



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۱۳ تا ۱۴ آذرماه ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب  
Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



## مروری بر پایش کیفیت خاک با استفاده از فناوری‌های نوین اینترنت اشیا و هوش مصنوعی

امین موسوی<sup>۱\*</sup>، صدیقه ملکی<sup>۲</sup>، علیرضا کریمی<sup>۳</sup>، سید کاظم علوی پناه<sup>۴</sup>، سید محمود انجوی نژاد<sup>۵</sup>، سید جواد نقیبی<sup>۶</sup>، اشرف ملکیان<sup>۷</sup>

- ۱- پژوهشگر پسادکترای گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه تهران؛ \* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله (amin\_mousaviut@alumni.ut.ac.ir)
- ۲- استادیار بخش علوم خاک دانشگاه شیراز؛
- ۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه فردوسی مشهد؛
- ۴- استاد گروه سنجش از دور و GIS دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران؛
- ۵- دانش آموخته دکترای تخصصی بخش علوم خاک دانشگاه شیراز؛
- ۶- دانش آموخته دکترای تخصصی بخش علوم خاک دانشگاه شیراز و رئیس اداره مطالعات و ترویج سازمان سیما، منظر و فضای سبز شهری شهرداری شیراز؛
- ۷- استادیار دانشگاه پیام نور تهران

### چکیده

کیفیت خاک (SQ) برای پایداری اکوسیستم اهمیت حیاتی دارد و بر سلامت انسان، گیاهان و حیوانات تأثیر می‌گذارد. ارزیابی‌های سنتی SQ نیازمند صرف وقت و هزینه زیاد است و برای کشاورزی هوشمند (SA) مناسب نیست. برای غلبه بر این چالش، از فناوری‌های اینترنت اشیا (IoT) و هوش مصنوعی (AI) در کشاورزی پایدار استفاده می‌شود. این فناوری‌ها امکان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها به صورت بلادرنگ، شناسایی روندها و بهینه‌سازی سلامت خاک (SHO) را فراهم می‌کنند. سامانه اطلاعات خاک (SIS) داده‌ها و خدمات مرتبط با سلامت و پایداری خاک را به صورت دسترسی آزاد ارائه می‌دهد. این سامانه شامل ماژول‌هایی برای شاخص‌های SQ، مناطق مدیریت پایدار کوددهی، توزیع ویژگی‌های خاک، پیش‌بینی، نقشه‌برداری، تحلیل‌های آماری، مدیریت آب، نقشه‌های کاربری زمین، نقشه‌برداری رقومی خاک (DSM) و سلامت گیاه است. ادغام IoT و AI امکان پایش بلادرنگ و از راه دور شرایط خاک را فراهم می‌کند و مدیریت مداخلات خاکی را به صورت تطبیقی و مبتنی بر داده ممکن می‌سازد. این امر موجب بهره‌وری بیشتر از منابع خاک، افزایش پایداری و ارتقاء عملکرد و کیفیت محصولات می‌شود. الگوریتم‌های هوش مصنوعی به کشاورزان و ذی‌نفعان منطقه‌ای در بهینه‌سازی خطوط تولید، روش‌ها و شیوه‌های اجرایی در مزرعه کمک می‌کنند، هزینه‌ها را کاهش داده و سودآوری را افزایش می‌دهند.

**واژگان کلیدی:** اینترنت اشیا (IoT)، پایداری خاک، سلامت خاک (SH)، کشاورزی هوشمند (SA)، هوش مصنوعی (AI)

### مقدمه

خاک، به‌عنوان فصل مشترک میان اتمسفر، بیوسفر، هیدروسفر و لیتوسفر، نقشی بنیادین در سلامت انسان، گیاه و حیوان ایفا می‌کند (Saljnikov et al., 2022). اهمیت حیاتی آن برای بقای بشر به دلیل کارکردهایش در تولید غذا و ارائه خدمات زیست‌بومی انکارناپذیر است. سلامت خاک<sup>۱</sup> (SH) به‌عنوان «توانایی خاک در ارائه هم‌زمان ویژگی‌های عملکردی گوناگون برای حفظ پایداری



