19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

شناسایی موانع کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک

فاطمه شفیعی [۱*]، ایمان ارمندپیشه [۲]، زینب قربان‌نژاد [۳]

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ * f.shafiee@sanru.ac.ir
۲ و ۳- دانشجویان کارشناسی ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

رشد روزافزون جمعیت، محدودیت منابع آبی و تخریب اراضی کشاورزی فشار زیادی بر بخش کشاورزی وارد کرده و ضرورت بهره‌گیری از فناوری‌های نوین را برای افزایش بهره‌وری و مدیریت پایدار خاک دوچندان کرده است. در این میان، هوش مصنوعی به‌عنوان یکی از امیدبخش‌ترین فناوری‌ها مطرح است، اما به‌کارگیری آن با موانع متعددی روبه‌رو است. پژوهش حاضر با هدف شناسایی و دسته‌بندی این موانع در استان مازندران و با رویکرد کیفی انجام شد. داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۱۱ نفر از کارشناسان و متخصصان خاک گردآوری و با نرم‌افزار MAXQDA$_{V24.4.1}$ تحلیل شدند. در مجموع ۱۹ کد استخراج گردید که در قالب چهار مقوله اصلی شامل موانع نهادی–مدیریتی و اقتصادی، موانع دانشی و نیروی انسانی، موانع فناورانه و داده‌ای و موانع نگرشی سازمان‌دهی شدند. نتایج نشان داد که بیشتر کدها تنها یک‌بار بیان شدند، اما سه مانع شامل کمبود اعتبارات، فقدان اطلاعات کافی و دقیق و کمبود نیروی انسانی متخصص و علاقه‌مند به نوآوری دو بار تکرار شدند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که موانع استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک چندبعدی بوده و رفع آن‌ها مستلزم توجه هم‌زمان به ابعاد نهادی، اقتصادی، دانشی، فناورانه و نگرشی است.

واژگان کلیدی: پذیرش فناوری، توسعه کشاورزی هوشمند، مدیریت منابع طبیعی، موانع نوآوری، نگرش کشاورزان

مقدمه

رشد سریع جمعیت جهانی و نیاز فزاینده به تولید غذا، همراه با محدودیت منابع آب و خاک، تغییرات اقلیمی و تخریب اراضی کشاورزی، فشار سنگینی بر بخش کشاورزی وارد کرده است. این شرایط ضرورت بهره‌گیری از فناوری‌های نوین برای ارتقای بهره‌وری و مدیریت پایدار منابع خاک را دوچندان ساخته است (Agrawal and Arafat, 2024). در این میان، هوش مصنوعی (AI) به‌عنوان یکی از امیدبخش‌ترین فناوری‌ها معرفی شده که می‌تواند تحول چشمگیری در کشاورزی پایدار ایجاد کند. این فناوری با توانایی در تحلیل داده‌های پیچیده، مدل‌سازی فرآیندهای محیطی و ارائه راهکارهای دقیق مدیریتی، به کشاورزان و سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا تصمیم‌های بهینه اتخاذ نمایند (Piekutowska, 2025; Ibrahim, 2023). این چالش، همراه با کاهش منابع آبی، تغییر الگوهای اقلیمی، و از بین رفتن اراضی کشاورزی، ضرورت بهره‌گیری از راه‌حل‌های نوآورانه برای افزایش بهره‌وری و کارایی مزارع را دوچندان کرده است (Agrawal and Arafat, 2024).

در میان این راهکارها، هوش مصنوعی (AI) به عنوان یکی از امیدبخش‌ترین فناوری‌ها مطرح است که ظرفیت دگرگون‌سازی روش‌های سنتی کشاورزی در سراسر جهان را دارد (Piekutowska, 2025; Ibrahim, 2023). مطالعات متعددی نقش هوش مصنوعی را در حوزه‌های مختلف کشاورزی و منابع طبیعی نشان داده‌اند. برای مثال، شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم‌های جنگل تصادفی در پیش‌بینی و کاهش فرسایش خاک عملکردی دقیق‌تر از روش‌های سنتی داشته‌اند (شیرازی و همکاران، ۱۳۹۹؛ روشنگر و شهنازی، ۱۳۹۸). همچنین مطالعات اخیر تأکید کرده‌اند که هوش مصنوعی می‌تواند در

