

## کاربرد ماشین بردار پشتیبان در شبیه‌سازی الگوی رطوبتی تحت آبیاری قطره‌ای

زینب حیدری<sup>۱</sup>، معصومه فراستی<sup>۱</sup> و رسول قبادیان<sup>۱\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۳۰)

### چکیده

برای طراحی مقرون به صرفه و کارآمد سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، اطلاع از گسترش عمودی و افقی جبهه رطوبتی تحت منبع نقطه‌ای ضروری است و مدیریت صحیح سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، نیاز به آگاهی از نحوه توزیع آب در خاک دارد. عوامل بسیاری بر ابعاد الگوی رطوبتی تأثیرگذارند که از جمله این عوامل دبی، شیب زمین، زمان آبیاری و بافت خاک است. هدف از این تحقیق بررسی کاربرد ماشین بردار پشتیبان در شبیه‌سازی الگوی رطوبتی تحت آبیاری قطره‌ای است. پس از آماده‌سازی یک مدل فیزیکی از جنس پلاکسی گلاس با ابعاد مشخص و پرشده با خاک لوم رسی سیلتی، به منظور مقایسه داده‌های آزمایشگاهی و مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) در برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار، آزمایشاتی با قطره‌چکان دارای دبی‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ لیتر در ساعت در مدت زمان آبیاری دو ساعت و ۲۴ ساعت توزیع مجدد با شیب‌های ۰، ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد با سه تکرار در آزمایشگاه آبیاری دانشگاه رازی انجام شد. در این تحقیق از شاخص‌های آماری R2، RMSE، MBE و MEF استفاده شد. مقادیر R2 برای پارامترهای عمق خیس‌شده، عرض و مساحت خیس شده به ترتیب برابر ۰/۹۶، ۰/۹۶ و ۰/۹۲ به دست آمد. با توجه به مقدار MBE، مدل SVM پارامتر عمق و عرض خیس‌شده سه درصد کمتر از مقدار واقعی تخمین زده و مساحت خیس شده را ۲/۰۴ درصد، کمتر از میزان واقعی شبیه‌سازی کرده است. همچنین با توجه به مقادیر MEF و RMSE، مدل SVM پارامتر مساحت خیس شده را با خطای بیشتری شبیه‌سازی کرده است. نتایج نشان داد که مدل SVM دارای قابلیت بالایی در برآورد پارامترهای پیاز رطوبتی است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، پیاز رطوبتی، عمق خیس شده، عرض خیس شده، مساحت خیس شده

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس

\*. مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: farasati2760@gmail.com

## مقدمه

با توجه به کمبود بارندگی در کشورمان و اهمیت منابع آب در آن به عنوان یک منطقه خشک و نیمه خشک، همچنین رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای آب و غذا لازم است بیشترین استفاده از منابع آب صورت پذیرد. از جمله عامل‌های مهم در افزایش تولید در واحد سطح، استفاده صحیح از آب به ویژه برای مناطق با منابع آبی محدود و با کیفیت پایین است. در این راستا، استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای راه‌گشا است (۶). در این سامانه هدف تأمین آب برای رشد و نمو گیاه در حجم محدودی از خاک است که در آن محدوده جذب فعال ریشه می‌تواند اتفاق بیفتد. در آبیاری قطره‌ای حرکت آب در خاک و توزیع آن به عوامل متعددی از جمله نوع خاک، سرعت نفوذ، هدایت هیدرولیکی، دبی قطره‌چکان‌ها، مقدار آب کاربردی و برخی شرایط آب‌وهوایی و توپوگرافی زمین بستگی دارد.

طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای شامل انتخاب ترکیب بهینه دبی و فاصله بین قطره‌چکان‌ها برای شرایط آب‌وهوایی، خاک و گیاه و همچنین در یک الگوی رطوبتی در اطراف قطره‌چکان است. با توجه به اینکه توپوگرافی زمین، نوع خاک و اقلیم منطقه بر روی پیزا رطوبتی خاک تأثیر دارد، بهترین و مطمئن‌ترین راه برای شناخت الگوی خیس‌شدگی خاک بررسی ساده میدانی است. پیشروی آب در خاک از یک منبع نقطه‌ای به عوامل زیادی مثل دبی، مدت زمان آبیاری و چگالی ظاهری خاک بستگی دارد. با افزایش حجم آب آبیاری، حجم پیزا رطوبتی افزایش پیدا می‌کند. افزایش زمان آبیاری در دبی‌های مختلف، باعث افزایش پیشروی آب در جهات افقی و عمودی می‌شود.

