

AZ AGRIBIZNISZ KIHÍVÁSAI A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA TÉRNYERÉSÉNEK TÜKRÉBEN – SZAKIRODALMI SZINTÉZIS

Nagy Sándor¹

THE CHALLENGES OF AGRIBUSINESS IN THE MIRROR OF THE RISE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE – LITERATURE SYNTHESIS

¹Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Szeged

Absztrakt: Az új, olykor diszruptív innovációk és technológiák egyszerre jelenthetnek veszélyt és lehetőséget is az érintett felek számára. A mesterséges intelligencia (AI) megjelenése az agráriumban és a rá épülő, magasabb hozzáadott értéket előállítani képes agrobizniszben szintén ilyen hatásokat generál. Jelen tanulmány széleskörű szakirodalmi áttekintésre, az ottani eredmények szintetizálására épül. A cikk betekintést nyújt a mesterséges intelligencia alapvető technikáiba, használatának lehetőségeiről, valamint a jelen és jövő legjelentősebb kihívásairól.

Abstract: New, sometimes disruptive innovations and technologies can be both a threat and an opportunity at the same time for the actors, stakeholders involved. The emergence of artificial intelligence (AI) in agriculture and in agribusiness, where the latter can potentially produce higher added value than the previous one, however strictly connected with this primary sector, also generates such effects as well. This study is based on a comprehensive review of the literature and the synthesis of the published findings. This paper provides an insight into the basic techniques of artificial intelligence, the possibilities of its application, and the most significant challenges of the present and future.

Kulcsszavak: agrárium, agrobiznisz, mesterséges intelligencia, kihívások, szakirodalmi áttekintés

Keywords: agriculture, agribusiness, artificial intelligence, challenges, literature review

1. Bevezetés

Az agráriumnak – mint a legősibb, közösségi értéket (is) létrehozó szektornak –, illetve az erre épülő agrobiznisznek, hasonlóan más területekhez, alkalmazkodniuk kell a külső környezeti változások által generált kihívásokhoz és lehetőségekhez. A mezőgazdaság nyilvánvalóan alapvető fontossággal bír az emberiség számára az általa megtermelt és előállított javak, szolgáltatások, illetve az összes járulékos hatások révén, ugyanakkor hozzáadott érték és innovációs potenciál tekintetében lényegesen elmarad a digitális technológiát fejlesztő és azt nagy részarányban integráló szektoroktól. Az agrobiznisz, melynek értékláncai összetettebbek, hosszabbak és jövedelmezőség tekintetében is jelentősebbek, mint a mezőgazdaság alapvető tevékenységei, különösen érdekes helyzetbe került abból a szempontból, hogy miként képes kapcsolódni a digitalizáció új trendjeihez, kiváltképp a mesterséges intelligencia (AI) által indukált beláthatatlan jövőhöz. Kulcskérdés, hogy a vizsgált ágazat mennyire tudja megőrizni tőke- és munkaerővonzó képességét, és a mesterséges intelligencia használata miként fog hatni az értékláncok

és az értékteremtés egyes aspektusaira. A tanulmányban található egyes válaszok a releváns szakirodalom áttekintésén nyugvó szintézis alapján fogalmazódnak meg.

2. Anyag és módszertan

A címben és a bevezetésben használt agrobiznisz kifejezés értelmezése igen sokféle és szerteágazó, egzakt definiálása szinte lehetetlen. Véleményem szerint az agrobiznisz az agrárium és az arra épülő olyan technológiák, folyamatok, szolgáltatások és iparágak összefonódása, aminek révén a mezőgazdaság alapvető tevékenységeinek, funkcióinak és kibocsátásának a hozzáadott értékét érdemben lehet növelni, ezzel is fokozva a primer szektor verseny- és vonzóképességét. Elképzelésemmel összecseng Kovács (2010) és Valkó (2017) meghatározása is. Mivel a mesterséges intelligencia használata nyilvánvalóan növeli az agrárium hozzáadott értékét, jövedelmezőségét, funkcióellátási képességeit, ezért indokoltabbnak éreztem az agrobiznisz szó használatát a címben, ugyanakkor gyakran az agrárium kifejezés is feltűnik a tanulmányban, ilyenkor gondoljunk az előbbi okfejtésre és értsük helyesen a kifejezés tartalmát.

Kutatásom a vonatkozó szakirodalmak szintézisére koncentrálok, amelynek segítségével pontosabb képet szeretnék kapni a mesterséges intelligencia (AI) felhasználásának lehetőségeiről, mintázatairól és a jelen, valamint a jövő kihívásairól. Ennek érdekében olyan szócikket gyűjtöttem össze a Google Scholar és a ResearchGate platformok segítségével, amelyek kifejezetten a témára irányuló áttekintéseket tartalmaznak. A keresés a „mesterséges intelligencia” (*AI, Artificial Intelligence*), a „mezőgazdaság/agrárium/agrobiznisz” (*agriculture, farming, agribusiness*) és az „áttekintés” (*review*) kifejezések együttesére irányult, preferálva az angol nyelvű találatokat. Kiválasztási szempont volt, hogy öt évnél ne legyenek régebbiek és legalább hús publikációt dolgozzanak fel.

Adli és munkatársai (2023) három meghatározó tudományos platformról gyűjtöttek össze forrásokat a saját átfogó elemzésükhöz. A Web of Science (WoS), a ScienceDirect, illetve az Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) adatbázisaiból összesen 27 236 db olyan szócikket találtak, amelyek kapcsolódnak a mesterséges intelligencia és az agrárium közös metszetéhez. A merítés természetesen vegyesen tartalmaz önálló kutatáson és szakirodalmi áttekintésen alapuló tanulmányokat is. A jelzett elemszám mértéke, illetve a hivatkozott platformok relevanciája miatt, mindezt akár tekinthetjük a mesterséges intelligencia agrár területet érintő alkalmazásainak kutatásához kapcsolódó kiindulási alapjának is. A következő, 1. táblázat a tanulmányok megoszlását mutatja a három platform tekintetében.

