Spring (2024) 13(45): 15-29.
DOI: 10.30473/cb.2024.70090.1941
Received: 27, Dec. 2023 Accepted: 26, Mar. 2024

Crop Biotechnology Open Access

REVIEW ARTICLE

Artificial intelligence technology in agriculture; Prospects, applications and challenges

Mojtaba Khayam Nekouei[1*], Mohammad Reza Ghaffari[2], Mohsen Mardi[2], Zahra Ghorbanzadeh[2], Rasmieh Hamid[3], Mehrshad Zeinalabedini[2]

[1]Faculty of Biological Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
[2]Department of Systems Biology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
[3]Department of Plant Breeding, Cotton Research Institute of Iran (CRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.

Correspondence
Mojtaba Khayam Nekouei
Email: khayam@modares.ac.ir

How to cite
Khayam Nekouei, M., Ghaffari, M. R., Mardi, M., Ghorbanzadeh, Z., Hamid, R., & Zeinalabedini, M. (2024). Applications, challenges and prospects of artificial intelligence technology in agriculture. *Crop Biotechnology*, *13*(45), 15-29.

ABSTRACT

Today, using advanced technologies such as the global positioning system (GPS), agricultural drones, satellite mapping, remote sensors, and precision agriculture machinery provides farmers with a lot of big data during production. According to the reports, this can be considered a part of the digital economy in precision agriculture and be economically exploited. The analysis of this data cannot be processed by traditional processing systems due to its complexity. Given the size and complexity of big data, artificial intelligence can transform this data into valuable information through machine learning algorithms. This technology is being used to performance prediction algorithms, reducing agricultural inputs such as fertilizers and poisons, monitoring the growing conditions, pest management, breeding, molecular studies and finally value chain management. Developing programs using artificial intelligence technology will soon be able to manage the time of agricultural products entering the market, in addition to determining the planting time in order to increase productivity. The production of bio fertilizer from agricultural waste can be another achievement of the development of algorithms based on artificial intelligence to reduce the negative environmental effects and increase the economic productivity of the remaining waste from agricultural products. This study discusses the important applications of artificial intelligence in agriculture and its impact on Precision agriculture.

KEYWORDS

Big data, Artificial intelligence, Precision agriculture, Machine learning.

© 2024, by the author(s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

سال سیزدهم، شماره سوم، پیاپی چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۳ (۲۹-۱۵)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۰۷

DOI: 10.30473/cb.2024.70090.1941

نشریه علمی

زیست‌فناوری گیاهان زراعی

«مقاله مروری»

فناوری هوش مصنوعی در کشاورزی؛ چشم‌انداز، کاربردها و چالش‌ها

مجتبی خیام نکویی[1*]، محمدرضا غفاری[2]، محسن مردی[2]، زهرا قربان‌زاده[2]، رسمیه حمید[3]، مهرشاد زین‌العابدینی[2]

[1]دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

[2]بخش زیست‌شناسی سامانه‌ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

[3]بخش به‌نژادی، موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

نویسنده مسئول:
مجتبی خیام نکویی
رایانامه: khayam@modares.ac.ir

چکیده

امروزه به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته مانند سیستم موقعیت‌یابی جهانی، هواپیماهای بدون سرنشین، نقشه برداری ماهواره‌ای، حسگرهای از راه دور و ماشین‌آلات دقیق کشاورزی حجم زیادی از کلان‌داده‌ها را در طول فرایند تولید در اختیار کشاورزان قرار می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان بخشی از اقتصاد دیجیتال در کشاورزی دقیق محسوب شده و مورد بهره‌برداری اقتصادی قرار گیرد. تجزیه و تحلیل این داده‌ها به‌علت پیچیدگی قادر به پردازش توسط سیستم‌های پردازش سنتی نمی‌باشد. با توجه به اندازه و پیچیدگی کلان‌داده، هوش‌مصنوعی قادر است از طریق الگوریتم‌های یادگیری ماشین، این داده‌ها را به اطلاعات ارزشمند تبدیل نماید. از برنامه های کاربردی و در حال توسعه هوش‌مصنوعی می‌توان به الگوریتم‌های پیش‌بینی عملکرد، کاهش نهاده‌های کشاورزی مانند کود و سم، نظارت بر شرایط رشد محصولات، مدیریت آفات، به‌نژادی و مطالعات مولکولی و درنهایت مدیریت زنجیره ارزش اشاره کرد. برنامه‌های در حال توسعه با استفاده از هوش‌مصنوعی به‌زودی قادر خواهند بود علاوه بر تعیین زمان کشت، زمان ورود محصولات کشاورزی به بازار را نیز مدیریت کنند تا درنهایت سبب افزایش بهره‌وری شوند. تولید کودهای زیستی از ضایعات کشاورزی می‌تواند دستاورد دیگری از توسعه الگوریتم‌های بر پایه هوش‌مصنوعی برای کاهش اثرات منفی زیست محیطی و افزایش بهره‌وری اقتصادی از ضایعات باقیمانده از محصولات کشاورزی باشد. در این مطالعه کاربردهای توسعه‌ای و تحقیقی هوش‌مصنوعی و تأثیر آن در کشاورزی دقیق مورد بحث قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی

کلان داده، هوش‌مصنوعی، کشاورزی دقیق، یادگیری ماشین.

استناد به این مقاله:

خیام نکویی، مجتبی، غفاری، محمدرضا، مردی، محسن، قربان‌زاده، زهرا، حمید، رسمیه، زین‌العابدینی، مهرشاد (۱۴۰۲). کاربردها، چالش‌ها و چشم‌انداز فناوری هوش مصنوعی در کشاورزی. فصلنامه علمی زیست‌فناوری گیاهان زراعی، ۱۳(۴۵)، ۲۹-۱۵.

https://cropbiotech.journals.pnu.ac.ir/

مقدمه

جمعیت جهان به‌سرعت در حال افزایش است و تقاضا برای مواد غذایی و انرژی به بالاترین میزان خود رسیده است. سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (فائو) اعلام کرده است که تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به بیش از ۱۰ میلیارد نفر جمعیت خواهد رسید و تقاضای غذا تا ۷۰ درصد رشد خواهد کرد (Oliveira *et al*., 2023). از این‌طرف، صنعت کشاورزی به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین و مهم ترین صنایع، به‌دلیل کمبود نیروی کار، افزایش جمعیت جهانی و کاهش تعداد نیروی شاغل متخصص در این بخش با چالش اساسی مواجه می‌باشد (Zhang *et al*., 2021). بنابراین به نظر می‌رسد، صنعت کشاورزی نیازمند یک دگردیسی کامل‌تری مانند دیگر صنایع برای غلبه بر این چالش‌ها برای افزایش بهره‌وری است. در حال حاضر پژوهش‌های بسیار زیادی برای بهبود کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی با سرعت وصف‌ناپذیری از طریق هوش مصنوعی در حال انجام است. به‌طوری که فناوری‌هایی مانند داده کاوی، هوش‌مصنوعی[1] و یادگیری ماشین[2] تقریباً در همه صنایع نفوذ کرده‌اند (Jha *et al*., 2019). اگرچه صنایع دیگر به‌دلیل کاربرد سیستم‌های هوش‌مصنوعی و مهارت‌های یادگیری ماشین تحول قابل توجهی در بهره وری داشته‌اند، اما دور از ذهن نیست که کشاورزی را در حال گذار از یک تحول دیجیتال متصور شویم. فناوری هوش‌مصنوعی در کشاورزی پتانسیل بسیار بالایی را دارد به طوریکه این تکنولوژی می‌تواند وظایف ساده تا بسیار پیچیده را انجام داده و با پیشرفت در الگوریتم‌های محاسباتی، بخش‌های بیشتری از اقتصاد جهانی را از مزایای خود بهره‌مند سازد. بخش کشاورزی از مدت‌ها پیش شروع به بهره برداری از هوش‌مصنوعی در زمینه کنترل علف‌های هرز، برآورد مناسب‌ترین زمان برداشت محصولات، نظارت بر سلامت خاک و محصولات کرده است. کشاورزان به‌طور ویژه می توانند با تکیه‌بر تکنولوژی هوش‌مصنوعی تصمیمات بهتری اتخاذ کنند، که منجر به افزایش کارایی در تولیدات کشاورزی شود. به‌عنوان مثال، علف‌های هرز با جذب موادغذایی، سایه‌اندازی و میزبانی آفات و بیماری‌ها منجر به کاهش کمی و کیفی عملکرد محصولات کشاورزی می شوند. علف‌های هرز علاوه بر خسارات جبران‌ناپذیر در بخش کشاورزی از عوامل اصلی نابودی چراگاه‌ها نیز می‌باشند. محققین هوش‌مصنوعی با به‌کارگیری حسگرهای مخصوص می توانند مناطق آلوده به علف‌های هرز را تشخیص دهند و بهترین علف کش را برای استفاده در آن مکان و در زمان مناسب توصیه کنند. کشاورزان با استفاده از پهپادهای مبتنی بر هوش‌مصنوعی می‌توانند سلامت محصولات را نیز رصد نمایند. این کار می‌تواند توسط تصاویر گرفته‌شده توسط پهپاد با استفاده از الگوریتم‌های ماشین بررسی‌شده و گزارشی از سلامت مزرعه در اختیار کشاورز قرار دهد، بنابراین کشاورزان می‌توانند با کنترل به‌موقع آفات و بیماری‌ها و اعمال به موقع کودها، علاوه بر دستیابی به عملکرد بیشتر، هزینه‌های تولید را کاهش دهند (Kumar *et al*., 2020; Patrício & Rieder, 2018). در این مبحث افزایش غیر قابل‌انکار داده های موجود و سهولت دسترسی به آن از اولویت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در حال حاضر از ربات‌ها و حسگرها برای تولید کلان داده‌ها استفاده می‌شود.

