کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت منابع خاک: فرصت‌ها و چالش‌ها در ایران

۱*- مهناز ختار، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

Email: mah_khatar@yahoo.com m.khatar@areeo.ac.ir mah.khataar@gmail.com

۲- مهدی احمدیان، محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

Email: mahdi.ahmadian@gmail.com m.ahmadian@areeo.ac.ir

چکیده

مدیریت پایدار منابع خاک یکی از چالش‌های اساسی و حیاتی در حوزه‌های زیست‌محیطی و کشاورزی، هم در ایران و هم در سطح جهان به شمار می‌رود. خاک به عنوان بستر اصلی تولید محصولات کشاورزی، نقش کلیدی در تأمین امنیت غذایی و تحقق توسعه پایدار ایفا می‌کند. از این رو، تخریب خاک، فرسایش، شوری، آلودگی و کاهش کیفیت آن، به عنوان تهدیدهای جدی برای بهره‌وری کشاورزی و سلامت محیط زیست مطرح هستند. در سال‌های اخیر، فناوری‌های نوین همچون هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به عنوان ابزارهای قدرتمند، توانسته‌اند امکان تحلیل داده‌های حجیم و پیچیده مرتبط با منابع خاک را فراهم و به بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری مدیریتی کمک شایانی کنند. این مقاله مروری، به بررسی کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در مدیریت منابع خاک می‌پردازد و نمونه‌هایی از موفقیت‌های جهانی و همچنین تجربیات محدود داخلی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. علاوه بر این، چالش‌های اصلی پیاده‌سازی این فناوری‌ها در ایران، از جمله کمبود داده‌های بومی، محدودیت‌های زیرساختی، نیاز به آموزش تخصصی و فرهنگ‌سازی، به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد. در پایان، راهکارهایی برای توسعه و بومی‌سازی فناوری‌های داده‌محور در مدیریت منابع خاک کشور ارائه می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بهره‌برداری هدفمند از هوش مصنوعی می‌تواند گامی مؤثر در ارتقای بهره‌وری، حفاظت و پایداری منابع خاک ایران باشد و زمینه‌ساز توسعه کشاورزی هوشمند و پایدار گردد.

کلمات کلیدی: فناوری داده، کشاورزی هوشمند، پایش خاک

مقدمه

مدیریت منابع خاک به‌عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار و امنیت غذایی، اهمیت ویژه‌ای در جهان امروز دارد. خاک نه تنها بستر تولید محصولات کشاورزی و تأمین غذای جمعیت رو به رشد جهان است، بلکه نقش کلیدی در چرخه‌های

زیستی، تنظیم آب و اقلیم، و حفظ تنوع زیستی ایفا می‌کند (Jayaraman, et al., 2023). تخریب و کاهش کیفیت خاک، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، تهدیدی جدی برای پایداری محیط زیست، بهره‌وری کشاورزی و رفاه جوامع انسانی به شمار می‌رود. بنابراین، مدیریت صحیح و علمی منابع خاک، با هدف افزایش بهره‌وری، کاهش فرسایش و آلودگی، و حفظ عملکرد اکوسیستم‌ها، ضرورتی انکارناپذیر برای حال و آینده کشور محسوب می‌شود (مزیدی حسین و وصالی، ۱۳۸۷). در سال‌های اخیر، فناوری‌های نوین همچون هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، سنجش از دور و اینترنت اشیا، افق‌های تازه‌ای را در مدیریت و پایش منابع خاک گشوده‌اند. این فناوری‌ها با امکان جمع‌آوری، تحلیل و تفسیر حجم عظیمی از داده‌های محیطی، به پژوهشگران و مدیران منابع طبیعی این فرصت را می‌دهند تا تصمیمات دقیق‌تر و هوشمندانه‌تری اتخاذ کنند. به‌کارگیری این ابزارهای داده‌محور، نه‌تنها موجب افزایش دقت در پیش‌بینی ویژگی‌های خاک و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر می‌شود، بلکه زمینه‌ساز مدیریت بهینه نهاده‌ها، کاهش هزینه‌ها و ارتقای بهره‌وری کشاورزی نیز هست(باقری، ۱۳۹۸). ورود این فناوری‌ها به عرصه علوم خاک، تحولی بنیادین در رویکردهای سنتی ایجاد کرده و راه را برای توسعه کشاورزی هوشمند و حفاظت پایدار از منابع خاک هموار ساخته است. با توجه به چالش‌هایی همچون کمبود منابع آب، فرسایش خاک، شوری و آلودگی در ایران، بهره‌گیری از فناوری‌های داده‌محور می‌تواند نقش مؤثری در بهبود بهره‌وری و حفاظت از منابع خاک ایفا نماید (الویار و مصطفائی، ۱۴۰۴). با این حال، پیاده‌سازی گسترده این فناوری‌ها با موانعی همچون کمبود داده‌های بومی، زیرساخت‌های فنی، و نیاز به آموزش تخصصی همراه است (باقری خانقاهی وکمالی، ۱۴۰۱، ، جهانگیرلو و باقری، ۱۴۰۰، Eli-Chukwu, 2019). این مقاله با هدف بررسی جامع کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در مدیریت منابع خاک، به مرور مطالعات انجام‌شده، فرصت‌ها و چالش‌های پیش رو در ایران می‌پردازد و راهکارهایی برای توسعه و بومی‌سازی این فناوری‌ها ارائه می‌دهد.

