افزایش خطر کمبود آب، رشد جمعیت، جابجایی جمعیتی و شهرنشینی در حال حاضر چالش بزرگی برای سیستم های تأمین آب را به وجود آورده است. آب های زیرزمینی مهم ترین منبع آب شیرین جهان هستند. آب آشامیدنی دو میلیارد نفر به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک مستقیماً از آب های زیرزمینی تأمین می شود و برای آبیاری بزرگترین بخش تهیه غذا در جهان استفاده می شود [۱]. با این حال، در بسیاری از مناطق در سراسر جهان، منابع آب زیرزمینی تحلیل می روند، زیرا با سرعتی بیش از

* نویسنده عهده دار مکاتبات: yahyachoopan68@gmail.com



ضریب همبستگی $0/688$ و $0/657$ ، نتایج قابل قبولی را برای دشت داورزن ارائه داد. حییبی و همکارانش (۱۳۹۵)، بیان داشتند دقت مدل برنامه ریزی ژنتیک^۵ بیش تر از مدل نروفازی^۶ در پیش بینی زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت هادی شهر است، به نحوی که RMSE میانگین برای پیژومترهای منتخب در مرحله آزمایش در مدل برنامه ریزی ژنتیک ۱۹ سانتی متر و در مدل نروفازی ۲۳ به دست آمد. موسوی و همکارانش (۱۳۹۲)، جهت پیش بینی سطح آب زیرزمینی آبخوان مشهد، از روش های مختلف هوش مصنوعی استفاده کردند. نتایج آنان نشان داد روش موجک نروفازی نسبت به روش های شبکه عصبی مصنوعی هم چون موجک شبکه عصبی مصنوعی و نروفازی می تواند پیش بینی درست تری از سطح آب زیرزمینی داشته باشد. خاشعی سیوکی و همکارانش (۱۳۹۲)، روش های مدل های شبکه عصبی مصنوعی، ANFIS^۷ و رگرسیون را در برآورد سطح ایستابی آبخوان دشت نیشابور مورد مقایسه قرار دادند. در این تحقیق پارامترهای مؤثر بر تغییرات سطح ایستابی مانند بارندگی و تخلیه به صورت ماهانه تعیین شد و با استفاده از روش های زمین آماری^۸ نقشه های پهنه بندی شده ماهانه به دست آمد. اکبرزاده و همکارانش (۱۳۹۴)، تراز آب زیرزمینی دشت شاهرود را با استفاده از شبکه ی عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی^۹ پیش بینی نمودند. بررسی نتایج نشان داد که مدل شبکه ی عصبی ارائه شده، تراز آب دشت شاهرود را برای سه سال پیاپی با میانگین مربعات خطای $0/0241$ متر می تواند پیش بینی کند. ابارشی و همکارانش (۱۳۹۴)، به مقایسه عملکرد سه روش هوش مصنوعی برای پیش بینی نوسانات تراز سطح ایستابی در حوضه زرین گل استان گلستان پرداختند. این مدل ها شامل شبکه های عصبی مصنوعی، سامانه استنتاج تطبیقی فازی-عصبی و برنامه ریزی بیان ژن^{۱۰} بودند. نتایج به دست آمده از مطالعه آن ها، بیانگر آن بود که هر سه روش شبکه های عصبی، فازی-عصبی و برنامه ریزی بیان ژن می توانند به طور موفقیت آمیزی برای پیش بینی نوسانات سطح ایستابی مورد استفاده قرار گیرند. محمدی

آب، تخلیه بافت زمین است که در حال فروپاشی تدریجی است. در دهه های گذشته، تقاضای جهانی آب زیرزمینی بیش از دو برابر شده است. این خواسته ها به دلیل رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی در آینده نیز افزایش خواهد یافت. افزایش تقاضا و اثرات منفی تخریب آب های زیرزمینی موجب بروز مسئله مهمی می شود. با توجه به خشکسالی های دهه اخیر و کمبود آب در پهنه وسیعی از کشور، مدیریت آب های زیرزمینی از اهمیت و حساسیت بالایی برخوردار است. پیدایش فناوری چاه های عمیق و نیمه عمیق در عین فراهم ساختن امکانات بهتر برای استحصال آب از سفره های زیرزمینی، موجب تغییراتی شدید و مشکلات بسیاری در نظام بهره برداری از آن ها شده است [۲]. پیش بینی نوسانات سطح آب های زیرزمینی جهت برنامه ریزی های کوتاه مدت، بلند مدت و استفاده بهینه از پتانسیل آب های زیرزمینی، ضروری به نظر می رسد. یکی از اهداف اصلی مدل سازی ها، تعیین روابط بین متغیرها و تعیین متغیرهای اثرگذار در پیش بینی است [۲]. تاکنون مدل های زیادی جهت پیش بینی سطح آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله این مدل ها می توان به مدل های سری زمانی تجربی، مدل های فیزیکی و روش های نوین (الگوریتم های فراابتکاری، روش های فازی-عصبی و...) اشاره کرد.

در این زمینه پناهی و همکاران (۱۳۹۲)، طی تحقیقی با استفاده از داده های بارش و دبی روزانه به تخمین دبی حداکثر خروجی حوضه آبخیز مادرسو پرداختند و نتایج را با دو مدل شبکه عصبی مصنوعی^۱ (ANN) و رگرسیون چند متغیره^۲، مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با روش رگرسیون چند متغیره بسیار بهتر عمل نموده است. محتشم و همکاران (۲۰۱۰)، به منظور پیش بینی سطح ایستابی دشت بیرجند از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که با استفاده از شبکه عصبی می توان تراز آب زیرزمینی را تا ۱۲ ماه بعد و با دقت بالاتر نسبت به روش های دیگر تخمین زد. رجائی و پور اصلان (۱۳۹۴)، با پیش بینی زمانی و مکانی تراز آب زیرزمینی دشت داورزن با استفاده از روش های پرسپترون چند لایه^۳ شبکه عصبی و کریجینگ^۴، گزارش کردند که روش شبکه عصبی به ترتیب با میانگین ضریب انطباق و

5 Genetic Prigramming

6 Neuro Fuzzy

7 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

8 Geostatistic

9 radial basis function network

10 ¹²Gene Expression Programming

1 Artificial Neural Network

2 Multivariate Regressions

3 Multi Layer Perceptron

4 Kriging

آزمون و خطا استفاده کرده و این روش ها خالی از خطا نمی باشند، بنابراین استفاده از روش های نوین فراکاوشی بهینه سازی که کارایی آن ها در حل مسائل پیچیده به اثبات رسیده است، ضروری به نظر می رسد. در همین راستا، پژوهش حاضر به منظور بررسی عملکرد و اثبات کارایی الگوریتم انتخابات به عنوان روش تکاملی نوین و هم چنین سازگاری این الگوریتم با تعداد کم تری از پارامترها، در پیش بینی و مدل سازی تراز سطح آب زیرزمینی در دشت رشتخوار واقع در استان خراسان رضوی انجام شد و نتایج حاصل از آن با نتایج روش های شبکه عصبی مصنوعی و نیز الگوریتم رقابت استعماری مورد مقایسه قرار گرفت. هدف از انتخاب و کاربرد روش های مذکور در پژوهش حاضر، این بود که کدام یک از روش های فراابتکاری و استراتژی مربوطه توانایی بالاتری در پیش بینی روند تغییرات و نوسانات تراز سطح ایستابی دشت رشتخوار جهت اتخاذ تصمیمات بهینه دارند.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه (دشت رشتخوار)