هوش مصنوعی

هوش مصنوعی نوعی هوش است که می‌تواند اقداماتی مانند بینایی، پردازش زبان، درک و پردازش ارتباطات را انجام دهد. علاوه بر آن هوش‌مصنوعی مجموعه‌ای از رویکردها، روش‌ها و تکنیک‌ها را برای شبیه سازی رفتار هوشمند ترکیب کرده (Cook & O'Neill, 2020) و قادر به انجام وظایف و اقدامات پیچیده‌ای که سایر اشکال فناوری‌های هوشمند از آن عاجز هستند، می‌باشد (Davenport *et al*., 2020). علاوه بر آن هوش‌مصنوعی توانایی هایی از قبیل استدلال، برنامه‌ریزی، یادگیری، ادراک و توانایی حرکت و تعامل با محیط خود به روشی مشابه انسان و یا حتی با قدرت بیشتر را دارد. برخی از راه‌حل‌های هوش‌مصنوعی می‌توانند از ظرفیت‌ها و هوش انسان فراتر رفته و برای خدمت به تولید پایدارتر استفاده شوند (Sparrow *et al*., 2021). در ساختار هوش‌مصنوعی برنامه‌ها و الگوریتم‌ها به فرمت نرم افزاری تبدیل شده، که اغلب در دستگاه‌های فیزیکی مانند هواپیماهای بدون سرنشین، اتومبیل‌ها، ربات‌های انسان‌نما یا ماشین آلات کشاورزی (به‌طور کلی به‌عنوان "ربات‌ها" تفسیر می‌شود) مورد استفاده قرار می‌گیرد. هوش‌مصنوعی از یادگیری عمیق، ربات‌ها، اینترنت اشیا، پردازش تصویر، شبکه‌های عصبی مصنوعی، شبکه‌های حسگر بی سیم، یادگیری ماشین و دیگر روش‌های پیشرفته برای مقابله با چالش‌های کشاورزی استفاده می‌کند. فناوری‌های هوش‌مصنوعی با نظارت دقیق مواردی مانند آب و هوا، دما، شرایط آب یا شرایط خاک در مزرعه به کشاورزان اتخاذ تصمیمات بهتر به‌منظور مدیریت مزارع کمک کنند. کاهش تلفات محصولات کشاورزی به همراه افزایش عملکرد از نتایج استفاده از راهکارهای کشاورزی

1Artificial intelligence

2Machine learning

هوشمند است (Ben Ayed & Hanana, 2021).

پیشرفت‌های هوش‌مصنوعی در کشاورزی

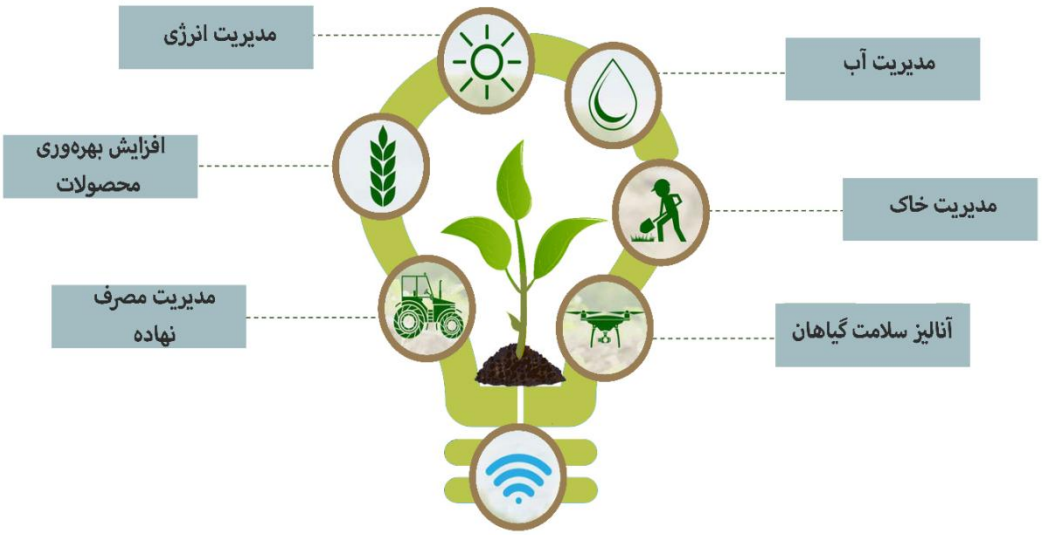
جمعیت جهان همزمان با گسترش شهرنشینی در حال رشد است. بنابراین به‌منظور برآورده کردن تقاضای روبه‌رشد جمعیت جهان و به‌دلیل محدودیت منابع آب و خاک کشاورزان نیاز به راهکارهای جدید برای افزایش تولید دارند.. پذیرش و گسترش جهانی هوش مصنوعی در کشاورزی یکی از هیجان انگیزترین رویکردهای موجود برای مقابله با این معضل می‌باشد (Sharma, 2021; Mohr & Kühl, 2021). در حال حاضر تولیدکنندگان در کنترل عوامل محدود کننده تولید از قبیل آفات و بیماری‌ها با مشکلات گوناگونی مواجه‌اند. هوش‌مصنوعی با محاسبه مدل‌های زیستی و ایجاد همگرایی در آنالیز داده‌های محیطی نقش به سزایی در افزایش بهره‌وری کشاورزی صنعتی به‌وسیله تأثیر مستقیم بر مدیریت مصرف سوخت، مصرف بهینه آب، مدیریت خاک، مدیریت مصرف نهاده‌ها، مدیریت آفات و بیماری‌ها و ایجاد توازن در رشد خواهد داشت (Beloev *et al.*, 2021). آواستی نشان داد که انتخاب تاریخ کشت مناسب می‌تواند عملکرد را ۳۰-۴۰٪ افزایش دهد (Awasthi, 2020). در هند، استفاده از هوش‌مصنوعی در ۱۷۵ مزرعه باعث افزایش ۳۰ درصدی میزان عملکرد در هکتار شده‌است (Dharmaraj & Vijayanand, 2018).

شکل ۱ رابطه رویکرد های مختلف هوش‌مصنوعی با کشاورزی را نشان‌می‌دهد. در حال حاضر رویکردهای هوش مصنوعی محدود به تأمین نهاده‌های کشاورزی و نظارت بر عوامل محیطی بوده و عمدتاً بر افزایش میزان عملکرد متمرکز اند. هوش مصنوعی در کشاورزی اغلب منابع مختلفی از داده‌ها؛ به‌عنوان مثال، تصاویر هوایی با وضوح بالا، دما، اندازه گیری رطوبت، بارندگی، نمونه‌های خاک، نوع زمین، تجهیزات مورد استفاده، نرخ کاشت، کاربردهای مختلف و استفاده از تکنیک‌های یادگیری مختلف را جمع آوری می‌کند. در این روش تجزیه و تحلیل، برای شناسایی الگوها و ایجاد تصویر موقعیت کامل و دقیق، از الگوریتم‌های کامپیوتری، یادگیری ماشین از هر زمینه تحت نظارت برای کل فصل رشد استفاده می‌کند (Cook & O'Neill, 2020). توصیه‌های دقیق در مورد چگونگی، مقدار و زمان کاربرد کود، سم و زمان برداشت محصول، همگی در اختیار کشاورز قرار می گیرد. به‌عنوان مثال، هواپیماهای بدون سرنشین و سیله‌ای مؤثر برای سم پاشی مزارع، گرفتن عکس‌های هوایی و ارائه داده‌هایی هستند که قبلاً امکان‌پذیر نبود. آنها همچنین برای نقشه‌برداری از زمین، کشف راه‌هایی برای بهبود مزرعه و ارائه بینش در مورد موانع در مزرعه به کار رفته‌اند (Ryan *et al.*, 2021).

علاوه بر این، حسگرها و دوربین‌ها که در اطراف مزارع نصب شده‌اند به‌عنوان ورودی داده ها برای تجزیه و تحلیل هوش مصنوعی به کار می‌روند. حسگرها و دوربین‌ها پارامترهایی مانند رطوبت خاک و گیاه، حضور آفات و رفتار حیوانات را ثبت می‌کنند. هوش‌مصنوعی از این پارامترها برای توسعه سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری و کمک به کشاورزان برای پیش‌بینی دقیق استفاده می‌کند. تصاویر پردازش شده در تجزیه و تحلیل دقیق میدانی و نظارت بر محصولات استفاده می شوند. هوش‌مصنوعی مبتنی بر کامپیوتر به کشاورزان کمک می‌کند تا هر زمان که نیاز باشد، اقدامات سریع را انجام دهند (Lokers *et al.*, 2016). با افزایش پتانسیل ذخیره و پردازش سریع داده‌ها، نوآوری و بهره وری افزایش می‌یابد (Wolfert *et al.*, 2017; Krisnawijaya *et al.*, 2022; Weersink *et al.*, 2018). استفاده از هوش‌مصنوعی در کشاورزی امکان ثبت لحظه به لحظه سلامت گیاهان را فراهم می‌کند، و به کشاورزان این امکان را می‌دهد که در صورت تشخیص زودتر از موعد عامل بیماری‌زا اقدامات لازم را انجام دهند (Ryan, 2019). هوش‌مصنوعی همچنین در مدیریت چرخه رشد گیاهان زراعی، زمان برداشت و قیمت گذاری محصولات کشاورزی به کار رفته‌است. چندین گزارشات از کاربرد هوش مصنوعی در کشاورزی در جهت کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بهره‌وری وجود دارد.

