

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**KUKORICA EGYES BELTARTALMI PARAMÉTEREINEK
ÉRTÉKELÉSE HAGYOMÁNYOS ÉS GÉPI TANULÁSON
ALAPULÓ MÓDSZEREKKEL**

Fejér Péter István

doktorjelölt

Témavezető: Dr. Rátonyi Tamás

egyetemi docens



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA**

DEBRECEN

2025

Tartalomjegyzék

1.	A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI	3
2.	ANYAG ÉS MÓDSZER	7
2.1.	Vizsgálati terület és kísérleti elrendezés	7
2.2.	Éghajlati adatok	7
2.3.	Statisztikai elemzés	9
2.3.1.	Leíró statisztikai elemzés a keményítőtartalom alakulásának vizsgálatára	9
2.3.2.	Korrelációelemzés és többváltozós statisztikai vizsgálatok	9
2.3.3.	Varianciaanalízis (ANOVA) és legkisebb szignifikáns különbség (LSD) vizsgálatok	9
2.4.	A keményítőhozam előrejelzése ANN-algoritmusok alapján	9
2.4.1.	Elemzési célok és módszerek	10
2.4.2.	Forgatókönyvek és modellezés	10
2.4.3.	A gépi tanulás révén végzett elemzéshez felhasznált scenáriók összetételének bemutatása	10
2.4.4.	A gépi tanulási modellek teljesítményének statisztikai értékelése	11
3.	EREDMÉNYEK	12
3.1.	A különböző tápanyagkezelések hatása a keményítőtartalomra	12
3.2.	Az évjárat hatása a keményítőtartalomra	12
3.3.	A különböző talajművelési módok és az évjárat együttes hatása a keményítőtartalomra	13
3.4.	A tápanyagkezelések és az évjárat együttes hatása a keményítőtartalomra	14
3.5.	A keményítőtartalom előrejelzésének mesterséges neurális hálózatokkal (ANN) történő értékelése	15
4.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	21
5.	GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK	23
6.	FELHASZNÁLT IRODALOM	24
7.	PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN	27

1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

Az elmúlt évtizedekben az élelmezésbiztonság az emberiség egyik legsürgetőbb problémájaként jelent meg, amelynek megoldását elsősorban a mezőgazdasági termelés mennyiségének és minőségének növelése jelentheti. A globális élelmezés nehézségeinek egyik fő oka, hogy a világ népessége jelentős mértékben növekszik, és a jelenlegi előrejelzések szerint ez a tendencia tovább folytatódik. A becslések alapján a globális népesség eléri a 9 milliárd főt 2050-re (Roberts, 2011; Mohammed et al., 2021a), illetve 2100-ra várhatóan 9,6 és 12,3 milliárd fő között alakul majd (Gerland et al., 2014). A népesség folyamatos növekedése, valamint a mezőgazdasági termékek és a természeti erőforrások iránti fokozódó kereslet egyre nagyobb terhet ró a környezetre és folyamatos nyomást gyakorol az agrárszektorra. Ennek megfelelően a mezőgazdaság fejlesztése kulcsfontosságú lehet az élelmezési kihívások kezelésében (Ramasamy és Moorthy, 2006). A mezőgazdasági termelést érintő számos akadály közé tartozik az éghajlatváltozás (Juhász et al., 2020), az üvegházhatású gázok kibocsátása (Harsányi et al., 2021a; Mohammed et al., 2021b), az aszály (Mohammed et al., 2022a, 2022b, Harsányi et al., 2021b), a talajdegradáció (Takács et al., 2021; Khallouf et al., 2021; Hateffard et al., 2021), valamint a talaj szikesedése és szennyeződése (Mohammed et al., 2021a). Az éghajlatváltozás negatív hatásai kedvezőtlen időjárási viszonyokat idézhetnek elő, amelyek akadályozzák a mezőgazdasági termelést és veszélyeztetik az élelmiszerellátást (Elbeltagi et al., 2020).

A mezőgazdaság kulcsszerepet játszik az emberi társadalom fenntarthatóságában és fejlődésében. Az agrárágazat nem csupán a növénytermesztést foglalja magában, hanem jelentős mértékben hozzájárul a globális élelmiszerellátáshoz is (Lynch et al., 2020). A szántóföldi növénytermesztés a mezőgazdasági termelés egyik legfontosabb ágazata, amely alapvető szerepet tölt be a világ élelmiszer-előállításában (Ragán et al., 2024), a növekvő népesség élelmezési igényeinek kielégítésében (Gerland et al., 2014). A világ népességének növekedésével párhuzamosan az élelmiszerek iránti kereslet is folyamatosan emelkedik, ami még fontosabbá teszi a mezőgazdasági termelékenység fenntartását és növelését. Az élelmezésbiztonság biztosítása és az éhezés megelőzése érdekében kulcsfontosságú, hogy elegendő mennyiségű és megfelelő minőségű élelmiszert állítsunk elő. A globális éghajlatváltozás azonban tovább növeli a mezőgazdasági termelésre nehezedő nyomást, mivel a szélsőséges időjárási viszonyok és a vízhiány negatívan befolyásolják a termés hozamokat (Raza et al., 2021). Ezért

kiemelten fontos a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok alkalmazása, amelyek hozzájárulnak a termés hozamok növeléséhez és a környezet védelméhez (Mohammed et al., 2022). Ennek részeként elengedhetetlen az új technológiák, a növénynevelési eljárások és a precíziós mezőgazdaság alkalmazása, valamint a biológiai sokféleség megőrzése és a fenntartható gazdálkodási módszerek bevezetése.

Ebben a kontextusban a kukorica stratégiai jelentőségű növénynek számít az emberi táplálkozásban (Tanumihardjo et al., 2019). A kukorica az egyik legszélesebb körben termesztett és fogyasztott gabonaféle a világon, különösen a fejlődő országokban, ahol alapvető élelmiszerforrásként szolgál. Magas termőképessége és kedvező hektáronkénti hozamai miatt a kukorica jelentős szerepet játszik a növekvő népesség élelmezésében. A kukoricát nemcsak élelmiszerként használják fel (például liszt, kukoricaliszt, pattogatott kukorica formájában), hanem fontos alapanyag az ipar számára is, például bioüzemanyagok és állati takarmányok gyártásában.

A fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok és az új technológiák alkalmazása révén a kukorica hozzájárulhat a globális élelmezésbiztonság javításához, miközben mérsékelheti a növekvő élelmiszerigényből fakadó környezeti terheket.

A kukorica termés hozamát és keményítőtartalmát számos mezőgazdasági tényező befolyásolja, többek között a termesztés típusa, az öntözés és a trágyázás. A művelési típus a talajművelés során alkalmazott módszereket és gyakorlatokat jelenti, amely magában foglalhatja mind a hagyományos, mind az innovatív, precíziós módszereket. A modern termesztési technikák, például a kiváló minőségű hibridek alkalmazása, a gépesítés és a kártevők elleni védekezés jelentősen növelhetik a kukorica termés hozamát és minőségét. Khan et al. (2018) tanulmánya szerint a modern termesztési technikák akár 30%-kal növelhetik a termés hozamot és 15%-kal a keményítőtartalmat a hagyományos módszerekhez képest. Ez azt jelzi, hogy a korszerű technológiák és az innovatív mezőgazdasági gyakorlatok bevezetése jelentős versenyelőnyt biztosíthat a kukoricatermelők számára.

Az új technológiák, például a nagy mennyiségű adatok (big data) elemzése, a mesterséges neurális hálózatok (ANN) és a gépi tanulás forradalmasítják a mezőgazdasági szektort, és jelentős mértékben javíthatják a kukoricatermelés hatékonyságát. Ezek az adatalapú módszerek pontos és fenntartható megoldásokat kínálnak a mezőgazdaságban felmerülő kihívásokra (Raj et al., 2021). A digitális adatgyűjtési és -elemzési módszerek fejlődése

lehetővé tette, hogy a mezőgazdasági rendszerek komplexitását korszerű, adatvezérelt megközelítéssel értelmezzük. A big data elemzés – a nagy tér- és időbeli felbontású adatok, valamint gépi tanulási algoritmusok alkalmazásán keresztül – jelentős lehetőségeket kínál a precíziós mezőgazdaságban. E módszerek támogatják a prediktív modellek fejlesztését, a hozamoptimalizálást és a fenntartható döntéstámogatást, amelyek az agronómiai rendszerek hatékonyabb megértéséhez vezethetnek (Kamilaris et al., 2017). Különösen fontos szerepet kapnak ebben a távérzékelésből származó nagy adatállományok, amelyek strukturált feldolgozása és integrálása alapfeltétele a korszerű precíziós növénytermesztésnek (Huang et al., 2018).

Az ANN-ok a gépi tanulási algoritmusok egyik típusát képviselik, amelyek az emberi agy működését és szerkezetét utánozzák az adatok feldolgozása és értelmezése során. Ez lehetővé teszi, hogy a neurális hálózatok a múltbeli adatok alapján előrejelzéseket készítsenek és összetett mintázatokat azonosítsanak. A kukoricatermelés esetében az ANN-ok képesek több különböző paramétert elemezni és ezek alapján előre jelezni a terméshozamot és a keményítőtartalmat.

Ezek az előrejelzések felhasználhatók a mezőgazdasági gyakorlatok optimalizálására egy adott régió vagy gazdaság körülményeinek figyelembevételével. Az ANN-modellek lehetőséget kínálnak arra, hogy a gazdálkodók adatvezérelt döntéseket hozzanak a vetési időpontokról, a művelési módszerekről, valamint az öntözési és trágyázási stratégiákról, ezáltal növelve a kukoricatermesztés hatékonyságát és fenntarthatóságát.

Mindazonáltal az ANN-előrejelzések pontossága és megbízhatósága nagymértékben függ a modell betanításához felhasznált adatok minőségétől, összetételétől és méretétől. Ezért a kukoricatermesztésben az ANN-modellek előnyeinek maximalizálásához elengedhetetlen a részletes, pontos és helyspecifikus adatgyűjtés (Harsányi et al., 2022). A megbízható adatok birtokában az ANN-modellek hatékony eszközként szolgálhatnak a kukoricatermesztés eredményességének és fenntarthatóságának javításában.

Magyarországon az ANN-ok (mesterséges neurális hálózatok) alkalmazása a mezőgazdaságban még viszonylag új kutatási területnek számít, és egyelőre csak korlátozott mértékben használják a kukorica termesztésének vizsgálatában. Számos hazai tanulmány rámutat arra, hogy Magyarországon a kukorica terméshozamát és minőségét leginkább olyan mezőgazdasági tényezők befolyásolják, mint a termesztési mód, az öntözés és a műtrágyázás (Harsányi et al., 2023). Ezért kiemelten fontos megvizsgálni,

hogy milyen lehetőségek és kihívások kapcsolódnak az ANN-ok használatához a kukorica terméshozamának és keményítőtartalmának előrejelzésében, különös tekintettel a fent említett agronómiai tényezőkre. Az ANN-ok képesek lehetnek arra, hogy ezeknek a komplex összefüggéseknek az elemzésével pontosabb előrejelzéseket adjanak, és ezzel támogassák a kukoricatermesztés hatékonyságának és fenntarthatóságának javítását. A fenti szempontokat figyelembe véve, kutatásom során az alábbi célokat tűztem ki:

- a) Különböző műtrágyakezelések (N 0 kg/ha, P₂O₅ 0 kg/ha, K₂O 0 kg/ha, (kontroll); N 80 kg/ha, P₂O₅ 60 kg/ha, K₂O 90 kg/ha, és N 160 kg/ha, P₂O₅ 60 kg/ha, K₂O 90 kg/ha) hatásának elemzése a kukorica keményítőtartalmára.
- b) Három talajművelési rendszer (őszi szántás (27 cm), sávos talajművelés (23 cm), lazítás (45cm) hatásának elemzése a kukorica keményítőtartalmára.
- c) Az évjárat (2017-2019) hatásának elemzése a kukorica keményítőtartalmára vonatkozóan.
- d) A fenti tényezők kumulatív hatásának elemzése a kukorica keményítőtartalmára vonatkozóan.
- e) A mesterséges neurális hálózatok (ANN) (többrétegű perceptron (MLP) és a radiális bázisfüggvény (RBF) alkalmasságának elemzése a kukorica keményítőtartalmának előrejelzésére vonatkozóan.
- f) Az eltérő bemeneti változók bevonásával létrehozott forgatókönyvek hatékonyságának értékelése a kimeneti eredmények előrejelzésére vonatkozóan.
- g) Annak a feltételezésnek a bizonyítása vagy cáfolata, hogy az ANN-MLP gépi tanulási modell jobb predikációs hatékonysággal bír a mezőgazdaságra jellemző adatok esetében, mint az ANN-RBF modell
- h) Annak a feltételezésnek a bizonyítása vagy cáfolata, hogy a gépi tanulási modellek hatékonyabban működnek a bemeneti változók számának növelése esetén

