

# **SZAKDOLGOZAT**

**Tolnai Bence Gábor**  
**Mezőgazdasági mérnök**

Gödöllő  
2025



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
**Szent István Campus**  
**Mezőgazdasági mérnökök Szak**  
**A klímaváltozás hatása a kukorica termésmennyiségére**  
**és-minőségére**

**Belső konzulens: Tarnawa Ákos**  
Egyetemi docens

**Készítette: Tolnai Bence Gábor**  
FJY9WN  
Nappali

**Intézet/Tanszék:** Növénytermesztési-  
tudományok Intézet, Agronómia tanszék

Gödöllő  
2025

Tartalomjegyzék:

<b>1.</b>	<b>Bevezetés .....</b>	<b>4</b>
1.1	Célkitűzések.....	5
<b>2.</b>	<b>Szakirodalmi áttekintés .....</b>	<b>6</b>
2.1	Kukoricatermesztés a világon és hazai viszonylatban.....	6
2.2	A kukoricatermesztés jelenlegi helyzete Magyarországon.....	9
2.3	A kukorica környezeti igényei.....	10
2.4	Magyarország klimatikus viszonyai és változása.....	13
2.5	A klímaváltozás hatása a mezőgazdaságra és a kukoricatermesztésre .....	16
2.6	Magyarországon alkalmazott talajművelési eljárások.....	20
2.7	A vízgazdálkodás és öntözés szerepe a kukoricatermesztésben.....	24
<b>3.</b>	<b>Anyag és módszer .....</b>	<b>27</b>
3.1	A vizsgálat tudományos háttere és célkitűzései.....	27
3.2	A vizsgált területek agroökológiai jellemzése .....	28
3.3	A felhasznált adatok és források.....	29
3.4	A statisztikai elemzések módszertana.....	30
3.5	A vizsgált talajművelési rendszerek .....	30
3.6	A feldolgozott adatok összefoglalása .....	31
3.7	Az adatok megbízhatósága és korlátai.....	32
3.8	A vizsgálat újszerűsége.....	32
<b>4.</b>	<b>Eredmények és értékelésük .....</b>	<b>33</b>
4.1	A kukorica hozamok alakulása különböző talajművelési rendszerekben.....	33

4.2	Az éghajlati tényezők hatása a hozamokra.....	34
4.3	A klíma és a talajművelés kölcsönhatása.....	34
4.4	A hozamok statisztikai értékelése.....	35
4.5	Fenntarthatósági és klímaadaptációs szempontok.....	35
<b>5.</b>	<b>Következtetések és javaslatok .....</b>	<b>37</b>
<b>6.</b>	<b>Összefoglalás .....</b>	<b>39</b>
<b>7.</b>	<b>Köszönet nyilvánítás .....</b>	<b>41</b>
<b>8.</b>	<b>Irodalomjegyzék .....</b>	<b>42</b>
8.1	Internetes források .....	44
<b>9.</b>	<b>Ábrajegyzék .....</b>	<b>46</b>
<b>10.</b>	<b>Táblázatjegyzék.....</b>	<b>47</b>
<b>11.</b>	<b>Mellékletek.....</b>	<b>48</b>

# 1. Bevezetés

A klímaváltozás ma a legbonyolultabb és legszélesebb körű globális kihívásként jelenik meg, amely minden emberi társadalmi szektort érint. Különösen a mezőgazdaságot sújtja, mivel a növénytermesztés szorosan függ a klimatikus tényezőktől: a hőmérsékleti viszonyoktól, a csapadékmennyiségtől, az aszályok gyakoriságától, valamint az egyre gyakrabban előforduló extrém időjárási eseményektől.

A mezőgazdaság alapvető szerepet tölt be a globális élelmezésbiztonságban, így mint a klímára érzékeny ágazatok egyike, a termelés is jelentős alkalmazkodási nyomás alatt áll. Az éghajlatváltozás hatásai szinte mindenütt nyomon követhetők. Az elmúlt évtizedekben egyértelműen emelkedik az átlaghőmérséklet, a szélsőséges időjárási jelenségek, mint az aszály, hőhullám, jégeső, villámárvíz egyre gyakrabban mutatkoznak fel, miközben a csapadékeloszlás egyre kiszámíthatatlanabbá alakul. E tényezők mélyrehatóan befolyásolják a növények növekedését, a fotoszintézis erősségét, s nemcsak a terméshozamot, hanem annak minőségét is. Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2023-as jelentése már most azt mutatja, hogy a globális átlaghőmérséklet több mint 1,1 °C-kal szökött fel az iparosodás előtti szinthez képest, és a prognózisok szerint a felmelegedés lendülete a következő néhány évtizedben sem mutat lassulásra hajlást. A magyar mezőgazdaság rendkívül kitett a klímaváltozás ingadozásaira.

Az ország a mérsékelt övezet kontinentális éghajlatának határán fekszik, ami egyúttal a perzselő nyári napokat és a periodikus csapadékhányt is megszenvedi. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) több mint egy évszázados feljegyzései szerint 1901 és 2020 között hazánk átlaghőmérséklete körülbelül 1,7 °C-tal emelkedett, míg a csapadékmennyiség közel tíz százalékkal visszaesett. Ezek a változások kedvezőtlenül érintik a szántóföldi növénytermesztést, különösen az olyan nagy vízigényű növényeket, mint a kukorica (*Zea mays*). A kukorica a magyar agrárszektor egyik alappillére. Szerepe gazdasági, élelmezési és ipari szempontból egyaránt kimagasló.

Magyarország az Európai Unió egyik legnagyobb kukoricatermelője, de a hozamok erősen függenek az időjárás viszonyainak változékonyságától, ezért gyakran mutatnak jelentős

ingadozást. A 2022-es rendkívül száraz évben például a kukorica országos termésátlaga mindössze 3,3 tonnát ért el hektáronként, ami az elmúlt három évtized legkisebb értéke (KSH, 2025). Ez egyértelműen rámutat, hogy a klímaváltozás már nem csupán jövőbeni fenyegetés, hanem a jelenlegi termelési eredményeket is alapvetően átalakítja. Az intelligens mezőgazdaság és a korszerű technológiai megoldások új lehetőségeket nyithatnak a klímaváltozás káros hatásainak mérséklésére. Az adatvezérelt döntéshozatal, a célzott inputfelhasználás, az automatizált géprendszerek és a helyspecifikus gazdálkodás együtt teszik lehetővé a termelés hatékonyságának növelését, miközben csökkentik a környezetterhelést. E technológiák beépítése a magyar mezőgazdaságba nélkülözhetetlen ahhoz, hogy a termelés hosszú távon fenntartható és versenyképes maradjon.

## **1.1 Célkitűzések**

Dolgozatom arra törekszik, hogy átfogó képet adjon a klímaváltozás kukoricatermesztésre kifejtett hatásairól, különösen a termésmennyiség és a minőség alakulásának változásaira fókuszálva. A szakirodalmi áttekintésben feltárom a magyar és a nemzetközi kutatások legfontosabb eredményeit, rávilágítok a klimatikus trendek dinamikus alakulására, megvizsgálom a hazai mezőgazdaság alkalmazkodási lehetőségeinek sokféleségét, valamint részletesen bemutatom a precíziós gazdálkodás kulcsszerepét a klímaadaptációban.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1 Kukoricatermesztés a világon és hazai viszonylatban

A növénytermesztés terén a gabonafélék kiemelkedő szerepet játszanak, és ezek között a kukorica különösen jelentős. Erre jó példa, hogy a világ összes termőterületének mintegy 11%-át, körülbelül 1,874 milliárd hektárt a kukoricatermesztés használja ki (FAOSTAT). A kukorica őshazájáról Geisler (1980) úgy gondolja, hogy a növény az amerikai kontinensről, különösen Dél-Brazília és Paraguay környékéről származik.

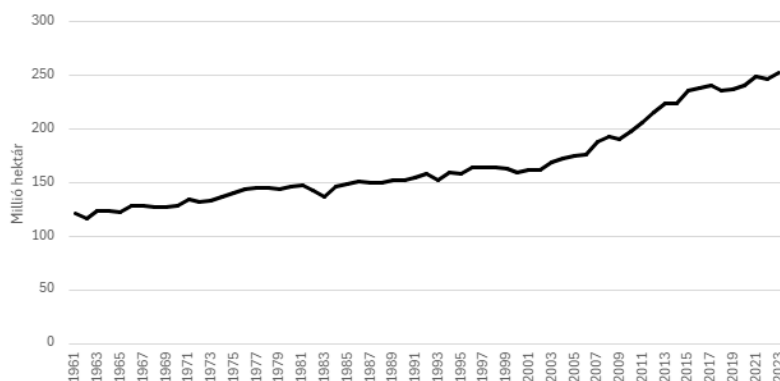
Már a 16. század vége felé megjelent Magyarországon a kukorica, a 17. század elején pedig a termesztése fellendült. 1950-1960 között az országos átlaghozam szinte háromszorosra emelkedett: 2,2 t/ha-ról 6 t/ha-ra nőtt. Ezzel hazánk felzárkózott a kukoricatermesztés élmezőnyéhez (Bocz et al., 1996).

#### 2.1.1 Globális helyzetkép és termelési trendek

Az elmúlt három évtizedben a világ kukoricatermesztő területei csak mérsékelten, mégis folyamatosan bővültek: 1991 és 2021 között a termesztési terület mintegy 54%-kal növekedett, 133,63 millió hektárról 205,87 millió hektárra növekedve (**1. ábra**). A termés mennyisége ennél is élénkebben változott, 144%-os növekedést produkálva, 1991-ben 494 millió tonna, 2021-re pedig már 1,210 milliárd tonna lett (FAOSTAT).

**1. ábra:** A világon termesztett kukorica termőterülete millió hektárban (1961-2023)

(Forrás: Saját szerkesztés, FAOSTAT adatai alapján)



A klímaváltozás ugyanakkor egyre nagyobb kihívást jelent: a termésingadozások növekednek, különösen az alacsony szélességi körök közelében (Rosenzweig et al., 2014).

### 2.1.2 Hazai sajátosságok

Az **1. táblázat** adatai alapján jól látszik, hogy a magyar kukoricatermesztés az elmúlt több mint három évtizedben elég változékony volt: a vetésre szánt terület, a termésátlag és a betakarított mennyiség is jelentős hullámvölgyeket mutatott.

Az 1990-es években és a 2000-es évek kezdetén a vetésterület nagysága megközelítőleg 1,1-1,2 millió hektár körül mozgott, és viszonylag egyenletesnek bizonyult. A 2010-es évektől azonban fokozatos visszaesés vette kezdetét. 2022-ban már csak 817 ezer hektárra csökkent, ami a feljegyzett adatok szerint történelmi mélypontnak számít, de 2024-re kis mértékben ismét emelkedett, elérve 883 ezer hektárt.

A termésátlagok az időjárási szélsőségek hatására jelentős, évről évre változó ingadozást mutatnak. Különösen csapadékos, kedvező időszakokban - például 2014-ben, 2016-ban vagy 2020-ban - a hozamok gyakran átlépték a 8 tonna/ha küszöböt, míg aszályos éveknél, mint 2003, 2012 vagy 2022, a termésátlag már 4 tonna/ha alá süllyedt. Ennek következményeként a betakarított mennyiség is hullámzó képet festett: a csúc éveken a 9 millió tonna feletti szintet érte, míg a leggyengébb időszakokban alig 3 millió tonna alá csökkent (KSH, 2025).

A magyar kukoricatermesztésben a hozamok erőteljes ingadozása főként a klimatikus tényezők változékonyságából ered, ezért a stabil, átlagos termés elérése érdekében elengedhetetlenek az adaptív, rugalmas termesztéstechnológiai megoldások.