ملایی کندولوس و همکاران (۴) با استفاده از مدل HYDRUS-2D توزیع رطوبت اطراف قطره‌چکان را شبیه‌سازی کردند که مقایسه داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی با مقادیر شبیه‌سازی شده نشان از دقت خوب این مدل در شبیه‌سازی توزیع رطوبت در اطراف قطره‌چکان داشت. میرزایی (۵) یک

مدل ساده برای برآورد عمق و قطر پیزا رطوبتی با استفاده از روش آنالیز ابعادی ارائه داد که در این مدل بیشترین عمق و قطر پیزا رطوبتی با استفاده از پارامترهای دبی آبیاری، زمان و سرعت نفوذ آب در خاک به دست آمد. مالک و پیترز (۹) معادله‌ای را با استفاده از داده‌های صحرایی و روش بهینه‌سازی و رگرسیون غیرخطی به دست آوردند که این مدل با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت که نتیجه آن برآورد مناسب ابعاد پیزا رطوبتی توسط این مدل بود. آزمایش‌های مزرعه‌ای هر چند وقت‌گیر است و هزینه‌های بالایی دارند و در برخی موارد به خاطر مساعد نبودن شرایط آب‌وهوا و توپوگرافی به سختی انجام می‌شوند ولی به خاطر بهترین انطباق با شرایط واقعی، معمولاً توصیه می‌شوند. برای اینکه بتوان از این مزیت آزمایش‌های مزرعه‌ای استفاده کرد و در وقت و هزینه صرفه‌جویی کرد می‌توان از مدل‌های تخمین‌گر استفاده کرد. در این راستا به‌کارگیری ماشین بردار پشتیبان می‌تواند مدنظر قرار گیرد. در سال‌های اخیر یک روش جدید هوش مصنوعی به نام ماشین بردار پشتیبان (SVM) مورد توجه قرار گرفته و در زمینه‌های مختلفی به‌کار گرفته شده است. مدل SVM یک تکنیک یادگیری به‌منظور برقراری یک نگاشت بین ورودی‌ها و خروجی است. ماشین بردار پشتیبان (SVM) یکی از روش‌های یادگیری با ناظر است که از آن برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌شود. SVM توسط وپنیک (۱۵) معرفی شده است و برپایه تئوری یادگیری آماری بنا نهاده شد. مدل‌های SVM که برپایه تئوری آموزش احتمال قرار دارند، یک کلاس جدید از مدل‌هایی هستند که به‌منظور طبقه‌بندی و پیش‌بینی در علوم مختلف استفاده می‌شوند. اخیراً این مدل‌ها در یک گسترده وسیع از مسائل هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مدل SVM یک تکنیک یادگیری به‌منظور برقراری یک نگاشت بین ورودی‌ها و خروجی است. از SVM به‌منظور شبیه‌سازی رواناب و رسوب روزانه، هفتگی و ماهانه در هند استفاده شد (۱۳). نوری (۱۱) با استفاده از SVM جریان ورودی به رودخانه را پیش‌بینی کرد و نشان داد دقت پیش‌بینی

به‌هر حال مشابه با هر مدل ریاضی و آماری، مدل‌های SVM نیز دارای معایبی هستند. وجود تعداد زیاد متغیر ورودی، اصلی‌ترین مشکل در توسعه این مدل‌هاست. تعداد زیاد متغیرهای ورودی ممکن است مانع یافتن مدل بهینه توسط SVM شود. در این تحقیق تخمین عمق خیس شده، عرض خیس شده و مساحت خیس شده الگوی رطوبتی خاک با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و روش SVM و مقایسه دقت آنها در تخمین این پارامترها بررسی شد.

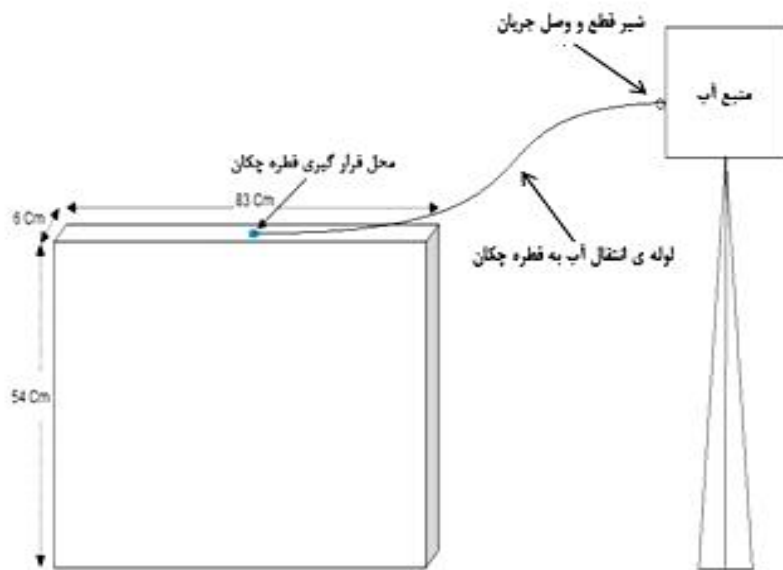
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در پاییز ۱۳۹۳ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی کرمانشاه اجرا شد. مطالعات تجربی بر روی یک مدل فیزیکی از جنس پلاکسی گلاس به ابعاد  $۵۴ \times ۶ \times ۸۳$  سانتی‌متر (به ترتیب طول، ضخامت و ارتفاع) انجام شد (شکل ۱). کف مدل یک لایه شن به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به‌عنوان زهکش ریخته شد، سپس خاکی با بافت لوم رسی سیلتی درون مدل ریخته شد. دانه‌بندی این خاک به‌روش هیدرومتری، چگالی ظاهری به‌روش استوانه و رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم به‌وسیله دستگاه صفحات فشاری به‌دست آمد.

