

A mesterséges intelligencia alkalmazása a mezőgazdasági gépészetben

Application of artificial intelligence in agricultural machinery

DOMOKOS István¹, Dr. PÁLINKÁS Sándor¹

*1 Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4,
<https://mecheng.unideb.hu/>*

Abstract – Application of Artificial Intelligence in Agricultural Machinery

Global challenges in food security and sustainable agriculture can be addressed with solutions provided by artificial intelligence (AI). AI technologies, such as machine learning and computer vision, support yield prediction, pest detection, and precision farming. This review article explores AI applications in agriculture, focusing on the analysis of wear in tillage tools. The aim is to lay the groundwork for my own research, which examines the applicability of AI in analyzing and optimizing the wear of these tools.

Keywords: Artificial Intelligence, Agricultural Machinery,

Kivonat – A mesterséges intelligencia alkalmazása a mezőgazdasági gépészetben

Az élelmezésbiztonság és a fenntartható mezőgazdaság globális kihívásaira a mesterséges intelligencia (MI) nyújthat megoldást. Az MI technológiái, mint a gépi tanulás és a számítógépes látás, támogatják a hozam-előrejelzést, a kártevők felismerését és a precíziós gazdálkodást. Ez az áttekintő cikk bemutatja az MI mezőgazdasági alkalmazásait, különös tekintettel a talajművelő szerszámok kopásának vizsgálatára. A cél, hogy előkészítse saját kutatásomat, amely az MI alkalmazhatóságát vizsgálja e szerszámok kopásának elemzésében és optimalizálásában.

Kulcsszavak: Mesterséges intelligencia, Mezőgazdasági gépészet,

1. BEVEZETÉS

1.1. Téma jelentősége

A mezőgazdaság a világ egyik legrégebbi és legfontosabb iparága. A világ népessége gyorsan növekszik, ami növeli az élelmiszer és a munkahelyek iránti keresletet. Ennek következtében új, automatizált módszereket vezettek be az élelmiszerigények kielégítésére, mert a gazdálkodók által használt hagyományos módszerek nem elegendőek, hogy megfeleljenek ezeknek az igényeknek, miközben világszerte több milliárd embernek biztosítanak munkalehetőséget.[1,2] A gazdák kénytelenek új megoldásokat keresni a munkaerőhiány, a szigorúbb szabályozások, a növekvő világ népessége és a gazdálkodók számának csökkenése miatt. Az olyan technológiák, mint az Internet of Things, a Big Data & Analytics, a mesterséges intelligencia (AI) és a gépi tanulás (ML) szinte minden iparágban teret nyernek. Folyamatosan folynak az erőfeszítések és a kutatások, hogy javítsák a mezőgazdasági termékek minőségét és mennyiségét azáltal, hogy "kapcsolt" és "intelligens" farmokat hoznak létre.[3-5]

Az AI gyorsan fejlődik. A számítástechnikai képességek növekedésével és a felhőszolgáltatások elterjedésével a világ gazdaság egyre több területe kezd hasznot húzni az AI-ból. A mezőgazdaság már elkezdte kihasználni az AI előnyeit, például a gyomirtást, a növények betakarításának legjobb időpontját, a talaj- és növényvédelem ellenőrzését és a hozam előrejelzését. Az AI és az ML az elmúlt évtizedben számos iparágban fejlesztési eszközként tesztelték. Azonban csak mostanra vált egyértelművé, hogy az AI javíthatja a mezőgazdasági döntéshozatalt. [6-8] Különösen a gazdák hozhatnak jobb döntéseket az AI-technológia révén, ami növeli a mezőgazdasági és állattenyésztési termelés hatékonyságát. Számos tényező járul hozzá a mezőgazdasági szektor azon törekvéséhez, hogy az AI-t alkalmazza a jobb döntéshozatal érdekében. Az elérhető adatok növekedése és az adatok könnyű hozzáférhetősége az előtérben van.[9,10]