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب  
Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



اکوسیستم» تعریف می‌شود (Pawlett et al., 2021). با گسترش جهانی دغدغه‌های مرتبط با سلامت، مفهوم «سلامت واحد» توسعه یافته و پیوند میان انسان، حیوان و زیست‌بوم را در بر گرفته است. در این چارچوب نوظهور، گنجاندن خاک به عنوان بخشی از مفهوم «سلامت واحد»، جایگاه و اهمیت آن را بازتعریف می‌کند. SH به توانایی خاک زنده در پشتیبانی از بهره‌وری گیاهان و جانوران، حفظ یا بهبود کیفیت آب و هوا و تقویت سلامت گیاه و جانور در چارچوب یک اکوسیستم طبیعی یا مدیریت شده اطلاق می‌شود. SH، به عنوان یک «موجود زنده»، با سلامت انسان در ارتباط است و هر دو باید از نظر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی در وضعیت مطلوبی قرار داشته باشند (Pepper et al., 2021). دو مفهوم «کیفیت خاک<sup>۱</sup>» (SQ) و «امنیت خاک<sup>۲</sup>» (SS) به هم پیوسته‌اند و نقش و کارکرد خاک را در جامعه، اکوسیستم‌ها و کشاورزی برجسته می‌سازند. SQ به صورت «توانایی خاک برای حفظ بهره‌وری زیستی، حفظ کیفیت محیط‌زیست و ارتقای سلامت گیاه و حیوان در مرزهای اکوسیستمی» تعریف شده است (Svoray, 2022).

امروزه ارزیابی SQ عمدتاً بر پایه آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام می‌گیرد که این روش پرهزینه، زمان‌بر و برای کشاورزی هوشمند<sup>۳</sup> (SA) مناسب نیست (Nath et al., 2022). افزون بر این، ثبت شاخص‌های مربوط به SQ از استانداردهای سازگی و یکپارچگی کافی برخوردار نیست تا بتوان آن‌ها را به صورت متمرکز گردآوری کرد. روش‌های سنتی مبتنی بر خاک برای تشخیص تخریب، نیازمند نیروی کار و زمان فراوانند، در حالی که روش‌های غیرمستقیم (از راه دور) می‌توانند به طور چشمگیری حجم بررسی‌های میدانی را کاهش دهند. در این راستا، فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیا<sup>۴</sup> (IoT) و هوش مصنوعی<sup>۵</sup> (AI) و در خدمت کشاورزی پایدار قرار گرفته‌اند. مدیریت SH می‌تواند با ادغام IoT و AI دگرگونی چشم‌گیری را تجربه کند. بهره‌گیری از AI برای جمع‌آوری و تحلیل بلادرنگ داده‌ها، امکان شناسایی الگوها و بهینه‌سازی وضعیت SH را فراهم می‌سازد (Alreshidi et al., 2019). با این حال، تاکنون هیچ پژوهشی در منابع علمی به بررسی کاربرد هم‌زمان AI و IoT در طراحی و پایش شاخص‌های SH یا ارائه راهکارهای مداخله مؤثر نپرداخته است.