مفاهیم پایه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین

هوش مصنوعی (Artificial Intelligence - AI) شاخه‌ای از علوم کامپیوتر است که هدف آن توسعه سامانه‌هایی است که قادر به انجام وظایف پیچیده انسانی مانند یادگیری، استدلال، حل مسئله و تصمیم‌گیری باشند. هوش مصنوعی با شبیه‌سازی فرآیندهای ذهنی انسان، تلاش می‌کند ماشین‌ها را به گونه‌ای طراحی کند که بتوانند به صورت خودکار و هوشمندانه به تحلیل داده‌ها و ارائه راه‌حل بپردازند. یکی از مهم‌ترین زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی، یادگیری ماشین[1] (ML) است. یادگیری ماشین به الگوریتم‌ها[2] و مدل‌هایی اطلاق می‌شود که با استفاده از داده‌های ورودی، الگوها و روابط پنهان را شناسایی کرده و بر اساس آن‌ها پیش‌بینی یا تصمیم‌گیری می‌کنند. در واقع، یادگیری ماشین به سیستم‌ها این امکان را می‌دهد که بدون برنامه‌نویسی صریح، از تجربه و داده‌ها بیاموزند و عملکرد خود را بهبود بخشند (قربانزاده، ۱۴۰۳).

[1] Machine Learning
[2] Algorithms

یادگیری ماشین به سه دسته اصلی تقسیم می‌شود:

۱- یادگیری نظارت‌شده[3] :) در این روش، مدل با استفاده از داده‌های برچسب‌خورده[4] آموزش می‌بیند و هدف آن پیش‌بینی خروجی برای داده‌های جدید است (مانند پیش‌بینی ویژگی‌های خاک بر اساس داده‌های آزمایشگاهی).

۲- یادگیری بدون نظارت[5] : در این روش، مدل بدون داده‌های برچسب‌خورده به کشف الگوها و ساختارهای پنهان در داده‌ها می‌پردازد (مانند خوشه‌بندی[6] انواع خاک).

۳- یادگیری تقویتی[7] : در این روش، مدل با دریافت بازخورد از محیط، بهینه‌ترین تصمیم‌ها را برای رسیدن به هدف مشخص می‌آموزد.

در سال‌های اخیر، کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در علوم خاک به سرعت رشد کرده است. این فناوری‌ها می‌توانند در پردازش داده‌های بزرگ، پیش‌بینی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، طبقه‌بندی انواع خاک، شناسایی مناطق مستعد فرسایش و حتی مدیریت بهینه نهاده‌های کشاورزی نقش‌آفرینی کنند. استفاده از این ابزارها، دقت و سرعت تحلیل داده‌ها را افزایش داده و افق‌های جدیدی را در مدیریت هوشمند منابع خاک پیش روی پژوهشگران و مدیران قرار داده است (Sutton and Barto, 2018).