A mezőgazdaságban az AI és az ML alapú felügyeleti rendszerek lehetővé teszik a növények megfigyelését, a kártevők felismerését és a talajhibák diagnosztizálását, lehetővé téve a gazdáknak, hogy a vetőmagokat a maximális hozam érdekében optimális időpontban vessék el. Az AI szenzorok képesek felismerni a gyomnövényekkel fertőzött területeket, és meghatározzák az ott használható legjobb gyomirtó szert. Az AI rendszerek előre jelezhetik az időjárási mintákat, értékelhetik a növények egészségi állapotát, felismerhetik a betegségeket, a kártevőket vagy a növények tápanyaghiányát. A gazdálkodók AI-val felszerelt drónokkal figyelhetik a növények egészségét. A drónok által készített képeket szakértők elemzik, és jelentést készítenek a gazdaság egészségéről. Egyes gazdálkodók már jelenleg is mezőgazdasági robotokat használnak, hogy elvégezzék a legidőigényesebb és fizikailag megterhelő gazdasági feladatokat. Ezek a robotok segíthetnek a gazdáknak pénzt megtakarítani a kézi munkaerőn és csökkenteni a dolgozók munkaterhét.[11-13] A cikk fő célja a különböző AI alkalmazások tanulmányozása a mezőgazdaságban.

1.2. Mesterséges Intelligencia

A mesterséges intelligencia egy interdiszciplináris tudományterület, amelynek célja, hogy az emberi intelligenciát utánozó robotokat hozzon létre, amelyek hasonlóak az emberi kognícióhoz és viselkedéshez, beleértve a tanulást és a problémamegoldást. Kutató tudósok és tanácsadó szakemberek már most is használják az AI technológiát a mezőgazdasági termelékenységi problémák kezelésére. Az AI technológia segíthet a gazdáknak a hozamok növelésében azáltal, hogy segít nekik megfelelő növénytípusok kiválasztásában, fejlett talaj- és tápanyagkezelési gyakorlatok alkalmazásában, a kártevők és betegségek kezelésében, a termés előrejelzésében és a terményáruk előrejelzésében. Az AI mélytanulást, robotokat, dolgok internetét (IoT), képfeldolgozást, mesterséges neurális hálózatokat, vezeték nélküli szenzorhálózatokat (WSN), gépi tanulást és más modern módszereket használ a mezőgazdasági kihívások megoldására. Ezek az AI technológiák most már valós időben segíthetnek a gazdáknak számos terményük figyelésében, például az időjárás, a hőmérséklet, a vízfelhasználás vagy a talaj állapotának figyelemmel kísérésében, hogy jobban informálhassák döntéseiket. Az AI-t intelligens mezőgazdasági gyakorlatok fejlesztésére használják, amelyek csökkentik a gazdák veszteségeit, miközben magas hozamot biztosítanak nekik.[14-16]

Az AI a számítástechnika egy ága, amely gépi és mélytanulási algoritmusokat használ többek között, hogy adatokból tanuljon és interpoláljon, hogy utánozza az emberi intelligenciát. Ezek a hálózatok az input és output változók dinamikus összekapcsolásával készítenek előrejelzéseket. Ezek az előrejelzések különböző megoldások létrehozását segíthetik mind egyszerű, mind bonyolult helyzetekben. A mindennapi életünkben már most is jelen vannak az AI-alapú technológiák.^{21,22} Az AI mostanában mindenütt jelen van, a mobil arcfelismerő alkalmazásoktól az önvezető autókig. Bár más iparágak jelentős termelékenységi növekedést tapasztaltak az AI rendszerek és az ML képességek révén, lehetetlen elképzelni, hogy a mezőgazdaság digitális átalakuláson menjen keresztül. Mindazonáltal az AI egyre több alkalmazást hoz az egyik legrégebbi iparágba. Az AI lehetővé teszi a precíziós mezőgazdaságot. Az AI segíthet a gazdáknak az öntözés, a növényforgó, a betakarítás, a növényválasztás, az ültetés és a kártevőirtás terén a gépi tanulásból származó adatok felhasználásával.[17,18]

