شبیه‌سازی روند تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک در اثر آبیاری با پساب با استفاده از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)

مینا ارست[۱]، غلامرضا زهتابیان[۲]، محمد جعفری[۲]، حسن خسروی*[۳]، سعید شجاعی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۲۵

چکیده

با توجه به رشد روزافزون جمعیت در مناطق خشک و نیمه‌خشک، محدودیت منابع آب رو به افزایش است. از این رو استفاده از آب‌های غیرمتعارف به عنوان ابزار مهمی در مدیریت منابع آب در مناطق خشک به حساب می‌آید. در این بین بهره‌گیری از پساب فاضلاب شهری برای آبیاری به صورت توأمان با طرح‌های بیابان‌زدایی از مواردی است که جای بررسی و مطالعه دارد. اثری که این گونه آب‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک برجا می‌گذارد، اهمیت زیادی دارد. در دهه اخیر روش‌های هوشمند مصنوعی به خاطر قابلیت شبیه‌سازی فرآیندها در زمینه‌های مختلف کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند. برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) جزء الگوریتم‌های تکاملی محسوب شده و قادر به بهینه‌سازی ساختار مدل و مولفه‌های آن می‌باشد. در این تحقیق به ارزیابی توانایی و دقت مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) در شبیه‌سازی تغییرات میزان سدیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در زمین‌های تحت آبیاری با پساب و زمین‌های فاقد آبیاری در دشت قم پرداخته شد. برای مدل‌سازی تغییرات خصوصیات شیمایی خاک، به صورت تصادفی۷۰ درصد داده‌های مشاهداتی مربوط به هدایت الکتریکی، اسیدیته و سدیم خاک به‌منظور تعیین مدل مناسب مورد استفاده قرار گرفته و مابقی داده-ها در واسنجی مدل‌های مورد نظر بهره برده‌شد و پارامترهای شیمیایی خاک به عنوان متغیر مستقل و تیمار پساب به عنوان تابع انتخاب گردید. نتایج مقایسه ژنی نشان داد که برنامه‌ریزی بیان ژن، به خوبی روند تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک را مدل سازی کرده است و در بهترین حالت اجرای مدل، بالاترین مقدار ضریب تعیین، برای هدایت الکتریکی (R^2= ۰/۹۷)، اسیدیته (R^2=۰/۹۶) و سدیم محلول خاک (R^2=۰/۹۷) محاسبه شد.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی بیان ژن، بهینه‌سازی، پساب فاضلاب شهری، دشت قم.

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲ استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۳ استادیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران hakhosravi@ut.ac.ir

مقدمه

کمبود آب یکی از چالش‌های اساسی مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است. این وضعیت در سال‌های اخیر به دلیل تکرار وقوع پدیده خشک‌سالی حادتر شده است. یکی از راه‌های جلوگیری از گسترش عرصه‌های بیابانی و نیز جلوگیری از وقوع گرد و غبارهای شدید، تثبیت بیولوژیکی این عرصه‌ها می‌باشد. در این بین بهره‌گیری از پساب فاضلاب شهری برای آبیاری به صورت توأمان با طرح‌های بیابان‌زدایی از مواردی است که جای بررسی و مطالعه دارد. اثری که این گونه آب‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک برجا می‌گذارد از نظر تأثیری که بر استقرار گیاهان و نیز میزان فرسایش خاک دارد اهمیت زیادی دارد. خاک، محیطی است پویا که پیوسته تحت تأثیر تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی قرار می‌گیرد. بدیهی است که کاربرد فاضلاب شهری بر ویژگی‌های گوناگون خاک از جمله ویژگی‌های شیمیایی آن تأثیر می‌گذارد. برای ارزیابی کاربرد پساب برای آبیاری، بایستی بررسی‌های دقیق در مناطق مختلف انجام شود.

تقواییان و همکاران (۲۰۰۷) طی تحقیقی گلخانه ای گزارش کردند که استفاده از پساب موجب افزایش معنی‌دار رسانایی الکتریکی شده است(۱۸). استمرار کاربرد فاضلاب‌ها به عنوان آب آبیاری میزان شوری و نسبت جذب سدیم (SAR) خاک را افزایش داده و هم‌چنین باعث کاهش اسیدیته در اعماق مختلف نیم‌رخ خاک می‌گردد (۱۰،۲،۱۷).

