سلسله گزارش های

اکوتک eco tech

اتاق بازرگانی یزد

شماره سوم

موضوع این شماره:

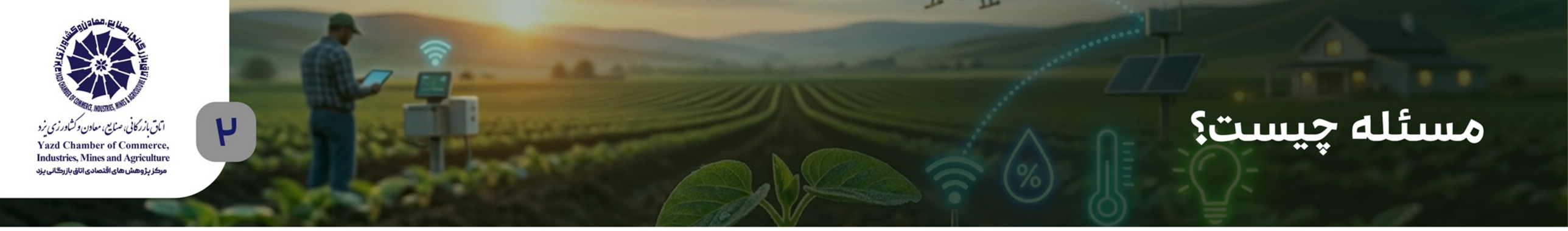
کاربرد هوش مصنوعی اشیا (AIoT) در کشاورزی پایدار

پیشبرد مدیریت خاک و آب با حسگرهای اینترنت اشیا

اکوتک مجموعه‌ای است که به بررسی و معرفی نوآوری‌ها، اختراعات، فناوری‌ها و راهکارهای نوین می‌پردازد؛ راهکارها و ایده‌هایی که می‌توانند به بهبود عملکرد اقتصادی، ارتقای کیفیت زندگی، ایجاد تحولات صنعتی و تقویت مسیر توسعه استان یزد کمک کنند و می‌توانند ایده‌ای برای گفتمان و شروع پروژه‌های امکان‌سنجی و قابل اجرا باشند.

برای مشاهده ویدئوی کاربرد اینترنت اشیا (IoT)
در هوشمندسازی کشاورزی، اسکن نمایید.

اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی یزد
Yazd Chamber of Commerce, Industries, Mines and Agriculture
مرکز پژوهش های اقتصادی اتاق بازرگانی یزد



مسئله چیست؟

استان یزد در یکی از خشک‌ترین و کم‌بارش‌ترین مناطق ایران قرار دارد و کشاورزی آن به‌شدت به منابع آب زیرزمینی نیاز دارد، در چنین شرایطی، رشد شوری آب و خاک، فقر مواد مغذی، الگوهای ناپایدار آبیاری و تخریب خاک، امنیت غذایی و تاب‌آوری کشاورزی استان را با تهدید جدی مواجه می‌کند. در برنامه الگوی کشت محصولات باغی نیز هدفگذاری شده است که مصرف آب کشاورزی استان بر اساس معیارها کاهش یابد. افزون بر این، بیش از ۸۰ درصد اراضی کشاورزی یزد کمتر از یک درصد ماده آلی دارند که نشان‌دهنده کاهش کیفیت خاک و تشدید پیامدهای مصرف نامتوازن کودهای شیمیایی است.

از منظر فناوری و زیرساخت نیز استان یزد با چالش‌ها و شکاف‌هایی مواجه است. این استان بر اساس گزارش سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و میزان تحقق برنامه ابلاغی الگوی کشت، برای قرارگیری در جمع استان‌های برتر در حوزه مکانیزاسیون کشاورزی و توسعه سامانه‌های نوین آبیاری نیازمند توجه بیشتری است.

با وجود عملکرد نسبتا مناسب در برخی الزامات اجرایی و مدیریت نهاده‌ها، استان یزد همچنان نیازمند برنامه‌ریزی و تدوین راهبردهای مشخص در حوزه زیرساخت‌های آب و فناوری‌های پایه کشاورزی است تا بتواند در کنار سایر عوامل به بهره‌وری بالاتر و پایداری تولید دست یابد.

در این میان، فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی می‌توانند با پایش لحظه‌ای رطوبت، دما، شوری، عناصر مغذی و اسیدیته خاک، مدیریت آب و خاک را دقیق‌تر و کارآمدتر کنند. با این حال، هزینه اولیه تجهیزات، ضعف پوشش ارتباطی، نبود مدل‌های مالی و حمایتی مناسب و شکاف سواد دیجیتال، مانع گسترش این فناوری‌ها می‌شود. ازاین‌رو، مسئله اصلی یزد آن است که چگونه می‌توان از فناوری‌ها برای کاهش مصرف آب و نهاده‌های شیمیایی، مهار تخریب خاک و حفظ بازده اقتصادی مزارع استفاده کرد، به گونه‌ای که برای کشاورزان نیز از نظر مالی قابل‌قبول و اجرایی باشد.

با توجه به سرعت تحولات و کاهش منابع؛ پیشنهاد ویژه این است که در استان یزد کمیته نفوذ و فرهنگ‌سازی مکانیزاسیون، نوآوری و کشاورزی ۴.۰ ذیل مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد و با حاکمیت استانداری یزد و کمک بخش خصوصی (اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی یزد) و نهادهای مرتبط ایجاد و نهادینه گردد.