مشخصات فیزیکی خاک درون مدل در جدول (۱) آمده است. یک منبع آب در ارتفاعی ثابت قرار داده شد یک طرف آن به شیر آب و طرف دیگر به‌وسیله لوله انتقال آب به قطره‌چکان متصل شد. درون منبع، لوله‌ای قرار داده شد و کف مخزن سوراخ شد تا آب اضافی از منبع خارج شود. قطره‌چکان انتخابی از نوع تنظیم‌شونده دستی بود که قبل از انجام هر آزمایش به‌وسیله کرنومتر و استوانه مدرج کالیبره می‌شد (شکل ۱). دبی‌های آزمایش ۲، ۴، ۶ و ۸ لیتر بر ساعت بودند. آزمایش‌ها با سه تکرار انجام شد. شیب‌های ۰، ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد اعمال شد. به دلیل محدودیت مدل، زمان آزمایش دو ساعت انتخاب شد. از زمان شروع آزمایش در زمان‌های مشخص ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه (زمان قطع جریان)،

بالا است. هنگ (۸) با استفاده از SVM تغییرات عمق آب‌شستگی پل را با زمان پیش‌بینی کرد. صادق‌پور و همکاران (۱۲) با استفاده از SVM به مدل‌سازی رسوب معلق اقدام کردند. یو و همکاران (۱۴) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل SVM به پیش‌بینی سطح رقوم سیل در رودخانه لن-یانگ پرداختند. به‌منظور کالیبره کردن پارامترهای مدل از روش بهینه‌سازی جستجوی شبکه استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل به‌خوبی سطح آب رودخانه را برای یک تا شش ساعت بعد پیش‌بینی می‌کند. هنگ (۸) با استفاده از SVM تغییرات عمق آب‌شستگی پل را با زمان پیش‌بینی کرد. نوری و همکاران (۱۰) به‌منظور ارزیابی دقت مدل‌های SVM و FS-SVM در پیش‌بینی روزانه CO در شهر تهران، از شاخص ضریب همبستگی استفاده کردند. ضریب همبستگی در مرحله تست هر دو مدل مذکور تقریباً یکسان بوده و حاکی از دقت مناسب هر دو مدل در پیش‌بینی روزانه CO است. نتایج به‌دست آمده از این دو مدل مشخص کرد که اگرچه هر دو مدل از دقت تقریباً یکسانی در پیش‌بینی غلظت روزانه CO برخوردارند، اما مدل FS-SVM به دلیل نیاز به تعداد کمتر ورودی و در نتیجه حجم محاسباتی کمتر، می‌تواند از عملکرد بهتری در این زمینه برخوردار باشد. سیدیان و همکاران (۲) به تخمین تابش خورشیدی با استفاده از پارامترهای هواشناسی پرداختند. پس از تعیین پارامترهای هواشناسی موثر در هر ایستگاه، تابش خورشیدی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (SVM) و سه روش تجربی آنگسترم، هارگریوز و عبدالله پیش‌بینی شد. ضرایب روش‌های تجربی با استفاده از داده‌های آموزش و اسنجمی شد. در ایستگاه‌های مورد بررسی دقت روش آنگستروم، روند خاصی ندارد. روش هارگریوز تابش خورشیدی را نسبت به دو روش تجربی دیگر با دقت کمتری پیش‌بینی کرده است. SVM توانسته در تمام ایستگاه‌ها با استفاده از هوش مصنوعی تابش خورشیدی را با دقت بالاتری نسبت به روش‌های تجربی پیش‌بینی کند. تابش خورشیدی در ایستگاه اصفهان با کمترین مقدار خطا و در ایستگاه رامسر با بیشترین مقدار خطا پیش‌بینی شده است.



شکل ۱. نمای کامل مدل و محل قرارگیری قطره چکان

جدول ۱. ویژگی های فیزیکی خاک درون مدل

چگالی ظاهری	رطوبت حجمی در نقطه ی پژمردگی	رطوبت حجمی در نقطه ی ظرفیت زراعی	بافت خاک	رس	سیلت (%)	شن	عمق خاک (cm)
(gr/cm <sup>3</sup> )	دائم $\theta_{ppp}$	زراعی $\theta_{fc}$					
۱/۳۴	۰/۲۱	۰/۳۶	لوم رسی سیلتی	۳۳/۷۲	۵۲	۱۴/۲۸	۴۵

#### ماشین بردار پشتیبان (SVM)

تکنیک های هوش مصنوعی با کاربردهای گسترده در طی دهه های گذشته معرفی شده است. یکی از آنها که مبتنی بر آموزش آماری است، ماشین بردار پشتیبان است که در مدل سازی متغیر وابسته گسسته و پیوسته مورد استفاده قرار گرفته است. هدف یافتن یک تابع  $f(x)$  که دارای کمترین انحراف از اهداف واقعی برای همه داده های آموزشی است (رابطه ۲). به عبارت دیگر خطاها باید کمتر از  $\epsilon$  باشند اما هر انحراف بزرگتر از  $\epsilon$  رد نخواهد شد بلکه یک مقدار جریمه برای آن در نظر گرفته می شود.