«طراحی SH» مفهومی است که به تدوین و اجرای شیوه‌ها و فناوری‌هایی اشاره دارد که با هدف ارتقاء کیفیت، بهره‌وری و تاب‌آوری خاک در برابر تنش‌های محیطی به کار گرفته می‌شوند. این فرآیند شامل ارزیابی ویژگی‌های خاک نظیر رطوبت، دما، اسیدیته (pH)، عناصر غذایی، ماده آلی، تنوع زیستی و همچنین اجرای مداخلات مناسب مانند آبیاری، کوددهی، تناوب زراعی و شخم حفاظتی است. AI و IoT دو فناوری نوظهور هستند که می‌توانند زیربنای طراحی SH را فراهم سازند؛ چرا که امکان جمع‌آوری داده، تحلیل اطلاعات و پشتیبانی از تصمیم‌گیری را فراهم می‌کنند. با ادغام IoT و AI، طراحی SH می‌تواند از مزایای زیر برخوردار شود (Misra et al., 2022):

- ۱- پایش لحظه‌ای و از راه دور شرایط خاک، از جمله میزان رطوبت، دما، pH، عناصر غذایی، ماده آلی و تنوع زیستی؛
- ۲- مدیریت داده‌محور و انعطاف‌پذیر در اجرای اقدامات مربوط به خاک مانند آبیاری، کوددهی، تناوب زراعی و شخم حفاظتی؛
- ۳- افزایش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی همراه با کاهش خطرات ناشی از آفات، بیماری‌ها و تنش‌های محیطی؛
- ۴- بهبود بهره‌وری و پایداری استفاده از منابع خاک مانند آب، انرژی، کود و زمین.

1 - Soil Quality  
2 - Soil Security  
3 - Smart Agriculture  
4 - Internet of Things  
5 - Artificial Intelligence



**مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب**  
**Holistic and Smart Soil and Water Management**

**دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران**

**College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran**



بنابراین، طراحی SH مبتنی بر فناوری‌های IoT و AI، چشم‌اندازی امیدبخش برای دستیابی به SA و پایدار فراهم می‌سازد. به‌طور کلی این پژوهش به کاربرد AI و IoT می‌پردازد که می‌تواند زیربنای توسعه سامانه‌های پایش SH باشد. در این مقاله، برخی مطالعات مرتبط با SH مرور شده‌اند تا به غنای ادبیات علمی موجود افزوده شود.

### کاربرد فناوری IoT در مدیریت پایدار خاک

مطالعه طیف گسترده‌ای از شاخص‌های SH که هم‌اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرند و نیز شاخص‌های جدید پیشنهادی، از اهداف اصلی رویکردهای مطالعات پیش رو است. روش پیشنهادی برای جمع‌آوری داده‌ها، شکاف‌های موجود میان منابع مختلف داده‌های خام و پردازش‌شده را پر می‌کند. بر این اساس هدف، طراحی سامانه‌ای مؤثر برای جمع‌آوری داده و استخراج دانش از طریق شبکه‌ای متشکل از ذبنفعان است (Almalki et al., 2023). این ابزار با همسان‌سازی شاخص‌های SH در مناطق مختلف منطقه‌ای، امکان جمع‌آوری داده به صورت دستی و خودکار را از طریق یک سکوی<sup>۱</sup> مدیریت پایدار خاک فراهم می‌کند که همراه با حسگرهای IoT و ابزارهای تحلیلی قدرتمند عمل می‌نماید. بر این اساس به عنوان نخستین راهکار استقرار سامانه هوشمند حسگر و پایش که به‌صورت مؤثر عملکرد فعالیت‌های میدانی (اندازه‌گیری کمیت عرضه و تقاضا، عملکرد محصولات کشاورزی و اطلاعات محیط‌زیستی و همچنین افزایش کارایی زنجیره تأمین کودها، تجهیزات و سایر نهاده‌های شیمیایی کشاورزی از نظر سرعت توزیع و پوشش) را کنترل کند ضرورت دارد (Muangprathub et al., 2019). به طور کلی اهداف این پژوهش شامل توسعه حسگر IoT است که یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک (مانند هدایت الکتریکی) را برای محصولات مختلف اندازه‌گیری می‌نماید تا در چارچوب همکاری و نظارت بر منابع به‌کار گرفته شود و در نهایت از داده‌ها و خدمات موجود بهره‌برداری نماید. دومین راهکار نیز در این زمینه توسعه یک بستر فناوری اطلاعات و ارتباطات<sup>۲</sup> (ICT) برای جمع‌آوری داده از منابع متعدد است. هدف از این بخش، توسعه یک سکوی فناوری اطلاعات<sup>۳</sup> (IT) با دسترسی آزاد است که به‌عنوان نقطه‌ای مرکزی برای جمع‌آوری خودکار داده‌ها (برای مثال از طریق فناوری‌های AI و IoT) و پردازش‌های بعدی آن‌ها عمل می‌کند. این سامانه پایش SH، دارای رابط کاربری ساده و کاربرپسند است و کاربران به مخزنی امن و قابل جستجو از داده‌ها دسترسی دارند که قابلیت نمایش پویا و مناسب اطلاعات را نیز فراهم می‌کند. تبادل اطلاعات میان ذبنفعان به‌صورت بلادرنگ صورت می‌گیرد و این امر باعث بهبود کارایی پایش و ارتقاء پشتیبانی از تصمیم‌گیری می‌شود (شکل ۱).