دشت رشتخوار در استان خراسان رضوی با موقعیت جغرافیایی مدار ۳۴ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شرقی واقع شده و دارای آب و هوای خشک و کویری می باشد. دشت رشتخوار با گستردگی ۴۳۶۰ کیلومتر مربع وسعت و مرکزیت شهری به همین نام با دو بخش مرکزی و جنگل از شمال و شمال شرقی و غربی به تربت حیدریه و از جنوب غربی و جنوب به گناباد و از شرق و جنوب شرقی به خواف محدود می شود. ارتفاع این دشت از سطح دریاهای آزاد ۱۱۴۰ است. دشت رشتخوار دارای ۲۱۷۲ هکتار زمین های عرصه جنگلی و ۵ هکتار فضای سبز می باشد. هم چنین با حفر بالغ بر ۱۰۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق توانسته اند انواع محصولات مختلف زراعی را نیز در منطقه کشت نمایند (شکل ۱).

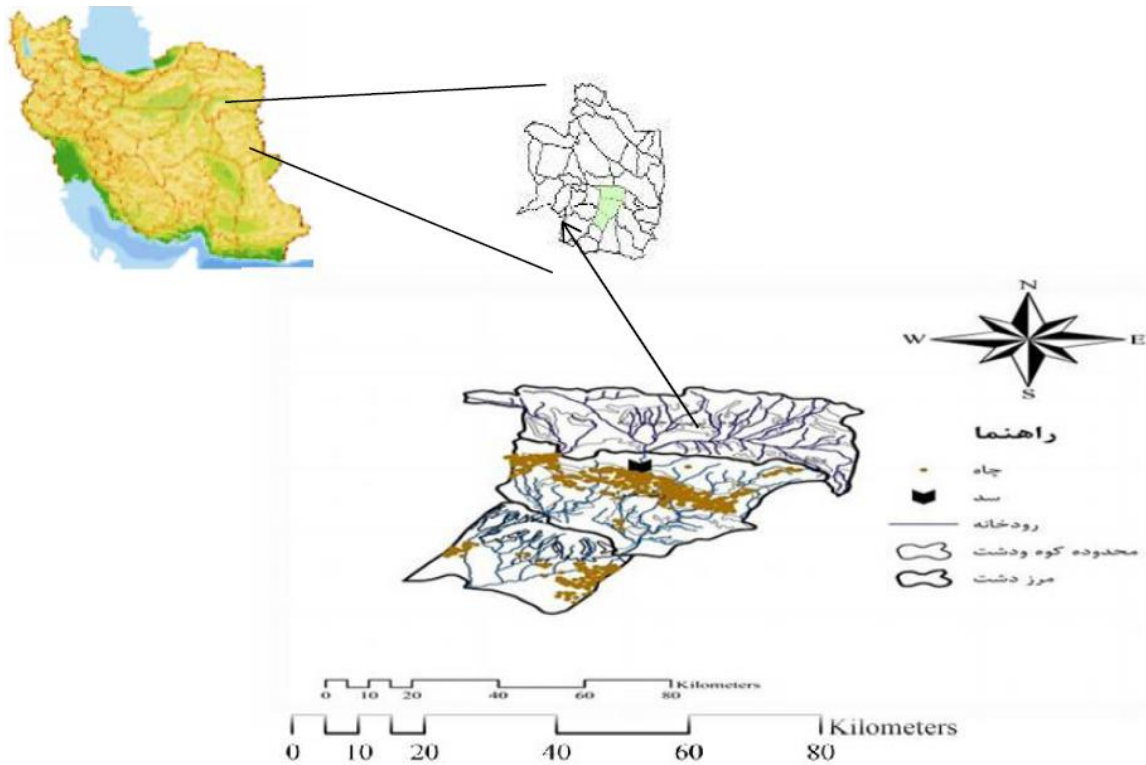
۲-۲- توپوگرافی

دشت رشتخوار از نظر وضع طبیعی و ساختمان زمین منطقه ای متنوع و گوناگون است، زیرا ارتفاعات جنوبی جلگه زاوه بنام کوه دو شاخ و باخزر از شمال غربی به جنوب شرقی شمال دشت رشتخوار

و همکارانش (۱۳۹۶)، با بررسی کارایی الگوریتم هیبریدی^۱ ازدحام ذرات^۲ در شبیه سازی تراز سطح ایستابی آبخوان دشت اردبیل نتیجه گرفتند که الگوریتم مورد استفاده با مجذور میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۴۱۷، عملکرد قابل قبولی داشت. احتشامی و همکاران (۱۳۹۶)، تغییرات تراز آب های زیرزمینی دشت کبودرآهنگ را با استفاده از سری های زمانی ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد سطح آب زیرزمینی دشت در ۳ سال آینده ۵ متر افت خواهد داشت. ولیزادگان ویزدان پناه (۱۳۹۷)، یک مدل مدیریتی بر مبنای تکنیک های مؤثر بهینه سازی و شبیه سازی برای حل مسئله بهره برداری تلفیقی بهینه از منابع آب های سطحی و زیرزمینی دشت مهاباد توسعه دادند. نتایج به دست آمده حاکی از قدرت و کارایی مدل توسعه داده شده در حل مسائل بزرگ مقیاس و بهره برداری تلفیقی بهینه از منابع آب های سطحی و زیرزمینی دشت مهاباد بود. ساهو و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از الگوریتم یادگیری ماشین^۳، تغییرات سطح آب زیرزمینی را در مناطق کشاورزی ایالات متحده مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه ی آن ها نشان داد تقاضای آب آبیاری بیش ترین تأثیر را در تغییر سطح آب های زیرزمینی برای اکثر چاه ها در این منطقه داشت و هم چنین بیان نمودند که مدل پیشنهادی جدید می تواند به عنوان یک رویکرد جایگزین برای شبیه سازی تغییرات سطح آب های زیرزمینی به کار رود. وانگ و همکاران (۲۰۱۸)، به پیش بینی کوتاه مدت سطح آب زیرزمینی در حوضه رودخانه Daguhe با استفاده از رگرسیون تصادفی پرداختند و نتیجه گرفتند که روش پیشنهادی از عملکرد بالایی در پیش بینی تغییرات سطح آب های زیرزمینی برخوردار است.

