



19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



ارزیابی دقت یک سامانه هوش مصنوعی انسان محور در شبیه سازی رطوبت خاک

بیتا مروج الاحکامی^{۱*}، سالومه سپهری صادقیان^۲، محمد مهدی نخجوانی مقدم^۳، رضا پیرتاج^۴

۱- استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. * (bita.moravej@gmail.com)

۲- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- مدیر عامل شرکت دانش بنیان آوند هوش آبیاریان

چکیده

یکی از ابزارهای تعیین به هنگام و دقیق مقدار آب مورد نیاز گیاهان باغی و زراعی، سنجش رطوبت خاک است. در مطالعه حاضر، قابلیت سامانه هوش مصنوعی انسان محور بومی با عنوان "هوشاب" در خصوص برآورد رطوبت خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور سه باغ پسته در شهرستان های ابرکوه و مروست واقع در استان یزد انتخاب و سامانه هوشمند مدیریت آبیاری "هوشاب" در آنها در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ پیاده سازی و اجرا شد. با توجه به سطح باغات و عمق مؤثر ریشه درختان پسته، نقاط نمونه برداری در باغات انتخاب شده و از سه عمق سطحی، میانی و تحتانی خاک نمونه برداری و آنالیزهای مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک انجام شد. در طول فصل رشد، رطوبت خاک در اعماق متفاوت خاک و در ابتدا، میانه و انتهای دور آبیاری با استفاده از TDR و همچنین نمونه گیری مستقیم مورد بررسی و با داده های سامانه هوشاب مقایسه شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که در هر سه باغ تغییرات رطوبت حاصل از آبیاری بر وقایع آبیاری منطبق بود. در باغ شماره ۱ و ۲ واقع در شهرستان ابرکوه رطوبت شبیه سازی شده با $R^2=0.74$ و در باغ شماره ۳ واقع در شهرستان مروست رطوبت شبیه سازی شده با $R^2=0.61$ منطبق بر رطوبت اندازه گیری شده بود.

واژگان کلیدی: هوشمندسازی، آبیاری، خشکسالی، بهره‌وری

مقدمه:

با توجه به وضعیت بحران کمی و کیفی آب در مناطق مرکزی ایران، لزوم تعیین به هنگام و دقیق مقدار آب مورد نیاز گیاهان باغی و زراعی امری ضروری است. نتایج مطالعه دهقانی سانچ و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد که استفاده از آبیاری دقیق در مزرعه ذرت منجر به ۱۷/۲ درصد کاهش مصرف آب و ۴۹/۷ درصد افزایش کارایی مصرف آب نسبت به روش محاسباتی بر اساس آمار بلندمدت هواشناسی شد. در این راستا یکی از ابزارهای مورد استفاده، سنجش رطوبت خاک است که با ارائه اطلاعات مفید در خصوص نیاز دقیق رطوبتی در هر مرحله از رشد گیاه و صرفه جویی در مصرف آب، منجر به حفظ و در مواردی افزایش عملکرد محصول شده و به این ترتیب تأثیر قابل توجهی بر بهبود بهره‌وری آب خواهد داشت (انصاری و حسن پور، ۱۳۹۴). رطوبت خاک با روش های مستقیم و غیرمستقیم قابل اندازه گیری است. روش مستقیم وزنی دقیق ترین روش اندازه گیری رطوبت خاک است. در روش های غیرمستقیم از TDR، تانسیومتر، نوترون متر، بلوک گچی و سنسور رطوبت سنج استفاده می شود (Ganjegunte et al., 2012). زمان بر بودن، تخریب ساختار خاک و خطای انسانی (روش مستقیم وزنی)، گرانی و خطرات احتمالی (نوترون متر)، زمان بر بودن برای رسیدن به تعادل با خاک اطراف (تانسیومتر)، زمان بر بودن کاربرد در سطوح وسیع (TDR) (روغنی و همکاران،