1 - Platform  
2 - Information and Communication Technology  
3 - Information Technology



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



شکل ۱- ساختار پیشنهادی سامانه

سومین رویکرد نمایش فرآیند خودکار جمع‌آوری داده در سایت‌های نمایشی مستقر در منطقه است. در این بخش، روش خودکار جمع‌آوری داده در محل‌هایی که به‌عنوان سایت‌های نمایشی در منطقه توسعه یافته‌اند، به‌صورت عملی به نمایش گذاشته می‌شود. این اقدام، سازگاری و کارآمدی سامانه IT پیشنهادی و روش‌های نوین جمع‌آوری داده مبتنی بر فناوری‌های IoT را نشان می‌دهد. هدف از این نمایش، تأثیرگذاری بر تولید محصولات متنوع کشاورزی است. توانمندسازی و ارتقاء مهارت کشاورزان از طریق کشت مبتنی بر شواهد علمی چهارمین راهکار محسوب می‌شود. بر این اساس افزایش توانایی کشاورزان در مدیریت خاک، یکی از اهداف اساسی این طرح و از جنبه‌های حیاتی در حوزه کشاورزی به‌شمار می‌رود. اطلاعات دقیق خاک، سامانه‌های پیشرفته مبتنی بر AI و راهکارهای IoT، بینش‌هایی روشن و مبتنی بر شواهد علمی در مورد وضعیت محصول و سطح تولید در اختیار کشاورزان قرار می‌دهند؛ این دانش استخراج‌شده با استفاده از روش‌های پیشرفته مدیریت و نمایش داده‌ها سازمان‌دهی می‌شود. پنجمین راهکار تضمین ارتباطات فراگیر، انتشار علمی و میانجی‌گری دانشی است. هدف از این راهکار تضمین برقراری ارتباطات فراگیر، انتشار علمی و انتقال مؤثر دانش به عموم از طریق مقالات علمی و استفاده عمومی از ابزارهای ارتباطی مانند شبکه‌های اجتماعی، وب‌سایت‌ها و غیره است. ششمین راهکار در این راستا نیز رویکرد توسعه است. این رویکرد شامل فعالیت‌هایی است که به چهار بخش اصلی تقسیم شده‌اند: ۱- ترسیم نقشه شاخص‌ها و ذی‌نفعان؛ ۲- مشارکت‌دهی و تعامل با ذی‌نفعان؛ ۳- طراحی و یکپارچه‌سازی فناوری؛ ۴- اجرای نمایش‌های آزمایشی (پابلوت). این فعالیت‌ها باید توسط تیم‌های تخصصی و مجرب به‌صورت اختصاصی انجام شوند تا روشی برای توسعه سریع و سلسله‌وار فراهم گردد (Subramaniyan et al., 2021).

