نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران
جلد ۲۶ شماره ۲، صفحه ۳۰۱-۲۹۲، (۱۳۹۸)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijrdr.2019.119352
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0875.1398.26.292.75.2.1605.41

مقایسه کارایی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن برای پیش‌بینی سطح ایستابی در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: دشت جیرفت)

بهاره جبالبارزی[۱] و آرش ملکیان[۲*]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، پست الکترونیک: malekian@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۰۸

چکیده

مدل‌سازی و پیش‌بینی سطح ایستابی چاه‌ها یکی از کارهای اساسی برای رسیدن به مدیریت بهینه منابع آب می‌باشد. یکی از راه‌های پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن است. هدف از این پژوهش بررسی کارایی روش شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن در پیش‌بینی سطح ایستابی آب زیرزمینی آبخوان دشت جیرفت می‌باشد. به این منظور از داده‌های سطح ایستابی ۶۵ چاه موجود در آبخوان دشت جیرفت برای یک دوره یازده ساله استفاده شد. سطح ایستابی چاه‌ها توسط هریک از تکنیک‌های شبکه عصبی و برنامه‌ریزی بیان ژن به‌طور جداگانه شبیه‌سازی شد و در پایان از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا، شاخص تطابق و R^2 برای تعیین دقت پیش‌بینی هر یک از روش‌ها استفاده شد. نتایج این پژوهش کارایی و دقت بالای هر دو تکنیک شبکه عصبی و برنامه‌ریزی بیان ژن را در پیش‌بینی سطح ایستابی چاه‌های منطقه نشان داد. ضریب همبستگی در روش شبکه عصبی مصنوعی برابر با ۰/۹۶ و در روش برنامه‌ریزی بیان ژن برابر با ۰/۷۲ شد که نشان‌دهنده این است که روش شبکه عصبی مصنوعی در این تحقیق دقت بالاتری را در پراکنش داده‌های دشت جیرفت طی سال های ۱۳۹۱-۱۳۸۱ دارد.

واژه‌های کلیدی: سطح ایستابی، شبکه عصبی مصنوعی، برنامه‌ریزی بیان ژن، آبخوان دشت جیرفت.

مقدمه

در سالیان اخیر، برداشت از منابع آب زیرزمینی به‌دلیل رشد جمعیت و توسعه کشاورزی و صنعت افزایش یافته است. از آن‌جا که اندوخته‌های آب زیرزمینی از مهمترین منابع بهره‌برداری و توسعه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌روند، پایش منطقه‌ای سطح سفره‌ها و منظور کردن تراز آبی، از بنیادی‌ترین شاخصه‌ها به‌منظور تأمین توسعه پایدار در چنین مناطقی به‌حساب می‌آید. بنابراین استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن می‌توانند کمک زیادی در مدل‌سازی آب زیرزمینی داشته باشند. شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از زیرشاخه‌های هوش مصنوعی می‌باشد که به‌تدریج جایگاه ویژه‌ای در بین علوم مختلف پیدا کرده است و در زمینه‌های گوناگون منابع طبیعی اعم از اقلیم و علوم آب و مدیریت استفاده‌های زیادی از این روش‌ها شده است (Jamalizadeh Taj Abadi *et al.*, 2010). از آنجایی که کاربرد مدل‌ها در حل مسائل و مشکلات مربوط به منابع آب گسترش زیادی پیدا کرده است اما تحقیقات زیادی در زمینه بررسی تراز سطح آب زیرزمینی