هوش‌مصنوعی در فناوری‌های نوین

استفاده از هوش‌مصنوعی در مدل سازی زیست شناسی سیستم‌ها، رویکرد جدیدی را در تحقیقات زیست شناسی با ترکیب قدرت هوش مصنوعی و زیست شناسی سیستم‌ها ارائه می‌کند. توانایی تحلیل مجموعه داده‌های کلان یکی از مزایای کلیدی مدل‌سازی زیست شناسی سیستم‌ها با استفاده از هوش‌مصنوعی می‌باشد. با ظهور فناوری‌هایی، مانند ژنومیکس، اپی ژنومیکس، ترانسکریپتومیکس، پروتئومیکس، متابولومیکس، اکنون محققان به حجم زیادی از داده‌ها دسترسی دارند. چالش استخراج اطلاعات از این داده‌های کلان و برقراری ارتباط با داده‌های فنومیکس وجود دارد. مدل‌سازی زیست شناسی سیستم‌ها با استفاده از هوش‌مصنوعی قادر است، با شناسایی الگوها و روابط در کلان داده‌ها ارتباط بین فنومیکس و ژنومیکس را ارزیابی و تخمین بزند.



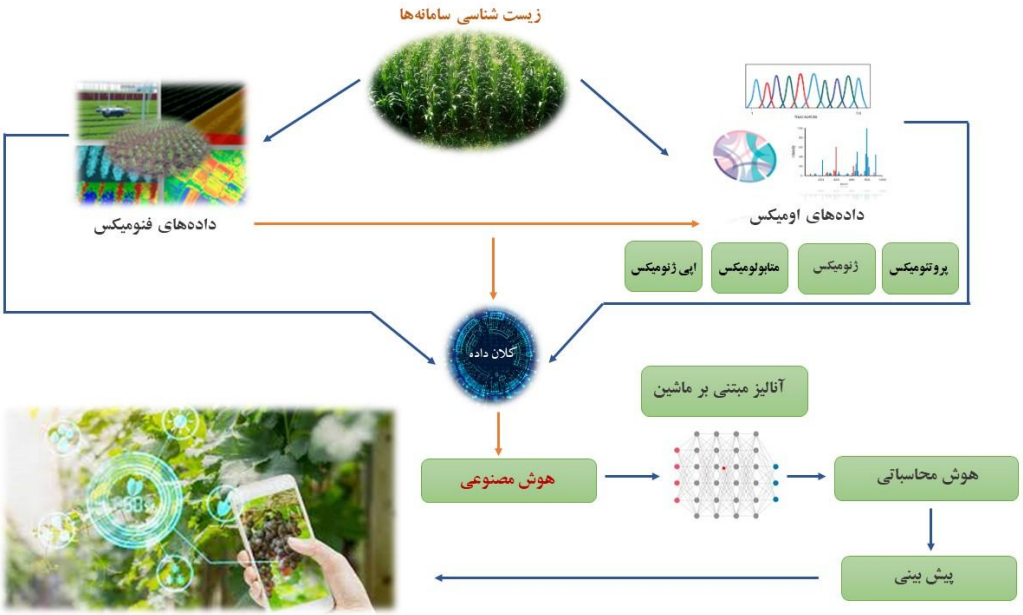
شکل ۱. پارامترهای کشاورزی تحت نظارت هوش‌مصنوعی

با استفاده از الگوریتم‌های هوش‌مصنوعی، زیست‌شناسی سیستم‌ها می‌توانند درک عمیق‌تر و پیچیده‌تری از مکانیسم‌های بنیادی در راه‌اندازی فرایندهای زیستی داشته‌باشند (Holzinger *et al.*, 2023). الگوریتم‌های یادگیری ماشین، در شبیه سازی سیستم های زیستی به کار گرفته می شوند. این الگوریتم‌ها قادر به یادگیری از کلان داده‌ها و انجام پیش‌بینی‌ها بر اساس آن یادگیری هستند. در شکل ۴ خلاصه‌ای از فناوری هوش‌مصنوعی برای پیوند داده‌های اومیکس و فنومیکس ارائه داده‌شده‌است، که منجر به توسعه رویکردهای اصلاحی بهتر می‌شود. به‌علاوه رویکرد ترکیبی هوش مصنوعی در زیست شناسی سامانه‌ها در شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش‌های زیستی و غیر زیستی، از طریق ارتباط با یک جامعه خاص ریزوسفر برای القا رشد و سلامت گیاهان و در نتیجه کاهش آلاینده ها کمک خواهد کرد (Pérez-Jaramillo *et al.*, 2018). کومار و همکاران از مدل هیبرید هوش‌مصنوعی بر پایه الگوریتم‌های ژنتیکی بهترین پیش‌بینی را برای شاخص تحمل به خشکی و شاخص تحمل به استرس به‌دست آوردند (Kumar *et al.*, 2022).

عصر جدید به‌نژادی با هوش‌مصنوعی

تأکید اصلی استفاده از هوش‌مصنوعی در اصلاح محصولات با نظارت مستمر مزرعه، کار به‌نژادگر را تکمیل می‌کند. در واقع، با اتوماسیون مزارع و تعمیم داده‌ها، اصلاح‌گران ممکن است زمان کمتری را صرف کنند. هوش‌مصنوعی با صرفه‌جویی زمان در شناسایی و پردازش داده‌ها، می‌تواند سود قابل توجهی را در اصلاح ایجاد کند (Khan *et al.*, 2022). اصلاح‌گران گیاهی در حال توسعه سیستم‌هایی، برای کمک به درک بهتر رفتار گیاه در شرایط مختلف آب و هوایی هستند (Harfouche *et al.*, 2019). سامیت، قدرت‌مندترین ابررایانه جهان، اخیراً با پتانسیل نگهداری ۲۷۰۰۰ پردازنده گرافیکی رونمایی شد که راه را برای آینده‌ای روشن هموار می‌کند. هوش‌مصنوعی در آینده نزدیک یک تغییردهنده بازی برای ایجاد انقلابی در کشاورزی و امنیت غذایی جهانی خواهد شد (Streich *et al.*, 2019).

استفاده از نسل‌بعدی هوش‌مصنوعی در اصلاح گیاهان نیازمند استخراج هوشمند و کارآمد مجموعه داده‌های اصلاحی با استفاده از مدل‌های مرتبط و الگوریتم‌های قطعی می‌باشد (Xu *et al.*, 2019). اصلاح‌گران گیاهی در حال مفهوم سازی نسل بعدی هوش‌مصنوعی هستند که ارزش‌های اصلاحی را تجزیه و تحلیل کند و تجزیه و تحلیل جامعی از صفات پیچیده تحت شرایط متغیر محیطی ارائه دهد (Niazian *et al.*, 2020). علاوه بر این، هوش مصنوعی همچنین به‌طور مکرر برای بهبود دقت و کارایی داده کاوی برای پیش‌بینی بهتر عوامل مقاومت به بیماری، ویژگی‌های زراعی و در نتیجه تسریع برنامه‌های اصلاحی، آموزش و بهبود می یابد. هیبریداسیون گسترده و پارامترهای انتخاب دقیق به‌طور قابل توجهی انعطاف پذیری فنوتیپ گیاهان زراعی را تغییر داده است (Parmley *et al.*, 2019). انعطاف پذیری فنوتیپ صفات مهم اقتصادی نیز به‌دلیل تغییرات ژنوتیپی که در بین ژنوتیپ‌ها رخ می دهد به‌طور قابل توجهی کاهش می یابد که نتیجه مستقیم برهمکنش آن‌ها با محیط است (Rai *et al.*, 2022).



شکل ۲. زیست‌شناسی سامانه به‌همراه هوش‌مصنوعی در اصلاح محصولات

بنابراین، برنامه‌های اصلاحی فعلی به‌طور گسترده با هدف بهبود تحمل تنش غیر زیستی گیاهان زراعی با پر کردن شکاف فنوتیپ ژنوتیپ که به‌دلیل تغییر در انعطاف‌پذیری فنوتیپ رخ داده است، انجام‌می شود (Javaid *et al.*, 2023). محققان اکنون در حال ادغام داده‌های ژنوتیپی و محیطی و فنوتیپ مشاهده شده برای تقویت برنامه اصلاح تنش غیر زیستی برای شناسایی بهترین ژنوتیپ با صفات زراعی مهم هستند. از آنجایی که این صفات پیچیده با ژن‌های متعددی کنترل می شوند، یک سیستم نظارتی پیشرفته باید تغییرات کوچکی را که در گیاهان رخ می‌دهد ثبت‌کند. در شکل ۲ خلاصه‌ای از فناوری هوش‌مصنوعی برای پیوند داده‌های اومیکس و فنومیکس ارائه داده شده‌است، که منجر به توسعه رویکردهای اصلاحی بهتر می‌شود.

کاربرد هوش‌مصنوعی در فنومیکس

برای غلبه بر این موانع، محققین یک سیستم ثقلی فیزیولوژیکی مبتنی بر هوش‌مصنوعی ابداع کرده‌اند که می‌تواند کوچک‌ترین تغییری را که در گیاهان در رابطه با خاک و جو رخ می‌دهد، به نام زنجیره خاک–گیاه–اتمسفر اندازه‌گیری کند (Nabwire *et al.*, 2021). این سیستم فنوتایپینگ کوچک‌ترین تغییرات در بین صفات پیچیده در رشد و نمو گیاهان مختلف را به محققین ارائه می‌دهد (Tripodi *et al.*, 2022). علاوه بر این، نظارت مداوم و دقیق این داده های فنوتیپی و تجزیه و تحلیل بعدی آن ها با استفاده از رویکرد نسل بعدی هوش‌مصنوعی می‌تواند شناسایی QTLهای پاسخ‌دهنده به استرس یا QTLهای مرتبط با صفات مهم زراعی را تسهیل کند (Niazian & Niedbała, 2020). فنوتایپینگ با توان کارایی بالا برای ارزیابی ژنتیک زیست توده در ذرت مورد استفاده قرار گرفته است (Muraya *et al.*, 2017). انتظار می‌رود که ادغام ژنوم یک عملکردی با فنوتایپینگ فیزیولوژیکی عملکردی فرصتی را برای درک بهتر واکنش‌های گیاه در پاسخ به تنش در طول زمان و در محیط‌های متغیر ایجاد کند.