امام‌قلی (۲۰۱۲) در ارزیابی اثر فاضلاب شهری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک نشان داد که آبیاری با پساب باعث کاهش هدایت الکتریکی و سدیم محلول خاک نسبت به مکان شاهد می‌شود(۶). لیوی و همکاران[1] (۲۰۱۱) بیان کردند اثرات ترکیبی شوری، سدیمی و حضور مواد آلی محلول در فاضلاب تصفیه شده بر هدایت هیدرولیکی خاک پیچیده هستند و بستگی به کیفیت فاضلاب تصفیه شده، خصوصیات خاک و شرایط موجود در خاک دارد(۱۴). با بررسی تأثیر انواع فاضلاب‌ها بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز مشخص گردید که میانگین مقدار شوری و SAR در تیمار فاضلاب خام به طور معنی‌داری بیش‌تر از پساب است چون که بر روی پساب برخی از مواد معلق موجود در فاضلاب خام از آن طی مرحله پیش تصفیه تا حدودی حذف می‌گردد (۱۰،۲،۱۷). همچنین پژوهش‌ها نشان داده است در اثر مصرف لجن بسته به ترکیب و منبع لجن، اسیدیته خاک تغییر می کند و برخی منابع کاهش PH خاک را گزارش

1. Levy etal

کرده اند (۴). آییلو و همکاران[1] (۲۰۰۷) با کاربرد فاضلاب تصفیه شده در مدت یک فصل رشد در مزارع گوجه فرنگی با خاک شنی و آبیاری قطره ای، کاهش هدایت هیدرولیکی در لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک نسبت به مقدار اولیه را گزارش کردند(۳). با این اوصاف بررسی اثر پساب بر ویژگی‌های شیمیایی خاک حائز اهمیت است.

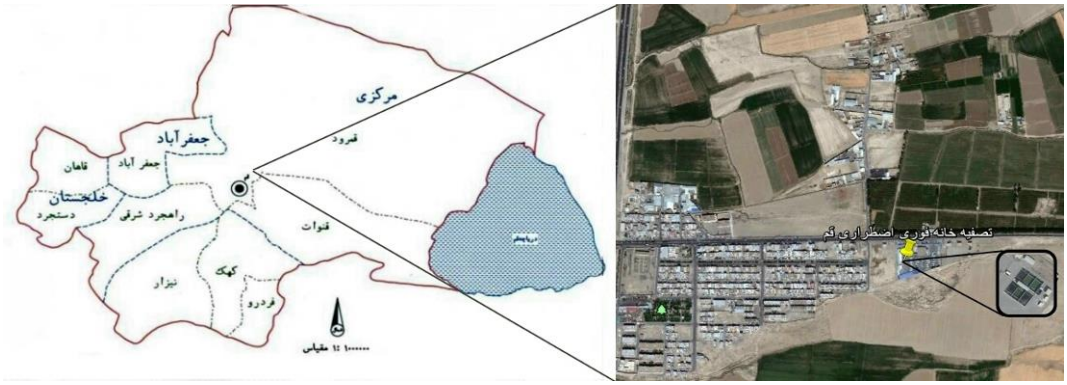
در چند دهه اخیر استفاده از روش‌های هوشمند گسترش فراوانی یافته اما در زمینه مقایسه تأثیر پساب بر خاک مطالعاتی صورت نگرفته شده است. در شرایطی که تغییرات ناگهانی و تعداد متغیرهای تصمیم زیاد بوده نقش مدل‌ها و قابلیت آن‌ها پر رنگ‌تر می‌شود. با ادامهٔ سیرتکاملی مدل‌های هوشمند، برنامه-ریزی بیان ژن در مطالعات مربوط به آب، به ابزارهای مدل‌سازی مسائل مربوط به تعیین ساختار پدیده‌ها افزوده شد. این روش جزء روش‌های الگوریتم گردشی محسوب می‌شود که مبنای تمامی آنها بر اساس نظریه تکامل داروین استوار است. الگوریتم‌های یاد شده اقدام به تعریف یک تابع هدف، در قالب معیارهای کیفی نموده و سپس تابع یاد شده را برای اندازه‌گیری و مقایسه روش‌های مختلف حل، در یک فرآیند گام به گام برای تصحیح ساختار داده‌ها به کار می‌گیرند و در نهایت، روش حل مناسب را ارائه می‌نمایند. روش برنامه‌ریزی بیان ژن جدیدترین شیوه از بین روش‌های الگوریتم تکاملی می‌باشد که به دلیل دارا بودن دقت کافی، مرسوم‌ترین شیوه بوده و از کاربرد بیش‌تری برخوردار است. در این تحقیق به ارزیابی توانایی و دقت مدل برنامه ریزی بیان ژن (GEP) در شبیه‌سازی تغییرات میزان سدیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در زمین‌های تحت آبیاری با پساب و زمین‌های فاقد آبیاری پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه دشت قم در موقعیت جغرافیایی ′ ۳۹ ، ° ۵۰ تا ′ ۰۴، ° ۵۱ طول شرقی و ′ ۳۷ ، ° ۳۴ تا ′ ۴۹ ، ° ۳۴ عرض شمالی قرار دارد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۷۹/۹۳ کیلومترمربع می‌باشد (شکل ۱). متوسط حداقل درجه حرارت سردترین ماه سال ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداکثر گرم ترین ماه سال ۴۲/۵ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی آن ۱۰۱/۵ میلی‌متر است و به روش دومارتن منطقه دارای اقلیم خشک و براساس مطالعات انجام شده خاک منطقه لوم رسی بوده و از شوری بسیار زیادی برخوردار می-باشد.