وظایف این کمیته موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

فرهنگ‌سازی و نفوذ فناوری
معرفی نوآوری‌ها و فناوری‌های روز، برگزاری تورهای فناوری از کشاورزان پیشرو و ایجاد مزارع الگو و تولید محتوای آموزشی ساده و بومی و برنامه‌های ترویجی روستایی و شبکه‌سازی بین کشاورزان پیشرو

تسهیل‌گری و مانع‌زدایی
هدایت تسهیلات کم‌بهره بانکی به سمت خرید تجهیزات هوشمندسازی

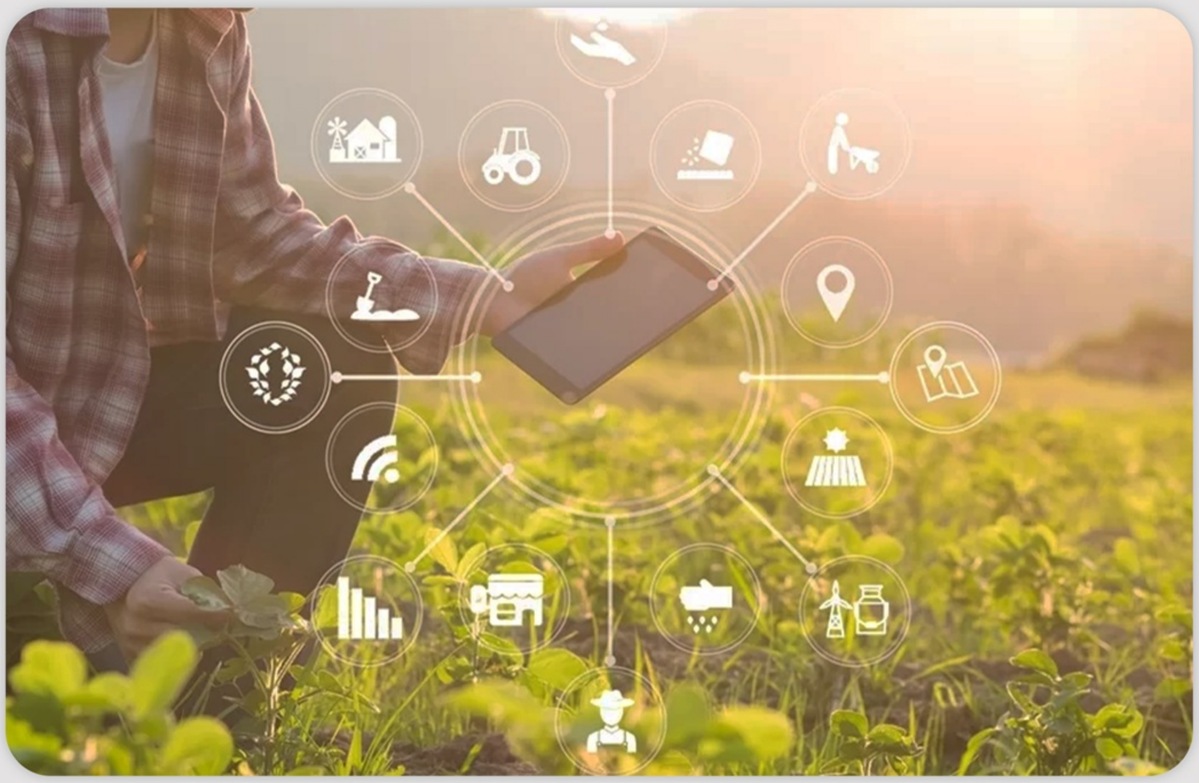
راه‌اندازی پایگاه داده
جهت رصد وضعیت کشت، مصرف آب و ... جهت مدیریت داده‌ها و ایجاد سناریوهای تشویقی به کشاورزان پیشرو

eco tech

۱ از انقلاب صنعتی تا کشاورزی ۴.۰ [۱]

اینترنت اشیا (IoT) شبکه‌ای از دستگاه‌های متصل به یکدیگر است که با بهره‌گیری از حسگرها، نرم‌افزارها و فناوری‌های ارتباطی، داده‌ها را در بستر اینترنت جمع‌آوری و تبادل می‌کنند. در صنعت کشاورزی، این فناوری با گردآوری پیوسته داده‌ها، امکان پایش لحظه‌ای شرایط محیطی را فراهم می‌سازد. ترکیب این داده‌ها با فناوری هوش مصنوعی، مفهوم پیشرفته‌تری به نام هوش مصنوعی اشیا (AIoT) را خلق می‌کند. دامنه کاربردهای این فناوری در کشاورزی بسیار وسیع است؛ از ارائه راهکارهای هوشمندانه برای زمان و نوع کوددهی گرفته تا پیشنهاد بهترین الگوی کشت و ارزیابی سلامت خاک. در نهایت، استفاده از اینترنت اشیا به کشاورزان کمک می‌کند تا تصمیماتی مبتنی بر داده اتخاذ کنند که نتیجه آن افزایش بازدهی محصولات، بهینه‌سازی مصرف منابع و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی خواهد بود.