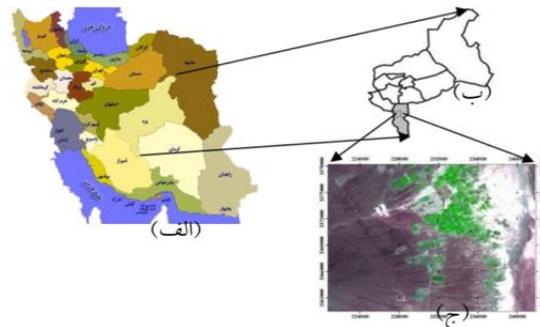
۱۳۹۰) و عمر مفید کم در خاک‌های شور (بلوک گچی) (Goodwin, 2000) عملاً کاربرد این روش‌ها را محدود ساخته است (دوستی، ۱۳۸۶). اگرچه در سال‌های اخیر سنسورهای متنوعی به بازار ارایه شده است ولی عدم امکان واردات مستقیم و افزایش قیمت تمام شده محصول، عدم امکان کاربرد تعداد زیاد سنسور در سطوح وسیع به دلیل هزینه‌بر بودن و همچنین دشواری نصب یا عدم امکان نصب در مناطق صعب‌العبور، عملاً کاربرد سنسورها در این شرایط را مشکل‌ساز کرده است. با توجه به ضرورت پایش پیوسته رطوبت خاک در اکثر مطالعات، استفاده از داده‌های سنسور از دور یا سامانه‌های خبره در این خصوص راهگشاست. با توجه به نتایج مطالعه سهیلی‌فر و همکاران (۱۳۹۲) در برآورد تبخیر و تعرق واقعی نیشکر با استفاده از داده‌های سنسور از دور در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک‌خان، نقشه‌های ایجاد شده با اطلاعات زمینی مطابقت بسیار زیادی داشت. یکی دیگر از ابزارهای تخمین رطوبت خاک استفاده از داده‌های ماهواره‌هایی مانند لندست و مادیس است. این روش‌ها معمولاً رابطه بین رطوبت خاک و پوشش گیاهی تحت تنش آبی را با استفاده از باندهای مرئی و مادون قرمز مشخص می‌کنند (Zhang and Zhou, 2016). نتایج ارزیابی Trezza (۲۰۰۳) در خصوص نیاز آبی گیاهان در منطقه‌ای از آیداهو با داده‌های ماهواره لندست و با استفاده از الگوریتم سبال نشان داد که داده‌های به دست آمده از روش سبال با نتایج حاصل از داده‌های لایسیمیتری وزنی اختلافی کمتر از ۵ درصد داشتند. اگرچه محققان در تلاش برای ایجاد مدل‌های مدیریت کشاورزی بدون نیاز به تعامل انسانی هستند ولی این هدف به دلیل پیچیدگی کشاورزی عموماً منجر به توصیه‌های مدیریتی نادرستی می‌شود (Umutoni and samadi, 2024). بنابراین ارایه مدل‌های یادگیری ماشینی که امکان بازخورد و تعاملات انسانی را فراهم می‌کند امری ضروری است. به این مفهوم که اثربخشی این دسته مدل‌ها مستلزم ارایه بازخورد انسانی است تا با کنترل نتایج، منجر به تصمیمات آگاهانه و به‌هنگام گردد (Boardman and Butcher, 2019). با توجه به موارد پیش‌گفته در مطالعه حاضر سامانه هوش مصنوعی انسان‌محور بومی با عنوان "هوشاب" در خصوص برآورد رطوبت خاک با قابلیت ارتباط برخط با سامانه هواشناسی کشاورزی مجازی