

SZAKDOLGOZAT

Koszora Vince
Mezőgazdasági mérnöki szak

Gödöllő
2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Mezőgazdasági mérnöki Szak

**A KLÍMAVÁLZÓZÁS HATÁSA A EGYES TERMESZTETT
NÖVÉNYEK TERMÉSMENNYISÉGÉRE ÉS MINŐSÉGÉRE**

ŐSZI BÚZA

Belső konzulens:	Dr. Tarnawa Ákos egyetemi docens
Intézet/Tanszék:	Növénytermesztési- tudományi Intézet Agronómiai Tanszék
Készítette:	Koszora Vince OPB1VY Nappali tagozat

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	5
1.1. A téma aktualitása és jelentősége	5
1.2. A vizsgálat tárgya: az őszi búza (<i>Triticum aestivum</i> L.) magyarországi szerepe	5
1.3. A szakdolgozat célkitűzései és a megválaszolandó kutatási kérdések	6
2. Szakirodalmi áttekintés.....	7
2.1. A klímaváltozás globális és Kárpát-medencei manifesztációi.....	8
2.1.1. Hőmérsékleti trendek és hőségnapok	8
2.1.2. Csapadékeloszlás változásai és hidrológiai stressz	9
2.1.3. Szélsőséges időjárási események gyakorisága	10
2.2. Az őszi búza agroökológiai igényei.....	10
2.2.1. Fenológiai fázisok és azok környezeti érzékenysége	11
2.2.2. Az abiotikus stresszfactorok élettani hatásai.....	11
2.3. Klímaváltozás és növénytermesztés: korábbi kutatások szintetizálása.....	13
2.4. A klímaváltozás hatása a biotikus stresszorokra: Kártevők és gyomnövények.....	14
2.4.1. A kártevő-komplexum átalakulása	15
2.4.2. A gyomflóra változásai és a kompetíció	16
3. Alkalmazott módszerek.....	17
3.1. A kutatás típusa és módszertani keretei	17
3.2. Az irodalomkutatás és -szelekció folyamata	18
3.2.1. Adatbázisok és keresési platformok.....	18
3.2.2. Keresési stratégia és kulcsszavak	19
3.2.3. Szelekciós kritériumok.....	20
3.3. Az adatok feldolgozása és szintézise.....	21
4. Eredmények és értékelésük.....	21
4.1. <i>A klímaváltozás hatása az őszi búza termésmennyiségére és termésbiztonságára (2025-2050)</i>	22
4.1.1. Rövid távú (2025-ig) várható hatások és a 2021-2022-es aszály esettanulmánya	22
4.1.2. Középtávú (2050-ig) előrejelzések: Modelleredmények szintézise	23
4.1.3. Területi különbségek és regionális sebezhetőség	26

4.2. A klímaváltozás hatása az őszi búza termésminőségére	26
4.2.1. A fehérje- és nedvesglutén-tartalom paradoxona: Hígulás és kényszerérés.....	27
4.2.2. A gluténminőség és a sütőipari érték romlása	28
4.2.3. A „rejtett” minőségi kár: Mikroelem-hígulás és a táplálkozás-élettani érték csökkenése	29
4.2.4. A mikotoxin-kockázat növekedése	30
4.3. Az enyhítést célzó adaptációs stratégiák elemzése	32
4.3.1. A genetikai adaptáció kulcsa: Fajtanemesítés a stressztoleranciáért	32
4.3.2. Az agrotechnikai adaptáció alapja: A vízmegőrző talajművelés és a diverzifikált vetésforgó.....	34
4.3.3. Tápanyag-utánpótlás és a precíziós gazdálkodás mint adaptációs eszköz	37
4.3.4. Az öntözésfejlesztés mint stratégiai, de korlátos lehetőség.....	39
4.4. Az EU-s agrárpolitika (KAP) szerepe a fenntartható termesztésben.....	40
4.4.2. A II. pillér szerepe: AKG és precíziós beruházások	42
4.4.3. Az agrárpolitika korlátai, gazdasági realitásai és a gazdálkodói viselkedés	42
5. Következtetések és javaslatok.....	44
5.1. Fő következtetések.....	45
5.2. Javaslatok.....	46
6. Összefoglalás	48
7. Köszönetnyilvánítás	49
8. Irodalomjegyzék	50
9. Táblázatok jegyzéke	53
10. Mellékletek.....	53

1. Bevezetés és célkitűzések

1.1. A téma aktualitása és jelentősége

A 21. század globális társadalmi és gazdasági folyamatait alapvetően a klímaváltozás határozza meg. Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) legfrissebb jelentései (IPCC, 2023) egyértelműen kimutatják, hogy az antropogén üvegházhatású gázkibocsátás eredményeként a globális átlaghőmérséklet emelkedése már jelenleg is szignifikáns változásokat okoz a bolygó éghajlati rendszerében. Ezen változások, mint a hóhullámok intenzitásának és gyakoriságának növekedése, a csapadékeloszlás radikális átalakulása és a szélsőséges időjárási események gyakoribbá válása, nem csupán elméleti modellek, hanem évről évre tapasztalható, mérhető valóságot jelentenek.

A klímaváltozás hatásai közül az egyik legközvetlenebb és legriasztóbb következmény az élelmezésbiztonság veszélyeztetése. A mezőgazdaság, mint az éghajlati viszonyoknak leginkább kitett ágazat, rendkívül sérülékeny (FAO, 2024). Különösen igaz ez a Kárpát-medencére, amelyet a klímamodellek Európa egyik "forró pontjaként" (hot-spot) azonosítanak, ahol az átlagosnál nagyobb mértékű melegedés és a hidrológiai ciklus jelentős változása várható (Bartholy et al., 2007). Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) hazai adatsorai (OMSZ, 2023) egyértelműen alátámasztják a növekvő aszályhajlamot és a vegetációs időszakban jelentkező hőségnapok számának emelkedését.

Ezek az abiotikus stresszfaktorok (elsősorban az aszály és a hősök) közvetlen élettani hatást gyakorolnak a szántóföldi növénykultúrákra, csökkentve azok terméspotenciálját és rontva minőségi paramétereiket. A magyar agrárium számára ezért nem csupán lehetőség, hanem kényszerítő szükségyszerűség az adaptáció, amely tudományos alapokon nyugvó stratégiákat igényel. Jelen szakdolgozat ezen adaptációs kényszer egyik legfontosabb hazai területét vizsgálja.

1.2. A vizsgálat tárgya: az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) magyarországi szerepe

A magyarországi növénytermesztésben az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) betöltött szerepe megkerülhetetlen. Évtizedek óta a legnagyobb vetésterületen termesztett szántóföldi

kultúránk, amely alapvető élelmiszer- és takarmányalapanyagot biztosít, emellett a hazai agrárgazdaság egyik legfontosabb exportcikke (KSH, 2024). A mintegy 1 millió hektáros vetésterület és az éves szinten jellemzően 4-6 millió tonnás termésmennyiség nemzetgazdasági és élelmezésbiztonsági szempontból is stratégiai jelentőségű.

Ezen kiemelt kultúra termesztéstechnológiája és genetikai háttere jelentős fejlődésen ment keresztül, azonban termesztésbiztonságát egyre inkább fenyegetik az 1.1. alfejezetben vázolt klímaváltozási tendenciák. Az őszi búza fenológiai fázisai különösen a kritikus virágzás és szentelítődés időszaka rendkívül érzékenyek a késő tavaszi, kora nyári aszályra és hőstresszre. A 2022-es, történelmi léptékű aszály drámai módon mutatta meg a magyarországi őszi búza termesztés sérülékenységét.

A vázolt probléma, miszerint Magyarország stratégiai fontosságú növénykultúrája egyre intenzívebben és gyakoribb klímastressznek van kitéve, adja a szakdolgozat vizsgálati keretét. A munka arra keresi a választ, hogy a tudományos szakirodalom és a legfrissebb elemzések alapján pontosan milyen hatásokkal kell számolni, és milyen adaptációs válaszok adhatók.

1.3. A szakdolgozat célkitűzései és a megválaszolendő kutatási kérdések

A szakdolgozat fő célkitűzése, hogy átfogó szakirodalmi elemzés (review) keretében feltárja és szintetizálja a klímaváltozás magyarországi őszi búza termesztésre gyakorolt hatásait, különös tekintettel a termésmennyiségre és a minőségi paraméterekre, valamint értékelje a rendelkezésre álló adaptációs stratégiákat és szakpolitikai kereteket.

Mivel a dolgozat saját kísérletes vizsgálatot nem tartalmaz, az eredmények és következtetések releváns hazai és nemzetközi tudományos publikációk, kutatási jelentések, valamint intézményi (pl. KSH, OMSZ, MATE) és uniós (pl. EUROSTAT, Európai Bizottság) adatbázisok kritikai feldolgozásán alapulnak.

A fő célkitűzés elérése érdekében a dolgozat az alábbi négy központi kutatási kérdésre keresi a választ:

1. Milyen mértékben befolyásolja a klímaváltozás (hőmérséklet-emelkedés, aszály, szélsőséges időjárás) az őszi búza termésmennyiségét Magyarországon 2025-ben és várhatóan 2050-ig?
2. Hogyan hat a klímaváltozás az őszi búza termésminőségére, különösen a fehérjetartalomra, gluténminőségre, nedvesglutén-tartalomra és mikotoxin-koncentrációkra?
3. Mely adaptációs stratégiák – fajtanemesítés, agrotechnikai módosítások, öntözés, talajművelési rendszerek, tápanyag-utánpótlás – enyhíthetik ezeket a hatásokat leginkább?
4. Hogyan járulnak hozzá az EU-s agrárpolitikai eszközök, különösen a KAP (Közös Agrárpolitika) reformjai és támogatási rendszerei, a fenntartható őszi búza termesztéshez?

2. Szakirodalmi áttekintés

A szakdolgozat célkitűzéseinek eléréséhez és az őszi búza termesztésének komplex kapcsolatrendszerének feltárásához elengedhetetlen a tudományos előzmények szintetizálása. Jelen fejezet célja, hogy megalapozza a dolgozat későbbi elemzéseit. Ennek érdekében először bemutatja a klímaváltozás Kárpát-medencei, különösen magyarországi sajátosságait, majd részletesen tárgyalja az őszi búza legfontosabb agroökológiai igényeit, különös tekintettel az abiotikus stresszfaktorokra, amelyekkel szemben érzékeny.

2.1. A klímaváltozás globális és Kárpát-medencei manifesztációi

A klímaváltozás ténye globális szinten tudományos konszenzuson alapul (IPCC, 2023). A Kárpát-medence, és benne Magyarország, földrajzi elhelyezkedéséből adódóan Európa egyik klímaérzékeny "forró pontjának" (hot-spot) számít. Térségünk éghajlatát alapvetően három fő hatás (az atlanti, a mediterrán és a kontinentális) együttes alakítja. A klímamodellek előrejelzései szerint a jövőben a mediterrán és a kontinentális hatások erősödése várható az atlanti befolyás gyengülése mellett (Bartholy et al., 2007; Pongrácz et al., 2019). Ez a tendencia a gyakorlatban a nyári időszakban a jelenleginél szárazabb és melegebb, a téli időszakban pedig enyhébb és csapadékosabb időjárást vetít előre, egyre növekvő éghajlati szélsőségek mellett.

2.1.1. Hőmérsékleti trendek és hőségnapok

Magyarország éghajlata igazoltan melegszik. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) hosszú távú, homogenizált adatsorai szerint az országos évi középhőmérséklet emelkedése az 1901-es bázisidőszakhoz képest már meghaladta az 1,2 °C-ot (OMSZ, 2023). A melegedés üteme az elmúlt évtizedekben gyorsult.

A növénytermesztés szempontjából azonban az átlagértékek változásánál sokkal nagyobb jelentőséggel bír a szélsőséges hőmérsékleti események gyakoriságának és intenzitásának alakulása. Az őszi búza termesztésbiztonságát leginkább befolyásoló mutatók a következők:

- **Hőségnapok száma:** A 30 °C feletti maximális napi hőmérsékletű napok (hőségnapok) száma statisztikailag igazolhatóan emelkedik, különösen az ország déli és alföldi régióiban.
- **Forró napok száma:** A 35 °C feletti maximális hőmérsékletű napok (forró napok) száma szintén növekvő tendenciát mutat, amelyek már közvetlen élettani stresszt jelentenek a növényi szövetek számára (Láng et al., 2020).
- **Trópusi éjszakák száma:** Azon éjszakák száma, amikor a léghőmérséklet nem süllyed 20 °C alá. Ezek az események meggátolják a növények éjszakai regenerálódását, fokozzák a respirációs veszteséget, tovább növelve a nappali hőstressz negatív hatását.

- **Téli fagyos napok száma:** A téli időszak enyhülése csökkenti a kemény fagyok (-15 °C alatt) kockázatát, ami elsődlegesen a gyümölcsstermesztésben bír jelentőséggel, de hatással van a kalászosok áttelelésére és kártevő-kórokozó komplexének túlélésére is.

A klímamodell-szimulációk (pl. a RegCM és ALADIN-Climate modellek) magyarországi adaptációi egyöntetűen a fenti trendek folytatódását vetítik előre a 21. század közepéig (2050) és végéig (Szépszó, 2019).

2.1.2. Csapadékeloszlás változásai és hidrológiai stressz

A hőmérsékleti trendekkel ellentétben az éves összes csapadék mennyiségében Magyarországon nem mutatható ki egyértelmű, szignifikáns trend az elmúlt évszázadban. A klímaváltozás drámai hatása itt nem a mennyiségben, hanem a csapadék éven belüli eloszlásának és intenzitásának radikális átrendeződésében mutatkozik meg (Spinoni et al., 2018).

A legfőbb észlelt és prognosztizált változások a következők:

1. **A vegetációs időszak szárazodása:** Miközben a téli félév csapadékosabbá válhat (gyakran eső, nem pedig hó formájában), a nyári félév, különösen a kritikus késő tavaszi és nyári hónapok (május-augusztus) csapadékának csökkenése valószínűsíthető.
2. **Hosszabbodó száraz periódusok:** A csapadékmentes napok száma növekszik, ami hosszabb, egybefüggő aszályos időszakok kialakulásának kedvez. A 2022-es év súlyos, történelmi léptékű aszálya élesen demonstrálta ennek a folyamatnak a reális kockázatát (NAK, 2022).
3. **Intenzívebb csapadékesemények:** A csapadék egyre nagyobb hányada koncentrált, nagy intenzitású, gyakran konvektív zivatarok formájában érkezik. Az ilyen "villámárvíz-szerű" esőzések hasznosulása rendkívül alacsony. A víz jelentős része a tömörödött, száraz talajfelszínen lefolyik (okozva ezzel jelentős talajeróziót) ahelyett, hogy a gyökérszónába szivárogná.