با توجه به خشکسالی های چند ساله اخیر در سطح کشور به خصوص در مناطق شرقی و جنوب شرقی و نیز ازدیاد مصرف بی رویه و خارج از توان مخازن آبی که موجب مشکلات مخربی بر منابع آبی به خصوص مخازن زیرزمینی شده است، بخش های وسیعی از استان خراسان رضوی به ویژه دشت رشتخوار از جهت کمی و کیفی در معرض خطر جدی قرار گرفته است. از آنجایی که انجام محاسبات به شیوه ی دستی در دنیای امروز کاری عبس بوده و خطای انسانی را وارد می کند و نیز روش های به کار رفته در طراحی معمولاً از روش سنتی

1 Hybrid
2 Particle Swarm Optimization
3 Machine Learning Algorithms



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت رشتخوار

Fig. 1. Geographical location of Reshtkhar plain

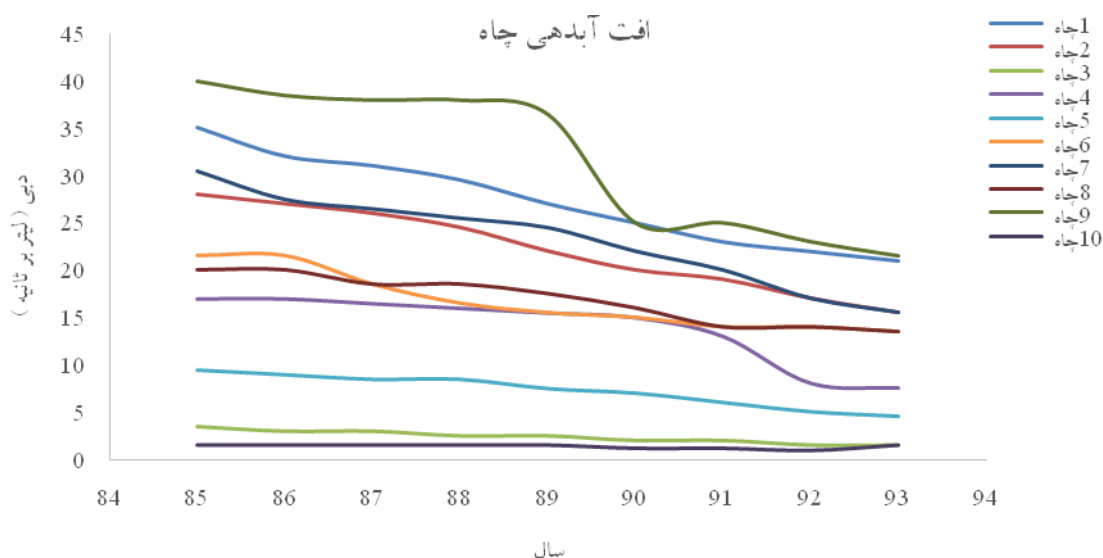
۲-۳- زمین شناسی

قدیمی‌ترین سازندهای منطقه در محل دشت رشتخوار مربوط است به پرکامبرین که از سنگ‌های دگرگونی تشکیل شده و در دامنه جنوبی کوه بزما رخنمون دارد. سازندهای دوران دوم زمین‌شناسی از شیست، شیل و ماسه سنگ (ژوراسیک) تشکیل شده که در ارتفاعات کوه بزما یافت می‌شود. از سازندهای دوران اول و دوم زمین‌شناسی در دشت جنگل اثری دیده نمی‌شود. دوران سوم زمین‌شناسی از سنگ‌های آذرین و رسوبی مانند توف اندزیت اگلومرا و ماسه سنگ درست شده و در ارتفاعات شمالی دشت رشتخوار دیده می‌شود. این رسوبات اثر نامطلوب بر کیفیت آب زیرزمینی دارند. هم‌چنین در مورد زلزله خیزی این ناحیه می‌توان گفت، منطقه خراسان به همراه بندرعباس و کرمان و بلوچستان بیش‌ترین تعداد زمین‌لرزه‌های بزرگ را به خود اختصاص داده‌اند. از مهم‌ترین هسته‌های فعال زلزله خیز نزدیک به شهرستان تربت حیدریه، می‌توان به کاخک گناباد و قائنات اشاره نمود.

قرار گرفته و ارتفاعات خواف جنوب دشت را احاطه نموده و دشت معمور رشتخوار را در میان گرفته‌اند. حال آن‌که منطقه صحرایی و خشک جنگل که وسعت قابل توجهی از مساحت دشت (۳/۲ مساحت دشت) را تشکیل می‌دهد. در جنوب غربی آن شکل متفاوتی با مناطق کوهستانی جلگه‌ای یاد شده دارد. به لحاظ فرارگیری منطقه در عرض متوسط و تأثیر توده‌ای هوای شمال و غربی در این منطقه باعث شده است که نوع خاصی از اقلیم در این منطقه حکم فرما شود. تأثیر توده‌های باران‌زای غربی باعث ریزش باران در اواخر پاییز زمستان و اوایل بهار می‌گردد. در عین حال تأثیر نوع و جهت ارتفاعات نیز نقش قابل ملاحظه‌ای در نوع اقلیم منطقه بر عهده دارد، به طوری که جهت شمال غربی، جنوب شرقی ارتفاعات تا حد بسیار زیادی از شدت تأثیر توده‌های سرد شمالی کاسته است. توپوگرافی کلی دشت رشتخوار به صورت یکنواخت و هموار بوده و تنها تعدادی تپه کوچک در قسمت مرکزی آن قرار گرفته است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت رشتخوار بر روی نقشه آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات چاه های مشاهده ای مورد استفاده برای سال های ۹۳-۱۳۸۵
 Table 1. Characteristics of observation wells used for the years 2006-2014

سال	نوع آبخوان	نوع سازند	عمق چاه (متر)	تراز
۸۵	آزاد	آبرفت	۱۰	۱/۳۷
۸۶	آزاد	آبرفت	۱۸	۲/۸
۸۷	آزاد	آبرفت	۷۵	۱۳/۸
۸۸	آزاد	آبرفت	۱۰۰	۳۲
۸۹	آزاد	آبرفت	۱۱۰	۱۶/۶
۹۰	آزاد	آبرفت	۱۳۰	۲۷
۹۱	آزاد	آبرفت	۱۵۰	۶/۳
۹۲	آزاد	آبرفت	۲۱۰	۲۲
۹۳	آزاد	آبرفت	۲۵۰	۱۷



شکل ۲. افت تراز سطح آب چاه های دشت رشتخوار (۹۳-۱۳۸۵)
 Fig. 2. Water level drop in wells of Reshtkhar plain

پیش بینی تراز سطح ایستابی در دشت رشتخوار گردید. با توجه به شکل ۲، میزان تغییرات سطح ایستابی دشت رشتخوار در طی دوره ۹ ساله ۹۳-۱۳۸۵ سالانه به طور متوسط حدود ۰/۷ متر افت داشته است.