دقیقاً در محل مزرعه و قابلیت دریافت بازخورد از کشاورز مورد ارزیابی قرار گرفت. این مطالعه با هدف مقایسه نتایج رطوبت شبیه‌سازی شده با استفاده از سامانه هوشاب نسبت به رطوبت اندازه‌گیری شده در باغات پسته استان یزد انجام شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی و ارزیابی سامانه هوشاب در خصوص شبیه‌سازی رطوبت خاک، این سامانه در شهرستان ابرکوه با اقلیم گرم و خشک بیابانی و شهرستان مروست با اقلیم خشک سرد تا فراخشک انجام شد (حاتمی و همکاران، ۱۳۹۹) (شکل ۱). به این منظور سه باغ پسته در شهرستان ابرکوه (در گستره ۵۳ درجه و ۱۸ دقیقه و ۳۴،۳۰ ثانیه شرقی و ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه و ۱،۱۲ ثانیه شمالی تا ۵۳ درجه و ۱۹ دقیقه و ۳،۷۹ ثانیه شرقی و ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه و ۶،۵۱ ثانیه شمالی) و یک باغ در شهرستان مروست (در گستره ۵۴ درجه و ۷ دقیقه و ۵۳،۹۹ ثانیه شرقی و ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه و ۱۳،۴۸ ثانیه شمالی تا ۵۴ درجه و ۸ دقیقه و ۴۱،۶۷ ثانیه شرقی و ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه و ۲۰،۲۵ ثانیه شمالی) انتخاب شدند (شکل ۲). با استفاده از روش شبکه‌بندی و با توجه به سطح باغات و عمق موثر ریشه درختان پسته، نقاط نمونه‌برداری در سطح باغات انتخاب شده، سپس از سه عمق سطحی، میانی و تحتانی خاک مطابق با دستورالعمل‌های موجود نمونه‌برداری و آنالیزهای مربوطه در رابطه با خصوصیات فیزیکی خاک انجام شد (جدول ۱). سامانه مورد استفاده در این پژوهش با استفاده از اطلاعات برخط هواشناسی کشاورزی، اطلاعات مربوط به شرایط دسترسی مزرعه به آب، اطلاعات مربوط به ویژگی‌های خاک و گیاه، اطلاعات مربوط به استخر ذخیره آب در صورت وجود و اطلاعات مربوط به نوع سیستم آبیاری مورد استفاده در مزرعه، برنامه بهینه آبیاری را برای الگوی کشت موجود در مزرعه ارائه می‌کند. در این سامانه با لحاظ تنش‌های گیاهی و کم آبیاری احتمالی اعمال شده، بیان آب خاک در اعماق مختلف خاک شبیه‌سازی می‌شود. به منظور ارزیابی سامانه هوشاب، رطوبت خاک در اعماق متفاوت خاک و در ابتدا، میانه و انتهای دور آبیاری با استفاده از TDR و همچنین نمونه‌گیری مستقیم مورد بررسی و با داده‌های سامانه هوشاب مقایسه شد.