1. táblázat: Az agráriumban alkalmazott, a mesterséges intelligencia felhasználásával kapcsolatos tanulmányok száma a jelzett adatbázisok vonatkozásában (2023. márciusi állapot)

Adatbázis	Kulcsszavak a keresés kapcsán	A kapcsolódó szakcikkek száma (db)	Az adatbázis elérhetősége
WoS*	mesterséges intelligencia az agráriumban	1 237	www.isiknowledge.com
SCD**	mesterséges intelligencia az agráriumban	21 309	https://www.sciencedirect.com/
IEEE***	mesterséges intelligencia az agráriumban	4 690	https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
Összesen:		27 236	

*Web of Science, **ScienceDirect, ***Institute of Electrical and Electronics Engineers

Forrás: a szerző saját szerkesztése Adli (2023: 6) alapján

Saját kutatómunkám a fentiekén kívül az alábbi publikációkra szorítkozik. Közvetlenül 9 munka került a látókörömbé, ugyanakkor indirekt módon összességében 1 116 db cikk jelenti azt az alapot, amelyből a megfelelő válaszokat lehet kialakítani a kutatási kérdésekhez. Az alábbi, 2. táblázat a hivatkozott szakirodalmi áttekintések fókuszát, illetve azoknak a tanulmányoknak a számát tartalmazza, amelyek alapján a szerzők a gondolati szintézist elvégezték.

2. táblázat: A kutatásban felhasznált szakirodalmi áttekintést adó tanulmányok, azok témakörei és az alapul szolgáló szakcikkék száma

Szkcikk	Kulcsszavak/vizsgált témakörök	A mesterséges intelligencia kutatási területével érintett szkcikkék száma (db)
Bhagat et al. (2022)	mesterséges intelligencia, fenntartható mezőgazdaság, bibliometria, robotika	465
Cavazza et al. (2023)	mesterséges intelligencia, mezőgazdaság, agritech, üzleti modellek, irodalmi áttekintés, AI-alapú alkalmazások, fenntarthatóság, fenntartható üzleti modellek, agrárpolitikák	37
Eli-Chukwu (2019)	mesterséges intelligencia, mezőgazdaság, talaj menedzsment, növénykultúra menedzsmentje, növényi betegségek kezelése, gyomirtás, hozam	39
Jha et al. (2019)	automatizálás mesterséges intelligenciával, öntözés, gépi tanulás	50
Qazi et al. (2022)	okos mezőgazdaság, a dolgok internete (IoT), intelligens öntözés, biogazdálkodás, mesterséges intelligencia (AI), big data	34
Ryan (2022)	AI és etika, mesterséges intelligencia, digitális gazdálkodás, mezőgazdasági robotok	21
Sachithra–Subhashini (2023)	AI, mezőgazdaság, fenntarthatóság, áttekintés, robotika, mély tanulás	115
Spanaki et al. (2022)	diszruptív technológiák, mezőgazdasági műveletek, mezőgazdasági technológia (AgriTech), mesterséges intelligencia (AI), szisztematikus szakirodalmi áttekintés	205
Wakchaure et al. (2023)	mesterséges intelligens technikák, mezőgazdasági robotok, mezőgazdasági gépészet, okos gazdálkodás, termesztés, megfigyelés, betakarítás	150
Összesen:		1 116

Forrás: a szerző saját szerkesztése a táblázatban hivatkozott források alapján

A következő fejezet azokat a megoldásra váró problémákat taglalja, amelyek megválaszolásában kulcsszerepet játszhat az AI.

3. A tágabban értelmezett agrárium problémái

Az agráriumnak és az erre épülő további iparágaknak számos olyan összetett és gonosz problémával kell szembenéznie, amelyek új szemléletet és új, sokszor már-már paradigmaváltó megoldásokat követelnek meg. Kulcskérdéssé vált a hatékonyság végletekig történő növelése, a minőségi információk megszerzése, kiértékelése és olyan erőforrások aktivizálása, amelyek korábban nem voltak ismertek vagy nem voltak kihasználva mindezzel elősegítve a fenntarthatóbb gazdálkodást. Ebben az összefüggésben komoly kihívás a globális felmelegedés, a növekvő vízhiány, a hatásaiban és megjelenésében kiszámíthatatlan időjárási anomáliák, a gazdálkodáshoz elengedhetetlen, alapvető erőforrások szűkössége, az agráriumban érintett társadalmi rétegek elidősödése, érdekesztése vagy más szektorokba történő elszivárgása, finanszírozási nehézségek, a tevékenységi, a vagyoni és jövedelmi viszonyok egészségtelen koncentrációja. További probléma a rohamosan növekvő élelmiszerigény, amellyel kéz a kézben jár az egyre szigorodó élelmiszerminőségi és -biztonsági előírások térnyerése, valamint az ezt alátámasztó fogyasztói igények átalakulása, illetve a toxikus növényvédő szerek használatának visszaszorítási kényszere (Eli-Chukwu, 2019; Qazi, 2022).

A megoldásra váró helyzeteket más szemszögből is megvilágíthatjuk, immár a jelen tanulmány témájához illeszkedően. Wakchaure et al. (2023) a mesterséges intelligencia és az erre épülő robotika nélküli hagyományos gazdálkodás gyenge pontjait emelik ki az alábbiakban:

- Időigényesebb és sok erőfeszítést igényel a föld, az öntözés, a vetés előkészítése és az egyéb folyamatok megtervezése,
- Több emberi erőforrás bevonása szükséges a különböző mezőgazdasági folyamatok lebonyolításához,
- Pontos és minőségi információk hiánya az időjárásról, a talajviszonyokról és a műtrágyák használatáról,
- Több időt és erőfeszítést igényel a növények egészségi állapotának és betegségeinek a személyes, kézi erővel történő ellenőrzése és nyomon követése,
- Több munkaerőt igényel a gyom detektálása és annak irtása,
- A hagyományos rovarirtók és kemikáliák kijuttatása a gazdálkodók egészségére is hatással van, valamint csökkenti a terméshozamot,
- A gyomlálás és a metszés régi módjai, valamint az egészséges növények és gyümölcsök elkülönítése, detektálása fárasztó feladat,
- A betakarított termények helytelen tárolási gyakorlata miatt sokszor előfordul minőségvesztés.

A fentebb vázolt helyzetre és gyengeségekre sokan a választ az új technológiákban látják, amelyek segítségével integrálhatóvá válnak a szerteágazó és igen összetett problémák. Ilyen vonatkozásban, ahogy azt Kis és Pesti (2015) is kiemeli, alapvető kihívásként jelenik meg az agrárium szereplői számára, hogy

miképpen tudják a tradíciót a nóvummal, azaz a hagyományos technológiákat az újjakkal ötvözni, illetve kombinálni a mezőgazdasági termelés értékteremtő- és alkalmazkodóképességének fokozása érdekében.

A következő fejezet a mesterséges intelligencia leggyakrabban használt technológiáit és specifikus alkalmazási területeit tárja fel az agráriumot illetően.