Az AI alapja az a feltételezés, hogy az emberi intelligencia leírható olyan módon, amely egyszerűvé teszi a számítógép számára az összes méretű feladatok másolását és végrehajtását. Az AI célja a tanulás, az érvelés és az észlelés. Az AI jelentős hatást gyakorol minden iparágra. Minden iparág intelligens gépeket keres, hogy automatizáljon bizonyos feladatokat. Ez akkor történik, amikor az emberi intelligencia úgy van meghatározva, hogy egy gép megérthesse. Továbbá az AI technológia a mezőgazdaságban javíthatja a világot. Ez a technológia egyszerű és bonyolult feladatokat egyaránt végezhet. A gépek célja, hogy tanuljanak, érveljenek és észleljenek. Ez segíti a munkák automatizálását különféle iparágakban. Az intelligens gépek alkalmazása számos feladatot egyszerűsít.[19]

1.3. Az AI szükségessége a mezőgazdaságban

A mezőgazdaság munkaigényes tevékenység, és a népesség növekedésével, valamint a mezőgazdasági termelés iránti kereslet növekedésével egyre fontosabbá válik az automatizálás. Az AI jelentős segítséget nyújt a gazdálkodóknak a különböző komponensek, technológiák és alkalmazások terén. A prediktív elemzések és a fejlett gazdasági és növénygazdálkodási rendszerek garantálják a termés minőségét és ellátását. Műholdképek és meteorológiai adatok segítségével a vállalkozások meghatározhatják a földterület nagyságát és valós időben követhetik a növények egészségét. [20] A nagy adatok (Big Data), az AI és az ML technológiák segítségével a vállalkozások előre jelezhetik az árakat, kiszámíthatják a hozamot és termését, valamint azonosíthatják a kártevők és betegség fertőzöttséget. Ezek a technológiák tanácsot adhatnak a gazdáknak a keresleti szintekről, a legnagyobb nyereséget hozó növényfajtákról, a növényvédő szerek használatáról és a jövőbeli áralakulási tendenciákról. Az AI egy erőteljes eszköz lesz, amely segíthet a szervezeteknek a modern mezőgazdaság növekvő összetettségével való megbirkózásban, mivel jelentősen csökkenti az erőforrások és a munkaerő hiányát. Ideje, hogy a nagyvállalatok befektessenek ebbe a területbe. Számos iparág alkalmazza az AI technológiát a termelékenység és hatékonyság növelése érdekében. A pénzügy, a közlekedés, az egészségügy és a mezőgazdaság azok közé az ágazatok közé tartoznak, amelyek AI alkalmazásokat használnak. [21]

Számos élelmiszer-termelő már most nehézségekkel küzd a kártevők és egyéb betegségek által a növényeikre jelentett kockázatok és veszélyek kezelése terén. Ezeket a kockázatokat súlyosbítja az éghajlatváltozás, a monokultúra és a növényvédő szerek széleskörű használata. A farmok és a gazdák óriási nyomás alatt vannak, mivel a mezőgazdaság nagymértékben függ a természetes erőforrásoktól a termékek többsége szempontjából. Ezt a stresszt fokozza az esőzés kiszámíthatatlansága, a munkaerő hiánya és az éves hozam növelésének szükségessége. Mindezeket a kihívásokat szem előtt tartva az AI automatizálást biztosít a mezőgazdaság számára. [22]

1.4. Az AI alkalmazásának folyamata a mezőgazdaságban

Általánosan ismert, hogy az AI hatékonysága a mezőgazdasági problémák megoldásában az elérhető adatok minőségén múlik. Az AI ígéretes technológiának számít, amely forradalmi agrármegoldásokat kínálhat. Ez különösen nagy kihívás, mivel a szükséges információk megszerzése a gazdák szintjén nehéz. A gépi látás és a távoli és helyi érzékelési adatok kombinálásával a farm gépek és hatékonyság, különösen a gyomirtás, a betegségek korai felismerése, a növények betakarítása és osztályozása forradalmasítható. Az AI megoldások lehetővé teszik ezeknek az értékes termékeknek a folyamatos megfigyelését. A kertészeti gyakorlatok minden növekedési fázisban teljeskörű ellenőrzést igényelnek. Az AI rendszerek folyamatosan figyelhetik a talaj tápanyagszintjét és összehasonlíthatják azokat az adott növény legjobb hozamát biztosító szintekkel. Az AI felhasználhatja az adatokat, hogy megvizsgálja a különböző műtrágyák alkalmazásának környezeti hatásait, és megtalálja a legkevésbé károsító, ugyanakkor a legnagyobb hozamot biztosító dózist. Ezek segíthetnek a farm környezetbarátabbá válásában. [23]