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b, w \in X, b \in R \quad [2]$$

۱۸۰، ۲۴۰، ۳۶۰، ۴۲۰، ۱۵۶۰ دقیقه، جبهه رطوبتی روی شیشه مدل کشیده شد و به کاغذ کالک منتقل شد.

ابعاد (X و Z) در زمان های مشخص شده اندازه گیری شد و نتایج عرض، عمق و مساحت خیس شده به دست آمده از آزمایش ها و مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل SVM با هم مقایسه شد. با توجه به اینکه توزیع رطوبت در مدل فیزیکی در نظر گرفته شد، با در نظر گرفتن فاصله قطره چکان ها در مزرعه (۱۰۰ سانتی متر) و ۶ سانتی متر ضخامت مدل، به عنوان نمونه دبی اعمال شده به خاک به صورت رابطه (۱) تعیین شد:

$$q \left( \frac{li}{hr} \right) = \frac{4 \left( \frac{li}{hr} \right) \times 6 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} = 0.24 \left( \frac{li}{hr} \right) \quad [1]$$

شد. مدل SVM پارامترهای عمق خیس شده، عرض خیس شده و مساحت خیس شده را برآورد کرد. سپس ضریب همبستگی و معیارهای خطا برای مقادیر تخمین زده شده توسط SVM و مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده، محاسبه شد.

### معیارهای ارزیابی

معیارهای ارزیابی مختلفی وجود دارد که می‌تواند برای ارزیابی دقت مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی استفاده شود. معیارهای ارزیابی انتخاب شده، بستگی به هدف مطالعه دارد. در این تحقیق معیارهای ارزیابی آماری خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) (رابطه ۶) و میانگین خطای مطلق (MBE) (رابطه ۷) و تابع خطای میانگین (MEF) (رابطه ۸) جهت مقایسه و انتخاب بهترین مدل استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (A_i - B_i)^2}{n}} \quad [6]$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (A_i - B_i)}{n} \quad [7]$$

$$MEF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \left( \frac{|B_i - A_i|}{\max(B_i) - \min(B_i)} \right) \times 100 \quad [8]$$

که در آن  $A_i$ : متغیر محاسبه‌شده،  $B_i$ : متغیر اندازه‌گیری شده و  $n$ : تعداد مشاهدات است.

مقادیر مثبت MBE نشان می‌دهد مدل، پارامتر را بیشتر از مقدار واقعی و مقادیر منفی، نشان می‌دهد مدل، پارامتر را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند، همچنین MEF مقادیر خطا را براساس حداقل و حداکثر مقدار واقعی به‌صورت درصد بیان می‌کند.

### نتایج و بحث

خاک مورد آزمایش دارای بافت لوم رسی سیلتی بود. بیشترین عمق و عرض خیس شده در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شد و نتایج برآورد پیاز رطوبتی با مدل SVM با آن مقایسه شد. نتایج مقادیر آماره‌های ارزیابی در جدول (۲) ارائه شده است.

حداقل کردن  $W$  می‌تواند به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی با قيود ذکرشده از طریق رابطه (۳) حل شود.

$$\text{Minimize } \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi_i^*) \quad [3]$$

تابع خطای مذکور لازم است که با توجه به محدودیت‌های رابطه (۴) کمینه شود.

$$|y_i - \langle W^T \phi(X_i) \rangle - b| \leq \varepsilon + \xi_i \quad [4]$$

$$\xi_i \geq 0, \quad \xi_i^0 \geq 0, \quad i = 1, \dots, N$$

که در این روابط  $C$  ثابت گنجایش،  $W$  بردار ضرایب،  $WT$  ترانزاده بردار ضرایب،  $\xi_i^0$  و  $\xi_i$  ضرایب کمبود،  $b$  ضریبی ثابت،  $N$  الگوی آموزش مدل و  $\theta$  تابع کرنل است (۱۲).

کرنل تابع پایه شعاعی به‌عنوان بهترین انتخاب از بین دیگر توابع کرنل گزارش شده است (۱۴). بنابراین در این تحقیق تابع مذکور که توسط  $\gamma$  در رابطه (۵) تعریف شده است، به‌کار گرفته شد.

$$K(x_i, x) = \exp(-\gamma |x_i - x|^2) \quad [5]$$

بدین منظور در این تحقیق از روش جستجوی شبکه‌ای استفاده شد. به‌دلیل اینکه در این روش از هیچ روش جستجوی جهت‌دار برای تعیین پارامترهای بهینه موجود استفاده نمی‌شود، تعداد اجراها جهت تعیین پارامترها زیاد است. بدین منظور جهت کاهش تعداد اجراها این روش در دو مرحله انجام می‌شود. در اولین گام مقادیر پارامترها در یک شبکه و فضای بزرگ‌تر و با دقت کمتر بررسی می‌شود، پس از تعیین بهترین مجموعه پارامترها که بهترین عملکرد را در گام اول داشتند، در گام دوم اطراف مجموعه پارامترهای بهینه به‌صورت جزئی‌تر بررسی شده و در نهایت مجموعه بهینه پارامترها که منجر به بهترین عملکرد مدل می‌شود، تعیین می‌شود.