Ez a két, látszólag ellentétes tendencia – a hosszabb aszályok és az intenzívebb felhőszakadások együttesen súlyos hidrológiai stresszt okoz. A talaj vízháztartása egyre

inkább a hiány és a többlet (belvív) között ingadozik, miközben a növekvő hőmérséklet miatti magasabb párolgási (evapotranszpirációs) igény tovább fokozza a vízhiányt a tenyészidőszakban.

2.1.3. Szélsőséges időjárási események gyakorisága

A klímaváltozás nem csupán az átlagok lassú eltolódását jelenti, hanem a szélsőséges események gyakoriságának és intenzitásának növekedését is (IPCC, 2023). Az őszi búza termesztése szempontjából az aszályon és a hőhullámokon túl az alábbiak bírnak kiemelt jelentőséggel:

- **Hótakaró hiánya és téli fagy:** Bár a telek enyhülnek, a hótakaró – amely a kalászosok természetes "takarója" a fagy ellen – hiánya növeli a késői, hirtelen betörő fagyok (ún. "fekete fagy") által okozott kifagyás kockázatát, különösen a kevésbé fagyűrő fajtáknál.
- **Tavaszi fagyok:** Bár az utolsó tavaszi fagy időpontja általánosságban korábbra tolódik, a növényi fejlődés (fenológia) gyorsulása miatt a növények érzékenyebb fázisban találkozhatnak egy-egy késői fagyeselemmennyel.
- **Viharok, szélviharok, jégeső:** A légköri instabilitás növekedése kedvez a heves zivatarok kialakulásának. A kalászosoknál a késői (szemtelítődés alatti) viharos szél és jégeső súlyos termésvesztést okozhat a dőlés (megdőlés) és a kalászosok fizikai sérülése révén.

2.2. Az őszi búza agroökológiai igényei

Az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) mérsékelt övi növény, amelynek termesztése széles földrajzi és éghajlati határok között sikeres lehet. Magyarország éghajlati és talajtani adottságai (különösen a csernozjom talajok) hagyományosan kiváló alapot biztosítottak a jó minőségű búza termesztéséhez. A termesztésbiztonságot azonban a növény fejlődési ciklusa (fenológiája) során fellépő stresszhatások korlátozzák.

2.2.1. Fenológiai fázisok és azok környezeti érzékenysége

Az őszi búza egy teljes vegetációs évet átölelő fejlődési ciklussal rendelkezik, amelynek főbb, a klímakockázatok szempontjából kritikus szakaszai a következők (a BBCH-skála fő fázisai alapján):

1. **Kelés és korai fejlődés (Ősz):** Az optimális vetésidőben (október) elvetett búza a téli fagyok beállta előtt ideálisan a 3-4 leveles, bokrosodás kezdeti állapotát éri el. Az őszi aszály gátolhatja a kelést és a megfelelő tőszám kialakulását.
2. **Vernalizáció és áttelelés (Tél):** Az őszi búza – szemben a tavasszal vetett rokonával – hideghatást (vernalizációt) igényel ahhoz, hogy a tavaszi időszakban generatív fejlődésnek (szárba indulásnak) induljon. Ezt az igényt a magyarországi enyhébb telek is általában kielégítik, azonban a korábban említett hótakaró hiánya növeli a kifagyás kockázatát.
3. **Bokrosodás és szárba indulás (Tavaszi):** Ez a szakasz határozza meg a potenciális kalászcsoportok számát. A tavaszi fagyok és a korai aszály stressz egyaránt csökkentheti a produktív szarak (kalászcsoportok) számát.
4. **Virágzás (Antézis) (Késő tavasz/Kora nyár):** Ez az őszi búza legérzékenyebb fenológiai fázisa. A virágzás idején fellépő magas hőmérséklet (>30-32 °C) vagy vízhiány a pollen sterilitásához, elégtelen megtermékenyüléshez vezethet, ami drámaian csökkenti a kalásonkénti szemszámot (Varga et al., 2018).
5. **Szemetelítődés (Kora nyár/Nyár):** A megtermékenyülést követő 3-5 hét kritikus időszaka, amikor a növény a fotoszintézis során megtermelt asszimilátákat (cukrokat) a szemekbe szállítja és keményítővé alakítja. A termésmennyiség végső komponense, az ezermagtömeg ebben a fázisban dől el.

A klímaváltozás egyik igazolt hatása a fenológiai fázisok gyorsulása. A melegebb tavasz és a magasabb szén-dioxid szint miatt a növények "sietnek" a fejlődéssel, ami gyakran rövidebb szemetelítődési időszakot eredményez (Jolánkai et al., 2017).

2.2.2. Az abiotikus stresszfaktorok élettani hatásai

A 2.1. alfejezetben vázolt klímaváltozási trendek közvetlen élettani hatásokat váltanak ki a búzában, amelyek a termés mennyiségi és minőségi paramétereit is meghatározzák.

Aszálystressz (vízhiány): A vízhiány a növényt a sztómák (gázcserenyílások) bezárására kényszeríti, hogy csökkentse a párologtatást. Ez a védekező mechanizmus azonban egyúttal gátolja a fotoszintézishez szükséges szén-dioxid felvételét is, így csökken a növény asszimilátatermelése (Barnabás et al., 2008). Tartós vízhiány esetén csökken a levélterület, kevesebb produktív kalász fejlődik, és ami a legfontosabb, a szemtelítődés időszaka lerövidül. Ez a folyamat a *kényszerérés*: a növény idő előtt befejezi a szemek töltögetését, ami alacsony ezermagtömeget és zsugorodott szemeket eredményez.

Hőstressz (hősokk): A magas hőmérséklet (különösen 32-35 °C felett) közvetlenül károsítja a növényi sejteket és enzimeket.

- *Virágzás alatti hősokk:* A pollen rendkívül érzékeny a magas hőmérsékletre, ami sterilizációhoz vezet. Ekkor a kalászok "léhák" maradnak, a szemszám drasztikusan lecsökken.
- *Szemtelítődés alatti hősokk:* A magas hőmérséklet denaturálja (károsítja) azokat a kulcsfontosságú enzimeket (pl. keményítő-szintetáz), amelyek a cukrok keményítővé alakításáért felelősek a szemben. Ez a folyamat megállítja a szem növekedését, függetlenül attól, hogy a növény rendelkezik-e elegendő vízzel (Varga, 2021). A hőstressz és az aszálystressz gyakran együtt (kombinált stresszként) jelentkezik, szinergista módon fokozva egymás negatív hatását.

Emelkedett légköri szén-dioxid koncentráció: Fontos megjegyezni, hogy ez az emelkedett koncentráció önmagában pozitív hatással lehet az őszi búzára, mint C3-as típusú növényre. Ez az ún. "szén-dioxid trágyázási hatás", amely fokozottabb fotoszintézist és hatékonyabb vízfelhasználást (magasabb "Water Use Efficiency", WUE) eredményezhet, mivel a növénynek ezen gáz felvételéhez kevésbé kell kinyitnia a sztómáit (Ainsworth & Rogers, 2007). Számos kutatás (pl. FACE - Free-Air CO₂ Enrichment kísérletek) azonban kimutatta, hogy ezt a pozitív hatást a hőmérséklet-emelkedés és a vízhiány együttes hatása gyakran teljesen ellensúlyozza vagy felülmúlja. Továbbá fontos hozzá tenni, hogy ezen gáz emelkedett szintje mellett fejlődő búza termésének minősége gyakran romlik: a keményítőtartalom nő, míg a fehérje- és ásványianyag- (pl. cink, vas) tartalom csökken (Myers et al., 2014).

2.3. Klímaváltozás és növénytermesztés: korábbi kutatások szintetizálása

Az előző alfejezetekben bemutatott éghajlati trendek (2.1.) és az őszi búza azokra adott élettani válaszai (2.2.) képezik azt a tudományos alapot, amelyre a hatásvizsgálatok és az adaptációs kutatások épülnek. A szakirodalom részletesen vizsgálta, hogy a vázolt stresszfaktorok összessége hogyan befolyásolja a termesztés sikerességét mind mennyiségi, mind minőségi szempontból.

A klímaváltozás növénytermesztésre gyakorolt hatásainak számszerűsítésére a nemzetközi és a hazai kutatói közösség is széleskörűen alkalmaz növénytermesztési szimulációs modelleket (crop models). Ezek a modellek (pl. a DSSAT-családba tartozó CERES-Wheat, vagy az APSIM, WOFOST modellek) képesek matematikai-biológiai alapon leírni a növény fejlődését a környezeti paraméterek (talaj, időjárás) és az agrotechnika (fajta, vetésidő, tápanyagellátás) függvényében. Ezen regionális klímamodellek (RCM-ek, mint az ALADIN vagy a RegCM) kimeneti adataival való összekapcsolása teszi lehetővé a jövőbeli terméskilátások becslését különböző éghajlati scenáriók (RCP-k, ma már SSP-k) esetén (Trnka et al., 2014; Hawkins et al., 2013).

A hazai és közép-európai térségre vonatkozó modellfuttatások és kísérleti eredmények (pl. a martonvásári Agrártudományi Kutatóközpont (ATK) hosszú távú kísérletei) alapvető konszenzust mutatnak több kulcsfontosságú területen:

1. **Termésmennyiség és -stabilitás:** A kutatások többsége egyetért abban, hogy adaptációs intézkedések (pl. új fajták, öntözés) nélkül a klímaváltozás negatív hatással lesz a magyarországi őszi búza termésátlagaira. Bár az enyhébb telek és a magasabb szén-dioxid szint önmagukban növelhetik a termés potenciált, ezt a pozitív hatást a vegetációs időszakban fellépő hő- és aszálystressz, különösen a szemetlítődség időszakának lerövidülése (kényszerérés) jellemzően felülmúlja (Semenov & Shewry, 2011). A legnagyobb veszélyt nem is feltétlenül az átlagok csökkenése, hanem a termésingadozás, az évjárathatás extrém mértékű növekedése jelenti, ami a 2022-es aszályév termés kiesésében is megmutatkozott.
2. **Minőségi paraméterek változása:** A klímastressz a sütőipari minőséget meghatározó paraméterekre is komplex hatást gyakorol. Enyhe vagy mérsékelt aszálystressz a szemetlítődség végén gyakran növeli a fehérjekoncentrációt (az ún. "koncentrációs" vagy "hígítási" hatás elmaradása miatt, mivel a keményítő-beépülés jobban gátolt,

mint a fehérje-akkumuláció), de ez a magasabb fehérjetartalom nem feltétlenül jár együtt jobb sütőipari minőséggel (pl. a siker szerkezete károsodhat). Az extrém hőstressz (különösen 35 °C felett) bizonyítottan károsítja a sikerfehérjéket alkotó fehérje-komplexeket, ami gyengébb téztszerkezethez és alacsonyabb sütőipari értékhez vezet (Békés et al., 2011; Varga, 2021).

- 3. Biotikus kockázatok (Mikotoxinok):** A klímaváltozás nemcsak abiotikus, hanem biotikus stressz formájában is megjelenik. A búza termesztése szempontjából a legjelentősebb kórokozó a kalászfuzáriózist (*Fusarium Head Blight*, FHB) okozó *Fusarium* gombafajok (főként *F. graminearum* és *F. culmorum*) csoportja. Ezek a gombák a virágzás időszakában fertőznek, különösen, ha az meleg, párás, csapadékos időszakra esik. Az éghajlatváltozás miatti csapadékeloszlási anomáliák (pl. hosszan száraz periódus, majd egy intenzív csapadékos blokk a virágzáskor) növelhetik a fuzárium-fertőzés epidémiaszerű kialakulásának kockázatát. A fertőzés következménye nem csupán a termésvesztés, hanem az élelmiszer- és takarmánybiztonsági szempontból rendkívül veszélyes mikotoxinok (pl. deoxinivalenol, DON; zearalenon, ZEA) felhalmozódása a szemekben, amelyekre az Európai Unió szigorú határértékeket alkalmaz (Mesterházy et al., 2019; Tóth et al., 2021).

A szakirodalmi áttekintés alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a magyarországi őszi búza termesztés komoly kihívások előtt áll. A tudományos közösség a probléma diagnosztizálásán túl intenzíven vizsgálja a lehetséges adaptációs és mitigációs válaszokat, amelyek a nemesítéstől az agrotechnikán át a precíziós gazdálkodásig terjednek. A jelen szakdolgozat 4. fejezete ezen kutatások eredményeire építve vizsgálja meg a konkrét adaptációs lehetőségeket és szakpolitikai kereteket

2.4. A klímaváltozás hatása a biotikus stresszorokra: Kártevők és gyomnövények

A szakdolgozat eddigi elemzései elsősorban az abiotikus (éghajlati) és a kórtani (fuzárium) stresszfaktorokra fókuszáltak. Az éghajlatváltozás komplex hatásrendszerének megértéséhez azonban elengedhetetlen a termesztés sikerességét alapvetően befolyásoló egyéb biotikus tényezők, nevezetesen a kártevők (zoológiai károsítók) és a gyomnövények (kompetítorok) viselkedésének vizsgálata. Az éghajlat átalakulása ezen élőlénycsoportok biológiáját,

felszaporodási dinamikáját és elterjedését is alapjaiban írja át, új és fokozott növényvédelmi kihívások elé állítva az őszi búza termesztését.

2.4.1. A kártevő-komplexum átalakulása

Az őszi búza hagyományos kártevő-együttesét (pl. vetésfehérítő bogarak, gabonapoloskák, levéltetvek) alapvetően befolyásolják a megváltozott klimatikus viszonyok, elsősorban az enyhébb telek és a hosszabb, melegebb vegetációs periódusok.

1. Áttelelési dinamika és korábbi tavaszi megjelenés: A klímaváltozás legközvetlenebb zoológiai hatása az enyhébb telekben mutatkozik meg. A tartós, kemény fagyok hiánya drámaian megnöveli a kártevők áttelelő alakjainak (imágók, bábok, tojások) túlélési rátáját (Keszthelyi et al., 2018). Ennek eredményeként tavasszal eleve magasabb egyedszámmal indul a kártevőpopuláció, ami fokozottabb fertőzési nyomást jelent. Ezzel párhuzamosan a melegebb tavasz felgyorsítja az imágók tavaszi előjövételét (rajzását). A korábban megjelenő kártevők (pl. vetésfehérítő bogarak) a búza korábbi, sérülékenyebb fenológiai fázisában (pl. bokrosodás vége, szárba indulás kezdete) okozhatnak jelentős kárt, ami nagyobb asszimilációs felületvesztést és termés kiesést eredményez.