4. Az AI és alkalmazási területei a vizsgált szektorban

A fejezet röviden ismerteti a mesterséges intelligencia (AI) meghatározását, azokat az algoritmusokat és technológiákat, amelyekkel leggyakrabban találkozhatunk a mezőgazdaságot és az agrobizniszt illetően, valamint rávilágít azokra a területekre, amelyek leginkább érintettek az AI alkalmazása szempontjából.

4.1. Az AI és a leggyakoribb algoritmusok

4.1.1. Az AI meghatározása

A mesterséges intelligencia számos definíciójával találkozhatunk a szakirodalomban, ugyanakkor nem feltétlen könnyű kiválasztani a leginkább pontos és minden igényt kielégítő meghatározást.

McCarthy (2007: 2) a következő gondolatait tárja elénk, amelyek segítségünkre lehet a megértésben: *„Ez az intelligens gépek tervezésének és megalkotásának a mérnöki tudománya, külön koncentráva az intelligens számítógépes programok fejlesztésére. Összefügg azzal a hasonló feladattal, ahogyan számítógépeket használunk az emberi intelligencia megértésére, de a mesterséges intelligenciának nem kell, hogy kizárólag a biológiailag megfigyelhető módszerekre korlátozódjon.”*

A mesterséges intelligencia a legegyszerűbb formájában olyan terület, amely a számítástechnikát és a hatalmas adatkészleteket ötvözi a problémamegoldás érdekében. Ez magába foglalja a gépi tanulás (ML) és a mély tanulás (DL) részterületeit is, amelyeket gyakran emlegetnek a mesterséges intelligenciával összefüggésben. Ezek a tudományterületek mesterséges intelligencia algoritmusokból állnak, amelyek olyan ún. szakértői rendszereket (*expert systems*) kívánnak létrehozni, amelyek előrejelzéseket vagy osztályozásokat készítenek a bemeneti adatok alapján (IBM, 2022).

A fogalom és a jelenség mélyebb megértését Russell és Norvig (2020) *Artificial Intelligence: A Modern Approach* című kiadványa szolgálhatja, amely a mesterséges intelligencia tanulmányozásának egyik vezető tankönyvévé vált és magyar nyelven is elérhető. Ebben az AI négy lehetséges célját vagy definícióját vizsgálják, amelyek a számítógépes rendszereket a racionalitás és a gondolkodás alapján különböztetik meg a cselekvéssel összevetésben:

Emberi megközelítés:

- olyan rendszerek, amelyek emberként gondolkodnak,
- emberként viselkedő rendszerek.

Ideális megközelítés:

- Racionálisan gondolkodó rendszerek,
- Racionálisan működő rendszerek.

4.1.2. AI algoritmusok és AI-alapú technológiák

Általánosságban kijelenthető, hogy napjainkban a mesterséges intelligencia a problémák megoldására, különösen a munkaerő-felhasználás csökkentésére, az erőforrások hatékony felhasználásának fokozására és a fenntartható üzleti folyamatok elősegítésére szolgál (Sachithra–Subhashini, (2023). Nincs ez másként a mezőgazdaságban és az agrobizniszben sem. Wakchaure és munkatársai (2023) összegyűjtötték azokat az algoritmusokat, amelyek a legjellemzőbbek és a leginkább elterjedtek a vizsgált terület kiszolgálásában. A tanulmány tizenkét népszerű mesterséges intelligencia technikát vesz figyelembe:

1. elmosódott halmazok logikája, *fuzzy logic* (FL),
2. mesterséges neurális hálózat, *artificial neural network* (ANN),
3. genetikus algoritmus, *genetic algorithm* (GA),
4. részecske-raj alapú optimalizálás, *particle swarm optimization* (PSO),
5. mesterséges potenciál tér, *artificial potential field* (APF),
6. szimulált hűtés, *simulated annealing* (SA),
7. hangyakolónia optimalizálás, *ant colony optimization* (ACO),
8. mesterséges méh kolónia algoritmus, *artificial bee colony algorithm* (ABC),
9. harmónia kereső algoritmus, *harmony search algorithm* (HS),
10. denevér algoritmus, *bat algorithm* (BA),
11. celluláris dekompozíciós módszer, *cell decomposition* (CD), illetve
12. szentjánosbogár algoritmus, *firefly algorithm* (FA).

A listában szereplő módszereket főleg a szakértői rendszerek, a robotok, az adatgyűjtő és továbbító szenzortechnológiák, az IoT (*Internet of Things*) rendszerek és intelligens döntéshozó mechanizmusok működtetésében hasznosítják. A szerzők a mezőgazdasági tevékenységeket három fontos szakaszra osztják: termesztés, monitoring és betakarítás. Az AI alkalmazásának nagy része azonban csak a megfigyelési/monitoring szakaszban történik a saját kutatásuk eredményei alapján. Az alábbi részfejezet célja, hogy részletesebben ismertesse az agráriumban, illetve az agrobizniszben felhasznált AI megoldásokat.

4.2. Az AI alkalmazása a tágabban értelmezett agráriumban

Számos alkalmazása közül az AI-t a mezőgazdaságban is felhasználják a terméshozam, a hatékonyság és a jövedelmezőség javítása, valamint a gazdasági prognózisok megbízhatóságának javítására (Chu et al., 2019; Lebelo et al., 2022).

Az agrárszektorban a mesterséges intelligencia olyan innovatív technológiákat ölel fel, mint a szántóföldi érzékelők, drónok, mezőgazdasági menedzsment szoftverek, automatizált gépek, valamint víz- és műtrágyakezelési megoldások (Cavazza et al., 2023 idézi: Arora et al., 2022; Misra et al., 2022; Romanello–Veglio, 2022; Trivelli et al., 2019). Ebbe a kategóriába sorolhatók az olyan új innovatív gazdálkodási technikák, mint a vertikális gazdálkodás (*vertical farming*) (Biancone et al., 2022; Musa–Basir, 2021; Saad et al., 2021), az akvakultúra, a rovartenyésztés és a precíziós mezőgazdaság is (Cavazza et al., 2023 idézi: Dal Mas et al., 2023; Trivelli et al., 2019).

A hagyományos gazdálkodási rendszert a legfejlettebb AI-alapú technológiák használata felülírja, itt már a gép maga hozza meg a döntéseket a valós idejű problémák megoldására. Jelenleg a mérnökök és tudósok sokat dolgoznak azon, hogy a mezőgazdasági folyamatokat könnyeddé, intelligenssé, költséghatékonyá, rendkívül produktívá, időhatékonyá, fenntarthatóvá tegyék annak érdekében, hogy a társadalom egészségét és jólétét szolgálja (Wakchaure et al., 2023).