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Vizsgálati terület és kísérleti elrendezés

A kutatás alapjául szolgáló szántóföldi kukorica tartamkísérlet a Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén került beállításra. A kísérlet a Hajdúsági löszháton helyezkedik el, ideális helyszínt biztosít a komplex, többtényezős mezőgazdasági vizsgálatokhoz. A kísérlet helyszíne mészlepedékes csernozjom talajú terület, amely mély humuszréteggel, jó vízmegtartó képességgel bír.

A kísérlet egy polifaktoriális, háromismétléses, kisparcellás tartamkísérlet, amely lehetővé teszi nemcsak az egyes tényezők (talajművelés, műtrágyázás, öntözés) önálló hatásainak, hanem azok kölcsönhatásainak vizsgálatát is. A parcellák elhelyezkedése és a három ismétlés biztosítják a statisztikailag értékelhető és reprodukálható eredményeket.

A talajművelési kezelések három módszert foglalnak magukban:

- T1 – Őszi szántás (27 cm): klasszikus mélyforgatásos technológia, amely elősegíti a szerves anyagok talajba juttatását.
- T2 – Sávos művelés (23 cm): célja a talajbolygatás minimalizálása, a természetes szerkezet megőrzése, és az energiaráfordítás csökkentése.
- T3 – Lazítás (45 cm): mélyebb talajrétegeket lazító technológia, amely segíti a gyökérfejlődést és a víz beszivárgását a mélyebb rétegekbe.

A műtrágyakezelések három szintje a következő:

- Kontroll (N 0 – P₂O₅ 0 – K₂O 0 kg/ha)
- Közepes dózis (N 80 – P₂O₅ 60 – K₂O 90 kg/ha)
- Magas dózis (N 160 – P₂O₅ 60 – K₂O 90 kg/ha)

Ezen felül a kísérlet öntözött és nem öntözött zónákra tagolódik, ami lehetővé teszi a vízellátottság hatásának elemzését is.

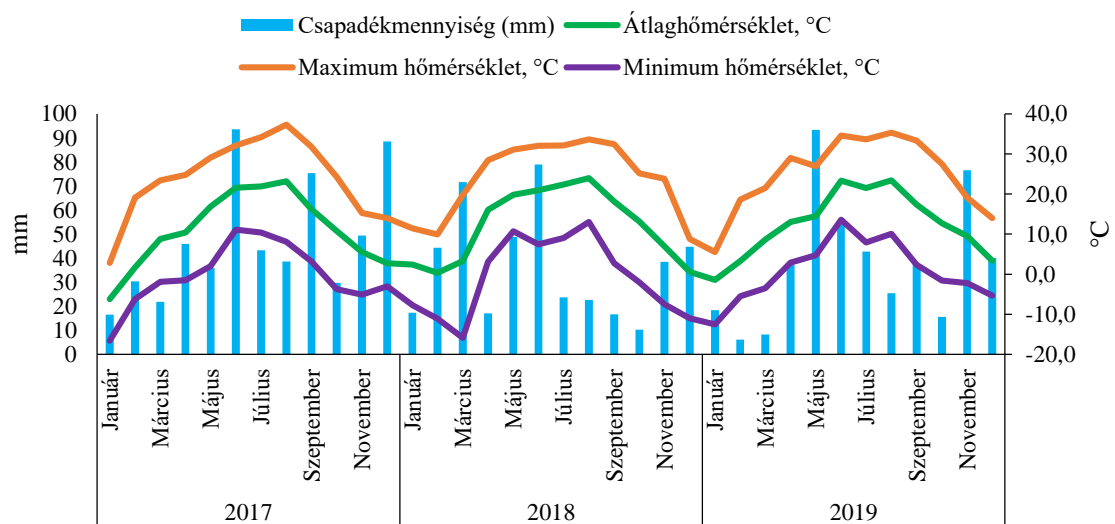
2.2. Éghajlati adatok

A 2017-es év viszonylag kiegyensúlyozott éghajlati viszonyokat mutatott. Az éves átlaghőmérséklet 11,1 °C volt, míg a teljes évi csapadékmennyiség elérte az 569 mm-t, amely a három év közül a legmagasabb érték. A kukorica tenyészidőszakában (április–

szeptember) összesen 242 mm csapadék hullott, amely aránylag egyenletes havi eloszlást mutatott (36–46 mm között), kedvező feltételeket biztosítva a növény fejlődéséhez. A hőmérsékleti viszonyok mérsékelték voltak, a nyári hónapokban 21,6–23,2 °C közötti havi átlagértékekkel és 32–34 °C közötti napi maximumokkal.

A 2018-as év melegebb volt az előző évnél, az éves átlaghőmérséklet 12,3 °C-ra emelkedett. A kukorica vegetációs időszakában több hónapban is 20 °C felett alakult a havi átlag (július: 22,4 °C; augusztus: 24,0 °C), és a melegedés hatása markánsan megjelenik a hőtérképen is. Ugyanakkor ez az év volt a legszárazabb mind éves szinten (435 mm), mind a tenyészidőszakban (230 mm).