2. Új kártevőfajok megjelenése és a nemzedékszám növekedése: A melegedő éghajlat kedvez a délebbi, mediterrán elterjedésű, melegigényesebb (termofil) fajok északabbra húzódásának. Az őszi búzában is megfigyelhető új kártevők megjelenése, amelyek korábban nem okoztak gazdasági kárt Magyarországon. Ennél is jelentősebb kockázat, hogy a hosszabb vegetációs időszak és a magasabb hőösszeg lehetővé teszi, hogy a már jelen lévő kártevők (pl. levéltetvek) az eddigi egy vagy két nemzedék helyett *több, akár plusz egy-két teljes nemzedéket* neveljenek fel egy tenyészidőszak alatt. A megnövekedett nemzedékszám exponenciálisan növeli a kártevőpopuláció méretét, és jelentősen megnehezíti az ellenük való védekezést.

3. Vírusvektorok szerepének felértékelődése: A kártevők nem csupán közvetlen rágásukkal vagy szívogatásukkal okoznak kárt. Számos, az őszi búzában komoly termés kiesést okozó vírus (pl. Árpa Sárga Törpeség Vírus - BYDV) terjesztéséért felelős rovarvektorok (elsősorban levéltetvek) aktivitása szintén szorosan kötődik az időjáráshoz. Az enyhébb,

csapadékosabb őszi kedvez a kalászosokat fertőző levéltetvek őszi felszaporodásának, ami a korai (őszi) vírusfertőzés kockázatát növeli. A korábban és nagyobb tömegben megjelenő tavaszi populációk pedig a tavaszi vírusfertőzés mértékét fokozzák, ami ellen hatékony védekezés a vektorok visszaszorításán kívül nem létezik (Basky, 2012).

2.4.2. A gyomflóra változásai és a kompetíció

A gyomnövények a vízért, a tápanyagért és a fényért folytatott versengés (kompetíció) révén csökkentik az őszi búza termését. A klímaváltozás ezt a kompetíciós viszonyt is átalakítja, jellemzően a gyomok javára.

1. A C4-es gyomnövények előretörése: A fotoszintézis szempontjából az őszi búza ún. C3-as növény, amely a meleg, száraz körülményeket rosszabbul tolerálja, mint a C4-es növények (amelyek hatékonyabban kötik meg a szén-dioxidot magas hőmérsékleten és kevesebb vízvesztéssel). A klímaváltozással egyre melegebbé és szárazabbá váló nyár eleji időszak (amely a búza szemtelítődésének ideje) kifejezetten kedvez a C4-es, melegigényes gyomnövények (pl. kakasláb-fű-fajok, muhar-fajok, parlagfű) csírázásának és gyors kezdeti fejlődésének (Novák, 2017). Ezek a gyomok hatékonyabban hasznosítják a szűkös vízkészleteket, mint maga a búza, így a kompetícióban előnybe kerülnek, "elszívva" a vizet és a tápanyagot a kultúrnövény elől.

2. A gyomirtási "ablak" szűkülése: A szélsőséges időjárás (hosszú aszály, majd hirtelen eső, erős szél) megnehezíti a posztemergens (állománykezeléses) gyomirtás optimális időzítését. A tartós szárazság miatt a gyomnövények vastagabb viaszréteget növesztenek, ami rontja a herbicidek hatékonyságát. Az erős szél gyakran lehetetlenné teszi a permetezést (elsodródás veszélye), míg a hirtelen lezúduló csapadék lemoshatja a kijuttatott vegyszert. Ez a szűkülő időablak növeli a gyomirtás sikertelenségének kockázatát.

3. Új, invazív és rezisztens gyomok: Hasonlóan a kártevőkhöz, a melegedés segíti az új, déli, invazív gyomfajok megjelenését és megtelepedését. Ezzel párhuzamosan a nem megfelelő vetésforgó és a herbicidek egyoldalú használata (amit a klímastressz miatti kényszerhelyzetek gyakran előidéznek) gyorsítja a herbicid-rezisztens gyomok (pl. rezisztens nagy széltippán) kialakulását és elterjedését, ami az egyik legsúlyosabb jövőbeli növényvédelmi kihívás (Reisinger et al., 2018).

Összefoglalva: A klímaváltozás biotikus hatásai (magasabb kártevő-túlélés, több nemzedék, fokozott vírusveszély, C4-es gyomok előretörése) szinergiában lépnek fel az abiotikus stresszhatásokkal (aszály, hőség). Ez a komplex, felerősödő nyomás tovább növeli az őszi búza termesztésének kockázatát és egy sokkal integráltabb, tudásalapúbb növényvédelmi stratégia (IPM) kidolgozását teszi szükségessé

3. Alkalmazott módszerek

3.1. A kutatás típusa és módszertani keretei

A jelen szakdolgozat – figyelembe véve, hogy saját kísérleti eredményeket nem tartalmaz – módszertani szempontból egy leíró és elemző szakirodalom-feldolgozás (deskriptív és analitikus review). A munka célja nem új primer adatok előállítása, hanem a meglévő tudományos ismeretanyag kritikai elemzése, rendszerezése és szintetizálása.

A dolgozat központi célja (lásd 1.3. alfejezet), hogy a négy konkrét kutatási kérdés mentén feltárja az őszi búza termesztését érintő klímaváltozási hatásokat és adaptációs lehetőségeket. Ennek megfelelően a választott módszertan egy célzott, szisztematikus szakirodalmi áttekintés lépéseit követi, amely biztosítja a felhasznált források relevanciáját, tudományos megalapozottságát és visszakereshetőségét.

A módszertan három fő pillérre épül:

1. **Irodalomkutatás:** A releváns tudományos és intézményi források felkutatása strukturált keresési stratégia alapján.
2. **Szelekció:** A talált források kritikai értékelése és szűrése előre meghatározott befogadási és kizárási kritériumok mentén.
3. **Adatszintézis:** A kiválasztott adatok és információk analitikus feldolgozása és narratív szintézise, amely a kutatási kérdések mentén strukturálja az eredményeket.

3.2. Az irodalomkutatás és -szelekció folyamata

A konzulensi tanácsokra a dolgozat kiemelt hangsúlyt fektet a források hitelességére, elkerülve a nem létező vagy ellenőrizhetetlen hivatkozások használatát.

A kutatás első fázisában, a 1.2. pontban rögzített kutatási kérdések alapján, megtörtént a kulcsszavak és keresőkifejezések magyar és angol nyelvű listájának összeállítása.

A második lépés a releváns adatbázisok és forrástípusok meghatározása volt. A konzulensi iránymutatásnak megfelelően a szelekció szigorúan a tudományos hitelességre összpontosított. Ennek értelmében a kutatás elsődlegesen az alábbi forrástípusokra támaszkodott: a) Lektorált (peer-reviewed) tudományos folyóiratokban megjelent cikkek, melyek a Google Scholar, a Web of Science és a Scopus adatbázisokból kerültek kigyűjtésre. b) Hazai és nemzetközi kutatóintézetek (pl. Agrártudományi Kutatóközpont, Országos Meteorológiai Szolgálat), egyetemek (pl. MATE, ELTE) és hivatalos szervek (pl. KSH, NÉBIH, Agrárminisztérium, FAO, IPCC) által publikált hivatalos jelentések, kiadványok, fajtakatalógusok és statisztikai adatbázisok. c) Relevant doktori (PhD) értekezések és monográfiák, amelyek a téma elismert szakértőitől származnak (pl. Birkás Márta munkái a talajművelés, Láng László és Vida Gábor a búzanemesítés területén).

3.2.1. Adatbázisok és keresési platformok

Az irodalomkutatás elsődlegesen az alábbi lektorált (peer-reviewed) tudományos adatbázisokra és hivatalos intézményi adatforrásokra támaszkodott, itt is szemelőtt tartva a hitelességet:

- **Tudományos adatbázisok:**
 - *Google Scholar (Google Tudós):* Elsődleges keresőplatform a releváns cikkek széles körű azonosítására.
 - *Web of Science (WoS) és Scopus:* Magas impaktfaktorú, lektorált nemzetközi folyóiratcikkek keresésére.
 - *MATE Egyetemi Könyvtár adatbázisai (pl. EISZ):* Hozzáférés biztosítása a licencelt adatbázisokhoz és folyóiratokhoz.
 - *Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT):* Hazai kutatók és kutatócsoportok publikációinak azonosítására.

- *REAL (Repository of the Library of the Hungarian Academy of Sciences):* Az MTA által kezelt repozitórium, beleértve Ph.D. értekezéseket és tanulmányokat.
- **Intézményi és statisztikai adatbázisok:**
 - *Központi Statisztikai Hivatal (KSH):* Magyarországi mezőgazdasági statisztikák (pl. vetésterület, termésátlagok).
 - *Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ):* Hazai éghajlati adatsorok, klímamodell-eredmények (pl. Nemzeti Klíma Adatbázis).
 - *Agrártudományi Kutatóközpont (ATK), Martonvásár:* Kifejezetten a kalászos gabonák nemesítésével és agronómiájával kapcsolatos hazai kutatási eredmények.
 - *Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (NAK):* Gyakorlati elemzések, helyzetértékelések (pl. a 2022-es aszály hatásairól).
 - *Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC):* Globális és regionális klímajelentések.
 - *ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) / FAOSTAT:* Globális adatok és jelentések az élelmezésbiztonságról.
 - *Európai Bizottság (DG AGRI) és EUROSTAT:* Az EU-s agrárstatisztikák és a Közös Agrárpolitikával (KAP) kapcsolatos dokumentumok.

3.2.2. Keresési stratégia és kulcsszavak

A keresés magyar és angol nyelven történt, a témához kapcsolódó kulcsszavak logikai operátorokkal (AND, OR) történő kombinálásával. A főbb keresési kifejezések a következők voltak:

- **Magyarul:** ("őszi búza" VAGY "Triticum aestivum") ÉS ("klímaváltozás" VAGY "éghajlatváltozás") ÉS ("Magyarország" VAGY "Kárpát-medence") ÉS ("aszály" VAGY "hőstressz" VAGY "abiotikus stressz") ÉS ("termésmennyiség" VAGY "termésingadozás") ÉS ("sütőipari minőség" VAGY "fehérjetartalom" VAGY "mikotoxin" VAGY "fuzárium") ÉS ("adaptáció" VAGY "agrotechnika" VAGY "nemesítés") ÉS ("Közös Agrárpolitika" VAGY "KAP").

- **Angolul:** ("winter wheat" OR "Triticum aestivum") AND ("climate change") AND ("Hungary" OR "Pannonian Basin" OR "Carpathian Basin") AND ("drought" OR "heat stress" OR "abiotic stress") AND ("yield" OR "yield stability") AND ("baking quality" OR "protein content" OR "mycotoxin" OR "Fusarium") AND ("adaptation" OR "agronomy" OR "breeding") AND ("Common Agricultural Policy" OR "CAP").

3.2.3. Szelekciós kritériumok

A keresési eredmények szűrése az alábbi befogadási és kizárási kritériumok alapján történt:

Befogadási kritériumok (Inclusion):

- Lektorált tudományos közlemények (folyóiratcikkek, review-cikkek).
- Hazai vagy Kárpát-medencei fókuszú kutatások.
- Releváns Ph.D. értekezések.
- Hivatalos intézményi jelentések és statisztikai közlemények (KSH, OMSZ, IPCC, FAO, EU).
- Időbeli korlát: Elsősorban a 2010 és 2025 között megjelent publikációk, a klímaváltozás naprakész hatásainak vizsgálata érdekében. (Kivételt képeztek az alapvető, sokat idézett módszertani vagy biológiai alapmunkák, pl. Barnabás et al., 2008).

Kizárási kritériumok (Exclusion):

- Nem tudományos források (pl. blogbejegyzések, hírcikkek, ismeretterjesztő oldalak).
- Nem lektorált konferencia-kiadványok (abstract-kötetek).
- A témától eltérő fókuszú (pl. kizárólag más növénykultúrával vagy teljesen más földrajzi régióval foglalkozó) cikkek.
- Ellenőrizhetetlen, nem fellelhető, vagy nyilvánvalóan elavult források.

3.3. Az adatok feldolgozása és szintézise

A kiválasztott és validált szakirodalmak feldolgozása narratív szintézis módszerével történt. Ez a módszer lehetővé teszi a különböző típusú (kvalitatív és kvantitatív) adatok és eredmények logikai egységbe foglalását és értelmezését.

A feldolgozás menete a következő volt:

1. **Strukturálás:** A beérkezett információk rendszerezése az 1.3. alfejezetben meghatározott négy kutatási kérdés köré.
2. **Kritikai elemzés:** A források összevetése, az esetleges ellentmondások azonosítása (pl. a szén-dioxid-trágyázás hatásának eltérő értékelése) és az eredmények súlyozása a forrás megbízhatósága (pl. IPCC-jelentés vs. egyedi tanulmány) alapján.
3. **Szintézis:** A feldolgozott információk és adatok logikus gondolatmenetté alakítása, amely a 4. fejezet ("Eredmények és értékelésük") alapját képezi.

Ez a módszertani fejezet biztosítja, hogy a dolgozat következtetései ne esetleges, kiragadott információkon, hanem a releváns tudományos szakirodalom átfogó, kritikai és visszakövethető feldolgozásán alapuljanak.

4. Eredmények és értékelésük

Jelen fejezet a szakdolgozat érdemi magja, amely a 3. fejezetben bemutatott szisztematikus irodalomelemzés módszertanára támaszkodva válaszolja meg az 1.3. alfejezetben megfogalmazott négy központi kutatási kérdést. A fejezet alpontjai szorosan követik a kutatási kérdések sorrendjét, szintetizálva a legfrissebb hazai és nemzetközi tudományos eredményeket, statisztikai adatokat és intézményi jelentéseket.

4.1. A klímaváltozás hatása az őszi búza termésmennyiségére és termésbiztonságára (2025-2050)

Vizsgált kutatási kérdés: Milyen mértékben befolyásolja a klímaváltozás (hőmérséklet-emelkedés, aszály, szélsőséges időjárás) az őszi búza termésmennyiségét Magyarországon 2025-ben és várhatóan 2050-ig?

A kutatási kérdés megválaszolásához elengedhetetlen különbséget tenni a potenciális és átlagos *termésmennyiség* (t/ha), valamint a *termésbiztonság* (az évjáratok közötti ingadozás, volatilitás) alakulása között. A szakirodalmi források elemzése alapján a klímaváltozás legjelentősebb hatása Magyarországon nem feltétlenül a többéves termésátlagok drámai csökkenésében, hanem a termésbiztonság radikális romlásában és a szélsőséges évjáratok gyakoriságának növekedésében fog megmutatkozni.

4.1.1. Rövid távú (2025-ig) várható hatások és a 2021-2022-es aszály esettanulmánya

A 2025-ig tartó, rövid távú időszakban a klímakockázatot nem az éghajlati átlagok lassú eltolódása, hanem a már most is tapasztalható szélsőséges évjáratok gyakoriságának növekedése jelenti. A jelenlegi termesztési rendszer sebezhetőségének legélesebb, referenciapontként szolgáló példája a 2022-es, történelmi léptékű aszálykatasztrófa.

Ennek súlyosságát legjobban a 2021-es, kedvező évjáratral való közvetlen összehasonlítás szemlélteti.