A mesterséges intelligencia a fenntartható mezőgazdaságban való alkalmazása képes átalakítani a gazdálkodás olyan aspektusait, mint a képi érzékelés olyan minőségi fejlesztése, ami már jól használható a hozamtérképezéshez, a hozam előrejelzéséhez, továbbá lehetővé teszi a képzett és szakképzetlen munkaerő eredményesebb aktivizálását, termelékenységük előmozdítását, a gazdálkodásból származó jövedelem növelését, valamint a gazdálkodók/termelők döntéseinek jobb megalapozását (Bhagat et al., 2022).

Ezt kiegészítendő, alapozhatunk Alreshidi 2019-es cikkére is, mely szerint a mesterséges intelligencia a következő módokon érvényesülhet a mezőgazdaság fenntarthatóbbá tétele érdekében: klímamonitoring, automatikusan klímaszabályozott üvegházak, termésminőség-ellenőrzés, állattenyésztés, prediktív elemzés és átfogó gazdaságirányítási rendszerek. A fenntartható mezőgazdasági hátterű termelők körében rendkívül keresettek a mesterséges intelligencia alapú termékek/alkalmazások mint például a chatbotok, amelyek segítséget nyújtanak a gazdálkodás mindennapi gyakorlatában, így a digitális növényegészségügyi diagnosztikában, a távérzékelős műszerek használatában és az öntözéskezelési megoldásokban (Alreshidi, 2019).

Számos más AI-alapú megoldás is megvalósítható az élelmiszertermelés fenntarthatóságának biztosítására, például a prediktív analitika, a döntéstámogató rendszerek, genomikai nyomkövetés, mesterséges neurális hálózatok, fuzzy logika, neuro-fuzzy logika, Bayes-hálózat és távérzékelés. A tanulmányok azt sugallják, hogy a fejlett bio-érzékelő technológiák a fenntartható mezőgazdaságban megkönnyítik a betegségek és a növényi kórokozók korai diagnosztizálását még a tünetmentes növényekben is, ezáltal csökkentve a termésveszteséget és a hasznok visszaesését (Bhagat et al., 2022).

Különösen érdekes és figyelemre méltó Ryan (2021) összegző kutatása, amely a mesterséges intelligencia használatának morális hatásait vizsgálja. Ez a tanulmány 21 publikált kutatási cikket vizsgált meg, amelyek a mesterséges intelligencia mezőgazdasági alkalmazásának társadalmi és etikai hatásaira összpontosítottak a szakirodalom tematikus elemzésével. A mezőgazdasági érintettségű mesterséges intelligencia szakirodalmában a legkevésbé tárgyalt alapelvek az átláthatóság, a méltóság és a szolidaritás voltak. Az elemzésbe bevont szerzők megállapították, hogy a szolidaritás és a méltóság az AI etikai irányelveiben sem került gyakran szóba, mivel ezek nem mindig alapvetően fontosak az AI minden alkalmazásában és területén, így kevesebb figyelmet kaptak, mint például a magánélet vagy az igazságosság. Ez nem azt jelenti, hogy nem olyan fontos területekről van szó, amelyek további értékelést és tanulmányozást igényelnek, de talán egy kicsit kevésbé relevánsak az agrárszektor számára, mint például az egészségügy (Ryan,

2021). Az előbbiekkal összefüggésben elmondható, hogy az új technológiák alkalmazásának, társadalomra és környezetre gyakorolt hatásait gyakran igen nehéz előre látni, ugyanakkor az ezekből eredő, ezekkel összefüggésbe hozható lehetséges következmények felelősségteljes kezelése egyre inkább előtérbe kerül. Ez átvezet bennünket a felelős vagy felelősségteljes innováció koncepciójához, amely az innovációval kapcsolatos lehetséges kockázatok, etikai dilemmák előrejelzését, gondos mérlegelését és azok kezelésére irányuló tevékenységeket foglalja magába (Kis, 2021).

Sachithra és Subhashini (2023) 115 darab tanulmány alapján feltárta a mezőgazdasági tevékenységekben használt AI-alapú megoldások megoszlását, amely az alábbi mintázatot mutatja (egy-egy tanulmány több tématerületet is érinthet): előrejelzés 40%, betakarítás 31%, a növények fejlett gondozása 29%, gyomirtás: 21%, az ellátási lánc 4%, a felhasznált erőforrások menedzsmentje 3% és automatizált fejés és állattartás 2%. Már ez utóbbi forrás is előrevetíti a következő alfejezet témáját, ami az AI használatának legfontosabb, leginkább meghatározó trendjeit mutatja be.

4.3. Az AI használatának legmeghatározóbb trendjei az agráriumban

Bár különféle mesterséges intelligencia technikák, módszerek és felhasználási területek állnak rendelkezésre, a mezőgazdasági tevékenységekben történő alkalmazásuk népszerűségének alapján pusztán néhány megoldást emelhetünk ki mint komolyabb tendenciát. A szakirodalom mélyreható áttekintése alapján jelentős előrelépés tapasztalható a növénytermesztésben, az élelmiszerek minőségében, a gazdálkodók jövedelmének növekedésében, a növénygondozásban, a munkaerő csökkentésében, a gazdaságok ellenőrzésében és felügyeletében, valamint a mesterséges intelligencia és a modern eszközök felhasználásával történő szelektív betakarítás terén. Egyes beltéri alkalmazásokban az AI létfontosságú szerepet játszik a hőmérséklet, a páratartalom, a fény, a műtrágyázás és a növényegészségügyi tevékenységek automatikus szabályozásában (Wakchaure et al., 2023).

A mesterséges intelligencia lehetséges előnyei a hagyományos módszerekkel szemben javítják a gazdálkodás technikai, technológiai és gazdasági hatékonyságát. Figyelemre méltó változás figyelhető meg a modern mezőgazdaságban a gazdálkodók egészségügyi és biztonsági aggályainak javítása terén is:

- A robotok és autonóm rendszerek alkalmazása a gazdálkodásban emeli a gazdálkodás színvonalát és egyre népszerűbbé válik,
- A mesterséges intelligencia technikák gyakran, valós időben szolgáltatnak adatokat, így elkerülhetők az emberi hibák, és javul a döntéshozatali képesség. Objektíven nézve a mesterséges intelligencia alkalmazásai és a modern (okos) berendezések jobban teljesítenek, mint a hagyományos megoldások, mindezt minimális emberi erőfeszítéssel a minimálisan felhasznált idő alatt,
- A mesterséges intelligencia technikák közül az elmosódott halmazok logikája (FL), a mesterséges neurális hálózatok (ANN), illetve a genetikai algoritmusok (GA) a leginkább elterjedt és elfogadott az agráriumban, a

- többi – már korábban említett módszer – kevésbé népszerűek, holott rengeteg potenciál rejlik bennük is,
- A mesterséges intelligencia hozzájárulása lényegesen nagyobb a monitoring fázisban és kisebb a betakarítási szakaszban, majd ezt követi a termesztési szakasz,
 - A mesterséges intelligencia megoldásait különösen a szimulációk kapcsán használják, így szükség van ezek fejlesztésére a valós idejű alkalmazások tekintetében,
 - Az egy funkcióra, területre fókuszáló mesterséges intelligencia alkalmazásokat gyakrabban használják a mezőgazdasági problémák megoldására mint a hibrid technológiákat; így rengeteg potenciál rejlik a többféle mesterséges intelligencia alkalmazás összekapcsolásában, ezzel is serkentve a növekvő hatékonyságot (Wakchaure et al., 2023).