Az évek során jelentős mértékben megnövekedett a környezetszennyezés és az időjárás kiszámíthatatlansága. A gazdák számára egyre nehezebb megállapítani, mikor vessék el a magokat az éghajlatváltozás miatt, ebben segít az AI. Az AI segítségével könnyen megérthető, hogyan hat az időjárás, a szezonális napsütés, a szél és az eső a növények ültetési ciklusaira. Az időjárás előrejelzések segítik a gazdákat az ültetési idő tervezésében. A számítógépes látás, a mechatronika, az AI és a gépi tanulás fejlődésének köszönhetően a növények, gyomok, kártevők és betegségek felismerésére és kezelésére szolgáló távoli érzékelési technológiák most már lehetségesek. Ezenkívül kiváló lehetőséget kínál a pontos műtrágyázási technikák fejlesztésére. Az AI eszközök segíthetnek a gazdáknak a hulladék csökkentésében, miközben javítják a termék minőségét és biztosítják a gyorsabb piacra jutást. Az automatizált traktorok előkészítik a farmot az ültetésre és a betakarításra. Ezek a traktorok GPS technológiával képesek sofőr nélkül működni. A drónok adatokat gyűjtenek, figyelik a farm és a növények egészségét, majd továbbítják az információkat. [24]

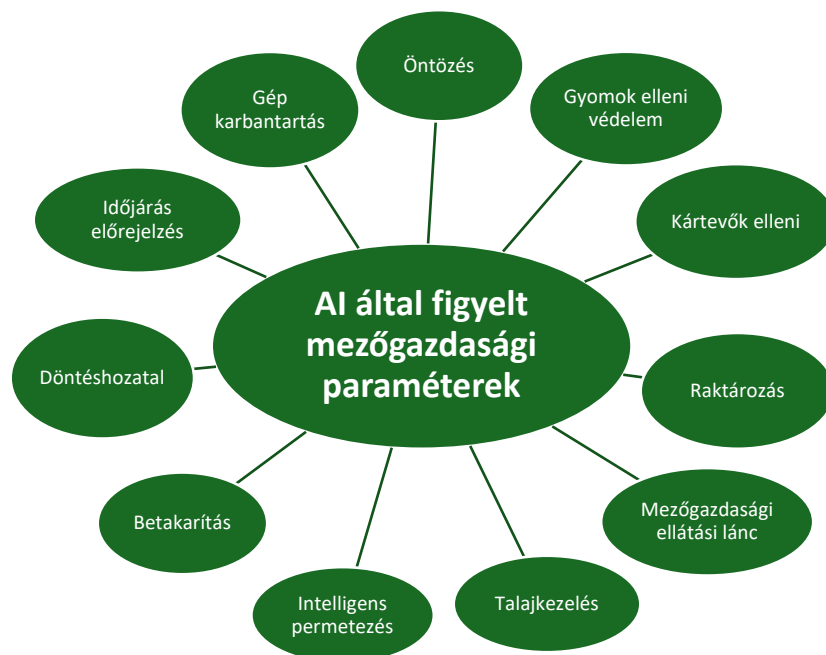
Az AI felismeri a központi növényt a farmon és segít a kártevők elleni védekezésben. Meghatározza, mely növényvédő szerek használhatóak és milyen mennyiségben. Ezenkívül drón technológiával permetezi a növényvédő szereket, időt takarítva meg. Az előrejelző elemzések segítségével előre jelezhető a csapadék és az evapotranszpiráció. A talajmintákkal és más adatokkal kombinálva a gépi tanulási modellek erős

betekintést nyújthatnak a talajnedvességbe, hőmérsékletbe és általános állapotba. A gazdák hatékonyabban tudják öntözni növényeiket, ami javítja a profitjukat és a környezetet. Az ilyen rendszerek automatikusan ellenőrizhetik a gazdaság állapotát, így kevésbé munkaigényes és erőforrás-gazdagabb mezőgazdasági formát eredményezve. Az AI a precíziós gazdálkodásban is segít, növelve a terméshozamot, a műtrágya hatékonyságát és a profitabilitást. A precíziós gazdálkodás fenntarthatóságot, környezetvédelmet és növeli a termelékenységet és a hatékonyságot. [25, 26]