هفتمین و آخرین راهکار جمع‌آوری شاخص‌ها با فناوری‌های پیشرفته است. این راهکار از طریق جمع‌آوری و پردازش داده‌های سکو بر پایه چند ویژگی عملکردی خاک از جمله ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک محقق می‌شود.

دستیابی به فرایند ادغام و رویکرد فنی از نتایج مورد انتظار این فرآیند است. بر این اساس این مرحله با نصب ماژول مرکزی IoT در واحدهای پایش عملکرد محصول از طریق پهپاد و ایستگاه‌های شارژ آغاز می‌شود. این دو مؤلفه، به‌همراه حسگرهای دائمی پایش خاک، باید در خاک‌های زراعی نصب شوند تا جریان مداوم و متصل داده‌های محلی درباره وضعیت SH فراهم شود. در



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب  
Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



این مرحله کشاورزان می‌توانند از طریق تلفن همراه، تبلت یا اپلیکیشن‌های تحت وب خود، نتایج داده‌ها را رصد کرده و به صورت خودکار در یک شبکه هوشمند و متمرکز به اشتراک بگذارند. بر این اساس در ماه‌ها و سال‌های آینده، بهبود SQ چشم‌انداز امیدبخشی دارد. چنین توسعه‌ای بر ماندگاری اراضی کشاورزی اثرگذار خواهد بود و امکان طراحی بهتر راهبردهای کشت را فراهم می‌سازد. همچنین انتظار می‌رود با به‌کارگیری روش‌های طبیعی در حفظ SH و محصولات، استفاده از کودها، آفت‌کش‌ها و سایر مواد شیمیایی در فعالیت‌های کشاورزی کاهش یابد. ابزارهای پیشرفته نقشه‌برداری رقومی خاک<sup>۱</sup> (DSM) می‌توانند راهکاری مقرون‌به‌صرفه برای تعیین موقعیت جغرافیایی به‌منظور دستیابی به مدیریت پایدار خاک فراهم کنند (Dazzi et al., 2022). بر اساس نتایج این پژوهش، نصب سخت‌افزارهای فیزیکی IoT موجب استخراج، جمع‌آوری و دریافت بهتر داده‌های میدانی شاخص‌های SQ از اراضی مجزا که نشان‌دهنده عملکرد آن هستند می‌گردد. در خصوص استفاده از داده‌های هوایی پهنابندها برای ارزیابی‌های کشاورزی، تصاویر ثبت‌شده در محدوده‌های مختلف طیف مرئی<sup>۲</sup> (VIS) و فروسرخ نزدیک<sup>۳</sup> (NIR) می‌توانند اطلاعات لازم برای ارزیابی تغییرات رشد گیاه، عملکرد محصول (Grabska et al., 2023) و SQ و ویژگی‌های خاک (Alavipanah et al., 2016; Liu et al., 2023) را فراهم آورند. جدول ۱ دربرگیرنده نمونه‌هایی از مدل‌های مطالعاتی موجود است که برآورد شاخص‌های SQ را از طریق سنجش از دور<sup>۴</sup> (RS)، داده‌های جمع‌آوری‌شده یا میدانی و مدل‌های داده‌ای مختلف پیشنهاد داده‌اند.

جدول ۱- انواع مدل‌ها برای جمع‌آوری داده‌ها به‌منظور برآورد شاخص‌های SQ

خروجی	نام مدل
استفاده از روش‌های زمین آماری برای نقشه‌برداری شاخص‌های SQ	مدل ساز سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS model builder)
استفاده از داده‌های سنجش از دور برای برآورد شاخص‌های SQ	مدل یادگیری ماشین (Machine learning model)
استفاده از داده‌های میدانی (در محل) برای برآورد پویایی رطوبت خاک	مدل حافظه بلند-کوتاه‌مدت (Long Short-Term Memory model)
پیش‌بینی ذخایر فعلی و آینده کربن آلی خاک با دقت (تفکیک) مکانی بالا	مدل‌های فرایندمحور بهینه‌سازی‌شده (Optimized process-based models)