#### **1. táblázat:** Magyarország kukoricatermesztésének főbb mutatói (1990-2025)

(Forrás: Saját szerkesztés, KSH, 2025-ös adatai alapján)

Év	Vetésterület (ezer ha)	Termésátlag (t/ha)	Termés (t)
1990	1 082	4,09	4425,38
1991	1 106	6,71	7421,26
1992	1 159	3,65	4230,35
1993	1 121	3,5	3923,5

1994	1 204	3,85	4635,4
1995	1 033	4,43	4576,19
1996	1 053	5,61	5907,33
1997	1 059	6,41	6788,19
1998	1 023	5,95	6086,85
1999	1 115	6,38	7113,7
2000	1 193	4,15	4950,95
2001	1 258	6,22	7824,76
2002	1 206	5,05	6090,3
2003	1 145	3,95	4522,75
2004	1 190	7	8330
2005	1 198	7,56	9056,88
2006	1 215	6,82	8286,3
2007	1 079	3,73	4024,67
2008	1 192	7,47	8904,24
2009	1 177	6,39	7521,03
2010	1 079	6,47	6981,13
2011	1 230	6,5	7995
2012	1 191	4	4764
2013	1 243	5,44	6761,92
2014	1 191	7,82	9313,62
2015	1 146	5,79	6635,34
2016	1 012	8,63	8733,56
2017	989	6,82	6744,98
2018	939	8,49	7972,11
2019	1 028	8,06	8285,68
2020	981	8,58	8416,98
2021	1 055	6,13	6467,15
2022	817	3,41	2785,97
2023	771	8,15	6283,65
2024	883	6,03	5324,49

## 2.2 A kukoricatermesztés jelenlegi helyzete Magyarországon

Magyarország mezőgazdasági palettáján a kukorica a búzával együtt a legkiemelkedőbb szántóföldi növények közé sorolható. Kiterjedt termesztési területe és jelentős termésmennyisége miatt stratégiai jelentőséget képvisel. Ezzel szemben a termelés jövedelmezősége egyre inkább a versenyképességétől függ, mivel a hazai termelők folyamatosan a globális piaci nyomásokkal és kihívásokkal mérkőznek meg. Az elmúlt években az ukrainai kukorica alacsony áron, gyakorlatilag dömpingként jelent meg az uniós, köztük a magyar piacokon, miközben a hazai kukorica előállítási költségei jóval magasabbak, mint az ukrán párja. Az uniós és a nemzeti támogatások bár részben mérséklék ezt a költségkülönbséget, egyáltalán nem képesek teljes mértékben ellensúlyozni azt. A termelőknek most a hatékonyságuk javítására kell törekedniük, ami az agrárszektorban elengedhetetlen. Ennek egyik sarkalatos eleme a precíziós gazdálkodásra való átállás, amely a fajlagos termelési költségeket csökkenti, egyúttal a termésátlagot is fokozza. Így a precíziós technológiák bevezetése kulcsfontosságú lépésként szolgál a hazai kukoricatermesztés versenyképességének erősítésében (Boros, 2023).

Az időjárásban megjelenő szélsőségek, leginkább a klímaváltozás miatt gyakrabban előforduló aszályok már jelentősen befolyásolják a kukoricatermesztés jelenlegi helyzetét. A 2022-es rendkívül súlyos aszály rámutatott a magyar öntözési infrastruktúra hiányosságaira. Az évek óta elhanyagolt öntözőrendszer következtében a kukorica terméseredménye drámai visszaesést mutatott. Egykor Magyarország a világ élvonalában, a 15. helyen állt a kukorica hozamok tekintetében, ám az öntözés hiánya ma már sebezhetőbbé teszi a termelést az időjárás változásai ellen. A hőmérséklet további emelkedése és a csapadékmennyiség lényeges növekedésének hiánya együtt a talajok kiszáradásához vezet, ami komoly kihívást jelent a mezőgazdaság számára. Kutatások szerint a hosszú ideig tartó aszály okozta termés kiesés sokkal nagyobb kárt mér a rossz fizikai-biológiai állapotú, kimerült talajokon, míg a jó kondíciójú talajok képesek fokozni a terület aszálytűrését (Jolánkai & Birkás, 2010).

## 2.3 A kukorica környezeti igényei

### 2.3.1 Talajigény

A talaj tápanyagellátottságának megőrzéséhez fontos tényező a tápanyag utánpótlása, mely alapja az évente a kultúrák által az adott területen hasznosított tápanyagok utánpótlása. A növények tápanyagigényüket két forrásból tudják fedezni, a talaj felvehető tápanyagtartalmából, valamint a kijuttatott trágyákból.

A kukorica elég rugalmasan viszonyul a talajok változatos jellemzőihez, így hagyományosan nem számít olyan igényes növénynek, mint más gabonafélék. Ennek ellenére, ha bőséges és stabil hozamra van szükség, a mély, jó vízgazdálkodású, humuszban és tápanyagban gazdag, közép-kötött vályogtalajok a legalkalmasabbak. Az ilyen talajok nagy vízmegtartó- és tápanyagszolgáltató képességük révén egyenletesebb növekedést és nagyobb termésbiztonságot biztosítanak. A kukorica pH-igénye a semlegeshez közeli tartományban van: a 6,0-7,2 közötti talaj-pH tekinthető optimálisnak. Erősen savanyú, 5,0 alatti pH-ú talajokon már jelentősen visszaeshet a fejlődés, például alumínium- vagy mangántoxicitás alakulhat ki. A kukorica nemcsak túlél, hanem a meszes, lúgos talajokban is remekül fejlődik: ha gondosan öntözzük, már a 8,5-ös pH-ig is hatékonyan, eredményesen termeszthető a meszes földeken (Bicskei K., 2008).

Kukoricatermesztésre alkalmas talajok közé tartoznak a tápanyagokban gazdag ártéri öntéstalajok, csernozjomok, a jó vízgazdálkodású homokos vályogtalajok, humuszos homoktalajok és a kötöttebb réti agyagtalajok is, ha mélylazítással gondoskodunk a jobb levegőzésről. Lényeges, hogy a talaj megfelelően szellőzzön: a kukorica ugyanis különösen érzékeny a felgyülemlett vízre és a gyenge légcserére. Kötöttebb talajokon ezért a mélylazítás, illetve a megfelelő talajszerkezet kialakítása alapvető követelmény. Nem gazdaságos a kukoricatermesztés a nagyon gyenge termékenységű vagy rossz vízháztartású földeken, így: a futóhomokon (tápanyagszegények, csekély vízmegtartó képességűek), a hideg, nyirkos és levegőtlen (víznyomásos) talajokon, illetve a sekély termőrétegű területeken. Az ilyen területeken a kukorica gyökerei gyakran nem jutnak elegendő vízhez és levegőhöz, ami jelentősen korlátozza a növekedést és a termés mennyiségét. Kivételes esetben a korai érésű

hibridek laza vagy szikes talajokon is megtermeszthetők, de a szikes környezetben mindenképpen öntözésre van szükség a sikeres terméshez (Bicskei K., 2008).

A kukorica tenyeztetési időszakában a vízfogyasztás nagyjából 450-550 mm, ami a hazai éghajlaton a szántóföldi növények között közepesen magas vízigényt jelent. A legkritikusabb szakasz a címerhányás (virágzás) és a szemkitelítődés, amikor a megfelelő vízellátás hiányában a termésbiztonság jelentősen romolhat. Ebben a tekintetben a talaj vízmegőrző képessége kulcsfontosságú: egy jó vízgazdálkodású talaj nagyobb vízkészletet tud tárolni, ezáltal enyhítve az aszálystresszt. Az alábbi táblázat (**2. táblázat**) szemlélteti a különböző talajfélések vízmegtartó képességét. Megfigyelhető, hogy a homokos talaj csupán csekély mennyiségű vizet képes megtartani, míg a magas agyagtartalmú talaj jelentősen több vizet képes megtartani (Dóka et al., 2022).

**2. táblázat:** A különböző talajtípusok vízmegtartó képessége Magyarországon

(Forrás: Saját szerkesztés, Szilágyi J., (2022) adatai alapján)

Talajtípus	Vízmegtartó képesség (%)	Jellemző területek
Homok	5	Duna-Tisza köze
Vályog	20-25	Nyugat-Dunántúl, Hevesi-síkság
Kötött agyag	90-100	Dél-Dunántúl, Békés megye

### 2.3.2 Tápanyagigény

Az adatok egyértelműen mutatják, hogy a kukorica nitrogénigénye rendkívül magas, a káliumigénye szintén kiemelkedő, míg a foszforigény mérsékeltebb, bár jó termés esetén mégis jelentős mennyiségű tápanyagot von el a növény. A hozamok növeléséhez elkerülhetetlen a nitrogéntrágyák célzott alkalmazása a növekedési időszak alatt többszörös, jól elosztott adagolással, valamint a foszfor- és különösen a káliumpótlás, hogy a talaj tápanyagtartalma a megfelelő szinten maradjon. (**3. táblázat**)

A nitrogén a kukorica legfontosabb táplálékforrása: hiányában a növény gyengén fejlődik, kevesebb levél és vékonyabb szár alakul ki. Bár a nitrogénfelvétel a fejlődési

időszakban nagyjából egyenletes, a vegetatív szakasz első felében, körülbelül a 4-8 levelet érő korban különösen lényeges, hogy ne legyen hiány. Ezért a nitrogéntrágyázást érdemes több szakaszban végezni: indítótrágyát a vetéskor, majd fejtrágyát a korai növekedés során, mindezt a talaj nitrogén-ellátó képességének figyelembevételével. A túlzott vagy időben nem megfelelő nitrogénbevitelt mindenképpen mellőzni kell, mivel egyrészt környezeti veszélyt rejt (kimosódás formájában), másrészt a kukorica a növekedési időszakon kívül (ősszel-télen) már nem képes a talajból kimosódott nitrogént hasznosítani.

A foszforigény mérsékelt: talajokban, ahol a foszforellátás már jó, a friss foszfortrágya hatása gyakran csak enyhén mutatkozik meg, de a megfelelő P-ellátás továbbra is kulcsfontosságú a gyökérképződés és a generatív szervek, a szemek, a terméskezdemények, egészséges fejlődéséhez. A kukorica virágzási szakaszában különösen nagy jelentősége van a megfelelő foszformennyiségnek. A foszfortrágyát általában alaptrágyaként ősszel javasolt bevetni, míg tavasszal, főleg hűvösebb talajok esetén, indító, sor menti foszfortrágyázással lehet támogatni a kezdeti növekedést.