زمینه‌هایی همچون پایش سلامت خاک، پیش‌بینی آفات و بیماری‌ها، بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها و ارتقای بهره‌وری نقش کلیدی ایفا کند (World Economic Forum, 2025). با وجود این، شواهد نشان می‌دهد که پیاده‌سازی این فناوری در عمل با چالش‌های قابل‌توجهی مواجه است؛ از جمله هزینه‌های بالا، کمبود داده‌های معتبر، ضعف زیرساخت‌ها و موانع نهادی و نگرشی (Vyshnavee et al., 2024).

اگرچه پژوهش‌های متعددی در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در مدل‌سازی پدیده‌های خاکی انجام شده است، اما اغلب آن‌ها بر جنبه‌های فنی و کمی متمرکز بودند و کمتر به موانع نهادی، مدیریتی، دانشی و نگرشی در مسیر به‌کارگیری این فناوری پرداخته‌اند. وجه تمایز پژوهش حاضر در تمرکز بر شناسایی این موانع چندبعدی با رویکرد کیفی و تحلیل محتوای مصاحبه‌هاست. ضرورت انجام چنین مطالعه‌ای از آن‌جا ناشی می‌شود که بدون درک عمیق این موانع، سیاست‌ها و برنامه‌های ترویجی اثربخش شکل نخواهند گرفت و ظرفیت‌های بالقوه هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک محقق نخواهد شد. بر این اساس، هدف اصلی پژوهش شناسایی و دسته‌بندی موانع استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک در استان مازندران است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع کیفی و با رویکرد تحلیل محتوای متعارف انجام شد. جامعه مورد مطالعه پژوهش را متخصصان و کارشناسان حوزه خاک در استان مازندران تشکیل دادند. برای گردآوری داده‌ها از مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و عمیق استفاده شد. مشارکت‌کنندگان به روش هدفمند (Purposeful Sampling) انتخاب شدند؛ بدین معنا که افرادی برگزیده شدند که تجربه و آگاهی کافی در زمینه مدیریت خاک و یا آشنایی نسبی با فناوری‌های نوین داشتند. فرایند نمونه‌گیری تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت و در مجموع با ۱۱ نفر مصاحبه صورت گرفت.

مصاحبه‌ها پس از کسب اجازه از مشارکت‌کنندگان ضبط، سپس به‌طور کامل پیاده‌سازی شدند. داده‌های گردآوری‌شده با استفاده از نرم افزار MAXQDA$_{V24.4.1}$ تحلیل شدند. در فرایند تحلیل، ابتدا متن مصاحبه‌ها چندین بار مرور شد تا واحدهای معنایی استخراج گردد. سپس کدهای اولیه شناسایی و وارد نرم‌افزار شدند. در ادامه کدهای مشابه در قالب مقوله‌های فرعی (Sub-theme) دسته‌بندی گردیدند و نهایتاً مقوله‌های اصلی (Theme) یا همان چالش‌ها و موانع استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک شکل گرفتند.

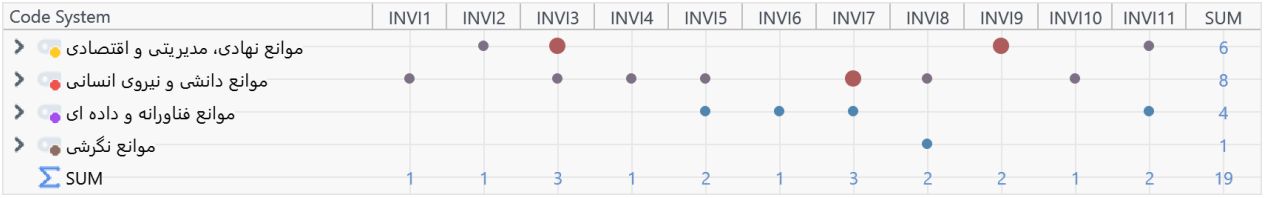
به‌منظور افزایش اعتبار و پایایی داده‌ها، از دو شیوه بازبینی مشارکت‌کنندگان (Member Check) و کنترل همکار پژوهش (Peer Check) استفاده شد. این رویکرد سبب شد تا یافته‌ها بازتاب‌دهنده دیدگاه واقعی مشارکت‌کنندگان باشند.