نتیجه‌گیری

- 1 - Digital Soil Mapping
- 2 - Visible
- 3 - Near-Infrared
- 4 - Remote Sensing



19<sup>th</sup> 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

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



SH برای سلامت انسان، گیاه و حیوان اهمیت حیاتی دارد؛ زیرا نقشی اساسی در تأمین تولید غذا و خدمات زیست‌بومی ایفا می‌کند که برای بقای بشر ضروری هستند. برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی و تحقق اهداف توسعه پایدار، مقابله با تخریب خاک امری ضروری است. در این زمینه ترکیب فناوری‌های IoT و AI این قابلیت را دارد که نظارت بر SH را متحول کند، چرا که امکان جمع‌آوری داده‌ها در لحظه، تحلیل آن‌ها و پشتیبانی تصمیم‌گیری را فراهم می‌آورد. IoT می‌تواند نظارت مستمر و از راه دور بر شرایط خاک را ممکن کند، در حالی که AI توانایی پردازش داده‌های پیچیده و تولید بینش‌های کاربردی برای مدیریت بهینه خاک را دارد. طراحی SH با تکیه بر این فناوری‌ها با هدف ارتقاء کیفیت خاک، افزایش بهره‌وری و تقویت تاب‌آوری آن در برابر تنش‌های محیطی انجام می‌شود. این طراحی شامل ارزیابی ویژگی‌های خاک و اجرای مداخلات مناسب برای دستیابی به کشاورزی پایدار است. به‌طور کلی یکپارچه‌سازی فناوری‌های IoT و AI توان آن را دارد که کشاورزی را از مسیر مدیریت پایدار خاک به سطحی کاملاً جدید ارتقاء دهد.

#### فهرست منابع

- Alavipanah, S.K., Damavandi, A.A., Mirzaei, S., Rezaei, A., Hamzeh, S., Matinfar, H.R., et al. (2016) Remote sensing application in evaluation of soil characteristics in desert areas. *Natural Environment Change*, 2(1), 1–24.
- Almalki, L.S., Alnahdi, A.K., Albalawi, T.F. (2023). The Roles of Stakeholders in Internet of Things: A Theoretical Framework. In *Proceedings of the 2023 1st International Conference on Advanced Innovations in Smart Cities (ICAISC)*, Jeddah, Saudi Arabia, 23-25, IEEE: Jeddah, Saudi Arabia, pp. 1-6.
- Alreshidi, E. (2019). Smart Sustainable Agriculture (SSA) Solution Underpinned by Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI). *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl*, 10, 93-102.
- Dazzi, C., Lo Papa, G.A. (2022). New Definition of Soil to Promote Soil Awareness, Sustainability, Security and Governance. *Int. Soil Water Conserv. Res*, 10, 99-108.
- Grabska, J., Beć, K.B., Ueno, N., Huck, C.W. (2023). Analyzing the Quality Parameters of Apples by Spectroscopy from Vis/NIR to NIR Region: A Comprehensive Review. *Foods*, 12, 1946.
- Liu, J., Cai, H., Chen, S., Pi, J., Zhao, L. (2023). A Review on Soil Nitrogen Sensing Technologies: Challenges, Progress and Perspectives. *Agriculture*, 13, 743.
- Misra, N.N., Dixit, Y., Al-Mallahi, A., Bhullar, M.S., Upadhyay, R., Martynenko. (2022). A. IoT, Big Data, and Artificial Intelligence in Agriculture and Food Industry. *IEEE Internet Things J*, 9, 6305-6324.
- Muangprathub, J., Boonnam, N., Kajornkasirat, S., Lekbangpong, N., Wanichsombat, A., Nillaor, P. IoT. (2019). *Agriculture Data Analysis for Smart Farm*. *Comput. Electron. Agric*, 156, 467-474.
- Nath, D., Laik, R., Meena, V.S., Kumari, V., Singh, S.K., Pramanick, B., Sattar, A. (2022). Strategies to Admittance Soil Quality Using Mid-Infrared (Mid-IR) Spectroscopy an Alternate Tool for Conventional Lab Analysis: A Global Perspective. *Environ. Chall*, 7, 100469.
- Pawlett, M., Hannam, J.A., Knox, J.W. (2021). Redefining Soil Health: This Article Is Part of a Series on the ‘A Sustainable Future’ Workshops. As Such, All Three Articles Share the Same Introduction and ‘Workshop Background’ Written by the Chair of the Steering Group. *Microbiology*, 167, 001030.
- Pepper, I.L., Brooks, J.P. (2021). Soil Microbial Influences on “One Health”. In *Principles and Applications of Soil Microbiology*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 681–700, ISBN 978-0-12-820202-9.
- Saljnikov, E., Mueller, L., Lavrishchev, A., Eulenstein, F. (Eds.) *Innovations in Landscape Research*; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2022, ISBN 978-3-030-85681-6.
- Subramanian, M., Skoogh, A., Bokrantz, J., Sheikh, M.A., Thurer, M., Chang, Q. (2021). Artificial Intelligence for Throughput Bottleneck Analysis—State-of-the-Art and Future Directions. *J. Manuf. Syst*, 60, 734-751.
- Svoray, T. Soil Erosion: The General Problem. In *A Geoinformatics Approach to Water Erosion*; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2022; pp. 1–38, ISBN 978-3-030-91535-3.