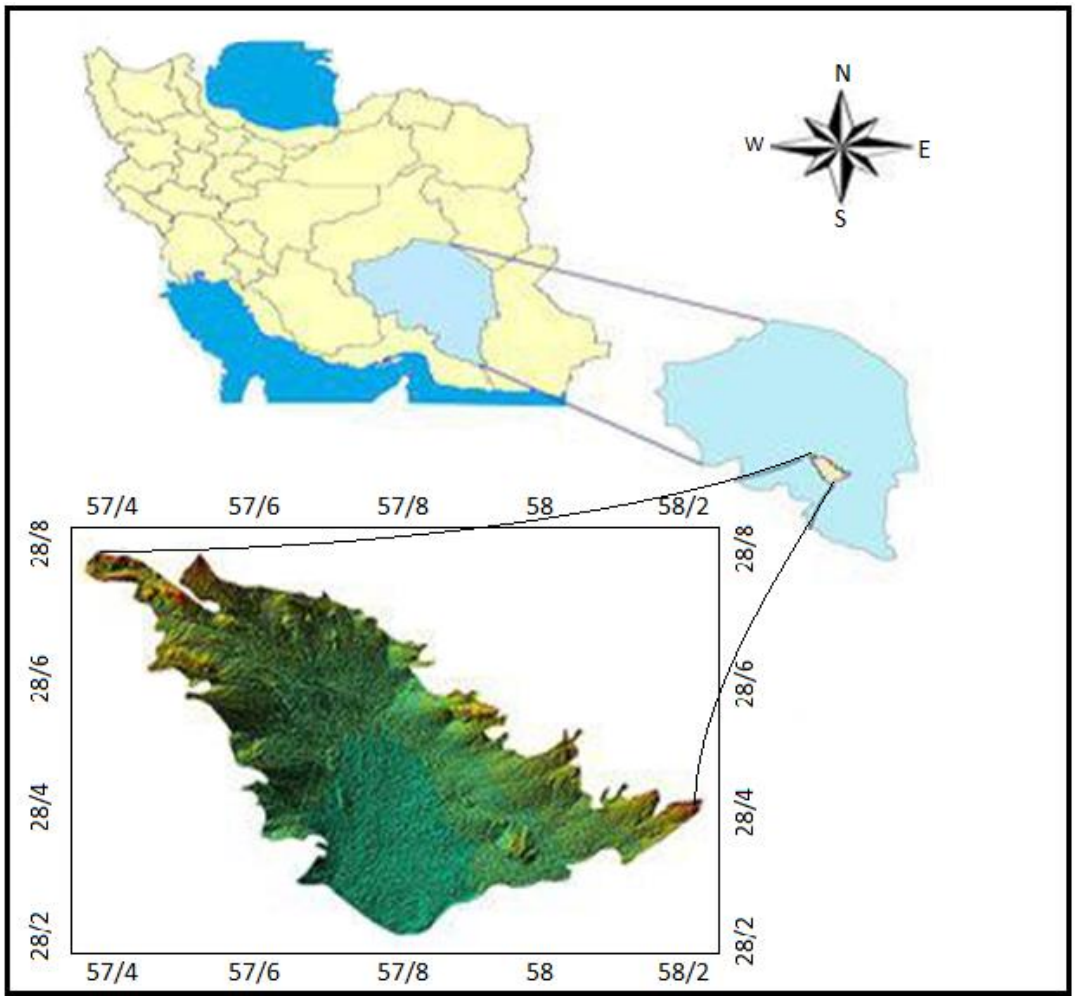
انجام نشده است. در چند دهه اخیر تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی توانایی بالایی را در پیش‌بینی روابط غیرخطی بین داده‌ها در مسائل مربوط به مهندسی آب از خود نشان داده است (Afkhami *et al*., 2015). این شبکه‌ها توسط داده‌های مناسبی که دربرگیرنده ورودی و خروجی باشد آموزش دیده و پایان مرحله آموزش، شبکه توسط بخش دیگری از داده‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرد (Menhaj, 2005). در این تحقیق به برخی مطالعات که با تکنیک‌های هوش مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن انجام شده اشاره می‌شود، ازجمله Coppola و همکاران (۲۰۰۵)، از مدل شبیه‌سازی شبکه عصبی برای پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی استفاده نمودند. نتایج این مدل شبیه‌سازی نشان داد که مدل شبکه عصبی با دقت بالایی نسبت به مدل‌های عددی آب زیرزمینی می‌تواند تراز سطح آب را برای افق بلندمدت پیش‌بینی نماید. Chung (۲۰۰۹)، برای پیش‌بینی نوسانهای سفره آب در مریلند با استفاده از شبکه عصبی، از دو گونه مدل پیش‌بینی بر پایه ANN استفاده نمود. در یک مدل از رابطه بین تغییرات رطوبت خاک و عمق سفره و در مدل دیگر از رابطه بین متغیرهای تابش حرارتی گاما و عمق سفره استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های ساخته شده برای ارزیابی نوسانهای سفره از دقت بالایی برخوردار بوده، به‌گونه‌ای که میانگین مربعات خطاهای پیش‌بینی عمق سفره آب در یک دوره ۱۲ ماهه بین ۰/۰۴۳ و ۰/۰۴۷ بوده است. Ghorbani و همکاران (۲۰۱۰)، پیش‌بینی نوسانهای تراز آب در استرالیا را با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که ساختار درختی برنامه‌ریزی بیان ژن برای تمام مقیاس‌های زمانی نسبت به شبکه عصبی از دقت بالاتری برخوردار بوده است. Ghorbani و همکاران (۲۰۱۱)، از برنامه‌ریزی بیان ژن برای بررسی تغییرات داده‌های کیفی آب زیرزمینی با نوسانهای سطح آب در دشت برخوار اصفهان استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که همبستگی قابل قبولی بین نوسانهای سطح آب زیرزمینی و ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی مانند کل املاح محلول و شوری وجود دارد. Mirazee و Nazemi (۲۰۱۱)، از سامانه‌های هوشمند استنتاج عصبی فازی تطبیقی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک برای تخمین تراز سطح ایستابی دشت شبستر در استان آذربایجان‌شرقی استفاده نمودند. در این تحقیق از اطلاعات ۲۰ پیزومتر که دارای آمار بالای ۱۷ سال بودند، استفاده شد. بر پایه محاسبات انجام شده، هر سه روش دارای توانایی قابل توجهی در تخمین میزان تراز سطح ایستابی می‌باشند. Zamani-Ahmad Mahmoudi (۲۰۱۲)، از تلفیق مدل شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک و روش زمین‌آمار برای تخمین تراز سطح ایستابی دشت‌های دزفول، زیدون و رامهرمز استفاده کرد. نتایج این تحقیق نشان داد تلفیق این دو مدل قابلیت بسیار بالایی در تخمین سطح آب زیرزمینی این دشت‌ها دارد. Pour Mohammadi و همکاران (۲۰۱۳)، با مقایسه کارایی روش‌های شبکه عصبی و مجموعه‌های زمانی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی زیرحوزه بختگان فارس، به این نتیجه رسیدند که هر دو تکنیک شبکه عصبی و مجموعه زمانی از دقت بالایی برخوردارند. Rahmani (۲۰۱۴)، برای شبیه‌سازی منابع آب زیرزمینی دشت عقیلی از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و تفاضلات محدود استفاده کرد. مقایسه نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل ریاضی با دقت قابل توجهی سطح آب زیرزمینی را پیش‌بینی نموده است. Johari و همکاران (۲۰۱۵) از برنامه‌ریزی بیان ژن برای مدل‌سازی منحنی مشخصه آب و خاک (SWCC) استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل برنامه‌ریزی بیان ژن توانایی بررسی و پیش‌بینی مشخصات و نوسانهای آب و خاک را در آینده دارد و منحنی خروجی را با دقت بیشتری نمایش می‌دهد. Gorgij و همکاران (۲۰۱۶)، پیش‌بینی نوسانهای آب زیرزمینی دشت آذرشهر در آذربایجان‌شرقی را با استفاده از مدل‌های ترکیبی برنامه‌ریزی بیان ژن و شبکه عصبی موجکی انجام دادند. نتایج شبیه‌سازی و مدل‌سازی آنها کاهش نوسانهای آب زیرزمینی را نشان داده است، همچنین بیان کردند که پیش‌بینی دقیق از فرایندهای هیدرولوژیک به‌ویژه نوسانهای تراز آب زیرزمینی که از منابع اساسی مناطق خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید باید به‌عنوان یک