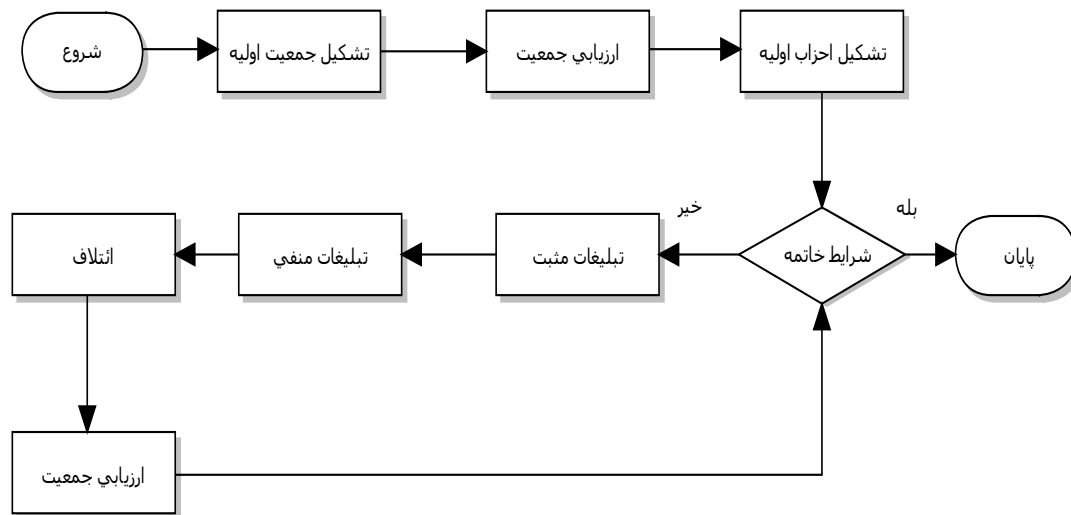
۲-۵- الگوریتم انتخابات (EA)

شکل ۳ فلوچارت الگوریتم EA را نشان می دهد. الگوریتم انتخابات (EA) از پدیده انتخابات الهام گرفته شده است. الگوریتم EA، یک استراتژی چند عاملی و مبتنی بر جمعیت است که در آن

۲-۴- مشخصات چاه ها در محدوده مورد مطالعه

جهت بررسی وضعیت نوسانات تراز سطح ایستابی دشت رشتخوار، مجموعاً از اطلاعات ۱۰ حلقه چاه استفاده گردیده است. در این چاه ها تراز سطح آب برای سال های ۹۳-۱۳۸۵ به طور متوالی جمع آوری گردیده است. در جدول ۱، مشخصات چاه های مشاهده ای مورد استفاده ارائه شده است.

جهت دستیابی به اهداف پژوهش، ابتدا داده های مورد نیاز شامل دبی و عمق چاه های محدوده دشت از شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی دریافت گردید. سپس اقدام به



شکل ۳. فلوجارت الگوریتم انتخابات
Fig. 3. Flowchart of the election algorithm

تبلیغات منفی و ائتلاف است. در الگوریتم EA، تبلیغات مثبت، با انتقال برخی از صفات هر کاندیدا به حامیان خود شبیه سازی شده است. برای انجام این کار، در درون هر حزب، متغیرهای N_s از کاندیدا به صورت تصادفی انتخاب می شود و با متغیرهای انتخابی از رأی دهندگان جایگزین می شود. N_s به صورت زیر محاسبه می شود:

$$N_s = \lceil X_s \times S_c \rceil \quad (3)$$

S_c تعداد متغیرهای کاندیدا و X_s نرخ انتخاب است.

متغیرهای انتخاب شده با ضریب ω وزن دهی می شوند و سپس در رأی دهندگان جایگزین می شوند. مقدار جدید متغیر i در یک رأی دهنده در مرحله تبلیغات مثبت به صورت زیر محاسبه می شود.

$$x_{i_{new}} = \omega \cdot x_{i_{old}} \quad (4)$$

ω به صورت رابطه ۵، تعریف شده است:

$$\omega = \frac{1}{|E_{c_i} - E_{v_k}| + 1} \quad (5)$$

در مرحله تبلیغات منفی، کاندیداها سعی می کنند رأی دهندگان دیگر کاندیداها را به سمت خود جذب کنند. اگر کاندیدای یک حزب در مقایسه با دیگر کاندیداها ضعیف ترین فرد باشد در این صورت آن حزب ضعیف در نظر گرفته می شود. برای مدل سازی تبلیغات منفی، ابتدا تعدادی از رأی دهندگان از حزب ضعیف انتخاب می شوند. سپس مسابقه ای بین احزاب قدرتمند صورت می گیرد

هر عامل جستجو یک فرد نامیده می شود [۱۵]. برای یک مسئله با متغیرهای p_1, p_2, \dots, p_N ، هر فرد P_i از آرایه ای از مقادیر ممکن برای متغیرها تشکیل شده است:

$$P_i = [x_1, x_2, \dots, x_N] \quad (1)$$

شایستگی هر فرد با ارزیابی تابع E بر روی مقادیر متغیرها متناسب با تابع هدف مسئله محاسبه می شود. برخی از بهترین افراد در جمعیت انتخاب می شوند تا به عنوان کاندیدا باشند و مابقی افراد رأی دهندگان را تشکیل می دهند که هر کدام به عنوان حامی یک کاندیدا می باشد. رأی دهندگان بر اساس تشابه عقاید، بین کاندیداها تقسیم می شوند. برای انجام این کار، رأی دهنده v_k به عنوان حامی کاندیدا c_i انتخاب می شود اگر معادله ۲ برقرار باشد:

$$P_i = \{v_k : \|E_{v_k} - E_{c_i}\| < \|E_{v_k} - E_{c_j}\| \forall 1 \leq j \leq N_c\} \quad (2)$$

حزب i و N_c تعداد کاندیدهای اولیه می باشند. E_{v_k} و E_{c_i} به ترتیب شایستگی کاندیدا c_i و رأی دهنده v_k را نشان می دهد. در اینجا، هر رأی دهنده دقیقاً به یک کاندیدا اختصاص داده می شود. در پیاده سازی های صورت گرفته ۷٪ از جمعیت اولیه به عنوان تعداد کاندیداها در نظر گرفته می شوند. پس از تشکیل احزاب سیاسی، کاندیداها تبلیغات انتخاباتی را شروع می کنند. تبلیغات انتخاباتی بنیان الگوریتم EA را تشکیل می دهد که شامل سه مؤلفه تبلیغات مثبت،

$$net_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot x_i \quad (6)$$

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:

$$f(s_j) = \frac{1}{1 + e^{-s_j}} \quad (7)$$

در این رابطه، $f(s_j)$ معرف تابع سیگموئید می باشد. در شکل ۴، شبکه عصبی سه لایه پیش رو با الگوریتم آموزش انتشار برگشتی نشان داده شده است.