2. Aiello et al



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان قم

روش تحقیق

در این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیر پساب فاضلاب شهری بر تغییرات اسیدیته، سدیم محلول و هدایت الکتریکی خاک مطالعاتی در منطقه دشت قم صورت گرفته شد. مکان‌های مورد مطالعه شامل بدون آبیاری (زمین‌های مجاور) و زمین‌های آبیاری شده با پساب بود. در مناطق یاد شده اقدام به حفر پروفیل از هر مکان مطالعاتی در ۸ تکرار و از عمق سطحی (۰-۳۰) سانتی‌متر شد. (۷). مزرعه تعیین شده ۶ ماه از سال(مداوم) با پساب، آبیاری غرقابی شده و گیاه ذرت کشت می‌شود.

آماده سازی نمونه‌های خاک

نمونه‌های خاک پیش از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک شده و از غربال دو میلی‌متری گذرانده شدند. نمونه‌های خاک تهیه شده برای آزمون پایداری خاکدانه، با حداقل ضربه و آسیب و بدون کوبیدگی از الک دو میلی‌متری عبور داده شد، سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید (۶).

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، اسیدیته و سدیم محلول عصاره اشباع

به منظور تعیین اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک ابتدا نمونه‌های خاک با آب مقطر اشباع شده و پس از گذشت ۲۴ ساعت، با استفاده از دستگاه PH متر اسیدیته و هدایت الکتریکی آن‌ها با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی بر حسب dsm^{-1} ^{c} ۲۵° تعیین شد. برای اندازه‌گیری سدیم محلول خاک نیز بخشی از عصاره اشباع خاک‌ها را برداشته و توسط دستگاه فلم‌فوتومتر قرائت شدند. ای اعداد با استفاده از منحنی کالیبراسیون و بهره‌گرفتن از نرم‌افزار مایکروسافت اکسل به عنوان متغیر مستقل بدست آمد. در نهایت با در نظر گرفتن درجه رقت، میزان سدیم در عصاره اشباع محاسبه گردید (۱۷).

ویژگی‌های پساب مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

به منظور استفاده از پساب به عنوان آب آبیاری در منطقه دشت قم به بررسی ویژگی-های این آب‌ها و مقایسه آن با استانداردها پرداخته شد. از نتایج این مقایسه مشخص گردید که میزان اسیدیته پساب برای استفاده در جهت آبیاری در محدوده نرمال بوده و از نظر اسیدی و یا قلیاییت فاقد محدودیت می-باشد. همچنین مقدار سدیم نیز نزدیک به استاندارد تعریف شده است. میزان هدایت الکتریکی پساب مورد مطالعه نیز در محدوده نرمال قرار داشت. برخی از ویژگی‌های شیمیایی پساب مورد استفاده به منظور آبیاری منطقه مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱- ویژگی شیمیایی آب‌های مورد استفاده برای آبیاری