شهرستان ابرکوه



شهرستان مروست

شکل ۱- نمایی از موقعیت شهرستان‌های ابرکوه و مروست در استان یزد

باغ انتخابی در شهرستان مروست (باغ ۳)



باغ ۳

باغات انتخابی در شهرستان ابرکوه (باغ‌های ۱ و ۲)



باغ ۱ باغ ۲

شکل ۲- موقعیت باغ‌های پسته انتخابی در شهرستان‌های ابرکوه و مروست

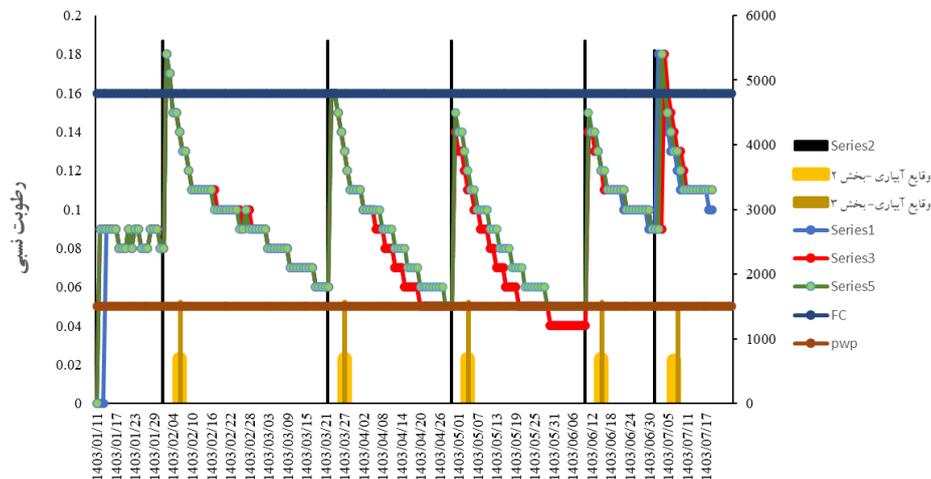
جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک در پابلوت‌های مورد آزمایش

شماره باغ	مکان	عمق (سانتیمتر)	شن درصد	رس درصد	سیلت درصد	بافت خاک
۱	ابرکوه	۰-۴۰	۶۶/۱	۱۱/۳	۲۲/۶	لوم شنی
		۴۰-۶۰	۷۵/۰۴	۸/۳	۱۶/۶۶	
		۶۰-۸۰	۶۴	۴/۳	۳۱/۷	
۲	ابرکوه	۰-۳۰	۳۶/۶	۲۶/۴	۳۷	لوم
		۳۰-۶۰	۳۹/۶	۲۶/۴	۳۴	
		۶۰-۹۰	۴۱/۶	۲۲/۴	۳۶	
۳	مروست	۰-۴۰	۵۷/۵	۷/۹	۳۴/۶	لوم شنی
		۴۰-۸۰	۵۸	۹	۳۳	
		۸۰-۱۲۰	۵۵	۱۰/۴	۳۴/۶	

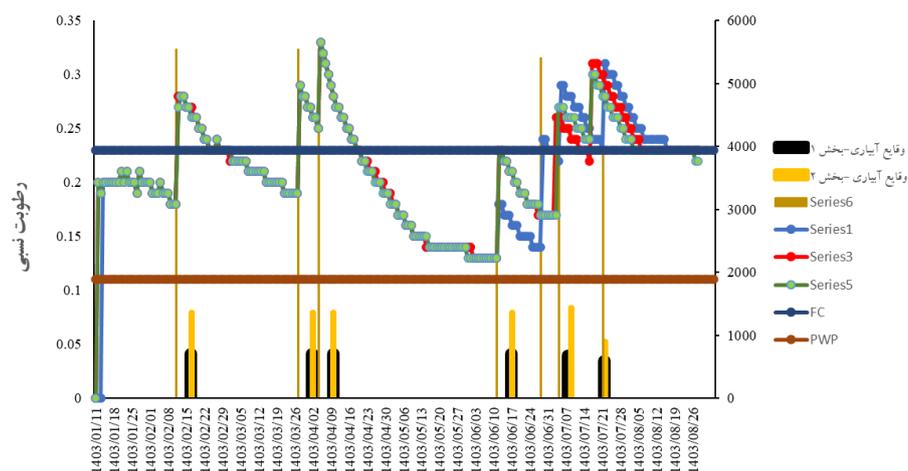
نتایج و بحث

نتایج پایش رطوبت خاک در باغ‌های شماره ۱ و ۲ در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. تعداد نمونه‌برداری رطوبت خاک ۱۲ نقطه بود که با روش‌های TDR و مستقیم وزنی اندازه‌گیری شد. با توجه به بافت خاک (لوم شنی در باغ ۱ و لوم در باغ ۲)، مقدار MAD که در پسته ۰/۵ لحاظ می‌شود و مقادیر FC و PWP ارایه شده در شکل‌های مذکور، عموماً رطوبت‌های ارایه شده در سامانه هوشاب در محدوده مجاز و قابل قبول قرار گرفته است. توجه به این نکته ضروری است که مقادیر رطوبت ارایه