۲-۷- الگوریتم رقابت استعماری (ICA)

همانند دیگر الگوریتم های تکاملی، این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن ها یک "کشور" نامیده می شوند، شروع می شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه ها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان امپریالیست^۳ انتخاب می شوند. باقی مانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره^۴، در نظر گرفته می شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می آید، به سمت خود می کشند. 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 شکل گیری امپراطوری های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آن ها شروع می شود. هر امپراطوری ای 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 امپراطوری های رقیب، و به سيطرة در آوردن آنها

تا مشخص شود رأی دهندگان انتخاب شده به کدام حزب ملحق شوند. برای انتخاب رأی دهندگان ضعیف از ضعیف ترین حزب، فاصله شایستگی بین رأی دهندگان و ضعیف ترین کاندیدا محاسبه می شود و سپس ۵٪ از دورترین کاندیداها انتخاب می شوند. فاصله بین رأی دهندگان انتخاب شده و کاندیداها قدرتمند محاسبه شده و رأی دهندگان به نزدیک ترین کاندیداها تخصیص داده می شوند. در مرحله ائتلاف، چندین کاندیدا به همدیگر ملحق شده و یک حزب جدید تشکیل می دهند. بین کاندیداهاهی که تلاش می کنند به همدیگر ملحق شوند، یک کاندیدا به صورت تصادفی انتخاب می شود تا به عنوان کاندیدای پیشرو^۱ باشد و کاندیداها باقی مانده به عنوان کاندیدای تبعیت کننده^۲ در نظر گرفته می شوند. در ائتلاف، تمامی تبعیت کنندگان و حامیان آن ها به عنوان رأی دهندگان جدید کاندیدای پیشرو در نظر گرفته می شود. تا هنگامی که شرایط خاتمه الگوریتم ارضا نشده است، عملگرهای تبلیغات مثبت، تبلیغات منفی و ائتلاف به صورت مکرر بر روی جمعیت اعمال می شود تا جمعیت را برای نیل به بهینه سراسری سوق دهد. در نهایت، فرآیند بهنگام سازی خاتمه می یابد و کاندیدایی با بیش ترین رأی به عنوان برنده انتخابات اعلام می شود. برنده معادل با بهترین راه حل یافته شده برای مسئله بهینه سازی است [۱۵].

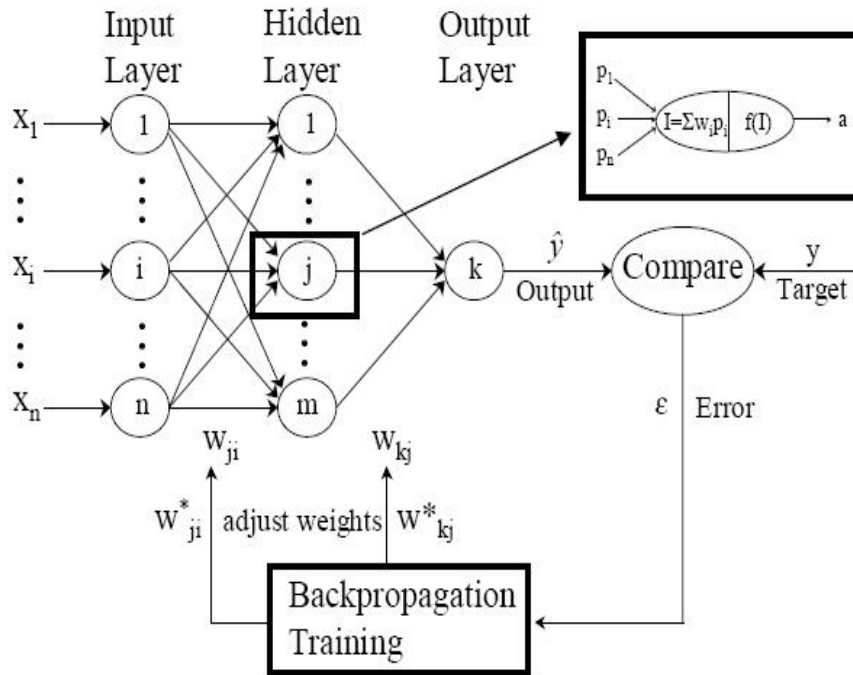
۲-۶- مدل شبکه ی عصبی مصنوعی

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 [۱۶].

مجموعه کل ورودی به نرون از رابطه ۶، به دست می آید:

3 Imperialist
4 Colony

1 Leader Candidate
2 Follower Candidates



شکل ۴. شبکه عصبی سه لایه پیش رو با الگوریتم آموزش انتشار برگشتی
 Fig. 4. Three-layer neural network with reverse propagation training algorithm

همگون‌سازی) در راستای محورهای مختلف بهینه‌سازی، کشورهای مستعمره را به سمت خود می‌کشند. 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. در شکل ۵، فلوجارت الگوریتم رقابت استعماری نشان داده شده است.

۲-۸- نرمال سازی داده ها

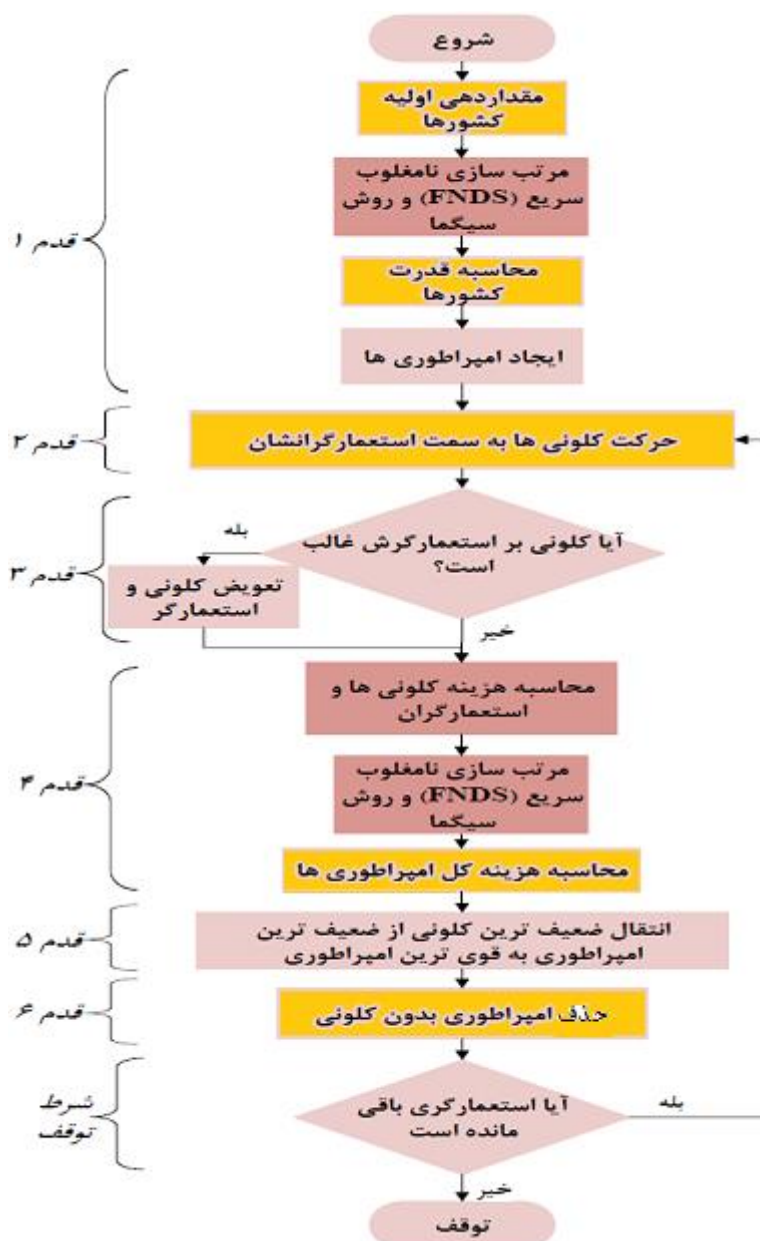
هدف از نرمال سازی داده ها، یکسان سازی اهمیت ورودی های مختلف به مدل های مورد استفاده است. از آن جایی که وارد کردن داده ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت مدل می شود، بنابراین ورودی ها و خروجی ها باید بین ۰ و ۱ استاندارد شوند، از این رو داده های مورد استفاده به مدل به صورت رابطه ۸ نرمالیزه شدند.

$$Z_n = \frac{Z - Z_{min}}{Z_{max} - Z_{min}} \quad (8)$$

در این رابطه، Z معرف داده به صورت خام، Z_n داده های نرمالیزه شده، Z_{min} حداقل داده ها، Z_{max} حداکثر داده ها می باشد.