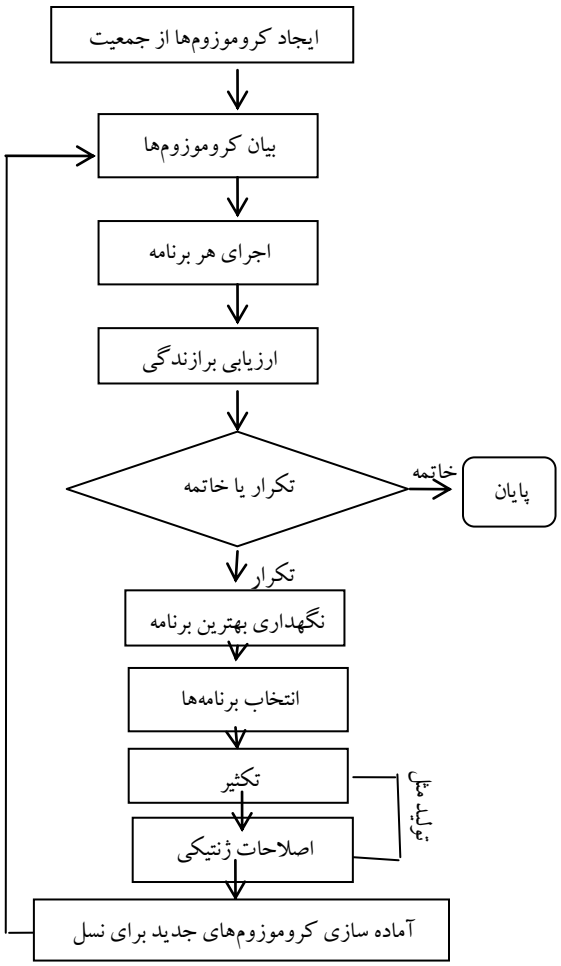
معیار	واحد	چاه	پساب	مقادیر مجاز
pH	-	۷/۹	۷/۸۱	۶-۸/۵
EC	ds/m	۶/۵	۱/۲	۰/۷-۳
SAR	(mmol/Lit)/2	۲/۹	۱/۷۵	-
BOD	mg/Lit	-	۱۱۵	۱۰۰
COD	mg/Lit	-	۱۴۰	۲۰۰

برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)

برنامه‌ریزی بیان ژن توسط فریرا در سال ۱۹۹۹ اختراع شد. در این برنامه، کروموزوم‌های خطی و ساده با طول ثابت، مشابه با آنچه که در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود و ساختارهای شاخه‌ای با اندازه‌ها و اشکال متفاوت، مشابه با درختان تجزیه در برنامه‌ریزی ژنتیک، ترکیب می‌شوند. از آنجایی که تمامی ساختارهای شاخه‌ای با اندازه‌ها و اشکال متفاوت، در کروموزوم‌های خطی با طول ثابت کدگذاری می‌شوند، معادل این است که بگوییم در GEP ، ژنوتیپ و فنوتیپ سرانجام از یکدیگر جدا شده و اکنون سیستم می‌تواند از تمام مزایای تکاملی به سبب وجود آنها بهره ببرد. با وجود اینکه فنوتیپ در GEP، همان نوع از ساختارهای شاخه‌ای مورد استفاده در GP را شامل می‌شود، اما ساختارهای شاخه‌ای که بوسیلهٔ GEP استنتاج می‌شوند (که بیان درختی نیز نامیده می‌شوند) مبین تمامی ژنوم‌های مستقل هستند. بنابراین موضوع قابل توجه در GEP این است که دومین آستانه تکاملی یعنی "آستانه فنوتیپ" عبور داده می‌شود و این بدان معنا است که در طول تولید مثل، تنها ژنومی که اندکی اصلاح شده برای نسل بعد عبور داده می‌شود و در نتیجه نیازی به ساختارهای نسبتاً سنگین برای تکثیر شدن و جهش نیست، بطوریکه تمامی به‌سازی‌ها در یک ساختار خطی ساده که بعداً داخل یک بیان درختی بزرگ می‌شود، اتفاق می‌افتد (۸).

مراحل اصلی از برنامه‌ریزی بیان ژن به طور شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، فرآیند با