شده در شکل‌های پیش‌گفته، میانگین رطوبت در ناحیه ریشه است و تغییرات رطوبت حاصل از آبیاری بر وقایع آبیاری منطبق است. بر اساس نتایج این مطالعه در خصوص همبستگی بین مقادیر رطوبت شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در باغ‌های شماره ۱ و ۲، رطوبت شبیه‌سازی شده با $R^2=0.74$ منطبق بر رطوبت اندازه‌گیری شده بوده است.



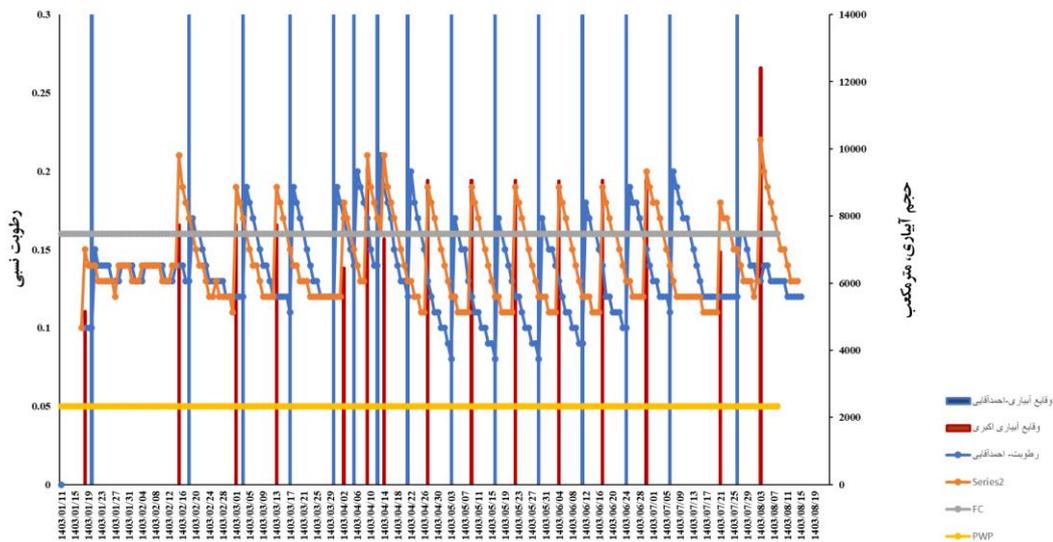
شکل ۳- وقایع آبیاری و رطوبت نسبی شبیه‌سازی شده در سامانه هوشاب برای باغ ۱



شکل ۴- وقایع آبیاری و رطوبت نسبی شبیه‌سازی شده در سامانه هوشاب برای باغ ۲

نتایج پایش رطوبت خاک در باغ پسته مروست در شکل (۵) نشان داده شده است. در این باغ دو رقم اکبری و احمدآقایی کشت شده بود و بررسی‌ها به صورت جداگانه برای هر دو رقم انجام شد. تعداد نمونه‌برداری رطوبت خاک در این باغ ۱۴ نقطه بود که با دو روش مستقیم و TDR اندازه‌گیری شد. با توجه به بافت خاک، مقدار MAD که در پسته ۰/۵ لحاظ شد و مقادیر FC و PWP ارایه شده در شکل (۵)، عموماً رطوبت‌ها در محدوده مجاز و قابل قبول قرار گرفته است. در برخی نقاط رطوبت خاک به کمتر از PWP رسیده است که به دلیل محدودیت شدید آب در دسترس است. توجه به این نکته ضروری است که مقادیر رطوبت شبیه‌سازی شده در این شکل میانگین رطوبت در ناحیه ریشه است و تغییرات رطوبت حاصل از آبیاری بر وقایع آبیاری منطبق است. همچنین رطوبت شبیه‌سازی شده با $R^2=0.61$ منطبق بر رطوبت اندازه‌گیری شده بود. نتایج مطالعات دیگر مانند مطالعه Batchu و همکاران (۲۰۲۲)، در خصوص توسعه یک مدل رگرسیونی مبتنی بر یادگیری عمیق به منظور تخمین رطوبت حجمی خاک در عمق ۵ سانتی‌متری با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای Sentinel-1، Sentinel-2، و SMAP و ارزیابی با حسگر رطوبتی حاکی از همبستگی متوسط ۰/۷۲۷ بود. همچنین نتایج مطالعه Niemann و Sahaar (۲۰۲۴) با استفاده از داده‌های