Sachithra és Subhashini (2023) olvasatában az AI-alkalmazásokat manapság széles körben alkalmazzák a mezőgazdasági ipar, az agrobiznisz területének működési folyamatainak automatizálásában és teljesítményének fokozására. Kiemelik, hogy a mesterséges intelligencia leggyakoribb alkalmazása a mezőgazdaságban a teljes mezőgazdasági termelés értékének előrejelzési modellje, amelyet a betakarítási alkalmazások követnek. Bár a mezőgazdaságot igencsak korlátozzák a természeti erőforrások szükségessége, a mesterséges intelligencia alkalmazásai ezek menedzselésében (például víz, termőtalaj minősége, földterület nagysága) jelenleg nem kielégítő szinten állnak. Megállapították továbbá, hogy a mezőgazdasági ellátási láncban a végső fogyasztói szempontnak kell érvényesülnie és erre is jelentős figyelmet szükséges fordítania a jövőben az egyik kulcsfontosságú mezőgazdasági fenntarthatósági célkitűzés elérése érdekében, hogy a gazdálkodók relatív és valós elszegényedését el lehessen kerülni. Ezen túlmenően az áttekintés tanúbizonyosságot tett arról, hogy a közelmúltban a mesterséges intelligencia és a képfeldolgozási technikák használata egyre gyakoribbá váltak a fenntartható mezőgazdaság előmozdítása során.

A szerzők kiemelik, hogy a vizsgálatba vont 115 tanulmány közül 40%-a számolt be arról, hogy az AI leggyakoribb felhasználási területei a teljes agrárgazdálkodásból fakadó termelési értékeket előrejelző modellezés, a hulladékminimalizálás, az öntözés szabályozása, időjárási jellemzők mérése, energiaoptimalizálás valamint a kereslet és a fogyasztói preferenciák összehangolása. A fenti területek kapcsán, az általuk feldolgozott cikkek 95%-a mesterséges neurális hálózatokat és mély tanulási (*Deep Learning*, DL) technikákat alkalmaztak. Ahogy azt láthattuk bőven van még megoldásra váró feladat és kihívás, amelyek felismerése és megoldása ténylegesen segíthet az agrobiznisz versenyképességének növelésében, beleértve a fenntarthatósági szempontokat is. A következő fejezet a jelen és a jövő kihívásait ismerteti ebben a kontextusban (Sachithra–Subhashini, 2023).

5. A jelen és a jövő kihívásai az AI technológiák felhasználása kapcsán

A fejezet két további részfejezetre tagolódik, amelyek a szakirodalomban leginkább emlegetett és leginkább meghatározónak tartott jelenkori és a jövőben várható kihívásokat tartalmazzák. A korábbi fejezetekben is már találhattunk gondolatokat és utalásokat, de itt a szerzők által leginkább kihangsúlyozott és a leginkább relevánsnak tartott próbatételek kerülnek felsorolásra.

5.1. A jelen kihívásai

Ahogy eddig is látható volt az agráriumot és vele együtt az agrobizniszt is egyre inkább átformálja a digitális transzformáció. Mindez olyan innovációkat generálhat, amely alapjaiban struktúrálhatja át a mezőgazdasági folyamatokat és üzleti modelleket. Diszruptív innovációnak nevezzük azokat az új megoldásokat, amelyek a korábbi gyakorlatokat és értékajánlatokat tehetnek elavulttá és okafogyottá, így lerombolják az inkumbens szereplők piaci lehetőségeit.

Az ilyen – sokszor ágazaton kívülről eredeztethető – változások olykor-olykor nem előrejelezhető módon törnek be és felkészületlenül érik a szereplőket. Spanaki és munkatársai (2022) szerint a mezőgazdasági szektorban a diszruptív technológiák többsége három alkalmazási területre osztható. Az első (1) az ún. *Physical AgriTech* alkalmazások, amely a mezőgazdasági műveletekhez/tevékenységekhez használt olyan gépekre és eszközökre utalnak, amelyek nemcsak az emberi munkavégzést helyettesíthetik (pl. robotgépek, öntözőrendszerek stb.), hanem az AgriTech fizikai megtestesüléseként is utalhatunk rájuk. A második (2) kategória a *Cyber AgriTech* alkalmazások, amelyek többnyire a platformszoftverekhez kapcsolódnak és szorosan összefüggnek a mezőgazdasági műveletek adatelemzésével és döntéstámogató rendszereivel. Végül (3) a *Kiberfizikai alkalmazási terület*, amely főként a mezőgazdasági termelésben használt intelligens mezőgazdasági gépekre és/vagy robotikára vonatkoznak, illetve magába foglalja az adatelemzéshez, valamint a prediktív, előíró jellegű, személyre szabott döntéshozatalhoz, tanácsadáshoz és ajánlásokhoz szükséges hardvert és szoftvert (Spanaki et al., 2022).

Alapvető és meghatározó kihívásnak számít tehát az, hogy miként tudnak az agrárium szereplői alkalmazkodni a diszruptív változásokhoz, amelyeket – többek között – a mesterséges intelligencia megjelenése generál. Nélkülözhetetlen napjainkban olyan készségek, képességek és tudáselemek felhalmozása és disszeminálása, amelyek a sikeresebb alkalmazkodást teszik lehetővé. Ilyenek lehetnek például a transzverzális készségek fejlesztése, a digitális készségek megerősítése, az ember-gép/ember-technológia kapcsolatából fakadó előnyök kihasználására irányuló ismeretek elsajátítása és újabb típusú tanulási folyamatok beindítása.