تولید تصادفی کروموزوم‌ها از تعداد معینی افراد (جمعیت اولیه) آغاز می‌شود. سپس این کروموزوم‌ها به صورت بیان درختی (ET) اظهار می‌شوند و میزان برازندگی هر فرد در مقابل مجموعه‌ای از موارد برازش، ارزیابی می‌گردد (که انتخاب محیط نیز نامیده می‌شود). افراد سپس مطابق شایستگیشان (عملکرد آنها در آن محیط ویژه) انتخاب می‌شوند تا با اصلاحات و بهبودهایی دوباره ساخته شوند و در نتیجه فرزندانی با ویژگی-های جدید باقی می‌گذارند. این فرزندان جدید، در یک چرخه، تحت همان فرآیند توسعه‌ای قرار می‌گیرند یعنی بیان ژنوم، مواجهه با انتخاب محیط، انتخاب بر مبنای برازش، و تولید مثل با بهبود. این فرآیند برای تعداد معینی از نسل‌ها تکرار می‌شود تا راه حل خوب و مناسبی پیدا شود. قابل ذکر است که تولید مثل تنها شامل تکثیر نیست بلکه، فعالیت عملگرهای ژنتیکی توانا در ایجاد تنوع ژنتیکی را نیز در برمی‌گیرد. در واقع تولید مثل، شامل تکثیر و اصلاحات ژنتیکی است. تکثیر عملیاتی است که چندین فرد مناسب از نسل حاضر را برای نسل بعد نگه می‌دارد. در طول تکثیر، ژنوم کپی شده به نسل بعد انتقال داده می‌شود. بدیهی است، تکثیر به تنهایی نمی‌تواند تغییرات را نشان دهد و فقط به واسطهٔ فعالیت بقیهٔ عملگرها، تغییرات ژنتیکی داخل جمعیت نشان داده می‌شود. این عملگرها، کروموزوم‌ها را به طور تصادفی انتخاب می‌کنند تا اصلاح شوند. بنابراین در GEP یک کروموزوم در یک زمان ممکن است بوسیله یک یا چند عملگر ژنتیکی اصلاح شود



شکل ۲- فلوچارت برنامه‌ریزی بیان ژن

و یا اصلاً مورد اصلاح قرار نگیرد. اصلاحات ژنتیکی شامل چندین جزء از قبیل جهش، وارون سازی، ترانهش IS، ترانهش RIS، ترانهش ژن، ترکیب تک نقطه‌ای، ترکیب دو نقطه‌ای و ترکیب ژنی است (۹). در این پژوهش برای به کارگیری مدل برنامه ریزی

بیان ژن از نرم افزار GeneXpro 4.0 استفاده گردید. به طور خلاصه پارامترهای استفاده شده در هر بار اجرای مدل در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای به کار گرفته شده در برنامه ریزی بیان ژن

تعداد کروموزوم‌ها	۳۰	نرخ برگشتی	۰/۱	نرخ ترکیب تک نقطه‌ای	۰/۳
طول هر رأس	۸	نرخ ترانهش ژنی	۰/۱	نرخ ترکیب دو نقطه‌ای	۰/۳
تعداد ژن‌ها	۳	نرخ جهشی	۰/۰۳	نرخ ترکیب ژنی	۰/۱

در این تحقیق برای ارزیابی توانایی و دقت مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در شبیه‌سازی تغییرات میزان سدیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی از نمایه‌های ضریب همبستگی (R) و میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد، که به ترتیب با استفاده از روابط ۱ و ۲ قابل محاسبه است:

$$R = \frac{\Sigma xy}{\sqrt{\Sigma x^2 \Sigma y^2}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$RMSE = \frac{\Sigma (X-Y)^2}{n} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که $x= X-X'$ ، $y= Y-Y'$ ، X مقدار مشاهداتی، Y مقدار محاسباتی، X' میانگین مقادیر مشاهداتی، Y' میانگین مقادیر محاسباتی و n تعداد داده‌هاست. علاوه بر معیارهای فوق از نمودارهای مشاهداتی- محاسباتی نیز جهت ارزیابی مدل‌ها استفاده گردید.

نتایج و بحث

در این تحقیق برای مدل‌سازی تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک تحت آبیاری با پساب با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن، به صورت تصادفی ۷۰ درصد داده‌های مشاهداتی مربوط به هدایت الکتریکی، اسیدیته و سدیم محلول خاک به منظور تعیین مدل مناسب

جدول ۳– خلاصه نتایج حاصل از برنامه‌ریزی بیان ژن

خصوصیات‌خاک	رابطه حاصل از مدل	R^2	RMSE
EC	$[EC_{Final}]=[EC_3]+[EC_2]+[EC_1]$	۰/۹۷	۰/۰۶
pH	$[pH_{Final}]=[pH_3]+[pH_2]+[pH_1]$	۰/۹۶	۰/۰۵
Na	$[Na_{Final}]=[Na_3]+[Na_2]+[Na_1]$	۰/۹۷	۰/۰۸

مورد استفاده قرار گرفته (5) و ۳۰ درصد داده‌ها در واسنجی مدل‌های مورد نظر بهره برده شد. با توجه به اینکه هدف بررسی ویژگی های شیمیایی خاک بود، پارامترهای شیمیایی خاک به عنوان متغیر مستقل و تیمار پساب به عنوان تابع انتخاب گردید.

