Ar
Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 15, Oct.-Nov. 2021, p. 737-756

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۵، مهر - آبان ۱۴۰۰، ص. ۷۵۶-۷۳۷

مقاله علمی-پژوهشی

تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری

مسعود پورغلام آمیجی[۱]، خالد احمدالی[۲*] و عبدالمجید لیاقت[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۳

چکیده

تخصیص بودجه به سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در کنار بررسی کارایی آن‌ها، یکی از موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه متخصصان صنعت آب و مسئولان امر می‌باشد. برای این منظور، شناسایی عوامل و اجزای مؤثر بر هزینه‌های یک سامانه آبیاری، موضوع بسیار مهمی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی یکی از مشکلات اساسی مدلسازی داده‌مبنا، تعیین مؤثرترین متغیرهای ورودی در تخمین یک خروجی معین است. آزمون گاما یکی از مهم‌ترین ابزارهایی است که می‌تواند برای تحلیل حساسیت و انتخاب مهم‌ترین ویژگی از بین تعداد زیادی از ویژگی‌های تأثیرگذار بر خروجی استفاده شود. بنابراین این پژوهش با هدف تعیین مؤثرترین ویژگی‌ها بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در چهار بخش شامل هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T) انجام شد. ابتدا داده‌ها و اطلاعات ۱۰۰ پروژه آبیاری قطره‌ای اجراشده در نقاط مختلف کشور، جمع‌آوری گردید و بانک اطلاعاتی شامل ۳۹ متغیر مهم و تأثیرگذار در هزینه بخش‌های ذکرشده، تهیه شد. برای تحلیل حساسیت و انتخاب متغیرهای ورودی اثرگذار بر هزینه بخش‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای از نرم‌افزار winGamma استفاده شد. بر اساس تحلیل حساسیت انجام‌شده، بهترین معیارهای ارزیابی در بخش TC_P به دست آمد و مقدار عددی آماره گاما، خطای مطلق قابل انتظار (Expected Absolute Error)، آماره گرادیان (Gradient)، خطای استاندارد آماره گاما (Standard Error of Γ)، ضریب تبیین (R^2) و شاخص V-Ratio به ترتیب برابر با ۰/۰۴۸، ۰/۲۱۹، ۰/۰۰۸، ۰/۰۲۴، ۰/۸۷ و ۰/۱۹۲ ثبت شد که این بیانگر همبستگی بالای متغیرهای مورد مطالعه با هزینه بخش مذکور است. برای یافتن ترکیب بهینه از داده‌ها برای مدل‌سازی هزینه، از سه روش الگوریتم ژنتیک (GA)، تپه‌نوردی (HC) و تعبیه کامل (FE) استفاده شد. نتایج این بخش نشان داد که تعداد متغیرهای مورد نیاز و ترکیب بهینه ورودی که در روش‌های GA و HC به ترتیب حدود ۴۰ درصد و ۹۰ درصد از متغیرها (به ترتیب ۱۶ و ۳۵ متغیر) در امر مدل‌سازی دخیل بودند، در روش FE به ۲۰ درصد رسیده و فقط هشت متغیر برای مدل‌سازی هزینه انتخاب شده است که نتایج این روش به عنوان مدل برتر انتخاب گردید. همچنین نتیجه مدل هیبرید نشان داد زمانی که از پنج متغیر Q_T (l/s) (مقدار کل دبی آب قابل دسترس)، S_R (m) (فاصله ردیف گیاهان)، Q_E (l/s) (دبی گسیلنده)، T (h) (تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز) و N_{IT} (n) (تعداد نوبت‌های آبیاری) به عنوان ترکیب بهینه ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای استفاده شود، ساده‌ترین و بهینه‌ترین مدل به دست می‌آید. بنابراین نتایج این مطالعه می‌تواند در شناسایی متغیرهای تأثیرگذار در هزینه‌های سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار و نهایتاً مدل‌سازی اقتصادی این سامانه‌ها استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: آزمون گاما، الگوریتم ژنتیک، تپه‌نوردی، تعبیه کامل، آبیاری تحت‌فشار

مقدمه

مطابق پیش‌بینی‌ها طی ۲۵ سال آینده نیاز به تولیدات گیاهی دو برابر خواهد شد اما مشکل کمبود منابع آب، مانعی در برابر تولید محصولات کشاورزی خواهد بود (Sinha & Dhanalakshmi, 2022). بنابراین با توجه به اینکه بخش کشاورزی، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است، نوک پیکان به این سمت خواهد بود و تلاش برای کاهش مصرف آب در این بخش و افزایش بهره‌وری آب، امری

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- استادیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(* نویسنده مسئول: Email: Khahmadauli@ut.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.2021.15.4.1.1

www.SID.ir

Archive of SID

ضروری و الزامی به نظر می‌رسد (Oki, 2020; Valentín et al., 2020; Pourgholam-Amiji et al., 2020). استفاده از روش‌های نوین آبیاری علاوه بر تأثیر در به‌زراعی محصولات کشاورزی مخصوصاً امکان استفاده بیشتر و بهتر از آب موجود، از فرسایش خاک نیز جلوگیری خواهد کرد. همچنین تأمین رطوبت کافی و جلوگیری از تلفات، منجر به کارایی بیشتر مصرف آب و جلوگیری از مصرف بیش از حد آب در کشاورزی خواهد شد (El-Shater et al., 2017; Valentín et al., 2020; Flores et al., 2021). اهمیت کشاورزی آبی و توسعه سامانه‌های آبیاری در این بخش بدین منظور است که حدود ۷۰ درصد جمعیت دنیا وابسته به اراضی دیم و مابقی وابسته به اراضی فاریاب هستند. بنابراین، بدون آبیاری و کشاورزی تأمین غذای کافی برای جمعیت کنونی دنیا امکان‌پذیر نیست (Gany et al., 2019; Yin et al., 2021; Sinha & Dhanalakshmi, 2022). در کشور ایران نیز کمتر از ۳۰ درصد اراضی فاریاب تحت پوشش سامانه‌های نوین آبیاری قرار گرفته‌اند و این موضوع، اهمیت بررسی نقاط ضعف و قوت، تعیین عوامل اثرگذار بر هزینه‌های سامانه‌های مختلف آبیاری و سپس مدل‌سازی اقتصادی سامانه‌ها و به‌ویژه برآورد هزینه یک سامانه آبیاری پیش از احداث را نشان می‌دهد.

از طرفی یکی از مهم‌ترین نیازهای وزارت جهاد کشاورزی، وزارت نیرو و سایر متولیان صنعت آب و همچنین کارفرمایان، مشاوران و پیمانکاران پیش‌بینی هزینه‌های پروژه‌ها در مرحله اولیه طراحی است. از آنجایی که توسعه سامانه‌های مختلف آبیاری تحت‌فشار جزء سیاست‌های راهبردی وزارت جهاد کشاورزی می‌باشد، بنابراین داشتن دانش، اطلاعات و پیش‌آگاهی از عوامل مؤثر بر هزینه‌های یک سامانه آبیاری در مناطق مختلف و قبل از اجرا، کمک شایانی به مدیریت هزینه خواهد نمود. همچنین با توجه به وسعت قابل‌توجه اراضی تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و همچنین پتانسیل توسعه آن در کشور، این شناسایی ویژگی‌های تأثیرگذار بر هزینه و سپس مدل‌سازی آن، در بودجه‌بندی سالانه کشور نیز نقش بسزایی ایفا خواهد کرد و توجه به آن از اهم امور می‌باشد.

انتخاب ویژگی[1] (FS) و پردازش داده‌ها یک مؤلفه اساسی بسیاری از مشکلات طبقه‌بندی، مدل‌سازی و رگرسیون است زیرا برخی داده‌ها اثر یکسانی دارند، برخی دارای اثر گمراه‌کننده و برخی دیگر تأثیری در طبقه‌بندی یا مشکلات رگرسیون ندارند و بنابراین انتخاب اندازه بهینه و حداقل برای ویژگی‌ها می‌تواند مفید باشد (Miao & Niu, 2016; Solorio-Fernández et al., 2020). از آنجایی که انتخاب ویژگی به عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات پردازش داده‌ها، یک موضوع تحقیق مهم و به‌روز در تشخیص الگو[2] (PR)، یادگیری ماشین[3] (ML) و داده‌کاوی[4] است، لذا بسیار پرکاربرد بوده و پروژه‌ها زمانی ارزشمند خواهند بود که از تکنیک انتخاب ویژگی و آنالیز حساسیت[5] در آن‌ها استفاده شود. با توسعه ذخیره‌سازی اطلاعات، داده‌های ورودی دارای تعداد زیادی ویژگی هستند که ممکن است شامل انبوهی از ویژگی‌های بی‌ربط و یا کم‌اهمیت باشند. ویژگی‌های غیرضروری اغلب منجر به راندمان پایین یادگیری الگوریتم و مشکل می‌شوند. بنابراین، انتخاب ویژگی‌های مرتبط و لازم برای یک کار یادگیری معین، یک قدم بسیار مهم است (Liu et al., 2017; Pazoki et al., 2020).

یکی از عوامل ایجاد خطا در مدل‌های داده مبنا، نبود رابطه هموار بین مجموعه داده‌های ورودی و خروجی می‌باشد و نیاز است ترکیب ورودی بهینه تعیین شود. یکی از روش‌های مناسب در تعیین ترکیب ورودی بهینه، آزمون گاما[6] (GT) است. در آزمون گاما اگر تعداد پارامترهای ورودی زیاد باشند، تعداد فراوانی ترکیب معنادار برای محاسبه آماره گاما و انتخاب ترکیب مناسب وجود خواهد داشت. بنابراین باید مهم‌ترین ویژگی‌ها که بیشترین تأثیر را در خروجی دارند، شناسایی شوند. تحقیقات متعددی، توانایی بالای آزمون گاما در تعیین مهم‌ترین ویژگی یا ویژگی‌ها از بین تعداد زیادی متغیر را گزارش کردند (Remesan & Mathew, 2016). در همین باره، قبائی سوق و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر پیش‌پردازش پارامترهای ورودی به شبکه‌های عصبی مصنوعی[7] (ANNs) را با استفاده از روش‌های رگرسیون گام‌به‌گام پیش‌رونده[8] (FS) و گاما تست (GT) به منظور تخمین سریع‌تر تبخیر و تعرق روزانه ارزیابی کردند. برای ارزیابی تأثیر پیش‌پردازش پارامترهای ورودی با استفاده از معیارهای مختلف آماری سنجش خطا به مقایسه دو مدل ANN-FS و ANN-GT (با پارامترهای پردازش‌شده) با یکدیگر و هم‌چنین با مدل ANN که هیچ‌گونه پیش‌پردازشی روی پارامترهای ورودی آن انجام نشده است، پرداخته شد. نتایج نشان داد که هر سه مدل از دقت بالایی برای تخمین ETo روزانه برخوردارند و از میان سه مدل فوق، مدل ANN-GT با مقدار ضریب تبیین ۰/۹۹۹ و ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۴۸۳ میلی‌متر بر روز نسبت به دو مدل ANN-FS و ANN برتری داشت. بنابراین توانایی بالای تعیین ترتیب اهمیت پارامترهای ورودی برای آموزش شبکه و یافتن بهترین ترکیب‌ها، آزمون گاما را می‌تواند به عنوان ابزار مفیدی برای پیش‌پردازش پارامترهای ورودی برای مدل‌سازی‌ها تبدیل کند. رضازاده جودی و ستاری (۱۳۹۶) عملکرد

1- Feature Selection
2- Pattern Recognition

3- Machine Learning
4- Data Mining
5- Sensitivity Analysis
6- Gamma Test
7- Artificial Neural Networks
8- Forward Selection

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های داده محور در مدل‌سازی بارش ماهانه مشهد را مورد ارزیابی قرار دادند. با استفاده از آزمون گاما، پارامترهایی تأثیر چندانی در مدل‌سازی نداشتند، حذف شده تا از پیچیدگی مدل کاسته شود. در نهایت گزارش کردند که روش‌های لینک‌شده با آزمون گاما، بهترین خروجی را داشته و آماره‌های ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق برای آن به ترتیب ۰/۸۷، ۱۲/۳۷ و ۸/۷۵ میلی‌متر به دست آمد که نتایج قابل‌قبولی است. میرعربی و همکاران (۱۳۹۷) نیز به بررسی عملکرد مدل‌های داده مبنا در شبیه‌سازی گام‌های مختلف زمانی سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش تلفیقی آزمون گاما و الگوریتم ژنتیک (GA[1]-GT) پرداختند. در این راستا از قابلیت‌های روش آزمون گاما و تلفیق آن با الگوریتم ژنتیک (GA-GT) به منظور انتخاب ترکیب ورودی بهینه و نیز روش M-Test در تعیین طول بهینه داده‌های آموزش مدل استفاده شد. نتایج مشخص کرد که دقت مدل‌های داده مبنا در شبیه‌سازی‌ها قابل‌قبول بوده و عملکرد و کارایی مدل‌ها نیز مطلوب به دست آمد.