Az AI robotok és drónok segítenek a gazdáknak a növénytermesztésben és a betakarításban. Az AI lehetővé teszi az intelligens öntözést, a gyomirtást és a növénykezelést, növelve a mezőgazdasági hatékonyságot. A prediktív elemzések segítenek a korai problémák felismerésében, amelyek lehetővé teszik a gazdák és szervezetek számára az azonosított probléma kezelését, és megelőzik a jelentős termésvesztést vagy kárt.[27]

1.5. A mesterséges intelligencia által megfigyelt mezőgazdasági paraméterek

A mezőgazdaság egy igen munkaigényes ágazat, így a munkaerőhiány nem meglepő. Az automatizálás azonban megoldást kínálhat erre a problémára. Néhány példa erre az önvezető traktorok, az okos öntöző rendszerek, permetezési és műtrágyázási rendszerek, valamint az AI-alapú betakarító robotok. Az AI segítségével a mezőgazdaságban végezhető feladatok közé tartozik a betakarítás, az növények egészségének ellenőrzése, a kártevők elleni védekezés és a termesztéstechnológiai hiányosságok felismerése. Az ML és az AI felváltják a régi előrejelzési és intelligencia módszereket. Az AI érzékelőkkel figyeli a talaj nedvességét és termékenységet, és folyamatosan monitorozza a növények kondícióját. Az AI rendszerek lehetővé teszik a gazdák számára, hogy valós időben hozzanak megalapozott döntéseket, például mikor vessék el a magokat, mely növényeket válasszák, és hogyan kezeljék a növényvédelmet. Az AI technológiák segítenek a fenntarthatóság növelésében és a mezőgazdasági hatékonyság javításában. (1. ábra)



1. ábra. Az AI által megfigyelt mezőgazdasági paraméterek

Az AI technológiák jelentős fejlődést hoznak a mezőgazdaság számára, mint például a tanácsadói szolgáltatások, adatelemzés, IoT és különféle szenzorok terén. Az AI segítségével jobb előrejelzések készíthetők, megfigyelhető a termés és a talaj állapota, azonosíthatók a kártevők és betegségek, valamint

hatékonyabban alkalmazhatók az agrokémiai vegyszerek. A gépi tanulás gyors növényi fenotípus-vizsgálatokat, mezőgazdasági megfigyelést, talajösszetétel-elemzést, időjárás-előrejelzést és hozam-előrejelzést kínál.

Az AI alapú technológiák lehetővé teszik a gazdák számára, hogy növeljék a termelést és csökkentsék a veszteséget az agrár- és bioüzemanyag-termelésben, minimalizálva a negatív környezeti hatásokat. Az AI segít a vízgazdálkodás optimalizálásában és az üvegházhatású gázok csökkentésében, valamint növeli a mezőgazdasági folyamatok hatékonyságát.

Az alábbi táblázat bemutatja az AI jelenlegi mezőgazdasági gépészeti alkalmazásait:

Az AI jelenlegi mezőgazdasági gépészeti alkalmazásai

1. táblázat

Sorszám	Alkalmazási terület	Leírás és szenzorok típusai	Forrás
1	Talajmegfigyelés	Az AI és szenzorok, például a talajnedvesség-érzékelők és a hőkamerák segítségével figyelik a talaj állapotát, tápanyagszintjét, nedvességtartalmát és termékenységét	28
2	Növényfigyelés	Az AI-alapú alkalmazások drónok, IoT-eszközök és műholdképek segítségével gyűjtenek adatokat a növények egészségi állapotáról, és multispektrális kamerákat használnak	29-31
3	Időjárás-követés	Az AI technológia segítségével az időjárás és egyéb mezőgazdasági körülmények előrejelzése, például a talajminőség, a vízszint, a növénybetegségek felismerése.	38, 39
4	Kártevő és betegség felismerés	Az AI rendszerek képesek felismerni a kártevőket és betegségeket, valamint figyelmeztetéseket küldeni a gazdáknak. Használnak hőkamerákat és LIDAR-t a kártevők mozgásának nyomon követésére.	32-34
5	Üvegházhatású gázok	Az AI segítségével optimalizálható a mezőgazdaság vízgazdálkodása, ami hozzájárul az üvegházhatású gázok csökkentéséhez.	40-42
6	Automatizált vezérlés	Az AI segítségével optimalizálható a mezőgazdaság vízgazdálkodása, ami hozzájárul az üvegházhatású gázok csökkentéséhez.	35-37