اولین گام در بررسی مدل برنامه ریزی بیان ژن، انتخاب تابع برازش مناسب است که می تواند شکل های مختلفی به خود بگیرد. نتایج انتخاب اولیه تابع برازش در مدل برنامه ریزی بیان ژن بیانگر آن بود که استفاده از تابع برازش ریشه نسبی مربعات خطا

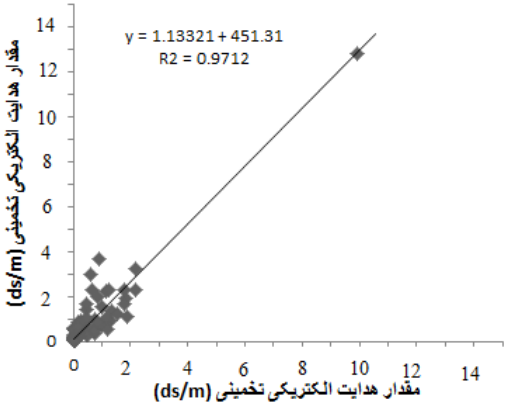
(RRSE[1]) برای همه نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش عملکرد بهتری دارد.

بنابراین تابع RRSE به عنوان تابع برازش هر سه فاکتور انتخاب شد.گام بعد انتخاب عملگرهای اصلی برای ساخت درخت تجزیه است. توابع ریاضی به کار گرفته شده در این پژوهش { ,+,-,*,/, √ , Log , Exp, power, sin, cos,...} بوده است. پس از انتخاب بهترین تابع برای هر یک از فاکتورها، گام بعد شامل پیدا کردن تابع پیوند مناسب است. از بین توابع پیوند شامل جمع و ضرب، تابع پیوند جمع، عملکرد بهتری در مقایسه با تابع پیوند ضرب داشت (ابارشی و همکاران، ۱۳۹۳).

با توجه به مقادیر جدول ۳ ملاحظه می‌گردد که روابط ارائه شده برای فاکتورهای مورد مطالعه دارای R^2 بالا و RMSE قابل قبول می‌باشند (۱).

شکل‌های ۳ تا ۵ نمودارهای تست و آموزش مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهد. با توجه به اشکال مذکور مشاهده می‌شود که داده‌ها حول خط نیمساز (y=x)، پراکنده شده‌اند (۵).

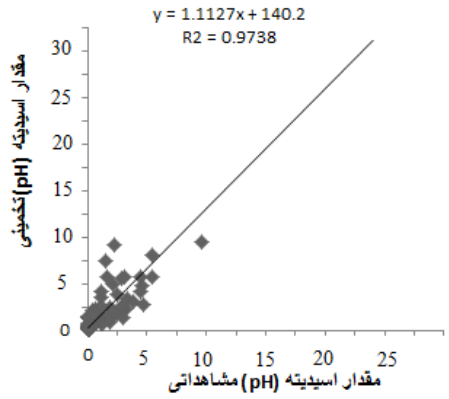
همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به خوبی توانسته است کاهش میزان هدایت الکتریکی خاک را با ضریب همبستگی بالا و معادل ۰/۹۷ در نتیجه استفاده از پساب در مزرعه مورد مطالعه را نشان دهد. این نتیجه مشابه با تحقیق زمانی باب‌گهری و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل بر ویژگی‌های خاک بود، در این تحقیق کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را در اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک مشاهده شد(۱۹). در این تحقیق کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را در اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک مشاهده شد. همچنین با افزایش زمان کاربرد فاضلاب کاهش بیشتر دیده می‌شود (۱۳). این مدل با دقت بالا شبیه‌سازی مناسبی برای تغییرات میزان هدایت الکتریکی نسبت به آب آبیاری انجام داده است.