در پژوهشی رمسن و همکاران با استفاده از گاما تست، عوامل مؤثر بر تابش خورشیدی را در حوضه آبریز برو[2] انگلستان تعیین نمودند و بر توانایی این روش در شناسایی پارامترهای تأثیرگذار تأکید کردند (Remesan et al., 2008). مقدم‌نیا و همکاران نیز برای مدل‌سازی تبخیر روزانه منطقه چاه‌نیمه، واقع در استان سیستان و بلوچستان از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) و سیستم استنباط عصبی و فازی تطبیقی (ANFIS) استفاده نمودند. آن‌ها در تحقیق خود از چهار پارامتر هواشناسی شامل دمای هوا، کمبود فشار بخار اشباع، رطوبت نسبی و سرعت باد در ارتفاع دو متری استفاده نموده و با استفاده از گاما تست بهترین ترکیب که شامل پارامترهای کمبود فشار بخار اشباع، رطوبت نسبی و سرعت باد در ارتفاع دو متری می‌باشد را به دست آوردند. همچنین با استفاده از آزمون M تست (MT[3])، داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی تبخیر را به دست آورند و در پایان بیان داشتند این آزمون‌ها باعث بهبود کیفیت مدل و شبیه‌سازی‌ها شده است (Moghaddamnia et al., 2009).

در مطالعه‌ای سیفی و ریاحی از یک مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات–گاما تست (LSSVM[4]-GT) برای تخمین ETo روزانه در شرایط خشک ایستگاه زاهدان استفاده کردند. در این مطالعه از آزمون گاما برای انتخاب بهترین بردارهای ورودی برای مدل‌ها بهره گرفته شد. نتایج حاکی از برتری مدل ترکیبی در مقایسه با سایر مدل‌های هوش مصنوعی بود و معیارهای ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق برای مدل LSSVM-GT به ترتیب برابر با ۰/۹۹، ۰/۱ و ۰/۱۳ میلی‌متر بر روز بود و بر اساس مقایسه عملکرد کلی، مدل توسعه‌یافته تا حد زیادی قادر به ارائه پیش‌بینی‌های مطلوب با دقت بالا در مناطق خشک ایران می‌باشد (Seifi & Riahi, 2020). در پژوهش دیگری، نکویی و همکاران توانایی مدل سیستم استنباط عصبی و فازی تطبیقی (ANFIS[5]) در برآورد عملکرد زعفران را با استفاده از داده‌های هواشناسی ارزیابی کردند. در این تحقیق، برای ورود بهترین ترکیب پارامترهای اولیه و تعیین مؤثرترین و مهم‌ترین ویژگی‌ها از نرم‌افزار winGamma استفاده شد و نتایج حاکی از دقت بالای این نرم‌افزار بود (Nekue et al., 2021). کومار و کومار نیز در مدل‌سازی تخلیه رسوب با استفاده از ماشین بردار پشتیبان، از آزمون گاما برای تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های استفاده کرده و گزارش کردند که نتایج این آزمون، باعث بهبود مدل‌سازی شد (Kumar & Kumar, 2021).

با توجه به اهمیت روزافزون آب به مثابه یک کالای اقتصادی و حیاتی در بخش کشاورزی، برآورد هزینه اولیه و نهایی پروژه و سامانه‌های آبیاری نیز یکی از ابزارهای مدیریت پروژه است که به مدیران پروژه امکان تصمیم‌گیری با دقت بالاتر در مراحل مختلف را می‌دهد. قبل از انجام این مهم، لازم است که مهم‌ترین ویژگی‌ها که بیشترین تأثیر را بر هزینه یک سامانه آبیاری دارند، شناسایی شود و بحث با ارزش تعیین ویژگی‌های تأثیرگذار بر هزینه سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار به‌ویژه آبیاری قطره‌ای، حلقه گمشده پژوهش‌های پیشین بوده است. انتخاب درصد مناسب داده‌ها برای مرحله آموزش و تست، جزء جدایی‌ناپذیر کارهای شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و مدل‌سازی است اما اینکه به طور علمی و به صورت دقیق چه مقدار از داده‌ها باید به این دو بخش اختصاص داده شود، مطالعات اندکی موجود می‌باشد (Moghaddamnia et al., 2009; Seifi & Riahi, 2020; Nekue et al., 2021). در این مطالعه برای اولین بار، با استفاده از تکنیک GT و MT و با استفاده از سه تکنیک الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم تپه‌نوردی[6] (HC) و الگوریتم تعبیه کامل[7] (FE)، به شناسایی مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر هزینه قسمت‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و یافتن درصد بهینه داده‌های آموزش و تست برای مدل‌سازی هزینه‌های هر بخش پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز

در این پژوهش از آمار و اطلاعات ۱۰۰ سامانه آبیاری قطره‌ای اجراشده بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ در نقاط مختلف کشور استفاده

1- Genetic Algorithm
2- Brue
3- M-Test
4- Least Square Support Vector Machine

5- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
6- Hill Climbing
7- Full Embedding

www.SID.ir

Archive of SID

گردید. برای هر سامانه، آمار و اطلاعات مورد استفاده از دفترچه‌های طرح، نقشه‌های اتوکد و فایل اکسل مربوط به محاسبات طراحی استخراج و هزینه سامانه‌ها به دو بخش کلی هزینه ایستگاه پمپاژ و هزینه مزرعه دسته‌بندی شد. انواع متغیرهای کاندید برای ورودی مدل برآورد هزینه‌های سامانه آبیاری قطره‌ای شامل متغیرهای هندسی زمین، متغیرهای مربوط به خاک، متغیرهای مربوط به منبع آبی، متغیرهای مربوط به گیاه و اقلیم، متغیرهای مدیریت آبیاری و متغیرهای هیدرولیکی هستند که متغیرهای مذکور به شرح زیر استخراج شدند:

اطلاعات عمومی طرح (استان، شهرستان، مالک، نوع محصول، نوع منبع آب، نوع انرژی و سال اجرا)، اطلاعات مربوط به منبع آبی (میزان و وضعیت حقابه، هدایت الکتریکی، اسیدیته، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کربنات و بی‌کربنات)، اطلاعات مربوط به گیاه (فاصله ردیف‌های درختان، فاصله درختان روی ردیف، حداکثر تبخیر-تعرق روزانه گیاه، سطح سایه‌انداز و عمق توسعه ریشه)، اطلاعات مربوط به خاک (ظرفیت نگهداری آب در خاک، درصد تخلیه مجاز رطوبتی، درصد سطح خیس‌شده، نفوذپذیری نهایی و جرم مخصوص ظاهری)، اطلاعات مربوط به سامانه آبیاری (دبی متوسط کارکرد، فشار متوسط کارکرد، نوع آرایش لترال‌ها، تعداد گسیلنده برای هر گیاه و فاصله گسیلنده)، اطلاعات مربوط به مدیریت آبیاری مزرعه (دور آبیاری طراحی، نیاز خالص آبیاری، نیاز ناخالص آبیاری، مدت آبیاری، حداکثر ساعات آبیاری در یک شبانه‌روز، حداکثر تعداد نوبت آبیاری در هر دور، تعداد نوبت آبیاری، مساحت متوسط هر واحد آبیاری و دبی متوسط هر واحد آبیاری)، اطلاعات مربوط به ویژگی‌های مزرعه‌ای (شکل هندسی زمین، شیب متوسط، اختلاف ارتفاع منبع آبی تا بلندترین نقطه زمین، طول لترال‌ها، قطر و طول لوله‌های اصلی، نیمه‌اصلی و مانیفولدها و اتصالات)، اطلاعات ایستگاه پمپاژ (نوع پمپ، توان موتور، ارتفاع پمپاژ، دبی پمپاژ، اتصالات و لوازم سیستم کنترل مرکزی).

به‌روزسانی هزینه تمام‌شده پروژه‌ها

به دلیل اینکه تمام هزینه به زمان وابسته هستند، با استفاده از تورم سالانه (به صورت پله‌ای)، قیمت سال‌های پیشین به سال پایه تبدیل و هزینه‌ها به‌روزرسانی شد (Park, 2012):

$$X_t = X_0(1+r)^n \quad (۱)$$

که در آن X_t ارزش فعلی سرمایه، X_0 ارزش پایه سرمایه (ارزش سرمایه‌گذاری در سال احداث سامانه)، r متوسط نرخ بهره بانکی سالانه و n تعداد سال از سال احداث سامانه تاکنون می‌باشد.

انتخاب ویژگی‌های برتر

تحلیل حساسیت ممکن است به دلایل مختلفی از جمله شناسایی ورودی‌های کلیدی و یا کشف پاسخ مدل به ورودی‌های خاص انجام شود. حساسیت یک مدل به یک پارامتر ورودی عبارت است از نسبت تغییر در پارامتر خروجی مدل به ازای تغییر در پارامتر مذکور در حالتی که سایر پارامترها ثابت نگه‌داشته شوند. در آنالیز حساسیت هر پارامتر ورودی، مقدار تغییرات معادل یک محدوده خاص درصد در نظر گرفته می‌شود تا شرایط لازم تحلیل حساسیت را فراهم آورده و حداکثر محدوده ممکن خطاها را در پارامترهای ورودی پوشش داده باشد (Borgonovo & Plischke, 2016; Hart et al., 2019). خروجی-های مدل در وضعیت اولیه (بدون تغییر داده‌ها)، به عنوان خروجی مبنا در نظر گرفته می‌شوند. با تغییر هر یک از پارامترهای ورودی و ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها، تأثیر آن بر روی پارامتر خروجی ارزیابی می‌شود (Komkov *et al*., 1986; Saltelli *et al*., 2008). در یک مدل عددی و یا هر مدل دیگر، تحلیل حساسیت روشی است که تأثیر عدم قطعیت‌های یک یا چند متغیر ورودی که می‌تواند منجر به عدم قطعیت در متغیرهای خروجی شود را اندازه‌گیری می‌کند. این تحلیل بسیار مفید است زیرا پیش‌بینی مدل‌سازی‌ها را بهبود داده و زمان انجام آماده‌سازی داده، پیش‌پردازش و در نهایت مرحله مدل‌سازی را کاهش می‌دهد. به عبارت دیگر، SA داده‌های مهم برای سهولت و سرعت در مدل‌سازی را پیدا کرده و نتایج را بهبود می‌بخشد. در واقع، این تجزیه‌وتحلیل، عدم قطعیت پارامترهای ارزیابی را کاهش می‌دهد و سپس می‌توان در مورد پدیده مورد مطالعه تصمیم‌گیری کرد. (Douglas-Smith *et al*., 2020; Qian & Mahdi, 2020). جدول (۱) متغیرهای کاندید برای بررسی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را نشان می‌دهد.

نرم‌افزار winGamma

آزمون گاما (GT) یک ابزار مدل‌سازی غیرخطی است که به کمک آن می‌توان ترکیب مناسبی از پارامترهای ورودی برای مدل‌سازی داده‌های خروجی و ایجاد یک مدل هموار را بررسی نمود (Moghaddamnia et al., 2009). آزمون گاما اولین بار توسط کنکار (Koncar, 1997) و استفانسن و همکاران (Stefánsson et al., 1997) گزارش شد و بعدها توسط پژوهشگران دیگری همچون دورانت (Durrant, 2001) و تسوی و همکاران (Tsui et al., 2002) به کار برده شد. مدل آزمون گاما توسط دورانت (Durrant, 2001) به صورت بسته نرم‌افزاری معرفی گردید. این مجموعه نرم‌افزاری، یک ابزار تجزیه‌وتحلیل داده‌های عمومی است که به طور خاص برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سیستم‌های غیرخطی ایجاد شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- متغیرهای کاندید برای برآورد هزینه سامانه آبیاری قطره‌ای

نماد	توضیح	نماد	توضیح
A	مساحت زمین	L_{16mm} (m)	طول کل لترال
P/A (1/m)	شکل زمین (نسبت محیط به مساحت)	L_{32mm} (m)	طول لوله رابط یک
N_{PL}	تعداد قطعات زمین	L_{40mm} (m)	طول لوله رابط دو
D_{SF} (m	فاصله منبع آبی تا زمین	L_{50mm} (m)	طول لوله مانیفولد
ΔH_{SF} (m)	اختلاف ارتفاع منبع آبی و زمین (بحرانی)	L_{63mm} (m)	طول لوله فرعی
Q_T (l/s)	مقدار کل دبی آب قابل دسترس	L_{75mm} (m)	طول لوله نیمه اصلی
N_{HO} (hour)	نسبت ساعتی در دور آبیاری که آب در اختیار مالک است	L_{90mm} (m)	طول لوله اصلی
S_R (m)	فاصله ردیف گیاهان	L_{110mm} (m)	طول لوله جانبی
S_P (m)	فاصله گیاه روی هر ردیف	L_{125mm} (m)	طول لوله جانبی
ET_P (mm/day)	تبخیر-تعرق گیاه	L_{160mm} (m)	طول لوله جانبی
F_{SP} (mm/hr)	نفوذپذیری نهایی خاک	L_{200mm} (m)	خط انتقال طولانی
AW (mm/m)	ظرفیت نگهداری آب در خاک (FC-PWP)	W_Q	کیفیت آب از نظر نیاز به فیلتراسیون
W_A (%)	سطح خیس‌شده	Q_S (l/s)	دبی سیستم
Q_E (l/s)	دبی گسیلنده	P_P (kw)	توان پمپ مورد نیاز
N_E (n)	تعداد کل گسیلنده	H_P (m)	ارتفاع پمپاژ
T (h)	تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز	D_{FE} (m)	فاصله زمین تا خطوط برق
N_{IT} (n)	تعداد نوبت‌های آبیاری	S (%)	نوع منطقه یا شیب غالب (کوهستانی، دشت)
A_{IT} (ha)	مساحت نوبت‌های آبیاری	TC_P (Rial)	هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (ریال)
N_{IU} (n)	تعداد واحدهای آبیاری	TC_F (Rial)	هزینه لوازم داخل مزرعه (ریال)
A_{IU} (ha)	مساحت واحدهای آبیاری	TC_I (Rial)	هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (ریال)
F (day)	دور آبیاری	TC_T (Rial)	هزینه کل (ریال)
N_{IUS} (n)	تعداد واحدهای آبیاری که همزمان آبیاری می‌شوند		

هنگامی که عوامل مؤثر بر پدیده‌ای به طور قابل‌ملاحظه‌ای زیاد باشد، با استفاده از آزمون گاما می‌توان ترتیب میزان اهمیت متغیرهای ورودی و بهترین ترکیب از میان تمام ترکیب‌های ممکن را به دست آورد. آزمون گاما با پذیرش مقدار خطا در به دست آوردن خروجی از روی مقدار ورودی و به خاطر پیچیدگی و غیرخطی بودن پدیده‌های مدل‌سازی، این خطا را به صورت رابطه زیر بین مجموعه داده‌های ورودی و خروجی با تابع f نشان می‌دهد:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m) + r \quad (۲)$$

که در آن x_iها داده‌های ورودی، y خروجی، f نمایانگر تابع هموار است که برای مدل‌سازی داده‌ها استفاده می‌شود و r نشان‌دهنده متغیر تصادفی است که برای نمایش خطا به کار می‌رود. مقدار آماره گاما برابر عرض از مبدأ خط رگرسیونی ایجادشده است که معادله آن به صورت زیر است:

$$\gamma = A\delta + \Gamma \quad (۳)$$

آماره Γ واریانس خروجی مدل است که با یک مدل ساده و روش‌های سنتی قابل محاسبه نیست. همچنین A، محاسبه شیب خط رگرسیون می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد پیچیدگی سیستم مورد بررسی ارائه دهد (Remesan & Mathew, 2016).