1.6. Karbantartás és gépek aktív monitorozása a mezőgazdaságban

A mezőgazdasági gépek karbantartása és aktív monitorozása még mindig gyerekcipőben jár, és sajnos nem áll elegendő szakirodalom rendelkezésre erről a témáról. Bár a gépipar már régóta használja a diagnosztikát, az AI és a mezőgazdasági gépészeti diagnosztika még további kutatásokat igényel. A jelenlegi kutatásunk jó alapot szolgál a további PhD tanulmányaim folytatásához, és remélem, hogy hozzájárulhat a mezőgazdasági gépek diagnosztikai rendszereinek fejlesztéséhez.

Szerettem volna ezzel a kutatással felmérni a mezőgazdasági alkalmazások lehetőségeit, különös tekintettel a talajművelő szerszámok kopásának vizsgálatára AI segítségével. A terület nagyon új keletű, és még sok felfedeznivaló vár ránk. A talajművelő szerszámok kopásának megfigyelése és elemzése rendkívül fontos, mivel ez jelentős hatással van a mezőgazdasági termelékenységre és a költségek csökkentésére.

A fent említett AI alkalmazási területek, mint például a talajmegfigyelés, növénymegfigyelés, időjárás-követés, kártevő és kórokozók felismerése, üvegházhatású gázok és az automatizált vezérlés, már előrehaladottak és széleskörben kutatottak. Az AI alapú megoldások ezeken a területeken már jelentős előrelépést hoztak a mezőgazdaságban, növelve a termelékenységet és javítva a gazdák döntéshozatalát.

PhD témám célja egy AI modell megalkotása, amely képes a mezőgazdasági talajművelő szerszámok kopásának előrejelzésére és optimalizálására. Az ilyen típusú modellek lehetővé teszik a gazdák számára, hogy időben azonosítsák a karbantartási igényeket, minimalizálják a gépek állásidejét és növeljék a termelékenységet. Az AI alapú megoldásokkal a mezőgazdasági gépek diagnosztikája pontosabbá és hatékonyabbá válhat, ami hosszú távon jelentős előnyöket biztosít a gazdák számára.

A jövőbeni kutatásoknak fókuszálniuk kell az AI alkalmazásaira a mezőgazdasági gépek karbantartásában és monitorozásában. Továbbá, fontos, hogy olyan adatokat gyűjtsünk és elemezzünk, amelyek segíthetnek a mezőgazdasági gépek élettartamának növelésében és a termelékenység fokozásában. Ez a kutatás nemcsak a gazdák számára nyújthat értékes információkat, hanem hozzájárulhat a mezőgazdasági ágazat fenntarthatóságának és hatékonyságának növeléséhez is.

A mezőgazdasági gépek AI alapú karbantartása és monitorozása továbbra is sok kutatást igényel, de az eredmények ígéretesek lehetnek. Az AI technológiák bevezetése és alkalmazása a mezőgazdaságban jelentős előrelépést hozhat a termelékenység és a fenntarthatóság terén, és a jövőbeni fejlesztések során még több lehetőség nyílhat a mezőgazdasági gépek hatékonyságának javítására.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Zhang P, Guo Z, Ullah S, Melagraki G, Afantitis A, Lynch I. *Nanotechnology and artificial intelligence to enable sustainable and precision agriculture*. Nat. Plants. 2021;7(7):864–876.
- [2] Dharmaraj V, Vijayanand C. *Artificial intelligence (AI) in agriculture*. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 2018;7(12):2122–2128.
- [3] Jha K, Doshi A, Patel P, Shah M. *A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence*. Artif. Intell. Agric. 2019;2:1–12.
- [4] Bannerjee G, Sarkar U, Das S, Ghosh I. *Artificial intelligence in agriculture: a literature survey*. Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Appl. Manag. Stud. 2018;7(3):1–6.
- [5] Smith MJ. *Getting value from artificial intelligence in agriculture*. Anim Prod Sci. 2018;60(1):46–54.