2019 volt a három év közül a legmelegebb, 12,4 °C-os éves átlaggal, és számos hónapban 35 °C körüli napi maximumokkal. A nyári hónapok rendkívül melegek voltak, amit a hőtérkép is alátámaszt: június, július és augusztus hónapokban kiterjedt és intenzív vörös színfoltok utalnak tartós hőhullámokra. Ennek ellenére csapadék tekintetében nem ez volt a legszárazabb év. Éves szinten 456 mm csapadék hullott, a tenyészidőszakban pedig 300 mm, amely meghaladta mind a 2017-es (242 mm), mind a 2018-as (230 mm) értéket. Ez arra utal, hogy bár a hőstressz fokozott lehetett, a vízellátottság enyhíthette a negatív hőmérsékleti hatásokat (1. ábra).



1. ábra: Hőmérséklet- és csapadékadatok Debrecenben 2017 és 2019 között (https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/en/kor0071.html)

2.3. Statisztikai elemzés

2.3.1. Leíró statisztikai elemzés a keményítőtartalom alakulásának vizsgálatára

Az adatelemzési folyamat során leíró statisztikai elemzést végeztem a minden egyes vizsgált év (2017-2019) esetén, majd összevontan is értékeltem a három év adatait. Ennek során meghatároztam a vizsgált változók – kukorica terméshozam, olajtartalom, fehérjetartalom, nedvességtartalom és keményítőtartalom, fehérjehozam, keményítőhozam és hl-tömeg alapvető leíróstatisztikai paramétereit.

2.3.2. Korrelációelemzés és többváltozós statisztikai vizsgálatok

A leíró statisztikai elemzéssel egyszerre, éves bontásban, majd a három év összesített adatira vonatkozóan is korrelációs mátrixokat készítettem, hogy feltérképezsem a különböző változók közötti összefüggéseket. A számított korrelációs együtthatók lehetővé tették a páros változók kapcsolatának irányának és erősségének értékelését, ezáltal segítve annak megértését, hogy egy adott tényező változása milyen hatással van a keményítőtartalom alakulására.

2.3.3. Varianciaanalízis (ANOVA) és legkisebb szignifikáns különbség (LSD) vizsgálatok

A feltételezett összefüggések statisztikai szignifikanciájának ellenőrzése érdekében varianciaanalízist (ANOVA) végeztem Huzsvai & Balogh (2015) módszertanát követve. Az ANOVA hatékony eszközt biztosított az egyes vizsgálati tényezők hatásának értékelésére, lehetővé téve annak megállapítását, hogy a különböző kezelések közötti eltérések statisztikailag szignifikánsak-e.

Az ANOVA eredményeinek részletesebb vizsgálatához a legkisebb szignifikáns különbség (Least Significant Difference, LSD) tesztet alkalmaztam, amely lehetőséget biztosított a többszörös összehasonlítások elvégzésére.

2.4. A keményítőhozam előrejelzése ANN-algoritmusk alapján

A mezőgazdasági adatfeldolgozás során gépi tanulási technikákat alkalmaztam a szántóföldi kísérletekből származó keményítőtartalom-értékek elemzésére. A vizsgálatához mesterséges neurális hálózati modelleket (ANN) használtam, amelyek segítségével megvizsgáltam a különböző agronómiai és környezeti tényezők hatását a keményítőtartalom alakulására, négy különböző forgatókönyv szerint.

2.4.1. Elemzési célok és módszerek

A kutatás célja az volt, hogy feltárjam a keményítőtartalom alakulását befolyásoló változók közötti rejtett összefüggéseket, valamint meghatározzam azt a modellt, amely a legjobb becslést adja a keményítőtartalom értékére. Az adatok feldolgozásához az SPSS 29.0.0.0 statisztikai szoftvert használtam, amely lehetőséget biztosított a különböző gépi tanulási algoritmusok összehasonlítására.

2.4.2. Forgatókönyvek és modellezés

A vizsgálat során négy eltérő forgatókönyvet dolgoztam ki, amelyek különböző módon kombinálták a bemeneti változókat. Ezeket a forgatókönyveket egymástól függetlenül elemeztem a többrétegű perceptron (MLP) és a radiális bázisfüggvény-hálózat (RBF) modellek segítségével.

A mesterséges neurális hálózatok három fő rétegből épülnek fel:

- **Bemeneti réteg:** itt kerülnek a modellbe a vizsgált agronómiai és környezeti tényezők.
- **Rejtett réteg:** ebben a szakaszban történik az adatok feldolgozása és a nemlineáris összefüggések feltárása.
- **Kimeneti réteg:** a hálózat végső előrejelzése a keményítőtartalomra vonatkozóan.

A keményítőtartalom előrejelzésére **két különböző neurális hálózati modellt** alkalmaztam:

1. **Többrétegű perceptron (MLP)** – amely képes a **nemlineáris összefüggések** azonosítására, és többszintű feldolgozással pontos predikciót ad.
2. **Radiális bázisfüggvény-hálózat (RBF)** – amely gyorsabb tanulási sebessége miatt hatékonyabban kezelte a nagyobb adathalmazokat.

2.4.3. A gépi tanulás révén végzett elemzéshez felhasznált scenáriók összetételének bemutatása

A kutatásban négy különböző scenáriót állítottam össze a gépi tanulási modellek számára.

A scenáriók összetételét az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A gépi tanulási elemzéshez összeállított scenáriók összetétele

Szenárió	Bevont változók	Rövid indoklás
SC1	Talajművelés, öntözés, tápanyagkezelések, hozam, olajtartalom, fehérjetartalom, nedvességtartalom	A talajművelés, öntözés és tápanyagellátottság közvetlenül befolyásolja a kukorica növekedését, a hozamot és a beltartalmat. Egyéb változókkal együtt szerepeltetve átfogó képet nyújt ez az összetétel
SC2	Évjárat, hozam, fehérjetartalom, nedvességtartalom	A scenárió célja az időjárási és évjárat paraméterek szerepének feltárása volt, néhány egyéb változó bevonása mellett..
SC3	Évjárat, tápanyag, termés, olajtartalom, fehérjetartalom, HI-tömeg, fehérjehozam, keményítőhozam	A tápanyagellátás, hozam és minőségi mutatók (fehérje-, olaj-, és HI-tömeg) közötti összefüggéseket vizsgálja.
SC4	Évjárat, tápanyagkezelések, talajművelés, öntözés, hozam, olajtartalom, fehérjetartalom, HI-tömeg, fehérjehozam, nedvességtartalom, keményítőhozam	A komplex modell ötvözi az évjárat hatásokat, az agrotechnikai tényezőket és a beltartalmi paramétereket. A cél a teljes rendszer dinamikájának feltárása és a keményítőtartalom pontos előrejelzése.