برای معنی‌دار بودن نتیجه آزمون گاما، باید دو پیش‌شرط اصلی رعایت شود. اول اینکه نمونه‌برداری بُردار داده‌های ورودی باید به گونه‌ای باشد که با افزایش تعداد نقاط داده، باید فاصله بین x (i) و نزدیک‌ترین همسایه x (j) صفر شود. دوم اینکه این مدل فرض می‌کند که توزیع نویز، r، در هر خروجی y، مستقل از ورودی x است. به طور خاص، واریانس نویز برای یک خروجی معین ثابت است. آزمون گاما برآورد میانگین واریانس نویز را بر می‌گرداند و می‌تواند هنگام انتخاب ورودی‌های مربوطه اطلاعات مفیدی را ارائه دهد (Tsui et al., 2002). آزمون گاما یک روش غیر پارامتری است و صرف‌نظر از تکنیک‌های خاصی که برای ساخت مدل بعدی از آن استفاده می‌شود، نتایج حاصل می‌شود. لذا می‌توان با در نظر گرفتن یک اصطلاح دیگر (V-Ratio) که یک برآورد نویز ثابت از مقیاس صفر تا یک را نشان می‌دهد، نتیجه را استاندارد کرد. V-Ratio به این صورت تعریف می‌شود:

$$V_Ratio = \frac{\Gamma}{\sigma^2(y)} \quad (۴)$$

که در آن $\sigma^2(y)$ واریانس خروجی y است که اجازه می‌دهد یک قضاوت مستقل از محدوده خروجی در مورد چگونگی مدل‌سازی خروجی توسط یک تابع هموار شکل گیرد. V-Ratio نزدیک به صفر

www.SID.ir

Archive of SID

نشان می‌دهد که درجه بالایی از پیش‌بینی خروجی y توسط داده‌های ورودی وجود دارد.

در این پژوهش برای محاسبه آماره آزمون گاما، از نرم‌افزار winGamma استفاده شد تا پیش‌پردازش انجام شده و سپس رابطه بین متغیرها با خروجی یا هزینه هر بخش تعیین شود. کم بودن خطای استاندارد به معنی بهتر بودن برازش مدل است و گاما (Gamma) معادل واریانس خطای مدلی است که با این داده‌ها ساخته می‌شود. شاخص V-Ratio نیز نشان‌دهنده میزان خروجی است که به وسیله تابع مدل شده است و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد یعنی مدل نمی‌تواند به خوبی خروجی را تخمین بزند یا به عبارتی خروجی معادل است با نویز رندوم. بنابراین هرچه آماره گاما و شاخص V-Ratio به صفر نزدیک باشد، با استفاده از این داده‌ها می‌توان خروجی را با دقت بالاتر تخمین زد و این داده‌ها برای مدل‌سازی مناسب هستند.

آزمون M[1]

یکی از موضوعات اساسی و مورد بحث در مدل‌سازی سری داده‌ها، انتخاب بازه مناسب برای تهیه مدل و بازه‌ای برای تست مدل می‌باشد (Moghaddamnia et al., 2009). غالباً در مباحث تئوریک پیشنهاد می‌شود که ۷۰ درصد سری داده برای آموزش (تهیه مدل) و ۳۰ درصد برای تست مدل استفاده شود. اما برای تفکیک این دو از یکدیگر روش و مبنای علمی وجود دارد که می‌توان با استفاده از آن به راحتی این دو بازه را تعریف و تعیین نمود. آزمونی به عنوان M-test وجود دارد که می‌توان با استفاده از آن این مهم را انجام داد. M-test با محاسبه مقادیر متغیر گاما (Gamma) به ازای مشاهدات سری داده‌ها، نموداری از تغییرات گاما ارائه می‌نماید که کاربر می‌تواند با استفاده از تحلیل توصیفی، بازه‌ی مورد نظر آموزشی و تست را شناسایی نماید. در نمودار ارائه‌شده در خروجی این آزمون، جایی که روند تغییرات متغیر گاما ثابت می‌شود، آنجا انتهای بازه آموزشی و ابتدای بازه تست است. در نهایت می‌توان اهداف استفاده از آزمون گاما و M در نرم‌افزار winGamma را به شرح زیر خلاصه کرد (Koncar, 1997; Stefánsson et al., 1997; Otani, M., & Jones, 1997; Durrant, 2001; Nekue et al., 2021): یافتن حداقل داده‌های مورد نیاز برای تولید یک مدل تقریباً بهینه، تعیین علمی تعداد داده‌ها برای مرحله آموزش و تست مدل‌سازی‌ها، تعیین بهترین بُعد تعبیه و زمان تأخیر برای سری‌های زمانی، ایجاد ساختار خودکار و سریع از شبکه عصبی و حداقل وزنی برای مدل کردن داده‌ها به بهترین شکل و تعیین بهترین مجموعه ورودی‌ها از لیستی از ورودی‌های ممکن برای یک کنترل‌کننده عصبی.

1- M-Test

الگوریتم ژنتیک (GA)

تفکر اصلی الگوریتم ژنتیک (GA) از نظریه تکامل داروین گرفته شده است. نظریه داروین بیانگر این نکته است که آن دسته از خصوصیات و صفاتی در طبیعت پایدار می‌مانند که با قانون طبیعت سازگاری بیشتری داشته باشند و هر چه این سازگاری بیشتر باشد، شانس ادامه حیات آن بیشتر است. به این ترتیب می‌توان دید که طبیعت با بهره‌گیری از یک روش بسیار ساده (حذف تدریجی گونه‌های نامناسب و در عین حال تکثیر بالاتر گونه‌های بهینه) توانسته است، دائماً هر نسل را از لحاظ خصوصیات مختلف ارتقا بخشد (Mitchell, 1998). روند کلی حل مسائل الگوریتم‌های ژنتیک نظیر برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP[2]) و برنامه‌ریزی ژنتیک (GP[3]) به این گونه است که ابتدا تعدادی از جواب‌های شدنی مسئله مورد نظر را به صورت تصادفی و یا گاهی به صورت از قبل تعیین‌شده، به عنوان جمعیت اولیه انتخاب می‌کند و سپس هر یک از جواب‌ها به صورت رشته‌هایی که کرموزوم نامیده شده، کدگذاری می‌شوند. برای تولید نسل بعدی از روی نسل فعلی، از عملگرهای ژنتیکی شامل انتخاب، ترکیب، باز تولید، جهش و دیگر عملگرهای احتمالی استفاده می‌شود. پس از مراحل فوق، جمعیت جدیدی جایگزین جمعیت پیشین می‌شود و این چرخه ادامه می‌یابد. هنگامی جستجو نتیجه‌بخش خواهد بود که به حداکثر نسل مورد نظر رسیده و یا همگرایی حاصل شده باشد، یا زمان اجرای برنامه از یک مقدار معینی تجاوز کند و یا با گذشت چند نسل، بهبودی در شایستگی جمعیت ایجاد نشود (Sivanandam & Deepa, 2008). به طور کلی، GA از جمعیتی از افراد استفاده می‌کند که آن‌ها را مطابق برازندگی انتخاب کرده و تغییرات ژنتیکی را با استفاده از یک یا چند عملگر ژنتیکی (مانند جهش و ترکیب) اعمال می‌نماید.

الگوریتم تپه‌نوردی (HC)

الگوریتم تپه‌نوردی (HC)، الگوریتمی از دسته هوش مصنوعی (AI[4]) است که به طور مداوم به سمت بالا حرکت می‌کند (افزایش می‌یابد) تا زمانی که بهترین راه‌حل حاصل شود و سپس با رسیدن به اوج به پایان می‌رسد. این الگوریتم دارای یک گره است که شامل دو قسمت حالت و مقدار است. این کار با یک حالت غیربهینه (پایه تپه) آغاز می‌شود و این حالت را تا رسیدن به پیش‌شرط خاصی ارتقا می‌دهد. از تابع اکتشافی به عنوان مبنای این پیش‌شرط استفاده می‌شود (GeeksforGeeks, 2021). هدف یک الگوریتم HC، دستیابی به یک حالت مطلوب است که ارتقا وضعیت موجود باشد. با

2- Gene Expression Programming
3- Genetic Programming
4- Artificial Intelligence

www.SID.ir

Archive of SID

بهبود وضعیت فعلی، الگوریتم تغییرات افزایشی بیشتری را در حالت بهبودیافته انجام خواهد داد و این فرآیند تا رسیدن به یک راه‌حل اوج ادامه خواهد یافت. در نهایت، وضعیت اوج نمی‌تواند پیشرفت بیشتری داشته باشد. به عبارتی، الگوریتم از یک جستجوی ابتکاری/ اکتشافی[1] است که برای مشکلات بهینه‌سازی ریاضی در زمینه هوش مصنوعی استفاده می‌شود. جستجوی ابتکاری به این معنی است که ممکن است در هر لحظه، راه‌حل بهینه برای مسئله پیدا نکند اما در زمان مناسب راه‌حل خوبی ارائه خواهد داد و در نهایت بهترین مسیر را از بین مسیرهای ممکن انتخاب می‌کند (Skalak, 1994).

الگوریتم تپه‌نوردی (HC) به سه دسته تقسیم می‌شود: (۱) تپه-نوردی ساده (S_1HC[2]) که یک راه‌حل‌های همسایه را ارزیابی می‌کند. اگر حالت همسایه بعدی مقدار بیشتری از حالت فعلی داشته باشد، الگوریتم حرکت می‌کند. سپس اولین گره همسایه را انتخاب کرده و مقدار فعلی را به عنوان گره بعدی بهینه می‌کند. این الگوریتم زمان و قدرت محاسباتی کمی نیاز دارد. با این حال، راه‌حل‌های تولیدشده توسط الگوریتم بهینه نیستند. (۲) تپه‌نوردی شیبدار–صعودی (S_2-AHC[3]) که این الگوریتم از الگوریتم ساده تپه‌نوردی پیشرفته‌تر است. با ارزیابی گره‌های همسایه، گره بعدی را انتخاب می‌کند. الگوریتم به گره‌ای نزدیک می‌شود که به حالت بهینه یا هدف نزدیک است. (۳) تپه‌نوردی تصادفی (S_3HC[4]) که در این الگوریتم، گره‌های همسایه طور تصادفی انتخاب می‌شوند. گره انتخاب‌شده برای تعیین سطح بهبود ارزیابی می‌شود. اگر الگوریتم به مقداری بیشتر از حالت فعلی برسد، به گره همسایه منتقل می‌شود. بنابراین، الگوریتم HC یک تکنیک بسیار کارآمد است که در حل مسائل عظیم محاسباتی استفاده می‌شود. این می‌تواند به ایجاد بهترین راه‌حل منجر شده و توانایی ایجاد انقلابی بزرگ در بهینه‌سازی در هوش مصنوعی را دارد. در آینده، پیشرفت فناوری باعث خواهد شد که روش HC، مشکلات بهینه‌سازی جدید، متنوع و منحصر به فرد را با ویژگی‌های پیشرفته‌تر حل کند. این الگوریتم برای بهینه‌سازی مسائل ریاضی و سایر زمینه ها مانند بازاریابی، رباتیک و زمان‌بندی کار استفاده شده است (Section, 2020).