A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatai szerint **országos szinten** az őszi búza termésátlaga 2021-ben kiemelkedően magas, 5,85 t/ha volt. Ezzel szemben 2022-ben az országos átlag 3,89 t/ha-ra zuhant, ami **33,5%-os országos termés kiesést** jelent egyetlen év alatt (KSH, 2024). Ez az átlag azonban elfedi a drámai regionális különbségeket, amelyek a 4.1.3-ban vázolt területi sebezhetőséget igazolják.

Regionális esettanulmány (KSH megyei adatok alapján):

- **A katasztrófa zóna (Dél-Alföld és Tiszántúl):** A 2022-es aszály és a hőségnapok halmozódása legbrutálisabban az ország keleti, alföldi részeit sújtotta.
 - **Jász-Nagykun-Szolnok megyében** a 2021-es 5,1 t/ha-os átlagtermés 2022-re 2,1 t/ha-ra esett vissza (kb. **-59%-os** csökkenés).
 - **Hajdú-Bihar megyében** a 2021-es 5,7 t/ha-ról 2,8 t/ha-ra zuhant az átlag (kb. **-51%-os** csökkenés).
 - **Békés megyében** a 2021-es 5,5 t/ha-os átlag 2,7 t/ha-ra csökkent (kb. **-51%-os** esés). Ezekben a megyékben a termesztés gazdaságossága teljesen összeomlott, a termésátlagok a biológiai minimum alá estek.
- **A "puffer" zóna (Nyugat-Dunántúl):** Ezzel szöges ellentétben az ország nyugati, csapadékosabb, kiegyenlítettebb klímájú részei (amelyek közelebb esnek az atlanti hatáshoz) szinte "megúszták" a 2022-es évet.
 - **Győr-Moson-Sopron megyében** a 2021-es, rekordmagas 7,1 t/ha-os átlag 2022-ben mindössze 6,4 t/ha-ra csökkent (kb. **-10%-os** esés).
 - **Vas megyében** a 2021-es 5,9 t/ha-ról 5,5 t/ha-ra mérséklődött a termés (kb. **-7%-os** csökkenés).

Ez a drámai, 2021-ről 2022-re bekövetkezett termés-szakadék egyértelműen igazolja az első kutatási kérdésre adott választ: a klímaváltozás legnagyobb rövid távú kockázata a termésbiztonság elvesztése és a regionális különbségek kiéleződése. Míg a Dunántúlon a termesztés stabil maradt, addig az Alföldön (Magyarország hagyományos éléskamrájában) a kockázat kritikussá vált. A 2022-es év bebizonyította, hogy az alföldi termőhelyek jelentős része a jelenlegi agrotechnikával és fajtaszerkezettel már nem képes pufferelni az extrém hidrológiai és hőmérsékleti stresszt.

4.1.2. Középtávú (2050-ig) előrejelzések: Modelleredmények szintézise

A 2050-ig tartó időszakra vonatkozó hatásvizsgálatok alapját a 3. fejezetben említett növénytermesztési szimulációs modellek (pl. CERES-Wheat, APSIM) és regionális klímamodellek (pl. ALADIN-Climate, RegCM) összekapcsolásával végzett kutatások adják. Ezek a kutatások (melyekben a hazai tudományos műhelyek, mint az Agrártudományi Kutatóközpont (ATK), az OMSZ és a MATE/SZIE kutatócsoportjai is élen járnak) komplex módon veszik figyelembe a változó tényezőket.

A modellezés során három fő tényező ellentétes hatását kell mérlegelni:

1. **Negatív hatás (Hő- és aszálystressz):** A növekvő hőmérséklet és a csökkenő nyári csapadék (lásd 2.1. alfejezet) súlyos abiotikus stresszt okoz.
2. **Pozitív hatás (szén-dioxid-trágyázás):** A magasabb légköri szén-dioxid koncentráció önmagában serkenti a C3-as növények (mint a búza) fotoszintézisét és javítja a vízhasznosítás hatékonyságát (lásd 2.2.2. alfejezet).
3. **Negatív hatás (Fenológiai gyorsulás):** A melegebb időjárás "sürgeti" a növényt, lerövidítve az egyes fejlődési fázisokat.

A magyarországi viszonyokra adaptált modellfuttatások (pl. Pongrácz et al., 2019; Varga, 2021; Trnka et al., 2014) eredményeinek szintézise alapján 2050-ig a következő tendenciák valószínűsíthetők:

Termésmennyiség (átlag): Adaptációs intézkedések (pl. öntözés, új fajták) nélkül a legtöbb modellkonszenzus *mérsékelt, 5-15%-os átlagos termésnövekedést* valószínűsít Magyarországon 2050-re, különösen a jelenleg is szárazabb régiókban. Bár a szén-dioxid-trágyázási hatás részben képes ellensúlyozni a negatív trendeket, a virágzás (antézis) és a szemtelítődés idején fellépő extrém hőstressz (hősokk) és a vízhiány együttes hatása erősebbnek bizonyul.

A termésnövekedés elsődleges élettani oka a szemtelítődési időszak drámai lerövidülése. A növény a hőség és az aszály hatására kényszerítésbe kezd, így kevesebb ideje marad az asszimiláták beépítésére a szemekbe, ami alacsonyabb ezermagtömeget és zsugorodott szemeket eredményez.

Termésbiztonság (ingadozás): A szakirodalmi elemzés egyértelműen kimutatja, hogy 2050-re a legnagyobb kihívást a *termésingadozás extrém növekedése* fogja jelenteni. A termésbiztonság romlása várhatóan messze meghaladja majd az átlagtermés csökkenésének mértékét.

- A 2022-eshez hasonló súlyos aszályos évek gyakorisága nő.
- Az intenzív, hirtelen lezúduló csapadékesemények (villámárvizek) gyakorisága nő, amelyek a talajerózió mellett a virágzáskori fuzáriumfertőzés (lásd 4.2. alfejezet) kockázatát is növelik.

- A hőhullámos napok számának növekedése a kritikus fenológiai fázisokban (virágzás, szemtelítődés) évről évre bizonytalanra teszi a megtermékenyülés sikerességét és a szemképződést.

Éghajlati paraméter	Jelenlegi állapot (1991-2020 átlaga)	2050-ig várható változás	Hatása az őszi búzára
Évi középhőmérséklet	kb. 10,8 – 11,2 °C	Növekedés (kb. +1,8 – 2,2 °C)	Gyorsabb fenológia, enyhébb tél (kártévő-áttelelés).
Nyári középhőmérséklet	kb. 21,0 – 21,5 °C	Erős növekedés (kb. +2,0 – 2,5 °C)	Súlyos hőstressz a szemtelítődés alatt.
Hőségnapok száma (Napi max. $\geq 30^{\circ}\text{C}$)	kb. 18-25 nap/év (területtől függően)	Erős növekedés (kb. +15 – 20 nappal több)	Fokozott kényszerítés, pollenskárosodás.
Éves csapadékösszeg	kb. 500-600 mm (Alföld), 600-800 (Dunántúl)	Bizonytalan, enyhe növekedés (főleg télen)	Nő a téli kimosódás, de a nyári aszályt nem enyhíti.
Nyári félév csapadékösszege (Ápr.-Szept.)	Változó	Egyértelmű csökkenés (kb. -15% – -20%)	Súlyos aszálystressz a szárba indulás és szemtelítődés alatt.
Csapadékintenzitás	Mérsékelt	Növekedés (több intenzív zivatar)	Hasznosulatlan víz, erős talajerózió, fuzárium-kockázat.

1. táblázat: Várható főbb éghajlati változások Magyarországon 2050-ig (az 1991-2020-as referencia-időszakhoz képest, pesszimista/közepes kibocsátási forgatókönyv [RCP4.5/SSP2-4.5] esetén)

4.1.3. Területi különbségek és regionális sebezhetőség

A klímaváltozás hatásai Magyarországon belül sem lesznek egységesek. Az ország földrajzi adottságaiból (domborzat, talajtípusok, csapadékeloszlás) fakadóan jelentős regionális különbségek várhatók 2050-ig.

1. **Legsérülékenyebb régió (Dél-Alföld):** A klímamodellek (pl. OMSZ, 2023) egyöntetűen az ország délkeleti, alföldi régióit jelölik meg a leginkább sérülékeny területként. Itt várható a legnagyobb mértékű hőmérséklet-emelkedés és a nyári csapadékcsökkenés. Ezen a területen az őszi búza (és a kukorica) öntözés nélküli termesztésének kockázata kritikusan meg fog növekedni 2050-re.
2. **Mérsékeltlen sérülékeny régiók (Dunántúl, Észak-Magyarország):** A Dunántúl csapadékosabb nyugati és déli részei, valamint az Északi-középhegység térsége várhatóan kevésbé lesznek kitéve a súlyos aszálystressznek. Ezekben a területeken az enyhébb telek és a hosszabb tenyészidőszak akár lehetőséget is teremthet a termés potenciál szinten tartására, feltéve, hogy a hőségnapok száma nem emelkedik kritikusan.

Összefoglalva az első kutatási kérdésre adott választ: A klímaváltozás 2050-ig Magyarországon az őszi búza esetében a termésátlagok mérsékelt csökkenését, de ezzel párhuzamosan a termésbiztonság drámai romlását és a termésszűkülés jelentős növekedését vetíti előre. A legnagyobb kockázatot a vegetációs időszakban gyakoribbá váló, kombinált aszály- és hőstressz-periódusok jelentik, amelyek hatása regionálisan (az Alföldön) kiemelten súlyos lesz.

4.2. A klímaváltozás hatása az őszi búza termésminőségére

Vizsgált kutatási kérdés: Hogyan hat a klímaváltozás az őszi búza termésminőségére, különösen a fehérjetartalomra, gluténminőségre, nedvesglutén-tartalomra és mikotoxin-koncentrációkra?

A klímaváltozás nem csupán a megtermelt búza mennyiségét, hanem annak beltartalmi értékeit és élelmiszer-biztonsági megfelelőségét is alapvetően befolyásolja. Az őszi búza esetében a "minőség" egy összetett fogalom, amely magában foglalja a malom- és sütőipari

felhasználhatóságot (fehérje- és sikértartalom, reológiai tulajdonságok), valamint az élelmiszer-biztonsági paramétereket (elsősorban a mikotoxin-szennyezettséget). A szakirodalmi elemzés alapján a klímaváltozás ezen paraméterek mindegyikére komplex, többirányú és többnyire negatív hatást gyakorol.

4.2.1. A fehérje- és nedvesglutén-tartalom paradoxona: Hígulás és kényszerérés

A klímaváltozás minőségre gyakorolt hatásának vizsgálatakor két, látszólag ellentétes biokémiai folyamatot kell megérteni, amelyek együttesen határozzák meg a végső fehérjetartalmat.

1. A szén-dioxid-trágyázás "hígító" hatása: Ahogy a 2.2.2. alfejezetben részletezett, a légkör megnövekedett szén-dioxid koncentrációja serkenti a búza fotoszintetikus aktivitását, ami fokozott szénhidrát-termeléshez (keményítő-felhalmozáshoz) vezet. Ezzel a folyamattal azonban a növény nitrogénfelvétele és -beépítése (amely a fehérjék alapja) nem tart lépést. Számos nemzetközi (ún. FACE – Free-Air Carbon Dioxide Enrichment) kísérlet igazolta (pl. Högy et al., 2009; Myers et al., 2014), hogy emelkedett szén-dioxid szint mellett termesztett búza termésmennyisége nőhet, de a fehérje- és nedvesglutén-tartalma, valamint számos ásványi anyag (cink, vas) koncentrációja szisztematikusan csökken. Ezt a jelenséget nevezzük "hígulási effektusnak". Ez a tendencia rontja a búza táplálkozás-élettani és sütőipari értékét.

2. Az aszály és a hőstressz "koncentráló" hatása (Kényszerérés): A növekedésre káros hatásokkal bíró folyamat a 4.1. alfejezetben már tárgyalt kényszerérés. Amikor a növényt a szemtelítődés kritikus fázisában súlyos aszály és/vagy hőstressz éri (gyakori jelenség a 2022-eshez hasonló években), az élettani folyamatok összeomlanak, a zöld felület gyorsan elhal, és a szemtelítődés idő előtt leáll.

Ennek eredménye a kisebb, "zsugorodott" szem, amelynek alacsony az ezermagtömege és a keményítőtartalma. Mivel a keményítő-felhalmozódás áll le először, miközben a fehérje-beépülés egy része már korábban megtörtént, a fehérje aránya a szem tömegéhez képest *látszólagosan* megnő. A 2022-es aszályos évjáratban paradox módon éppen ezért mértek az alacsony termésátlagok mellett kiugróan magas (14-16%) fehérjetartalmat számos alföldi

területen. Ez azonban "ál-minőség", amely nem jelent valós sütőipari értéket, és alacsony hektáronkénti fehérjehozammal párosul.

Következtetés (Fehérje): A klímaváltozás hatására a búza fehérjetartalmának stabilitása romlik. Az átlagos, normál csapadékú éveken a hígítás jelensége miatt alacsonyabb fehérjetartalomra lehet számítani, míg az aszályos-hősökkel érintett években magas, de kényszerérett, rossz minőségű termény várható.

4.2.2. A gluténminőség és a sütőipari érték romlása

A sütőipari felhasználhatóság szempontjából nem csupán a fehérje mennyisége, hanem annak *minősége*, azaz a sikérváz (glutén) szerkezete és reológiai tulajdonságai (nyújthatóság, rugalmasság) a döntőek. A szakirodalmi források (pl. az ATK Martonvásár kutatásai, Láng et al., 2018; Vida et al., 2014) egyértelműen kimutatták, hogy a szemtelítődés alatti extrém hőmérséklet (különösen a 35°C feletti hősök-periódusok) károsítja a sikérfehérjéket alkotó komponensek (gliadinok és gluteninek) szintézisét és arányát.

A hőstressz hatására:

- Csökken a nagy molekulásúlyú glutenin-alegységek (HMW-GS) aránya, amelyek a sikérváz rugalmasságáért és erősségéért felelősek.
- Nő a gliadinok aránya, amelyek a nyújthatóságot adják, de a tészta stabilitását gyengítik.

Az eredmény egy gyenge, rossz víz- és gázvisszatartó képességű sikérváz, amelyből nem lehet jó minőségű kenyeret sütni, még akkor sem, ha a fehérjetartalom (a kényszerérés miatt) papíron magas. A klímaváltozás tehát egyértelműen a malom- és sütőipari minőség romlásának irányába hat, növelve az "euro-minőségű" (takarmány) tételek arányát az étkezési minőséggel szemben.

4.2.3. A „rejtett” minőségi kár: Mikroelem-hígulás és a táplálkozás-élettani érték csökkenése

A klímaváltozás minőségre gyakorolt hatásainak vizsgálatok a szakirodalom egyre nagyobb hangsúlyt fektet egy kevésbé látványos, de közegészségügyi szempontból rendkívül súlyos jelenségre: a termények ásványianyag-tartalmának csökkenésére.