پارامترهای دبی‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ لیتر بر ساعت، شیب‌های صفر، ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد، زمان‌های پیشروی جبهه رطوبتی ۲۶ ساعت به‌عنوان ورودی و پارامترهای عمق خیس شده، عرض خیس شده، مساحت خیس شده به‌دست آمده از داده‌های آزمایشگاهی به‌عنوان خروجی به مدل SVM داده

جدول ۲. شاخص‌های آماری برای عمق، عرض و مساحت خیس شده تخمینی

MBE	MEF	RMSE	R <sup>2</sup>		
۰	۰/۰۲۶	۰/۴۹	۰/۹۸	آموزش	عمق خیس شده
-۰/۰۳	۰/۰۵۰	۰/۷۲	۰/۹۶	ارزیابی	
۰	۰/۰۲۴	۱/۰۲	۰/۹۸	آموزش	عرض خیس شده
-۰/۰۳	۰/۰۴۸	۱/۲۲	۰/۹۶	ارزیابی	
۱۰/۵	۰/۰۴	۵۵/۵۵	۰/۹۴	آموزش	مساحت خیس شده
-۲/۰۴	۰/۰۷	۵۸/۶۷	۰/۹۲	ارزیابی	

خیس شده را با خطای بیشتری شبیه‌سازی کرده است. بنابراین مدل SVM مقادیر عمق و عرض خیس شده را بهتر از مساحت خیس شده شبیه‌سازی کرده است.

با توجه به نتایج شبیه‌سازی مشخصات پیاز رطوبتی با مدل SVM، نتیجه می‌شود که عملکرد مدل SVM مورد استفاده در این پژوهش، در پیش‌بینی خصوصیات پیاز رطوبتی، بسیار خوب بود. این مسئله را می‌توان از محدوده تغییرات مقادیر آماره‌های ارزیابی آورده شده در جدول ۲، استنباط کرد. با توجه به مقادیر آماره‌های جدول (۲)، مقادیر عمق خیس شده پیش‌بینی شده با SVM با داده‌های اندازه‌گیری شده مطابقت بیشتری داشت. نتایج به‌دست آمده با مطالعات عبدالهی سیاه‌کلرودی (۳) و سینگ و همکاران (۱۳) همخوانی داشت.

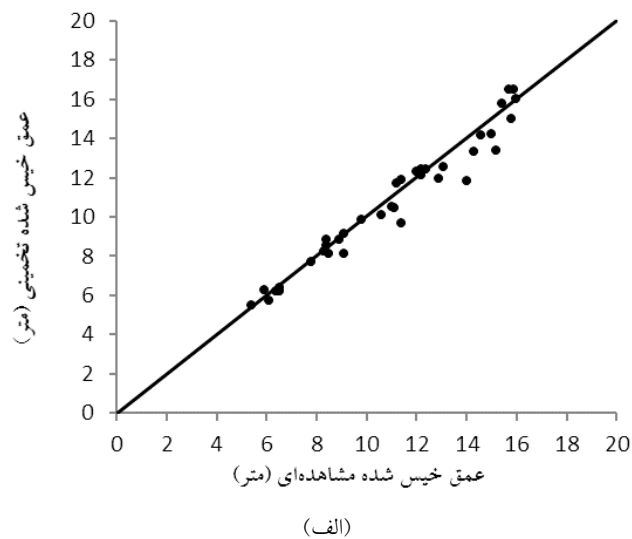
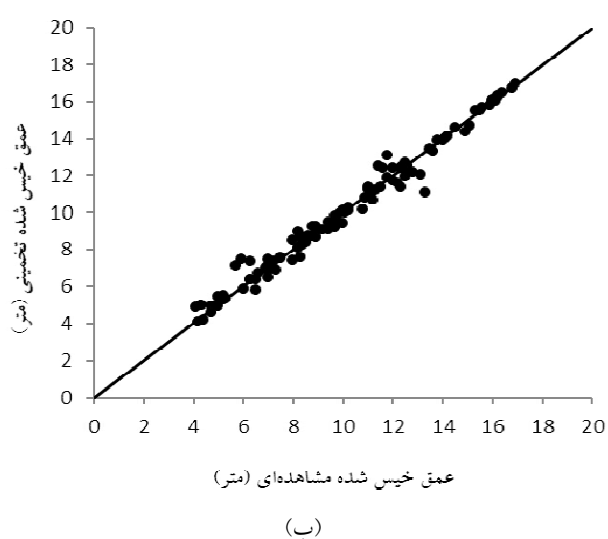
شکل (۲ تا ۴)، مقادیر برآورد شده عمق، عرض و مساحت خیس شده پیاز رطوبتی با روش SVM را نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده در مرحله آموزش و ارزیابی نشان می‌دهد. شکل (۲)، مقادیر پیش‌بینی شده عمق خیس شده پیاز رطوبتی را نشان می‌دهد. در شکل (۲)، محور افقی عمق خیس شده مشاهده‌ای (داده‌های آزمایشگاهی) و محور عمودی، عمق خیس شده تخمینی توسط مدل SVM را نشان می‌دهد. مرکز نقاط در اطراف خط ۱:۱ اثبات‌کننده اختلاف اندک بین مقادیر پیش‌بینی شده با روش SVM و مقادیر اندازه‌گیری شده است.