Az erőforrások szűkössége és egyre nehezebb megszerzésük szintén indukáltak olyan kihívásokat, amelyekkel már ma is megkerülhetetlenek. Példaként megemlíthető az ökológiai átalakulás térnyerése, a vertikális farmok kialakításának kényszere. További sürgető kérdés, hogy miből finanszírozzák meg a termelők az intelligens gazdálkodással járó megnövekedett technológiai költségeket, miközben mindenki az alacsonyabb élelmiszerárakra számít? Technológiai téren égető szükség

lenne egy olyan globális összefogásra, amely a zökkenőmentes, könnyen átjárható vezeték nélküli szenzortechnológiák és adatgyűjtés fejlesztésére, valamint az intelligens mezőgazdaságra összpontosít. Szintén megoldásra vár az okos gépek, berendezések elleni hackertámadások és agráradatbázisok kiberfenyegetése. (Qazi et al., 2022). Kiegészítésként megemlíthetjük Adli és munkatársainak (2023) aggodalmát, miszerint a technológiai bonyolultsága, az adatvédelmi és biztonsági problémákat, valamint az alulfejlett infrastruktúra hátráltatja a fejlett megoldások elterjedését a mezőgazdaságban.

5.2. A jövő kihívásai

Annak érdekében, hogy az elkerülhetetlen technológiai átállás, az AI alkalmazása az agráriumban minél zökkenőmentesebben történjen, számos kérdést meg kell fogalmaznunk és még ennél is több feladatot meg kell oldanunk a közeljövőben. Spanaki és munkatársai (2022) a már korábban bemutatott diszrupció negatív utó- és mellékhatásaitól tartanak, véleményük szerint kulcskérdés, hogy a kutatók a jövőbeli AgriTech kutatásokban meghatározzák és hatékonyan megtervezik az AI-vezérelt AgriTech működési környezetét. Mindezzel párhuzamosan számos konkrét kérdést is megfogalmaztak, amelyek megválaszolása mindezt elősegíthetik. Ezeket négy főbb csoportba rendezték, és az alábbiakban olvashatók:

1. A farm gazdálkodási ciklusa és gazdálkodási műveletek

- Hogyan javíthatja a virtuális és kiterjesztett valóság a precíziós mezőgazdaság alkalmazásait?
- Hogyan fejlődhet az intelligens beltéri vertikális gazdálkodás és hogyan támogatja ez a mezőgazdasági termelést?
- Hogyan alakíthatják át a gazdálkodási folyamatokat a jövőbeli AgriTech innovációk?

2. Analitikai platformok

- Hogyan járulhat hozzá a gazdálkodási analitika (Farm to Fork/ Termőföldtől az asztalig elemzések) a fenntarthatósági kihívásokhoz?
- Hogyan nyújthat előnyt a gazdálkodási analitika a kis, közepes és nagyobb gazdaságok számára?

3. Szenzortechnológia

- Hogyan javíthatják az IoT-képes platformok a mezőgazdasági termelést az AgriFood szektor fenntarthatósága érdekében?
- Hogyan fejlődhet az IoT-képes regeneratív mezőgazdaság a következő évtizedben?
- Melyek a szükséges adatmegosztási szabályzatok, praktikák annak érdekében, hogy a minden gazdaság számára biztosítsák a magánélet védelmét és a versenylőnyt?

4. Robotika

- Mik lesznek a következő olyan megoldások, amelyek ötvözik a mesterséges intelligenciát és a robotikát a társadalmilag és környezetileg felelős gazdálkodás érdekében?

- Mi a szerepe az AgriTech robotoknak az új típusú mezőgazdasági műveletekben?
- Hogyan járulhat hozzá a 3D-s térképezés és monitorozás az egyes gazdaságok fenntarthatósági céljaihoz?
- Hogyan javíthatják a pilóta nélküli, hibrid (légi-földi) drónok a mezőgazdasági megfigyelési tevékenységeket?
- Hogyan használhatók a távirányítós drónok mezőgazdasági műveletekre válsághelyzetekben?
- Hogyan működhetnek együtt a hibrid drónok és a pilótás repülések a precíziós mezőgazdaság érdekében? (Spanaki et al., 2022).

Qazi és szerzőtársai (2022), írásukban olyan trendeket, paradigmaváltó változást emeltek ki, amelyek számos kihívást fognak életre kelteni ezen a területen. (1) Ezek közé tartozik az, hogy a felhő alapú AI-megoldásokat felváltja az *Edge AI* technológia, amely lehetővé teszi a számítások elvégzését az adatok tényleges gyűjtésének helye közelében, nem pedig egy központi felhőalapú számítástechnikai létesítményben vagy egy távollévő (*offsite*) adatközpontban.

Más olvasatban az *edge* eszközök (*edge devices*) a megnövekedett feldolgozási kapacitásnak és memóriának köszönhetően – például a vezeték nélküli érzékelők – elég intelligensek lesznek ahhoz, hogy önálló döntéseket hozzanak, anélkül, hogy mesterséges intelligencia-algoritmusokat futtató nagy teljesítményű központi szerverekre hagyatkoznának. Az *edge* eszköz bármely hardverelem, amely két hálózat határán vezérli az adatáramlást. Az ilyen típusú eszközök sokféle szerepet töltenek be, attól függően, hogy milyen típusú eszközökről van szó, de alapvetően hálózati belépési vagy kilépési pontként szolgálnak (Posey–Scarpatti, 2020).

(2) A fenti elmozdulás következtében a jövőben a gazdálkodók várhatóan áttérnek a nyílt forráskódú megoldásokra. Természetesen előfordulhat, hogy a megfelelő tudás és/vagy eszközök hiányában a gazdálkodók technológiailag nincsenek felkészülve arra, hogy mesterséges intelligencia-alapú algoritmusokat programozzanak a nulláról indulva. A jövő számos *edge* technológiájú AI-alapú megoldása már azonban nyílt forráskódú algoritmusokat fog használni. A gazdálkodónak így nem kell minden alkalommal a semmiből új rendszereket terveznie, hiszen a tanácsadó cégek *plug-and-play* alapú hardver- és szoftvermegoldásokat tudnak kínálni a felhasználóknak az értékesítés utáni támogatással együtt. A nyílt forráskódú szoftvermegoldások azt is jelentenék, hogy a gazdálkodók mérési eredményei nyíltan megoszthatók lennének más gazdálkodókkal, ami lehetővé tenné számukra, hogy erős tudásbázist építsenek ki.

(3) Szintén meghatározó trend lesz, hogy a gazdák tevékenységének hozzáadott értéke a jövőben már nagyrészt a digitális készségeiken, intellektuális tőkájükön fog alapulni és nem a hagyományos agrárismereteiken. A jövőben a mezőgazdasági eszközök, berendezések többsége autonóm lesz. Ilyen környezetben versenyelőnyné válik az új ismeretek birtoklása.