نتایج و بحث

با توجه به یافته‌های پژوهش، بیش از ۹۰ درصد از پاسخگویان مرد و تنها ۸ درصد زن بودند. میانگین سنی مشارکت‌کنندگان ۵۱/۸ سال برآورد شد. همچنین ۹۰/۸ درصد از آن‌ها دارای مدرک دکتری بودند و میانگین سابقه فعالیتشان در حوزه کشاورزی ۲۲/۶۳ سال بود. از نظر رشته تحصیلی نیز اکثریت در گرایش علوم خاک قرار داشتند. این ویژگی‌ها بیانگر آن است که بیشتر مشارکت‌کنندگان از سطح بالای تحصیلات و تجربه کاری برخوردار بوده و می‌توانند دیدگاه‌های تخصصی و ارزشمندی در ارتباط با موضوع پژوهش ارائه دهند.

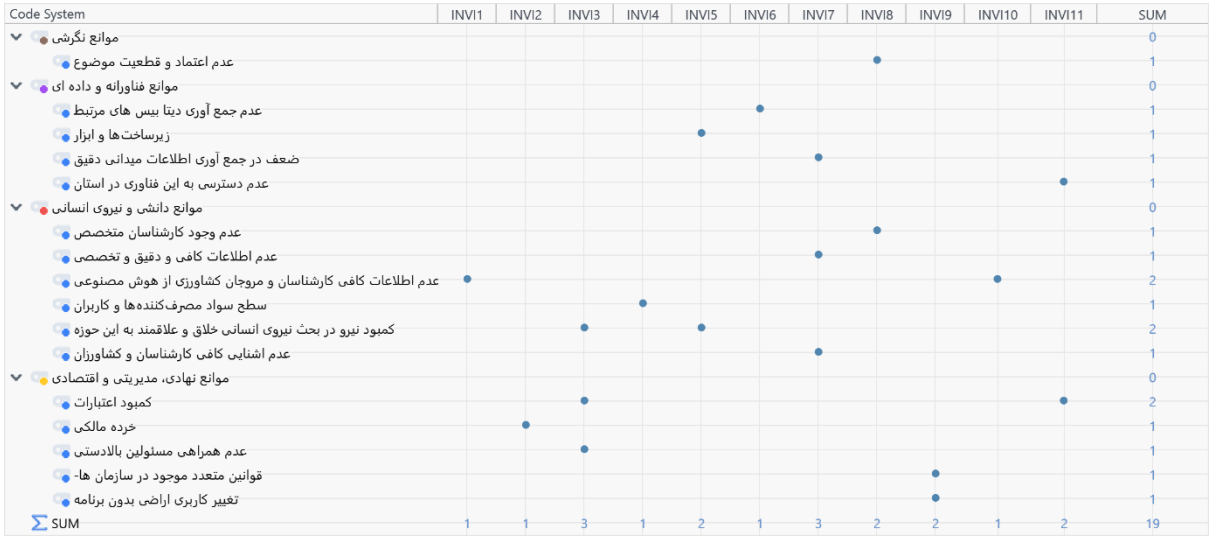
از آنجا که در این مطالعه از تحلیل محتوای متعارف استفاده شد، در مرحله نخست، متن کامل مصاحبه‌ها چندین بار مرور گردید و واحدهای معنایی استخراج شد. سپس کدهای اولیه با بهره‌گیری از نرم‌افزار MAXQDA$_{V24.4.1}$ شناسایی و سازماندهی شدند. در گام بعد، کدهای مشابه در قالب مقوله‌های فرعی (Sub-theme) دسته‌بندی شدند و نهایتاً مقوله‌های اصلی (Theme) به دست آمدند.