در شکل ۳، محور افقی عرض خیس شده مشاهده‌ای (داده‌های آزمایشگاهی) و محور عمودی عرض خیس شده تخمینی توسط مدل SVM را نشان می‌دهد. مرکز نقاط در

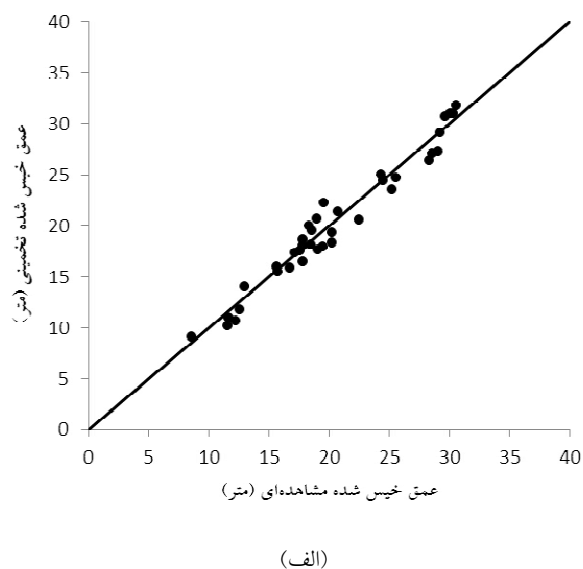
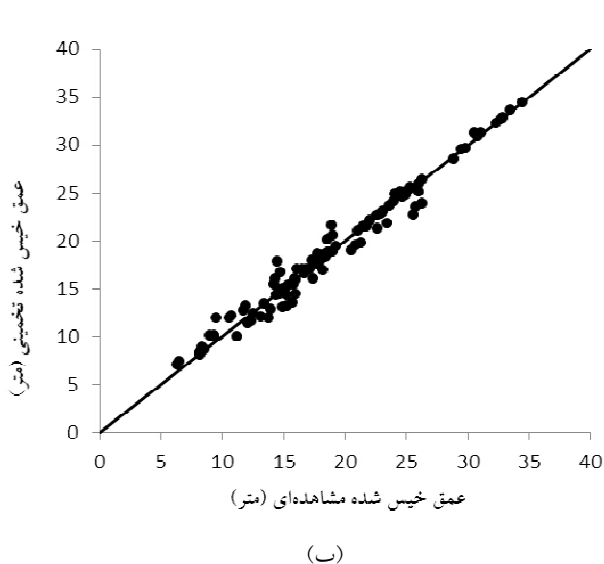
مدل SVM در مرحله آموزش از ۷۵ درصد داده‌ها و در مرحله ارزیابی از ۲۵ درصد داده‌ها استفاده کرده و در هر مرحله عمق، عرض و مساحت خیس شده را برآورد کرد.

با توجه به جدول (۲)، مقادیر R<sup>2</sup> برای پارامترهای عمق خیس شده، عرض و مساحت خیس شده به ترتیب برابر ۰/۹۶، ۰/۹۶ و ۰/۹۲ و مقادیر RMSE به ترتیب ۰/۷۲، ۱/۲۲ و ۵۸/۶۷ به‌دست آمد. با توجه به مقادیر R<sup>2</sup> و RMSE، مدل SVM عمق خیس شده را با دقت بیشتری برآورد کرده است. مقایسه مقادیر RMSE با مقادیر RMSE حاصله در مطالعه خان‌محمدی و همکاران (۱) (RMSE برای قطر خیس شده ۳/۸ سانتی‌متر و برای عمق خیس شده ۳/۶ سانتی‌متر) نشان از قابلیت بالای مدل SVM در این تحقیق نسبت به مدل هایدروس در تحقیق ایشان دارد.

با توجه به مقادیر MBE، مدل پارامترهای عرض و سطح خیس شده را کمتر از مقدار واقعی شبیه‌سازی کرده است. با توجه به مقدار MBE، در مدل SVM پارامتر عمق و عرض خیس شده سه درصد کمتر از مقدار واقعی تخمین زده و سطح خیس شده را ۲/۰۴ درصد کمتر از میزان واقعی برآورد کرده است. خان‌محمدی و بشارت (۱) مقدار خطای نسبی برای پیش‌بینی عرض خیس شده را در بازه ۱۳/۵-۰/۱ درصد و مقدار خطای نسبی در محاسبه عمق جبهه رطوبتی را بین ۸/۹-۰ درصد بیان کردند، مقادیر به‌دست آمده در این تحقیق کمتر از نتایج حاصله توسط خان‌محمدی و بشارت (۱) بود. همچنین با توجه به مقادیر MEF، مدل SVM پارامتر سطح



شکل ۲. مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده حداکثر عمق خیس شده: الف) مرحله آموزش و ب) مرحله ارزیابی