(4) A blokklánc technológia térnyerése az okos agráriumban segíthet a kiberfenyegetésekkel szemben. Az IoT-technológia más feltörekvő területeihez hasonlóan az okos mezőgazdaság is sebezhető lesz a kibertámadásokkal szemben.

Emiatt egyre nagyobb szükség lenne a gazdálkodók privát szférájának, valamint terményei adatainak védelmére, ha azokat felhőalkalmazásokhoz kapcsolódóan megosztják. A szerzők szerint azonban nem csak az adatok kerülhetnek veszélybe, hanem a mezőgazdaságban használt okos eszközök és berendezések is. Ahogy azt azonban olvashattuk az előzőekben, az edge technológia bevezetése ezeket a kockázatokat érdemben csökkenteni tudja.

(5) A jövő terményeit (a kultúrnövények fajtáit, társításait stb.) nem a gazdálkodók választják majd, hanem az adatvezérelt *smart farming* fogja diktálni. A jelen gazdálkodói leginkább találgatásokra, becslésekre és múltbeli tapasztalatokra támaszkodnak, amikor a természetű növényekről és az optimális terméshozamhoz használandó műtrágyákról döntenek. Az okos technológiák számításba veszik például a földrajzi, lokális adottságokat, az éghajlati mintázatokat és minden egyéb olyan információt, amelyek kinyerhetőek, digitálisan feldolgozhatóak és hatással vannak terméshozamokra. A jövőben – a szenzortechnológiák és az információfeldolgozás fejlődésének betudhatóan – várhatóan több és minőségibb adat lesz kinyerhető, amelyek a gazdálkodók döntéseit orientálják.

(6) Az 5G és a későbbi sávszélesség bővülése, valamint az okos rendszerek egyre növekvő energiahatékonysága szintén lökést adhat a fenntartható agrobiznisznek, illetve annak a szemléletnek az elterjedésében, amely a kizöldülést szolgálja (Qazi et al., 2022).

Masszívnak várható trendeket más szerzők is megemlítettek széleskörű szakirodalmi bázisra alapozva. Jha és munkatársai (2019) a fiatal generációk nyitottságát és hajlandóságát emelték ki a mesterséges intelligencia használatával kapcsolatosan, beleértve az anyagi befektetési szándékokat is. Ryan (2021) szerint a mesterséges intelligencia sok ember szakmáját feleslegessé teheti a jövőben. A mezőgazdaságban ez sokak számára nagyon aggasztó. A mesterséges intelligencia a foglalkoztatásra gyakorolt hatásai minden bizonnyal szemmel látható és közvetlenül érzékelhető társadalmi és etikai kérdéseket vet fel az az igazságosság, a méltányosság, a hatalom gyakorlása és az egyenlőség tekintetében, ezért szükségeszerű lenne, ha az agráriumban használt AI-megoldások etikai, morális vetületének megfelelő rendezése is napirendre kerülne.

Mindezek mellett az AI használatából fakadó tapasztalatok bebizonyították, hogy a mesterséges intelligencia képes új üzleti modelleket életre kelteni az agrobizniszben. Ezek az üzleti modellek támogathatják az ágazat fejlődését, megoldást kínálva a fent említett problémákra, beleértve a fenntarthatóság szempontjait is (Cavazza, 2023 idézi: Biancone et al., 2022; Shukla–Sengupta, 2021).

6. Összefoglalás

A tanulmány szakirodalmi áttekintésre épül, a feldolgozott források megállapításaiból képet kaphatunk a mesterséges intelligencia felhasználásának lehetőségeiről, a kirajzolódó mintázatairól és a jelen, valamint a jövő kihívásairól. Az agrárium számos szorongató problémával és kényszerrel kénytelen szembesülni. Ezek a problémák már sokszor olyan összetettek, gonoszak, hogy csakis új

paradigma és diszruptív innovatív megoldások jelenthetnek esélyt a megoldásra. A mesterséges intelligencia alkalmazása segítségünkre lehet, feloldhatja azokat a szűk keresztmetszeteket, amelyeket a hagyományos mezőgazdasági termelési folyamatok magukban hordoznak. Az átmenet nem lesz egyszerű, de úgy néz ki, hogy megkerülhetetlen. Ebben a tekintetben kulcskérdés a támogató és gátló tényezők beazonosítása, a trendek felismerése, valamint az intelligens alkalmazkodást elősegítő készségek és képességek kiépítése. A legfontosabb tényezők ebben a transzformációban az alábbiak lesznek:

- a fiatal generációk megtartása az agrobizniszben, ösztönzése, speciális tudás áramoltatása és egy kívánatos képessé tevő környezet létrehozása, fenntartása,
- szoftver és hardver megoldások további fejlesztése, a minőségi információk megszerzésének és feldolgozásának elősegítése,
- a mesterséges intelligencia alkalmazási területeinek az összekapcsolása, integrálása, a biztonságos információáramlás garantálása,
- a fenntartható és reszponzív mezőgazdaság és agrobiznisz előtérbe helyezése, priorizálása.

Az eddigi részeredményeket áttekintve megállapítható, hogy a mesterséges intelligencia alkalmazásában óriási potenciál rejlik, ugyanakkor számos kockázat és bizonytalansági tényező is körvonalazódik. Ezek folytonos elemzése, megértése, nyomon követése, rendszerszemléletű menedzselése meghatározó lesz az AI térnyerésében és lehetséges előnyeinek realizálásában.

Irodalomjegyzék

- Adli, H. K., Remli, M. A., Wan SalihinWong, K. N. S., Ismail, N. A., González-Briones, A., Corchado, J. M., Mohamad, M. S. (2023): Recent Advancements and Challenges of AIoT Application in Smart Agriculture: A Review. *Sensors*, 23 (7): 3752. <https://doi.org/10.3390/s23073752>
- Alreshidi, E. (2019): Smart Sustainable Agriculture (SSA) Solution Underpinned by Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10 (5): 93–102. <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1906/1906.03106.pdf>> (2023.09.28.)
- Arora, C., Kamat, A., Shanker, S., Barve, A. (2022): Integrating agriculture and industry 4.0 under „agri-food 4.0” to analyze suitable technologies to overcome agronomical barriers. *British Food Journal*, 124 (7): 2061–2095. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2021-0934>
- Awasthi, Y. (2020): Press “A” for Artificial Intelligence in Agriculture: A Review. *International Journal on Informatics Visualization*, 4 (3): 112–116. <http://doi.org/10.30630/joiv.4.3.387>
- Bhagat, P. R., Naz F., Magda, R. (2022): Artificial intelligence solutions enabling sustainable agriculture: A bibliometric analysis. *PLoS ONE*, 17 (6): 1–19: e0268989. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268989>
- Biancone, P. P., Brescia, V., Lanzalunga, F. Alam, G. M. (2022): Using bibliometric analysis to map innovative business models for vertical farm entrepreneurs. *British Food Journal*, 124 (7): 2239–2261. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2021-0904>
- Cavazza, A., Dal Mas, F., Paoloni, P., Manzo, M. (2023): Artificial intelligence and new business models in agriculture: a structured literature review and future research agenda. *British Food Journal*, 125 (13): 436–461. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2023-0132>