فنومیک میدانی مجموعه‌ای از ابزارها و روش‌ها برای مقابله با این چالش‌ها می‌باشد. اصلاح سریع صفات محصولات کشاورزی برای توسعه واریته‌های بهبودیافته کلیدی است و به‌شدت به فناوری‌های فنوتایپینگ با وضوح بالا، کارایی بالا و در مقیاس مزرعه‌ای وابسته است که می‌تواند، به‌طور مؤثر بین خطوط اصلاحی با عملکرد بهتر در جمعیت بزرگ‌تر و در محیط های مختلف تمایز قائل شود (Shakoor *et al.*, 2017). برای مرتبط بودن با برنامه‌های اصلاحی، فنومیک مزرعه باید ماهیت تنش های محیطی، در محیط هدف را در نظر بگیرد و وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین و سکوهای زمینی را به کار گیرد. غربالگری هزاران ژنوتیپ کشت‌شده و توسعه مدیریت داده‌های جامع، از جمله مدل سازی محصول در مزرعه را تسهیل کند. سپس داده های تولید شده توسط هوش‌مصنوعی با متدهای یادگیری ماشین و یادگیری عمیق تجزیه و تحلیل می شوند. بدین‌منظور نتایج آنالیز داده‌ها به‌نژادگران در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر کمک می‌کند، تا بهترین صفات زراعی و صفات مقاوم در برابر بیماری را شناسایی

کنند. با استفاده از ترکیبی از مطالعات گسترده ژنوم[1](GWASs) و امکانات فنوتایپینگ با کارایی بالا، فنومیک می‌تواند به‌عنوان یک ابزار جدید برای مطالعات ژنتیک گیاهی، ژنومیک، خصوصیات ژنی، و اصلاح عمل کند (Harfouche *et al.*, 2019).

کاربرد هوش‌مصنوعی در کشت‌بافت گیاهی

فرآیندهای مختلف کشت‌بافت گیاهی به عوامل محیطی و ژنتیکی بستگی دارد و فرایندهای غیرقطعی، پیچیده و غیرخطی در نظر گرفته می‌شوند. این موضوع از طریق بهینه‌سازی متوالی عوامل مختلف، تلاشی زمان‌بر و پرهزینه که قادر به پرداختن به ماهیت بسیار تعاملی متغیرها نیست، مورد توجه قرار گرفته است. با بهبود قدرت محاسباتی، هوش‌مصنوعی به رویکردهای ترجیحی و امیدوارکننده‌تر برای مدل سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های پیچیده برای دستیابی به نتایج بهتر در زمان کمتر و استفاده از منابع کمتر تبدیل می‌شود. روش‌های مبتنی بر هوش‌مصنوعی دامنه مفیدی را برای تجزیه و تحلیل داده های کشت درون شیشه‌ای، تفسیر داده‌های جمع‌آوری شده و بینش عمیق در مورد سیستم‌های بیولوژیکی درون شیشه‌ای فراهم می‌کنند. در آینده، ترکیبی از مدل‌های هوش‌مصنوعی (استراتژی ادغام داده‌ها) برای توسعه مدل‌های دقیق‌تری که نتیجه پروتکل‌های کشت‌بافت و فرآیندهای بیولوژیکی درون شیشه‌ای را پیش‌بینی و بهینه سازی می کنند، استفاده خواهد شد. علاوه بر این، زوش‌های هوش‌مصنوعی را می‌توان برای مکانیزه کردن اصلاح گیاهان در شرایط درون‌شیشه‌ای، مهندسی ژنتیک و فناوری‌های ویرایش ژنوم مانند کریسپر به کار برد (Hesami & Jones, 2019).

مدیریت آب

بخش کشاورزی ۸۵ در صد از منابع آب شیرین موجود در سراسر جهان را مصرف می‌کند. این در صد با افزایش جمعیت و تقاضا برای غذا افزایش می‌یابد. این امر نیاز به فناوری‌های به‌روز و کارآمد را به منظور استفاده صحیح از منابع آب پررنگ‌تر می‌کند. مدیریت آبیاری در بخش تولیدات کشاورزی نیاز به توجه و تلاش قابل توجهی دارد و در حفظ تعادل هیدرولوژیکی، اقلیمی و زراعی بسیار مهم است. بنابراین چندین مطالعه برای به‌دست آوردن اطلاعات در زمینه فرایندهای بیوفیزیکی‌ی موجود در جذب آب از نوک ریشه در خاک و فرایندهای تعرق از پوشش گیاهی صورت‌گرفته است (Elbeltagi *et al.*, 2022). برای یک برنامه آبیاری مؤثر لازم است مقدار نیاز آب محصول مورد نظر را بدانیم (Vishwakarma *et al.*, 2022). کاربرد فن‌آوری های مبتنی بر کامپیوتر در اغدام و تو سعه تولید مح صولات اتوماتیک، آبیاری گیاهان و ارزیابی عملکرد بسیار حیاتی می‌باشد. هوش‌مصنوعی با ایجاد ارتباط بین داده‌های هواشناسی، و حسگرهای مربوط به سنجش میزان رطوبت در خاک و فیتومانیتورینگ لحظه‌ای دوربین های مادون‌قرمز، میزان نیاز گیاه به آب را در زمان و حجم مورد نیاز برآورد نموده و در نتیجه از میزان هدر رفت آب به شدت می کاهد (Kakani *et al.*, 2020). ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ شناسایی و نظارت یک سیستم آبیاری برای تخصیص آب آبیاری را از طریق شبکه عصبی پیچشی (CNN)[2]اجرا کردند. در منطقه آزمایش از شبکه عصبی مصنوعی با بهترین عملکرد و کمترین زمان آموزش استفاده شد. رویکرد پیشنهادی در خصوص چالش شناسایی سیستم‌های آبیاری با دقت ۹۵/۸۵ درصد و فراخوانی ۹۳/۳۳ درصد از یافته‌های شنا سایی، عمل کرد (Zhang *et al.*, 2018). کامیشوا و همکاران در سال ۲۰۲۲ یک فناوری مبتنی بر ماشین برای بهینه سازی فرآیند آبیاری محصولات با استفاده از سیستم فنوتیپ گیاهی پیشنهاد کردند. شبکه عصبی آموزش دیده با استفاده از سیستم تکثیر ارتجاعی در مرحله نهایی برای محاسبه میزان آب مورد نیاز به کار گرفته‌می‌شود. دقت شناسایی گیاهان تا ۹۳ درصد و دقت مراحل رشد تا ۹۲ درصد بوده است (Kamyshova *et al.*, 2022). جدول شماره ۱ مدیریت آبیاری را از طریق فناوری‌های مبتنی بر هوش‌مصنوعی نشان‌می‌دهد.

مدیریت خاک

حفظ و بهبود خصوصیات خاک، تأکید اصلی مدیریت خاک در کشاورزی برای افزایش بهره‌وری محصولات می‌باشد (Kushwaha *et al.*, 2022). با پیشرفت قدرت پردازش تصویر و توسعه سیستم‌های تصویر (به‌عنوان مثال، دوربین‌ها) در سال‌های اخیر، رویکردهای تحلیل تصویر مبتنی بر هوش‌مصنوعی در بسیاری از بخش‌ها، از جمله علوم خاک، مورد توجه قرار گرفته است. در این روش تصاویر خاک با دوربین جمع‌آوری می‌شود و سپس از برنامه‌های مبتنی بر ماشین برای طبقه‌بندی و دسته‌بندی آنها استفاده می شود (Zhang *et al.*, 2021). در جدول ۲ به مطالعات مهم در مورد رویکرد هوش‌مصنوعی در تجزیه و تحلیل خاک اشاره شده است.

جدول ۱. مطالعات قبلی در مورد مدیریت آبیاری از طریق استفاده از رویکردهای هوش‌مصنوعی

1Genome-wide association studies

2Convolutional Neural Network

اهداف و کاربرد	روش کار	نتایج	منابع
تخمین آب کانال آبیاری	طبقه‌بندی تصاویر با ResNet-50 و مدل تقسیم بندی آب کانال با U-Net	مدل تقسیم‌بندی تصویر اسکور ۰/۹۹۸ و سطح آب پیش‌بینی‌شده با ضریب همبستگی ۰/۹۷ را نشان داد.	(Kim *et al.*, 2022)
راندمان آبیاری	الگوریتم شبکه عصبی پیچشی عمیق	حداکثر دقت ۹۲ درصد، ویژگی ۹۱/۲ درصد و حساسیت ۹۴/۱ درصد	(Kumbi & birje, 2022)
مدل تبخیر و تعرق	سیستم کنترل بر پایه شبکه عصبی مصنوعی	افزایش کارایی خودکار و امکان سنجی اقتصادی	(Choudhary *et al.*, 2022)
پیش بینی میزان آب	الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین	پیش بینی ۹۸ درصد و غلبه با شرایط خشکی	(Arvind *et al.*, 2017)
نظارت بر توزیع سیستم های آبیاری محوری مرکز	الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری عمیق	آزمایشات با تصاویر Sentinel به‌دقت و فراخوانی ۹۵ درصد دست یافتند.	(Tang *et al.*, 2017)
شناسایی آلودگی آب برای منابع آبیاری کشاورزی	مدل کم عمق شبکه عصبی	نتایج تایید ۹۱ درصد بود.	(Chen *et al.*, 2020)