Forrás: saját szerkesztés

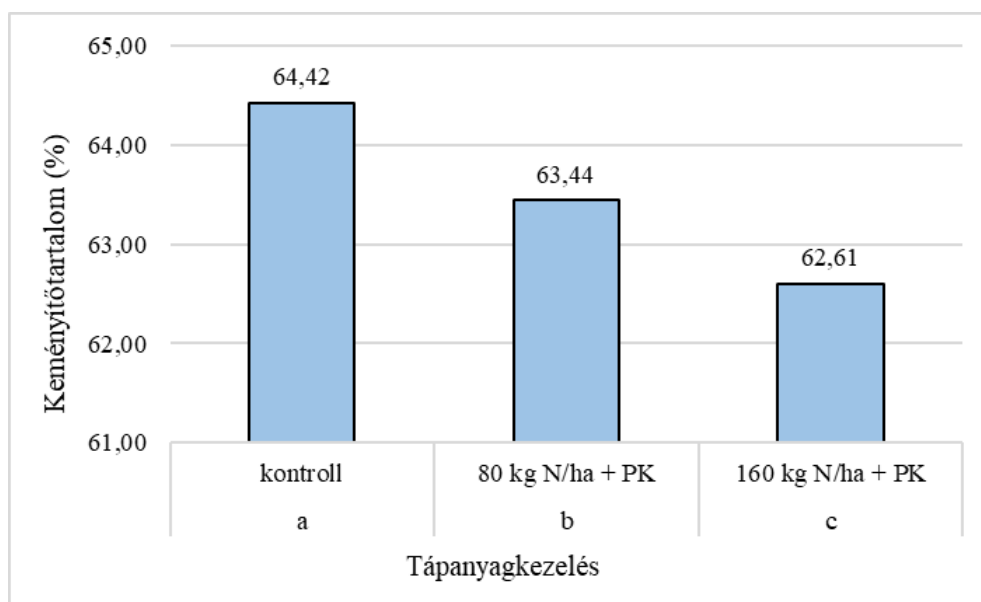
2.4.4. A gépi tanulási modellek teljesítményének statisztikai értékelése

A modellek futtatását követően a szoftver értékelte a predikciós hatékonyságot és mind a tanítási, mind a tesztelési fázisra vonatkozóan megadta az adott scenárió négyzetes hiba összegét és relatív hibát, amelyek alapján elvégezhető volt az elsődleges rangsorolás. Azonban a még pontosabb eredmény érdekében további mutatókat is alkalmaztam: Nash-Sutcliffe-hatékonyság (NSE), a Pearson-féle korrelációs együttható (r), a determinációs együttható (r^2) és a négyzetes középeltérés (RMSD). Ezek a mutatók átfogó értékelést adtak a modellek teljesítményéről, figyelembe véve mind a pontosságot, mind az előrejelzések megbízhatóságát (Harsányi et al. 2023).

3. EREDMÉNYEK

3.1. A különböző tápanyagkezelések hatása a keményítőtartalomra

A különböző tápanyagkezelések hatásának elemzése során megállapítottam, hogy a kukorica keményítőtartalmára jelentős hatással volt a tápanyag-adagolás. A vizsgálatok eredményei alapján a legmagasabb keményítőtartalmat (64,42%) a kontroll kezelés eredményezte, ami arra utal, hogy a nitrogéntrágyázás hiánya kedvezően hatott a keményítőtartalomra. Ezzel szemben a legalacsonyabb keményítőtartalmat (62,61%) a 160 kg N/ha + PK tápanyagkezelés eredményezte el, ami azt jelzi, hogy a magasabb nitrogénadag csökkentette a keményítőtartalmat. A statisztikai elemzés során a legkisebb szignifikáns különbség a tápanyagkezelések között 0,428% volt, ami jelzi, hogy a mért különbségek statisztikailag szignifikánsak. A 2. ábra jól szemlélteti a különböző tápanyagkezelések keményítőtartalomra gyakorolt hatását.

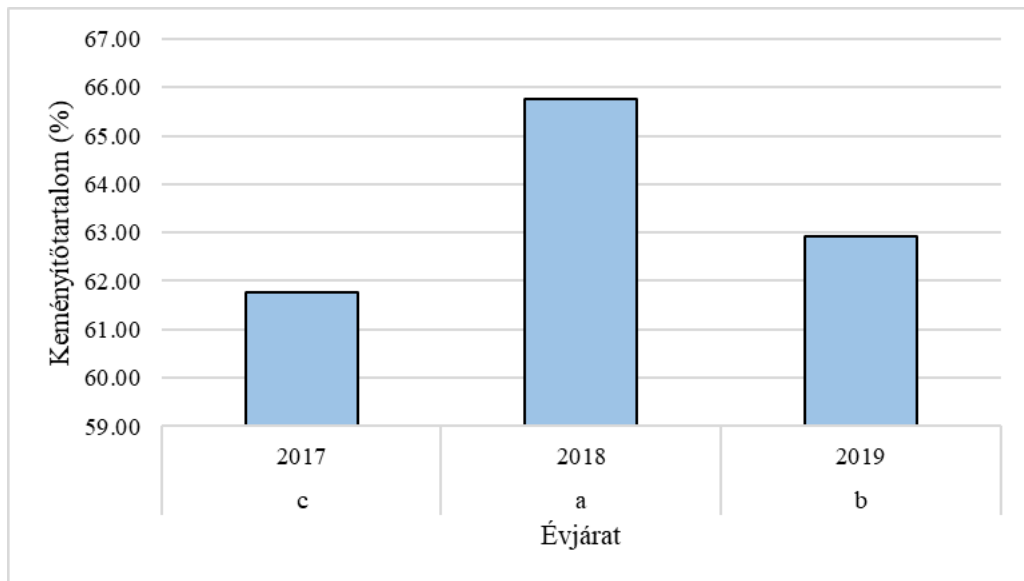


2. ábra: A tápanyagkezelések hatása a kukorica keményítőtartalmára (Debrecen-Látókép 2017-2019)