Ahogy azt a 4.2.1. alfejezet a fehérjetartalom kapcsán már tárgyalta, az emelkedett légköri szén-dioxid koncentráció "trágyázási hatása" fokozott szénhidrát-termelésre (keményítő-akkumulációra) ösztönzi a búzát. Míg ez a folyamat a termésmennyiséget növelheti, a növény ásványianyag-felvétele (pl. cink, vas) nem tart lépést a megnövekedett biomassza-képződéssel. Az eredmény ugyanaz a "hígulási effektus", ami a fehérjéket is érinti: az egységnyi terményre (búzaszemre) vetített ásványianyag-koncentráció szignifikánsan csökken.

A *Nature* folyóiratban publikált, mérőföldkőnek számító kutatás (Myers et al., 2014) hét különböző országban végzett FACE (Free-Air szén-dioxid Enrichment – Szabadlevegős szén-dioxid-dúsítás) kísérletek eredményeit szintetizálta. Az elemzés kimutatta, hogy az emelkedett szén-dioxid szint (kb. 550 ppm, amely 2050-re reális forgatókönyv) mellett termesztett búza esetében:

- a **cink (Zn) koncentrációja 9,3%-kal,**
- a **vas (Fe) koncentrációja 5,1%-kal,**
- a **fehérjetartalom pedig 6,3%-kal**

maradt el a kontroll (normál szén-dioxid szint mellett termesztett) állományokétól.

Ennek a jelenségnek a gyakorlati jelentősége óriási. A cink és a vas két esszenciális mikroelem, amelyek hiánya világszerte a leggyakoribb táplálkozási elégtelenségek közé tartozik ("rejtett éhezés"), és súlyos egészségügyi problémákhoz (pl. vashiányos vérszegénység, immunrendszeri problémák) vezet. A búza, mint alapvető élelmiszer, a világ népességének jelentős része számára a napi cink- és vasbevitel elsődleges forrása.

A klímaváltozás tehát nem csupán a sütőipari minőséget (glutén) vagy az élelmiszer-biztonságot (mikotoxinok) veszélyezteti, hanem egy alattomos táplálkozás-élettani válságot is előidézhet azáltal, hogy magát az alapélelmiszert teszi tápanyagszegényebbé. Ez a "rejtett"

minőségromlás a döntéshozók és a nemesítők számára is új kihívásokat jelent, mivel a jelenlegi minősítési rendszerek (amelyek főleg a fehérje- és sikértartalomra fókuszálnak) ezt a paramétert egyáltalán nem mérik.

4.2.4. A mikotoxin-kockázat növekedése

A minőségi paraméterek közül az élelmiszer-biztonsági kockázat jelenti a legközvetlenebb veszélyt. Az őszi búza esetében a legfontosabb kórokozó a *Fusarium* fajok (főként *F. graminearum* és *F. culmorum*) által okozott kalászfuzáriózis. Ez a gomba nemcsak a termésmennyiséget csökkenti, hanem rendkívül veszélyes mikotoxinokat, elsősorban deoxinivalenolt (DON) és zearalenont (ZEN) termel.

A fuzárium-fertőzés kialakulásának kulcsidőszaka a búza *virágzása (antézis)*. A fertőzéshez és a gomba terjedéséhez ebben az időszakban meleg (20-25°C feletti) és egyidejűleg tartósan magas páratartalom, csapadékos időjárás szükséges.

Mikotoxin	Határérték (µg/kg vagy ppb)	Vonatkozó termék	Megjegyzés
Deoxinivalenol (DON)	1250 µg/kg	Feldolgozatlan búza	Az élelmiszer-ipari feldolgozás (pl. liszt) és a csecsemőtápszerek alapanyagai esetében ennél szigorúbb (750 µg/kg vagy 200 µg/kg) limitek érvényesek.
Zearalenon (ZEN)	100 µg/kg	Feldolgozatlan búza	Hormonhatású toxin, különösen a tenyésztett állatok takarmányozásánál (sertés) jelentős kockázat.

Mikotoxin	Határérték (µg/kg vagy ppb)	Vonatkozó termék	Megjegyzés
T-2 és HT-2 toxinok (összege)	100 µg/kg	Feldolgozatlan búza	Ezek nem kötelező határértékek, hanem ún. "iránymutató" vagy "benchmark" szintek. Túllépésük esetén a hatóságnak vizsgálnia kell a szennyezés forrását.

2. táblázat: Az EU-ban érvényes legfontosabb Fuzárium-toxin határértékek feldolgozatlan őszi búzában (*Triticum aestivum*)

A klímaváltozás hatása ezen a téren is összetett:

- Változó csapadékmintázat:** Bár az átlagos nyári csapadékmennyiség csökken (4.1. alfejezet), a csapadékeloszlás jellege átalakul. A csendes, áztató esők helyett egyre gyakoribbak az intenzív, zivataros, nagy mennyiségű (20-50 mm) csapadékkal járó események (OMSZ, 2023). Ha egy ilyen intenzív csapadékfront éppen a (hőség miatt felgyorsult és korábbra tolódott) virágzási időszakot találja el, az robbanásszerű fuzárium-járványt indíthat el.
- Enyhébb telek:** Az enyhébb, fagymentesebb telek javítják a kórokozó áttelelési esélyeit a talajon maradt növényi maradványokon (pl. kukorica szárán, amely kiváló táptalaj a *F. graminearum* számára), így tavasszal magasabb fertőzési nyomás (inokulum-mennyiség) indulhat.
- Stresszhatások:** Az aszály vagy hőstressz miatt legyengült, "stresszelt" növényállomány fogékonyabb a másodlagos fertőzésekre, beleértve a kalászfuzáriózist is.

A NÉBIH és a NAK éves jelentései (pl. 2010-es, 2014-es évek) megerősítik, hogy a fuzárium-fertőzés mértéke és az ezzel járó DON-toxin szennyezettség szoros korrelációt mutat a virágzáskori időjárással. A klímaváltozás növekvő időjárási volatilitása miatt a jövőben a fuzárium-mentes és a súlyosan fertőzött (az EU-s élelmiszeripari határértéket messze meghaladó) évjáratok váltakozása várható, ami kiszámíthatatlanná teszi a termelést és komoly élelmiszer-biztonsági, illetve exportpiaci kockázatokat hordoz.

Összefoglalva a második kutatási kérdésre adott választ: A klímaváltozás komplex és negatív hatással van az őszi búza minőségére. A fehérjetartalom bizonytalanná válik (szén-dioxid-hígulás vs. aszály-koncentráció), a sütőipari értéket adó glutén szerkezete a hőstressz hatására romlik, miközben az élelmiszer-biztonsági kockázatot jelentő mikotoxin-szennyezettség valószínűsége a szélsőséges csapadékeloszlás miatt növekszik.

4.3. Az enyhítést célzó adaptációs stratégiák elemzése

Vizsgált kutatási kérdés: Mely adaptációs stratégiák – fajtanemesítés, agrotechnikai módosítások, öntözés, talajművelési rendszerek, tápanyag-utánpótlás – enyhíthetik ezeket a hatásokat leginkább?

Az előző két alfejezetben (4.1., 4.2.) részletezett negatív hatások (csökkenő termésbiztonság, romló minőség) nem tekinthetők elkerülhetetlen, determinisztikus kimenetelnek. A klímaváltozás egyben innovációs kényszert is teremt. Az agrár-szakirodalom (pl. Harnos, 2017; Fodor et al., 2020) konszenzusa szerint a hatások enyhítése lehetséges, de ez nem egyetlen csodafegyverrel, hanem csakis integrált, rendszerszintű adaptációs stratégiák együttes alkalmazásával érhető el. Ezen stratégiák célja a *reziliencia* (ellenálló- és alkalmazkodóképesség) növelése.

4.3.1. A genetikai adaptáció kulcsa: Fajtanemesítés a stressztoleranciáért

A klímaváltozáshoz való alkalmazkodás elsődleges és biológiai értelemben legfontosabb pillére a megváltozott körülményeket toleráló, új genotípusok előállítása és köztermesztésbe vonása. A hazai, nagy múltú nemesítő műhelyek (különösen az Agrártudományi Kutatóközpont [ATK] Martonvásáron és a szegedi Gabonakutató Nonprofit Kft.) évtizedek óta fókuszálnak erre a területre, munkájuk eredményei pedig már most is a gazdálkodók rendelkezésére állnak.

A klímaadaptív nemesítés céljai a korábban vázolt (4.1. és 4.2. alfejezetek) kihívásokra adnak közvetlen genetikai választ:

1. Aszály- és hőtürés: Ez a legkritikusabb nemesítési cél. A hagyományos szelekciós módszerek mellett ma már modern molekuláris eszközöket (pl. marker asszisztált szelekció - MAS) is bevetnek olyan tulajdonságok rögzítésére, mint:

- **Mélyebb, hatékonyabb gyökérzet:** Olyan fajták szelekciója, amelyek mélyebbre hatoló gyökérrendszert fejlesztenek, így a talaj alsóbb, lassabban kiszáradó rétegeiből is képesek vizet felvenni.
- **Jobb vízhasznosítás (WUE):** Olyan genotípusok, amelyek a sztómák részlegesebb nyitása mellett is hatékonyan asszimilálnak, azaz egységnyi víz felhasználásával több szárazanyagot állítanak elő.
- **Hősokk-tolerancia:** A nemesítés egyik legmodernebb iránya a virágzás és a szemtelítődés alatti extrém hőség (hősokk) elviselésére való képesség. A cél olyan fajták nemesítése, amelyek a kritikus 32-35°C feletti periódusokban is képesek a pollentermékenységüket megőrizni és a szemtelítődésért felelős enzimeiket (pl. keményítő-szintetáz) aktívan tartani (Vida et al., 2014).

2. Koraiság és a fenológia optimalizálása (Az "Elkerülés" stratégiája): A klímaváltozás egyik fő negatív hatása a kényszerérés (4.1.2.). Ennek elkerülésére az egyik leghatékonyabb stratégia a *fenológiai elkerülés* (escape). A nemesítők célja olyan korai vagy középkorai érésű fajták előállítása, amelyek még a legsúlyosabb nyár eleji aszály és hőség beköszöntése (jellemzően június közepe-vége) előtt befejezik a szemtelítődés kritikus fázisát. Ezek a fajták "elmenekülnek" a legsúlyosabb stressz elől.

3. Betegség-ellenállóság: A 4.2.4-ben tárgyalt fuzárium-kockázat miatt kiemelt fontosságú a kalászfuzáriózissal szemben ellenállóbb (rezisztens vagy toleráns) fajták nemesítése. Bár teljes rezisztencia nem létezik, a kevésbé fogékony fajták termesztése jelentősen csökkentheti a járványok kockázatát és a szükséges fungicid-felhasználást (Mesterházy et al., 2019).

Konkrét fajtapéldák a hazai nemesítésből:

A fenti célok elérését jól mutatja, hogy a Magyarországon köztermesztésben lévő, modern fajták többsége már rendelkezik valamilyen szintű adaptációs képességgel.

- **Martonvásári fajták (ATK):** A martonvásári nemesítés (Láng et al., 2018) hagyományosan az intenzív körülmények közötti nagy terméspotenciál mellett a minőségre és a stressztűrésre is fókuszál. Az olyan, széles körben elterjedt fajták, mint

az **Mv Nádor** vagy az **Mv Kormorán**, a kiemelkedő termőképességük mellett elismerten jó aszály- és hőtűréssel rendelkeznek, köszönhetően a szentelítődés alatti hőségtoleranciájuknak és a jó vízhasznosításuknak. Ezek a fajták a 2022-es aszályos évben is bizonyították, hogy a termésátlaguk messze a kritikus szint felett maradt az ország nagy részén.

- **Szegedi fajták (Gabonakutató):** A szegedi nemesítés, amely hagyományosan az alföldi, szárazabb klímához alkalmazkodott, szintén kiváló adaptív fajtákat ad a köztermesztésnek. A **GK Csillag** vagy a **GK Békés** fajták például a jó szárazságtűrésüket a kiváló kalász-egészségügyi tulajdonságokkal (pl. fuzárium-tolerancia) ötvözik, ami a 4.2.4-ben vázolt komplex (aszály + kórtani) kihívásra ad választ.

Összefoglalva, a genetikai adaptáció a legfontosabb hosszú távú válasz. A hazai nemesítő intézetek már most is biztosítanak olyan genotípusokat, amelyek a klímaváltozás körülményei között is biztonságosabban és jobb minőségben termeszthetők. A gazdálkodó felelőssége, hogy a termőhelyének és kockázati profiljának megfelelő, validáltan stressztűrő fajtát válasszon.

4.3.2. Az agrotechnikai adaptáció alapja: A vízmegőrző talajművelés és a diverzifikált vetésforgó

A genetikai potenciál (stressztűrő fajták) önmagában nem elegendő, ha az agrotechnika nem biztosítja a termőhelyi erőforrások, elsősorban a víz, maximális megőrzését. A klímaváltozás (különösen a 2022-es aszály) bebizonyította, hogy a hagyományos, mélyen forgatásos (szántásos) talajművelési rendszer a magyarországi viszonyok között egyre kockázatosabbá válik. A szántás, bár a gyomirtásban hatékony lehet, intenzíven szellőzteti, bolygatja és ezáltal szárítja a talajt, elpusztítja a talajélet (pl. giliszták) jelentős részét, és a talpszerkezet tömörödéséhez (eketalp-betegség) vezethet.

A klímaadaptív agrotechnika ezért egy teljes szemléletváltást igényel: a talaj "megfordításáról" és "porhanyításáról" a **talaj "takarására"** és a **víz "konzerválására"** kell áthelyezni a hangsúlyt.