19<sup>th</sup> 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

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



## A Review of Soil Quality Monitoring Using Emerging IoT and Artificial Intelligence Technologies

Amin Mousavi<sup>\*1</sup>, Sedigheh Maleki<sup>2</sup>, Aliraz Karimi<sup>3</sup>, Seyed Kazem Alavipanah<sup>4</sup>, Sayyed Mahmoud Enjavinezhad<sup>5</sup>, Seyed Javad Naghibi<sup>6</sup>, Ashraf Malekian<sup>7</sup>

1- Postdoctoral Researcher in Remote Sensing & GIS, University of Tehran, Tehran, Iran, \*Corresponding author's email: ([amin\\_mousaviut@alumni.ut.ac.ir](mailto:amin_mousaviut@alumni.ut.ac.ir))

2- Assistant Professor, Shiraz University, Shiraz, Iran

3- Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

5- Ph.D. graduate in Soil Science and Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

6- Ph.D. graduate in Soil Science and Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran and Head of Research & Extension Office, Landscape & Green Spaces Organization of Shiraz Municipality, Shiraz, 45366-78

7- Assistant Professor, Payame Noor University, Tehran, Iran

### Abstract

Soil Quality (SQ) plays a critical role in sustaining ecosystems and directly affects the health of humans, plants, and animals. Conventional SQ measurements are time-consuming and expensive and hence cannot meet the demands of Smart Agriculture (SA). To solve this issue, more internet of things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) technology is being adopted in the domain of sustainable agriculture. These technologies facilitate real-time data acquisition and analysis, trend detection, and enhancing Soil Health Optimization (SHO). Soil Information System (SIS) provides open-access soil health and sustainability information and services. It has modules of SQ indicators, sustainable fertilization management zones, soil property distribution, prediction and mapping, statistical analysis, water management, land use maps, Digital Soil Mapping (DSM), and plant health. The integration of AI and IoT enables remote and real-time monitoring of soil conditions, and data-driven adaptive management interventions in soil can be undertaken. The outcome is improved use of soil resources, increased sustainability, and improved crop quality and yield. AI algorithms assist farmers and also regional stakeholders in streamlining the production lines, field procedures, and business processes, and thereby reducing costs and improving profitability.

**Keywords:** Internet of Things (IoT), Soil Sustainability, Soil Health (SH), Smart Agriculture (SA), Artificial Intelligence (AI)



19<sup>th</sup> 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