3.2. Az évjárat hatása a keményítőtartalomra

Az évjárat hatásának elemzése, amely az éghajlati hatások figyelembevételével történt, egyértelműen kimutatta, hogy a kukorica keményítőtartalma jelentős mértékben függ a termesztési évjáratától. A statisztikai elemzések során a legkisebb szignifikáns különbség a termésévek között 0,309% volt (LSD: 0,309%), ami jelzi, hogy a különbségek a keményítőtartalom tekintetében szignifikánsnak tekinthetők. Az ANOVA és az LSD-teszt eredményei alapján megállapítható, hogy a különböző évjáratok között szignifikáns

eltérések figyelhetők meg a kukorica keményítőtartalmában, különösen a 2018-as év javára. A 2018-as évjárat kiemelkedően kedvező volt, míg a 2017-es évjárat jelentősen kedvezőtlenebb a keményítőtartalom szempontjából. A 13. ábra szemléletesen mutatja be a keményítőtartalom alakulását a három vizsgált évjáratban. Az oszlopdiagram jól érzékelteti a 2018-as évjárat kiugró értékét, valamint a 2017-es és 2019-es évjáratok alacsonyabb, egymáshoz közeli keményítőtartalmát. A csoportok közötti szignifikáns különbségeket az oszlopok alatti betűk (a, b, c) jelzik (3. ábra).



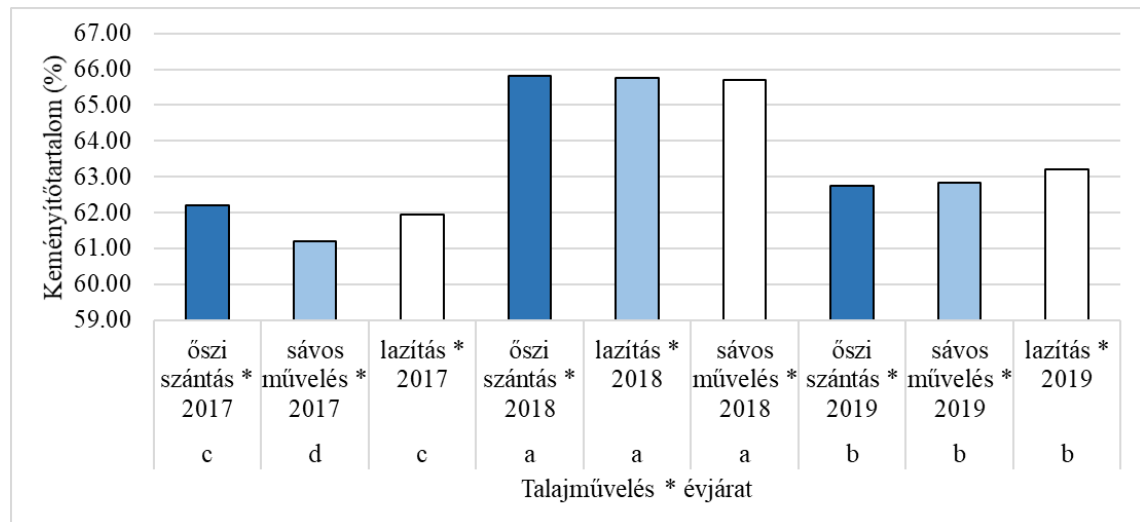
3. ábra: Az évjárat hatása a kukorica keményítőtartalmára (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

3.3. A különböző talajművelési módok és az évjárat együttes hatása a keményítőtartalomra

A talajművelés és az évjárat hatása szignifikánsan befolyásolta a kukorica keményítőtartalmát, ami fontos tényező a termesztési technológiák hatékonyságának értékelése során. A vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a legalacsonyabb keményítőtartalom 2017-ben volt megfigyelhető, azon belül is a sávos talajművelés esetében. Ebben az évben nem volt statisztikailag szignifikáns különbség az őszi szántásos és a lazítással végzett talajművelés között, ami arra utal, hogy a különböző művelési módszerek közötti különbségek ebben az évjáratban kevésbé voltak markánsak. A következő évben, azaz 2018-ban, a kukorica keményítőtartalma kiemelkedően magas volt, ami az eddigi megfigyeléseket támasztja alá, azonban fontos megemlíteni, hogy ebben évjáratban nem mutatkozott szignifikáns különbség a különböző talajművelési

kezelések között, ami azt sugallja, hogy a környezeti tényezők ebben az évben dominánsabb hatást gyakoroltak a keményítőtartalomra, mint a talajművelési technológia.

A 2019-es évben minden vizsgált talajművelési módszernél szignifikánsan alacsonyabb keményítőtartalom volt megfigyelhető, mint az előző évben (2018), azonban a 2017-es évhez képest a keményítőtartalom még így is magasabbnak bizonyult. (4. ábra).