الگوریتم تعبیه کامل (FE)

الگوریتم تعبیه کامل (FE)، از جمله الگوریتم‌های فراکاوشی[5] است که به دلیل دارا بودن دقت کافی، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در الگوریتم FE، پارامترها بر اساس داده‌های آموزش، تعلیم داده می‌شوند. این الگوریتم، نیاز به مدل‌های پیچیده را کاهش می‌دهد. به عبارتی الگوریتم FE، شبکه عصبی مفیدی است که می‌تواند از بُعد متغیرهای دسته‌بندی بکاهد و به طور معنی‌داری طبقه‌بندی‌ها را در فضای تبدیل‌شده نشان دهد. الگوریتم FE معمولاً سه هدف اصلی دارد: یافتن نزدیک‌ترین همسایگان در فضای تعبیه-شده، به‌عنوان ورودی به یک مدل یادگیری ماشین برای یک کار نظارت‌شده و عاملی برای تجسم مفاهیم و روابط بین دسته‌ها (Goyal & Ferrara, 2018; Kenyon-Dean et al., 2020). از برتری عمده الگوریتم FE این است که می‌توانند برای شرایطی که ارتباط موجود بین متغیرهای مسئله به خوبی شناخته شده نباشد، یا صحت‌وسقم شناخت فعلی از رابطه مورد نظر با تردید همراه باشد، پیدا کردن حل نهایی مسئله مورد بررسی مشکل باشد، حل ریاضی مرسوم وجود نداشته باشد، راه‌حل تقریبی قابل قبول باشد و تعداد داده‌هایی که باید به وسیله کامپیوتر مورد آزمون، دسته‌بندی و جمع‌بندی قرار گیرند، زیاد باشد؛ به کار برده شود (Banzhaf et al., 1998). الگوریتم FE در مقایسه با سایر روش‌ها، معمولاً زمان اجرای بالاتری نیاز داشته و البته بهترین نتایج را بین سایر روش‌ها تولید می‌کند. در کارهای مدل‌سازی، ساده‌ترین مدل‌ها و همچنین دقیق‌ترین آن‌ها بیشتر به وسیله الگوریتم FE حاصل می‌شود (Kenyon-Dean et al., 2020).

نتایج و بحث

نتایج آزمون گاما (GT)

نتایج آزمون‌ها و شاخص‌های شامل آماره گاما (Gamma (Γ))، خطای مطلق قابل انتظار (Expected Absolute Error)، آماره گرادیان (Gradient)، خطای استاندارد آماره گاما (Standard Error of Γ)، ضریب تبیین (R^2) و شاخص V-Ratio برای تعیین همبستگی بین ۳۹ متغیر مؤثر بر هزینه بخش‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای یعنی هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T) در جدول (۲) ارائه شده است.

در بخش هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، آماره گاما بهترین مقدار خود را (نزدیک‌تر به صفر) نسبت به هزینه بخش‌های دیگر داشته و مقدار عددی آن برابر ۰/۰۴۸ به دست آمد. بر اساس تحلیل حساسیت انجام‌شده، خطای مطلق قابل انتظار (Expected Absolute Error)، آماره گرادیان (Gradient) و خطای استاندارد آماره گاما (Standard Error of Γ) در بخش TC_P، به ترتیب برابر با ۰/۲۱۹، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۲۴ ثبت شد و بیانگر همبستگی بالای ۳۹ متغیر مورد مطالعه با هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل

1- Heuristic
2- Simple Hill Climbing
3- Steepest – Ascent Hill Climbing
4- Stochastic Hill Climbing
5- Meta-Heuristic Algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

مرکزی است. ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۸۷ و شاخص V-Ratio برابر با ۰/۱۹۲ نیز مهر تأییدی بر وجود رابطه قوی بین متغیرهای مورد مطالعه با خروجی (هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)) است؛ زیرا پارامتر V-Ratio اندازه استانداردشده گاما است و بر اساس آن می‌توان قضاوت مستقلی از بازه خروجی داشت که چه مقدار از این بازه به خوبی توسط تابع تخمین زده شود. به عبارتی درجه قابل تخمین بودن خروجی را نشان می‌دهد و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، خروجی مدنظر با استفاده از این داده‌ها قابل تخمین‌تر است. با این توضیح، ۳۹ متغیر مورد مطالعه بیشترین همبستگی را با هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P) نسبت به هزینه سایر بخش‌ها دارد. ضمن اینکه در بخش‌های دیگر هزینه یعنی هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T)، مقدار عددی آماره‌ها و شاخص‌های ارزیابی در حد معقول بوده و قابلیت مدل‌سازی هزینه با استفاده از ۳۹ متغیر منتخب را نشان می‌دهد. برای مثال در بخش هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، خطای استاندارد آماره گاما برابر با ۰/۰۱۷ محاسبه شد که نسبت به هزینه بخش اول، مطلوب‌تر بوده و نزدیک به صفر می‌باشد. توضیحات بیان‌شده برای هزینه بخش اول و دوم، برای دیگر بخش‌ها قابل‌تعمیم است. به طور کلی، بر اساس خروجی winGamma برای تعیین رابطه بین ۳۹ متغیر مورد مطالعه و هزینه چهار بخش سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، می‌توان این‌گونه برداشت کرد که می‌توان مدل‌هایی قابل اعتماد با این داده‌ها برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای ساخت. شکل (۱) در تکمیل جدول (۲) ارائه شده است و رابطه بین داده‌های ورودی، فراوانی وقوع و آزمون گاما را در بخش‌های مختلف هزینه سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و تحلیل حساسیت داده‌ها را نشان می‌دهد. در نمودارهای سمت چپ، مقدار آماره گاما برابر عرض از مبدأ خط رگرسیونی می‌باشد که در مقابل داده‌های ورودی رسم شده است. لازم به ذکر است که با محاسبه شیب خط رگرسیون می‌توان اطلاعات مفیدی در مورد پیچیدگی سیستم مورد بررسی ارائه داد. با این توضیح، در تمامی نمودارها مقدار آماره گاما نزدیک به صفر بوده و شیب خط رگسیون مقدار عددی کمی دارد. در نتیجه می‌توان دریافت که سیستم مورد بررسی، پیچیدگی بالایی نداشته و فراوانی وقوع در هیستوگرام‌های سمت راست نیز ثابت‌کننده این ادعا است (شکل ۱).

جدول ۲- نتایج معیارهای ارزیابی برای مجموعه داده‌های بخش‌های مختلف هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

پارامتر	بخش‌های مختلف هزینه			
	TC_P	TC_F	TC_I	TC_T
Gamma (Γ)	۰/۰۴۸	۰/۰۹۳	۰/۱۴۱	۰/۱۰۵
Expected Absolute Error	۰/۲۱۹	۰/۳۰۵	۰/۳۷۵	۰/۳۲۴
Gradient (A)	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵
Standard Error of Γ	۰/۰۲۴	۰/۰۱۷	۰/۰۳۴	۰/۰۲۰
R^2	۰/۸۰۷	۰/۶۲۶	۰/۴۳۵	۰/۵۷۸
V-Ratio	۰/۱۹۲	۰/۳۷	۰/۵۶۴	۰/۴۲۱
M-Test*	۶۵–۷۵ درصد	۶۰–۷۰ درصد	۸۰–۹۰ درصد	۸۰–۹۰ درصد

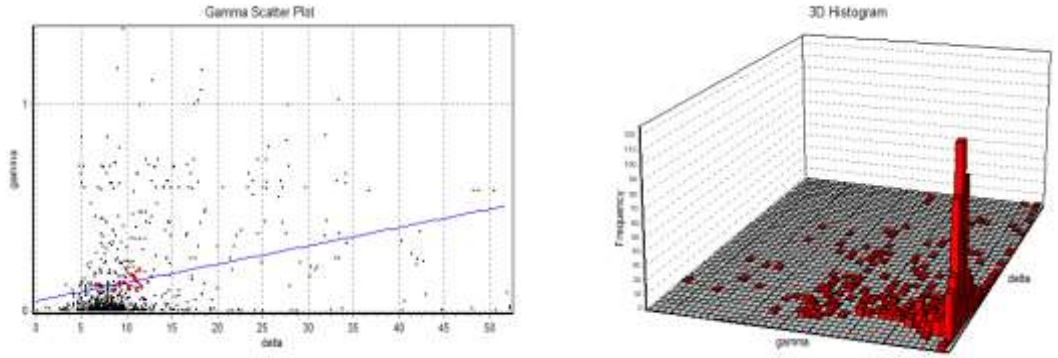
* بدان معنی است که این درصد از داده‌ها باید به مرحله آموزش (Train) و مابقیه داده‌ها به تست (Test) اختصاص داده شوند.

نتایج آزمون M (MT)

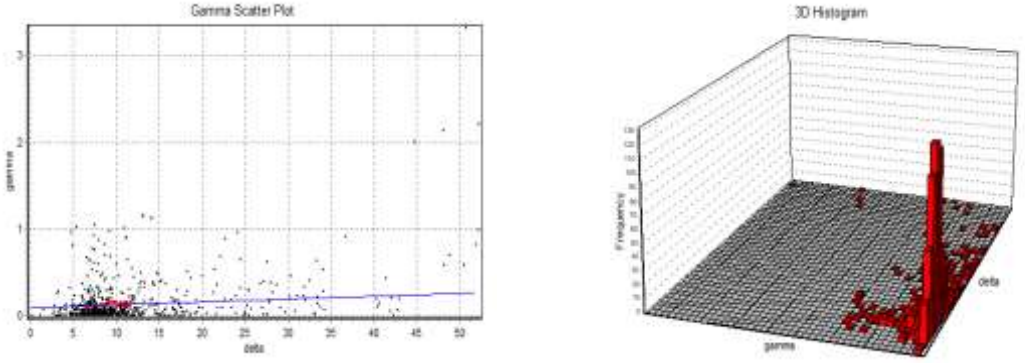
برای تعیین محدوده داده‌ها برای بخش‌های آموزش و تست برای استفاده در مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از داده‌های ۱۰۰ پروژه آبیاری قطره‌ای، از آزمون M استفاده شد. بعد از اجرای آزمون گاما (GT) و حصول اطمینان از شاخص‌های آماری (نظیر EAE، SE، R^2 و V-Ratio)، آزمون M (MT) نیز در نرم‌افزار اجرا شده و نتایج آن ثبت گردید. اعداد گزارش‌شده در ردیف آخر جدول (۲) بیانگر این موضوع است که برای انتخاب محدوده مناسب داده‌ها برای مدل‌سازی، باید این درصد از داده‌ها به مرحله آموزش و مابقیه به مرحله تست اختصاص داده شود. در مطالعه حاضر، مقدار بهینه محدوده داده‌ها برای مرحله آموزش، تست و سپس مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای بدین‌صورت به دست آمد که در بخش‌های هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T)، به ترتیب ۷۵–۶۵، ۷۰–۶۰، ۹۰–۸۰ و ۹۰–۸۰ درصد داده‌های باید به مرحله آموزش اختصاص داده شود و بدیهی است که مابقی درصد از داده‌ها باید به بخش تست اختصاص داده شود. شکل (۲) که در تکمیل جدول (۲) ارائه شده است، به شیوه واضح‌تر، نتایج آزمون M برای تعیین محدوده مناسب داده‌ها برای مرحله آموزش و تست مدل‌سازی هزینه بخش‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را نشان می‌دهد. جایی که از نوسان نمودارها کاسته شده و موازی با محور افقی شود، پایان داده‌های مرحله آموزش و شروع مرحله تست می‌باشد.

www.SID.ir

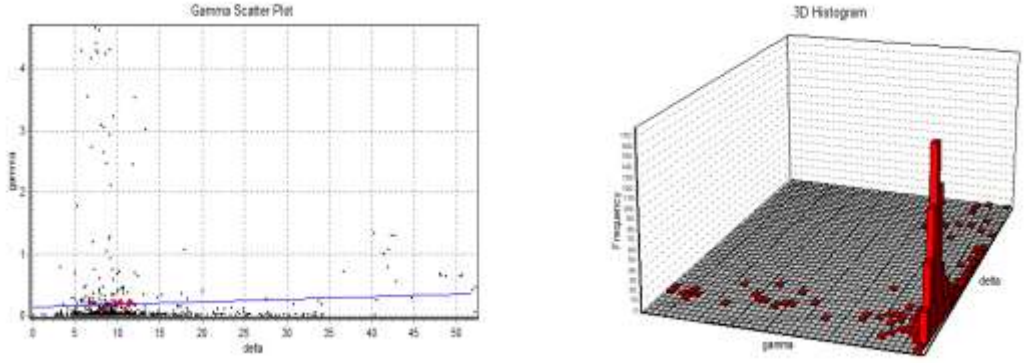
Archive of SID



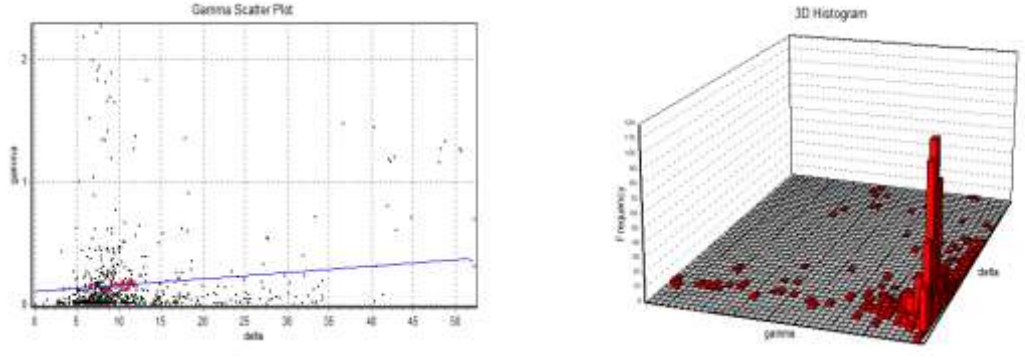
هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)



هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)



هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I)

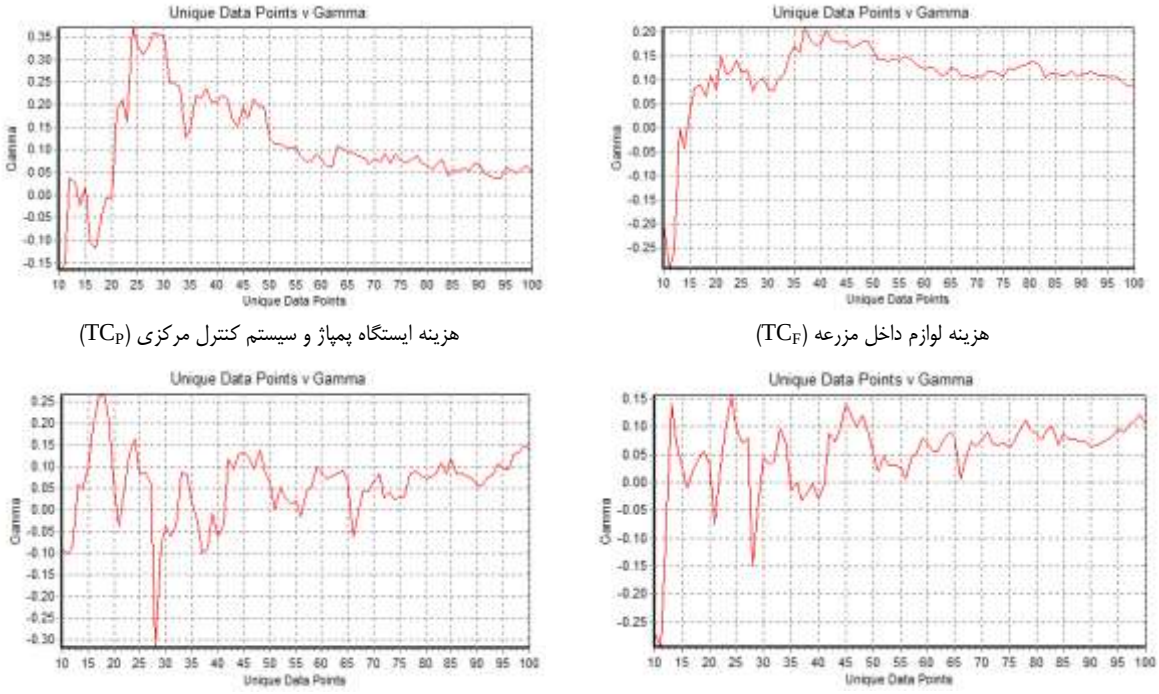


هزینه کل (TC_T)

شکل ۱- نتایج آزمون گاما برای یافتن تأثیرگذارترین متغیرها برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

www.SID.ir

Archive of SID



هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F) — هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)

هزینه کل (TC_T) — هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I)

شکل ۲- نتایج آزمون M برای یافتن محدوده مناسب داده‌ها برای آموزش و تست مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

نتایج بهینه‌سازی ترکیبات ورودی به مدل هزینه سامانه‌های آبیاری

با استفاده از روش گاما تست برای پیش‌پردازش داده‌ها می‌توان با شناسایی میزان اهمیت هرکدام از متغیرهای ورودی، بهترین ترکیب از میان تمام ترکیب‌های ممکن و تعداد داده‌های مورد نیاز برای ایجاد یک مدل هموار برای ورود به مرحله مدل‌سازی را به دست آورد. بنابراین در این بخش، تعیین می‌شود که کدام ورودی‌ها منجر به بهترین خروجی می‌شوند و برای مدل‌سازی و تخمین، مناسب‌تر هستند. با استفاده از سه تکنیک الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم تپه‌نوردی (HC) و الگوریتم تعبیه کامل (FE) اقدام به شناسایی بهترین ترکیب داده‌های ورودی برای دقیق‌ترین مدل‌سازی هزینه بخش‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای شد و در هر بخش، مدل ترکیبی یا هیبرید نیز تعیین گردید.

نتایج الگوریتم ژنتیک (GA)

نتایج روش GA برای یافتن بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در جدول (۳)، ارائه شده است. هرکدام از متغیرها که روبروی آن عدد ۱ درج شده است، بدان معنی است که مدل‌سازی هزینه هر بخش با حضور این متغیرها نتایج قابل‌قبول‌تر و قابل‌اعتمادتری حاصل می‌کند. طبیعی است که هرچه تعداد ورودی‌ها بیشتر باشد، دقت مدل‌سازی هزینه بیشتر است اما هنر یک مدل خوب در سادگی و سهولت استفاده از آن و همچنین تعداد ورودی کمتر اما دقت مناسب می‌باشد (Douglas-Smith *et al.*, 2020; Qian & Mahdi, 2020; Seifi & Riahi, 2020; Nekue et al., 2021; Kumar & Kumar, 2021).

مدل‌های زیای در هر بخش تولید شد که می‌بایست از بین آنها بهترین ترکیب ورودی استخراج شود. با کمک شکل (۳) می‌توان بهترین مدل یا بهترین ترکیب ورودی داده برای مدل‌سازی هزینه بخش‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را شناسایی کرد. در هر بخش از هزینه، در جایی که نمودار محور افقی را قطع کند، آن عدد نمایانگر بهترین ترکیب یا بهترین مدل در هر بخش از هزینه می‌باشد. بنابراین برای بخش‌های مختلف هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای شامل هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T) بهترین مدل به ترتیب ۹۹، ۷۷، ۱۵ و ۱۵ بود که این اعداد در ردیف آخر جدول (۳) گزارش شده است. برای اینکه بتوان درک درستی از نتایج جدول (۳) و شکل (۳) داشت، مدل هیبرید یا ترکیبی ایجاد شد که این مدل، نشانگر معنی‌دار شدن یا ۱ شدن هر متغیر در هر چهار بخش هزینه است و ردیف مربوطه هایلایت شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از روش GA

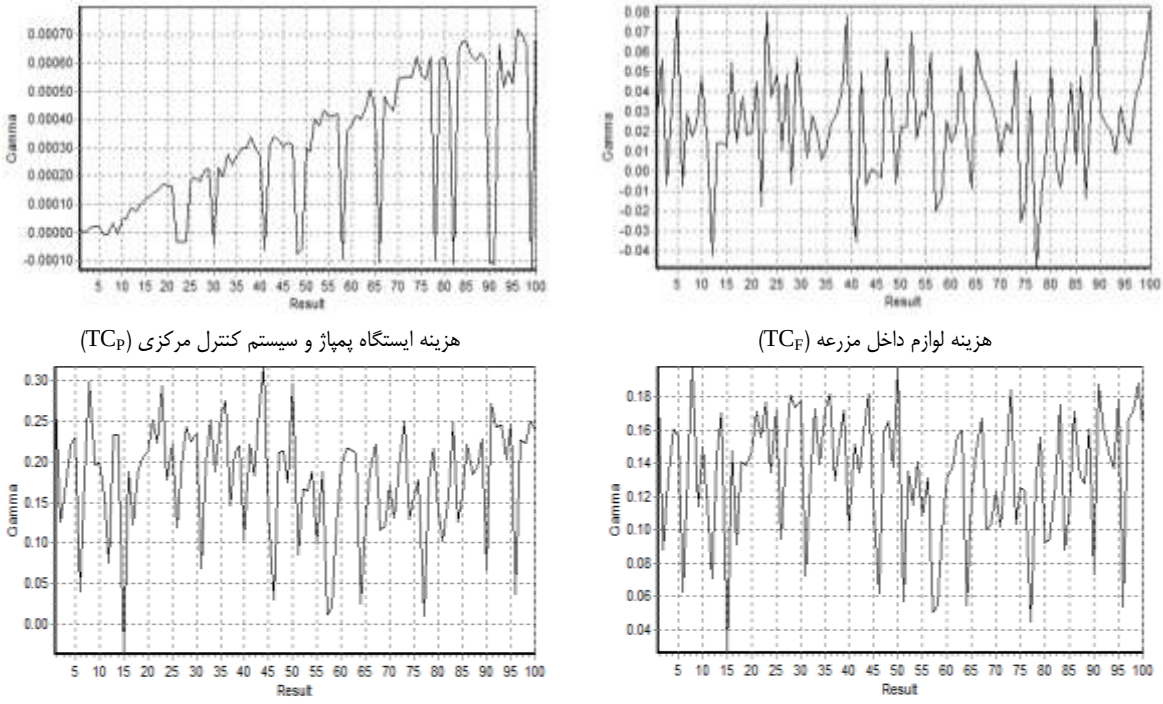
نماد	توضیح	TC_P	TC_F	TC_I	TC_T	مدل هیبرید
A	مساحت زمین	۱	۱	۱	۱	۱
P/A (1/m)	شکل زمین (نسبت محیط به مساحت)	۱	۱	۱	۱	۱
N_{PL}	تعداد قطعات زمین	۱	۱	۱	۱	۱
D_{SF} (m)	فاصله منبع آبی تا زمین	۱	۱	۰	۰	۱
ΔH_{SF} (m)	اختلاف ارتفاع منبع آبی و زمین (بحرانی)	۰	۰	۱	۱	۰
Q_T (l/s)	مقدار کل دبی آب قابل دسترس	۱	۰	۰	۰	۱
N_{HO} (hour)	نسبت ساعتی در دور آبیاری که آب در اختیار مالک است	۰	۰	۱	۱	۰
S_R (m)	فاصله ردیف گیاهان	۱	۱	۱	۱	۱
S_P (m)	فاصله گیاه روی هر ردیف	۱	۱	۰	۰	۱
ET_P (mm/day)	تبخیر-تعرق گیاه	۱	۰	۰	۰	۰
F_{SP} (mm/hr)	نفوذپذیری نهایی خاک	۰	۰	۰	۰	۰
AW (mm/m)	ظرفیت نگهداری آب در خاک (FC-PWP)	۰	۱	۱	۱	۱
W_A (%)	سطح خیس‌شده	۰	۰	۰	۰	۰
Q_E (l/s)	دبی گسیلنده	۱	۱	۱	۱	۱
N_E (n)	تعداد کل گسیلنده	۰	۰	۰	۰	۰
T (h)	تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز	۱	۱	۱	۱	۱
N_{IT} (n)	تعداد نوبت‌های آبیاری	۱	۱	۱	۱	۱
A_{IT} (ha)	مساحت نوبت‌های آبیاری	۰	۰	۰	۰	۰
N_{IU} (n)	تعداد واحدهای آبیاری	۱	۱	۱	۱	۱
A_{IU} (ha)	مساحت واحدهای آبیاری	۱	۱	۱	۱	۱
F (day)	دور آبیاری	۰	۱	۰	۰	۱
N_{IUS} (n)	تعداد واحدهای آبیاری که همزمان آبیاری می‌شوند	۰	۱	۱	۱	۱
L_{16mm} (m)	طول کل لترال	۱	۱	۱	۱	۱
L_{32mm} (m)	طول لوله رابط یک	۱	۱	۱	۱	۱
L_{40mm} (m)	طول لوله رابط دو	۰	۰	۰	۰	۰
L_{50mm} (m)	طول لوله مانیفولد	۰	۱	۰	۰	۰
L_{63mm} (m)	طول لوله فرعی	۰	۰	۰	۰	۰
L_{75mm} (m)	طول لوله نیمه اصلی	۱	۱	۱	۱	۱
L_{90mm} (m)	طول لوله اصلی	۱	۱	۰	۰	۰
L_{110mm} (m)	طول لوله جانبی	۰	۱	۱	۱	۰
L_{125mm} (m)	طول لوله جانبی	۱	۰	۱	۱	۱
L_{160mm} (m)	طول لوله جانبی	۰	۱	۱	۱	۱
L_{200mm} (m)	خط انتقال طولانی	۰	۱	۱	۱	۱
W_Q	کیفیت آب از نظر نیاز به فیلتراسیون	۰	۰	۰	۰	۰
Q_S (l/s)	دبی سیستم	۱	۱	۱	۱	۱
P_P (kw)	توان پمپ مورد نیاز	۱	۱	۱	۱	۱
H_P (m)	ارتفاع پمپاژ	۱	۱	۱	۱	۱
D_{FE} (m)	فاصله زمین تا خطوط برق	۱	۰	۰	۰	۰
S (%)	نوع منطقه یا شیب غالب (کوهستانی، دشت)	۱	۱	۱	۱	۱
	مدل برتر	۹۹	۷۷	۱۵	۱۵	–

بنابراین با توجه به نتایج روش GA، بهترین مدل‌سازی زمانی حاصل می‌شود که متغیرهای مورد مطالعه در هر چهار بخش هزینه وجود داشته باشد. لذا مدل هیبرید که شامل متغیرهای A (مساحت زمین)، P/A (1/m) (شکل زمین)، N_{PL} (تعداد قطعات زمین)، S_R

www.SID.ir

Archive of SID

(m) (فاصله ردیف گیاهان)، Q_E (l/s) (دبی گسیلنده)، T (h) (تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز)، N_{IT} (n) (تعداد نوبت‌های آبیاری)، N_{IU} (n) (تعداد واحدهای آبیاری)، A_{IU} (ha) (مساحت واحدهای آبیاری)، L_{16mm} (m) (طول کل لترال)، L_{32mm} (m) (طول لوله رابط یک)، L_{75mm} (m) (طول لوله نیمه اصلی)، Q_S (l/s) (دبی سیستم)، P_P (kw) (توان پمپ مورد نیاز)، H_P (m) (ارتفاع پمپاژ) و S (%) (نوع منطقه یا شیب غالب) می‌باشد و انتخاب این متغیرها به عنوان ورودی، بهترین نتیجه را هنگام مدل‌سازی هزینه حاصل می‌کند. اکثر متغیرهای انتخاب‌شده، همبستگی بالایی با هزینه بخش‌های مختلف داشته و این نتیجه با توضیحات بیان‌شده برای جدول (۲) در تطابق است. اگرچه برخی از متغیرها دو یا سه بار تکرار شدند ولی در مدل هیبرید وجود ندارند، اما این دلیلی بر کم‌اهمیت بودن آن متغیر نیست بلکه هدف این است که با استفاده از مدل هیبرید بتوان بهترین ترکیب را شناسایی کرد و ساده‌ترین مدل از بین متغیرهای موجود را ساخت. با توجه به اینکه ۱۶ متغیر از ۳۹ متغیر (حدود ۴۰ درصد از متغیرها) در مدل نهایی وجود دارد، می‌توان گفت که مدل هیبرید در بخش GA نتایج معقول و منطقی را حاصل کرده است. شایان ذکر است پارامترهای بهینه الگوریتم ژنتیک (GA) نظیر اندازه جمعیت، نرخ تلاقی، نرخ جهش، برازش گرادیان و برازش طولی به ترتیب ۱۰۰، ۰/۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱ به دست آمد.



هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F) — هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)

هزینه کل (TC_T) — هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I)

شکل ۳- نتایج روش GA برای شناسایی بهترین ترکیب از داده‌ها برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

تعیین و انتخاب مهم‌ترین و مؤثرترین پارامترهای یک تابع غیرخطی ناشناخته در مدل‌های شبیه‌سازی، یکی از دشوارترین مراحل توسعه مدل است. آزمون گاما ابزاری قدرتمند برای یافتن بهترین ترکیب ورودی در مدل‌سازی غیرخطی است که ایجاد یک مدل هموار را حتی قبل از ایجاد مدل بررسی می‌کند. به کمک معیارهای ارزیابی، می‌توان دقت تکنیک‌های مختلف مثل الگوریتم ژنتیک را در تعیین مهم‌ترین پارامترهای ورودی و بهترین ترکیب داده‌ها شناسایی کرد و در مدل‌سازی از آن بهره گرفت. جدول (۴) نتایج معیارهای ارزیابی روش GA برای یافتن بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را نشان می‌دهد. در این جدول و در بخش هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، آماره‌ها بهترین مقدار خود را داشته و توانایی بالای مدل‌سازی هزینه با استفاده از داده‌های منتخب از ۳۹ متغیر مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در سایر بخش‌های هزینه نیز، معیارهای ارزیابی مناسب بوده و قابلیت مدل‌سازی هزینه بخش‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای شامل هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T)، امکان‌پذیر می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- نتایج معیارهای ارزیابی روش GA برای یافتن بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

پارامتر	بخش‌های مختلف هزینه			
	TC_P	TC_F	TC_I	TC_T
Gamma (Γ)	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۲۸	۰/۲۷۰	۰/۱۷۹
Expected Absolute Error	۰/۰۰۲	۰/۱۶۹	۰/۵۲۰	۰/۴۲۳
Gradient (A)	۰/۰۲۳	۰/۰۱۹	−۰/۰۱۵	−۰/۰۰۲
Standard Error of Γ	۰/۰۱۰	۰/۰۲۴	۰/۰۳۷	۰/۰۲۴
R^2	۰/۹۹۹	۰/۸۸۴	−۰/۰۸۳	۰/۲۸۲
V-Ratio	۰/۰۰۰۰۲	۰/۱۱۵	۱/۰۸۳	۰/۷۱۷
مدل برتر	۱۱۱۱۰۱۰۱۱۰۰۱۰۱۰۱۱۰۱۱۱۱۱۱۰۰۰۱۰۰۱۱۱۰۱۱۱۰۱			

نتایج الگوریتم تپه‌نوردی (HC)

بر اساس توضیحات بیان‌شده در بخش قبل (نتایج GA)، نتایج بهترین ترکیب ورودی به مدل با استفاده از روش (HC) در جدول (۵) ارائه شده است. با یک نگاه به نتایج کاملاً مشخص است، نتایج ترکیب‌های ورودی شناسایی‌شده در این روش، از مطلوبیت و اعتبار بالایی برخوردار نیست و علت آن، استفاده از حداکثر مجموعه داده‌ها برای مدل‌سازی است. بنابراین قانون سهولت مدل‌سازی (استفاده از حداقل داده‌ها) در این روش رعایت نشده و هرچند که نتایج معیارهای ارزیابی قابل‌قبول باشد، اما نمی‌تواند از پیچیدگی مدل‌های هر بخش و مدل هیبرید بکاهد. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، انتخاب بهترین ماسک به عنوان ترکیب ورودی در آزمون گاما بر اساس محاسبه پارامترهای آماره گاما (Γ) و شاخص V-Ratio انجام می‌شود. هرچه شاخص V-Ratio و آماره گاما (Γ) در یک ماسک کمتر و به صفر نزدیک شود، بیانگر توانایی آن ماسک برای استفاده در شبیه‌سازی مدل می‌باشد و هرگاه به یک نزدیک شوند نمایانگر یک خطای تصادفی بسیار بزرگ است و ایجاد مدل بر اساس ماسک مدنظر، نامناسب و ناکارآمد است (Kumar & Kumar, 2021؛ میرعربی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به حضور ۳۵ متغیر از ۳۹ متغیر مورد مطالعه (حدود ۹۰ درصد از متغیرها)، می‌توان بیان کرد که مدل هیبرید در بخش HC نسبت به روش GA مدل پیچیده‌تری را حاصل می‌کند (جدول ۵). فقط پنج متغیر A (مساحت زمین)، D_{SF} (m) (فاصله منبع آبی تا زمین)، Q_T (l/s) (مقدار کل دبی آب قابل دسترس)، L_{90mm} (m) (طول لوله اصلی) و L_{125mm} (m) (طول لوله جانبی) در هزینه بخش‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای شامل هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T) و مدل هیبرید وجود ندارد و دیگر متغیرها شامل مدل‌سازی می‌شوند ولی به نظر می‌رسد که این متغیرها، سهم بالایی در هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای دارند و این موضوع دلیل دیگری بر دقت کمتر روش HC در شناسایی ترکیب بهینه داده‌های ورودی به مدل می‌باشد و ممکن است این تکنیک در دیگر پژوهش‌ها و داده‌ها نتایج مطلوبی حاصل کند اما در این مطالعه منجر به ایجاد مدل‌های ساده‌تر نشد. با این حال، نتایج روش HC برای شناسایی بهترین ترکیب از داده‌ها برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در شکل (۴) و نتایج معیارهای ارزیابی روش HC برای یافتن بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در جدول (۶) قابل‌مشاهده است. لازم به ذکر است که پارامترهای بهینه الگوریتم تپه‌نوردی (HC) نظیر بردار شروع، بردار پایان، تعداد بردارها، تعداد نقاط همایسه و تعداد ماسک ورودی به ترتیب برابر با ۱، ۱۰۰، ۱۰۰، ۱۰ و ۲۴ به دست آمد.

جدول ٦- نتایج معیارهای ارزیابی روش HC برای یافتن بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

پارامتر	بخش‌های مختلف هزینه			
	TC_P	TC_F	TC_I	TC_T
Gamma (Γ)	−۰/۰۰۰۳	۰/۰۹۴	۰/۱۲۷	۰/۰۶۰
Expected Absolute Error	۰/۰۱۸	۰/۳۰۷	۰/۳۵۷	۰/۲۴۶
Gradient (A)	۰/۰۱۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰
Standard Error of Γ	۰/۰۱۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۷	۰/۰۱۷
R^2	۰/۹۸۹	۰/۶۲۱	۰/۴۸۹	۰/۷۵۷
V-Ratio	−۰/۰۰۱	۰/۳۷۸	۰/۵۱۰	۰/۲۴۲
مدل برتر	۰۱۱۰۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۱۰۱۰۱۱۱۱۱۱۱۱			

www.SID.ir

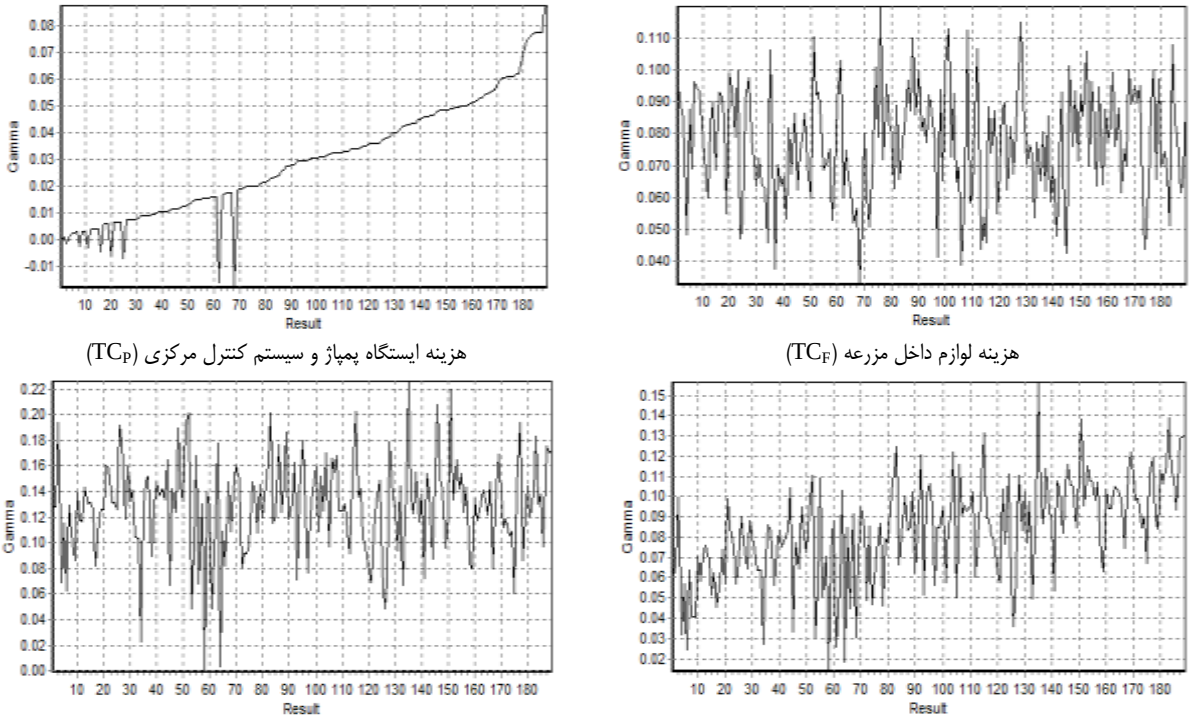
Archive of SID

جدول ۵- بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از روش HC

نماد	توضیح	TC_P	TC_F	TC_I	TC_T	مدل هیبرید
A	مساحت زمین	۰	۰	۰	۰	۰
P/A (1/m)	شکل زمین (نسبت محیط به مساحت)	۱	۱	۱	۱	۱
N_{PL}	تعداد قطعات زمین	۰	۰	۱	۱	۱
D_{SF} (m)	فاصله منبع آبی تا زمین	۰	۰	۰	۰	۰
ΔH_{SF} (m)	اختلاف ارتفاع منبع آبی و زمین (بحرانی)	۱	۱	۱	۱	۱
Q_T (l/s)	مقدار کل دبی آب قابل دسترس	۱	۱	۰	۰	۱
N_{HO} (hour)	نسبت ساعتی در دور آبیاری که آب در اختیار مالک است	۱	۱	۱	۱	۱
S_R (m)	فاصله ردیف گیاهان	۱	۱	۱	۱	۱
S_P (m)	فاصله گیاه روی هر ردیف	۱	۱	۱	۱	۱
ET_P (mm/day)	تبخیر-تعرق گیاه	۱	۱	۱	۱	۱
F_{SP} (mm/hr)	نفوذپذیری نهایی خاک	۱	۱	۱	۱	۱
AW (mm/m)	ظرفیت نگهداری آب در خاک (FC-PWP)	۱	۱	۱	۱	۱
W_A (%)	سطح خیس‌شده	۱	۱	۱	۱	۱
Q_E (l/s)	دبی گسیلنده	۱	۱	۱	۱	۱
N_E (n)	تعداد کل گسیلنده	۱	۱	۱	۱	۱
T (h)	تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز	۱	۱	۱	۱	۱
N_{IT} (n)	تعداد نوبت‌های آبیاری	۱	۱	۱	۱	۱
A_{IT} (ha)	مساحت نوبت‌های آبیاری	۱	۱	۱	۱	۱
N_{IU} (n)	تعداد واحدهای آبیاری	۱	۱	۱	۱	۱
A_{IU} (ha)	مساحت واحدهای آبیاری	۱	۱	۱	۱	۱
F (day)	دور آبیاری	۱	۱	۱	۱	۱
N_{IUS} (n)	تعداد واحدهای آبیاری که همزمان آبیاری می‌شوند	۱	۱	۱	۱	۱
L_{16mm} (m)	طول کل لترال	۱	۱	۱	۱	۱
L_{32mm} (m)	طول لوله رابط یک	۱	۱	۱	۱	۱
L_{40mm} (m)	طول لوله رابط دو	۱	۱	۱	۱	۱
L_{50mm} (m)	طول لوله مانیفولد	۱	۱	۱	۱	۱
L_{63mm} (m)	طول لوله فرعی	۱	۱	۱	۱	۱
L_{75mm} (m)	طول لوله نیمه اصلی	۱	۱	۱	۱	۱
L_{90mm} (m)	طول لوله اصلی	۰	۰	۰	۰	۰
L_{110mm} (m)	طول لوله جانبی	۱	۱	۱	۱	۱
L_{125mm} (m)	طول لوله جانبی	۰	۰	۰	۰	۰
L_{160mm} (m)	طول لوله جانبی	۱	۱	۱	۱	۱
L_{200mm} (m)	خط انتقال طولانی	۱	۱	۱	۱	۱
W_Q	کیفیت آب از نظر نیاز به فیلتراسیون	۱	۱	۱	۱	۱
Q_S (l/s)	دبی سیستم	۱	۱	۱	۱	۱
P_P (kw)	توان پمپ مورد نیاز	۱	۱	۱	۱	۱
H_P (m)	ارتفاع پمپاژ	۱	۱	۱	۱	۱
D_{FE} (m)	فاصله زمین تا خطوط برق	۱	۱	۱	۱	۱
S (%)	نوع منطقه یا شیب غالب (کوهستانی، دشت)	۱	۱	۱	۱	۱
	مدل برتر	۶۸	۶۸	۵۸	۵۸	-

www.SID.ir

Archive of SID



هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P) — هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)

هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) — هزینه کل (TC_T)

شکل ٤- نتایج روش HC برای شناسایی بهترین ترکیب از داده‌ها برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

نتایج الگوریتم تعبیه کامل (FE)

در جدول (۷)، نتایج بهترین ترکیب ورودی متغیرها برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از روش FE در مقایسه با دو روش دیگر (GA و HC) ارائه شده است. نکته شایان‌ذکر که در نتایج روش FE مشاهده شد، این است که تعداد متغیرهای مورد نیاز و ترکیب بهینه ورودی که در روش‌های GA و HC به ترتیب حدود ۴۰ و ۹۰ درصد از متغیرها در امر مدل‌سازی دخیل بودند، در این روش به ۲۰ درصد رسیده و فقط هشت متغیر برای مدل‌سازی هزینه انتخاب شده است. بنابراین مدل هیبرید در بخش FE، نتایج بهتری را در مقایسه با روش‌های GA و HC حاصل کرده و با نتایج آن می‌توان مدل‌سازی دقیق‌تر و با پیچیدگی کمتری را انجام داد. با استفاده از روش FE، هشت متغیر عدد ۱ دریافت کردند و در ترکیب بهینه قرار گرفتند (جدول ۷). این متغیرها شامل ΔH_{SF} (m) (اختلاف ارتفاع منبع آبی و زمین)، Q_T (l/s) (مقدار کل دبی آب قابل دسترس)، S_R (m) (فاصله ردیف گیاهان)، W_A (%) (سطح خیس‌شده)، Q_E (l/s) (دبی گسیلنده)، T (h) (تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز)، N_{IT} (n) (تعداد نوبت‌های آبیاری) و A_{IT} (ha) (مساحت نوبت‌های آبیاری) می‌باشند که معنی‌داری آن‌ها در سطح یک درصد به اثبات رسیده است. دقت بالای روش FE در شناسایی بهترین ترکیب از میان مدل‌های مختلف و شناسایی عوامل تأثیرگذار بر خروجی‌ها در مطالعات مختلفی به اثبات رسیده است (Koncar, 1997; Stefánsson et al., 1997; Durrant, 2001; Tsui et al., 2002; Remesan et al., 2008; Remesan & Mathew, 2016; Nekue et al., 2021; Hart et al., 2019).

با این حال برای خلاصه‌سازی نتایج این مطالعه و شناسایی یک ترکیب بهینه بر اساس تمامی معیارهای ارزیابی و آزمون‌های انجام‌شده، برآیند سه روش GA، HC و FE گرفته شد که نتایج آن در جدول (۷) قابل مشاهده است. متغیرهای مدل هیبرید هر سه روش، در این جدول به شکل ستونی قرار گرفتند و متغیری که در هر سه روش تکرار شد، به صورت هایلایت قابل رویت است. بنابراین زمانی که از پنج متغیر Q_T (l/s) (مقدار کل دبی آب قابل دسترس)، S_R (m) (فاصله ردیف گیاهان)، Q_E (l/s) (دبی گسیلنده)، T (h) (تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز) و N_{IT} (n) (تعداد نوبت‌های آبیاری) به عنوان ترکیب بهینه ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در چهار بخش شامل هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T) استفاده شود، ساده‌ترین، معقول‌ترین نتیجه حاصل می‌شود. در تکمیل مطالب این بخش، شکل (۵) برای بیان نتایج روش FE برای شناسایی بهترین ترکیب از داده‌ها برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و جدول (۸) به منظور بیان نتایج معیارهای ارزیابی روش FE برای یافتن بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی هزینه

www.SID.ir

Archive of SID

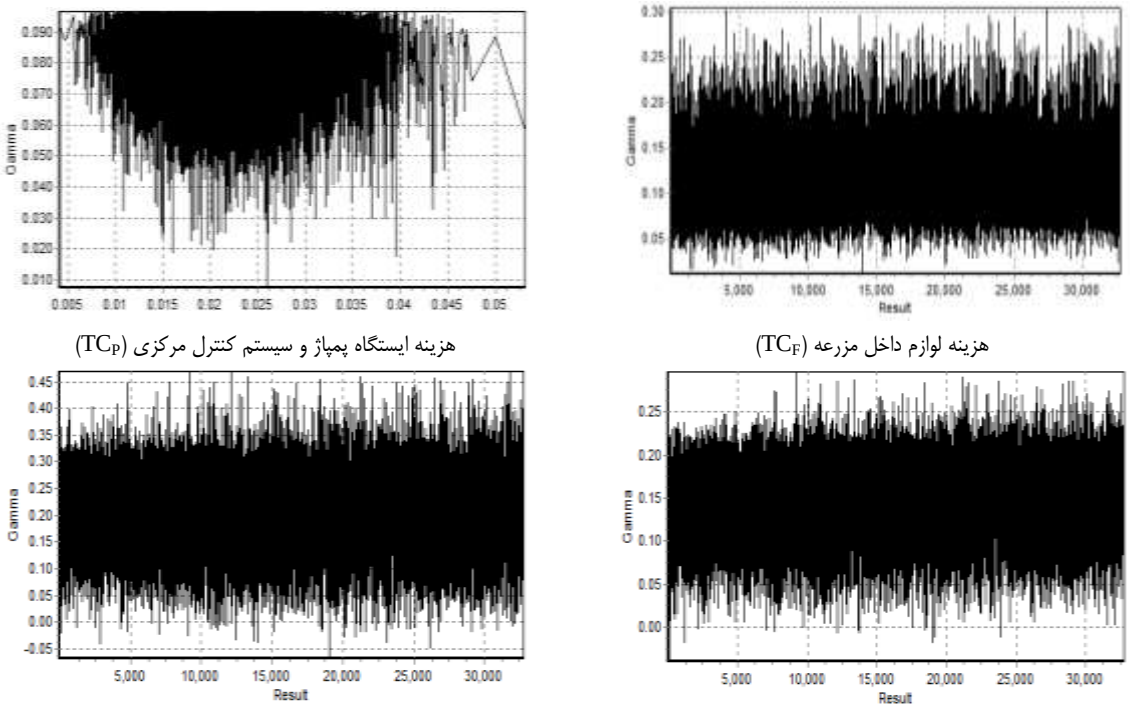
سامانه‌های آبیاری قطره‌ای ارائه شده است. در الگوریتم تعبیه کامل (FE)، پارامترهای بهینه نظیر بردار شروع، بردار پایان، تعداد بردارها و تعداد نقاط همایسه به ترتیب برابر با ۱، ۱۰۰، ۱۰۰ و ۱۰ به دست آمد.

جدول ۷- بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از روش FE و دو روش دیگر

نماد	توضیح	GA	HC	FE
A	مساحت زمین	۱	۰	۰
P/A (1/m)	شکل زمین (نسبت محیط به مساحت)	۱	۱	۰
N_{PL}	تعداد قطعات زمین	۱	۱	۰
D_{SF} (m)	فاصله منبع آبی تا زمین	۱	۰	۰
ΔH_{SF} (m)	اختلاف ارتفاع منبع آبی و زمین (بحرانی)	۰	۱	۱
Q_T (l/s)	مقدار کل دبی آب قابل دسترس	۱	۱	۱
N_{HO} (hour)	نسبت ساعتی در دور آبیاری که آب در اختیار مالک است	۰	۱	۰
S_R (m)	فاصله ردیف گیاهان	۱	۱	۱
S_P (m)	فاصله گیاه روی هر ردیف	۱	۱	۰
ET_P (mm/day)	تبخیر-تعرق گیاه	۰	۱	۰
F_{SP} (mm/hr)	نفوذپذیری نهایی خاک	۰	۱	۰
AW (mm/m)	ظرفیت نگهداری آب در خاک (FC-PWP)	۱	۱	۰
W_A (%)	سطح خیس‌شده	۰	۱	۱
Q_E (l/s)	دبی گسیلنده	۱	۱	۱
N_E (n)	تعداد کل گسیلنده	۰	۱	۰
T (h)	تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز	۱	۱	۱
N_{IT} (n)	تعداد نوبت‌های آبیاری	۱	۱	۱
A_{IT} (ha)	مساحت نوبت‌های آبیاری	۰	۱	۱
N_{IU} (n)	تعداد واحدهای آبیاری	۱	۱	۰
A_{IU} (ha)	مساحت واحدهای آبیاری	۱	۱	۰
F (day)	دور آبیاری	۱	۱	۰
N_{IUS} (n)	تعداد واحدهای آبیاری که همزمان آبیاری می‌شوند	۱	۱	۰
L_{16mm} (m)	طول کل لترال	۱	۱	۰
L_{32mm} (m)	طول لوله رابط یک	۱	۱	۰
L_{40mm} (m)	طول لوله رابط دو	۰	۱	۰
L_{50mm} (m)	طول لوله مانیفولد	۰	۱	۰
L_{63mm} (m)	طول لوله فرعی	۰	۱	۰
L_{75mm} (m)	طول لوله نیمه اصلی	۱	۱	۰
L_{90mm} (m)	طول لوله اصلی	۰	۰	۰
L_{110mm} (m)	طول لوله جانبی	۰	۱	۰
L_{125mm} (m)	طول لوله جانبی	۱	۰	۰
L_{160mm} (m)	طول لوله جانبی	۱	۱	۰
L_{200mm} (m)	خط انتقال طولانی	۱	۱	۰
W_Q	کیفیت آب از نظر نیاز به فیلتراسیون	۰	۱	۰
Q_S (l/s)	دبی سیستم	۱	۱	۰
P_P (kw)	توان پمپ مورد نیاز	۱	۱	۰
H_P (m)	ارتفاع پمپاژ	۱	۱	۰
D_{FE} (m)	فاصله زمین تا خطوط برق	۰	۱	۰
S (%)	نوع منطقه یا شیب غالب (کوهستانی، دشت)	۱	۱	۰

www.SID.ir

Archive of SID



هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)

هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)

هزینه کل (TC_T)

هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I)

شکل ۵- نتایج روش FE برای شناسایی بهترین ترکیب از داده‌ها برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

جدول ۸- نتایج معیارهای ارزیابی روش FE برای یافتن بهترین ترکیب ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

پارامتر	بخش‌های مختلف هزینه			
	TC_P	TC_F	TC_I	TC_T
Gamma (Γ)	۰/۰۴۱	۰/۱۰۷	۰/۱۶۲	۰/۱۱۵
Expected Absolute Error	۰/۲۰۳	۰/۳۲۷	۰/۴۰۳	۰/۳۴۰
Gradient (A)	۰/۱۳۲	۰/۰۸۴	۰/۰۱۳	۰/۰۴۹
Standard Error of Γ	۰/۰۱۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳۲	۰/۰۲۳
R^2	۰/۸۳۵	۰/۵۷۰	۰/۳۴۸	۰/۵۳۷
V-Ratio	۰/۱۶۴	۰/۴۲۹	۰/۶۵۱	۰/۴۶۲
مدل برتر	۰۰۰۰۱۱۰۱۰۰۰۰۱۱۰۱۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰			