این گزارش بر تعریف سازمان ملل از توسعه پایدار [۲]، یعنی تأمین نیازهای امروز بدون تضعیف توان نسل‌های آینده، نیز اشاره دارد. در این میان، پنج هدف توسعه پایدار بیشترین ارتباط را با موضوع گزارش دارند: هدف ۲ (پایان دادن به گرسنگی)، هدف ۹ (صنعت، نوآوری و زیرساخت)، هدف ۱۲ (مصرف و تولید مسئولانه)، هدف ۱۳ (اقدام اقلیمی) و به‌ویژه هدف ۱۵ (حیات در خشکی). تمرکز بر این اهداف نشان می‌دهد که گذار به کشاورزی پایدار، تنها افزایش تولید نیست، بلکه مستلزم حفاظت از خاک و منابع آب، به‌کارگیری فناوری‌های نو و کاهش آثار تغییرات اقلیمی است. تحقق این اهداف، زیربنای شکل‌گیری نظمی اقتصادی و زیست‌محیطی، منصفانه‌تر و تاب‌آورتر خواهد بود.



امروزه که در آستانه ورود به عصر کشاورزی ۴.۰ هستیم، حفظ پایداری محیط‌زیست هم‌گام با افزایش بهره‌وری، به یک ضرورت انکارناپذیر تبدیل شده است. در مسیر گذار به این کشاورزی نوین، فناوری هوش مصنوعی اشیا نقشی کلیدی بر عهده دارد؛ چرا که با تحلیل دقیق و پیوسته شرایط محیطی، راهکارهای موثری برای کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ارائه می دهد. در نهایت، کشاورزی مدرن با اتکا به خودکارسازی و رویکردهای داده‌محور در بستر اینترنت اشیا، می‌تواند به سوی روش‌هایی گام بردارد که نه‌تنها کارآمدتر و در مصرف منابع بهینه‌ترند، بلکه در برابر تغییرات اقلیمی نیز مقاومت بسیار بیشتری دارند.

---

[۱] کشاورزی ۴.۰ (Agriculture ۴/۰)، نسل جدیدی از کشاورزی است که از ترکیب فناوری‌های پیشرفته‌ای مثل اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، رباتیک و تحلیل داده‌های بزرگ به وجود آمده است. این نسل جدید، همان انقلاب بزرگی را در مزارع ایجاد می‌کند که پیش‌تر در کارخانه‌ها با نام صنعت ۴.۰ شاهد آن بودیم. در واقع، کشاورزی در حال تغییر مسیر از روش‌های پرهزینه و وابسته به نیروی کار انسانی، به سمت روش‌های هوشمند و مبتنی بر اطلاعات است. این تغییر بزرگ باعث می‌شود هزینه‌ها به‌شدت کاهش یابد و کشاورزان بتوانند میزان درآمد و سود خود را بسیار دقیق‌تر پیش‌بینی کنند.

[۲] اهداف توسعه پایدار سازمان ملل: چارچوب ۱۷ گانه جهانی برای توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، هم‌راستایی با این اهداف برای جذب سرمایه‌گذاری مسئولانه و دسترسی به وام‌های سبز و یارانه‌های بین‌المللی، یک پیش‌شرط عملیاتی است.

۲ اثر اینترنت اشیا در کشاورزی پایدار:

مطالعات مروری ۲۰۲۶-۲۰۲۵ نشان می‌دهند که پیاده‌سازی اینترنت اشیا در مزرعه می‌تواند بهره‌وری مزرعه را تا حدود ۲۵ درصد افزایش، مصرف آب را تا ۳۰درصد و مصرف کود و سم را تا حدود ۴۰درصد کاهش دهد.

مقالات فارسی ۱۴۰۵-۱۴۰۳ درباره هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در کشاورزی پایدار تأکید می‌کنند که این فناوری‌ها امکان پایش لحظه‌ای خاک و شرایط محیطی و بهینه‌سازی مصرف آب و نهاده‌ها را در مزارع ایران فراهم می‌کنند.

در برخی پروژه‌های کشاورزی دقیق، استفاده از حسگرها و الگوریتم های توصیه آبیاری، کاهش قابل توجهی در مصرف سموم و کاهش ردپای کربن را نشان داده است.

منابع فارسی و بین‌المللی نشان می‌دهند که در عمل از اینترنت اشیا برای پایش لحظه‌ای رطوبت خاک، دمای خاک و هوا، میزان اسیدیته، مواد مغذی، سطح آب، وضعیت آفات و حتی وضعیت ماشین‌آلات کشاورزی استفاده می‌شود.

این سامانه‌ها به کشاورز اجازه می دهند از طریق موبایل یا وب، مزرعه را از راه دور پایش و کنترل کند، برنامه آبیاری را بر اساس داده‌های زنده تنظیم کند و در نتیجه مصرف آب و کود را کاهش و عملکرد محصول را افزایش دهد.

eco tech

۳ معرفی نمونه حسگرها در کشاورزی

کیفیت خاک، رکن اساسی رشد گیاه به‌شمار می‌رود و پایش آن در گستره مکان و زمان، با توجه به تغییرات اقلیمی، نقشی حیاتی در کشاورزی فضای باز خواهد داشت. شاخص‌های کلیدی برای پایش شرایط خاک عبارت‌اند از: سطوح نیتروژن، فسفر و پتاسیم، رسانایی الکتریکی، میزان رطوبت، اسیدیته و دما. جدول زیر خلاصه حسگرها را نشان می‌دهد.