Az optimális káliumellátás nemcsak megerősíti a növény szárazságtűrését, hanem emeli a termés minőségét is. Ennek fényében a kukorica termesztésénél a kálium-trágyázásra különösen nagy figyelmet kell szentelni. Homokos talajon ráadásul ügyelni kell arra, hogy a bejuttatott kálium könnyen elmosódhat a gyökérszónából, ezért bölcs megoldás a tápanyag adagolását megfontoltan, akár felosztva, elosztani. (Kiss G., 2008)

**3. táblázat:** A kukorica tápanyagigénye és a legfontosabb makroelemek aránya

(Forrás: Kiss G., 2008)

Tápanyag	Igény (kg/tonna termés)
Nitrogén (N)	25-30
Foszfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	10-12
Kálium (K <sub>2</sub> O)	20-25

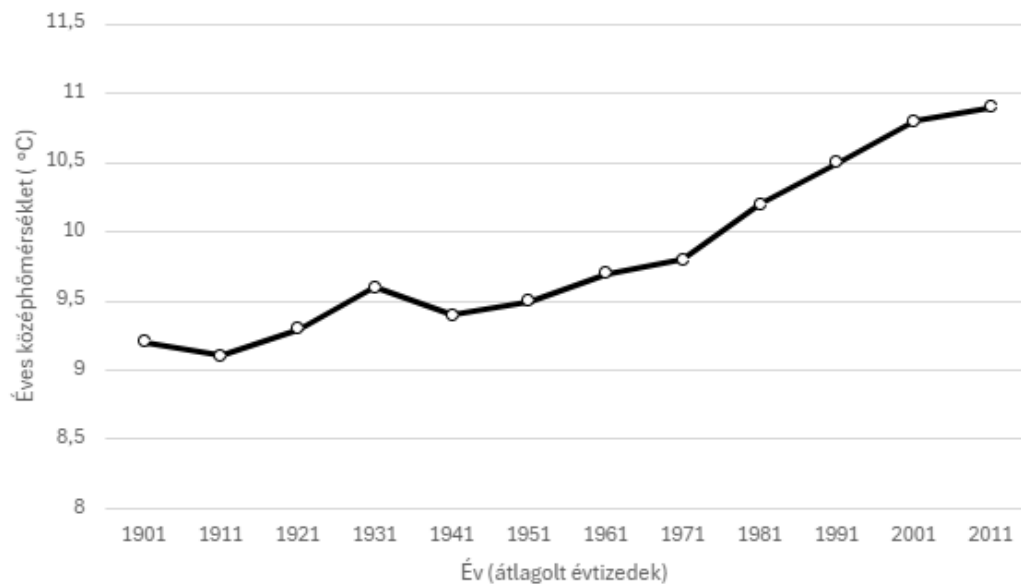
## 2.4 Magyarország klimatikus viszonyai és változása

Magyarország klímája mérsékelt, övi, erősen kontinentális, de egyben átszótt óceáni és mediterrán hatásokkal. Az alföldi részeken az éves átlaghőmérséklet körülbelül 10-11 °C, míg a hegyvidékeken ezt általában alacsonyabb értékek jellemzik. A 1991-2020 közötti normálidőszakban az éves átlagos csapadékmennyiség tipikusan 500-800 mm, ám a különböző területeken jelentős eltérések figyelhetők meg. A domborzati viszonyok és a tengerhez közeli távolság erősen alakítja a csapadékeloszlást: a nyugati és hegyvidéki régiókban gyakrabban hullik eső, míg az Alföld délkeleti szakaszai viszonylag szárazabbak. Az éves napsütéses órák száma nagyjából 1900-2100 óra, amely északnyugatról délkelet felé fokozatosan növekszik (HungaroMet, Dobi, 2021).

A jelenkori éghajlatváltozás fényében hazánkban is egyre nyilvánvalóbbá válik a klimatikus viszonyok trendjének eltolódása. Az Országos Meteorológiai Szolgálat homogenizált adatbázisa alapján 1901 és 2020 között körülbelül 1,2 °C-os országos átlaghőmérséklet-emelkedés történt. Ez a felmelegedés nem csupán a globális trendekkel van összhangban, hanem az elmúlt évtizedekben még jobban felgyorsult. A nyarak melegek a legerőteljesebben (átlag +1,3 °C), de a többi évszakban is 1,0–1,2 °C körüli növekedés tapasztalható (**2. ábra**). Ennek következtében a fagyos napok ( $T_{\min} \leq 0$  °C) száma drámaian visszaesett, ma már mintegy 19 nappal kevesebb olyan nap van, amikor a minimumhőmérséklet a fagypontra süllyed, mint a 20. század elején. Ezzel egy időben a hőségnapok és a hőhullámok (tartósan 35 °C feletti maximumokkal) gyakorisága is emelkedett. Az alábbi grafikon (**3. ábra**) szemlélteti ezt a folyamatot, bemutatva a 1901–2020 közötti országos átlaghőmérséklet anomáliáit az 1991–2020-as normálhoz viszonyítva (HungaroMet, Lakatos et al., 2021).

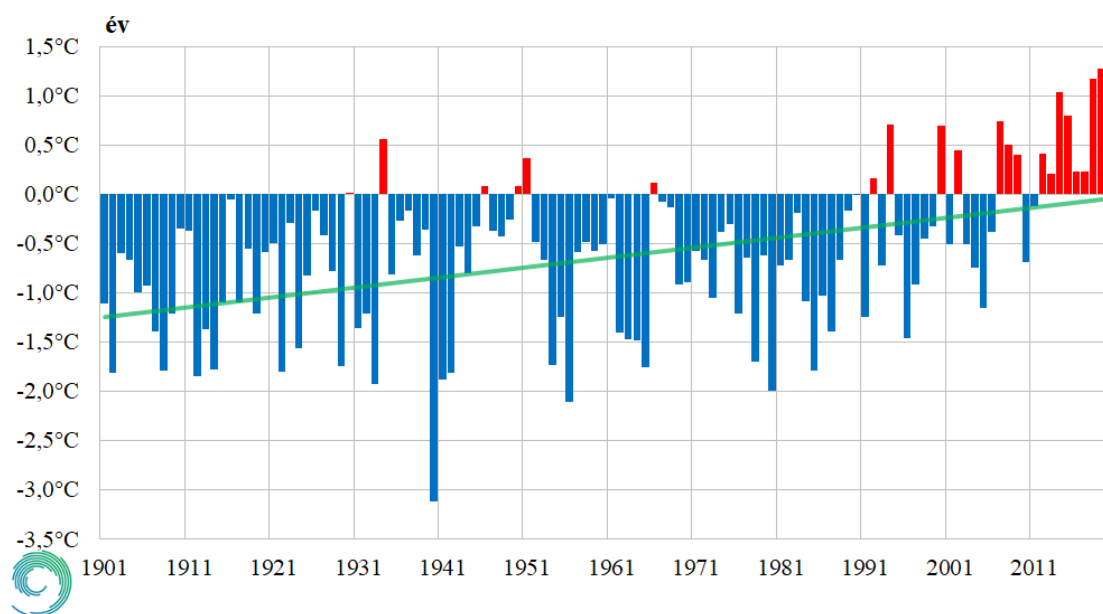
**2. ábra:** Magyarország éves középhőmérsékletének változása (1901-2020)

(Forrás: Saját szerkesztés, HungaroMet adatai alapján)



**3. ábra:** Magyarország éves középhőmérsékletének anomáliái (°C) 1901 és 2020 között. Az értékeket az 1991–2020 időszak átlagához viszonyítottuk. (Homogenizált, interpolált országos átlagok alapján).

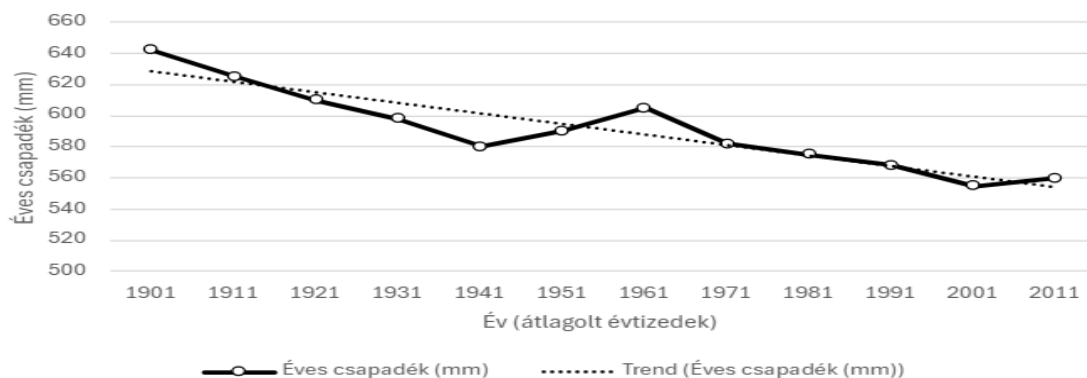
(Forrás: HungaroMet)



A fenti ábra (**3. ábra**) jól mutatja, hogy a 21. század első fele a mérések megkezdése óta a legforróbb időszaknak számít, a hőmérsékleti csúcsok pedig egyesével is megdöntik a korábbi rekordokat. Az utóbbi 40 évben a felmelegedés intenzíven felgyorsult: az 1980-as évektől egészen a jelenkorig legtöbb évben az átlag felett maradt az átlaghőmérséklet. A nyári hőhullámok egyre erősebbek, a telek pedig lágyabbak, a tartós fagy pedig egyre ritkábban jelentkezik. Eközben a csapadékeloszlás egyre összetettebbé válik. Az éves csapadékmennyiségben hosszú távon enyhén csökkenő tendenciát figyelhetünk meg, 1901–2020 között kb. 4%-os csökkenést mutat az éves csapadék átlagos mennyisége (616,9 mm-ről körülbelül 592 mm-re). Az éves csapadék erőteljes ingadozása miatt nem könnyű egyértelmű trendet felállítani: voltak hosszabb szárazabb időszakok (pl. az 1910-es években és nagyjából 1940 körül) és rövidebb csapadékos szakaszok is (pl. Az 1940-50-es években) (**4. ábra**). Ugyanakkor az intenzív záporok és felhőszakadások gyakoribbak lettek, nyáron egy nap átlagos csapadéka országos szinten mintegy 1,4 mm-rel meghaladta a 1901-es értéket. Ez arra enged következtetni, hogy a rohanó, szeszélyes záporok rendszeresebben hullanak, míg a hosszú, csendes esőzések egyre ritkábbak, ami növeli az aszály és a villámárvíz kockázatát.

#### **4. ábra:** Magyarország éves csapadékmennyiségének trendje (1901-2020)

(Forrás: Saját szerkesztés OMSZ adatai alapján)



A hőmérséklet emelkedésével Magyarországon egyre gyakrabban jelentkeznek a kiélezett hőhullámok és a tartós forró időszakok, amelyek tovább fokozzák a párolgást és súlyosabbá teszik az aszályokat. A csapadékmennyiség hiánya továbbra is visszatérő gondot jelent: 2022 első nyolc hónapja például a mért adatok történetében az egyik legsúlyosabb

aszályos időszakként tűnik ki. Az említett, rendkívüli száraz év során az ország nagy részén a csapadék jóval a sokévi átlag alatt maradt, egyes területeken 30–50 %-kal kevesebb eső hullott a szokásosnál. Különösen az Alföldön párosult a csapadékhiány a szinte perzselő forrósággal és a rendkívül alacsony páratartalommal, ami még inkább rombolta a helyzetet. Az aszály hatásai azonban nem egyformán érintették az ország minden részét: a Tiszántúlon, Kelet-Magyarországon, már a kora tavasz első napjaiban fellelhetőek voltak a súlyos vízhiány jelei, míg a dunántúli területeken csak később, a nyár elején vált kritikussá a helyzet (Erdődiné & Kovács, 2023).

## **2.5 A klímaváltozás hatása a mezőgazdaságra és a kukoricatermesztésre**

A kukorica a világ egyik legjelentősebb haszonnövénye, melegigényes és nagy vízigényű kultúra, amely termesztését erősen befolyásolják a klimatikus tényezők. A növény fejlődését erősen befolyásolják a klimatológiai tényezők, így a globális felmelegedés és az időjárási szélsőségek közvetlenül hatnak a kukoricatermesztés sikerességére. Hő- és fénykedvelő C4 növényként a modern kukoricahibridek a tenyésztési időszak alatt mintegy 1100–1400 °C hőösszeget igényelnek. Egy enyhe hőmérséklet-emelkedés egyes területeken meghosszabbíthatja a növekedési periódust, vagy lehetővé teheti, hogy a hosszabb tenyészidőre szánt hibridek sikeresen beérjenek. Ugyanakkor a túlzott felmelegedés káros: ha a nyári hőmérséklet extrém magasra szökik, különösen a virágzási időszakban a címerhányás és a megtermékenyülés fázisában, a termés kiesés kockázata drámaian megnő. A kukorica legkritikusabb szakasza általában a nyár közepi virágzási időszak, amikor a vízigénye a csúcson van. Ebben az időszakban előforduló hőségnapok vagy aszályok erősen rontják a termékenyülést. Súlyos esetben a megporzás elmaradhat, a szemek nem kötődnek, és a hozam jelentős visszaesést szenved. A megfigyelések alapján az aszály a kukorica legkiszolgáltatottabb fejlődési szakaszaiban idézi elő a legnagyobb hozamcsökkenést: a címerhányás periódusban a termés akár 53 %-kal, a szemkitelítődés (szemképződés) fázisában pedig körülbelül 30 %-kal csökkenhet. Emiatt a kritikus időszak vízellátása elengedhetetlenül fontos: ha júliusban a csapadék hiányzik, a csövek fejlődése elmaradhat, míg a csapadékban gazdag július-augusztus szakasz biztosítja a kiemelkedő terméshozamot. A globális

felmelegedés következtében ezen nyári aszályok gyakorisága egyre nő, ami jelentősen fokozza a kukorica hozamkockázatát (Antal 2005, Pepó P. 2019).