شکل ۳- نمودار پراکندگی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی هدایت الکتریکی (EC) خاک تحت آبیاری با پساب به روش (GEP)

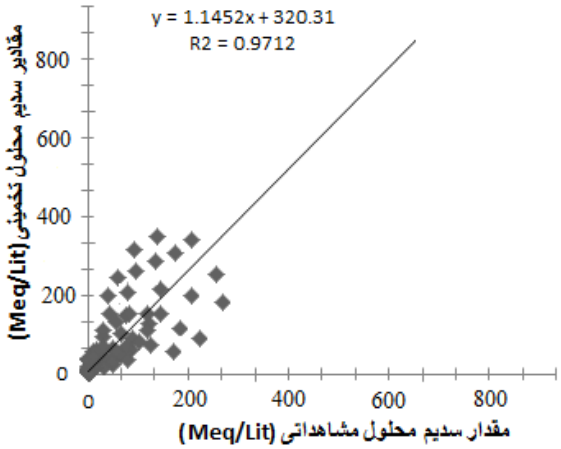
1 Root Relative Squared Error (RRSE)

شکل ۴ میزان اسیدیته مشاهداتی و تخمینی را طی افزودن پساب به خاک نشان می‌دهد. این شکل حاکی از آن است که مدل، توانسته است تا حدی نوسانات PH خاک را شبیه‌سازی نماید. البته تغییرات اندک آن به‌دلیل تأثیر ناچیز پساب بر اسیدیته در این مطالعه بوده است. همچون مطالعات زمانی باب‌گهری و همکاران (۲۰۱۱) که در بررسی لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل بر ویژگی‌های خاک، با کاربرد ۴۵ تن در هکتار از لجن فاضلاب این کارخانه، توانستند اسیدیته خاک را ۱/۸ درصد در مقایسه با شاهد کاهش دهند اما تفاوت حاصله معنی‌دار نبود(۱۹). همچنین کلی و همکاران [1](۲۰۱۰) افزایش اسیدیته خاک در بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه بیان کردند.



شکل ۴- نمودار پراکندگی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی اسیدیته (PH) خاک تحت آبیاری با پساب به روش (GEP)

شکل ۵ نمودار تغییرات مقدار سدیم محلول خاک نسبت به استفاده از پساب را شبیه‌سازی کرده است. همان‌طور که از نمودار برمی‌آید مدل برنامه‌ریزی ژن برای این نوسانات نیز دقت مناسبی نشان داده و به خوبی افزایش میزان آن مدل‌سازی شد. این افزایش میزان، در اثر آبیاری با پساب مضر بوده و تخریب خاک و گیاه را به همراه خواهد داشت (۶،11). براین اساس نتیجه گرفته می-شود که برنامه‌ریزی بیان ژن از دقت بالایی در پیش‌بینی تغییرات فاکتورهای اسیدیته، سدیم محلول و هدایت الکتریکی خاک برخوردار بوده است.



شکل ۵- نمودار پراکندگی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی سدیم محلول خاک تحت آبیاری با پساب به روش (GEP)

1 . Kelley et al

نتیجه‌گیری

استفاده از پساب در عرصه‌های منابع طبیعی و کشاورزی ضمن تأمین نیاز آبی ، با داشتن عناصر غذایی مهم می‌تواند نیاز غذایی گیاهان را جبران کند و هزینه مربوط به این بخش را کاهش دهد. اما تأثیری که این آب نامتعارف برخاک می‌گزارد نیز حائز اهمیت می‌باشد و پیش‌بینی اثرات آن مهم می‌باشد.

در این پژوهش به منظور تخمین تغییرات اسیدیته، شوری و سدیم خاک از روش برنامه-ریزی بیان ژن استفاده شد و براساس محاسبات انجام شده و نتایج به دست آمده از پارامترهای آماری، این روش دارای توانایی قابل توجهی در تخمین تغییرات میزان EC، PH و سدیم خاک در مزارع تحت آبیاری با پساب و شاهد داشته و نتایج قابل اطمینانی را ارائه می‌دهد.

با توجه به اشکال به خوبی کاهش هدایت الکتریکی، افزایش اسیدیته و سدیم محلول خاک درنتیجه استفاده از پساب، به عنوان آب آبیاری، نشان داده شد. این مدل با توجه به دقت کافی در بررسی مقادیر بالای داده در این تحقیق به عنوان روش مناسب شناخته شد و در بهترین حالت اجرای مدل، بالاترین مقدار ضریب تعیین، برای هدایت الکتریکی (۰/۹۷ =R^2)، اسیدیته (۰/۹۶=R^2) و سدیم محلول خاک (۰/۹۷=R^2) محاسبه شد. همچنین در بهترین سناریو مدل برنامه‌ریزی بیان ژن مقدار RMSE برای هدایت الکتریکی برابر ۰/۰۶، اسیدیته برابر ۰/۰۵ و سدیم محلول برابر ۰/۰۸ محاسبه گردید. علاوه براین از دیگر قابلیت-های مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، ارائه معادله ریاضی بین متغیر وابسته و سایر متغیرهای مستقل می‌باشد که این مساله برای پیش-بینی‌های آتی استفاده از پساب به عنوان آب آبیاری اهمیت به‌سزایی دارد.