اولویت بزرگ و مهم در طرح‌های توسعه در نظر گرفته شود. حوزه آبخیز دشت جیرفت بخشی از حوضه غربی جازموریان است که در جنوب ایران و در استان کرمان قرار گرفته است. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت جیرفت موجب افت سطح ایستابی این آبخوان گردیده است که این روند نزولی سطح آب از سال ۱۳۷۹ هم شدیدتر شده است. این امر می‌تواند اقتصاد منطقه را که بر پایه کشاورزی استوار است مورد تهدید جدی قرار دهد. هدف از این پژوهش پیش‌بینی سطح ایستابی آب زیرزمینی در آبخوان دشت جیرفت به کمک روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن و مقایسه آنها با یکدیگر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دشت جیرفت بخشی از حوضه غربی جازموریان است که بین طول‌های جغرافیایی ۵۷ درجه ۱۵ دقیقه و ۵۸ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۸ درجه ۱۲ دقیقه و ۲۹ درجه ۱۳ دقیقه شمالی، در جنوب ایران و در استان کرمان قرار گرفته است. وسعت دشت جیرفت ۲۲۴۷ کیلومتر مربع و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۵۵۰ تا ۸۰۰ متر متغیر است. متوسط بارندگی سالانه آن در یک دوره درازمدت ۴۰ ساله ۱۷۰ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه جیرفت در استان کرمان و ایران

هیدروژئولوژی و بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی

در دشت جیرفت دو نوع سفره آزاد (سطحی) و تحت فشار (در زیر سفره آزاد در مرکز دشت جیرفت) وجود دارد. وجود پنج گسل اصلی (گسل‌های سبزواران، جیرفت، دوساری، کهنوج و سرگریج) در منطقه از دیدگاه هیدروژئولوژیک بسیار حائز اهمیت می‌باشد، زیرا این گسل ها در هدایت جریان های آب زیرزمینی از بخش کوهستانی به سوی دشت و افزایش تراوائی در یک پهلوی گسل آبرفتی نقش بسیار ارزنده و مؤثری دارند. در محدوده دشت جیرفت و بر اساس آماربرداری وزارت نیرو، حدود ۵۱۲۹ چاه (نیمه‌عمیق و عمیق)، ۱۰۹۰ چشمه و ۲۹۴ قنات وجود دارد که تخلیه‌ای در حدود ۹۵۰ میلیون‌متر مکعب در سال را به آبخوان دشت جیرفت اعمال می‌کنند. از این میزان تخلیه، بخش صنعت با مصرف ۰/۲۶ درصد میزان کل تخلیه، کمترین مقدار و بخش کشاورزی با ۹۴ درصد بیشترین میزان بهره‌برداری را به خود اختصاص داده‌اند.

روش تحقیق

در این پژوهش به‌منظور یکسان کردن ارزش داده‌ها و افزایش سرعت و دقت شبکه ابتدا استانداردسازی داده‌های سطح ایستابی چاه‌های منطقه مطالعاتی در سال‌های ۱۳۸۱–۱۳۹۱ انجام شد. سپس با استفاده از دو روش برنامه‌ریزی بیان ژن و شبکه عصبی مصنوعی اقدام به پیش‌بینی سطح ایستابی چاه‌ها شد. در نهایت با استفاده از آماره‌های میانگین خطای استاندارد، میانگین مطلق خطا، شاخص تطابق و R^2 دقت دو روش نام برده در پیش‌بینی سطح ایستابی آب زیرزمینی با هم مقایسه شد. در زیر هریک از مراحل پژوهش توضیح داده شده است.