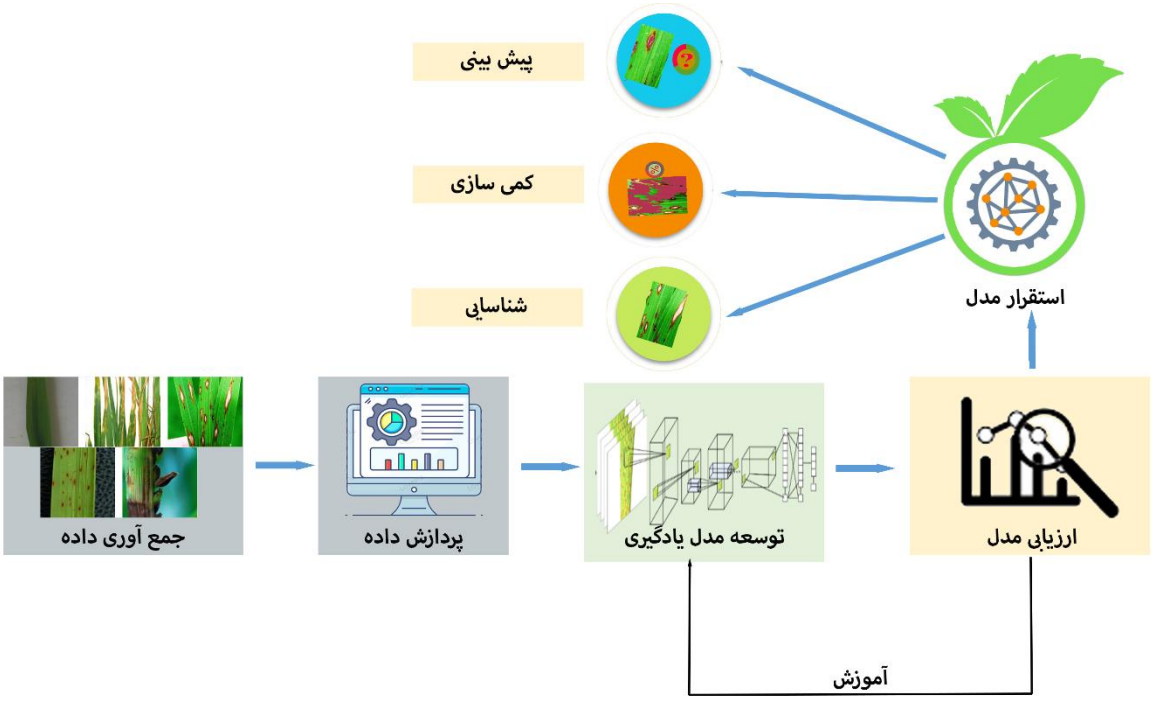
جدول ۲. مطالعات قبلی در مورد رویکردهای هوش‌مصنوعی در تجزیه و تحلیل خاک

اهداف و کاربرد	روش کار	نتایج	منابع
آنالیز بافت خاک	معماری یادگیری عمیق	روش شبکه عصبی پیچیده با کمترین عمق مؤثرترین طبقه‌بندی می‌باشد.	(Riese & Keller, 2019)
پیش بینی بافت خاک	شبکه عصبی پیچشی عمیق خودکار و یادگیری مبتنی بر جمعیت	۵ تا ۲۶ درصد پیشرفت برای شناسایی سه جز خاک مانند ماسه، رس	(Omondiagbe *et al.*, 2022)
طبقه بندی خاک	سیستم مبتنی بر فیلترهای قابل تنظیم کریستال مایع و شبکه عصبی پیچشی سه‌بعدی برای طبقه بندی خاک	عملکرد ۹۹/۵۹ درصد برای شبکه عصبی پیچیده سه‌بعدی	(Yu *et al.*, 2019)
تخمین فلزات سنگین	استفاده از تصاویر خاک، شبکه عصبی پیچشی با کدگذاری برای تخمین فلزات مس، سرب	بالاترین درصد برای تخمین مس ۸۲ و برای سرب ۸۶ گزارش شد.	(Pyo *et al.*, 2020)
آنالیز بافت	الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین برای طبقه بندی تراکم خاک	کارایی ۹۸ درصدی برای شبکه یادگیری ماشین	(Azadnia *et al.*, 2022)

آنالیز سلامت گیاهان

پیشرفت در زمینه هوش‌مصنوعی راه حل‌های امیدوارکننده‌ای را به کشاورز می‌دهد، تا گیاهان آلوده را به‌دقت نظارت و شناسایی کنند، و با مدیریت سریع بیماری‌ها از شیوع بیشتر آن جلوگیری کنند.. با در اختیار داشتن داده‌های واقعی در زمان، کشاورزان می توانند اقدامات سریع و مناسب را برای کنترل عامل خسارت‌زا و جلوگیری از گسترش آن انجام دهند (شکل شماره ۳). زمانی که گیاه در معرض تنش یا کمبود مواد مغذی قرار می‌گیرد، معمولاً علائم در رنگ و بافت برگ‌ها ظاهر می‌شوند. تجزیه و تحلیل تصویر می‌تواند این تغییرات را در یک الگو مؤثر تشخیص دهد. سیستم‌های تشخیص تصویر مبتنی بر هوش‌مصنوعی قادرند عوامل خسارت‌زای گیاهی را با دقت بالا تشخیص دهند. از این رو با کنترل آفات و بیماری‌ها به‌صورت خاص مکانی، می‌توان مصرف سموم را بهینه نمود. در نتیجه با استفاده از مدل‌های رشدی چندوجهی میزان تأثیر سموم را در دوره‌های زمانی مشخص مقایسه و بهترین زمان استفاده را محاسبه و به کشاورز توصیه کند (Khoshnevisan *et al.*, 2020). هوش‌مصنوعی برای مدیریت عوامل خسارت‌زا و همچنین تشخیص پراکنش و تراکم علف‌های هرز از شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر الگوریتم‌های ژنتیکی، حسگرهای یادگیری ماشین (Liakos *et al.*, 2018)، تجزیه و

تحلیل تصـویر دیجیتال (Gerhards & Christensen, 2003)، کمی سازی داده‌های کیفی (Udupi, 2019) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (Yang *et al.*, 2002) استفاده می‌کند. فلاح و همکاران در سال ۲۰۲۲ با استفاده از تصاویر تلفن همراه هوشمند و شبکه عصبی عمیق به شناسایی خودکار کرم ساقه‌خوار برنج پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل پیشنهادی با دقت ۹۲ در صد و صحت ۸۸ درصدی عملکرد مناسبی در تشخیص آفت کرم ساقه خوار دارد (Fallah & Ghanbari, 2022). در جدول ۳ به مطالعات مهم در مورد رویکرد هوش‌مصـــنوعی در آنالیز ســـلامت گیاهان اشاره شده است.



شکل ۳. رویکرد هوش‌مصنوعی در آنالیز سلامت گیاهان

جدول ۳. مطالعات قبلی در مورد رویکردهای هوش‌مصنوعی در آنالیز سلامت گیاهان

اهداف و کاربرد	روش کار	محصول	نتایج	منابع
شناسایی آفات	پهپاد مجهز به دوربین مبتنی بر مدل یادگیری عمیق	سویا	بیشترین دقت تشخیص با مدل ResNet-50 به مقدار ۹۳/۸۲ درصد بدست‌آمد.	(Tetila *et al.*, 2020)
شناسایی بیماری‌های بلاست، لکه قهوه‌ای و بلایت باکتریایی	فناوری پهپاد و رویکرد یادگیری انتقالی	برنج	بیشترین مقدار دقت تشخیص با مدل VGG16 به میزان ۹۹/۹۴ درصد به‌دست آمد	(Ritharson *et al.*, 2023)
شناسایی سفید با لک و تریپس در گلخانه	ترکیب پردازش تصویر و شبکه عصبی مصنوعی	خیار	الگوریتم شناسایی سفید با لک و تریپس دقت بالایی در حدود ۹۷ درصد و ۹۲ درصد داشت.	(Espinoza *et al.*, 2016)
شناسایی بیماری مرکبات	مدل شبکه عصبی پیچشی دو بعدی	مرکبات	دقت تشخیص بیماری در حدود ۹۵/۸ درصد به‌دست آمد.	Syed-Ab-Rahman *et al.*, 2022)
شناسایی علف‌های هرز	به‌کارگیری دو مدل شبکه یادگیری عمیق FCN و SegNet	برنج	دقت ۹۸/۲۳ درصد برای SegNet	Chavan & Nandedkar, 2020)

مدیریت مصرف انرژی

مصرف سوخت چالشی بزرگ در جهت تولید هر کارگاه تولیدی می باشد، به طبع کارگاه‌های کشاورزی از این امر مستثنی نمی‌باشند. هوش‌مصنوعی به‌عنوان ابزاری کارآمد با برقراری ارتباط بین نیاز و مصرف در صنایع مختلف کشاورزی سبب کاهش چشمگیری در میزان مصرف سوخت می‌گردد. با ایجاد یک الگوریتم ساده از توابع دمایی مربوط به محیط خارج و داخل واحد تولیدی می‌توان به نمودار مشخصی از مصرف سوخت دست‌یافت، و با استفاده از نرم افزارهای هوش‌مصنوعی می‌توان به‌صورت لحظه‌ایی میزان سوخت در ساعتی مشخص که تابعی از نوسان دمایی مورد نیاز در داخل واحد نسبت به دمای خارج واحد می‌باشد، را برآورد کرد. در این حالت به‌جای داشتن حداکثر و حداقل مطلق در شبانه‌روز به‌ازای هر ساعت حداکثر و حداقل مصرف سوخت برآورد خواهد شد. در نتیجه کاربرد این فناوری کاهشی ۵۰ در صدی در کاهش مصرف سوخت رخ خواهد داد. در واقع سیستم‌های کنترل اقلیم مبتنی بر هوش‌مصنوعی با ایجاد بازه های بی نهایت از حداکثر و حداقل‌های مختلف سبب کاهش مصرف سوخت و افزایش راندمان واحد تولیدی کشاورزی خواهد شد. این‌قدر مطلق‌های کوچک با محوریت داده‌های GDP باعث افزایش چشم گیر راندمان پرورشی در بخش کشاورزی می‌شوند. چرا که بدون هوش‌مصنوعی با در نظر گرفتن ΔT مطلق برای روز، واحد GDP رشدی تحت‌تأثیر قرار گرفته و از حالت نرمال طبیعی به‌سمت رویشی مطلق سوق پیدا کرده که علاوه بر افزایش مصرف سوخت، ضعف محصولات را نسبت به عوامل بیماری‌زا افزایش می‌دهند (Liao & Yao, 2021).