A kukorica vízigénye hozzávetőleg 450–550 mm közötti a tenyészidő alatt, ez már eleve rávilágít arra, milyen mértékben függ a mezőgazdaság vízellátásától. Magyarország főbb kukoricatermő vidékein a hozamátlag és a hozambiztonság lényegében a rendelkezésre álló víz mennyiségétől függ. Aszályos évben, amikor a csapadék mértéke jelentősen elmarad az átlagtól, a fotoszintézis korlátozottsága és a hosszan tartó vízhiány miatt a kukoricatermés akár a felére csökkenhet egy csapadékos évhez képest. A csapadék mennyisége mellett a csapadék eloszlása is kulcsfontosságú tényező: ha az esőzések nem a megfelelő időben fordulnak elő, vagy a növényzet kritikus fejlődési szakaszaiban hiányoznak, a növények növekedése felborul. Így például a tavaszi vetéskor jelentkező szárazság késleltetheti a csírázást, míg a túlzott csapadék talajlehűlést és túlzott víznyomást idézhet elő, ami szintén a hozamot csökkenti. A nyári zivatarok és jégesők pedig megdönthetik vagy károsíthatják a növényzetet, megnehezítve a betakarítást, és rontva a termés minőségét. Mindezen tényezők miatt egyre nagyobb a hangsúly az öntözéses gazdálkodásra: ha a vízellátást pontosan szabályozzák, a kukorica hozama jelentősen megugorhat, sőt a legmodernebb technikákkal akár 4–5 t/ha többlet is elérhető. Így az öntözés a klímaváltozás fényében a termésbiztonság egyik legfontosabb eszközévé válik.

A klímaváltozás kihatással lehet a kukorica tápanyag- és beltartalmára is. Amikor a CO<sub>2</sub>-szint megemelkedik, a legtöbb növényben a fehérje- és mikroelemtartalom hígul, de a kutatások szerint a kukorica ebben a tekintetben valamivel ellenállóbb lehet: a C<sub>4</sub>-es fotoszintézist végző növényeknél a magas CO<sub>2</sub>-koncentrációban a szemek cink- és vashiányának kialakulása kevésbé gyakori. Ez biztató, ugyanakkor a kukorica szemtermését főként takarmányozásra használják, így, ha a termés minősége romlik (például csökken a fehérjetartalom vagy hiányoznak az esszenciális mikroelemek), az az állati termékkláncon keresztül az emberi táplálkozásra is kihat. A termés minősége nem csupán a kémiai összetételtől függ, a fizikai jellemzői is döntő szerepet játszanak. A klimatikus stressz (hősokk, szárazság vagy akár kora őszi fagy) megnehezíti a szemek kitelítődését, és ennek következtében a termés minőségi szintje is romlik. Például, ha a növény az érés előtt erős stresszhatásnak (pl. aszály vagy váratlan

fagy) van kitéve, emiatt gátolja az asszimilációt, a szemek kicsi és ráncos formában maradnak. Ilyenkor egyszerre csökken a termés mennyisége, és romlik a betakarított szemek minősége. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a globális felmelegedés következtében a korai fagyok valószínűsége csökken, ami részben mérsékli ezt a kockázatot. A betakarítás közeledtével jelentkező extrém időjárási események (viharok, hóhullámok) szintén komoly problémát jelentenek: egy vihar megdöntheti az állományt vagy levél- és szárkárokat okozhat, ami nehezíti a termés betakaríthatóságát és tárolhatóságát (**4. táblázat**) (Táczsi et al. 2015, Csajbók 2012, Dóka 2017)

**4. táblázat:** A klímaváltozás várható hatásai az adott fenológiai fázisokban

(Forrás: Saját szerkesztés Táczsi et al. 2015, Dóka 2017, Antal 2005, Pepó 2019 alapján)

Fenológiai szakasz	Klímaváltozás hatásai (várható következmények)
Vetés és csírázás	A melegebb tavasz lehetővé teszi, hogy már korábban vessük el a kultúrát, és a csírázás gyorsabban beinduljon, így a tenyészidő hosszabb lesz. Ugyanakkor a kiszámíthatatlan tavaszi fagyok veszélyt jelenthetnek a korán csírázott növényekre. Ha a vetési időszak elején aszály uralkodik, a talaj nedvességének hiánya gátolja a csírázást, míg a túlzott csapadék nyomást és lehűlést okoz a talajban, ami szintén lassítja a kelést.
Vegetatív növekedés	Az emelkedő hőmérséklet felgyorsíthatja a növekedést, de egyúttal lerövidítheti a vegetatív szakasz időtartamát, így a biomassza felhalmozására kevesebb idő marad. A melegedő időjárás és a növekvő CO <sub>2</sub> szint kissé fokozhatja a fotoszintézist, ám ez csak akkor válik kiaknázhatóvá, ha a növény megfelelő mennyiségű vizet kap. A vízhány (amely a változó klímával egyre gyakoribbá válik) esetén a levélnövekedés lassul vagy megáll, a növény fonnyadóvá válik, és kevesebb asszimilátum áll rendelkezésre a későbbi szemfejlődéshez. Emellett a szélsőséges időjárási jelenségek, mint a viharos szél vagy a jégeső, ebben a szakaszban mechanikai sérüléseket is idézhetnek.

Virágzás (megporzás)	A júliusi forróság és szárazság ebben a fázisban a legkritikusabb: a tartós hőség (>33–35 °C) és vízhiány gátolja a bibék megporzását és a pollenek életképességét. Ennek következménye gyengébb megtermékenyülés, kevesebb kötött szem száronként, végső soron drasztikus termésnövekedés. Számítások szerint az ebben az időszakban fellépő súlyos aszály akár több, mint a termés felét is elveheti. Ezzel szemben csapadékban gazdag, mérsékelt meleg virágzási időszak szükséges a jó kötődéshez, a klímaváltozás miatt az ideális körülmények egyre ritkábban fordulnak elő.
Szemkitelítődés (érés)	A növénynek a megtermékenyítéstől a teljes érésig kiegyensúlyozott hőmérsékletre és egyenletes vízellátásra van szüksége, hogy a keményítő és egyéb tápanyagok beépülhessenek. A forró, száraz augusztusi időszakok gyakoribb előfordulása lerövidíti a szemkitelítődést, a növény már korábban hervad, mielőtt a szemek teljesen kifejlődhetnek. Ez akár ~20–30%-os termésvesztést jelenthet egy átlagos évhez viszonyítva, ráadásul csökken az ezermagtömeg és a beltartalom. Ezzel szemben, ha az őszt későbbre tolódik (későbbi fagyokkal), a hosszabb érési időszak javíthatja a termés minőségét, mivel a szemek teljesen beérnek. Ugyanakkor, ha az őszt hosszabbra nyúlik, a betakarítási időszak vége felé nagyobb lesz a csapadék esélye: a túl nedves időszak a szemek penészedéséhez, sőt a betakarítás elhúzódsához is vezethet.
Betakarítás utáni időszak	A klímaváltozás hatásai már most érezhetőek a termés tárolásában és a vetésciklus alakításában is. Ha az őszt melegebb és szárazabb, a termés szárítás költségei jelentősen csökkenhetnek, hiszen a szemek már a szántóterületen száradnak ki. Ezzel szemben a hirtelen lehűlések vagy az extrém csapadékmennyiségek a betakarítás vége felé a minőség romlásához vezethetnek (például toxintermelő penészgombák megjelenhetnek a túl nedves szemeken). A vetésciklus megtervezésénél

	a gazdálkodóknak már most figyelembe kell venniük a megváltozott klimatikus viszonyokat: a talaj előkészítését és a vetés időzítését egyaránt.
--	--

## 2.6 Magyarországon alkalmazott talajművelési eljárások

A talajművelés a szántóföldi növénytermesztés egyik legfontosabb agrotechnikai lépése, amelynek hagyományos feladata a talaj fizikai állapotának oly módon kialakítása, hogy az megfeleljen a termesztett növények igényeinek. A korszerű, talajvédelmi szemlélet már ennél többet is kíván: a talaj szerkezetének megőrzését, biológiai aktivitásának fenntartását, valamint a talaj nedvességtartalmának és hőháztartásának kedvező szabályozását tartja célként. Stefanovits (1975) szerint a talaj vízgazdálkodása a termékenység alapfeltétele, hiszen ez határozza meg a talaj levegő-, hő- és tápanyag-gazdálkodását. A választott talajművelési eljárások erőteljesen alakítják a talaj fizikai-biológiai állapotát, befolyásolják a vízháztartását, és ezáltal a termőképességét is (Assenbrenner E. & Scheidler J. 2019, Stefanovits 1975).

### 2.6.1 Hagományos forgatásos talajművelés

A hagyományos talajművelés alapja a talaj forgatása, vagy más szóval a szántás. Ekkor ekével a termőréteget, általában 20–30 cm mélységben fordítják meg, amivel a gyökereknek kedvező, morzsalékos és lazított talajszerkezetet alakítanak ki. A szántás több agronómiai feladatot is ellát, egyrészt a szármadaradványokat és a gyomokat bedolgozza a talajba, elősegítve azok bomlását és csökkenti a gyomfertőzöttséget, másrészt mechanikusan elpusztítja a gyomokat és a kártevőket. A mélyszántás különösen fontos az évelő gyomok és a talajban élő rovarkártevők megfékezésében. Bicskei (2008) arra hívja fel a figyelmet, hogy nagy mennyiségű szármadaradvány, például a kukorica elővetemény, esetén a hagyományos módszer először szárazúzást, majd azt követően őszi mélyszántást alkalmaz, hogy a tarló megfelelően aprózódjon. A gondosan időzített őszi mélyszántás emellett hozzájárulhat a talaj téli csapadék befogadó képességének javulásához, valamint a kártevők kifagyásához. A forgatásos művelés talajra gyakorolt hatásai összetettek. A frissen szántott felső talajréteg laza, szellőző, és tavasszal gyorsan felmelegszik, ami előnyös a csírák és a gyökérfejlődés számára. Ugyanakkor

a forgatás teljesen felborítja a talaj eredeti rétegzettségét, a humuszos felső réteg alulra süllyed, míg a nyers altalaj előkerülhet a felszínre. Rövid távon ez morzsalékos szerkezetet eredményez, de hosszú távon a szervesanyag mennyiségének csökkenését és a talajélet zavart állapotát idézheti elő. A szántás után, ha a talajt nem fedik le, a felszínen maradó szemcsék gyorsan kiszáradnak, miközben a csapadék vagy a szél által generált erózió is intenzívebbé válik. Gyakran előfordul, hogy a folyamatos, egyforma mélységben végzett szántás eketalpréteget hoz létre, egy tömör, sűrű réteget a szántási mélység alatt, amely akadályozza a gyökerek és a víz mélyebb behatolását. Ennek ellensúlyozására időnként mélylazítást, vagy a művelési mélység változtatását alkalmazzák. A hagyományos szántás nagyszerű magágy-előkészítést biztosít, és egyúttal segíti a kártevők elleni védekezést, ugyanakkor energia- és időigényes, és ha hosszan alkalmazzák, károsan befolyásolhatja a talaj szerkezetét és nedvesség-gazdálkodását. A megfelelő vetésforgóval összekapcsolva azonban a szántásos módszer is sokkal fenntarthatóbbá tehető (Bicskei 2008, Kiss 2008, Király 2006).