کاربردهای عملی این فناوری‌ها در مدیریت خاک

هوش مصنوعی[8] (AI) و یادگیری ماشین (ML) به عنوان فناوری‌های نوین، نقش کلیدی در بهبود بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و حفاظت پایدار از منابع خاک و کشاورزی ایفا می‌کنند. این فناوری‌ها با تحلیل داده‌های متنوع محیطی، کشاورزان و مدیران منابع طبیعی را در تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تر و بهینه‌تر یاری می‌دهند (Liakos, 2018, Kamilaris and Prenafeta-Boldu, 2018). برخی از مهم‌ترین کاربردهای عملی این فناوری‌ها عبارتند از:

۱. بهینه‌سازی مصرف آب و کود

سیستم‌های هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های مربوط به وضعیت خاک و رطوبت، میزان دقیق آب و کود مورد نیاز هر بخش از زمین کشاورزی را تعیین می‌کنند. این کار باعث کاهش مصرف بی‌رویه منابع، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و جلوگیری از آسیب به محیط زیست می‌شود. سیستم‌های آبیاری هوشمند با استفاده از حسگرهای رطوبت خاک و داده‌های هواشناسی،

[3] Supervised Learning
[4] Labeled data
[5] Unsupervised Learning
[6] Clustering
[7] Reinforcement Learning
[8] Artificial intelligence

زمان و مقدار آبیاری را بهینه کرده و مصرف آب را تا حد زیادی کاهش می‌دهند. همچنین، الگوریتم‌های یادگیری ماشین با تحلیل داده‌های هواشناسی و خاک، میزان تبخیر و تعریق گیاهان را تخمین زده و برنامه‌های آبیاری دقیق و بهینه‌ای را تنظیم می‌کنند تا منابع آب به صورت کارآمد مصرف شوند. این فناوری‌ها قادرند خطر خشکسالی و نیاز آبی گیاهان را پیش‌بینی کرده و به کشاورزان در برنامه‌ریزی بهتر کاشت و آبیاری کمک کنند. علاوه بر این، الگوریتم‌های هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های جریان و فشار آب، نشتی‌ها را به سرعت شناسایی می‌کنند که از هدررفت آب جلوگیری کرده و به حفظ منابع کمک می‌کند (زاهدپور و همکاران، ۱۴۰۴، ماه‌آورپور و مصلح،۱۴۰۳، Zhang, et al., 2002, Jones, 2004).

۲. مدیریت هوشمند زمین‌های کشاورزی

با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های پهپادها و حسگرهای هوشمند، الگوریتم‌های یادگیری ماشین قادرند کمبود مواد مغذی خاک را تشخیص دهند، بازدهی زمین را پیش‌بینی کنند و بهترین زمان و نوع کشت را پیشنهاد دهند. این فناوری به کشاورزان کمک می‌کند تا با شناخت دقیق‌تر شرایط خاک و گیاه، بهره‌وری را افزایش دهند. همچنین، هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های محیطی و خاکی، به کشاورزان و مدیران منابع طبیعی این امکان را می‌دهد تا تصمیمات استراتژیک بهتری برای بهره‌برداری پایدار از خاک اتخاذ کنند و منابع را بهتر مدیریت کنند. این فناوری‌ها همچنین در تطبیق با چالش‌های اقلیمی و محدودیت منابع، نقش موثری ایفا می‌کنند (Kamilaris and Prenafeta-Boldu, 2018).

۳. پایش سلامت خاک و محصولات

هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از خاک و گیاهان، میزان مواد مغذی و آلودگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی موجود در خاک و سلامت محصولات را ارزیابی می‌کند. این امکان به کشاورزان اجازه می‌دهد تا به موقع اقدامات اصلاحی انجام دهند و از خسارت‌های گسترده جلوگیری کنند (Kamilaris and Prenafeta-Boldu, 2018).