ماهواره‌ای و کاربرد یادگیری ماشینی در تخمین رطوبت خاک نشان داد که ضریب همبستگی در محدوده ۰/۷۶ برای عمق ۰-۵ سانتی‌متر تا ۰/۸۶ در عمق ۱۰۰-۰ سانتی‌متر به دست آمد.



شکل ۵- وقایع آبیاری و رطوبت نسبی شبیه‌سازی شده در سامانه هوشاب-مروست

نتیجه‌گیری

تعیین دقیق رطوبت خاک در ناحیه ریشه به دلیل تأثیرگذاری بر رشد گیاه نقش قابل توجهی در مدیریت آب کشاورزی دارد. با این حال به دست آوردن داده‌های قابل اعتماد رطوبت خاک در ناحیه ریشه در مناطق وسیع، دور از دسترس یا صعب‌العبور همواره چالش‌برانگیز است. در این خصوص استفاده از سامانه‌های هوشمند به منظور ارائه برنامه آبیاری مناسب با توجه به داده‌های محیطی و شبیه‌سازی رطوبت خاک اهمیت به‌سزایی دارد. ولی این سامانه‌ها بدون دریافت بازخورد مناسب از کشاورزان، اثربخشی و دقت مناسب ندارند. در این مطالعه از یک سامانه هوشمند انسان محور به منظور ارائه برنامه آبیاری به کشاورز استفاده شد. با توجه به اینکه برنامه‌ریزی این سامانه مبتنی بر شبیه‌سازی بیان آب در عمق توسعه ریشه بر اساس داده‌های محیطی شامل اطلاعات هواشناسی، مدیریت آبیاری، خصوصیات خاک و گیاه و دریافت بازخورد از کشاورزان است، رطوبت شبیه‌سازی شده توسط سامانه با رطوبت اندازه‌گیری شده در سه باغ پسته واقع در شهرستان‌های ابرکوه و مروست در استان یزد مقایسه شدند. نتایج حاکی از دقت مناسب سامانه در برآورد رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه بود. به گونه‌ای که رطوبت شبیه‌سازی شده با $R^2=0.61$ و $R^2=0.74$ به ترتیب برای باغات پسته ابرکوه و مروست منطبق بر داده‌های رطوبت اندازه‌گیری شده بود.

فهرست منابع

- انصاری، ح.، حسن‌پور، م. (۱۳۹۴). طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری داده‌های محیطی خاک به ویژه رطوبت، دما و شوری با نام تجاری REC-P55. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، (۹): ۳۲-۴۳.
- حاتمی، م.، سلیمانی، ح.، گندمکار، ا. و صابری، ح. (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص‌های کیفیت زندگی در شهر ابرکوه. مجله جغرافیا و توسعه فضای شهری، (۱۷): ۳۵-۵۳.
- دوستی، م. (۱۳۸۶). مدیریت آبیاری گلخانه با استفاده از روش‌های نوین اندازه‌گیری رطوبت خاک. اولین کارگاه آموزشی بهبود بهره‌وری مصرف آب در گلخانه، ۱۸ مهر، کرج، ایران، ۱۸ صفحه.
- دهقانی‌سانج، ح.، خزائی، ا. و ذاکری نیا، م. (۱۳۹۳). نقش آبیاری دقیق در مصرف آب و کارایی مصرف آب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران (۱۸): ۱۸۰-۱۸۶.