نوع حسگر	مشخصات فنی	تصویر حسگر
حسگر NPK **کاربرد** سنجش سطوح نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک **نام مدل** JXBS-3001-NPK-RS	محدوده اندازه‌گیری: ۰ تا ۱۹۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم دقت: ±۲٪ مقیاس کامل زمان پاسخ: کمتر از ۱۰ ثانیه دمای کارکرد: ۵ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد محدوده رطوبت: ۵٪ تا ۹۵٪ (بدون میعان)	
حسگر رطوبت **کاربرد** سنجش رطوبت خاک برای تعیین نیاز آبیاری **نام مدل** Echo-EC5	محدوده اندازه‌گیری: ۰٪ تا ۱۰۰٪ VWC دقت: ±۳٪ VWC زمان اندازه‌گیری: ۱۰ میلی‌ثانیه دمای کارکرد: ۴۰- تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد ابعاد: طول ۸.۹ سانتی‌متر	
حسگر اسیدیته (pH) **کاربرد** پایش سطح اسیدیته برای ارزیابی سلامت خاک و دسترس پذیری مواد مغذی **نام مدل** E-201C	محدوده اندازه‌گیری: pH ۰ تا ۱۴ دقت: ±۰.۱۵ pH زمان پاسخ: کمتر از ۵ ثانیه دمای کارکرد: ۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد ابعاد: قطر ۱۲ میلی‌متر، طول ۱۲۰ میلی‌متر	
دما و رطوبت هوا **کاربرد** سنجش دما و رطوبت محیطی مؤثر بر شرایط خاک **نام مدل** DHT22	محدوده رطوبت: ۰٪ تا ۱۰۰٪ RH دقت رطوبت: ±۲٪ RH محدوده دما: ۴۰- تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد دقت دما: ±۰.۵ درجه سانتی‌گراد ابعاد: ۱۵.۱ × ۲۵ × ۷.۷ میلی‌متر	
حسگر چند پارامتری با AI **کاربرد** پایش همزمان رطوبت، NPK، pH، شوری و کربن خاک **نام مدل** EcoSensor Pro (Sentek)	پردازش AI در لبه عمر باتری: ۵ سال ارتباط بی‌سیم LoRaWAN[۳] دقت: ±۱.۵٪	

[۳] شبکه‌های دوربرد با توان پایین که به دلیل هزینه راه‌اندازی کم و عدم وابستگی به اپراتورهای سنتی، اقتصادی‌ترین بستر برای تجاری‌سازی اینترنت اشیا در مزارع پهناور محسوب می‌شوند.

۴ چالش‌های پیش روی پیاده‌سازی

تلفیق هوش مصنوعی اشیا در کشاورزی، فرصت‌های قابل توجهی برای پایداری به ارمغان می‌آورد. با این حال، چالش های کلیدی همچنان مانع از پیاده‌سازی گسترده می‌شوند؛ به‌ویژه در ابعاد هزینه، اتصال‌پذیری و پذیرش کشاورزان از کشاورزی هوشمند. رفع این موانع برای آزادسازی کامل ظرفیت اینترنت اشیا در کشاورزی پایدار، حیاتی است.

۴.۱. چالش‌های هزینه و دقت حسگر

با وجود اینکه در سال‌های اخیر شاهد کاهش قیمت حسگرهای کشاورزی بوده‌ایم و مدل‌های اقتصادی‌تری در کنار نمونه‌های گران‌قیمت در دسترس قرار گرفته‌اند، اما این ارزانی معمولاً با افت دقت همراه بوده و چالش همیشگی تقابل هزینه و دقت را به همراه داشته است.
با وجود این، ظهور حسگرهای مبتنی بر امواج رادیویی (RFID) این چالش را برطرف کرده است. این فناوری با ارائه حسگرهای رطوبت بدون باتری و کم هزینه، پایش گسترده مزارع را ممکن می‌سازد. بر اساس پژوهش وانگ و همکاران، یک حسگر مبتنی بر این فناوری در محیط واقعی گلخانه، دقتی بالاتر از مدل‌های ارزان و کاملاً هم‌سطح با مدل‌های گران‌قیمت (بالای ۹۰ درصد) ثبت کرده است. در نهایت می‌توان گفت حسگرهای ارزان‌قیمتRFID، دسترسی به اینترنت اشیا در کشاورزی را به‌شدت آسان کرده‌اند. این نوآوری، یک نقطه عطف اقتصادی است که اجرای کشاورزی دقیق را در مزارع پهناور و گلخانه‌های صنعتی توجیه‌پذیر می‌کند و نویدبخش آن است که در نسل های آینده، فاصله میان هزینه پایین و دقت بالا از بین برود. اما آنچه قابل پیش‌بینی است، سرمایه‌گذاری بودن این موضوع است که کاهش دوره بازگشت سرمایه را در پی خواهد داشت.

۴.۲. محدودیت‌های اتصال‌پذیری

دسترسی به اتصال‌پذیری، چالشی پایدار است. بسیاری از محیط های کشاورزی فاقد دسترسی پایدار به وای فای هستند و حتی در شرایط برخورداری از وای فای قابل اعتماد، این فناوری همواره بهترین گزینه برای استقرار اینترنت اشیا در مقیاس وسیع نیست. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه، وای فای همچنان از زمان پاسخ پایین و دشواری در مدیریت تعداد زیاد دستگاه‌ها رنج می‌برد.
یک راه‌حل بالقوه، گسترش شبکه‌های 5G برای توسعه کشاورزی پایدار است. این فناوری به دلیل ظرفیت بالا در مدیریت تعداد گسترده دستگاه‌های لازم برای فعالیت‌های کشاورزی نظیر آبیاری، نویدبخش است. با این حال، 5G هنوز به شکل گسترده (به‌ویژه در مناطق روستایی) در دسترس نیست و این، مانع از آن می‌شود که به‌عنوان راه‌حل جامع چالش اتصال‌پذیری مطرح شود.