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی که الهام گرفته از شبکه عصبی بیولوژیکی مغز انسان است، شامل شبکه‌ای از بوده که قادر است رفتار پیچیده بین را نشان دهد. توانایی یادگیری، مهمترین ویژگی شبکه عصبی و هر سیستم هوشمند است که با پردازش داده‌ها، قوانین نهفته در انبوه داده‌ها را به ساختار شبکه عصبی انتقال می‌دهد. امروزه در علوم مختلف، شبکه عصبی مصنوعی کاربرد وسیعی در شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و طبقه‌بندی ایفا می‌کند که در این بخش، قابلیت شبیه‌سازی در پیش‌بینی سطح تراز آب چاه‌های مشاهداتی منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است (Aalami *et al*., 2013). روش پس‌انتشار خطا یک روش سیستماتیک برای آموزش شبکه‌های چندلایه است. منظور از آموزش یک شبکه انتخابی بر مبنای اطلاعات موجود، تنظیم مقادیر وزن‌ها و بایاس یا مقادیر ثابت اولیه، به‌گونه‌ای است که خطای بین مقادیر خروجی محاسبه شده و مشاهده شده، حداقل گردد. این الگوریتم مبتنی بر قانون یادگیری خطاست. از قانون یادگیری پس‌انتشار برای آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه پیش‌خور که عموماً شبکه‌های چندلایه پرسپترون هم نامیده می‌شوند، استفاده می‌شود.

جدول ۱- مقادیر و نوع پارامترهای مورد استفاده در تخمین سطح ایستابی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

پارامتر	نوع و مقدار
نوع شبکه عصبی	شبکه پیش‌خور
نوع الگوریتم آموزش	پس‌انتشار خطا
نوع داده‌های ورودی	ماتریس INPUT
نوع داده‌های هدف	ماتریس TARGET
نوع تابع آموزش	تابع TRAINLM
نوع تابع آموزش تطبیقی	تابع LEARNGDM
نوع تابع عملکرد شبکه	تابع MSE
تعداد لایه‌ها	۲
تعداد نرون لایه میانی	۲
تعداد نرون لایه خروجی	۱
نوع تابع انتقال لایه میانی	TANSIG
نوع تابع انتقال لایه خروجی	PURELIN

پارامترهای شبکه طوری تنظیم می‌شوند که پاسخ واقعی شبکه هرچه بیشتر به سمت پاسخ مطلوب نزدیک‌تر شود (Pour Mohammadi, 2013). در مدل شبکه عصبی مصنوعی داده‌ها به سه قسمت تست، آزمون و اعتبارسنجی تقسیم شدند. در دوره آماری ۱۱ ساله، ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش (مهمترین بخش مدل)، ۱۵ درصد داده‌ها برای تست و ۱۵ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی به‌کار برده می‌شود. در این تحقیق پارامترهای مورد استفاده، نوع و مقدار آنها در مراحل مختلف برای تخمین سطح ایستابی چاه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی در جدول (۱) به‌طور خلاصه ارائه شده است.

برنامه‌ریزی بیان ژن

برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)، تعمیم‌یافته الگوریتم ژنتیک (GA) است که بر اساس تئوری داروین ارائه شده و توسط فریرا در سال ۱۹۹۹ ابداع شد. برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) نیز همانند الگوریتم ژنتیک (GA) و برنامه‌ریزی ژنتیک (GP)، یک الگوریتم ژنتیکی است که از جمعیتی از افراد استفاده کرده و آنها را مطابق برازندگی انتخاب می‌کند و تغییرات ژنتیکی را با استفاده از یک یا چند عملگر ژنتیکی اعمال می‌نماید. تفاوت اساسی بین این سه الگوریتم، مربوط به ماهیت افراد آنهاست؛ به‌طوری که در GA، افراد رشته‌های خطی با طول ثابت (کروموزوم) و در GP، نهادهای غیرخطی با اندازه‌ها و شکلهای متفاوت (درختان تجزیه) می‌باشند؛ در حالی که در GEP، افراد به‌صورت رشته‌های خطی با طول ثابت (ژنوم یا کروموزوم) کدگذاری شده (مشابه با آنچه در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود) و بعد به شکل نهادهای غیرخطی با اندازه‌ها و شکلهای متفاوت (یعنی نمایش دیاگرام ساده یا بیان درختی مشابه با درختان تجزیه در برنامه‌ریزی ژنتیک) بیان می‌شوند (Ferreira, 2005). همچنین در برنامه‌ریزی بیان ژن بر ساختار درختی مجموعه‌ها تأکید می‌شود ولی الگوریتم ژنتیک، بر اساس سیستم ارقام دودویی عمل می‌نماید. فرایند گام‌به‌گام حل یک مسئله با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن شامل ۵ مرحله به‌شرح زیر می‌باشد.