خروجی نرم‌افزار (شکل ۱) نشان داد که در مجموع ۱۹ کد مرتبط با چالش‌ها و موانع استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک استان مازندران شناسایی شد. این کدها پس از دسته‌بندی در قالب چهار مقوله اصلی شامل: موانع دانشی و نیروی انسانی، موانع نهادی و مدیریتی، موانع فناورانه و داده‌ای، و موانع نگرشی قرار گرفتند.



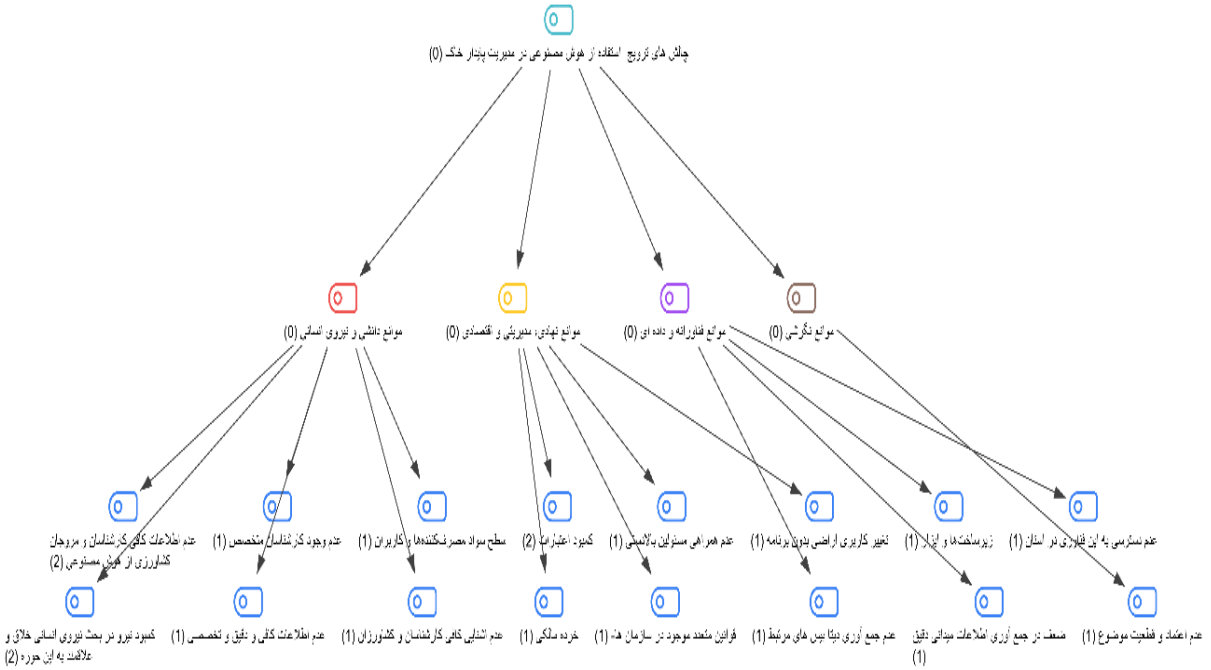
شکل ۱- ماتریس کدگذاری (Code Matrix Browser) مقوله‌های اصلی چالش‌ها و بسامد کدهای مربوطه

نتایج حاصل از ماتریس کدگذاری نشان داد که بیشتر کدهای باز تنها یک‌بار توسط مشارکت‌کنندگان بیان شده‌اند. با این حال، سه مانع شامل کمبود اعتبارات، فقدان اطلاعات کافی و دقیق و کمبود نیروی انسانی متخصص و علاقه‌مند به نوآوری دو بار تکرار شدند. این موضوع بیانگر آن است که هرچند موانع شناسایی‌شده متنوع و چندبعدی هستند، اما برخی از آن‌ها در تجربه‌های ذی‌نفعان برجسته‌تر بوده و نیازمند توجه ویژه در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌های ترویجی برای توسعه و به‌کارگیری هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک هستند (شکل ۲).