- روغنی، م.، امام‌جمعه، س.ر.، کمالی، ک. (۱۳۹۰). امکان‌سنجی ساخت حسگرهای تدفینی دستگاه TDR و ارزیابی عملکرد آنها در اندازه‌گیری رطوبت خاک. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۵(۱۷): ۵۳-۶۲.
- سهیلی‌فر، ز.، میرلطیفی، س. م.، ناصری، ع. ع و عصارى، م. (۱۳۹۲). برآورد تبخیر-تعرق واقعی نیشکر با استفاده از داده‌های سنسجش از دور در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۱): ۱۵۱-۱۶۳.
- Batchu, V., Nearing, G., Gulshan, V. (2022). A Machine Learning Data Fusion Model for Soil Moisture Retrieval. Cornell University, arXiv, Physics, arXiv:2206.09649, 3:1-59. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.09649>.
- Boardman, M., Butcher, F. (2019). An exploration of maintaining human control in AI enabled systems and the challenges of achieving it. In Workshop on Big Data Challenge-Situation Awareness and Decision Support. Brussels: North Atlantic Treaty Organization Science and Technology Organization. Porton Down: Dstl Porton Down. <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/STO-MP-IST-178/MP-IST-178-07.pdf>.
- Ganjegunte, G. K, Sheng, Z. Clark, J. (2012). Evaluating the accuracy of soil water sensors for irrigation scheduling to conserve freshwater. Applied Water Science, 119-125.
- Goodwin, I.T. (2000). Gypsum blocks for measuring the dryness of soil. Agriculture notes, AG0294
- Sahaar, S.A., Niemann, J. D.(2024). Estimating Rootzone Soil Moisture by Fusing Multiple Remote Sensing Products with Machine Learning. Remote Sensing, 16, 3699. <https://doi.org/10.3390/rs16193699>.
- Umutoni, L., Samadi, V. (2024). Application of machine learning approaches in supporting irrigation decision making: A review, Agricultural Water Management, 294, 108710. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108710>.
- Trezza, R. (2003). Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control. PhD thesis, Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State Univ., Utah.
- Zhang, D., Zhou, G. (2016). Estimation of Soil Moisture from Optical and Thermal Remote Sensing: A Review. Sensors, 16, 1308.

Evaluating the accuracy of a human-centered artificial intelligence system in simulating soil moisture

Bitá Moravejalahkami^{*1}, Saloome Sepehri Sadeghian, Mohammad Mehdi Nakhjavanimoghaddam, Reza Pirtaj

1-Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Yazd, Iran.

(Corresponding Author). E-mail: bita.moravej@gmail.com

2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

3- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

4- The CEO of Avand Hoosh Abiyaran company

Abstract

Measuring soil moisture is a crucial tool for determining the real-time and accurate water requirements of agricultural and horticultural crops. In the current study, a human-centered AI local system named “Hooshab” was evaluated for its capability to estimate soil moisture. For this purpose, three pistachio orchards were selected in the cities of Abarkooh and Marvast, located in Yazd province where, Hooshab system was implemented during 2024-2025. Based on the area of the orchards and the effective root depth of the trees, sampling points were established, and soil samples were collected from three depths: surface, middle, and lower. These samples were analyzed for their physical characteristics. Soil moisture was measured at different depths at the beginning, middle, and end of the irrigation interval using Time Domain Reflectometry (TDR) and direct weight sampling, and the results were then compared with those from the Hooshab system. The findings of this study indicated that soil moisture variations corresponded with irrigation events. The simulated soil moisture values were found to correlate with the measured soil moisture, yielding R² values of 0.74 and 0.61 for Abarkooh and Marvast, respectively.

Keywords: Intelligence, Irrigation, Drought, Productivity