- Chu, X., Li, Y., Tian, D., Feng, J., Mu, W. (2019): An optimized hybrid model based on artificial intelligence for grape price forecasting. *British Food Journal*, 121 (12): 3247–3265. <https://doi.org/10.1108/BFJ-06-2019-0390>
- Dal Mas, F., Massaro, M., Ndou, V., Raguseo, E. (2023): Blockchain technologies for sustainability in the agrifood sector: a literature review of academic research and business perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 187 (February 2023): 122155. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122155>
- Eli-Chukwu, N. C. (2019): Applications of Artificial Intelligence in Agriculture: A Review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9 (4): 4377–4383. <https://doi.org/10.48084/etasr.2756>
- IBM (2022): What is artificial intelligence (AI)? <<https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence>> (2023.10.05.)
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., Shah, M. (2019): A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2 (JUNE): 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>
- Kis K., Pesti K. (2015): Szegedi élelmiszeripari hungarikumok helyzete, lehetőségei a globalizáció és a lokalizáció kölcsönhatásában: eredet, hagyomány és minőség szögében. *Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok*, 10 (2): 9–34. <https://doi.org/10.14232/jtgf.2015.2.9-34>
- Kis, K. (2021): Social responsibility and quality: issues of competitiveness and sustainable development. In: Stefańska, M. (ed.): *Sustainability and sustainable development*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznan, 135–150. <https://doi.org/10.18559/978-83-8211-074-6/II6>
- Kovács G. (2010): A mezőgazdasági szektor nemzetgazdasági jelentősége (a magyar agrobiznisz mérete és szerkezete). Agrárgazdasági Kutató Intézet, Budapest. <<https://www.aki.gov.hu/termek/a-mezogazdasagi-szektor-nemzetgazdasagi-jelentosege-a-magyar-agrobiznisz-merete-es-szerkezete/>> (2023.09.28.)
- Lebelo, K., Masinde, M., Malebo, N., Mochane, M.J. (2022): The surveillance and prediction of food contamination using intelligent systems: a bibliometric analysis. *British Food Journal*, 124 (4): 1149–1169. <https://doi.org/10.1108/BFJ-04-2021-0366>
- McCarthy, J. (2007): What is Artificial Intelligence? Stanford University, Computer Science Department, Stanford, CA, USA. <<https://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.pdf>> (2023.10.04.)
- Misra, N.N., Dixit, Y., Al-Mallahi, A., Bhullar, M. S., Upadhyay, R., Martynenko, A. (2022): IoT, big data, and artificial intelligence in agriculture and food industry. *IEEE Internet of Things Journal*, 9 (9): 6305–6324. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2998584>
- Musa, S. F. P. D., Basir, K.H. (2021): Smart farming: towards a sustainable agri-food system. *British Food Journal*, 123 (9): 3085–3099. <https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2021-0325>
- Posey, B., Scarpati, J. (2020): Edge device. TechTarget Networking. <<https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/edge-device>> (2023.10.05.)
- Qazi, S., Khawaja, B. A., Farooq, Q. U. (2022): IoT-Equipped and AI-Enabled Next Generation Smart Agriculture: A Critical Review, Current Challenges and Future Trends. *IEEE Access*, 10: 21219–21235. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3152544>
- Romanello, R., Veglio, V. (2022): Industry 4.0 in food processing: drivers, challenges and outcomes. *British Food Journal*, 124 (13): 375–390. <https://doi.org/10.1108/BFJ-09-2021-1056>
- Russell, S., Norvig, P. (2020): *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 4th edition. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA. <<https://aima.cs.berkeley.edu/index.html>> (2023.10.05.)
- Ryan, M. (2022): The social and ethical impacts of artificial intelligence in agriculture: mapping the agricultural AI literature. *AI & Soc.* <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01377-9>
- Saad, M. H., Hamdan, N. M., Sarker, M. R. (2021): State of the art of urban smart vertical farming automation system: advanced topologies, issues and recommendations. *Electronics*, 10 (12): 1422. <https://doi.org/10.3390/electronics10121422>

- Sachithra, V., Subhashini, L.D.C.S. (2023): How artificial intelligence uses to achieve the agriculture sustainability: Systematic review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 8 (JUNE): 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2023.04.002>
- Shukla, S., Sengupta, T. (2021): Business model innovation in the agricultural supply chain at Bottom of the Pyramid: evidence from India. *Strategic Change*, 30 (5): 461–466. <https://doi.org/10.1002/jsc.2460>
- Siregar, R. R. A., Seminar, K. B., Wahjuni, S., Santosa, E. (2022): Vertical Farming Perspectives in Support of Precision Agriculture Using Artificial Intelligence: A Review. *Computers*, 11 (135): 1–19. <https://doi.org/10.3390/computers11090135>
- Spanaki, K., Sivarajah, U., Fakhimi, M., Despoudi, S., Irani, Z. (2022): Disruptive technologies in agricultural operations: a systematic review of AI-driven AgriTech research. *Annals of Operations Research*, 308: 491–524. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03922-z>
- Trivelli, L., Apicella, A., Chiarello, F., Rana, R., Fantoni, G., Tarabella, A. (2019): From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector. *British Food Journal*, 121 (8): 1730–1743. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2018-0747>
- Valkó G. (2017): *A fenntartható mezőgazdaság indikátorrendszerének kialakítása az Európai Unió tagországaira vonatkozóan. Műhelytanulmányok 10.* Központi Statisztikai Hivatal, Budapest. <<https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/pdf/muhelytanulmanyok10.pdf>> (2023.10.04.)
- Wakchaure, M., Patle, B. K., Mahindrakar, A. K. (2023): Application of AI techniques and robotics in agriculture: A review. *Artificial Intelligence in the Life Sciences*, 3: 100057. <https://doi.org/10.1016/j.aills.2023.100057>