شکل ۲- ماتریس کدگذاری سلسله‌مراتبی (Code Matrix Browser) مقوله‌ها و کدهای باز موانع و چالش‌های استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک

بر اساس فرایند کدگذاری باز و محوری، موانع به‌کارگیری هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک در چهار مقوله اصلی شامل موانع نهادی، مدیریتی و اقتصادی، موانع دانشی و نیروی انسانی، موانع فناورانه و داده‌ای و موانع نگرشی سازمان‌دهی شدند. شکل (۳) ساختار سلسله‌مراتبی این مقوله‌ها و زیرمقوله‌های مرتبط را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، هر یک از مقوله‌های اصلی شامل چندین زیرکد یا عامل جزئی‌تر است که از دل مصاحبه‌ها استخراج شد. این نمودار به‌خوبی بیانگر آن است که چالش‌های موجود در مسیر به‌کارگیری هوش مصنوعی تنها به یک بعد خاص محدود نیست، بلکه از سطوح مختلف نهادی–اقتصادی، دانشی–انسانی، فناورانه–اطلاعاتی و نگرشی نشأت می‌گیرند. از دیدگاه ترویج کشاورزی، این نتایج بر ضرورت اتخاذ رویکردی جامع و چندبعدی برای رفع موانع و تسهیل پذیرش فناوری‌های نوین در مدیریت پایدار خاک تأکید دارد.



شکل ۳- نمودار درختی طبقات و مقوله‌های موانع استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک استان مازندران

نتایج نشان داد که موانع شناسایی‌شده در چهار مقوله اصلی سازمان‌دهی شدند. این دسته‌بندی نشان می‌دهد که چالش‌های استفاده از هوش مصنوعی تنها به بعد فناورانه محدود نمی‌شوند، بلکه ابعاد نهادی، اقتصادی و نگرشی را نیز دربر می‌گیرند. جالب توجه آن‌که سه مانع «کمبود اعتبارات، فقدان اطلاعات کافی و دقیق، و کمبود نیروی انسانی متخصص» بیش از سایر کدها تکرار شدند که نشان‌دهنده اهمیت ویژه این عوامل در تجربه عملی مشارکت‌کنندگان است.

این یافته‌ها با مطالعات پیشین هم‌راستا است؛ به‌طور مثال، Agrawal and Arafat (2024) نیز به چالش‌های زیرساختی و مالی در استفاده از هوش مصنوعی در کشاورزی اشاره کرده‌اند. همچنین Piekutowska (2025) نشان داد که یکی از محدودیت‌های اصلی گسترش هوش مصنوعی در تولید پایدار محصولات کشاورزی، کمبود داده‌های دقیق و کافی است. نتایج این پژوهش همچنین با گزارش World Economic Forum (2025) مبنی بر ضرورت اصلاح نگرش کشاورزان و ارتقای سطح دانش آن‌ها نسبت به فناوری‌های نوین همخوانی دارد.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که موانع کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک چندبعدی و پیچیده‌اند و صرفاً با تمرکز بر بعد فنی برطرف نخواهند شد. رفع این موانع نیازمند رویکردی جامع است که هم‌زمان به اصلاح سیاست‌های حمایتی، توسعه زیرساخت‌های داده‌ای و فناورانه، و تقویت نیروی انسانی متخصص توجه داشته باشد. از دیدگاه ترویج کشاورزی، چنین رویکردی می‌تواند مسیر پذیرش هوش مصنوعی و تحقق کشاورزی پایدار را هموار کند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پایدار خاک با موانع متنوعی روبه‌رو است که تنها به بعد فنی محدود نمی‌شوند، بلکه ابعاد نهادی–اقتصادی، دانشی–انسانی و نگرشی را نیز دربر می‌گیرند. اگرچه بسیاری از کدهای شناسایی‌شده تنها یک‌بار مطرح شدند، اما برجستگی سه مانع شامل کمبود اعتبارات، ضعف اطلاعات دقیق و کافی و کمبود نیروی انسانی متخصص اهمیت ویژه این موارد را در تجربه ذی‌نفعان آشکار ساخت. بر این اساس، برای تسهیل به‌کارگیری هوش