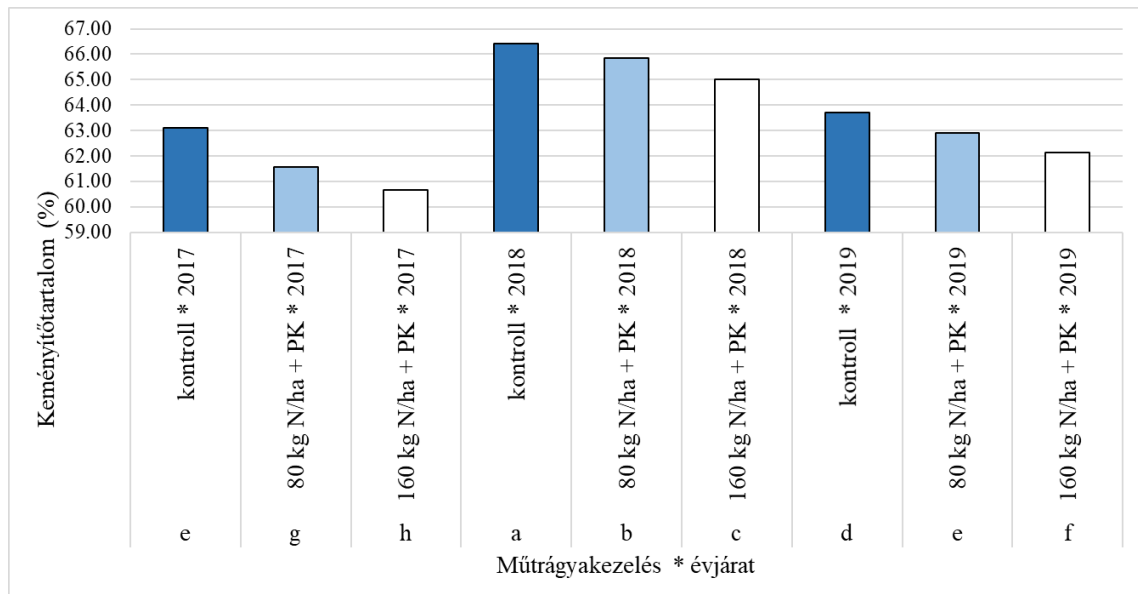


4. ábra: Az elsődleges talajművelés és az évjárat hatása a kukorica keményítőtartalmára (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

3.4. A tápanyagkezelések és az évjárat együttes hatása a keményítőtartalomra

Az elemzés eredményei azt mutatták, hogy a tápanyagkezelés és az évjárat jelentős hatással volt a vizsgált kukoricaminták keményítőtartalmára. Az évjárat hatások vizsgálata során bebizonyosodott, hogy 2018-ban a három tápanyagkezelés között nem volt szignifikáns különbség, ami arra utal, hogy ebben az évben a kedvező klimatikus körülmények domináltak a keményítőtartalom alakulásában. Ezzel szemben 2019-ben nem mutatkozott statisztikai különbség a tápanyagkezelések között, ugyanakkor az előző évhez képest a keményítőtartalom minden kezelés esetében igazolhatóan alacsonyabb volt. A tápanyagkezelés és az évjárat közötti legkisebb szignifikáns különbség értéke 0,536 volt, ami megerősíti a kezelések közötti eltérések statisztikai jelentőségét. A tápanyagkezelés és az évjárat együttesen is befolyásolta a kukorica keményítőtartalmát, amely változásokat mutatott az egyes évek között. A vizsgált időszak legalacsonyabb keményítőtartalma 2017-ben volt, amikor a 160 kg N/ha-os kezelésben mindössze 60,67%-os keményítőtartalom volt megfigyelhető. Ez az eredmény ismét azt mutatja,

hogy a magasabb N-műtrágya adagok nem feltétlenül kedveznek a keményítőképződésnek (5. ábra).



5. ábra: A műtrágyázás és az évjázat hatása a kukorica keményítőtartalmára (Debrecen-Látókép, 2017-2019)

3.5. A keményítőtartalom előrejelzésének mesterséges neurális hálózatokkal (ANN) történő értékelése

A hagyományos elemzési módszereket követően a kísérleti adatok elemzéséhez és a keményítőtartalom előrejelzéséhez gépi tanulási módszereket alkalmaztam, mégpedig két mesterséges neurális hálózat (ANN) modellt, a többrétegű perceptron (MLP) és a radiális bázis függvény (RBF) modellt. Az MLP egy több rétegű neurális hálózat, amely komplex összefüggések felismerésére képes, míg az RBF modell egy speciális neurális hálózat, amely a bemeneti adatok és a célváltozók közötti nemlineáris összefüggések modellezésére szolgál. A vizsgálat célja annak megállapítása volt, hogy a különböző változók predikciós hatékonyságát elemezzem a keményítőtartalomra vonatkozóan, négy előre meghatározott szcenárió alapján.

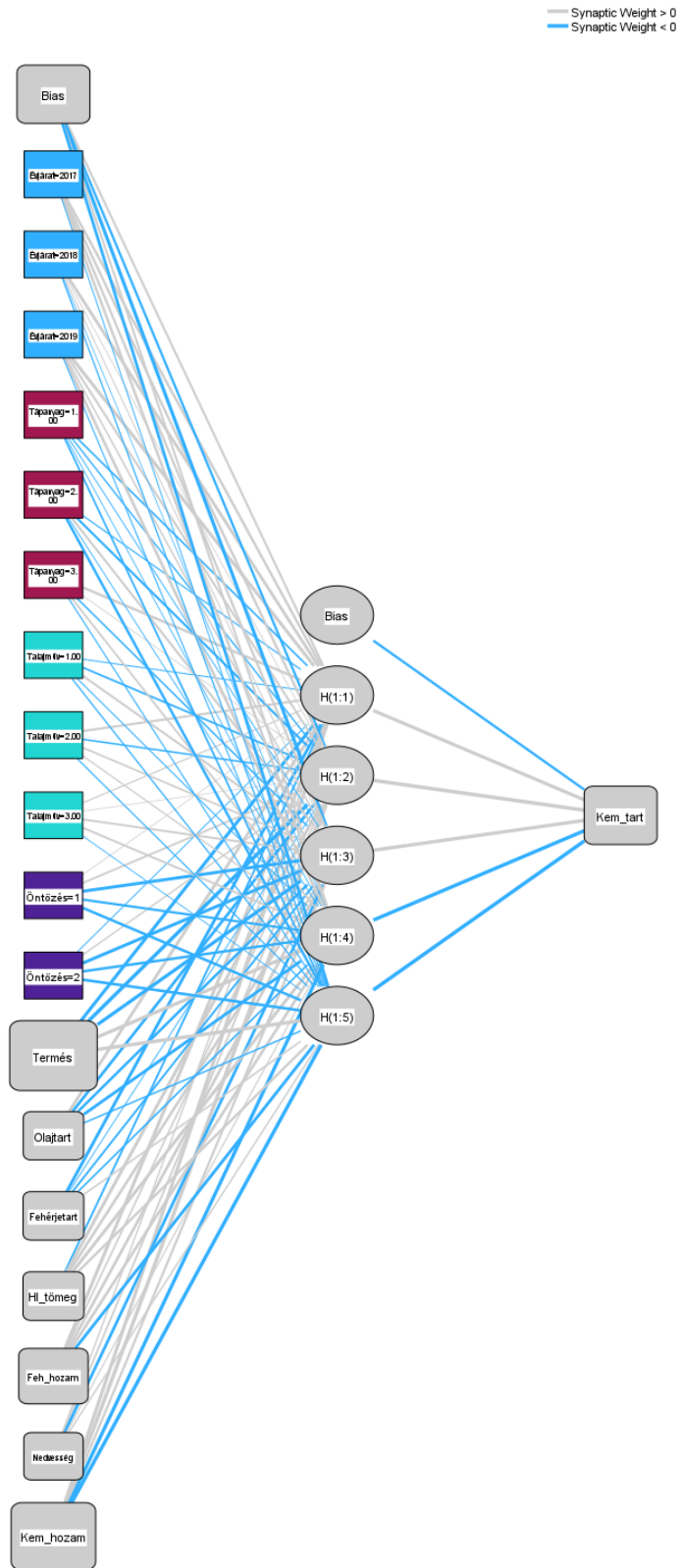
A 6. ábra az MLP_SC4 forgatókönyv esetében mutatja be a hálózat felépítését és konfigurációját. A modell bemeneti rétege 11 db bemeneti változóból és azok alváltozóiból (összesen 18 változó) épül fel, amelyek az összes lehetséges agronómiai és technológiai paramétert tartalmazzák. A bemenetek között szerepel az évjázat, a tápanyagkezelések különböző szintjei, a talajművelési módok, az öntözési kezelések, valamint a termés mennyisége, az olajtartalom, a fehérjetartalom, a hl-tömeg, a