انتخاب مجموعه ترمینال: که همان متغیرهای مستقل مسئله و متغیرهای حالت سامانه می‌باشند. ۲- انتخاب مجموعه توابع: که شامل عملگرهای حسابی، توابع آزمون و توابع بولی می‌باشند. ۳- شاخص اندازه‌گیری دقت مدل که بر مبنای آن می‌توان مشخص نمود که توانایی مدل در حل یک مسئله خاص تا چه اندازه می‌باشد. ۴- مؤلفه‌های کنترل: مقادیر مؤلفه‌های عددی و متغیرهای کیفی که برای کنترل اجرای برنامه‌ها استفاده می‌شوند. ۵- شرط توقف اجرای برنامه: که معیاری برای حصول نتیجه و توقف اجرای برنامه می‌باشد. در این مطالعه از برنامه GeneXpro Tools برای توسعه و اجرای مدل‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شده است. برنامه مذکور بر اساس برنامه‌ریزی صریح ژنتیک استوار است. برنامه‌ریزی بیان ژن ویرایش جدیدی از برنامه‌ریزی ژنتیک می‌باشد که به استنتاج برنامه‌های رایانه‌ای با اندازه‌ها و شکل‌های مختلف می‌پردازد. یکی از نقاط قوت برنامه‌ریزی ژنتیک آن است که معیار تنوع ژنتیکی بسیار ساده بوده و ازاین‌رو عملگرهای ژنتیک در سطح کروموزوم عمل می‌نمایند. همچنین یکی دیگر از نقاط قوت این روش، عبارت است از طبیعت منحصر به‌فرد چند ژنی بودن آن که زمینه ارزیابی مدل‌های پیچیده‌ای را که شامل چندین زیر مدل می‌باشند فراهم می‌آورد (Kavehkar *et al*, 2013). در این تحقیق پارامترهای مورد استفاده و نرخ آنها در مراحل مختلف برای تخمین سطح ایستابی چاه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن در جدول (۲) به‌طور خلاصه ارائه شده است.

معیارهای ارزیابی

یکی از معمول‌ترین شاخص‌های آماری که برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد ضریب همبستگی پیرسون می‌باشد، با این حال باید توجه کرد که ضریب همبستگی نمی‌تواند به تنهایی شاخص مناسبی برای ارزیابی مدل باشد.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مورد استفاده در تخمین سطح ایستابی با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن

پارامتر	مقدار
اندازه سر (Head Size)	۷
تعداد کروموزوم‌ها (Chromosomes)	۳۰
تعداد ژن‌ها در هر کروموزوم (Number of genes)	۵=۴-۳
نرخ جهش (Mutation Rate)	۰/۰۴۴
نرخ وارون سازی (Inversion Rate)	۰/۱
نرخ ترکیب تک نقطه‌ای (One-Point Recombination Rate)	۰/۳
نرخ ترکیب دو نقطه‌ای (Two-Point Recombination Rate)	۰/۳
نرخ ترکیب ژن (Gene Recombination Rate)	۰/۱
نرخ ترانهش درج متوالی (IS Transposition Rate)	۰/۱
نرخ ترانهش ریشه درج (RIS Transposition Rate)	۰/۱
نرخ ترانهش ژن (Gene Transposition Rate)	۰/۱
معیار خطای تابع (Fitness Function Error Type)	RMSE
تابع پیوند (Linking Function)	جمع (+)

زیرا ممکن است در یک مدل فرضی مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده دارای اختلافی فاحش باشند ولی این اشتباهات به‌گونه‌ای باشند که از یک روند یکنواخت پیروی نمایند. بنابراین اگرچه ضریب همبستگی به‌خوبی نشان‌دهنده میزان هماهنگی روند تغییرات مقادیر مشاهده شده نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد اما گویای تطابق آنها نیست (Ghorbani Dashtaki, 2009). بنابراین به‌منظور سنجش کارایی مدل‌های مورد بحث در برآورد پارامتر خروجی مدل‌سازی، از چندین شاخص آماری شامل ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین قدر مطلق خطا، شاخص ناش- ساتکلیف، انحراف مدل و قابلیت اعتماد مدل استفاده می‌شود که در این تحقیق برای ارزیابی نتایج از معیارهای میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا، شاخص تطابق و ضریب همبستگی استفاده شد که آماره RMSE یا مقدار جذر میانگین مربعات خطا بیانگر میزان خطای برآورد متغیرها نسبت به مقدار مشاهداتی است که بر اساس ریشه مربعات خطا مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