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 جواب‌های مسئله 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 مسئله برساند [۱۷]. به طور 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

1 Assimilation¹⁸
 2 Revolution



شکل ۵. فلوجارت الگوریتم رقابت استعماری

Fig. 5. Flowchart of the imperialist competitive Algorithm

لذا الگوی مصرف و هم چنین تغییرات در روند تغذیه سفره در طی دوره آماری ثابت فرض گردیده است. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم های انتخابات و رقابت استعماری در جدول ۲ آورده شده است (مقادیر عددی پارامترهای ارائه شده در جدول ۲ برای الگوریتم های انتخابات و رقابت استعماری پس از بررسی مقادیر مختلف برای پارامترها و اجرای هر دو الگوریتم به ازای این مقادیر تا رسیدن به بهینه ترین جواب انتخاب شدند). در جدول ۲، β عددی بزرگ تر از یک و نزدیک به ۲ می باشد.

۹-۲- تعریف مسئله

۹-۲-۱- نحوه ورود داده ها در مدل های مورد بررسی

به منظور بررسی میزان کارایی هر یک از مدل های مورد استفاده در پیش بینی تراز سطح ایستابی، تراز سطح آب در ماه های گذشته در بازه زمانی مهر ۱۳۸۵ تا شهریور ۱۳۹۳ به عنوان ورودی مدل ها و تراز سطح آب در زمان t به عنوان خروجی مدل ها انتخاب شدند. پس از اجرای مدل ها، نتایج هر چاه به آن نسبت داده شد. با توجه به این که به صورت مستقیم از تراز سطح آب استفاده شده است،

جدول ۲. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم های انتخابات و رقابت استعماری
Table 2. Parameters used in election and imperialist competitive

پارامتر	الگوریتم
تعداد کشورهای اولیه: ۱۰۰ تعداد استعمارگران اولیه: ۶ تعداد مستعمرات: ۹۴ β : ۲ γ : $\pi/4$ ξ : ۰/۰۱	ICA
اندازه جمعیت اولیه: ۱۰۰ تعداد کاندیداها: ۷ تعداد رأی دهندگان: ۹۳ نرخ ائتلاف: ۰/۲ نرخ انتخاب: ۰/۳	EA

۳- نتایج و بحث

۳-۱- صحت سنجی

پس از نرمالیزه کردن داده ها مراحل آموزش و صحت سنجی برای هر یک از چاه ها اجرا گردید. جهت مقایسه نتایج الگوریتم های انتخابات، رقابت استعماری و روش شبکه عصبی مصنوعی با مقادیر مشاهداتی با یک دیگر و ارزیابی آن ها از شاخص های ضریب هم بستگی (R^2)، معیار نش-ساتکلیف (NSE) و جذر متوسط مربعات خطا (RMSE)، به صورت روابط ۱۰ تا ۱۲ استفاده شد.

ضریب هم بستگی:

$$R^2 = \frac{\sum_1^n (calc - avg.obs)^2}{\sum_i^n (obs - avg.obs)^2} \quad (10)$$

مجدور مربعات خطا:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum(Q_o - Q_M)}}{N} \quad (11)$$

معیار نش-ساتکلیف:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

ک عددی مثبت است که معمولا بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می شود. γ پارامتری دلخواه می باشد که افزایش آن باعث افزایش جستجوی اطراف امپریالیست شده و کاهش آن نیز باعث می شود تا مستعمرات تا حد ممکن، به بردار واصل مستعمره به استعمارگر، نزدیک حرکت کنند.

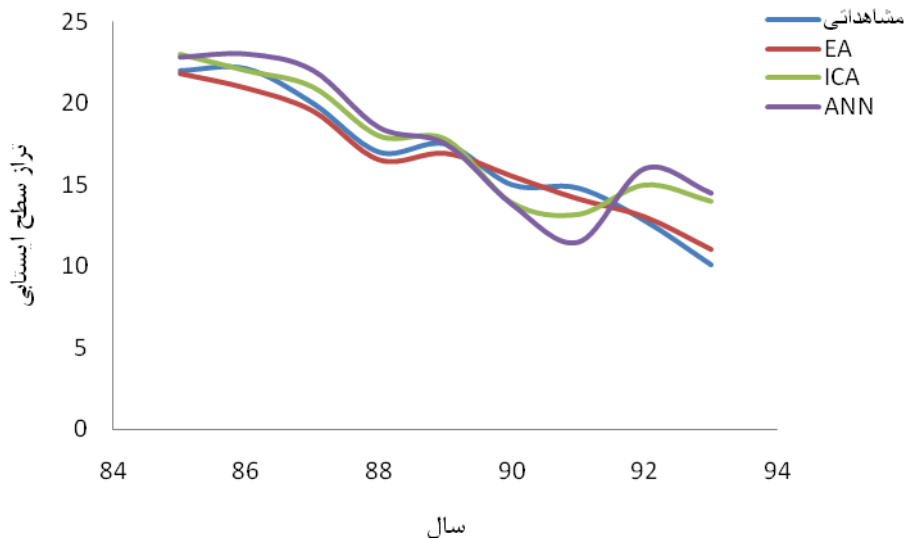
پس از انجام آنالیز حساسیت، درصدهای مناسبی از داده ها جهت آموزش و آزمایش استفاده شد که در نهایت ۷۰ درصد داده ها برای آموزش و ۳۰ درصد باقی مانده به عنوان آزمایش مدل ها مورد استفاده قرار گرفت.

جهت پیش بینی تراز سطح ایستابی برای الگوریتم های انتخابات و رقابت استعماری، کد عددی در نرم افزار متلب^۱ به فرم رابطه ۹، به کار گرفته شد:

$$\min f = C_1 Gl_{act}^{C_2} + C_3 WT_{act}^{C_4} + C_5 Q_r^{C_6} + C_7 P^{C_8} + C_8 ET^{C_9} + C_{10} \quad (9)$$

در این رابطه، $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}$ ضرایب وزنی و نمایی برای ورودی های مورد نظر (این ضرایب برای پیش بینی تراز سطح ایستابی در دو الگوریتم انتخابات و رقابت استعماری متفاوت است)، C_1 مقدار ثابت معادله می باشد. هدف این پژوهش، مینیمم کردن معادله ۹ و به دست آوردن C ها است.