1. Vízmegőrző, konzerváló talajművelési rendszerek:

Ennek a szemléletnek a hazai viszonyok közötti kidolgozása és megalapozása nagyban függ Birkás Márta és kutatócsoportjának nevéhez (Birkás, 2008). A cél a talaj nedvességtartalmának mindenáron való megőrzése és a talajszerkezet javítása. Ennek eszközei:

- **Mulcshagyó, konzerváló művelés (pl. strip-till, minimum-till):** Ahelyett, hogy a tarlómaradványokat (szár, levél) mélyen alászántanánk, ezeket a maradványokat a felszínen, vagy a felszín közeli rétegbe keverve hagyjuk. Ez a mulcstréteg több kulcsfontosságú funkciót lát el:
 - **Párolgáscsökkentés:** Árnyékolja a talajfelszínt és csökkenti a felszíni szélesebességet, ezzel drámaian mérsékli a nem produktív párolgás (evaporáció) mértékét.
 - **Vízérózió-védelem:** Felfogja a 4.1-ben tárgyalt intenzív, zivataros csapadékcseppek energiáját, megakadályozva a talajcserepedést és a felszíni lefolyást, segítve a víz beszivárgását.
 - **Talajélet-védelem:** A mulcs táplálékot és élőhelyet biztosít a talajlakó élőlényeknek (pl. giliszták, mikrobák), amelyek tevékenysége elengedhetetlen a porózus, jó vízgazdálkodású talajszerkezet kialakulásához.
- **Direktvetés (No-till):** A konzerváló művelés legfejlettebb formája, ahol a talajbolygatás teljesen elmarad, és a vetés speciális vetőgéppel, közvetlenül a tarlóba vagy a takarónövény-állományba történik. Bár ez a technológia magasabb szintű menedzsmentet és kezdetben más jellegű gyomirtási stratégiát igényel, hosszú távon ez biztosítja a leghatékonyabb vízmegőrzést és talajszerkezet-javulást.
- **Takarónövények alkalmazása:** A két főnövény (pl. búza aratása és a következő évi kukorica vetése) közötti időszakban vetett, céltudatosan összeállított növénymix (pl. olajretek, mustár, facélia, hüvelyesek). A takarónövények szerepe összetett:
 - Fedik a talajt, védve azt a kiszáradástól és az eróziótól (lásd JFGK 6. előírás, 4.4.1. alfejezet).
 - Gyökérzetükkel lazítják a talajt és tápanyagot tárnak fel a mélyebb rétegekből.
 - Megakadályozzák a téli csapadékkal történő tápanyag-kimosódást (különösen a nitrátét).

- Tápanyagot biztosítanak a talajélet számára, növelve a talaj szervesanyag-tartalmát és vízmegtartó képességét.

2. Diverzifikált vetésforgó:

A klímaadaptáció másik agrotechnikai pillére a monokultúras termesztés kockázatának csökkentése. A búza (és kukorica) gyakori önmaga utáni termesztése vagy e két növény váltogatása nem fenntartható. A diverzifikált vetésforgó (JFGK 7. előírás) bevezetése több szempontból is elengedhetetlen:

- **Kórtani előnyök:** Ahogy a 4.2.4-ben (Mikotoxinok) részleteztük, a fuzárium elsődleges fertőzési forrása a talajon maradt fertőzött növényi maradvány (pl. kukoricaszár). A vetésforgó megszakítja ezt a fertőzési láncot, drasztikusan csökkentve a következő évi búza fuzárium-fertőzésének kockázatát.
- **Talajszerkezeti előnyök:** A különböző gyökértípusú növények (pl. a búza sekélyebb bojtos gyökérzete, szemben egy repce vagy napraforgó mélyre hatoló karógyökerével) váltogatása különböző mélységekben lazítja és strukturálja a talajt.
- **Tápanyag-gazdálkodás:** A vetésforgóba illesztett pillangós növények (pl. borsó, szója, lucerna) képesek megkötni a levegő nitrogénjét, ezzel csökkentve a következő búzakultúra műtrágyaigényét, ami a 4.3.3-ban tárgyalt precíziós tápanyag-gazdálkodás alapját képezi.
- **Kockázatmegosztás:** Egy diverzifikáltabb vetésszerkezet (pl. őszi árpa, cirok, repce beillesztése) csökkenti a gazdaság egyoldalú kitétséget egy adott növénykultúrát sújtó specifikus klímaeseménnyel (pl. búza virágzáskori hősokk) szemben.

Összefoglalva, az adaptív agrotechnika egy rendszer, amelynek alapja a talaj takarása (mulcs, takarónövények) és bolygatásának minimalizálása (konzerváló művelés) a vízmegőrzés érdekében, valamint a vetésforgó diverzifikálása a kórtani és agronómiai kockázatok csökkentésére.

4.3.3. Tápanyag-utánpótlás és a precíziós gazdálkodás mint adaptációs eszköz

Az adaptációs stratégia harmadik pillére a genetikai potenciál (fajta) és a talajállapot (művelés) mellett a növény optimális táplálása. A klímaváltozás azonban a tápanyag-gazdálkodást is alapjaiban alakítja át, ami komplex kihívások elé állítja a hagyományos, teljes táblára egységes dózist kijuttató gyakorlatot.

1. A klímaváltozás hatása a talaj tápanyag-dinamikájára:

A megváltozott időjárási mintázatok (intenzív eső, hosszan tartó aszály, magas hőmérséklet) közvetlenül befolyásolják a tápanyagok mobilitását, felvehetőségét és hasznosulását:

- **Tápanyag-kimosódás (Leaching):** A 4.1-ben elemzett, hirtelen lezúduló, nagy intenzitású csapadékesemények (különösen a fedetlen talajfelszínen) növelik a talaj felső rétegéből a legmobilabb tápelemek, elsősorban a **nitrogén (N)** kimosódásának kockázatát, mielőtt a növény hasznosítani tudná azt. Ez nemcsak gazdasági veszteség, de súlyos környezeti (pl. vizeket terhelő) probléma is.
- **Felvehetetlenség aszály idején:** A hosszan tartó aszályos periódusok gátolják a tápanyagok (különösen a foszfor és a kálium) oldódását a talajnedvességben. Így a tápanyagok *felvehetetlenné* válnak a gyökérzet számára, még akkor is, ha a talajvizsgálati eredmények alapján elegendő mennyiségben vannak jelen a talajban.
- **Felgyorsult mineralizáció és stresszhatás:** A magasabb talajhőmérséklet gyorsítja a szerves anyagok mineralizációját, ami a tápanyagok idő előtti, a növény fenológiájával (fejlődési ütemével) nem szinkronizált feltáródásához vezethet. Ezzel párhuzamosan az aszály és a hőség miatti élettani stressz (pl. sztómazárás) rontja a növény képességét a már felvett tápanyagok hatékony asszimilálására.
- **Kálium (K) szerepe:** A megfelelő kálium-ellátás kulcsfontosságú az adaptációban, mivel a kálium közvetlenül szabályozza a növényi gázcsere nyílások (sztómák) záródását és nyitódását. A jól ellátott növény hatékonyabban gazdálkodik a vízzel, ami növeli az aszálytűrését.

2. A precíziós gazdálkodás és a digitális agronómia:

A fenti kihívásokra a válasz nem a több, hanem az *okosabban* kijuttatott tápanyag. A hagyományos, "átlagra" alapozott tápanyag-gazdálkodás a klímaváltozás körülményei között pazarló és környezetszennyező. A megoldást a precíziós gazdálkodás jelenti, amely a táblán belüli különbségeket (heterogenitást) kezeli.

- **Differenciált Tápanyag-kijuttatás (VRA - Variable Rate Application):** Ahelyett, hogy az egész táblára egységes dózist juttatnánk ki, a technológia lehetővé teszi, hogy csak oda és csak annyi műtrágyát juttassunk ki, amennyit az adott talajfolt (menedzsment zóna) víz- és tápanyag-szolgáltató képessége indokol. Egy aszálysújtotta, gyengébb talajfoltra felesleges és káros a magas N-dózis, míg egy jobb vízgazdálkodású foltban az extra tápanyag megtérülhet.
- **Digitális döntéstámogatás (DSS - Decision Support Systems):** A precíziós kijuttatás alapja az adat. A modern agronómia már nemcsak talajmintavételre, hanem digitális technológiákra is támaszkodik:
 - **Távérzékelés (Műhold, Drón):** A vegetációs indexek (pl. **NDVI** - Normalized Difference Vegetation Index) monitorozása segít valós időben azonosítani a stresszes állományfoltokat. Az NDVI-térképek alapján pontosan meghatározható, hogy a tábla mely részei igényelnek beavatkozást (pl. célzott fejtrágyázást).
 - **Talajszkennerek:** Ezek az eszközök folyamatosan mérik a talaj fizikai és kémiai tulajdonságait (pl. vezetőképesség, pH, szervesanyag-tartalom), lehetővé téve a nagy felbontású talajtérképek és menedzsment zónák létrehozását.
 - **Hozamtérképezés:** A modern kombájnok képesek betakarítás közben hozamtérképet készíteni, ami pontosan megmutatja, hogy a tábla mely részei teremtek jól vagy rosszul. Ez az adat a következő évi tápanyagterv alapja.

Összefoglalva, a klímaadaptív tápanyag-gazdálkodás elhagyja az "átlagra tervezés" gyakorlatát, és a digitális adatokra (távérzékelés, hozamtérkép) alapozott precíziós kijuttatással (VRA) biztosítja, hogy a növény a megfelelő helyen és időben jusson hozzá a szükséges tápanyaghoz, minimalizálva a környezeti terhelést és a gazdasági veszteséget a stresszes évjáratokban.

4.3.4. Az öntözésfejlesztés mint stratégiai, de korlátos lehetőség

A 4.1. alfejezetben elemzett, egyre súlyosbodó aszálykockázat mérséklésének legközvetlenebb és leghatékonyabb agronómiai eszköze az öntözés. A vízpótlás képes stabilizálni a terméshozamokat, és ami talán még fontosabb, képes biztosítani a minőséget azáltal, hogy megakadályozza a virágzáskori pollensterilitást és a szemtelítődés alatti kényszerérést (4.2. alfejezet). A 2022-es aszályt követően az öntözésfejlesztés állami és gazdálkodói prioritássá vált.

Ennek ellenére a magyarországi szántóföldi kultúrák, és különösen az őszi búza öntözöttsége rendkívül alacsony (az összes szántóterület alig 1-2%-a). A szakirodalmi források (pl. AKI jelentések; Vízügyi Stratégia dokumentumai) és a gazdasági elemzések alapján az öntözés széleskörű elterjedésének komoly korlátai vannak, így az őszi búza esetében nem tekinthető általános "csodafegyvernek", sokkal inkább egy lokális, stratégiai eszköznek.

1. A vízkészlet-gazdálkodás paradoxona: A klímaváltozás nemcsak az aszályt súlyosbítja, hanem magát a vízkészletet is veszélyezteti. Az öntözés vízigénye pontosan akkor (késő tavasszal, kora nyáron) a legnagyobb, amikor a klímaváltozás miatt a felszíni vizek (folyók) vízhozama a legalacsonyabb, a párolgás pedig a legmagasabb. A kizárólag a folyókra alapozott öntözés ezért hosszú távon nem fenntartható. A valódi megoldás a téli és tavaszi csapadéktöbblet *helyben tartása* (vízmegtartás) lenne, amely nagy infrastrukturális beruházásokat (pl. víztározók, duzzasztók építése, a főművek rekonstrukciója) igényel. A talajvízkészletek túlzott igénybevétele ökológiai kockázatokat rejt magában és nem jelent fenntartható megoldást.

2. A beruházás gazdasági korlátai (ROI): Az öntözésfejlesztés rendkívül tőkeigényes. A modern, víztakarékos öntözőrendszerek (pl. lineáris vagy center-pivot rendszerek) telepítésének hektáronkénti költsége rendkívül magas. Ez a hatalmas kezdeti beruházás (CAPEX), valamint a magas üzemeltetési költség (OPEX – elsősorban az energiaár a szivattyúzáshoz) nehezen térül meg egy viszonylag alacsonyabb árszintű tömegtermény, mint az őszi búza esetében. Gazdasági szempontból az öntözőberendezés telepítése általában csak akkor éri meg, ha a vetéskörben magasabb jövedelmezőségű kultúrák (pl. csemegekukorica, vetőmag-előállítás, szója, zöldségfélék) is szerepelnek, és az őszi búza "csak" élvezi a már kiépített infrastruktúra előnyeit.

3. Adminisztratív és birtokpolitikai korlátok: A beruházási költségeken túl a gazdálkodók gyakran áthidalíthatatlan adminisztratív és strukturális akadályokba ütköznek. A vízjogi engedélyezési eljárások (vízkivételi engedélyek) rendkívül lassúak és bonyolultak. Emellett a magyarországi, történelmileg kialakult, rendkívül elaprózódott birtokszerkezet (osztatlan közös tulajdon, kisméretű, szétszórt parcellák) megnehezíti a nagy, egybefüggő, öntözhető táblák kialakítását.

Összefoglalva, bár az öntözés agronómiai szempontból a leghatékonyabb válasz az aszályra, gazdasági és infrastrukturális korlátai miatt várhatóan 2050-ig sem válik általános gyakorlattá az őszi búza termesztésében. A reális stratégia az öntözés lokális, célzott alkalmazása ott, ahol a vízkészlet fenntarthatóan biztosított és a vetésciklus jövedelmezősége azt indokolja. Az országos adaptáció alapja továbbra is a 4.3.2. alfejezetben tárgyalt vízmegőrző talajművelés és a talajok vízmegtartó képességének javítása marad.

4.4. Az EU-s agrárpolitika (KAP) szerepe a fenntartható termesztésben

Vizsgált kutatási kérdés: Hogyan járulnak hozzá az EU-s agrárpolitikai eszközök, különösen a KAP (Közös Agrárpolitika) reformjai és támogatási rendszerei, a fenntartható őszi búza termesztéséhez?

A 4.3. alfejezetben bemutatott adaptációs stratégiák (pl. konzerváló talajművelés, vetésciklus, precíziós gazdálkodás) bevezetése jelentős kezdeti beruházást, tudásátadást és a bevett gyakorlatoktól való eltérést igényel a gazdálkodók részéről. Ezen stratégiák terjedése elképzelhetetlen a megfelelő gazdasági ösztönzők és politikai keretrendszer nélkül. Ezt a keretrendszert Magyarországon alapvetően az Európai Unió Közös Agrárpolitikája (KAP) határozza meg. A 2023-ban indult új, 2027-ig tartó KAP ciklus minden korábbinál erősebb hangsúlyt fektet a környezeti és éghajlati célkitűzésekre ("zöldítés").

4.4.1. A 2023-2027-es KAP "Zöld Architektúrája"

Az új KAP szakított a korábbi, többnyire csak adminisztratív terheket jelentő "zöldítéssel", és egy sokkal rugalmasabb, de célzottabb rendszert vezetett be. Ennek lényege, hogy a

területalapú támogatások (I. pillér) jelentős részét éghajlati és környezeti vállalások teljesítéséhez köti. Az őszi búza termesztése szempontjából a legfontosabb elemek a következők:

1. Feltételeesség (Korábbi Kölcsönös Megfeleltetés): Ez az alaptámogatás feltételrendszere, amely kötelezően betartandó minimumkövetelményeket (JFGK - Jó Mezőgazdasági és Környezeti Állapot) ír elő. Az őszi búza termesztéséhez közvetlenül kapcsolódó legfontosabb előírások:

- **JFGK 5: Talajerózió csökkentése:** Különösen lejtős területeken ír elő kötelező védelmi sávokat vagy művelési gyakorlatokat (pl. rétegvonalas művelés), amelyek közvetlenül csökkentik a 4.2.3-ban említett intenzív csapadékesemények okozta talajvesztést.
- **JFGK 6: Minimális talajborítás:** Előírja a talaj takarását a téli, leginkább csapadékos időszakban, ami segíti a víz befogadását és csökkenti a kimosódást. Az őszi búza mint őszi vetésű kalászos ennek a feltételnek természetéből adódóan megfelel.
- **JFGK 7: Vetésváltás:** Kötelező vetésforgó alkalmazását írja elő a gazdaságok jelentős részén, megtörve ezzel a búza és kukorica monokultúráját. Ez közvetlenül hozzájárul a 4.3.2-ben tárgyalt diverzifikációhoz és a fuzárium-kockázat csökkentéséhez.