Refrences

1. Abareshi .F., M. Meftah Halghi., H .Sanikhani & A.A. Dehghani. 2014. Comparison of three intelligence techniques for predicting water table depth fluctuations (Case study: Zarringol plain). J. of Water and Soil Conservation. 21(1). .(in persian)
2. Aghabarati, A., S.M. Hosseini., A.,Esmaili& H Maralian. 2009. The effect of irrigation with municipal effluent on physic-chemical characteristics of soil, accumulation of nutrient and Cd in olive trees (Olea europaea L.). Environmental Sciences 6, 1-10. .(in persian)
3. Aiello, R., G.L. Cirelli & S.Consoli. 2007. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits: A case study in Sicily (Italy). J. Agricultural Water Management. 93. pp.65-72.

4. Chirino, E., A, Bonet, J. Bellot & J .Sanchez. 2006. Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid Landscape in south eastern Spain. Journal of Arid Environments 65, 627-646.
5. Eghbali.P., R. Daneshfaraz & S.M. Saghebian. 2014. Simulation of Temporal Development of Scour Hole around a Wing-wall Abutment Using Gene Expression Programming. J. of Water and Soil Conservation, 23(1).
6. Emamgholi, M. 2012. The effect of urban wastewater application for Desert land reclamation on some Chemical properties of soil and vegetation (Case study: Segzi, Isfahan). A thesis submitted for Master of Science. Faculty of natural resources, university of Tehran. .(in persian)
7. Feizi.M, M. Shayan jazi & H Ghorbani. 2010. The effect of Irrigation with Wastewater on Certain Soil Physical and chemical properties. 2th conference on the status of recycled water and effluent water in water resources management: applications. .(in persian)
8. Ferreira, C. 2006. Gene expression programming: mathematical modeling by an artificial intelligence. 2nd ed. Springer-Verlag, Germany. 478p.
9. Ghorbani M.A., R. khatibi., A. Aytak., O. Makarynsky & J. Shiri,. 2010. Sea Water Level Forecasting Using Genetic Programming and Comparing the Performance with Artificial Neural Networks, Computers. .(in persian)
10. Hosseinpour, A., G.H. Haghnia, A. Alozadeh & A. Fotovat. 2007. Effect of irrigation with raw and treated wastewaters on chemical characteristic of soil in different depths under continuously and intermittent flood conditions. Iranian Journal of Irrigation & Drainage. .(in persian)
11. Husnu Kayikcioglu, H. 2012. Short-term effects of irrigation with treated domestic wastewater on microbiological activity of a Vertic xerofluvent soil under Mediterranean condition. Journal of Environmental Management 102: 108-114.
12. Kelley, W.D., D.C. Martens., J.R. Reneau & T.W. Simpson. 2010. Agricultural use of Wastewater sludge. Department of Agronomy virginia polytechnic institute and state university, Blacksburg, virginia. 2406-3397.
13. Khoshgoftarmanesh, A.H. 2007.Evaluation of nutritional status and optimal management of fertilizer. Isfahan University of technology publication center. .(in persian)
14. Levy, G.J., P. Fine., & A. Bar-tal. 2011. Treated Wastewater in Agriculture: Use and Impacts on the Soil Environment and Crops. 1st Edition. Wiley-Blackwell, Inc. ISBN 978-1-4051-4862-7.
15. Sharma, R., M. Agrawal 7 F. Marshall,. 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. Ecotoxicology and Environmental Safety 66, 258–266.

16. Sparks, D. L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Leoppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, G. T. Johnston & M. E. Sumner., 1996. Methods of soil analysis. Soil Sci. Soc. of Am. Madison, Wisconsin, USA.
17. Taghvaeian, A., A. Alizadeh 7 S.H. Danesh,. 2007. Effects of irrigation with sewage on physical and some properties of soil. Iranian Journal of Irrigation & Drainage 1: 49. .(in persian)
18. Zamani babgohari.J, M .Afuni., A .Khoshgoftarmanesh & H. Eshqhizadeh. .2011. Effect of Polyacryl Sewage Sludge, Municipal Compost and Cow Manure on Soil Properties and Maize Yield Journal of water and soil science. 14(54): winter 2011. .(in persian)