۴. مدیریت خاک شور

مدیریت خاک شور یکی از چالش‌های مهم در کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک است که هوش مصنوعی می تواند کاربردهای مهمی در این رابطه داشته باشد، از جمله: پایش و نقشه‌برداری شوری خاک: با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند جنگل تصادفی (Random Forest) و ماشین بردار پشتیبان (SVM)، نقشه‌های دقیق توزیع شوری خاک تهیه می‌شود که به مدیریت بهینه کمک می‌کند. کوددهی هوشمند: با تحلیل داده‌های خاک و نیاز گیاه، ترکیب و میزان کود بهینه می‌شود تا از تجمع نمک‌ها جلوگیری گردد. آبیاری هوشمند: سیستم‌های آبیاری با تحلیل رطوبت خاک و پیش‌بینی اقلیم، زمان و میزان آبیاری را تنظیم می‌کنند تا شستشوی نمک‌ها بهینه شده و تجمع شوری کاهش یابد. شبیه‌سازی حرکت نمک‌ها: نرم‌افزارهای مدل‌سازی مانند HYDRUS2D با داده‌های محیطی و الگوریتم‌های هوشمند، فرآیند آبشویی خاک شور را شبیه‌سازی و پیش‌بینی می‌کنند (Vallejo-Gomez, et al. 2013,

(Wang, et al., 2021). در این راستا پیری و مبارکی (۱۴۰۱) از روش زمین‌آمار و روش‌های هوش مصنوعی شامل شبکه عصبی مصنوعی، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی شوری خاک اراضی قرقری شهرستان هیرمند استفاده کرده و با توجه به نتایج بیان داشتند که باید زمینه کاشت گونه های گیاهی سازگار با منطقه، منطبق با شوری خاک فراهم شود.

۵. طبقه‌بندی و پیش‌بینی ویژگی‌های خاک

هوش مصنوعی با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های حسگرهای خاک، انواع خاک را بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به‌صورت دقیق طبقه‌بندی می‌کند. الگوریتم‌های یادگیری عمیق مانند شبکه‌های عصبی کانولوشنال (CNN) و الگوریتم‌های جنگل تصادفی و SVM در این زمینه کاربرد دارند. برای مثال طاهری دهکردی و ولدان زوج (۱۴۰۰) نشان دادند که بین تولید نقشه های سطح زیرکشت به واسطه طبقه بندی کاربری اراضی کشاورزی با استفاده از تصاویر سنجش از دور، یکی از راهکارهای موثر در تصمیم گیری های کلان این حوزه و تامین امینت غذایی جامعه به شمار می رود.

چالش‌ها و محدودیت‌ها و راهکارها و پیشنهادات برای رفع چالش‌ها در مدیریت منابع خاک ایران

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در زمینه هوش مصنوعی و کاربردهای آن در کشاورزی و مدیریت منابع خاک، ایران با چالش‌ها و محدودیت‌های متعددی در این حوزه مواجه است که می‌تواند روند توسعه و بهره‌برداری بهینه از این فناوری‌ها را کاهش دهد. مهم‌ترین این چالش‌ها عبارت‌اند از: ۱- کمبود داده‌های بومی: یکی از اصلی‌ترین مشکلات، نبود یا کمبود داده‌های دقیق، به‌روز و بومی درباره ویژگی‌های خاک، اقلیم و کشاورزی است. داده‌های بومی برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی حیاتی هستند، تا بتوانند پیش‌بینی‌ها و تحلیل‌های دقیقی ارائه دهند. در ایران، جمع‌آوری داده‌های گسترده و استاندارد شده هنوز به صورت سیستماتیک انجام نمی‌شود و این موضوع مانع توسعه مدل‌های دقیق و کاربردی شده است. ۲- زیرساخت‌های فنی ناکافی: پیاده‌سازی فناوری‌های هوش مصنوعی نیازمند زیرساخت‌های قوی شامل سرورهای پردازشی پیشرفته، شبکه‌های ارتباطی پایدار، تجهیزات ذخیره‌سازی داده و سکوی نرم‌افزاری بومی است. هرچند در سال‌های اخیر برخی زیرساخت‌های ملی هوش مصنوعی در ایران توسعه یافته، اما هنوز این زیرساخت‌ها به صورت گسترده و کامل در بخش کشاورزی و مدیریت خاک مستقر نشده‌اند. ۳- نیاز به آموزش و فرهنگ‌سازی: کمبود نیروی متخصص و همچنین عدم آشنایی کافی کشاورزان و مدیران با فناوری‌های نوین از دیگر موانع در این راستا است. استفاده موفق از هوش مصنوعی در کشاورزی نیازمند آموزش‌های تخصصی و فرهنگ‌سازی برای پذیرش فناوری‌های جدید می باشد. (پناهی و نظری‌زاده، ۱۴۰۱، سجودی و همکاران، ۱۳۹۹، صافی سیس و همکاران، ۱۳۹۳، اردکانی و همکاران، ۱۳۹۲، آسیمه و نوری پور، ۱۳۹۶، اعظمی و حسن پور، ۱۳۹۹). با وجود این چالش‌ها، ایران در مسیر توسعه کشاورزی هوشمند و بهره‌گیری از هوش مصنوعی گام‌های مهمی برداشته است. استارتاپ‌ها و شرکت‌های دانش‌بنیان در حال توسعه راهکارهای بومی و مقرون‌به‌صرفه هستند که می‌توانند به تدریج این محدودیت‌ها را کاهش دهند. با توجه به چالش‌های مطرح شده در زمینه