مدیریت مصرف نهاده‌ها

بی شک نهاده‌های مصرفی (ورودی) به‌عنوان پرهزینه‌ترین بخش تولید در کشاورزی می‌باشند، بنابراین هرگونه اقدام در جهت کاهش مصرف نهاده باعث رونق بخشی کشاورزی و افزایش حجم تولیدات با بهره‌وری بالا خواهد شد. میزان مصرف نهاده‌ها برای واحدهای تولیدی تابعی از سن واحد تولیدی و نیاز آن در برهه‌های زمانی مشخص می‌باشد. این برهه‌های زمانی توسط تکنسین‌ها و در واحد زمانی ماه برای واحدهای تولیدی معین می‌گردند. هوش‌مصنوعی با استفاده از آنالیز لحظه‌ای و ثبت داده در واحد روز / ساعت / ثانیه قادر است نیاز لحظه‌ای واحد تولیدی را مشخص نموده و در نتیجه با جلوگیری از مصرف بیش از حد، و یا مصرف حداقل نهاده نمودار رشد را از حالت سینوسی به‌حالت خطی تبدیل نماید (Eli-Chukwu, 2019). بی‌تردید عدم افراط و تفریط در مصرف نهاده‌ها باعث رشد بهینه در عامل تولیدی خواهد شد. هوش‌مصنوعی به‌عنوان ابزار دقیق خطاهای انسانی را پوشش داده و با محاسبات بی‌شمار در واحد زمان میزان ماده ورودی مورد نیاز را مشخص می‌کند، که طبیعتاً این امر از توانایی تکنسین‌های واحدهای تولیدی خارج می‌باشد (Schimmelpfennig & Ebel, 2016). هوش‌مصنوعی با کمک حسگرها و روابط تعریف شده برای رشد محصولات واحدهای تولیدی و با انجام محاسبات بی‌شمار در واحدهای زمانی مشخص شرایط بهینه برای افزایش بهره‌وری را تخمین زده، و با ارائه راهکارها و توصیه‌های لازم نقش بسیار مؤثری بر اقتصاد بخش کشاورزی داشته‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و استفاده از فناوری پردازش اطلاعات، در آفریقا نیز اثرات مثبت زیادی داشته است. بنا بر گزارشات حاصله تولید ذرت در غرب کنیا برای هر کشاورز تنها در یک سال از میانگین ۶ به ۹ کیسه در هر واحد زراعی (۹۰ کیلوگرم در هر کیسه) افزایش یافته‌است.

تأثیر هوش‌مصنوعی بر عملکرد اقتصادی در کشاورزی

تکنولوژی هوش‌مصنوعی به‌دلیل تأثیر آن بر شرکت‌ها، صنایع، اقتصاد، بازار کار و سرمایه انسانی، همیشه در تحقیقات اقتصادی در مرکز توجه قرار داشته است (Gentili *et al.*, 2020). دیجیتالی شدن توجه فزاینده‌ای را در تحقیقات اقتصادی در حوزه کشاورزی به خود جلب کرده است. در دهه گذشته تعداد شرکت‌هایی که فناوری‌های هوش‌مصنوعی را به کار می‌گیرند به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است (Davenport *et al.*, 2020). برخی از مزیت‌های اقتصادی هوش‌مصنوعی در کشاورزی، شامل نوآوری، بهره‌وری، صرفه‌جویی (به‌عنوان مثال کاهش هزینه‌های تجهیزات، کاهش خطای انسانی)، افزایش تجزیه و تحلیل (بازرسی و ارزیابی بیماری)، نظارت و بهبود کیفیت مواد غذایی و حتی استراتژی‌های کارآمد بازار می‌باشند (Sood *et al.*, 2022). استفاده از هوش‌مصنوعی از طریق استفاده کارآمد از نیروی کار و منابع و اقدامات دقیق پتانسیل کاهش هزینه های متغیر را دارد. همان‌طور که هوش‌مصنوعی بسیاری از صنایع را به‌سمت جلو هدایت می‌کند و چشم‌انداز کسب‌وکار را تغییر داده و باعث افزایش بهره‌وری می شود، این افزایش تا سال ۲۰۳۰ به رقمی به ارزش ۷۵۵ میلیارد دلار می‌رسد. هوش‌مصنوعی بالاترین میانگین رشد سالیانه را براساس ارزیابی‌ها و پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته، بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۷، را در بین سایر بازارهای فناوری داشته و با ۲۴ درصد بالاترین میزان رشد را از آن خود خواهد کرد. هوش مصنوعی با تقویت عملکرد اقتصادی و به‌ویژه با توجه به تولید و

نوآوری خدمات، تأثیر شگرفی بر میزان تولید ناخالص داخلی کشورها داشته است. پیش‌بینی‌ها حاکی از آنند که بازار هوش‌مصنوعی در سال ۲۰۲۳ تا ۱٫۵ درصد تأثیر مثبتی بر GDP داشته است، و انتظار می‌رود این تأثیر مثبت تا سال ۲۰۲۷ به ۷٫۲ درصد و تا سال ۲۰۳۰ به ۹٫۴ درصد افزایش یابد. به‌علاوه پیش‌بینی می‌شود، اثر بازار هوش مصنوعی بر GDP از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۰ با افزایشی ۹ درصدی مواجه شود. از سال ۲۰۲۰ تاکنون ۷۰ میلیون کشاورز در سراسر جهان، از مزایای هوش‌مصنوعی بهره‌مند شده‌اند.

شکل ۴ استارت‌آپ‌هایی را نشان‌می‌دهد که با استفاده از ظرفیت هوش‌مصنوعی در نقاط مختلف دنیا ایجاد شده‌اند. ۷۲ استارت‌آپ به عنوان استارت‌آپ‌های موفق با استفاده از هوش‌مصنوعی انتخاب‌شده اند. از بین ۷۲ استارت‌آپ، ۵ استارت‌آپ به‌عنوان استارت‌آپ‌های موفق و برتر انتخاب‌شده‌اند که GDP بالا و تولید ارز بالایی داشته‌اند. اولین استارت‌آپ به نام AGAEyE که در صدر جدول قرار دارد، یک استارت‌آپ آمریکایی می‌باشد که با استفاده از هوش‌مصنوعی، یادگیری ماشین و تصویرسازی سه‌بعدی نقاط ضعف کشاورزان را در زمینه تشخیص کمبودها، آفات و بیماری‌ها را پوشش داده‌است. با ارسال پهپادها بر روی مزارع کمبودهای گیاهان و حضور احتمالی پاتوژن‌ها را شناسایی می‌کنند و برای آنها کود و سم تجویز می‌کنند. و در زمان کمتری نسبت به نیروی انسانی این کارها انجام می‌گیرد. دومین استارت‌آپ موفق، یک استارت‌آپ آلمانی به نام Heliopas می‌باشد که در زمینه تشخیص خشکی تخصص دارد. در آلمان بیش تر مزارع به صورت دیم کاشته می شوند. این استارت‌آپ بر حسب حسگرهای خاک و داده‌های هواشناسی، میزان بارش را پیش‌بینی می کند و میزان کمبود آب را مشخص می‌کند. در واقع به کشاورزان هشدار می‌دهد که در روزهای آتی بارندگی وجود ندارد و باید متکی به سیستم آبیاری شوند و یا برعکس احتمال وقوع بارندگی است و نیازی به آبیاری نیست. این استارت‌آپ در بسیاری از نقاط دنیا این خدمات را ارائه می‌دهد. استارت‌آپ سوم به نام wolkus در کشور هند می‌باشد و بیشتر مورد استفاده کشاورزان خرده‌مالکی است که نمی خواهند هزینه زیادی صرف کنند. در واقع یک سری اطلاعات را از کشاورزان می‌گیرد و بر حسب این اطلاعات نیازهای کشاورزان را برطرف می‌کند. استارت‌آپ بعدی یک استارت‌آپ بلاروس‌ی به نام onesoil است، که با استفاده از داده‌های هواشناسی نوع ابرها را مشخص می‌کند و میزان تأثیر آنها بر روی واحدهای کشاورزی را مشخص می‌کند. کشاورزان با استفاده از این استارت‌آپ می‌توانند براساس پیش‌بینی آب و هوای سال زراعی، محصول مناسب را کشت کنند. علاوه بر آن میزان کود، نوع خاک ارزیابی می شود و بر حسب شرایط سالیانه محصولی که بیشترین گردش مالی را داشته‌با شد معرفی می‌شود. در آخر استارت‌آپ Root Al یک استارت‌آپ آمریکایی می‌باشد که بر حسب تکنولوژی رباتی زمان رسیدگی محصول را برای کشاورزان مشخص می‌کند. تعیین زمان برداشت محصول در حالی که حداکثر محصول رسیده باشد چالش بزرگ همه کشاورزان در سراسر جهان می‌باشد. بسته به شرایط آب و هوایی، شرایط بازار و میزان رسیدگی محصول بهترین زمان برداشت را معین می‌کند، که کار بسیار سختی است. این استارت‌آپ بر حسب تصاویر سه‌بعدی که ربات‌ها می‌گیرند و با استفاده از حسگرهایی که در خاک به کار رفته‌اند، میزان رسیدگی محصولات را تخمین می‌زنند.