[۴] شبکه Wi-Fi

[۵] شبکه 5G در کشاورزی، زیرساخت ارتباطی نسل پنجم با ظرفیت پشتیبانی هم‌زمان از هزاران دستگاه. گسترش 5G در مناطق روستایی، یک فرصت سرمایه‌گذاری زیرساختی هم‌افزاست؛ بازده آن نه‌تنها برای اپراتورهای مخابراتی، بلکه برای کل اکوسیستم (سازندگان حسگر، نرم‌افزار و یکپارچه‌سازها) قابل تحقق است.

۴.۳. موانع پذیرش توسط کشاورزان

یک نگرانی عمده، چگونگی ادغام سامانه‌های کشاورزی هوشمند با شیوه‌های کشاورزی فعلی است. از آنجا که شیوه های سنتی کشاورزی شامل به‌کارگیری گسترده فناوری نمی‌شوند؛ بنابراین، درک نحوه پذیرش بالقوه این فناوری‌ها توسط کشاورزان، عاملی کلیدی در تصمیم‌گیری‌ها محسوب می‌شود.

در همین راستا، مک‌کیج و همکارانش در پژوهشی به تحلیل نگرش کشاورزان نسبت به فناوری‌های اینترنت اشیا (IoT) پرداخته‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که پذیرش اینترنت اشیا از سوی کشاورزان، به عواملی همچون سودمندی ادراک‌شده و فشارهای بیرونی وابسته است. آن‌ها همچنین نتیجه‌گیری کردند که توسعه‌دهندگان فناوری و سیاست‌گذاران باید برای تضمین ادغام موفق اینترنت اشیا در بخش کشاورزی، به دغدغه‌های کشاورزان توجه کرده و پاسخگو باشند. جدول زیر انواع موانع همراه با راهکارهای پیشنهادی را برای پذیرش کشاورزان بیان می کند.

نوع مانع	شرح	راهکار پیشنهادی
اقتصادی	هزینه‌های بالای اولیه، محدودیت مالی و مالکیت محدود زمین	مدل‌های تأمین مالی انعطاف‌پذیر، یارانه دولتی و خرید گروهی از طریق تعاونی‌ها
دانشی	شکاف سواد دیجیتال، نبود آموزش فنی و محدودیت‌های مهارت	برنامه‌های آموزش هدفمند، رابط‌های کاربری ساده و پشتیبانی فنی محلی
نهادی	حمایت سیاستی ناکافی، عدم استانداردسازی و نگرانی امنیت داده	سیاست‌گذاری‌های حمایتی، ایجاد استانداردهای ملی و پروتکل‌های امنیتی شفاف
زیرساختی	دسترسی ضعیف به اینترنت و برق در مناطق روستایی	حسگرهای خورشیدی، شبکه‌های LPWAN و راه‌حل‌های آفلاین

۵ چرایی اهمیت این فناوری برای یزد

فناوری‌های اینترنت اشیای مبتنی بر هوش مصنوعی در پایش خاک، با توجه به اقلیم خشک و محدودیت‌های شدید منابع آبی در استان یزد، ظرفیتی حیاتی و بی‌بدیل برای نجات و پیشبرد کشاورزی پایدار در این منطقه ایجاد می‌کنند. این ابزارها با ارتقای چشمگیر بهره‌وری منابع (به‌ویژه مدیریت دقیق مصرف آب)، حفظ سلامت بلندمدت خاک‌های در معرض شوری و افزایش عملکرد محصولات استراتژیک استان، نه‌تنها با اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد همسو هستند، بلکه یک پیشنهاد اقلیمی برای یزد محسوب می‌شوند.

با این حال در آینده باید فراتر از سنجش مواد مغذی پایه، رطوبت، اسیدیته (pH) و دمای خاک حرکت کرده و انواع بیشتری از حسگرها را در نظر گرفت؛ از جمله حسگرهای مرتبط با تحلیل تنش‌های محیطی و ریزمغذی‌هایی مانند آهن و روی که خاک‌های مناطق خشک به شدت با کمبود آن‌ها مواجه‌اند. پایش دقیق این موارد اخیراً نتایج نویدبخشی به همراه داشته و می‌تواند توسعه پایدار کشاورزی و کیفیت محصولات صادراتی یزد را بیش از پیش تقویت کند.

این توسعه و استقرار، بر چهار محور اصلی متمرکز خواهد بود:

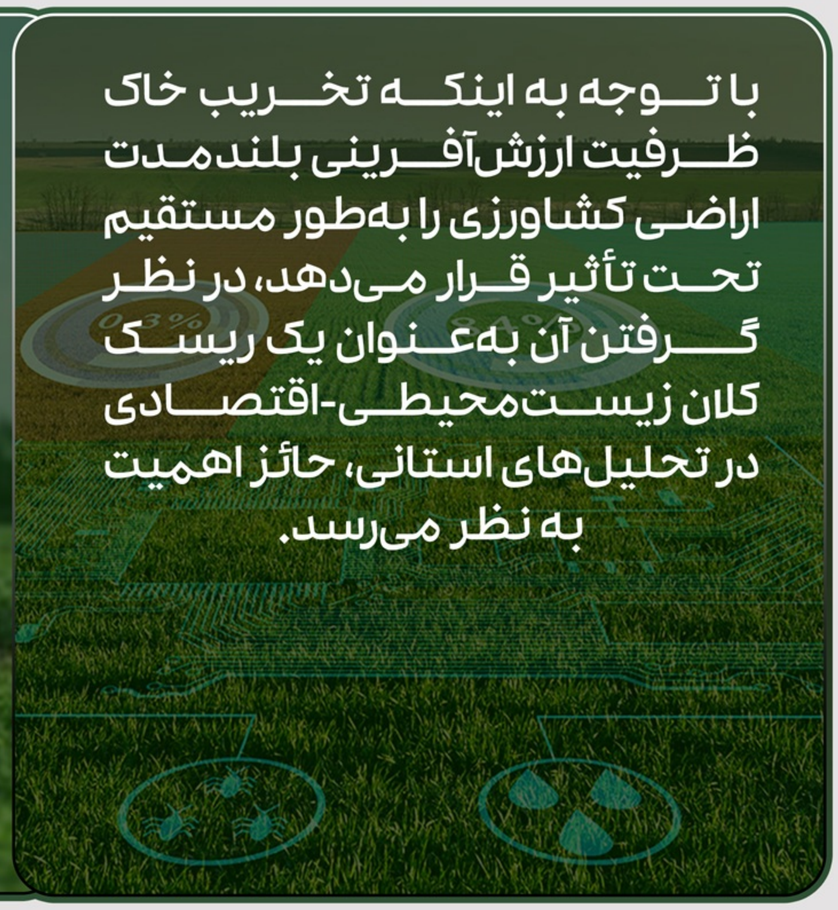
- گنجاندن بازخورد کشاورزان بومی برای تضمین کاربرپذیری و پذیرش این سامانه‌های نوین در کنار شیوه‌های سنتی.
- ارتقای مقاومت و پایداری حسگرها برای تاب‌آوری در برابر نوسانات شدید دمایی و محیط‌های ناپایدار کویری.
- انجام مطالعات بلندمدت در خصوص زمان بندی مصرف کود و آب در خاک‌های یزد، که در ارزیابی مقیاس‌پذیری و اثرات پایداری واقعی بسیار یاری‌رسان خواهد بود.
- توسعه شبکه‌های ارتباطی برای پشتیبانی از استقرارهای گسترده در مزارع و گلخانه‌های دورافتاده استان.

موفقیت این فناوری‌ها کمتر به مشخصات فنی شبکه و بیشتر به یکپارچگی بدون درز داده‌ها در میان حسگرها، سیستم‌های آبیاری هوشمند و پلتفرم‌های مدیریت مزرعه بستگی دارد. در چشم‌انداز اقتصادی و اقلیمی یزد، زیرساخت دیجیتال کشاورزی نباید به‌عنوان یک افزونه اختیاری برای نوسازی در نظر گرفته شود؛ بلکه یک پیش‌نیاز برای حفظ بهره‌وری، تاب‌آوری بلندمدت و بقای کشاورزی استان در برابر چالش‌های پیش‌رو تلقی می‌شود.

eco tech

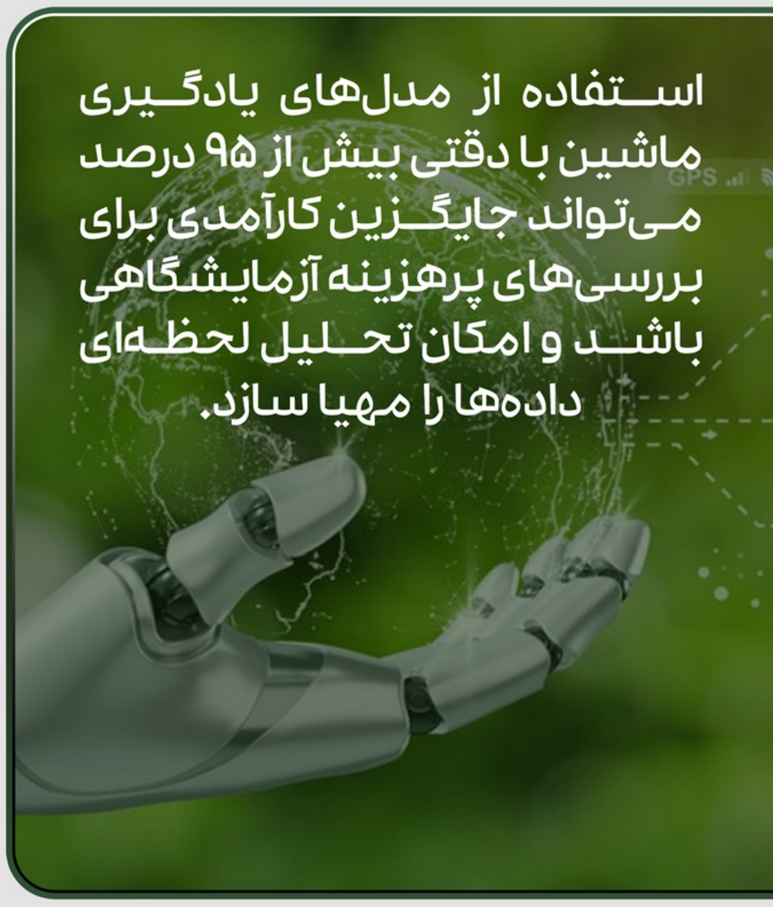
۶ جمع‌بندی:

از نگاه راهبردی، یافته‌های این گزارش چند پیام برای جامعه تجارت و سیاست‌گذاری در حوزه کشاورزی به‌همراه دارد:

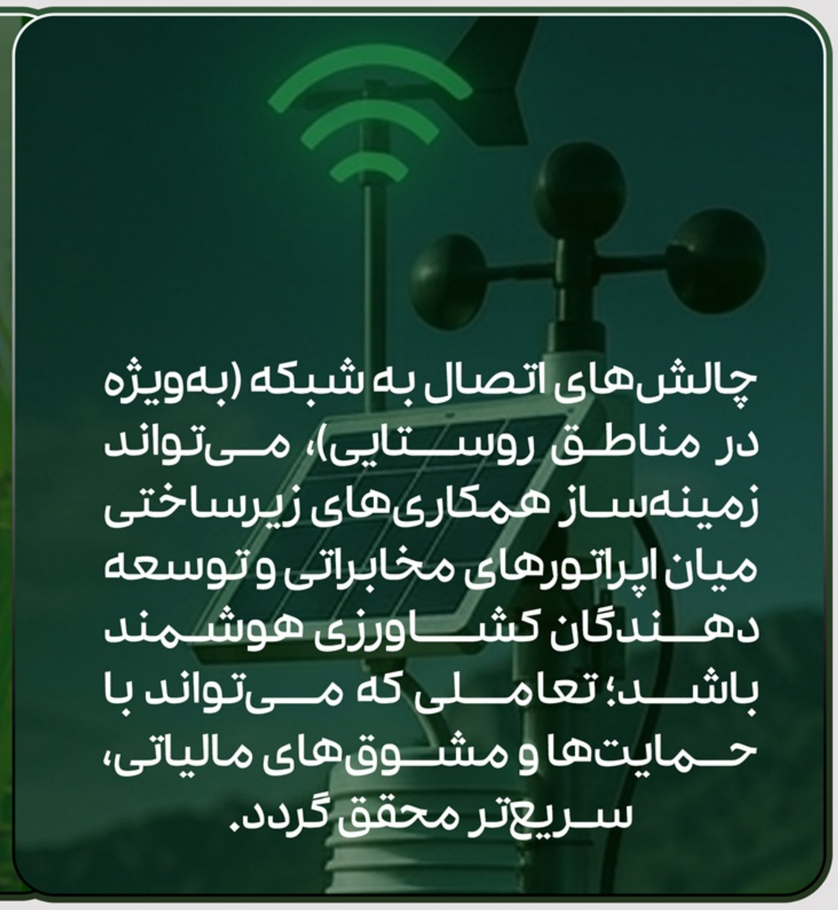


با توجه به اینکه تخریب خاک ظرفیت ارزش‌آفرینی بلندمدت اراضی کشاورزی را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد، در نظر گرفتن آن به‌عنوان یک ریسک کلان زیست‌محیطی-اقتصادی در تحلیل‌های استانی، حائز اهمیت به نظر می‌رسد.

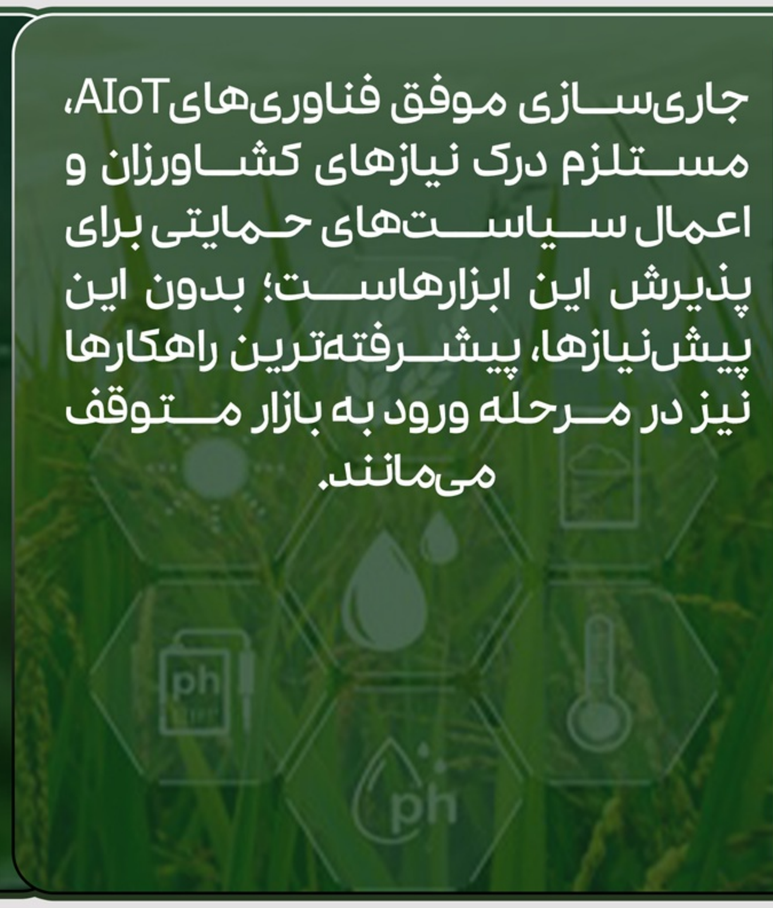
توسعه حسگرهای چندکاره و فناوری‌های ارزان‌قیمت (مثل RFID های بدون باتری)، می‌تواند اقتصاد کشاورزی هوشمند را متحول کند؛ روندی که فرصت‌های جذابی برای سرمایه‌گذاری در تأمین سخت‌افزار و ثبت فناوری‌های جدید (مالکیت فکری) فراهم می‌آورد.