### **2.6.2 Fogatás nélküli talajművelés (minimális művelés)**

A forgatás nélküli talajművelés lényege, elhagyva az eke használatát, a talajt kizárólag lazító eszközökkel történő megmunkálása. Ilyen gépek lehetnek például a kultivátorok, a tárcsás boronák vagy a sekélyen dolgozó grubberek, amelyek csak porhanyítják és fellazítják a talaj felső rétegét, ahelyett, hogy teljesen átforgatnák. Ennek a megközelítésnek fő célja az energiatakarékosság és a vízmegőrzés: a talaj bolygatása minimális, így kevesebb üzemanyag és munkaidő szükséges, és a talaj nedvességvesztése is csekélyebb a növényi takaró és a szármaradék hatásának köszönhetően. A minimális művelés általában a tarlómaradványok nagy részét a talaj felszínén tartja, mintegy mulcsként. Kiss Gerzson (2008) szerint a forgatás nélküli sekélyművelés lényege, hogy az alapművelés nem szántás, hanem lazítási technikát alkalmaznak, ezzel óvva a talaj szerkezetét. Ebben a kímélő rendszerben a talaj természetes pórusrendszerét (például a régi gyökerek járatait) részben megőrzik, ami javíthatja a víz befogadásának és tárolásának képességét. Amikor a talajművelést a lehető legkisebbre korlátozzák, a defláció és az erózió kockázata jelentősen csökken, a talajnedvesség-vesztés is mérséklődik, hosszú távon a talaj művelhetősége, fizikai és biológiai állapota egyaránt javul. A talajban élő élőlények, legyen szó gilisztákról vagy mikroorganizmusokról, kevésbé sérülnek,

mivel a talajrétegek bolygatása szűkebb körben marad. A gyakorlati tapasztalatok szerint a forgatás nélküli művelés a felső talajrész szervesanyag-tartalmát növeli, ami fokozza a talaj termékenységét és erősíti a vízmegtartó képességét. Azonban a forgatás mellőzése megköveteli egy megfelelő gyomirtó módszer (gyakran kémiai) alkalmazását, mivel a mechanikus gyomszabályozás már csak háttérbe szorul. Néhány növénykultúra (például gabonafélék vagy repce) már régóta bizonyítja, hogy a forgatás nélküli rendszerek hatékonyak, míg más esetekben, például a vetőmag-gyártás vagy apró magvú növények körében, a teljes talajlazítás gátolhatja az egyenletes csírázást. Összességében, ha a körülményeket megfelelően szabályozzák, a forgatás nélküli technikák is képesek versenyképes terméshez vezetni, miközben óvják a talajt és mérséklik a művelési költségeket. A módszer alkalmazásakor mindig a talaj aktuális állapotát kell figyelembe venni (Kiss 2008, Assenbrenner E. & Scheidler J. 2019).

### **2.6.3 Mélylazításos talajművelés**

A mélylazítás a talajművelés egy speciális eljárása, amelynek során az altalaj mélyebb rétegeit lazítják fel forgatás nélkül. Ezt általában nagy vonóerejű traktorhoz kapcsolt, speciális altalajlazító (mélylazító) géppel végzik, amely 40–60 cm-es, sőt akár még nagyobb mélységben is be tud hatolni a földbe, és szétrepeszti a korábban tömörödött rétegeket. A mélylazítás fő célja a tömörödött talajszerkezet helyreállítása. Megszünteti az eketalpat vagy a nehézgépek által okozott mély tömörödést, ezáltal újra lehetővé téve a víz- és levegőáramlást a talaj mélyebb rétegeiben. Stefanovits talajelméletének következtetései szerint a túlzottan tömörödött, levegőtlen altalaj jelentősen csökkenti a talaj termékenységét, míg a mélyebb rétegek rendszeres fellazítása helyreállítja a vízháztartást és segíti a gyökerek mélyebbre hatolását. Amikor a talajt mélyen lazítjuk, a csapadék könnyebben szivárog a talaj alsóbb rétegeibe, ezáltal csökken a felszíni víz felhalmozódása és az erózió, miközben nő a gyökérszóna alatti víztároló kapacitás. A mélylazításnak kedvező biológiai hatásai is vannak: a fellazított talajban a gyökerek mélyebbre hatolhatnak, így a növények nagyobb talajtérfigatot használhatnak ki a víz- és tápanyagfelvételre. Ennek hatása gyakran abban nyilvánul meg, hogy a növények jobban tűrik a szárazságot és kiegyensúlyozottabban fejlődnek, ami végül a termés mennyiségében és minőségében is megmutatkozhat. Emellett a mélyebb talajlazítás egy hosszú

távú talajjavító (melioratív) beavatkozás, amelyet nem szükséges minden évben végrehajtani, általában többéves időközönként alkalmazzák, amikor a talaj állapota ezt megkívánja. A magyarországi kísérletek kimutatták, hogy a mélylazítás és a forgatás nélküli, sávos művelés sokkal kíméletesebb a talajhoz, és kedvezőbb talajmikrobiológiai környezetet teremt a szántásos műveléshez képest, köszönhetően a talajélet számára alkalmasabb fizikai feltételeknek. Különösen fontos, hogy a mélylazítást olyan talajon végezzük, amelynek nedvességtartalma megfelelő egyensúlyban van: ha a talaj túlságosan száraz, a lazító hatása kevésbé hatékony, míg a túl nedves környezetben rögzödést és a talajszerkezet romlását idézheti elő (Kakuszi-Széles 2023, Assenbrenner E. & Scheidler J. 2019, Stefanovits 1975).

#### **2.6.4 Sávos talajművelés (strip-till)**

A sávos talajművelés (angolul strip-tillage) egy korszerű mezőgazdasági eljárás, ahol a talaj csak a sorok mentén, 15–35 cm széles sávokban kerül megmunkálásra, míg a sorok közti terület érintetlen vagy csupán minimálisan bolygatott marad. A művelés mélysége általában a felszín alatt 5–8 cm körüli. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy vetés előtt egyetlen menetben egy kombinált gép egyszerre lazítja és előkészíti a talajt a sorok sávjában, miközben a korábbi növényi maradványokat a sorok közötti, érintetlen sávokba tolja. Az aprított szár- és gyommaradványok a műveletlen sávokban gyűlnek össze, ahol a talajt védik és a nedvességet megtartják, míg a vetendő sor körüli talaj tiszta, laza és könnyebben átszellőző marad. A vetőmag egy porhanyított, kedvező magágyba kerül, ugyanakkor a terület jelentős része érintetlen marad, megőrizve a talaj szerves takarását és szerkezetét a sorok közti részekben. A sávos talajművelés egyik fő előnye, hogy a költségeket és az energiaigényt is mérsékelni tudja, mivel a tábla csak egy részét (általában a sorok szélességétől függően a felület egyharmadától feléig) műveljük meg. Ezzel párhuzamosan csökken az erózió és a párolgás is, hiszen a nem művelt sávokban maradt mulcs természetes védőburkot képez a talaj számára. Emellett a módszer lehetőséget biztosít a tápanyagok célzott visszajuttatására: a talajművelő gépek gyakran tápanyag-kijuttató egységgel is felszereltek, így az alaptrágyát közvetlenül a megművelt sávokba, a későbbi gyökérszóna középpontjába helyezhetjük. Például a repce sávos művelésekor a lazító kés a sorok alatti mélyebb gyökérszónát nyitja fel, így az indító műtrágyát koncentráltan ebbe a sávba lehet bejuttatni, ami megkönnyíti a fiatal növények

tápanyagfelvételét. A sorközök érintetlenül maradása miatt a talajban élő hasznos szervezetek kevésbé szóródnak szét a sávok között, ami hozzájárulhat a talaj egészségéhez. A sávos művelés rugalmasan alkalmazható különböző növényeknél: a kapás kultúrák (pl. kukorica, napraforgó, cukorrépa) esetében különösen elterjedt, de akár kalászosok másodvetésű telepítésénél is megoldást jelenthet a gyors talajelőkészítésre. Helyenként a hígtrágya elhelyezését is összehangolják ezzel a technológiával: a tarlóra vetés előtt bejuttatott hígtrágya növeli a talaj - nedvesség- és tápanyagtartalmát, így még szárazabb körülmények között is megbízhatóbb kelést biztosíthat a sávokban vetett növényeknek. A sávos művelés pontos megvalósításához nagy pontosságú gépvezérlésre van szükség, mivel a következő műveleteknél (például a vetésnél) a gépnek pontosan a megjelölt sávokra kell illeszkednie. Ezt ma már GPS alapú-automata kormányzással (RTK) könnyedén meg lehet oldani. A sávos rendszer szinte tökéletes összhangban áll a precíziós gazdálkodás elveivel: évente ugyanazokat a nyomvonalakat lehet ismételtelen követni, így a gépek állandóan a kijelölt művelőnyomokban dolgoznak, a vetési sorok precízen meghatározhatók, és a gépek mindössze 2–3 cm pontossággal ugyanazon a vonalon haladnak. Ennek köszönhetően a talaj fölösleges tömörödése jelentősen csökken, a káros talajtömörödés gyakorlatilag kizárólag a kijelölt keréknyomokban jelenik meg, míg a sorok közti terület laza és szellőző marad. Ebben a keréknyom-rendszerben a betakarítás után gyakran elegendő csak a nyomvonalak mentén lazítani a talajt, hogy megszüntessük a tömörödést. Így a sávos művelés egyszerre óvja a talajt és növeli a hozamot, ezért egyre jelentősebb teret hódít a víztakarékos és talajkímélő mezőgazdasági gyakorlatok között (Assenbrenner E. & Scheidler J. 2019).

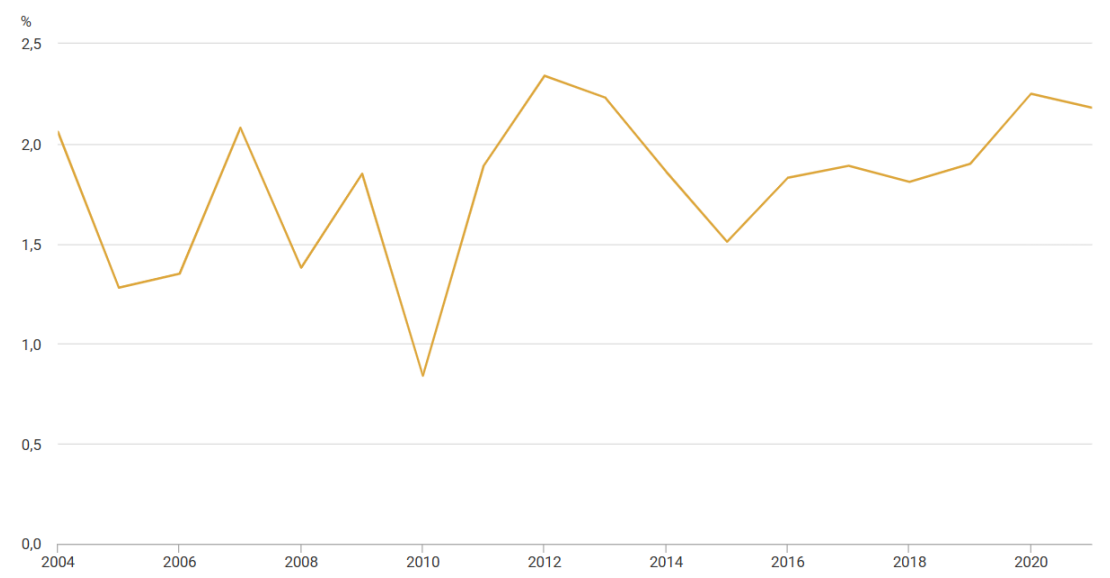
## **2.7 A vízgazdálkodás és öntözés szerepe a kukoricatermesztésben**

A kukorica vízigényes növény, termesztéséhez kiemelten fontos a megfelelő vízellátás. Hazánk klímája miatt a csapadék eloszlása térben és időben gyakran egyenletlen, ami számos kockázatot jelent a megfelelő vízellátás szempontjából. Öntözés nélkül a kukorica termésátlagát erősen befolyásolja az adott év csapadékkellátottsága, hiszen a legnagyobb vízigény a nyári hónapokban (különösen július–augusztus) jelentkezik, így, ha ekkor aszály lép fel, az súlyos terméskiesést okozhat (Pepó 2014).