- [6] Vyas S, Shabaz M, Pandit P, Parvathy LR, Ofori I. *Integration of artificial intelligence and blockchain technology in healthcare and agriculture*. J Food Qual. 2022;2022.
- [7] Shankar P, Werner N, Selinger S, Janssen O. *Artificial intelligence-driven crop protection optimization for sustainable agriculture*. In: 2020 IEEE/ITU International Conference on Artificial Intelligence for Good (AI4G). IEEE; 2020, September: 1–6.
- [8] Bhardwaj H, Tomar P, Sakalle A, Sharma U. *Artificial intelligence and its applications in agriculture with the future of smart agriculture techniques*. In: Artificial Intelligence and IoT-Based Technologies for Sustainable Farming and Smart Agriculture. IGI Global; 2021:25–39.
- [9] Bhagat PR, Naz F, Magda R. *Artificial intelligence solutions enabling sustainable agriculture: a bibliometric analysis*. PLoS One. 2022;17(6), e0268989.
- [10] Rodzalan SA, Yin OG, Noor NNM. *A foresight study of artificial intelligence in the agriculture sector in Malaysia*. J Crit Rev. 2020;7:1339–1346
- [11] Kumar R, Yadav S, Kumar M, Kumar J, Kumar M. *Artificial intelligence: new technology to improve Indian agriculture*. Int. J. Chem. Stud. 2020;8(2): 2999–3005
- [12] Patrício DI, Rieder R. *Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: a systematic review*. Comput Electron Agric. 2018;153: 69–81.
- [13] Popa C. *Adoption of artificial intelligence in agriculture*. Bull Univ Agric Sci Vet Med Cluj-Napoca - Agric. 2011;68(1).
- [14] Liu SY. *Artificial intelligence (AI) in agriculture*. IT Prof. 2020;22(3):14–15
- [15] Talaviya T, Shah D, Patel N, Yagnik H, Shah M. *Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides*. Artif. Intell. Agric. 2020;4:58–73.
- [16] Ben Ayed R, Hanana M. *Artificial intelligence to improve the food and agriculture sector*. J Food Qual. 2021:2021.
- [17] Shadrin D, Menshchikov A, Somov A, Bornemann G, Hauslage J, Fedorov M. *Enabling precision agriculture through embedded sensing with artificial intelligence*. IEEE Trans Instrum Meas. 2019;69(7):4103–4113.
- [18] Linaza MT, Posada J, Bund J, et al. *Data-driven artificial intelligence applications for sustainable precision agriculture*. Agronomy. 2021;11(6):1227.
- [19] Sharma A, Georgi M, Tregubenko M, Tselykh A, Tselykh A. *Enabling smart agriculture by implementing artificial intelligence and embedded sensing*. Comput Ind Eng. 2022;165, 107936.
- [20] Vijayakumar V, Balakrishnan N. *Artificial intelligence-based agriculture automated monitoring systems using WSN*. J Ambient Intell Hum Comput. 2021;12(7): 8009–8016.
- [21] Shadrin D, Menshchikov A, Ermilov D, Somov A. *Designing future precision agriculture: detection of seeds germination using artificial intelligence on a lowpower embedded system*. IEEE Sensor J. 2019;19(23):11573–11582.
- [22] Beloev I, Kinaneva D, Georgiev G, Hristov G, Zahariev P. *Artificial intelligence driven autonomous robot for precision agriculture*. Acta Technol Agric. 2021;24(1): 48–54.
- [23] Mkrtchian V. *Artificial and natural intelligence techniques as IoT-based technologies for sustainable farming and smart agriculture*. In: Artificial Intelligence and IoT-Based Technologies for Sustainable Farming and Smart Agriculture. IGI Global; 2021:40–53
- [24] Drury B, Valverde-Rebaza J, Moura MF, de Andrade Lopes A. *A survey of the applications of Bayesian networks in agriculture*. Eng Appl Artif Intell. 2017;65: 29–42.
- [25] Chen Y, Li Y. *Intelligent autonomous pollination for future farming—a micro air vehicle conceptual framework with artificial intelligence and human-in-the-loop*. IEEE Access. 2019;7:119706–119717.
- [26] Afzaal H, Farooque AA, Abbas F, Acharya B, Esau T. *Computation of evapotranspiration with artificial intelligence for precision water resource management*. Appl Sci. 2020;10(5):1621.
- [27] Hemming S, de Zwart F, Elings A, Righini I, Petropoulou A. *Remote control of greenhouse vegetable production with artificial intelligence—greenhouse climate, irrigation, and crop production*. Sensors. 2019;19(8):1807.98–101
- [28] Banthia V, Chaudaki G. *The study on use of artificial intelligence in agriculture*. J. Adv. Res. Appl. Artif. Intell. Journal of Advanced Research in Applied Artificial Intelligence and Neural Network. 2022;5(2):18–22.
- [29] Leal Filho W, Wall T, Mucova SAR, et al. *Deploying artificial intelligence for climate change adaptation*. Technol Forecast Soc Change. 2022;180, 121662.
- [30] Taberkit AM, Kechida A, Bouguettaya A. *Algerian perspectives for UAV-based remote sensing technologies and artificial intelligence in precision agriculture*. In: Proceedings of the 4th International Conference On Networking. Information Systems & Security; 2021, April:1–9
- [31] Upadhyay N, Gupta N. *A survey on diseases detection for agriculture crops using artificial intelligence*. In: 2021 5th International Conference on Information Systems And Computer Networks (ISCON). IEEE; 2021, October:1–8.
- [32] Singh S, Jain P. *Applications of artificial intelligence for the development of sustainable agriculture*. In: Agro-biodiversity and Agri-Ecosystem Management. Singapore: Springer; 2022:303–322.
- [33] Ashima R, Haleem A, Bahl S, Javaid M, Mahla SK, Singh S. *Automation and manufacturing of smart materials in Additive Manufacturing technologies using Internet of Things towards the adoption of Industry 4.0*. Mater Today Proc. 2021; 45:5081–5088.137-140