2. Agro-ökológiai Program (AÖP): Ez az új KAP ciklus legfontosabb innovációja, egy önkéntes, egyéves vállalási rendszer az I. pilléren belül. A gazdálkodók a kötelező feltételelességen *felül* vállalhatnak környezetbarát gyakorlatokat, amelyekért kiegészítő támogatást kapnak. Az őszi búza termesztői számára releváns, választható AÖP-gyakorlatok (a 2024-es Magyar KAP Stratégiai Terv alapján):

- **Minimális talajművelés vagy direktvetés:** Közvetlen pénzügyi ösztönzést nyújt a 4.3.2-ben elemzett vízmegőrző, konzerváló talajművelési rendszerek alkalmazására.
- **Takarónövények alkalmazása:** Támogatja a másodvetésű takarónövények vetését, amely javítja a talaj szervesanyag-tartalmát és vízgazdálkodását.
- **Növényvédőszer-használat csökkentése:** Támogatja a mikrobiológiai készítmények (pl. talajbaktériumok, biopeszticidok) használatát a szintetikus vegyszerek helyett.

4.4.2. A II. pillér szerepe: AKG és precíziós beruházások

Míg az I. pillér (AÖP, feltételesség) az éves agrotechnikát ösztönzi, a II. pillér (Vidékfejlesztési Támogatások) a hosszabb távú beruházásokat és elköteleződést célozza.

1. Agrár-Környezetgazdálkodási Kifizetések (AKG): Az AKG egy többéves (jellemzően 5 éves), az AÖP-nél szigorúbb és komplexebb vállalásokat tartalmazó program. Az őszi búzát is magába foglaló szántóföldi programok jellemzően szigorúbb vetésforgót, tápanyag-gazdálkodási tervek készítését és a szerves trágyázás előtérbe helyezését írják elő, amelyek mind a talaj rezilienciáját növelő adaptációs stratégiák.

2. Beruházási támogatások (Öntözés és Precíziós gazdálkodás): A II. pillér biztosít forrást a 4.3.3. és 4.3.4. alfejezetekben tárgyalt technológiai fejlesztésekhez. A Magyar KAP Stratégiai Terv kiemelt prioritásként kezeli:

- Az öntözőrendszerek kiépítésének és korszerűsítésének (pl. víztakarékos csepegtető vagy lineár rendszerek telepítése) támogatását.
- A precíziós gazdálkodásra való átállás támogatását: ide tartozik a precíziós vetőgépek, differenciált műtrágyaszórók, hozamtérképező kombájnok és a kapcsolódó digitális infrastruktúra (pl. talajszkennerek, drónok) beszerzésének társfinanszírozása.

4.4.3. Az agrárpolitika korlátai, gazdasági realitásai és a gazdálkodói viselkedés

Bár a 2023-2027-es KAP "Zöld Architektúrája" papíron minden eddiginél jobban ösztönzi a klímaadaptációt, a szakirodalmi elemzés (pl. AKI, MATE kutatások) és a gazdálkodói visszajelzések alapján a rendszer hatékonyságát több jelentős tényező is korlátozza. A probléma gyökere gyakran a politikai cél (klímavédelem) és a gazdálkodói realitás (jövedelemmaximalizálás, kockázatkerülés) közötti ütközésben rejlik.

1. Az AÖP-paradoxon: A "könnyű pontok" választása a valódi adaptáció helyett

Az Agro-ökológiai Program (AÖP) önkéntes jellege és pontrendszer (ahol a támogatás eléréséhez minimális pontszámot kell gyűjteni) a gyakorlatban nem feltétlenül a

leghatékonyabb adaptációs technikákat ösztönzi. Az Agrárközgazdasági Intézet (AKI) és más agrárszakmai szervezetek (pl. NAK) 2023-as és 2024-es évre vonatkozó adatai és elemzései egyértelműen mutatják, hogy a gazdálkodók – teljesen racionális gazdasági döntést hozva – azokat a vállalásokat részesítik előnyben, amelyek:

- a legkisebb többletköltséggel vagy beruházással járnak,
- a legkönnyebben integrálhatók a meglévő technológiába,
- és a legkisebb adminisztratív terhet jelentik.

Ennek eredményeképpen a legnépszerűbb választható AÖP-gyakorlatok jellemzően a **"zöldugar"** (meghatározott terület pihentetése) vagy a **"talajtakarás gyep vagy évelő zöldsakarmánnal"** lettek. Ezzel szemben a klímaadaptáció szempontjából kulcsfontosságú, valódi szemléletváltást igénylő gyakorlatok, mint a **minimális talajművelés (4.3.2.)** vagy a **direktvetés**, sokkal alacsonyabb választási arányt mutatnak. Ennek oka, hogy ezen technikák bevezetése új, drága gépek (pl. speciális vetőgép) beszerzését, a gyomirtási stratégia teljes újragondolását és gyakran az első években (a talajbiológia átállásáig) termés kiesést is jelenthet. Az AÖP jelenlegi, hektáronkénti fix támogatása (kb. 80-82 euró/ha) gyakran nem elegendő ezen kezdeti költségek és kockázatok fedezésére, így a gazdálkodó inkább választja a "biztonságos", de klímahatás szempontjából kevésbé értékes zöldugart.

2. A rövid távú szemlélet és a beruházások megtérülési bizonytalansága

Az AÖP egyéves vállalási ciklusa alapvetően gátolja a hosszú távú, rendszerszintű adaptációt. A 4.3.2. alfejezetben részletezett konzerváló talajművelési rendszer agronómiai előnyei (pl. javuló talajszerkezet, növekvő szervesanyag-tartalom, jobb vízgazdálkodás) nem egy év alatt, hanem csak 3-5 éves következetes munka eredményeként jelentkeznek. Az egyéves támogatási ciklus bizonytalanságot teremt, és nem ösztönzi a gazdálkodókat ilyen hosszú távú, elköteleződést igénylő váltásra.

Hasonló a helyzet a II. pilléres beruházási támogatásokkal (pl. precíziós eszközök, öntözés). Bár a KAP Stratégiai Terv biztosít társfinanszírozást (pl. 50%-os támogatási intenzitás) ezen technológiák beszerzésére, a klímaváltozás okozta termésingadozás (4.1. alfejezet) és az alacsony terményárak mellett a gazdálkodók önrésze és a beruházás megtérülése (ROI) rendkívül bizonytalan.

3. Tudáshiány, adminisztráció és a szaktanácsadás (AKIS) hiányosságai

A legfejlettebb adaptációs stratégiák (pl. a 4.3.3-ban tárgyalt precíziós adatfeldolgozás, a 4.3.2-es direktvetés menedzsmentje) alkalmazása magas szintű, naprakész digitális és agronómiai szaktudást igényel. Az új KAP bevezette az ún. AKIS (Agrártudás- és Innovációs Rendszer) koncepciót, amelynek célja a kutatás, az oktatás és a szaktanácsadás összekapcsolása a tudás gyors átadása érdekében. A gyakorlatban azonban a gazdálkodók jelentős része (különösen a kisebb és közepes méretű gazdaságok) nem fér hozzá célzott, gyakorlatias, a saját termőhelyi viszonyaira szabott szaktanácsadáshoz. E tudáshiány nélkül a komplex adminisztrációs rendszer (feltételeesség, AÖP, AKG párhuzamos teljesítése) és a fejlett technológiák útvesztőnek tűnnek, ami tovább erősíti a kockázatkerülő, hagyományos termesztési gyakorlatok fenntartását.

Összefoglalva a negyedik kutatási kérdésre adott választ: A 2023-2027-es KAP reformjai elméleti szinten jelentős előrelépést jelentenek a klímaadaptív gyakorlatok ösztönzésében. A rendszer valódi, gyakorlati sikere azonban kétséges. A gazdálkodók racionális gazdasági döntéseik során (az AÖP-választásokban) gyakran a könnyebb, de kevésbé hatékony adaptációs formákat választják. A rendszer sikere a jövőben azon múlik, hogy az agrárpolitika képes-e a rövid távú adminisztratív vállalások helyett a valódi, hosszú távú agronómiai szemléletváltást (pl. konzerváló művelés) magasabb, célzottabb és kevésbé bürokratikus támogatással ösztönözni, valamint biztosítani az ehhez szükséges szaktudás eljutását a termelőkhez.

5. Következtetések és javaslatok

A szakdolgozat a 3. fejezetben bemutatott szisztematikus szakirodalom-elemzés módszertanával, a 4. fejezetben pedig részletesen megválaszolta a bevezetőben (1.3. alfejezet) megfogalmazott négy kutatási kérdést. Az elemzés szintetizálta a klímaváltozás (hőmérséklet-emelkedés, aszály, időjárási szélsőségek) őszi búzára gyakorolt mennyiségi, minőségi és élelmiszer-biztonsági hatásait, valamint értékelte a lehetséges adaptációs stratégiákat és az azokat ösztönző agrárpolitikai keretrendszert.

Jelen fejezet célja, hogy a 4. fejezet részletes eredményei alapján, konklúzió-szerűen összefoglalja a legfőbb következtetéseket, és azokra építve célzott javaslatokat fogalmazzon meg a gyakorlati termesztés, az agrárpolitika és a jövőbeli kutatások számára.

5.1. Fő következtetések

Az elvégzett elemzés alapján a kutatási kérdésekre adott válaszokból az alábbi fő következtetések vonhatók le:

- **1. (Termésmennyiség): A legnagyobb kockázat a termésbiztonság drámai romlása.** A 4.1. alfejezet elemzése alapján 2050-ig a klímaváltozás Magyarországon nem feltétlenül a többéves *átlagtermés* radikális csökkenését fogja okozni az őszi búza esetében (a becsült csökkenés 5-15% adaptáció nélkül), hanem a *termésbiztonság* drámai romlását. A 2022-es aszályévhez hasonló, extrém évjáratok gyakoriságának növekedése és a termésingadozás (volatilitás) fokozódása jelenti a legnagyobb gazdasági és ellátásbiztonsági kihívást. A sebezhetőség regionálisan (Dél-Alföld) kritikusan magas.
- **2. (Termésminőség): Instabil beltartalom és növekvő élelmiszer-biztonsági kockázat.** A 4.2. alfejezet rámutatott, hogy a klímaváltozás a minőségi paraméterekre is negatívan hat.
 - *Fehérje és siker:* A minőség instabillá válik. Az emelkedő szén-dioxid-szint "hígítja" a fehérjetartalmat, míg a hőstressz és aszály okozta kényszerérés látszólag "koncentrálja" azt, de mindkét esetben romlik a valós sütőipari érték (gluténszerkezet) a szennelítődés alatti hősokek miatt.
 - *Mikotoxinok:* A szélsőséges csapadékeloszlás (hosszú aszályok, majd intenzív zivatarok a virágzás idején) és az enyhébb telek szisztematikusan növelik a kalászfuzáriózis és az általa termelt DON-toxin szennyezettség kockázatát, ami komoly élelmiszer-biztonsági és exportpiaci veszélyt jelent.
- **3. (Adaptáció): Nincs egyetlen megoldás, csak integrált rendszerszemlélet.** A 4.3. alfejezet elemzése egyértelműsítette, hogy a negatív hatások enyhítésére nincs egyetlen "csodafegyver" (sem a nemesítés, sem az öntözés önmagában). A reziliencia növelésének leghatékonyabb útja egy komplex, termőhely-specifikus, integrált stratégia, amelynek pillérei:
 - *Genetika:* Stressztűrő (aszály- és hőstoleráns), de a termőhelyhez (pl. koraiság) illeszkedő fajták.
 - *Agrotechnika:* Vízmegőrző talajművelési rendszerek (pl. konzerváló művelés, direktvetés, takarónövények) és diverzifikált vetésforgó.

- *Technológia:* A precíziós gazdálkodás eszközeinek (pl. differenciált tápanyag-utánpótlás) alkalmazása a ráfordítások optimalizálására.
- **4. (Agrárpolitika): A KAP-ösztönzők jó irányba mutatnak, de a sikerük a gyakorlati megvalósításon múlik.** A 4.4. alfejezet alapján a 2023-2027-es Közös Agrárpolitika (KAP) "zöld architektúrája" (feltételeesség, AÖP, AKG) és a II. pilléres beruházási támogatások (precízió, öntözés) elméletben hatékonyan ösztönzik a 3. következtetésben azonosított adaptív gyakorlatokat. A rendszer sikere azonban bizonytalan a magas adminisztrációs terhek, az önkéntes programok (AÖP) rövid távú szemlélete és a gazdálkodói tudásátadás hiányosságai miatt.

5.2. Javaslatok

A levont következtetések alapján a fenntartható és klímareziliens őszi búza termesztés érdekében az alábbi javaslatok fogalmazhatók meg:

A mezőgazdasági termelők számára:

1. **Szemléletváltás a kockázatkezelés irányába:** A gazdálkodási stratégia fókuszát a "maximális termésátlag" eléréséről a "termésbiztonság növelése és a kockázat minimalizálása" felé szükséges eltolni. El kell fogadni, hogy a stabil, kiszámítható hozam még alacsonyabb átlag mellett is jövedelmezőbb lehet, mint a szélsőségesen ingadozó, magas kockázatú termesztés.
2. **A vízmegőrző talajművelés prioritása:** A 2022-es aszály tanulsága alapján az adaptáció alapja a talajban lévő víz megőrzése. A forgatás nélküli, konzerváló talajművelési rendszerek (pl. mulchhagyó művelés, strip-till, no-till) és a takarónövények alkalmazásának szélesebb körű bevezetése alapvető fontosságú, különösen az Alföldön.
3. **A precíziós technológiák mint a hatékonyság kulcsa:** A dráguló inputanyagok (műtrágya) és a bizonytalan időjárás mellett a precíziós gazdálkodás (differenciált tápanyag-kijuttatás, változó tőszámú vetés) már nem választható opció, hanem a jövedelmezőség fenntartásának elengedhetetlen eszköze.