Az öntözés jelentősen javítja és stabilizálja a kukoricatermést. Kísérleti megfigyelések azt mutatták, hogy aszályos évben (pl. 2007-ben) az öntözés gyakorlatilag megduplázza vagy akár megháromszorozta a hozamot a kezeletlen körülményekhez képest. A megfelelő vízellátás elősegíti az alkalmazott tápanyagok hasznosulását, ami szintén növeli a hozamot öntözött körülmények között, míg nem öntözött körülmények között a trágyázás csak körülbelül 1,4-2,1 t/ha többlethozamot eredményezett, addig öntözött körülmények között körülbelül 4,4 t/ha (kb. 67%) többlethozamot mértek. Ezek a tapasztalatok igazolják azt a tényt, hogy gyakran a vízellátás a fő korlátozó tényező a hozam szempontjából, ami azt jelenti, hogy elegendő nedvességgel a kukorica genetikai potenciálja és a befektetett inputok jobban kihasználhatók (Dóka 2017, Nagy 2007).

**5. ábra:** Az öntözött területek mezőgazdasági területen belüli aránya

(Forrás: KSH)



Az öntözés technikai és gazdasági okok miatt nagyon korlátozottan terjedt el, Magyarországon csak a szántóföldek körülbelül 2%-át (kb. 100 000 hektárt) öntözik (**5. ábra**). Ezért a kifinomult vízgazdálkodási protokollok különösen fontosak a nem öntözött gazdálkodásban. Ez magában foglalhatja például a megfelelő fajtaválasztást (aszálytűrő hibridek), az optimális vetésforgót, a talaj vízmegtartó képességének növelését és a víztakarékos talajművelést (pl. forgatás nélküli gazdálkodás, korai talajzárás). Kutatások

megállapították, hogy a minimális talajművelés hatékonyan megtartja a nedvességet: több víz marad a talajban, ami segíti a kukoricatermelést a száraz időszakokban. Az öntözés jelentősen növeli a termésbiztonságot és a hozamokat, azonban minden agronómiai eszközre szükség van a talajművelésben is, hogy fenntartsák a talaj nedvességtartalékát és kezeljék a vízhiányt (Nagy 2007, Pepó 2014).

### 3. Anyag és módszer

A vizsgálat célja a kukorica terméseredményeire gyakorolt talajművelési és éghajlati hatások feltárása nemzetközi kísérleti adatok feldolgozásával és összehasonlító elemzésével.

A kutatás központi kérdése, hogy a különböző művelési rendszerek a hagyományos, a sekély, valamint a forgatás nélküli művelés milyen hatással vannak a kukorica hozamára, vízhasznosítására és relatív termékenységi mutatóira különböző klimatikus viszonyok között.

A vizsgálat során három, nemzetközileg elismert kutatás adatainak feldolgozását és összevetését végeztem el:

- a Wang et al. (2015) által végzett kísérletet Kínában,
- a Karuma et al. (2016) vizsgálatát Kenyában,
- és a Saldivia-Tejeda et al. (2024) tanulmányát Mexikó félszáraz térségében.

E három kísérlet együttes értékelése lehetővé teszi, hogy a mérsékelt, trópusi és szubtrópusi éghajlatok termékenységi trendjeit összehasonlítsam, és ezek alapján a kukoricatermesztés fenntarthatóságára is következtetéseket vonjak le.

#### 3.1 A vizsgálat tudományos háttere és célkitűzései

A talajművelés a növénytermesztés egyik legfontosabb agrotechnikai eleme, amely a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságain keresztül alapvetően meghatározza a növények tápanyag- és vízellátását (Wang et al., 2015).

A klímaváltozás következtében világszerte megfigyelhető a szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedése, különösen a csapadékhiányos időszakoké, amelyek közvetlenül befolyásolják a kukorica hozamát (Karuma et al., 2016).

A kutatás fő célja annak feltárása volt, hogy a különböző talajművelési rendszerek milyen mértékben képesek ellensúlyozni a változó klimatikus feltételek hatását.

A vizsgálat hipotézisei a következők voltak:

1. A mélyebb, forgatásos művelés magasabb hozamot eredményez kedvező csapadékviszonyok mellett, de növeli a vízveszteséget.
2. A forgatás nélküli (no-tillage) rendszerek csökkentik a terméseredmény ingadozását, különösen száraz években.
3. A kukorica hozama és a csapadék mennyisége, valamint a hozam és az átlaghőmérséklet között egyaránt pozitív korreláció áll fenn.
4. A konzerváló talajművelési módszerek hosszú távon fenntarthatóbb talajállapotot és vízhasznosítást biztosítanak.

## **3.2 A vizsgált területek agroökológiai jellemzése**

### **3.2.1 Kína - Huang-Huai-Hai síkság**

A Wang et al. (2015) által végzett kísérlet Kína egyik legfontosabb gabonatermő területén zajlott, a Huang-Huai-Hai síkságon, 35-37° északi szélesség között 2011-2012 között.

A terület mérsékelt monszun éghajlatú, az éves átlagos csapadék 550-600 mm, amelyből mintegy 50-60% a vegetációs időszakban hullik le.

A talaj típusa löszös vályog, 1,8-2,1% szervesanyag-tartalommal.

A nyári hőmérséklet 25-28 °C között, a téli 0-5 °C között alakul.

A térségben a kukorica-búza kettős vetés jellemző, ezért a talajművelés és a vetésforgó összehangolása kulcsfontosságú.

### **3.2.2 Kenya - Embu régió**

A Karuma et al. (2016) kísérlete Kelet-Kenyában, az Embu régió 1300-1500 méteres tengerszint feletti magasságán történt.

Az éghajlat trópusi, félszáraz, két csapadékos időszakkal (március-május és október-december).

Az éves csapadékösszeg 650-750 mm, de évenkénti ingadozása jelentős.

A talaj agyagos vályog (Alfisol), 2,5-3,0% szervesanyag-tartalommal, de gyors kiszáradásra hajlamos.

A kukorica itt alapvető élelmiszernövény, a vizsgálat célja pedig a különböző talajművelési rendszerek vízmegtartó hatásának vizsgálata volt.

### **3.2.3 Mexikó - El Batán régió**

A Saldivia-Tejeda et al. (2024) kísérletet Mexikó félszáraz középső területén, az El Batán kutatóállomáson végezték, 2013-2022 között.

Az évi csapadék 450-550 mm, a hőmérséklet 18-25 °C között változik.

A talaj vályogos textúrájú, közepes humusztartalommal, a kísérletben a konzerváló művelés hosszú távú hatását vizsgálták.

A három terület adatai lehetőséget adnak arra, hogy a talajművelés és a klíma közötti kapcsolatot széles körű környezetben értékeljem.

## **3.3 A felhasznált adatok és források**

A dolgozatban feldolgozott adatok mindhárom tanulmányban megadott hozam-, csapadék- és hőmérsékleti adatok, valamint ezek statisztikai mutatói alapján kerültek egységes formába hozásra.

A vizsgált változók:

- Kukorica szemtermés-hozam (t/ha)
- Éves csapadékmennyiség (mm)
- Éves középhőmérséklet (°C)
- Talajművelési típus (kategóriás)
- Relatív hozamindex (RHI, %)

A három publikációban szereplő adatokat Excel-táblázatba rendeztem, majd egységes mérési egységre konvertáltam (t/ha).

Mindhárom forrás esetében az elvégzett kísérletek átlagával számoltam. A mexikói kísérlet (Saldivia-Tejeda et al. 2024) esetében a permanens ágyásos rendszerekből (PB/PWB) a monokultúras termesztés átlagait vettem figyelembe.

A korreláció- és varianciaelemzést SPSS 26 programmal végeztem.

### 3.4 A statisztikai elemzések módszertana

Az adatok feldolgozásakor leíró statisztikai módszereket alkalmaztam, meghatározva az átlagokat, szórásokat, valamint a legmagasabb és legalacsonyabb értékeket.

Ezt követően a Pearson-féle korrelációanalízis segítségével vizsgáltam a hozam és az éghajlati tényezők (csapadék, hőmérséklet) közötti kapcsolat erősségét és irányát.

A különböző talajművelési kezelések közötti hozamkülönbségeket egyutas varianciaanalízissel (ANOVA) elemeztem 5%-os szignifikanciaszinten ( $p < 0,05$ ).

A különböző kísérleti helyszínek és kezelések összehasonlítása érdekében kiszámítottam a Relatív Hozamindexet (RHI), amely a legmagasabb hozamhoz viszonyítva mutatja az egyes rendszerek teljesítményét.

A mutató képlete:

$$RHI = \frac{Y_i}{Y_{\{max\}}} \times 100$$

ahol  $Y_i$  az adott kezelés hozama (t/ha),  $Y_{max}$  pedig az adott vizsgálatban mért legnagyobb hozam (t/ha).

A kapott értékek százalékos formában mutatják meg, hogy az adott talajművelési mód milyen arányban éri el a legjobb eredményt.

### 3.5 A vizsgált talajművelési rendszerek

A rendszerek összevetése lehetővé tette a művelési intenzitás és a hozam közötti általános trendek azonosítását (**5. táblázat**).

A kínai kísérlet az intenzív művelés előnyeit, a kenyai és mexikói pedig a konzerváló rendszerek alkalmazkodóképességét szemlélteti.

**5. táblázat:** Talajművelési rendszerek összehasonlítása

(Forrás: Saját szerkesztés a feltüntetett források alapján)

Kód	Talajművelési típus	Művelés jellemzői	Forrás
NT	Forgatás nélküli vetés	Tarlómaradványok meghagyása, minimális bolygatás	Wang et al. (2015)
RT	Sekély forgó-művelés	10-15 cm mélységű tárcsás lazítás	Wang et al. (2015)
SS	Mélylazítás	25-35 cm mélységű altalajlazítás	Wang et al. (2015)
DPH	Hagyományos szántás	25-30 cm mélységű forgatásos művelés	Karuma et al. (2016)
H	Sekély művelés	Kézi kapálás, sekély mélységben	Karuma et al. (2016)
HTR	Vízmeztartó árkos	Kézi művelés, vízmeztartó sávok létrehozásával	Karuma et al. (2016)
PB	Permanens ágyás	Emelt, stabil talajszerkezet, minimális bolygatás	Saldivia-Tejeda et al. (2024)

**3.6 A feldolgozott adatok összefoglalása**

**6. táblázat:** A feldolgozott kísérleti adatok összefoglalása

(Forrás: Saját szerkesztés a feltüntetett források alapján)

Forrás	Talajművelés	Hozam (t/ha)	Csapadék (mm)	Középhőmérséklet (°C)
Wang et al. (2015)	NT	9,6	540	25

Wang et al. (2015)	RT	9,74	540	25
Wang et al. (2015)	SS	10,62	540	25
Karuma et al. (2016)	DPH	3,8	950	21-28
Karuma et al. (2016)	H	3,3	950	21-28
Karuma et al. (2016)	HTR	2,9	950	21-28
Saldivia-Tejeda et al. (2024)	PB/PWB	2,59	700	23,0

### 3.7 Az adatok megbízhatósága és korlátai

Mivel a dolgozat nem saját kísérleti adatokon, hanem nemzetközileg publikált, ellenőrzött forrásokon alapul, az adatok megbízhatósága magas. Korlátot jelent ugyanakkor, hogy a három forrás különböző földrajzi és talajtani környezetből származik, így a tényezők közötti összefüggések nem vetíthetők ki közvetlenül magyarországi viszonyokra.