1 Matlab



شکل ۶. ترازهای پیش بینی شده توسط مدل ها و مقادیر چاه های مشاهده ای
 Fig. 6. Levels predicted by models and values of observation wells

دوره ی دوره آماری ۹۲-۱۳۸۸ با کاهش شدید روبه رو بوده که دلیل امر وجود خشکسالی های پی در پی در منطقه و هم چنین برداشت بی رویه از چاه های عمیق و نیمه عمیق موجود در دشت رشتخوار می باشد.

مقادیر پیش بینی شده تراز سطح ایستابی توسط مدل ها در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاصل از پیش بینی ها نشان می دهد که با فرض ادامه یافتن روند کنونی در میزان مصارف ذخیره آبی و نیز تغذیه سفره های آب زیرزمینی، در ۷ سال آینده شاهد کاهش تقریبی ۱۴ متری تراز سطح ایستابی دشت رشتخوار خواهیم بود.

جهت سنجش کارایی الگوریتم های انتخابات، رقابت استعماری و روش شبکه عصبی مصنوعی، به آموزش و صحت سنجی مدل ها در پیش بینی تراز سطح ایستابی دشت رشتخوار اقدام شد. نتایج ارائه شده در جدول ۴ بیانگر این مطلب می باشد.

بر اساس نتایج حاصله، میانگین مقادیر حاصل از پارامترهای ارزیابی الگوریتم انتخابات، R^2 ، RMSE و NSE به ترتیب برابر با ۰/۹۰، ۰/۰۲۹ و ۰/۷۳ به دست آمد که در محدود ایده آل قرار دارند. پس از اثبات کارایی و دقت الگوریتم انتخابات در پیش بینی تراز سطح ایستابی دشت رشتخوار در مقایسه با روش شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم رقابت استعماری، در شکل ۷، تراز سطح ایستابی برای سال های ۱۴۰۰-۱۳۹۴ توسط الگوریتم انتخابات پیش بینی شده است.

$$MMAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_j - \hat{y}_j| \quad AE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_j - \hat{y}_j|$$

میانگین داده های مشاهداتی، n تعداد کل زوج داده های مشاهداتی و محاسباتی، Obs ، Xi داده های مشاهداتی، $calc$ ، yi داده های محاسباتی متناظر با داده های مشاهداتی، \bar{x} میانگین مقادیر مشاهداتی، Q_0 پارامتر مشاهده شده (اندازه گیری شده)، Q_m پارامتر پیش بینی شده، می باشند.

مقایسه نتایج مدل سازی (ترازهای پیش بینی شده و مقادیر چاه های مشاهده ای) در شکل ۶، ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می شود نتایج به دست آمده از الگوریتم انتخابات در مقایسه با الگوریتم رقابت استعماری و شبکه عصبی مصنوعی بسیار بهینه بوده و اختلاف بسیار ناچیزی با مقادیر مشاهداتی دیده می شود که این نشان دهنده کارایی بالای الگوریتم انتخابات می باشد.

هم چنین نتایج نشان می دهد، الگوریتم انتخابات در مقایسه با روش شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم رقابت استعماری توانسته است روند تغییرات تراز سطح ایستابی دشت رشتخوار را به خوبی شبیه سازی نماید و در نتیجه قادر است تغییرات تراز آب را در ماه های مختلف با توجه به تغییر در میزان تغذیه و تخلیه از آبخوان در طی این مدت به درستی محاسبه کند. با توجه به شکل ۶ و نتایج حاصل از پیش بینی تراز سطح ایستابی توسط سه مدل مورد استفاده، وضعیت نوسانات تراز سطح ایستابی در طی

جدول ۳. متوسط سالیانه تراز سطح ایستابی پیش بینی شده دشت رشتخوار طی دوره آماری (۱۳۹۴-۱۴۰۰)

Table 3. Average annual water level predict of Rashtkhar plain during the statistical period (2015-2021)

عمق چاه (متر)	متوسط تراز پیش‌بینی شده (متر)			سال
	ANN	ICA	EA	
۲۵۰	۱۵/۵۰	۱۶	۱۴/۵۰	۱۳۹۴
۱۵۰	۷/۵	۸/۱	۶	۱۳۹۵
۱۳۰	۲۳/۷۵	۲۵	۲۲/۵۰	۱۳۹۶
۱۱۰	۱۵/۴۰	۱۵/۱	۱۶/۶۶	۱۳۹۷
۱۰۰	۲۷/۵۰	۲۸/۱۷	۲۶/۱۵	۱۳۹۸
۷۵	۱۳/۷۸	۱۳/۵۰	۱۱/۲۰	۱۳۹۹
۱۰	۱/۶۰	۱/۵۵	۱/۳۰	۱۴۰۰

جدول ۴. انحراف از معیار نتایج حاصل از آموزش و صحت سنجی الگوریتم‌های انتخابات، رقابت استعماری و شبکه عصبی مصنوعی

Table 4. Deviation from the criteria of the results of training and validation of election and imperialist competitive algorithms and artificial neural network

عمق چاه (متر)	انحراف معیار از مقادیر مشاهده‌ای (متر)		
	EA	ANN	ICA
۲۵۰	EA	ANN	ICA
۱۵۰	۱/۹۳	۲/۲۸	۲/۲۵
۱۳۰	۱/۳۴	۱/۷۰	۱/۵۶
۱۱۰	۱/۷۸	۲/۲۰	۲/۱۲
۱۰۰	۱/۲۰	۱/۷۴	۱/۶۲
۷۵	۱/۸۲	۱/۹۲	۱/۸۹
۱۰	۱/۴۱	۱/۳۷	۱/۵۲



شکل ۷: پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی برای سال‌های ۱۳۹۴-۱۴۰۰

Fig. 7. Groundwater level forecast for the years 2015-2021

جدول ۵. نتایج ارزیابی مدل های الگوریتم هیبرید ازدحام ذرات، مدل ترکیبی موجک-عصبی و الگوریتم انتخابات

Table 5. Evaluation results of hybrid particle swarm algorithm models, hybrid wavelet-neural model and election algorithm

روش شبکه عصبی رجائی و پوراصلان (۱۳۹۴)		الگوریتم هیبرید ازدحام ذرات (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶)		الگوریتم انتخابات (پژوهش حاضر)		ماه
RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	-
۰/۱۰	۰/۳	۰/۹۱	۰/۵۴	۰/۰۳۲	۰/۹۱	۲
۰/۰۶۱	۰/۷۳	۱۲/۱	۰/۴۳	۰/۰۳۷	۰/۹۲	۳
۰/۱۶	۰/۵۳	۱/۰۸	۰/۵۳	۰/۰۲۵	۰/۹۱	۴

آبی در بخش کشاورزی و نیز کاهش روز افزون منابع آب در دسترس و هم چنین ممنوعیت بهره برداری از منابع آب زیرزمینی دشت رشتخوار، نیاز به نگرشی بهتر در مصرف آب می باشد. لذا لازم است عوامل و فاکتورهای مؤثر بر تغییرات تراز سطح ایستابی این محدوده مورد بررسی قرار گیرد. داده های تراز سطح آب در ماه های گذشته به عنوان ورودی مدل ها و تراز سطح آب در زمان t ، به عنوان خروجی مدل ها انتخاب شدند. از نتایج بارز این پژوهش می توان به همبستگی بهتر و خطای کم تر الگوریتم انتخابات (با خطای RMSE برابر با ۰/۰۲۹ و معیار نش-ساتکلیف ۰/۷۳) در پیش بینی تراز سطح ایستابی اشاره نمود و می توان اظهار داشت استفاده از چنین الگوریتمی در پیش بینی تغییرات سطح ایستابی می تواند دقت تصمیم گیری های مدیریتی را تا حد بالای بهبود بخشد. هم چنین نتایج پیش بینی ها حاکی از آن بود که با روند برداشت بی رویه ی از چاه های دشت مذکور، در طی دوره ۷-۵ سال آتی شاهد کاهش حدود ۱۴ متری تراز سطح ایستابی خواهیم بود.