بهره‌گیری از هوش مصنوعی در مدیریت منابع خاک ایران، راهکارهای زیر می‌توانند به توسعه و گسترش این فناوری کمک کنند: ۱. توسعه و ایجاد بانک داده‌های بومی و جمع‌آوری سیستماتیک داده‌ها: ایجاد سامانه‌های ملی و استانی برای جمع‌آوری، ذخیره و به‌روزرسانی داده‌های خاک، اقلیم و کشاورزی به صورت استاندارد و گسترده ضروری است. استفاده از فناوری‌های نوین بهره‌گیری از حسگرهای اینترنت اشیا (IoT)، پهپادها و تصاویر ماهواره‌ای برای جمع‌آوری داده‌های دقیق و به‌روز و همچنین همکاری بین‌دستگاهی تبادل داده‌ها و توسعه بانک‌های داده بومی می تواند در این رابطه راهگشا باشد. ۲. تقویت زیرساخت‌های فنی و فناوری و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های پردازشی: توسعه مراکز داده و سرورهای پیشرفته با توان پردازشی بالا (مانند سرورهای GPU) برای پردازش داده‌های بزرگ و اجرای مدل‌های هوش مصنوعی، گسترش شبکه‌های ارتباطی، بهبود پوشش اینترنت پرسرعت در مناطق روستایی و کشاورزی جهت انتقال داده‌ها و استفاده از سیستم‌های هوشمند، توسعه سکوی نرم‌افزاری بومی و طراحی و پیاده‌سازی پلتفرم‌های نرم‌افزاری بومی و سازگار با شرایط محلی برای مدیریت داده‌ها و اجرای الگوریتم‌های هوش مصنوعی امری ضروری است. ۳. آموزش و فرهنگ‌سازی: برگزاری دوره‌های آموزشی برای کشاورزان، کارشناسان و مدیران کشاورزی و منابع طبیعی در زمینه کاربردهای هوش مصنوعی و فناوری‌های نوین، اطلاع‌رسانی و آموزش عمومی درباره مزایا و کاربردهای فناوری‌های هوشمند در کشاورزی، حمایت از استارتاپ‌ها و شرکت‌های دانش‌بنیان ، لازم الاجراست. ۴. سیاست‌گذاری و حمایت‌های دولتی: تدوین سیاست‌های کلان و برنامه‌های حمایتی برای توسعه کشاورزی هوشمند و استفاده از هوش مصنوعی، تخصیص و افزایش سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه فناوری‌های هوشمند کشاورزی، ایجاد همکاری‌های بین‌المللی و همکاری با مراکز تحقیقاتی در زمینه هوش مصنوعی کشاورزی در این زمینه نقش کلیدی دارد (پناهی و نظری‌زاده، ۱۴۰۱، سجودی و همکاران، ۱۳۹۹، صافی سیس و همکاران، ۱۳۹۳، اردکانی و همکاران، ۱۳۹۲، آسیمه و نوری پور، ۱۳۹۶، اعظمی و حسن پور، ۱۳۹۹).

نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به عنوان فناوری‌های نوین، می تواند ظرفیت‌های بالقوه‌ای برای تحول در مدیریت منابع خاک و کشاورزی ایران فراهم کند. این فناوری‌ها با توانایی تحلیل داده‌های پیچیده و ارائه پیش‌بینی‌های دقیق، منجر به بهبود بهره‌وری، کاهش مصرف منابع و حفاظت پایدار از خاک می شوند. با این حال، چالش‌هایی مانند کمبود داده‌های بومی، محدودیت‌های زیرساختی و نیاز به آموزش و فرهنگ‌سازی، مانع توسعه کامل این فناوری‌ها در کشور شده است. لذا با توجه به اهمیت مدیریت پایدار منابع خاک در تأمین امنیت غذایی و حفظ محیط زیست، لازم است با برنامه‌ریزی دقیق، سرمایه‌گذاری هدفمند و همکاری میان بخش‌های دولتی، خصوصی و دانشگاهی، زیرساخت‌های لازم فراهم شده و ظرفیت‌های هوش مصنوعی به صورت گسترده در بخش کشاورزی ایران به کار گرفته شود. توسعه بانک‌های داده بومی، تقویت زیرساخت‌های فنی، آموزش نیروی انسانی و فرهنگ‌سازی، از جمله گام‌های کلیدی در این مسیر هستند. در نهایت، بهره‌گیری هوشمندانه از فناوری‌های نوین می‌تواند نقش مؤثری در مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی و کشاورزی ایران ایفا نماید و آینده‌ای روشن‌تر برای مدیریت منابع خاک کشور رقم بزند.

منابع

الویار، ز.، و مصطفائی، م. (۱۴۰۴). علوم و فناوریها ی نوین در مدیری ت خاک برای دست یاب ی به کشاورزی پا یدار. خاک و توسعه پایدار، ۱ (۱)، ۹۰-۱۰۸.

اردکانی، س.، کنجکاو منفرد، ا. ر.، حکاکی، س. م.، و رضایی دولت‌آبادی، ح. (۱۳۹۲). شناسایی عوامل مؤثر بر توسعه نوآوری فردی. فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، ۱(۲)، ۱۵۵-۱۳۵.

آسیمه، م.، و نوری‌پور، م. (۱۳۹۶). تحلیل عوامل مؤثر در پذیرش نوآوری‌ها: مورد کشت گلرنگ در دهستان بند امیر. پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، ۱۰(۳)، ۶۳-۷۲.

اعظمی، م.، و حسن‌پور، ک. (۱۳۹۹). کاربست مدل یکپارچه پذیرش و استفاده از فناوری برای پذیرش نوآوری‌ها در بین کشاورزان شهرستان دلفان. پژوهش مدیریت آموزش کشاورزی، ۱۲(۵۲)، ۱۵۷-۱۷۶.

باقری، ن. (۱۳۹۸). فناوری اطلاعات بسترساز توسعه کشاورزی هوشمند .مجله علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی. ۲ (۱)، بهار و تابستان ۱۳۹۸.

پناهی، ف.، و نظری‌زاده، ف. (۱۴۰۱). شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های پیشروی اشاعه و پذیرش نوآوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در بخش کشاورزی در جمهوری اسلامی ایران. در ششمین کنگره بین‌المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران.

پیری، ح.، و مبارکی، م. (۱۴۰۱). مقایسه روش‌های هوش مصنوعی و زمین آمار در پیش‌بینی شوری سطحی خاک در قرقری، هیرمند. محیط زیست و مهندسی آب، ۸ (۳)، ۶۲۲-۶۳۵.

رحیمی جهانگیرلو، م. و باقری، ن. (۱۴۰۰). نقش چرخه مدیریت زراعی مبتنی بر فناوری اطلاعات در توسعه کشاورزی پیشرفته. مجله ترویجی علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی، سال چهارم(شماره ۷)، بهار و تابستان ۱۴۰۰.

زاهدپور یگانه، ح.، خورسند، ا.، رجا، ا.، و کنعانی، ا. (۱۴۰۴). تکنولوژی‌های هوشمند در کشاورزی: مدیریت آب و منابع در عصر تغییرات اقلیمی. فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب.

سجودی، ز.، سجودی، ح.، و میرزایی، ف. (۱۳۹۹). هوش مصنوعی در کشاورزی برای بهینه‌سازی آبیاری. در دومین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست محیطی، ساری، ایران.

صافی سیس، ی.، کرمی دهکردی، ا.، و حسینی، س. (۱۳۹۳). تحلیل سرمایه اجتماعی کنشگران و منابع اطلاعاتی نظام نوآوری کشاورزی در پذیرش نوآوری‌ها از سوی کشاورزان: پژوهشی در شهرستان شبستر در استان آذربایجان شرقی. پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، ۷(۲)، ۵۰-۳۵.