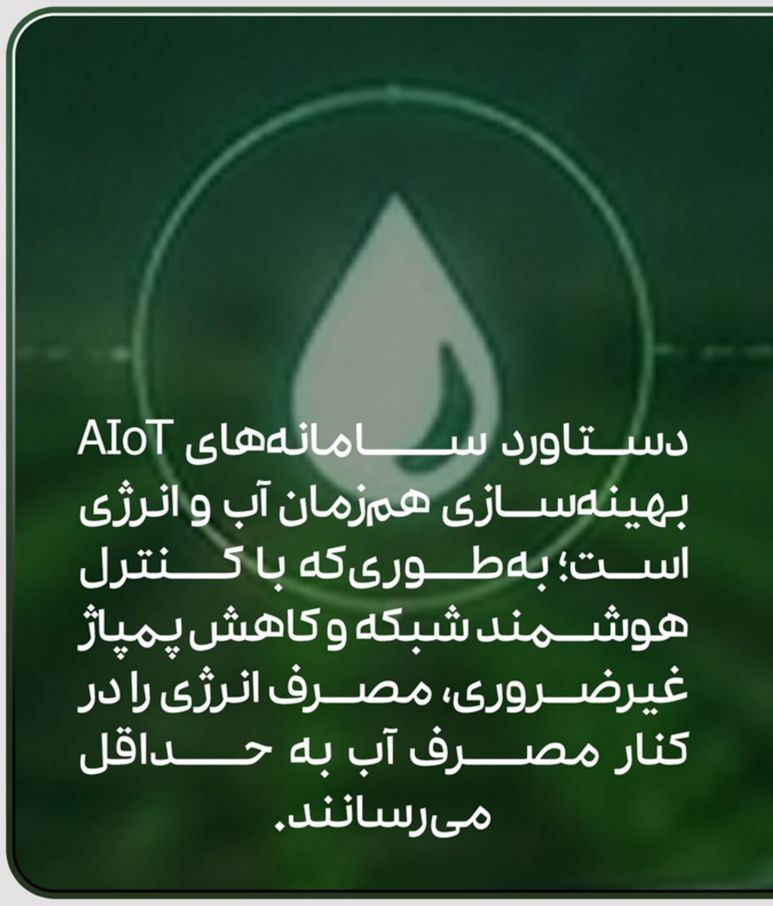
استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین با دقتی بیش از ۹۵ درصد می‌تواند جایگزین کارآمدی برای بررسی‌های پرهزینه آزمایشگاهی باشد و امکان تحلیل لحظه‌ای داده‌ها را مهیا سازد.



چالش‌های اتصال به شبکه (به‌ویژه در مناطق روستایی)، می‌تواند زمینه‌ساز همکاری‌های زیرساختی میان اپراتورهای مخابراتی و توسعه دهندگان کشاورزی هوشمند باشد؛ تعاملی که می‌تواند با حمایت‌ها و مشوق‌های مالیاتی، سریع‌تر محقق گردد.



جاری‌سازی موفق فناوری‌های AIoT، مستلزم درک نیازهای کشاورزان و اعمال سیاست‌های حمایتی برای پذیرش این ابزارهاست؛ بدون این پیش‌نیازها، پیشرفته‌ترین راهکارها نیز در مرحله ورود به بازار متوقف می‌مانند.



دستاورد سامانه‌های AIoT بهینه‌سازی هم‌زمان آب و انرژی است؛ به‌طوری‌که با کنترل هوشمند شبکه و کاهش پمپاژ غیرضروری، مصرف انرژی را در کنار مصرف آب به حداقل می‌رسانند.

English Reference:

- Dinn, C., Shakshuki, E., & Hassan, E. (2025). A Review of AIoT in Sustainable Agriculture: Advancing Soil Management with IoT Sensors. Procedia Computer Science, 265, 366-373.
- Frontiers in Plant Science (2025). Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture. May 2025.
- Global Market Insights Inc. (2025). Agriculture Sensor Market Size & Share Report, 2026-2035. December 2025.
- Nature (2026). Why farmers are still struggling to adopt climate-smart agriculture. March 2026.
- Nau, Manuel (2025). Smart Agriculture in 2026: Soil Sensors, Robotics and the Economics of Connectivity. IoT Business News, December 2025.

منابع فارسی:

- سیویلیکا (۱۴۰۴). نقش و تاثیر اینترنت اشیا (IoT) بر زنجیره تامین کشاورزی. بهمن ۱۴۰۴.
- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (۱۴۰۴). برنامه تولید بهینه (الگوی کشت) ملی محصولات کشاورزی کشور، سال زراعی ۱۴۰۴-۱۴۰۵، جلد دوم: الگوی کشت محصولات باغبانی. مرداد ۱۴۰۴.
- دانشگاه تهران (۱۴۰۱). کاربردهای اینترنت اشیا در کشاورزی با رویکرد توسعه پایدار.
- دانشگاه تهران (۱۳۹۸). هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء: پایش با استفاده از فناوری‌های نوین.