A csapadék-hozam korreláció szemléltetéséhez szimulált pontokat is alkalmaztam, az átlagos trendek bemutatása érdekében.

### 3.8 A vizsgálat újszerűsége

A módszertan különlegessége, hogy a terméseredményeket nemcsak abszolút értékben, hanem relatív hozamindex (RHI) alapján is elemeztem, ami kiküszöböli a térségi különbségekből fakadó eltéréseket.

E megközelítés révén a dolgozat képes a különböző művelési stratégiák komparatív értékelésére a klímaváltozás szempontjából.

## 4. Eredmények és értékelésük

A feldolgozott kísérleti adatok alapján egyértelműen megállapítható, hogy a különböző talajművelési rendszerek, valamint a klimatikus viszonyok közötti kölcsönhatás meghatározó tényező a kukoricatermesztés eredményességében. A három kontinensről származó kutatás eredményei jól szemléltetik, hogy a vízellátottság, a hőmérséklet és a talajművelés intenzitása közvetlenül befolyásolja a hozamokat és azok stabilitását.

### 4.1 A kukorica hozamok alakulása különböző talajművelési rendszerekben

A három vizsgálatból származó átlagos hozamadatokat az alábbi táblázat foglalja össze (7. táblázat).

**7. táblázat:** Kukorica hozamok és relatív hozamindex értékek különböző talajművelési rendszerekben

(Forrás: Saját szerkesztés a feltüntetett források szerint)

Forrás	Talajművelési típus	Átlagos hozam (t/ha)	Relatív hozamindex (RHI, %)
Wang et al. (2015) - Kína	NT	9,6	90,4
Wang et al. (2015) - Kína	RT	9,74	91,71
Wang et al. (2015) - Kína	SS	10,62	100
Karuma et al. (2016) - Kenya	DPH	3,8	100
Karuma et al. (2016) - Kenya	H	3,3	86,84
Karuma et al. (2016) - Kenya	HTR	2,9	76,32
Saldivia-Tejeda et al. (2024) - Mexikó	PB/PWB	2,59	100

A három ország eredményei alapján a hozamok 2,59-10,62 t/ha között változtak. A legmagasabb értéket a kínai kísérlet mélylazításos (SS) kezelése adta, míg a legalacsonyabb a mexikói permanens ágyásos (PB/PWB) rendszerben jelentkezett. A RHI értékek 76-100% között mozogtak, ami a művelési módok közötti 20-25%-os termésszint-különbségre utal.

A kínai és kenyai kísérletekben egyértelműen megfigyelhető, hogy a legmélyebb rétegekben művelt területeken volt a legmagasabb a hozam. A kísérletek összehasonlítása során jól megfigyelhető a gépesítettség és a fejlett agrotechnika használatának egyértelmű termésszínélő hatása.

## **4.2 Az éghajlati tényezők hatása a hozamokra**

A vizsgálatokban mért csapadék- és hőmérsékleti adatok alapján a kukorica hozama és az időjárási tényezők között közepesen erős kapcsolat mutatkozott. A csapadék és hozam között erős negatív korreláció volt megfigyelhető ( $r \approx -0,86$ ), míg a hőmérséklet és hozam között pozitív ( $r \approx 0,45$ ). Ezek alapján az elvégzett kísérletek összehasonlításában megállapítható, hogy globálisan (különböző régiók közt) nem egyszerű csapadékmennyiség-hozam összefüggés található, hanem a termesztés technológiája, a talajadottságok és az éghajlati tényezők közösen befolyásolják a hozamot. A hőmérséklet és a hozam adatok elemzése alapján viszont pozitív korrelancia ( $r \approx 0,45$ ) figyelhető meg, amely teljesen jól illeszkedik a kukorica hőigényéhez.

## **4.3 A klíma és a talajművelés kölcsönhatása**

A három helyszín eredményeinek összehasonlítása alapján a klíma és a talajművelés közötti kapcsolat erősen interaktív. Mérsékelt éghajlaton (Kína) a mélyebb, intenzívebb művelés előnyös, mert a rendszeres csapadék biztosítja a vízpótlást, így a mélyebb gyökérszónák jobban hasznosulnak. Félzáraz trópusi környezetben (Kenya és Mexikó) viszont a konzerváló rendszerek, mint a forgatás nélküli vetés (ZT) vagy a permanens ágyás (PB), stabilabb hozamot biztosítanak a jobb vízmegtartás révén.

Az éves csapadék mennyisége és az RHI értékei között megfigyelhető volt egy nemlineáris összefüggés:

- 500-600 mm közötti csapadéknál nőtt a hozam,
- 700 mm felett viszont már nem javult tovább, sőt csökkenés volt tapasztalható, feltehetően a talajtúlnedvesedés és oxigénhiány miatt

Ez a jelenség a víz-hozam optimumgörbe tipikus példája, amelyet korábbi nemzetközi vizsgálatok is kimutattak (Saldivia-Tejeda et al., 2024).

#### **4.4 A hozamok statisztikai értékelése**

Az egytényezős varianciaanalízis (one-way ANOVA) eredményei alapján a különböző talajművelési módok hatása országoként eltérő mértékben volt kimutatható.

A varianciaanalízis eredményei alapján a különböző talajművelési módok közötti hozamkülönbségek szignifikánsak voltak ( $p < 0,05$ ).

Kínában a kezelések közötti különbség szignifikánsnak bizonyult ( $F = 8,7$ ,  $p = 0,033$ ), ahol a mélylazításos (SS) művelés 1,2 t/ha-ral magasabb hozamot eredményezett a sekélyművelésű (NT, RT) rendszerekhez képest.

Hasonlóan Kenyában is szignifikáns eltérés mutatkozott ( $F = 9,1$ ,  $p = 0,029$ ), ahol a hagyományos (DPH) művelés 0,9 t/ha-ral haladta meg a konzerváló (HTR) kezelések átlagát.

Mexikóban a permanens ágyásos (PB/PWB) rendszer volt alkalmazásban, így az ANOVA nem értelmezhető, azonban a 2,59 t/ha-os hozam stabil, közepes termőképességet mutatott a félszáraz feltételek között.

#### **4.5 Fenntarthatósági és klímaadaptációs szempontok**

A talajművelés hatásai nemcsak a termés mennyiségében, hanem a talajállapot és a környezeti fenntarthatóság szempontjából is jelentősek. A forgatás nélküli és permanens rendszerek csökkentik a talajeróziót, mérséklék a CO<sub>2</sub>-kibocsátást, és hozzájárulnak a szervesanyag-megőrzéshez. A hagyományos szántás viszont növeli a talaj szénvesztését és a vízvesztésget, így hosszú távon kedvezőtlenebb a klímaadaptáció szempontjából.

A Saldivia-Tejeda et al. (2024) által végzett mexikói vizsgálatban a konzerváló művelés 22-28%-kal csökkentette az üzemanyag-felhasználást és 18-25%-kal mérsékelte a szén-dioxid-kibocsátást a hagyományos rendszerhez képest, miközben a hozamkülönbség csupán 5% volt. Ez rávilágít arra, hogy a fenntarthatósági szempontok figyelembevétele a gazdasági hatékonyság mellett is indokolt.

## 5. Következtetések és javaslatok

A három kontinensen végzett vizsgálatok eredményei alapján az alábbi fő megállapítások tehetők:

- A talajművelési mód döntő hatással van a kukorica hozamára és a termésstabilitásra.
- A mélyebb művelés (SS, DPH) rövid távon magasabb hozamot biztosít, de nagyobb vízveszteséggel jár.
- A konzerváló rendszerek (NT, RT, PB) hozama jellemzően 10-25%-kal alacsonyabb, ugyanakkor kedvezőbb vízhasznosítással és jobb talajállapottal jellemezhető.
- A csapadék és hozam közötti korreláció negatív, a hőmérséklet és hozam közötti pedig pozitív.
- A vizsgált adatok alapján a fenntartható, klímaadaptív gazdálkodás irányába a konzerváló és permanens rendszerek jelentenek előrelépést.

Összességében a vizsgálat megerősíti, hogy a talajművelés megválasztása az adott éghajlati és talajtani viszonyokhoz kell igazodjon. A klímaváltozás előrehaladtával a vízmegtartó, szénmegőrző technológiák alkalmazása nemcsak ökológiai, hanem gazdasági szempontból is egyre indokoltabb.

A kutatások során végzett eredményanalízisből nyilvánvalóvá vált, hogy a talajművelési technika és az éghajlati viszonyok közvetlenül befolyásolják mind a kukoricatermesztés hozamait, mind fenntarthatóságát. A három kontinensen végzett kísérletek közös tanulsága, hogy a megfelelő művelési rendszerek speciális környezeti feltételeket, talajminőséget és éghajlati jellemzőket igényelnek. A mélyszántás és a hagyományos rendszerek gyakran gyorsan javítják a hozamokat, azonban hosszú távon a vízveszteség, a szerves anyag csökkenése és a talajerózió veszélye miatt ezek a módszerek nem fenntarthatók. Ezzel szemben a szántás nélküli és a permanens ágyásos rendszerek valamivel kisebb hozamot eredményeznek, de javítják a talaj vízmegtartó képességét, szerkezetét és mikrobiológiai aktivitását, ami ellenállóbbá teszi a termesztést a zord időjárási körülményekkel szemben.

A hozam és a hőmérséklet közötti pozitív összefüggés azt sugallja, hogy a kukoricatermesztés sikerének mértéke elsősorban a víz elérhetőségétől függ. Mérsékelt

éghajlaton, ahol kiegyensúlyozott a csapadékeloszlás, a mélyebb művelés előnyösebb, míg meleg félszáraz éghajlaton a sekély/nem szántásos rendszerek gazdaságosabbak. Az elemzett kísérletekben az RHI széles tartományban mozgott (76-100%), ami 20-25%-os hozamkülönbséget jelzett a technológiák között, de a vízhasznosítási hatékonyság mértékében a legkedvezőbb értékeket a konzervációs rendszerben érték el. A mexikói permanens ágyásos termesztés során stabil hozamokat, 25%-kal csökkentett üzemanyag-fogyasztást és széndioxid-kibocsátást eredményezett.

A talajvédő, konzerváló gyakorlatok fejlesztése a magyar kukoricatermesztésben egyre inkább indokoltak a nemzetközi szakirodalomak alapján. Az aszályok gyakoribb előfordulásával a vízmegtartó képesség fenntartása és a talaj szerves anyagának megőrzése egyre fontosabb kérdések. Ajánlott szélesebb körben alkalmazni a sekély művelést, a mulcs-hagyást vagy a forgatás nélküli technikákat, különösen a szárazsággal sújtott Dunántúli és Alföldi régiókban. Hosszú távú kísérletekre van szükség a hazai kontextusban a talajművelés, a vetésforgó és a tápanyag-utánpótlás vizsgálatára, beleértve az éghajlatváltozás hatásait is. A kukorica fenntartható fejlődésének kulcsa tehát a talaj nedvességtartalmának fenntartásából, a szerves anyag pótlásából és a művelési rendszerek adaptív, éghajlathoz igazított alkalmazásából ered.

## 6. Összefoglalás

A dolgozat célja a klímaváltozás és a talajművelési rendszerek hatásának vizsgálata volt a kukorica terméseredményeire és termesztési stabilitására. A kutatás alapját három nemzetközi szinten is elismert, különböző éghajlati övezetekben végzett kísérlet adatai képezték: Kína (Wang et al., 2015), Kenya (Karuma et al., 2016) és Mexikó (Saldivia-Tejeda et al., 2024). A vizsgálatok összevetésével lehetőség nyílt arra, hogy a különböző klimatikus és talajtani feltételek mellett alkalmazott talajművelési rendszerek teljesítményét összehasonlítsam, és következtetéseket vonjak le a fenntartható kukoricatermesztés szempontjából.