مصنوعی در بخش کشاورزی لازم است رویکردی جامع و چندسطحی اتخاذ گردد که علاوه بر توسعه زیرساخت‌های فناورانه، به اصلاح سیاست‌های حمایتی، ارتقای سطح دانش و نگرش کشاورزان و تقویت منابع انسانی نیز توجه شود. چنین رویکردی می‌تواند مسیر تحقق کشاورزی هوشمند و بهره‌وری پایدار منابع خاک و آب را هموار کند.

تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از تمامی کارشناسان و متخصصانی که با اختصاص وقت و ارائه دیدگاه‌های ارزشمند خود در مصاحبه‌ها زمینه انجام این پژوهش را فراهم کردند، صمیمانه قدردانی نمایند.

فهرست منابع

روشنگر، ک. و شهنازی، س. (۱۳۹۸). ارزیابی عملکرد روش‌های داده‌گرا در تخمین بار کل رسوبی رودخانه‌های شنی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰ (۶): ۱۴۷۷-۱۴۶۷.

شیرازی، م.، خادم الرسول، ع.، صفی الدین اردبیلی، س.م. (۱۳۹۹). ارزیابی روشهای یادگیری نظارتی هوشمند و سطح پاسخ برای بهینه‌سازی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک (مطالعه موردی حوزه آبخیز امامزاده عبدالله باغملک). تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (۷): ۱۶۶۶-۱۶۵۳.

Agrawal, J., & Arafat, M. Y. (2024). Transforming Farming: A Review of AI-Powered UAV Technologies in Precision Agriculture. Drones (2504-446X), 8(11).

Ibrahim, U. (2023). Artificial intelligence in agricultural extension for sustainable development. Artificial Intelligence, 1(3).

Piekutowska, M. (2025). Using artificial intelligence for sustainable crop production–a comprehensive review with a focus on potato production. Journal of Water and Land Development, 181-193.

Vyshnavee, A. S. E., Indhu, N., Sonika, E., Nandhini, P., & Shubha Shree, M. (2024). AI-Powered Precision Agriculture System. International Journal of Novel Research and Development (IJNRD), 9(8), August. IJNRD.ORG. 2456-4184.

World Economic Forum. (2025). Future Farming in India: A Playbook for Scaling Artificial Intelligence in Agriculture. Geneva: World Economic Forum.

Barriers and Challenges of Artificial Intelligence Application in Sustainable Soil Management: A Qualitative Study

Fatemeh Shafiee, Iman Aramandpisheh, Zeynab Ghorbannezad
Assistant Professor, Department of Agricultural Extension & Education, Faculty of crop sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Abstract

Rapid population growth, limited water resources, and agricultural lands' degradation have placed significant pressure on agricultural sector and highlighted the necessity of employing innovative technologies. Consequently, enhancing productivity and ensuring sustainable soil management are of great importance. Among new technologies, Artificial Intelligence (AI) is considered as one of the most promising one, in which its adoption has confronted with miscellaneous obstacles. The present study was therefore conducted to identify and categorize

these barriers in Mazandaran Province of Iran using a qualitative approach. The data were collected through semi-structured interviews with the number of 11 soil experts and specialists and were analyzed using MAXQDA V24.4.1 software. Totally, 19 codes were extracted, organized and put into four major categories: institutional–managerial and economic barriers, knowledge and human resources barriers, technological and data-related barriers, and attitudinal barriers. The findings revealed that most codes were mentioned only once; whereas, three barriers including insufficient financial resources, lack of adequate and accurate information, and shortage of specialized and innovation-oriented human resources, were repeated twice. In conclusion, according to the results the barriers of adopting AI in sustainable soil management are multidimensional. Accordingly, overcoming those barriers requires simultaneous attention to institutional, economic, knowledge-based, technological, and attitudinal aspects.

Keywords: Technology Adoption, Smart Agriculture Development, Natural Resource Management, Innovation Barriers, Farmers' Attitudes