- [34] Fazal N, Haleem A, Bahl S, Javaid M, Nandan D. *Digital management systems in manufacturing using industry 5.0 technologies*. In: Advancement in Materials, Manufacturing and Energy Engineering. vol. II. Singapore: Springer; 2022:221–234.
- [35] Su WH. *Crop plant signaling for real-time plant identification in smart farm: a systematic review and new concept in artificial intelligence for automated weed control*. Artif. Intell. Agric. 2020;4:262–271.
- [36] Partel V, Nunes L, Stansly P, Ampatzidis Y. *Automated vision-based system for monitoring Asian citrus psyllid in orchards utilizing artificial intelligence*. Comput Electron Agric. 2019;162:328–336.
- [37] Rozhkova AV, Rozhkov SE. *Artificial intelligence technologies in the agroindustrial complex: opportunities and threats*. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. vol. 981. IOP Publishing; 2022, February. No. 3, p. 032013.
- [38] Fadziso T. *Implementation of artificial intelligence in agriculture: a review for cms optimization*. Malays. J. Med. Biol. Res. 2019;6(2):127–134.
- [39] Sujatha K, Koti MS, Supriya R. *Analysis of farm data using artificial intelligence*. In: Innovative Data Communication Technologies and Application. Singapore: Springer; 2021:203–211.
- [39] Sishodia RP, Ray RL, Singh SK. *Applications of remote sensing in precision agriculture: a review*. Rem Sens. 2020;12(19):3136.
- [40] Wang H. *The rationality evaluation of green agriculture industry structure in heilongjiang province based on artificial intelligence technology*. In: 2019 12th International Conference on Intelligent Computation Technology And Automation (ICICTA). IEEE; 2019, October:719–723.
- [41] Widiyanto MH, Ardimansyah MI, Pohan HI, Hermanus DR. *A systematic review of current trends in artificial intelligence for smart farming to enhance crop yield*. J. Rob. Cont. 2022;3(3):269–278.
- [42] Kodama T, Hata Y. *Development of classification system of rice disease using artificial intelligence*. In: 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). IEEE; 2018, October:3699–3702.