شکل ٤. نقشه حرارتی توزیع جغرافیایی ۷۲ استارت‌آپ و ۵ استارت‌آپ برتر

هوش‌مصـــنوعی به غلبه بر عدم تقارن بازار در زنجیره‌های ارزش منطقه‌ای و جهانی به کشـــاورزان کمک می‌کند. این امر به ویژه برای واحدهای اقتصادهای نوپا که در آن کشاورزان دسترسی کمتری به اطلاعات بازار دارند، بســیار حائز اهمیت اســت. هوش مصنوعی کشاورزی که بر عوامل خارجی تمرکز دارد، از داده‌های مربوط به روند بازار، قیمت محصـــولات، نیازهای مصـــرف‌کننده، الزامات و زیبایی شناسی استفاده می‌کند، به کشاورزان این امکان را می‌دهد تا تصمیمات هوشمندانه‌تری در بازار بگیرند (Cubric, 2020).

چشم‌انداز آینده کشاورزی مبتنی بر هوش‌مصنوعی

در آینده، فناوری‌های هوش‌مصـنوعی برای مسـائل و معضـلات کشاورزی، که کشاورزان سرا سر جهان با آن روبه‌رو هستند، از کنترل آفات گرفته تا پیش بینی آب و هوا و حتی نیروی کارگری در مزرعه راه حل‌هایی نوآورانه و دقیقی ارائه خواهد داد. هوش مصـنوعی به کشـاورزان کمک خواهد کرد تا با اسـتفاده از کلان داده‌ها به دانشـمندان کشـاورزی تبدیل شـوند تا بدین ترتیب محصولات را بسته به تقاضای بازار بهینه کنند. در حال حاضر شرکت‌های هوش‌مصنوعی در حال توسعه ربات‌هایی هستند که قادرند با دقت و سـرعت بالا وظایف مختلفی را در محیط‌های مزرعه انجام دهند. این ربات‌ها در برداشـت سـریع‌تر و کامل‌تر محصول بسیار دقیق‌تر از نیروی انسانی، طراحی‌شده‌اند. این ربات ها علاوه بر برداشت و بسته بندی محصولات به بررسی کیفیت محصـول و پایش عوامل خسـارت‌زای آن‌ها خواهند پرداخت. این ربات‌ها همچنین می‌توانند بر مشکلات نیروی کار کشاورزی غلبه کنند. الگوریتم‌های هوش‌مصنوعی از عکس‌های ماهواره‌ای و داده های قدیمی برای تشـخیص احتمال وجود تنوع و میزان شـیوع آفات و حتی میزان برآورد خسـارت احتمالی بهره می‌گیرند. هوش مصـنوعی با ارسـال داده‌ها و گزارش‌ها به تلفن‌های همراه کشـاورزان، به آنها در مدیریت آفات کمک می‌کند بدین ترتیب کشـاورز می‌تواند اقدامات لازم و به‌جا در کنترل آفات و جلوگیری از شیوع آنها را اعمال کند.

آینده هوش‌مصنوعی در کشاورزی نیاز به تمرکز قابل توجهی بر میزان دسترسی اطلاعات و کلان داده‌ها در سطح جهان دارد، زیرا در حال حاضـر فناوری‌های پیشـرفته فقط در مزارع بزرگ اسـتفاده می‌شـوند. کشـاورزی مبتنی بر یادگیری ماشـین و علم پردازش و تفسیر داده با گسترش دسترسی و قابلیت اتصال مزارع کوچک در مناطق دور در سراسر جهان تضمین خواهد شد. از آنجا که هوش‌مصنوعی استفاده و کارایی منابع را به حداکثر می‌رساند و تا حد قابل توجهی کمبود منابع و نیروی کار را برطرف می‌کند، در صـنعت کشـاورزی مفید و مؤثر خواهد بود. این فناوری همچنین نقش اساسی در تحقیق و توسعه در زمینه محصولات باغی خواهد داشـت. در کشـور ایران وزارت جهاد کشـاورزی، مرجع اصـلی پژوهش‌های کاربردی و توسعه‌ای در حوزه‌های مختلف کشاورزی در تأمین امنیت غذایی و حفظ ذخایر ژنتیکی اسـت. در راسـتای حکمرانی کشـاورزی هوشـمند در این بخش، هوش‌مصـنوعی می تواند در تصمیم گیری‌های کلان کشوری در حوزه‌های اولویت‌دار مانند الگو و مدیریت کشـت، تسـریع در معرفی ارقام و نژادهای برتر، تعیین اصـالت ژنتیکی جانوری و گیاهی، پیش‌بینی میزان تولید، تعیین کیفیت محصـولات، تشـخیص بیماری در حوزه‌های گیاهی و جانوری، مدیریت منابع ژنتیکی و مدیریت آب و خاک نقش مهمی ایفا نماید.

References

Arvind, G, Athira, V. G, Haripriya, H, Rani, R. A, & Aravind, S. (2017, April). Automated irrigation with advanced seed germination and pest control. In 2017 *IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development* (TIAR) (pp. 64-67). IEEE.

Awasthi, Y. (2020). Press "a" for artificial intelligence in agriculture: A review. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, *4*(3), 112-116.

Azadnia, R., Jahanbakhshi, A., Rashidi, S., & Bazyar, P. (2022). Developing an automated monitoring system for fast and accurate prediction of soil texture using an image-based deep learning network and machine vision system. *Measurement*, *190*, 110669.

Ben Ayed, R., & Hanana, M. (2021). Artificial intelligence to improve the food and agriculture sector. *Journal of Food Quality*, *2021*, 1-7.

Beloev, I., Kinaneva, D., Georgiev, G., Hristov, G., & Zahariev, P. (2021). Artificial intelligence-driven autonomous robot for precision agriculture. *Acta Technologica Agriculturae*, *24*(1), 48-54.

Bhagat, P. R., Naz, F., & Magda, R. (2022). Artificial intelligence solutions enabling sustainable agriculture: A bibliometric analysis. *PloS one*, *17*(6), 0268989.

Chavan, T. R., & Nandedkar, A. V. (2018). AgroAVNET for crops and weeds classification: A step forward in automatic farming. *Computers and electronics in agriculture*, *154*, 361-372.

Chen, H., Chen, A., Xu, L., Xie, H., Qiao, H., Lin, Q., & Cai, K. (2020). A deep learning CNN architecture applied in smart near-infrared analysis of water pollution for agricultural irrigation resources. *Agricultural Water Management*, *240*, 106303.

Choudhary, S., Gaurav, V., Singh, A., & Agarwal, S. (2019). Autonomous crop irrigation system using artificial intelligence. *Int. J. Eng. Adv. Technol*, *8*(5), 46-51.

Cook, P., & O'Neill, F. (2020). Artificial intelligence in agribusiness is growing in emerging markets.

Cubric, M. (2020). Drivers, barriers and social considerations for AI adoption in business and management: A tertiary study. *Technology in Society*, *62*, 101257.

Davenport, T., Guha, A., Grewal, D., & Bressgott, T. (2020). How artificial intelligence will change the future of marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *48*, 24-42.

Dharmaraj, V., & Vijayanand, C. (2018). Artificial intelligence (AI) in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(12), 2122-2128.

Elbeltagi, A., Kushwaha, N. L., Rajput, J., Vishwakarma, D. K., Kulimushi, L. C., Kumar, M., ... & Abd-Elaty, I. (2022). Modelling daily reference evapotranspiration based on stacking hybridization of ANN with meta-heuristic algorithms under diverse agro-climatic conditions. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(10), 3311-3334.

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

Fallah, M., & Ghanbari Parmehr, E. (2023). Detection of Chilo Suppressalis using Smartphone Images and Deep Learning. *Journal of Agricultural Machinery*, *13*(2), 195-211.

Fusari, C. M., Kooke, R., Lauxmann, M. A., Annunziata, M. G., Enke, B., Hoehne, M., ... & Keurentjes, J. J. (2017). Genome-wide association mapping reveals that specific and pleiotropic regulatory mechanisms fine-tune central metabolism and growth in Arabidopsis. *The Plant Cell*, *29*(10), 2349-2373.

Gentili, A., Compagnucci, F., Gallegati, M., & Valentini, E. (2020). Are machines stealing our jobs? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, *13*(1), 153-173.

Gerhards, R., & Christensen, S. (2003). Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. *Weed research*, *43*(6), 385-392.

Harfouche, A. L., Jacobson, D. A., Kainer, D., Romero, J. C., Harfouche, A. H., Mugnozza, G. S.,... & Altman, A. (2019). Accelerating climate resilient plant breeding by applying next-generation artificial intelligence. *Trends in biotechnology*, *37*(11), 1217-1235.

Hesami, M., & Jones, A. M. P. (2020). Application of artificial intelligence models and optimization algorithms in plant cell and tissue culture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *104*, 9449-9485.

Holzinger, A., Keiblinger, K., Holub, P., Zatloukal, K., & Müller, H. (2023). AI for life: Trends in artificial intelligence for biotechnology. *New Biotechnology*, 74, 16-24.

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Artificial intelligence applications for industry 4.0: A literature-based study. *Journal of Industrial Integration and Management*, *7*(01), 83-111.

Javaid, M., Haleem, A., Khan, I. H., & Suman, R. (2023). Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. *Advanced Agrochem*, *2*(1), 15-30.

Jha, K., Doshi, A., Patel, P., & Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, *2*, 1-12.

Jung, J., Maeda, M., Chang, A., Bhandari, M., Ashapure, A., & Landivar-Bowles, J. (2021). The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Current Opinion in Biotechnology*, *70*, 15-22.