مراجع

- [1] A. Khashei-Siuki, B. Ghahreman, M. Kochakzadeh, Comparison of Artificial Neural Network Models, ANFIS and regression in estimation of Neyshabour plain aquifer level, Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 7(1) (2013) 10-22.
- [2] J. Sadidi, M. Kamanghar, H. Rezaiean, A. R. Hamiian, M. Baaghideg, H. Arianejad, Prediction of arid and semi-arid regions groundwater level using artificial neural network and Gradient Descent method, Geographical studies of

همان طور که از نمودار بالا نیز مشاهده می شود، در صورت ادامه روند کنونی برداشت از چاه های عمیق و نیمه عمیق موجود در دشت رشتخوار، میزان تغییرات تراز سطح ایستابی در این دشت با روند کاهشی مواجه خواهد شد که این کاهش در طی این ۷ سال در حدود ۱۴-۱۰ متر (دو متر در هر سال) خواهد بود که نشان از تعادل نامطلوب آبخوان در وضعیت کنونی دارد.

با توجه به آن که تاکنون مطالعات محدودی در مورد مدل سازی و پیش بینی تراز آب های زیرزمینی توسط الگوریتم های فراابتکاری انجام شده است، لذا نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج به دست آمده از مطالعات محمدی و همکاران (۱۳۹۶) و رجائی و همکاران (۱۳۹۵) که مطالعاتی جهت پیش بینی تراز آب زیرزمینی انجام دادند، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج ارزیابی مدل های الگوریتم هیبرید ازدحام ذرات، مدل ترکیبی موجک-عصبی و الگوریتم انتخابات در جدول ۵، ارائه شده است.

با توجه به مقایسه ی صورت گرفته، نتایج حاصل از اجرای الگوریتم انتخابات در مقایسه با نتایج مطالعه ی محمدی و همکاران (۱۳۹۶) و رجائی و پوراصلان (۱۳۹۴)، که به ترتیب عملکرد الگوریتم هیبرید ازدحام ذرات و روش شبکه عصبی را جهت پیش بینی تراز آب زیرزمینی در دو دشت اردبیل و داورزن خراسان رضوی بررسی کرده بودند، بسیار رضایت بخش می باشد، به گونه ای که الگوریتم انتخابات با میانگین مجذور مربعات خطا ۰/۰۲۸ و ضریب همبستگی ۰/۹۱ نسبت به دو روش مذکور نتایج قابل قبول تری ارائه داد.

۴- نتیجه گیری

در شرایط کنونی با توجه به مصرف بیش از ۸۰ درصد منابع

- (Case study: Ardabil aquifer), Stained Rainfall Systems, 5(15) (2017) 77-87.
- [11] E. Valizadegan, S. Yazdanpanah, Quantitative model of optimal conjunctive use of Mahabad plain's surface and underground water resources, Amirkabir J. Civil Eng, 50(4) (2018) 11-20.
- [12] M. Ehteshami, M. Khorasani, H. Ghadimi, N. Hayatbini, Analysis of Temporal and Periodic Changes of Groundwater Depth and Nitrate Concentration Using Time Series Modeling (Case Study: Kabudarahang Plain), Amirkabir J. Civil Eng, 49(2) (2017) 285-293.
- [13] S. Sahoo, T. A. Russo, J. Elliott, I. Foster, Machine learning algorithms for modeling groundwater level changes in agricultural region of the U.S, Water Resources Research, 53(5) (2017).
- [14] X. Wang, T. Liu, X. Zheng, H. Peng, J. Xin, B. Zhang, Short-term prediction of groundwater level using improved random forest regression with a combination of random features, Applied Water Science, 8(125) (2018).
- [15] H. Emami, F. Derakhshan, Election algorithm: A new socio-politically inspired strategy, AI Communications, 28 (2015) 591-603.
- [16] M. B. Menhaj, Computational Intelligence, No. 1. The Basic of Artificial Neural Networks, Amirkabir University, (1998).
- [17] E. Atashpaz-Gargari, Development of social optimization algorithm and its efficiency review, Master's Thesis, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tehran, (2007).
- arid regions, 4(16) (2014) 39-53.
- [3] A. Panahi, B. Alijani, Prediction of flood peak using neural network model, Journal of Geography, 38 (2013) 113-128.
- [4] M. Mohtasham, A. A. Dehghani, A. Akbarpour, M. Meftah, B. Etebari, Groundwater level determination by using artificial neural network (Case study: BirjandAquifer), Iran. J. Irrig. Drain, 1(4) (2010) 1-10.
- [5] T. Rajaie, F. Pour-Aslan, Prediction of the time and local of the groundwater level of Davarzan plain. Hydrogeomorphology, 4 (2015) 1-19.
- [6] M .H. Habibi, A. A. Nadiri, A. Asghari-Moghaddam, Spatio-temporal Groundwater Level Prediction Using Hybrid Genetic-Kriging Model (Case Study: Hadishahr Plain), Iran-Water Resources, 11(3) (2016) 85-99.
- [7] V. Moosavi, M. Vafakhah, B. Shirmohammadi, N. Behnia, A wavelet-ANFIS hybrid model for groundwater level forecasting for different prediction periods, J Water Resour Manage, 27 (2013) 1301-1321.
- [8] F. Akbarzadeh, H. Hasanpour, S. Emamgholizadeh, Groundwater Level Prediction of Shahrood Plain using RBF Neural Networks, Journal of Watershed Management Research, 7(13) (2014) 104-118.
- [9] F. Abareshi, M. Meftah Halghi, H. Sanikhani, A. A. Dehghani, Comparison of three intelligence techniques for predicting water table depth fluctuations (Case study: Zarringol plain). J. of Water and Soil Conservation, 21(1) (2014) 163-180.
- [10] B. Mohammadi, S. M. Biazar, E. Asadi, Performance of hybrid particle swarm algorithm to simulate water level

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

Y. Chooapan, S. Emami, M. Kheyri Ghoujeh Biglou, Evaluating Election, Imperialist Competitive Algorithms and Artificial Neural Network Method in Investigating the Groundwater Level of Reshtkhar Plain, Amirkabir J. Civil Eng., 52(6) (2020) 1333-1346.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15344.5888](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15344.5888)