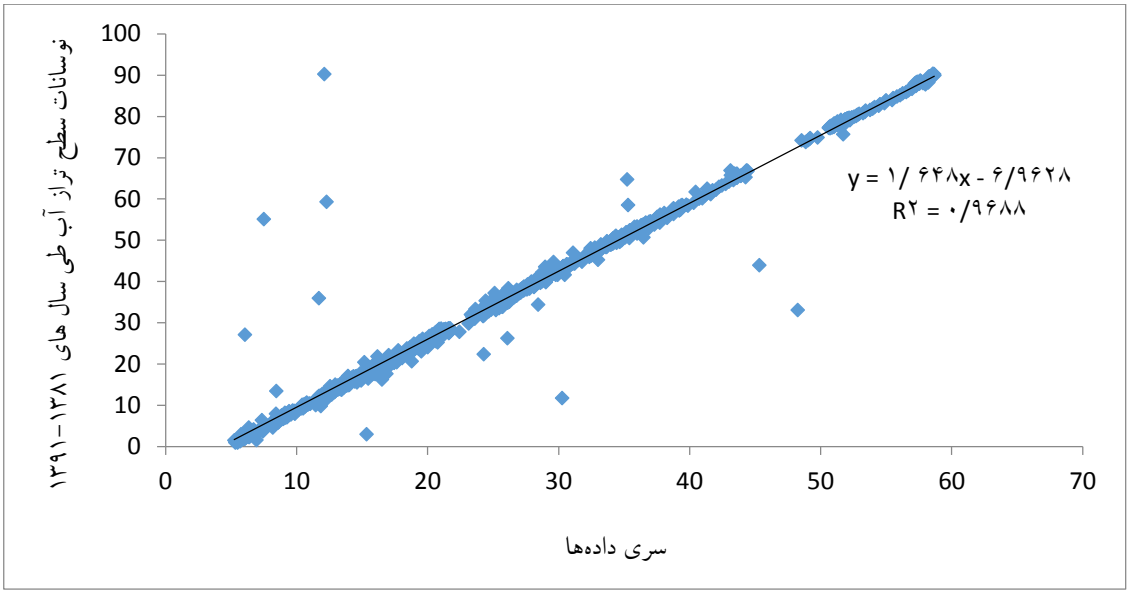
نتایج

شبکه عصبی

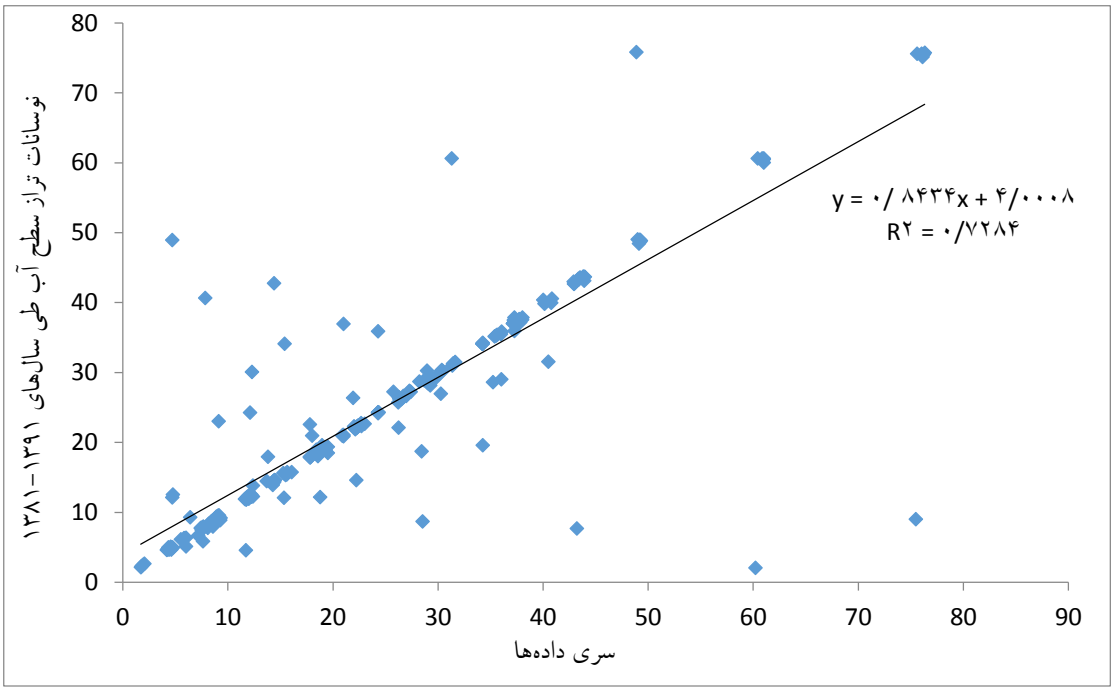
نتایج به‌دست آمده از ورود داده‌های سطح آب چاه‌های مشاهداتی منطقه مورد مطالعه به مدل شبکه عصبی و خروج نتایج آن که به‌صورت سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی می‌باشد در شکل ۲ نشان داده شده است. نمودار پراکنش داده‌ها به‌شکل خط شده است و این نشان‌دهنده ضریب همبستگی شدید و نشان از وجود رابطه معنی‌دار بین داده‌هاست.

برنامه‌ریزی بیان ژن

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل مقادیر نوسانهای سطح آب چاه‌های مشاهداتی آبخوان دشت جیرفت در سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۱ می‌باشند که با اختصاص ۸۰ درصد داده‌ها برای دوره آموزش و ۲۰ درصد برای دوره آزمون، در ترکیب‌های مختلف ورودی به مدل برنامه‌ریزی بیان ژن وارد گردیدند. مقدار عددی معیارهای مورد نظر برنامه‌ریزی بیان ژن به‌کار رفته در این تحقیق در جدول ۲ ذکر شده است. شکل ۳ مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی نوسانهای تراز آب را در حالتی که از داده‌های آماری به‌عنوان ورودی مدل برنامه‌ریزی بیان ژن استفاده شده است، نشان می‌دهد. با توجه به نمودار موجود برنامه‌ریزی بیان ژن، همبستگی و پراکنش داده‌ها نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی کمتر شده است.



شکل ۲- مقادیر سطح ایستابی پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی در قیاس با داده‌های واقعی



شکل ۳- مقادیر سطح ایستابی پیش‌بینی شده توسط مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در قیاس با داده‌های واقعی

مقایسه کارایی دو مدل

در جدول ۳ کارایی دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن در پیش‌بینی سطح ایستابی آب زیرزمینی با استفاده از آماره‌های ریشه خطای استاندارد (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، شاخص تطابق (K) و ضریب همبستگی (R^2) مقایسه شده است. با توجه به جدول نتایج همبستگی داده‌های شبیه‌سازی شده با واقعی در هر دو مدل شبکه عصبی و برنامه‌ریزی بیان ژن به‌ترتیب برابر ۰/۹۶ و