Kakani, V., Nguyen, V. H., Kumar, B. P., Kim, H., & Pasupuleti, V. R. (2020). A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry. *Journal of Agriculture and Food Research*, *2*, 100033.

Kamyshova, G., Osipov, A., Gataullin, S., Korchagin, S., Ignar, S., Gataullin, T., ... & Suvorov, S. (2022). Artificial neural networks and computer vision's-based phytoindication systems for variable rate irrigation improving. *IEEE Access*, *10*, 8577-8589.

Khan, M. H. U., Wang, S., Wang, J., Ahmar, S., Saeed, S., Khan, S. U., ... & Feng, X. (2022). Applications of Artificial Intelligence in Climate-Resilient Smart-Crop Breeding. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(19), 11156.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Pan, J., Zhang, Y., & Liu, H. (2020). A multi-criteria evolutionary-based algorithm as a regional scale decision support system to optimize nitrogen consumption rate; A

case study in North China plain. *Journal of Cleaner Production*, *256*, 120213.

Kim, K. H., Kim, M. G., Yoon, P. R., Bang, J. H., Myoung, W. H., Choi, J. Y., & Choi, G. H. (2022). Application of CCTV image and semantic segmentation model for water level estimation of irrigation channel. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, *64*(3), 63-73.

Krisnawijaya, N. N. K., Tekinerdogan, B., Catal, C., & van der Tol, R. (2022). Data analytics platforms for agricultural systems: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, *195*, 106813.

Kumbi, A. A., & Birje, M. N. (2022). Deep CNN based sunflower atom optimization method for optimal water control in IoT. *Wireless Personal Communications*, *1*-26.

Kumar, R., Yadav, S., Kumar, M., Kumar, J., & Kumar, M. (2020). Artificial intelligence: new technology to improve Indian agriculture. *International Journal of Chemical Studies*, *8*(2), 2999-3005.

Kushwaha, N. L, Elbeltagi, A, Mehan, S, Malik, A, & Yousuf, A. (2022). Comparative study on morphometric analysis and RUSLE-based approaches for micro-watershed prioritization using remote sensing and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, *15*(7), 564.

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

Liao, M., & Yao, Y. (2021). Applications of artificial intelligence-based modeling for bioenergy systems: A review. *GCB Bioenergy*, *13*(5), 774-802.

Liu, S. Y. (2020). Artificial intelligence (AI) in agriculture. *IT Professional*, *22*(3), 14-15.

Lokers, R., Knapen, R., Janssen, S., van Randen, Y., & Jansen, J. (2016). Analysis of Big Data technologies for use in agro-environmental science. *Environmental modelling & software*, *84*, 494-504.

Mor, S., Madan, S., & Prasad, K. D. (2021). Artificial intelligence and carbon footprints: Roadmap for Indian agriculture. *Strategic Change*, *30*(3), 269-280.

Mohr, S., & Kühl, R. (2021). Acceptance of artificial intelligence in German agriculture: an application of the technology acceptance model and the theory of planned behavior. *Precision Agriculture*, *22*(6), 1816-1844.

Muraya, M. M., Chu, J., Zhao, Y., Junker, A., Klukas, C., Reif, J. C., & Altmann, T. (2017). Genetic variation of growth dynamics in maize (*Zea mays* L.) revealed through automated non-invasive phenotyping. *The Plant Journal*, *89*(2), 366-380.

Nabwire, S., Suh, H. K., Kim, M. S., Baek, I., & Cho, B. K. (2021). Application of artificial intelligence in phenomics. *Sensors*, *21*(13), 4363.

Niazian, M., & Niedbała, G. (2020). Machine learning for plant breeding and biotechnology. *Agriculture*, *10*(10), 436.

Oliveira, R. C. D., & Silva, R. D. D. S. E. (2023). Artificial Intelligence in Agriculture: Benefits, Challenges, and Trends. *Applied Sciences*, *13*(13), 7405.

Omondiagbe, O. P., Lilburne, L., Licorish, S., & MacDonell, S. (2022). Soil Texture Prediction with Automated Deep Convolutional Neural Networks and Population Based Learning. *Social Science Research Network*, *40*(03), 387.

Patrício, D. I., & Rieder, R. (2018). Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and electronics in agriculture*, *153*, 69-81.

Pérez-Jaramillo, J. E., Carrión, V. J., de Hollander, M., & Raaijmakers, J. M. (2018). The wild side of plant microbiomes. *Microbiome*, *6*, 1-6.

Rai, K. K. (2022). Integrating speed breeding with artificial intelligence for developing climate-smart crops. *Molecular Biology Reports*, *49*(12), 11385-11402.

Ritharson, P. I., Raimond, K., Mary, X. A., Eunice, R. J., & Andrew, J. (2023). DeepRice: A deep learning and deep feature based classification of Rice leaf disease subtypes. *Artificial Intelligence in Agriculture*.

Riese, F. M., & Keller, S. (2019). Soil texture classification with 1D convolutional neural networks based on hyperspectral data. *arXiv preprint arXiv*:*1901*.04846.

Rodzalan, S. A., Yin, O. G., & Noor, N. N. M. (2020). A foresight study of artificial intelligence in the agriculture sector in Malaysia. *J Crit Rev*, *7*, 1339-1346.

Ryan, M. (2020). Agricultural big data analytics and the ethics of power. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, *33*, 49-69.

Ryan, M., van der Burg, S., & Bogaardt, M. J. (2021). Identifying key ethical debates for autonomous robots in agri-food: a research agenda. *AI and Ethics*, 1-15.

Schimmelpfennig, D., & Ebel, R. (2016). Sequential adoption and cost savings from precision agriculture. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 97-115.

Shakoor, N., Lee, S., & Mockler, T. C. (2017). High throughput phenotyping to accelerate crop breeding and monitoring of diseases in the field. *Current opinion in plant biology*, *38*, 184-192.

Sharma, R. (2021, May). Artificial intelligence in agriculture: a review. In *2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 937-942). IEEE.

Sood, A., Sharma, R. K., & Bhardwaj, A. K. (2022). Artificial intelligence research in agriculture: A review. *Online Information Review*, *46*(6), 1054-1075.

Sparrow, R., Howard, M., & Degeling, C. (2021). Managing the risks of artificial intelligence in agriculture. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*, *93*(1), 172-196.

Syed-Ab-Rahman, S. F., Hesamian, M. H., & Prasad, M. (2022). Citrus disease detection and classification using end-to-end anchor-based deep learning model. *Applied Intelligence*, *52*(1), 927-938.

Tang, J., Arvor, D., Corpetti, T., & Tang, P. (2021). Mapping Center Pivot Irrigation Systems in the Southern Amazon from Sentinel-2 Images. *Water 2021*, *13*, 298.

Tetila, E. C., Machado, B. B., Astolfi, G., de Souza Belete, N. A., Amorim, W. P., Roel, A. R., & Pistori, H. (2020). Detection and classification of soybean pests using deep learning with UAV images. *Computers and Electronics in Agriculture*, *179*, 105836.

Tripodi, P., Nicastro, N., Pane, C., & Cammarano, D. (2022). Digital applications and artificial intelligence in agriculture toward next-generation plant phenotyping. *Crop and Pasture Science*.

Udupi, V. R. (2019). Identification of soybean diseases using learning vector quantization neural network algorithm. *Journal of Analysis and Computation (JAC)*, *1*(1), 1-3.

Vishwakarma, D. K., Pandey, K., Kaur, A., Kushwaha, N. L., Kumar, R., Ali, R.,... & Kuriqi, A. (2022). Methods to estimate evapotranspiration in humid and subtropical climate conditions. *Agricultural Water Management*, *261*, 107378.

Waleed, M., Um, T. W., Kamal, T., Khan, A., & Iqbal, A. (2020). Determining the precise work area of agriculture machinery using internet of things and artificial intelligence. *Applied Sciences*, *10*(10), 3365.

Weersink, A., Fraser, E., Pannell, D., Duncan, E., & Rotz, S. (2018). Opportunities and challenges for big data in agricultural and environmental analysis. *Annual Review of Resource Economics*, *10*, 19-37.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming–a review. *Agricultural systems*, *153*, 69-80.

Xu, Y., Zhang, X., Li, H., Zheng, H., Zhang, J, Olsen, M. S., ... & Qian, Q. (2022). Smart breeding driven by big data, artificial intelligence, and integrated genomic-enviromic prediction. *Molecular Plant*, *15*(11), 1664-1695.

Yang, C. C., Prasher, S. O., Landry, J., & Ramaswamy, H. S. (2002). Development of neural networks for weed recognition in corn fields. *Transactions of the ASAE*, *45*(3), 859.

Yang, W., Guo, Z., Huang, C., Duan, L., Chen, G., Jiang, N., ... & Xiong, L. (2014). Combining high-throughput phenotyping and genome-wide association studies to reveal natural genetic variation in rice. *Nature communications*, *5*(1), 5087.

Yu, Y., Xu, T., Shen, Z., Zhang, Y., & Wang, X. (2019). Compressive spectral imaging system for soil classification with three-dimensional convolutional neural network. *Optics Express*, *27*(16), 23029-23048.

Zhang, C., Yue, P., Di, L., & Wu, Z. (2018). Automatic identification of center pivot irrigation systems from landsat images using convolutional neural networks. *Agriculture*, *8*(10), 147.

Zhang, Y., Chu, J., Leng, L., & Miao, J. (2020). Mask-refined R-CNN: A network for refining object details in instance segmentation. *Sensors*, *20*(4), 1010.

Zhang, P., Guo, Z., Ullah, S., Melagraki, G., Afantitis, A., & Lynch, I. (2021). Nanotechnology and artificial intelligence to enable sustainable and precision agriculture. *Nature Plants*, *7*(7), 864-876.