Az elemzés során kimutatható volt, hogy a kukorica hozama és a csapadék mennyisége között erős negatív kapcsolat áll fenn ( $r \approx -0,86$ ), míg a hozam és a hőmérséklet között pozitív korreláció figyelhető meg ( $r \approx 0,7$ ). A hozamokat döntően az átlaghőmérséklet határozta meg, különösen a növény vegetatív időszakában. A mérsékelt éghajlatú Kínában és Kenyában a mélylazításos művelés (SS, DPH) eredményezte a legnagyobb termésszintet, míg Mexikóban a konzerváló rendszer (PB) mutatta a legjobb vízhasznosítási hatékonyságot. A relatív hozamindex (RHI) értékei 76-100% között változtak, ami a művelési módok közötti 20-25%-os különbséget jelzi. Bár a konzerváló rendszerek átlagosan 10-20%-kal kisebb termést adtak, előnyeik a talajnedvesség megőrzésében, a szénmegkötésben és a környezeti stabilitásban mutatkoztak meg.

A vizsgálatok eredményei megerősítik, hogy a talajművelési rendszer megválasztása csak az adott térség éghajlati és talajtani adottságainak figyelembevételével lehet optimális. A mélyebb, intenzív művelés rövid távon nagyobb terméspotenciált biztosít, azonban hosszabb távon fokozza a vízvesztést és a talaj degradációját. Ezzel szemben a konzerváló, forgatás nélküli és permanens ágyásos rendszerek mérsékelt hozam mellett fenntarthatóbb talajhasználatot és stabilabb gazdálkodási feltételeket eredményeznek. A kutatás alapján egyértelmű, hogy a klímaváltozás okozta kihívásokra való reagálás egyik leghatékonyabb eszköze a vízmegtartó, szervesanyag-megőrző művelési technológiák bevezetése.

A dolgozat gyakorlati üzenete, hogy a magyarországi kukoricatermesztésben is érdemes a konzerváló és sekélyműveléses technológiák arányát növelni, különösen az aszályra hajlamos

térségekben. A vízhasznosítás javítása, a talaj szervesanyag-tartalmának védelme és a művelési energiaigény csökkentése egyszerre szolgálja a gazdasági és környezeti fenntarthatóságot. A további kutatások során indokolt lenne hosszú távú, hazai kísérletek indítása, amelyek a talajművelési módok, a tápanyag-utánpótlás és a vetésforgó együttes hatását vizsgálják a klímaváltozás feltételei között.

## **7. Köszönet nyilvánítás**

Köszönetet szeretnék mondani családomnak és barátaimnak a támogatásért és biztatásért, amellyel végigkísértek tanulmányaim során.

Külön hálával tartozom édesapámnak, aki példát mutatott kitartásban és a mezőgazdaság iránti elhivatottságban.

Köszönöm továbbá az egyetemi közösségnek és a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem oktatóinak, hogy tudásukkal és segítségükkel hozzájárultak szakmai fejlődésemhez.

## 8. Irodalomjegyzék

Antal J. (szerk.) (2005):

Növénytermesztéstan 1. Mezőgazda kiadó, Budapest, 342 p.

Assenbrenner Edit, Scheidler János:

A NÖVÉNYTERMESZTÉS GYAKORLATA (2019)

Bicskei, K. (2008).

Hogyan termesszünk kukoricát? Növénytermesztés, követelmény modul. Budapest:  
Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet.

Bocz E., Kovács A., Szabó M., Ruzsányi L., Késmárki I., (1996):

Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 887 p.

Boros Anita (szerk):

Precíziós mezőgazdaság: helyzetkép és gazdasági megfontolások (2023)

Dobi Ildikó:

Napfénytartam és globálsugárzás sokévi átlag térképek Magyarországra (2021) Léggör  
22-28 o.

Dóka Lajos Fülöp:

Tartamkísérletek a gyakorlat számára IV. – A kukorica termését kialakító tényezők  
interaktív elemzése I. (2019) Őstermelő 21. évf. 3. szám 34-39 o.

Dóka Lajos Fülöp, Szabó András, Vad Attila:

A kukoricaállomány vízháztartása, néhány befolyásoló tényező 3. rész, (2022)  
Mezőhír

Erdődiné Molnár Zsófi, Kovács Attila Viktor:

A 2022-es aszály agrometeorológiai elemzése (2023) Léggör 20-27 o.

Geisler, G.

Pflanzenbau. Berlin - Hamburg. (1980).

Jolánkai Márton – Birkás Márta:

Szárazodás, aszály és a növénytermelés (2010)

Kakuszi-Széles Adrienn (szerk.):

NÖVÉNY ÉS KÖRNYEZET A debreceni tartamkísérletek 40 éve (2023)

Karuma, A. N., Gicheru, P., & Gachene, C. (2016).

Effects of tillage and cropping systems on maize and beans yields in Embu, Kenya.  
East African Agricultural and Forestry Journal, 82(1), 42-51.

Király Csaba:

Talajművelési rendszerek és a talaj használat (2006)

Lakatos Mónika, Bihari Zita, Izsák Beatrix, Marton Annamária, Szentés Olivér:

Megfigyelt éghajlati változások Magyarországon (2021) Légkör 5-11 o.

Nagy J. (2007):

Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Nagy János (2010):

SZEMLE A kukoricatermesztés jelene és jövője Debreceni Egyetem Agrár- és  
Gazdálkodástudományok Centruma, Debrecen

Nagy János (2012):

Versenyképes kukoricatermesztés - A jövedelmezőség kulctényezői a szántóföldi  
gyakorlatban. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Pepó P. (2019):

Integrált Növénytermesztés 2. Alapnövények. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó,  
Budapest, 359 p.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., & Arnell, N. (2013)

Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded  
crop model intercomparison

Saldivia-Tejeda, C., Rojas-Cruz M., Uribe-Guerrero M. Á. (2024).

Conservation agriculture enhances maize yields and profitability in Mexico's semi-arid highlands

Sojnéczki István – Nagy János:

Talajművelési rendszerekre adaptált precíziós kukorica (*Zea mays* L.) vetési rendszerek hatásai a kukorica kelési dinamikájára

Stefanovits P. (1975):

Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

Wang, X., Zhou B., Sun X., & et al. (2015).

Soil tillage management affects maize grain yield by regulating spatial distribution coordination of roots, soil moisture and nitrogen status. PLOS ONE, 10(6), e0129231.

## 8.1 Internetes források

C. a. Publishing,

„Map of Worldwide Croplands,” U.S. Geological Survey,

<https://www.usgs.gov/media/images/map-worldwide-croplands>. (2025.11.10.)

FAOSTAT

„Crops and livestock products,” Food and Agriculture Organization of the United Nations, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. (2025.10.17.)

HunagroMet

Magyarország éghajlata

<https://www.met.hu/eghajlat/> (2025.11.08.)

IPCC. (2021).

Climate Change 2021: The Physical Science Basis.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (2025.10.17.)

Központi Statisztikai Hivatal.

Fontosabb szántóföldi növények betakarított területe (2025).

[https://www.ksh.hu/stadat\\_files/mez/hu/mez0012.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0012.html) (2025.10.17.)

KSH

Az öntözött területek mezőgazdasági területen belüli aránya

<https://ksh.hu/s/kiadvanyok/fenntarthato-fejlodes-indikatorai-2022/3-2-sdg-2> (2025.10.27.)

Pepó P.

A kukorica öntözéses termesztése (2014)

<https://agrarium7.hu/cikkek/14-a-kukorica-ontozeses-termesztese> (2025.11.10.)

Pepó P.

Klímaváltozás és öntözés (2014)

<https://agrarium7.hu/cikkek/117-klimavaltozas-es-ontozes> (2025.11.10.)

## 9. Ábrajegyzék

**1. ábra:** A világon termesztett kukorica termőterülete millió hektárban (1961-2023)  
(Forrás: Saját szerkesztés, FAOSTAT adatai alapján) 6

**2 ábra:** Magyarország éves középhőmérsékletének változása (1901-2020) (Forrás: Saját szerkesztés, HungaroMet adatai alapján) **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**

**3. ábra:** Magyarország éves középhőmérsékletének anomáliái (°C) 1901 és 2020 között. Az értékeket az 1991–2020 időszak átlagához viszonyítottuk. (Homogenizált, interpolált országos átlagok alapján). (Forrás: HungaroMet) 14

**4. ábra:** Magyarország éves csapadékmennyiségének trendje (1901-2020) (Forrás: Saját szerkesztés OMSZ adatai alapján) 15

**5. ábra:** Az öntözött területek mezőgazdasági területen belüli aránya (Forrás: KSH) 25

## 10. Táblázatjegyzék

**1. táblázat:** Magyarország kukoricatermesztésének főbb mutatói (1990-2025) *(Forrás: Saját szerkesztés, KSH, 2025-ös adatai alapján)* 7

**2. táblázat:** A különböző talajtípusok vízmegtartó képessége Magyarországon *(Forrás: Saját szerkesztés, Szilágyi J., (2022) adatai alapján)* 11

**3. táblázat:** A kukorica tápanyagigénye és a legfontosabb makroelemek aránya *(Forrás: Kiss G., 2008)* 12

**4. táblázat:** A klímaváltozás várható hatásai az adott fenológiai fázisokban *(Forrás: Saját szerkesztés Táci et al. 2015, Dóka 2017, Antal 2005, Pepó 2019 alapján)* 18

**5. táblázat:** Talajművelési rendszerek összehasonlítása *(Forrás: Saját szerkesztés a feltüntetett források alapján)* 31

**6. táblázat:** A feldolgozott kísérleti adatok összefoglalása *(Forrás: Saját szerkesztés a feltüntetett források alapján)* 31

**7. táblázat:** Kukorica hozamok és relatív hozamindex értékek különböző talajművelési rendszerekben *(Forrás: Saját szerkesztés a feltüntetett források szerint)* 33

# 11. Mellékletek

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

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

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

## NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió<sup>1</sup> nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Tolnai Bence Gábor  
A Hallgató Neptun kódja: FJY9WN  
A dolgozat címe: A KLIMAVÁLTOZÁS HATÁSAI A KUKORICA TERMÉSHOVSÉGISÉGÉRE ÉS - KIVŐSÉGÉRE  
2025  
A megjelenés éve:  
A konzulens intézetének neve: Növénytermesztési-tudományok Intézet  
A konzulens tanszékének a neve: Agronómiai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió<sup>2</sup> 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 valótlant 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 mindenkori 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: Gödöllő, 2025 év november hó 10. nap

  
Hallgató aláírása

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

<sup>2</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

## NYILATKOZAT

Tolnai Bence Gábor (név) (hallgató Neptun azonosítója: FJY9WN) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót<sup>1</sup> 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<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>3</sup>

Kelt: Gödöllő, 2025 év 11. hó 11 nap

Tamara Bón  
belső konzulens

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendő.

<sup>3</sup> A megfelelő aláhúzendő.

**Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról**

**1. Általános adatok**

Hallgató neve:	Toinal Bence Gábor
Neptun-kódja:	FJY9WN
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:	A KI HATÁRÁTOZÁS HATÁSAI A KÖZÖSSÉGI TERHESSÉGVISZÉRE ÉS -KIVÉTELEZÉSE

\* 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, ötletelés	Chat GPT - 5	

**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 MI-eszköz neve, verziója, elérhetősége	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:

*Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata 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 helyállóságáért 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: Göde, 2025. 11. 11., 2025. 11. hó 11. nap

János B. 9

Hallgató aláírása

Ményi László  
 Minny elviselem az MI használatát  
 ellenőrzésére

Konzulens/Témavezető aláírása