۰/۷۲ می‌باشد. ریشه خطای استاندارد در مدل شبکه عصبی برابر با ۱۳/۰۳ و در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن برابر با ۳/۲۶ درصد شده است. میانگین مطلق خطاها در روش شبکه عصبی مصنوعی برابر با ۹/۹۵ و در روش برنامه‌ریزی بیان ژن برابر با ۰/۶۴ درصد شده است. شاخص تطابق در روش شبکه عصبی مصنوعی برابر با ۰/۸۷ و در روش برنامه‌ریزی بیان ژن برابر با ۰/۹۹ درصد است. به‌طور کلی هر دو مدل دارای ضریب همبستگی بالا با داده‌های واقعی سطح ایستابی چاه‌ها بوده و دارای خطای کمی می‌باشند، اما با توجه به اینکه ضریب همبستگی در روش شبکه عصبی مصنوعی بالاتر از روش برنامه‌ریزی بیان ژن شده است نشان‌دهنده این است که شبکه عصبی مصنوعی در این تحقیق از دقت بالاتری برخوردار است.

جدول ۳- مقایسه دو مدل شبکه عصبی و برنامه‌ریزی بیان ژن در پیش‌بینی سطح ایستابی آب زیرزمینی

نام مدل	میانگین ریشه خطای استاندارد	میانگین خطای مطلق	شاخص تطابق	ضریب همبستگی
شبکه عصبی مصنوعی	۱۳/۰۳	۹/۹۵	۰/۸۷	۰/۹۶
برنامه‌ریزی بیان ژن	۳/۲۶	۰/۶۴	۰/۹۹	۰/۷۲

بحث

در این پژوهش سعی بر آن شد عملکرد مدل‌هایی برای شبیه‌سازی میزان تراز آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های ماهانه دشت جیرفت مورد ارزیابی قرار گیرد. مدل‌های به‌کار گرفته شده شامل شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن می‌باشد. مقادیر میزان تراز آب زیرزمینی مشاهداتی با میزان تراز آب زیرزمینی تخمین زده شده در مدل‌های مذکور (شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن) با استفاده از معیارهای ارزیابی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مدل‌سازی دو روش برنامه‌ریزی بیان ژن و شبکه عصبی مصنوعی و نتایج آماره‌های ارزیابی مدل، نشان‌دهنده توفیق نسبی هر دو مدل در برآورد سطح ایستابی آب زیرزمینی است اما با توجه به مقایسه ضریب همبستگی این دو مدل در این تحقیق نشان داده شد که روش شبکه عصبی مصنوعی دقت بالاتری را در پراکنش داده‌های موجود دارد و مقادیر محاسباتی نسبت به مقادیر مشاهداتی مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در سطوح معنی‌دار همبستگی دارند. در مجموع نتایج تحقیق نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت بالاتری در تخمین میزان تراز آب زیرزمینی می‌باشد. این مقایسه و بررسی کارایی دو روش در نتایج پژوهش دیگران نیز مشهود می‌باشد، به‌طوری که Pour Mohammadi و همکاران (۲۰۱۳)، با مقایسه کارایی روش‌های شبکه عصبی و مجموعه‌های زمانی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی زیرحوزه بختگان فارس به این نتیجه رسیدند که هر دو تکنیک شبکه عصبی و مجموعه زمانی از دقت بالایی برخوردارند. Ghorbani و همکاران (۲۰۱۱)، تغییرات داده‌های کیفی آب زیرزمینی با نوسانهای سطح آب در دشت برخوار اصفهان را با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن بررسی کردند و نتایج این مدل شبیه‌سازی نشان داد که از دقت بالایی برخوردار است. Gorgij و همکاران (۲۰۰۷) پیش‌بینی نوسانهای آب زیرزمینی دشت آذرشهر در آذربایجان‌شرقی را با استفاده از مدل‌های ترکیبی برنامه‌ریزی بیان ژن و شبکه عصبی موجکی انجام دادند. نتایج شبیه‌سازی و مدل‌سازی آنان کاهش نوسانهای آب زیرزمینی را نشان داده است و همچنین بیان کردند که پیش‌بینی دقیق از فرایندهای هیدرولوژیک به‌ویژه نوسانهای تراز آب زیرزمینی که از منابع اساسی مناطق خشک ونیمه‌خشک به حساب می‌آید باید به‌عنوان یک اولویت بزرگ و مهم در طرح‌های توسعه در نظر گرفته شود. در پایان پیشنهاد می‌شود از انواع مدل‌سازی مجموعه داده‌ها که به‌طور گسترده‌ای در علوم هیدرولوژی

برای مدیریت بهینه منابع آب در آینده کاربرد دارند (ازجمله برنامه‌ریزی بیان ژن و شبکه عصبی مصنوعی) استفاده گردد.

منابع مورد استفاده

-Aalami, M., Sadeghfam, S., Fazelifard, M. and Taghipour., 2013. Modeling series of data, Tabriz University Press, 301p.

-Afkhami, H., Ekhtesasi, M. R. and Mohammadi, M., 2015. The effect of processing the input variables of the standard rainfall index on prediction of droughts in artificial neural networks using wavelet transform, Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 22(3): 570-582.

-Ahmadian, M., Chavoshian, M. and Darvish, M., 2015. Investigating the fluctuations of groundwater table level as a criterion for land degradation in semi arid regions using ground-level technique. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 22(1): 109-120.