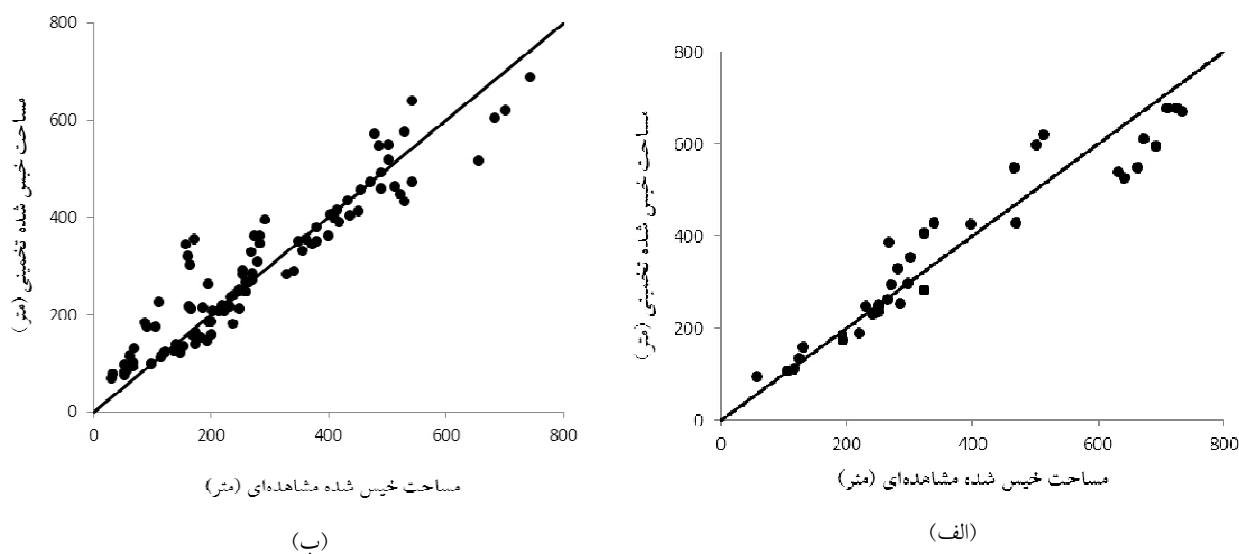


شکل ۳. مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده حداکثر عرض خیس شده: الف) مرحله آموزش و ب) مرحله ارزیابی

تخمینی توسط مدل SVM را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پراکندگی نقاط در اطراف خط ۱:۱ بیشتر است و فاصله این نقاط از خط ۱:۱ بسیار زیاد است که نشان‌دهنده همبستگی کمتر مقادیر مساحت خیس شده مشاهده‌ای و تخمینی نسبت به مقادیر عمق و عرض خیس شده است. با توجه به شکل‌های (۲ تا ۴)، مدل SVM عمق و عرض خیس شده را بهتر از مساحت خیس شده برآورد کرده است.

اطراف خط ۱:۱ اثبات‌کننده اختلاف اندک بین مقادیر پیش‌بینی‌شده با روش SVM و مقادیر اندازه‌گیری شده است. مقادیر عمق خیس شده و عرض خیس شده پیش‌بینی‌شده با تحقیقات عبدالهی سیکلهری و همکاران (۳)، سینگ و همکاران (۱۳) و ملایی کندلوس و همکاران (۴) تقریباً مشابه بود.

در شکل (۴)، محور افقی مساحت خیس شده مشاهده‌ای (داده‌های آزمایشگاهی) و محور عمودی مساحت خیس شده



شکل ۴. مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده حداکثر مساحت خیس شده: الف) مرحله آموزش و ب) مرحله ارزیابی

شده و مساحت خیس شده، کارایی عملکرد مدل SVM بر شبیه‌سازی عمق خیس شده، عرض خیس شده و مساحت خیس شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی نشان داد که روش SVM دارای توانایی بالایی در تخمین مقادیر مشخصه‌های پیاز رطوبتی است. با عنایت به این نکته که آگاهی از مشخصه‌های عمق خیس شده و حداکثر عرض خیس شده پیاز رطوبتی، یکی از پارامترهای اساسی در طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای است و در نظر گرفتن این نکته که اندازه‌گیری این مشخصه‌ها در مزرعه به وقت، هزینه و نیروی ماهر نیاز دارد، با توجه به نتایج این پژوهش، از روابط و توابع بسط داده شده جهت تخمین مشخصه‌های پیاز رطوبتی، می‌توان در زمان طراحی سود جست.

با توجه به نتایج به دست آمده، مدل SVM دارای قابلیت بالایی در پیش‌بینی عمق و عرض خیس شده خاک است و به دلیل سادگی اجرای مدل می‌توان آن را جایگزین مدل‌های پیچیده کرد.

### نتیجه‌گیری

به دلیل اهمیت برآورد پیاز رطوبتی در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، در این تحقیق از مدل بردار پشتیبان به عنوان سیستمی خبره برای پیش‌بینی این پدیده استفاده شد. در این پژوهش با استفاده از دبی قطره‌چکان، زمان پیشروی جبهه رطوبتی، شیب خاک و پارامترهای خروجی از مدل فیزیکی شامل عمق خیس شده، عرض خیس

### منابع مورد استفاده

۱. خان‌محمدی، ن. و س. بشارت. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی جبهه رطوبتی خاک در آبیاری قطره‌ای با استفاده از HYDRUS-2D. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (۲۴): ۱۵-۲۷.
۲. سیدیان، م. م. فراستی، ح. روحانی و ع. حشمت پور. ۱۳۹۶. تخمین تابش خورشیدی با استفاده از پارامترهای هواشناسی. مجله تحقیقات منابع آب ایران ۱۳(۱): ۸۸-۱۰۰.
۳. عبدالمهدی سیاهکلرودی، م. ج. نیکبخت، م. ح. محمدی و م. خالدیان. ۱۳۹۴. مقایسه رگرسیون و شبکه‌های عصبی مصنوعی در