طاهری دهکردی، ع.ر.، و ولدان زوج، م.ج. (۱۴۰۰). طبقه‌بندی کاربری اراضی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل و شبکه عصبی پیچشی سه‌بعدی عمیق (مطالعه موردی: شهرکرد). مجله تحقیقات آب و خاک ایران, ۵۲(۷)، ۱۹۴۱-۱۹۵۳.

قربان‌زاده، پ. (۱۴۰۳). هوش مصنوعی و یادگیری مبتنی بر داده: یک رویکرد نوین. در اولین همایش بین‌المللی معلمان استعدادیاب و فرهنگ‌ساز در توسعه آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش در مسیر توسعه پایدار.

ماه‌آورپور، س.، و مصلح، م. (۱۴۰۳). به کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی در مدیریت هوشمند مصرف آب کشاورزی، شرب و صنعت. در اولین کنفرانس ملی راهبردهای مهندسی و مدیریتی در سامانه‌های آبی.

مزیدی حسین، صادق، و وصالی، سیدعلی. (۱۳۸۷). کشاورزی پایدار با مدیریت منابع خاک. در همایش منطقه‌ای کشاورزی، محور رشد و توسعه.

Eli-Chukwu, N. C. (2019). Applications of artificial intelligence in agriculture: A review. Engineering, Technology & Applied Science Research, 9(4), 4377-4383.

Jayaraman, S. O. M. A. S. U. N. D. A. R. A. M., Dalal, R., Patra, A. K., & Lal, R. (2023). Sustainable soil management: Challenges, prospects and benefits. *Sustainable Soil Management: Beyond Food Production*, 1.

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. Computers and Electronics in Agriculture, 147, 70-90.

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, *18*(8), 2674.

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1998). *Reinforcement learning: An introduction* (Vol. 1, No. 1, pp. 9-11). Cambridge: MIT press

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction 2nd ed. *MIT press Cambridge*, *1*(2), 25.

Vallejo-Gomez, D., Osorio, M., & Hincapie, C. A. (2023). Smart irrigation systems in agriculture: A systematic review. *Agronomy*, *13*(2), 342.

Wang, J., Peng, J., Li, H., Yin, C., Liu, W., Wang, T., & Zhang, H. (2021). Soil salinity mapping using machine learning algorithms with the Sentinel-2 MSI in arid areas, China. *Remote Sensing*, *13*(2), 305.

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. Computers and Electronics in Agriculture, 36(2-3), 113-132.

Application of Artificial Intelligence in Soil Resource Management: Opportunities and Challenges in Iran

Mahnaz Khataar[1*], Mahdi Ahmadian[2]

1- *Mahnaz khataar, Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.
Email: mah_khatar@yahoo.com m.khatar@areeo.ac.ir mah.khataar@gmail.com

2- **Mehdi Ahmadian**, Researcher of Soil and Water Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.
Email: mahdi.ahmadian@gmail.com m.ahmadian@areeo.ac.ir

Abstract

Sustainable soil resource management is one of the fundamental and critical challenges in environmental and agricultural sectors, both in Iran and globally. As the primary foundation for agricultural production, soil plays a key role in ensuring food security and achieving sustainable development. Consequently, soil degradation, erosion, salinization, pollution, and declining soil quality are considered serious threats to agricultural productivity and environmental health. In recent years, advanced technologies such as artificial intelligence (AI) and machine learning have emerged as powerful tools, enabling the analysis of large and complex datasets related to soil resources and significantly improving management decision-making processes.This review article examines the applications of AI and machine learning in soil resource management, evaluating global success stories as well as the more limited domestic experiences. Additionally, it discusses in detail the main challenges of implementing these technologies in Iran, including the lack of local data, infrastructural limitations, the need for specialized training, and the importance of raising awareness. Finally, the article proposes strategies for the development and localization of data-driven technologies in the management of the country’s soil resources. The findings of this study indicate that the targeted use of artificial intelligence can be an effective step toward enhancing the productivity, conservation, and sustainability of Iran’s soil resources, paving the way for the development of smart and sustainable agriculture.

Keywords: Data technology, smart agriculture, soil monitoring