-Chung, Y. W., 2008. Prediction water table fluctuation using artificial neural network, in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy, University of Maryland, 185 pp.

-Coppola, E., Rana, A. J., Poulton, M., Szidarovszky, F. and Uhi, V. W., 2005. Aneural networks model for predicting aquifer water level elevation ground water. Journal of Ground water, 43: 231-241.

-Ferreira, C., 2005. Gene expression programming: A new adaptive algorithm for solving problems. Journal of Complex Systems, 13 (2): 87-129.

-Ghezelbash, Z., Zakerinia, M., Hezar Jaribi, A. and Dehghani, A., 2014. Comparison of the performance of two methods of gene expression planning and artificial neural network in order to estimate the uniformity coefficient of water distribution in rain irrigation. Journal of Water and Soil Conservation Research, 21(6): 95-114.

-Ghobadian, R., Ghorbani, M. and Khalaj, M., 2013. Investigating the function of gene expression planning method in Zangmar province river flow recovery compared to dynamic wave. Journal of Water and Soil Research, 27(3): 592-602.

-Ghorbani Dashtaki, S., Homaee, M., Mahdian, M. H. and Kouchakzadeh, M., 2009. Site-dependence performance of infiltration models. Journal of Water Resource Manage, 23: 2777-2790.

-Ghorbani, M. and Salehi, A., 2011. Application of gene expression planning in investigating the changes in groundwater quality data with fluctuations in the area of Isfahan Borkhar Plain. Sixth National Congress on Civil Engineering. Semnan University, Semnan, Iran, 11p.

-Ghorbani, M. A., Khatibi, R., Hasanpour kashani, M. and Kisi, O., 2010. Comparison of three artificial intelligence techniques for discharge routing. Journal of Hydrology, 403(3-4): 201-212.

-Gorgij, A. D., Kisi, O. and Moghaddam, A., 2016. Groundwater budget forecasting using hybrid wavelet-ANN-GP modelling: a case study of Azarshahr plain, East Azerbaijan, Iran. Journal of Hydrology Research, nh2016202.

-Jamalizadeh Taj Abadi, M. R., Moghaddam Nia, A. R., Piri, J. and Ekhtesasi, M. R., 2010. Prediction of dust storm occurrence using Artificial Neural Networks, case study: Zabol city. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research, 17(2): 205-220.

-Johari, A. and Nejad, A. H., 2015. Prediction of soil-water characteristic curve using gene expression programming. Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering, 39(C1): 143.

-Kavehkar, S. H., Ghorbani, M., Ashrafzadeh, A. and Darbandi, S., 2013. Simulation of water balance fluctuations using gene expression planning. Civil Engineering and Environment Journal, 3(79): 69-75.

-Menhaj, M. B., 2005. Fundamentals of neural networks, computational intelligence. Publishing Center of Amir Kabir University of Technology, Iran, 718p.

-Mirzaee, A. and Nazemi, A. H., 2011. Estimation of level of level of the station using intelligent systems (Case study: Shabestar plain).Journal of Water Resource Engineering, 4(8): 10.

-Pour Mohammadi, S., Maleki Nezhad, H. and Pour Shariyati, R., 2013. Comparison of the efficiency of neural network techniques and time series in groundwater forecasting (Case study: Bakhtegan watershed, Fars province). Journal of Water and Soil Conservation Research, 20(4): 251-262.

-Pour Seyedi, A. and Kashkouli, H., 2012. Study of the submarine waters of Jiroft plain using PMWIN model. Journal of Irrigation Science and Engineering, 35(2): 51-63.

-Rahmani, G. H., 2014. Simulation of groundwater resources of Aghili plain using artificial neural networks and its comparison with the results of the finite-difference mathematical model, M.Sc. thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, 138p.

-Zamani, A. and Mahmoudi, R., 2012. Investigating the application of combined ground statistics and neural networks optimized by genetic algorithm in the interplantation of Groundwater Levels of the Plain. M.Sc. thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, 152p.

Comparison of the performance of artificial neural networks and gene expression to predict the groundwater level in arid and semi-arid areas (Case study: Jiroft plain)

B. Jabalbarezi[1] and A. Malekian[2*]

1- Ph.D. Student in Desert Management and Control, Department of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2*- Corresponding author, Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, E-mail: malekian@ut.ac.ir

Received:05/13/2017 Accepted:11/29/2017

Abstract

Modeling and prediction of groundwater level is one of the basic tasks to achieve optimal management of water resources. One way to predict the groundwater level is using artificial intelligence techniques such as neural networks and gene expression planning. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of artificial neural network (ANN) and gene expression methods in predicting groundwater level of Jiroft plain aquifer. For this purpose, the data from 65 piezometric wells in the Jiroft plain aquifer was used for a period of eleven years. The level of piezometric wells by each of the techniques of gene expression and neural network were simulated separately and at the end, the root mean square, mean absolute error, and R2 were used to determine the accuracy of the predictions of each of the methods.The results of this study showed the higher efficiency and accuracy of both neural network techniques and gene expression in predicting the groundwater level region. The correlation coefficient in the artificial neural network method gene expression method was equal to 0.96 and 0.72, respectively, indicating the higher efficiency of artificial neural network in the simulation of Jiroft plain groundwater data over the period studied.

Keywords: Artificial neural networks, groundwater table, gene expression, Jiroft plain.