Az agrárpolitika és -irányítás számára:

4. **A KAP-ösztönzők finomhangolása:** Az AÖP (Agro-ökológiai Program) keretében a valódi, hosszú távú klímaadaptációt (pl. direktvetés, talajszervesanyag-növelés) jelentő gyakorlatokat magasabb támogatási intenzitással kell ösztönözni, mint a könnyebben teljesíthető, de kisebb hatású vállalásokat (pl. zöldugar). Az adminisztrációs terhek csökkentése elengedhetetlen a gazdálkodói részvétel növeléséhez.
5. **A vízgazdálkodás rendszerszintű fejlesztése:** A lokális öntözésfejlesztési beruházások támogatása mellett szükség van egy országos szintű vízgazdálkodási stratégiára, amely a csapadékvíz helyben tartására (víz megtartás, tározás) és a talajok vízbefogadó képességének javítására (talajszerkezet-javítás) fókuszál.
6. **Gyakorlatorientált tudásátadás és szaktanácsadás:** Az új adaptív technológiák (pl. konzerváló művelés, precíziós eszközök) és a KAP-vállalások sikeres integrálása elképzelhetetlen egy célzott, államilag támogatott szaktanácsadói hálózat és gyakorlati bemutató-üzemek (demofarmok) hálózatának fejlesztése nélkül.

A kutatás-fejlesztés számára:

7. **Fókusz a kombinált stressztoleranciára:** A nemesítési programoknak a jövőben még inkább az egyidejűleg fellépő aszály- és hősokk-toleranciára kell koncentrálniuk, mivel e két stresszfaktor együttes hatása (mint azt a 4.1. fejezetben láttuk) a legnagyobb terméslimitáló tényező.
8. **Digitális előrejelző rendszerek fejlesztése:** Szükség van a regionális, nagy felbontású agrometeorológiai és kórtani (különösen fuzárium) előrejelző rendszerek továbbfejlesztésére, amelyek a precíziós gazdálkodás adatigényét valós időben ki tudják szolgálni, segítve a célzott növényvédelmi és tápanyag-utánpótlási döntéseket.

6. Összefoglalás

A klímaváltozás korunk egyik legmeghatározóbb globális kihívása, amelynek hatásai az agráriumot, és azon belül Magyarország stratégiai fontosságú kultúráját, az őszi búzát kiemelten érintik. Jelen szakdolgozat célja az volt, hogy szisztematikus szakirodalom-elemzés módszerével feltárja, hogy a változó éghajlati feltételek – különösen a hőmérséklet-emelkedés, a súlyosbodó aszályperiódusok és a szélsőséges időjárási események – milyen mennyiségi, minőségi és élelmiszer-biztonsági hatásokkal járnak az őszi búza termesztésére nézve Magyarországon, várhatóan 2050-ig. A dolgozat továbbá arra kereste a választ, hogy ezen negatív hatások mérséklésére mely adaptációs stratégiák (a nemesítéstől az agrotechnikáig) a leghatékonyabbak, és hogy a jelenlegi EU-s agrárpolitikai keretrendszer (KAP) milyen mértékben ösztönzi ezen stratégiák gyakorlati alkalmazását.

A dolgozat 3. fejezetében bemutatott módszertanra – naprakész hazai és nemzetközi klímamodellek, növényélettani kutatások, intézményi (pl. KSH, OMSZ, NAK, AKI) jelentések és agrárpolitikai dokumentumok szintézisére – építve a 4. fejezetben részletes elemzésre kerültek a kutatási kérdések.

Az eredmények alapján a dolgozat legfőbb következtetése, hogy a klímaváltozás 2050-ig nem elsősorban a többéves *termésátlagok* drasztikus csökkenését, hanem a *termésbiztonság* radikális romlását és a termésingadozás extrém növekedését fogja okozni. A 2022-es aszályévhez hasonló évjáratok gyakoriságának növekedése jelenti a legnagyobb gazdasági kockázatot, különösen az ország legsérülékenyebb dél-alföldi régiójában.

A mennyiségi kockázatok mellett az elemzés feltárta a *minőség* romlásának komplex problémakörét is. A hőstressz károsítja a sütőipari értéket adó sikérszerkezetet, miközben a fehérjetartalom a szén-dioxid "hígító" hatása és az aszály "koncentráló" kényszerérése miatt instabillá válik. Ezzel párhuzamosan a szélsőséges csapadékeloszlás (a virágzáskor érkező intenzív zivatarok) és az enyhébb telek növelik a kalászfuzáriózis és a kapcsolódó mikotoxin-szennyezettség élelmiszer-biztonsági kockázatát.

A negatív hatások enyhítésére a dolgozat 5. fejezete megállapította, hogy nincs egyetlen univerzális megoldás. A reziliencia növelésének kulcsa egy integrált, rendszerszintű adaptáció, amelynek három fő pillére van:

1. **Genetika:** Stressztűrő (aszály- és hőség toleráns) fajták alkalmazása.
2. **Agrotechnika:** A vízmegőrző talajművelési rendszerek (pl. konzerváló művelés, direktvetés) és a diverzifikált vetésciklus prioritása.
3. **Technológia:** A precíziós gazdálkodás eszközeinek (pl. differenciált tápanyag-kijuttatás) alkalmazása a hatékonyság növelésére és a ráfordítások optimalizálására.

Végül a dolgozat értékelte az agrárpolitikai keretrendszert. Megállapítást nyert, hogy a 2023-2027-es Közös Agrárpolitika (KAP) új "zöld architektúrája" (pl. az Agro-ökológiai Program - AÖP) és a vidékfejlesztési beruházási támogatások elméleti szinten hatékonyan ösztönzik ezen adaptív gyakorlatok bevezetését. A rendszer gyakorlati sikere azonban a gazdálkodói adminisztrációs terhek csökkentésén és a célzott, gyakorlatorientált tudásátadás hatékonyságán múlik. A dolgozat javaslatokat fogalmazott meg a termelők (szemléletváltás a kockázatkezelésre), az agrárpolitika (célzottabb ösztönzők) és a kutatás (kombinált stressztolerancia) számára.

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni őszinte köszönetemet témavezetőmnek, Dr. Tarnawa Ákos egyetemi docensnek, aki szakmai irányításával, folyamatos támogatásával és értékes meglátásaival nagymértékben hozzájárult a szakdolgozatom elkészüléséhez. Türelme, kritikai észrevételei és a kutatási folyamat során nyújtott segítsége nélkülözhetetlenek voltak ahhoz, hogy a munka a jelenlegi formájában valósulhasson meg.

Köszönettel tartozom továbbá családomnak és barátaimnak, akik a dolgozatírás teljes időszaka alatt biztattak és támogató háttérrel biztosítottak számomra.

8. Irodalomjegyzék

- Agrárközgazdasági Intézet [AKI] (2024). *Agrárpiaci Jelentések: Gabona és Olajnövények. (2023-2024. évi jelentések)*. AKI, Budapest.
- Agrárminisztérium (2022). *Magyarország KAP Stratégiai Terve 2023-2027*. Agrárminisztérium, Budapest. Letölthető: <https://kormany.hu/publicapi/document-library/magyarorszag-kap-strategiai-terve-2023-2027/download>
- Agrártudományi Kutatóközpont (2023). *Martonvásári Búzafajták 2023. [Fajtakatalógus]*. ATK Növénytermesztési Intézet, Martonvásár.
- Ainsworth, E. A., & Rogers, A. (2007). The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: mechanisms and environmental interactions. *Plant, Cell & Environment*, 30(3), 258-270.
- Az Európai Bizottság (2023). *A Bizottság (EU) 2023/915 rendelete (2023. április 25.) az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeiről és az 1881/2006/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről*. Az Európai Unió Hivatalos Lapja, L 119/103.
- Barnabás, B., Jäger, K., & Fehér, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell & Environment*, 31(1), 11-38.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., & Gelybó, G. (2007). Regional Climate Change Expected in Hungary for 2071-2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5(1), 1-17.
- Birkás, M. (2008). A növénytermesztés és a klímaváltozás összefüggése. In: Harnos Zs. & Csete L. (Szerk.), *Klímaváltozás: környezet – kockázat – társadalom, kutatási eredmények*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 131-135.
- FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations] (2024). *FAOSTAT Database: Crops and livestock products*. Letöltve: 2024. október, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Gabonakutató Nonprofit Kft. (2023). *Őszi búza fajtakatalógus 2023/2024*. [Fajtakatalógus]. Gabonakutató, Szeged.
- Hawkins, E., Osborne, T. M., Ho, C. K., & Challinor, A. J. (2013). Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: An idealised case study over Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 19-33.

- Högy, P., Wieser, H., Köhler, P., Schwadorf, K., Breuer, J., Franzaring, J.,... & Fangmeier, A. (2009). Effects of elevated CO₂ on grain yield and quality of wheat: results from a 3-year free-air CO₂ enrichment experiment. *Plant Biology*, 11(S1), 60-69.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Genf, Svájc.
- Központi Statisztikai Hivatal (2024). *STADAT Adatbázis (pl. Mezőgazdasági termelés (megyei adatok); Gabonafélék termése és vetésterülete)*. KSH, Budapest. Letöltve: 2024. október.
- Myers, S. S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A. D., Bloom, A. J.,... & Schwartz, J. (2014). Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*, 510(7503), 139-142.
- Nemzeti Agrárgazdasági Kamara [NAK] (2022). *Jelentés a 2022. évi rendkívüli aszályhelyzet mezőgazdasági hatásairól*. NAK, Budapest.
- Országos Meteorológiai Szolgálat (2023). *Időjárás visszatekintő: 2022. év*. OMSZ Klíma Osztály, Budapest. Letölthető: <https://www.met.hu/downloads.php?fn=/metadmin/doc/2023/03/a52992dbd3a5e2f7fd8a9d528388afd4-omsz-idojarasi-beszamolo-2022.pdf>
- Semenov, M. A., & Shewry, P. R. (2011). Modelling predicts that heat stress, not drought, will increase vulnerability of wheat in Europe. *Scientific Reports*, 1(1), 66.
- Spinoni, J., Vogt, J. V., & Barbosa, P. (2018). Will drought events become more frequent and severe in Europe? *International Journal of Climatology*, 38(4), 1718–1736.
- Trnka, M., Eitzinger, J., Semerádová, D., Hlavinka, P., Balek, J.,... & Fodor, N. (2014). Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change*, 4(7), 637-641.
- Basky, Z. (2012). The role of climatic factors in the population dynamics of cereal aphids and BYDV infection. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 47(2), 273-281.
- Békés, F., Gras, P. W., & Anderssen, R. S. (2011). Heat stress on wheat quality: The role of proteins. In: *Wheat Science and Trade*. (Ed. A. Millar). Wiley-Blackwell.

- Fodor, N., & Pásztor, L. (2020). Az AgroMo-modell alkalmazása a klímaváltozási hatásvizsgálatokban. *Agrokémia és Talajtan*, 69(1), 115-128.
- Harnos, Zs. (2017). A klímaváltozás várható hatásai a magyar mezőgazdaságra. In: *Agrárklíma* (Szerk.: V. Balázs). Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 88-105.
- Jolánkai, M., & Németh, T. (2017). A klímaváltozás hatása az őszi búza fenológiájára. *Növénytermelés*, 66(1), 5-15.
- Keszthelyi, S. (2018). *A változó klíma és termesztéstechnológia hatása a szántóföldi kultúrák kártevőire*. Agrofórum Kft., Budapest.
- Láng, L., & Vida, G. (2018). *A martonvásári búzanemesítés új eredményei és kihívásai a klímaváltozás tükrében*. Előadás, XXX. Növénynevelési Tudományos Napok, Budapest.
- Láng, L., Karsai, I., & Vida, G. (2020). A búza genetikai alkalmazkodóképessége a klímaváltozáshoz. *Magyar Tudomány*, 181(5), 754-762.
- Mesterházy, Á., Tóth, B., & Varga, M. (2019). Fusarium head blight and mycotoxin contamination of wheat: A 40-year summary. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(1), 44-54.
- Novák, R. (2017). Az invazív C4-es gyomnövények terjedésének klimatikus okai. *Növényvédelem*, 53(7), 301-308.
- Pongrácz, R., Bartholy, J., & Pieczka, I. (2019). Várható éghajlati tendenciák a Kárpát-medencében a RegCM regionális klímamodell eredményei alapján. *Időjárás (Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service)*, 123(2), 247-270.
- Reisinger, P., & Ujvárosi, M. (2018). A herbicidrezisztencia helyzete Magyarországon. *Magyar Gyomkutatás és Technológia*, 19(1), 5-15.
- Szépszó, G. (2019). Klímamodellezés és regionális klímaszcenáriók Magyarországra. In: *A klímaváltozás hatásai és az adaptáció lehetőségei*. (Szerk.: Kovács A.). MTA, Budapest. pp. 45-68.
- Tóth, B., Varga, M., & Mesterházy, Á. (2021). The impact of climate change on Fusarium species and mycotoxins in wheat. *European Journal of Plant Pathology*, 159, 811-824.
- Varga, B. (2021). *A szentelítődés alatti hőstressz hatása a búza minőségi paramétereire*. PhD értekezés, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem.
- Varga, B., Bónis, P., & Varga-László, E. (2018). Effect of heat stress during anthesis on grain setting in winter wheat. *Acta Agronomica Hungarica*, 66(2), 195-204.

- Vida, G., Láng, L., Karsai, I., & Bedő, Z. (2014). Breeding for heat tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) in Martonvásár. *Acta Agronomica Hungarica*, 62(1), 59-69.

9. Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: Várható főbb éghajlati változások Magyarországon 2050-ig (az 1991-2020-as referencia-időszakhoz képest, pesszimista/közepes kibocsátási forgatókönyv [RCP4.5/SSP2-4.5] esetén).....	25
2. táblázat: Az EU-ban érvényes legfontosabb Fuzárium-toxin határértékek feldolgozatlan őszi búzában (<i>Triticum aestivum</i>).....	31

10. Mellékletek

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat / diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: KOSZORA VIJCE
A Hallgató Neptun kódja: OPB4V3
A dolgozat címe: A KLIMAVÁLTOZÁS HATÁSA ÉGÉS TERHESEKRE MÓDSZER TERVEZÉS ÉS MÉRÉS
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: NOVÉNYTERHESELTÉSI TUDOMÁNYI INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: AGROKÓMIAI TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2025 év 11 hó 11 nap

Kosza Vijce

Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

NYILATKOZAT

KSZÓRY VINCE (név) (hallgató Neptun azonosítója: OPB104)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre **javaslom / nem javaslom**².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2022 év 11 hó 11 nap

Tamara Ákos
belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	KOSZORU VIKTOR
Neptun-kódja:	OPBAV3
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	
A munka címe:	Alkalmazottak felvételénél az AI segítségével készített interjúk

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

- A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.
(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)
- B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.
(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztens vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrekció, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
fordítás, nyelvi korrekció, ötletelés	Gemini	

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

--	--	--	--

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pé. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használatát engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

—
.....
.....
.....
.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Budapest, 2025. 11 hó 11 nap
Nincs valószínű az MI káros hatása ellenőrzésére

.....
Hallgató aláírása

Tamara Ákos
.....
Konzulens/Témavezető aláírása