- برآورد ابعاد پیاز رطوبتی با آب معمولی و مغناطیسی. نشریه آبیاری و زهکشی ۹(۱): ۱۷۹-۱۷۰.
۴. ملایی کندلوس، م.، ع. لیاقت و ف. عباسی. ۱۳۸۷. برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی با استفاده از آنالیز ابعادی. نشریه علوم کشاورزی ایران ۲: ۳۷۸-۳۷۱.
۵. میرزایی، ف.، هورفر، ع. ا و م. حاتمی. ۱۳۸۷. تقریب نیمه تحلیلی توزیع دو بعدی رطوبت در آبیاری قطره‌ای نواری. پژوهش کشاورزی (آب، خاک و گیاه در کشاورزی) ۱۵۸-۱۴۷.
۶. نصیری، ش.، ع. نشاط و م. کهنوجی. ۱۳۹۰. تعیین معادله‌های تجربی برآورد ابعاد پیاز رطوبتی تحت آبیاری قطره‌ای در خاک‌های متوسط شنی (مطالعه موردی دشت قائم آباد، کرمان). ۴(۹): ۹۸-۸۷.
۷. نوری، ر.، غ. هشیاری پور، خ. اشرفی و ع. راستی. ۱۳۹۲. ارزیابی مدلی مناسب با استفاده از ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی غلظت روزانه مونوکسیدکربن در هوای شهر تهران. ۱۰-۱: ۶(۱)
8. Hong, J. H., M. K. Goyal, Y. M. Chiew and L. H. C. Chua. 2012. Predicting time-dependent pier scour depth with support vector regression. *Journal of Hydrology* 468-469. 241-248.
9. Malek, K. and R. T. Peters. 2011. Wetting pattern models for drip irrigation: new empirical model. *Journal of Irrigation and Drainage* 137(8): 530-537.
10. Noori, R., A. Karbassi, A. Farokhnia and M. Dehghani. 2009. Predicting the longitudinal dispersion coefficient using support vector machine and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. *Environmental Engineering Science* 26(10): 1503-1510.
11. Noori, R., A. R. Karbassi, A. Moghaddamia, D. Han, M. H. Zokaei-Ashtiani and A. Farokhnia. 2011. Assessment of input variables determination on the SVM model performance using PCA, Gamma test and forward selection techniques for monthly stream flow prediction. *Journal of Hydrology* 401(3-4): 177-189.
12. Sadeghpour Haji, M., S. A. Mirbagheri, A. H. Javid, M. Khezri and G. D. Najafpour. 2014. Suspended sediment modelling by SVM and wavelet. *Gradjevinar* 66(3): 211-223.
13. Singh, D. K., T. B. S. Rajput, D. K. Singh, H. S. Sikarwar, R. N. Sahoo and T. Ahmad. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agricultural Water Management* 83: 1-2.
14. Yu, P. S., S. T. Chen and I. F. Chang. 2006. Support vector regression for real-time flood stage forecasting. *Hydrology* 328: 704-716.
15. Vapnik, V. N. 1998. *Statistical Learning Theory*. Wiley, New York.

## Applicability of Support Vector Machine in Simulating Wetting Pattern under Trickle Irrigation

Z. Heidari<sup>1</sup>, M. Farasati<sup>1, 2\*</sup> and R. Ghobadian<sup>1</sup>

(Received: March 5-2016 ; Accepted: October 22-2017)

### Abstract

To design cost-effective and efficient drip irrigation systems, it is necessary to know the vertical and horizontal advance of the wetting front under the point source; also, the proper management of drip irrigation systems requires an awareness of the soil water distribution. Many factors influence wetting pattern dimensions, including discharge, land slope, irrigation time and soil texture. The purpose of this study was to investigate the applicability of the support vector machine in simulating the wetting pattern under trickle irrigation. After preparing a physical model made of Plexiglas with specific dimensions and filled with silty clay loam soils, experiments were conducted in the irrigation laboratory of Razi University, Iran, with emitters of 2, 4, 6 and 8 l/hour discharge during the irrigation intervals of 2 hours and 24 hours redistribution and 0.5, 15 and 20% slope with three replications. In this study, the statistical indicators  $R^2$ , RMSE, MBE and MEF were used.  $R^2$  values for the wet depth, width and area were 0.96, 0.96 and 0.92, respectively. Regarding the MBE value, the SVM model estimated the wet width and depth parameters to be 3% less than the actual value, and simulated the wet area 2.04% less than the real value. Also, according to the MEF and RMSE values, the SVM model simulated the wet area parameter with more error. Overall, the results showed that the SVM model had a high ability to estimate the wetting pattern parameters.

**Keywords:** Drip irrigation, Wet area, Wet depth, Wet width, Wet surface

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

2. Department of Range and Watershed Management, College of Agricultural, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: farasati2760@gmail.com