نتیجه‌گیری

استفاده از روش‌های دانش‌مبنا و عددی که دسترسی به تمام پارامترهای مورد نیاز آن‌ها مشکل و یا اندازه‌گیری آن‌ها نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی است، کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته و به ازای آن از مدل‌های هوش محاسباتی داده‌مبنا که از دقت و اعتبار بالایی برخوردار هستند و پارامترهای ورودی کمتر و در دسترس‌تر نیاز دارند، مورد اقبال قرار گرفته است. به طور سنتی، یک مدل‌ساز برای ساخت مدل‌های ریاضی مانند شبکه عصبی مصنوعی برای ترکیبات مختلف ورودی باید از آزمون‌وخطا استفاده کند که این بسیار وقت‌گیر است زیرا مدل‌ساز نیاز به آموزش و تست مدل‌های مختلف با تمام ترکیبات ورودی احتمالی دارد. علاوه بر این، هیچ راهنمایی در مورد اینکه چند درصد از داده‌ها باید در آموزش و چند درصد داده‌ها برای تست مدل باید استفاده شود وجود ندارد. به همین منظور، این پژوهش با هدف بررسی و تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر بر هزینه طراحی و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از آزمون گاما و با استفاده از سه تکنیک الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم تپه‌نوردی (HC) و الگوریتم تعبیه کامل (FE) انجام شد. نتایج نشان داد که آزمون گاما می‌تواند حجم کار برای توسعه مدل را تا حد زیادی کاهش دهد و به عنوان راهنمایی برای انتخاب داده‌های ورودی قبل از توسعه مدل استفاده شود. بنابراین با استفاده از تجزیه‌وتحلیل آزمون گاما به راحتی می‌توان تعبیه نامنظم را به عنوان یک چارچوب اساسی برای ساخت پیش‌بینی‌های ساده یک مرحله‌ای برای سری‌های زمانی

www.SID.ir

Archive of SID

بی‌نظم تعیین و بهترین نتیجه را حاصل کرد. همچنین نتایج بهینه-سازی ترکیبات ورودی به مدل هزینه سامانه‌های آبیاری نشان داد که تعداد متغیرهای مورد نیاز و ترکیب بهینه ورودی که در روش‌های GA و HC به ترتیب حدود ۴۰ درصد و ۹۰ درصد از متغیرها در امر مدل‌سازی دخیل بودند، در روش FE به ۲۰ درصد رسیده که نتایج روش FE منجر به ایجاد مدل برتر می‌شود. همچنین نتیجه مدل هیبرید که برآیند نتایج هر سه تکنیک بود، نتایج نشان داد زمانی که از پنج متغیر مقدار کل دبی آب قابل دسترس، فاصله ردیف گیاهان، دبی گسیلنده، تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز و تعداد نوبت‌های آبیاری به عنوان ترکیب بهینه ورودی برای مدل‌سازی هزینه سامانه-های آبیاری قطره‌ای استفاده شود، بهترین مدل که کمترین پیچیدگی را دارد به دست می‌آید. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که برای سهولت مدل‌سازی هزینه بخش‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای می‌توان از متغیرهای انتخاب شده در هر بخش استفاده نموده و مدل‌سازی اقتصادی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای را با دقت بالا و با تعداد ابعاد داده‌های ورودی کمتر انجام داد. با مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری پیش از انجام کار می‌توان درک درستی از میزان هزینه‌ها داشت و تخصیص اعتبار به این طرح‌ها را با دقت بالاتری انجام داد.

سپاس‌گزاری

این مقاله از رساله دکتری نویسنده اول استخراج شده است. بدین وسیله از شرکت مهندسین مشاور آب و خاک البرز و معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی به دلیل در اختیار قراردادن داده‌ها و همچنین گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به دلیل تأمین امکانات لازم برای انجام این پژوهش و تهیه مقالات مربوطه، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

رضازاده جودی، ع. و ستاری، م. ت. ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد روش‌های داده محور در مدل‌سازی بارش ماهانه مشهد. پژوهش آب ایران. ۱۱ (۴): ۱۰۵-۹۷.

قبائی سوق، م.، مساعدی، ا.، حسام، م. و هزارجریبی، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی تأثیر پیش‌پردازش پارامترهای ورودی به شبکه عصبی مصنوعی (ANNs) با استفاده از روش‌های رگرسیون گام‌به‌گام و گاما تست به منظور تخمین سریع تر تبخیر و تعرق روزانه. آب و خاک. ۲۴ (۳): ۶۲۴-۶۱۰.

میرعربی، ع.، ناصری، ح. ر.، نخعی، م. و علیجانی، ف. ۱۳۹۷. بررسی عملکرد مدل‌های داده مبنا در شبیه‌سازی افق‌های زمانی سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش تلفیقی آزمون گاما و الگوریتم ژنتیک (GA-GT). زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. ۸ (۲): ۷۲-۶۲.

Banzhaf, W., Nordin, P., Keller, R. E., and Francone, F. D. 1998. Genetic programming. San Francisco, Springer, 512 p.

Borgonovo, E., and Plischke, E. 2016. Sensitivity analysis: a review of recent advances. European Journal of Operational Research. 248(3): 869-887.

Douglas-Smith, D., Iwanaga, T., Croke, B. F., and Jakeman, A. J. 2020. Certain trends in uncertainty and sensitivity analysis: An overview of software tools and techniques. Environmental Modelling & Software. 124: 104588.

Durrant, P. J. 2001. winGamma: A non-linear data analysis and modelling tool with applications to flood prediction. Unpublished Ph. D. thesis. Department of Computer Science, Cardiff University, Wales, UK.

El-Shater, T., Yigezu, Y. A., Shideed, K., and Aw-Hassan, A. 2017. Impacts of Improved Supplemental Irrigation on Farm Income, Productive Efficiency and Risk Management in Dry Areas. Journal of Water Resource and Protection. 9(13): 1709.

Flores, J. H. N., Faria, L. C., Rettore Neto, O., Diotto, A. V., and Colombo, A. (2021). Methodology for Determining the Emitter Local Head Loss in Drip Irrigation Systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 147(1): 06020014.

Gany, A. H. A., Sharma, P., and Singh, S. 2019. Global Review of Institutional Reforms in the Irrigation Sector for Sustainable Agricultural Water Management, Including Water Users' Associations. Irrigation and drainage. 68(1): 84-97.

GeeksforGeeks. 2021. https://www.geeksforgeeks.org/introduction-hill-climbing-artificial-intelligence/ (Last Updated: 22 Mar, 2021)

Goyal, P., and Ferrara, E. 2018. Graph embedding techniques, applications, and performance: A survey. Knowledge-Based Systems. 151: 78-94.

Hart, J. L., Bessac, J., and Constantinescu, E. M. 2019. Global sensitivity analysis for statistical model parameters. SIAM/ASA Journal on Uncertainty Quantification. 7(1): 67-92.

Kenyon-Dean, K., Newell, E., and Cheung, J. C. K. 2020. Deconstructing word embedding algorithms. arXiv preprint arXiv:2011.07013.

Komkov, V., Choi, K. K., and Haug, E. J. 1986. Design sensitivity analysis of structural systems (Vol. 177). Academic press.

Koncar, N. 1997. Optimisation methodologies for direct

www.SID.ir

Archive of SID

radiation estimation. Hydrological processes. 22(21): 4301-4309.

Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D. ... and Tarantola, S. 2008. Global sensitivity analysis: the primer. John Wiley & Sons.

Section. 2020. https://www.section.io/engineering-education/understanding-hill-climbing-in-ai/ (Last Updated: 16 December 2020)

Seifi, A., and Riahi, H. 2020. Estimating daily reference evapotranspiration using hybrid gamma test-least square support vector machine, gamma test-ANN, and gamma test-ANFIS models in an arid area of Iran. Journal of Water and Climate Change. 11(1): 217-240.

Sinha, B. B., and Dhanalakshmi, R. 2022. Recent advancements and challenges of Internet of Things in smart agriculture: A survey. Future Generation Computer Systems,.126, 169-184.

Sivanandam, S. N. and Deepa. S. N. 2008. Introduction to Genetic Algorithms. Springer-Verlag, Berlin.

Skalak, D. B. 1994. Prototype and feature selection by sampling and random mutation hill climbing algorithms. In Machine Learning Proceedings 1994 (pp. 293-301). Morgan Kaufmann.

Solorio-Fernández, S., Carrasco-Ochoa, J. A., and Martínez-Trinidad, J. F. 2020. A review of unsupervised feature selection methods. Artificial Intelligence Review. 53(2): 907-948.

Stefánsson, A., Končar, N., and Jones, A. J. 1997. A note on the gamma test. Neural Computing & Applications. 5(3): 131-133.

Tsui, A. P., Jones, A. J., and De Oliveira, A. G. 2002. The construction of smooth models using irregular embeddings determined by a gamma test analysis. Neural Computing & Applications. 10(4): 318-329.

Valentín, F., Nortes, P. A., Domínguez, A., Sánchez, J. M., Intrigliolo, D. S., Alarcón, J. J., and López-Urrea, R. 2020. Comparing evapotranspiration and yield performance of maize under sprinkler, superficial and subsurface drip irrigation in a semi-arid environment. Irrigation Science. 38(1): 105-115.

Yin, Z., Luo, Q., Wu, J., Xu, S., & Wu, J. 2021. Identification of the long-term variations of groundwater and their governing factors based on hydrochemical and isotopic data in a river basin. Journal of Hydrology. 592: 125604.

inverse neurocontrol (Doctoral dissertation, University of London).

Kumar, M., and Kumar, P. 2021. Stage-discharge-sediment modelling using support vector machine. The Pharma Innovation Journal. 10(1): 149-154.

Liu, J., Lin, Y., Lin, M., Wu, S., and Zhang, J. 2017. Feature selection based on quality of information. Neurocomputing. 225: 11-22.

Miao, J., and Niu, L. 2016. A survey on feature selection. Procedia Computer Science, 91, 919-926.

Mitchell, M. (1998). An introduction to genetic algorithms. MIT press.

Moghaddamnia, A., Gousheh, M. G., Piri, J., Amin, S., and Han, D. 2009. Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. Advances in Water Resources. 32(1): 88-97.

Nekue, N., Bedani, M. A., and Khashei Siuki, A. 2021. Evaluation of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Models in Estimating Saffron Yield Using Meteorological Data. Journal of Agricultural Science and Technology 23(1): 221-234.

Oki, T. 2020. World Water Resources at Stake. In Human Geoscience (pp. 89-95). Springer. Singapore.

Otani, M., and Jones, A. J. 1997. Guiding chaotic orbits. Research Report, Imperial College of Science Technology and Medicine. 130.

Park, C. S. 2012. Fundamentals of Engineering Economics. Chan S. Park. Pearson Education.

Pazoki, M., Yadav, A., and Abdelaziz, A. Y. 2020. Pattern-recognition methods for decision-making in protection of transmission lines. In Decision Making Applications in Modern Power Systems (pp. 441-472). Academic Press.

Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Ghameshloua, A., Khoshravesh, M., and Waqas, M. M. 2020. Investigation of the yield and yield components of rice in areas with shallow water table and saline. Big Data in Agriculture (BDA). 2(1): 36-40.

Qian, G., and Mahdi, A. 2020. Sensitivity analysis methods in the biomedical sciences. Mathematical Biosciences. 323: 108306.

Remesan, R., and Mathew, J. 2016. Hydrological data driven modelling. Springer International Pu.

Remesan, R., Shamim, M. A., and Han, D. 2008. Model data selection using gamma test for daily solar

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 15, Oct.-Nov. 2021, p. 737-756

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۵، مهر - آبان ۱۴۰۰، ص. ۷۵۶-۷۳۷

Sensitivity Analysis of Parameters Affecting the Early Cost of Drip Irrigation Systems Using Meta-Heuristic Algorithms

M. Pourgholam-Amiji[1], Kh. Ahmadaali[2*], A. Liaghat[3]
Recived: April. 03, 2021 Accepted: May. 13, 2021

Abstract

Asset allocation to pressurized irrigation systems along with evaluating their efficiency has been considered by water industry experts and officials in recent years. To this purpose, identifying the factors and components affecting the costs of an irrigation system is a very important issue that has received less attention. On the other hand, one of the main problems of data-based modeling is determining the most effective input variables in estimating a given output. Gamma test is one of the most important tools that can be used to analyze the sensitivity and select the most important feature from a large number of features affecting the output. Therefore, this study aims to determine the most effective features on the cost of drip irrigation systems in four parts, including the Cost of pumping station and central control system (TC_P), Cost of on-farm equipment (TC_F), Cost of installation and operation on-farm and pumping station (TC_I) and Total cost (TC_T). First, data of 100 drip irrigation projects implemented in different parts of the country were collected and it was prepared a database containing 39 important and influential variables in the cost of the mentioned parts. WinGamma software was used to analyze the sensitivity and select input variables affecting the cost of different parts of drip irrigation systems. Based on the sensitivity analysis, the best evaluation criteria were obtained in TC_P and the numerical amount of gamma statistic, Expected Absolute Error, Gradient statistic, Standard Error of Γ, coefficient of determination (R^2), and V-Ratio index were recorded as 0.048, 0.219, 0.008, 0.024, 0.87 and 0.192, respectively, which indicate the high correlation between the experimental variables and the cost of the corresponded sector. To find the optimal combination of data for cost modeling, we used Genetic Algorithm (GA), Hill Climbing (HC), and Full Embedding (FE). The results showed that the number of required variables and the optimal input combination, which covered 40 and 90% of the variables (16 and 35 variables, respectively) in GA and HC method reached 20% in the FE method and only eight variables were selected for cost modeling and also the results of this method were selected as the superior model. Moreover, the result of the hybrid model revealed the simplest and most optimal model was obtained when Q_T (l/s) (total amount of available water flow), S_R (m) (plant row spacing), Q_E (l/s) (emitter flow), T (h) (number of working hours per day) and N_{IT} (n) (number of irrigation shifts) were used as the optimal input combination to modeling the cost of drip irrigation systems. Therefore, the results of this study can be used to identify the variables affecting the costs of pressurized irrigation systems and finally the economic modeling of these systems.

Keywords: Gamma Test, Genetic Algorithm, Hill Climbing, Full Embedding, Pressurized Irrigation

1-Ph.D Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2-Assistant Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3-Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: Khahmadauli@ut.ac.ir)

www.SID.ir