fehérjehozam, a nedvességtartalom és a keményítőhozam. A modell rejtett rétege összesen 5 neuront tartalmaz.

Az MLP_SC4 modell teljesítménye mind a tanítási, mind a tesztelési fázisban kiemelkedőnek bizonyult. A tanítási fázisban a négyzetes hibák összege mindössze 17,173 volt, míg a relatív hiba értéke rendkívül alacsony, 0,038, ami egyértelműen jelzi, hogy a modell kiválóan illeszkedett a tanító adathalmazhoz. A tesztelési fázisban a modell szintén kiváló teljesítményt mutatott: a négyzetes hibák összege mindössze 1,179, a relatív hiba pedig csupán 0,006 volt. Ez azt jelzi, hogy a modell általánosítási képessége kimagasló és az előrejelzési pontosság a tanító adathalmazon kívüli minták esetében is megbízhatóan fennmaradt. Összességében elmondható tehát, hogy az MLP_SC4 modell minden tekintetben felülmúlta a korábbi három scenáriót, így a legjobb predikciós teljesítményt nyújtotta a vizsgált MLP és RBF modellek tekintetében (2. táblázat).

2. táblázat: A modell teljesítménye az MLP_SC4 forгатókönyv esetében

Modell összefoglaló		
Tanítás	Négyzetes hiba összege	17,173
	Relatív hiba	0,038
	Képzési idő	0:00:00.29
Tesztelés	Négyzetes hiba összege	1,179
	Relatív hiba	0,006
Függő változó: keményítőtartalom		



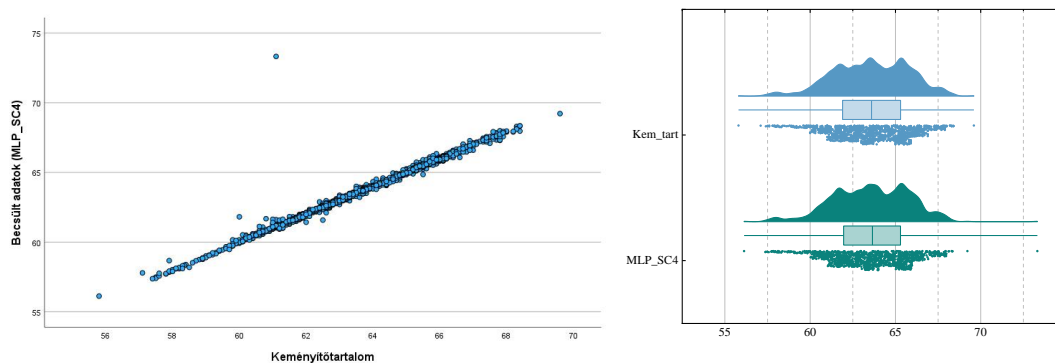
Hidden layer activation function: Hyperbolic tangent

Output layer activation function: Identity

6. ábra Az MLP_SC4 szcenárió modelljének szerkezeti felépítése

Az MLP_SC4 modell becsült és valós keményítőtartalom értékeinek összehasonlítását a 7. ábra szemlélteti. A szóráskép alapján egyértelműen megállapítható, hogy az előrejelzett értékek szinte pontosan a valós adatok mentén helyezkednek el, ami azt mutatja, hogy a modell kiemelkedően jól teljesít. A szórás a magasabb keményítőtartalom értékeknél is rendkívül alacsony, ami az MLP_SC4 modell stabilitását és pontosságát mutatja.

A raincloud diagramon látható, hogy a becsült és a valós keményítőtartalom eloszlása gyakorlatilag teljes mértékben átfed, ami a modell kivételes előrejelzési képességét bizonyítja. Az eloszlások alakja és a középértékek szinte teljes egyezése azt jelzi, hogy az MLP_SC4 modell az eddigi vizsgálatok során a legjobb illeszkedést produkálta.



7. ábra: Az MLP_SC4 becsült értékeinek szórás- és raincloud diagramjai

A korábbi vizsgálatok során az MLP modellek teljesítményét a négyzetes hibák összege és a relatív hiba alapján értékeltém. Ezek a mutatók jól szemléltették az előrejelzési pontosságot mind a tanítási, mind a tesztelési fázisban, azonban amennyiben még átfogóbb képet kívánunk kapni a modell általános teljesítményéről és megbízhatóságáról, szükség van további teljesítménymutatók vizsgálatára, amelyek pontosabban mutatják be a forgatókönyvek közötti különbségeket. Ennek érdekében a 3. táblázatban látható négy mutatót számítottam ki minden egyes forgatókönyv esetében.

3. táblázat: Az MLP modell forgatókönyveinek teljesítménye további teljesítménymutatók alapján

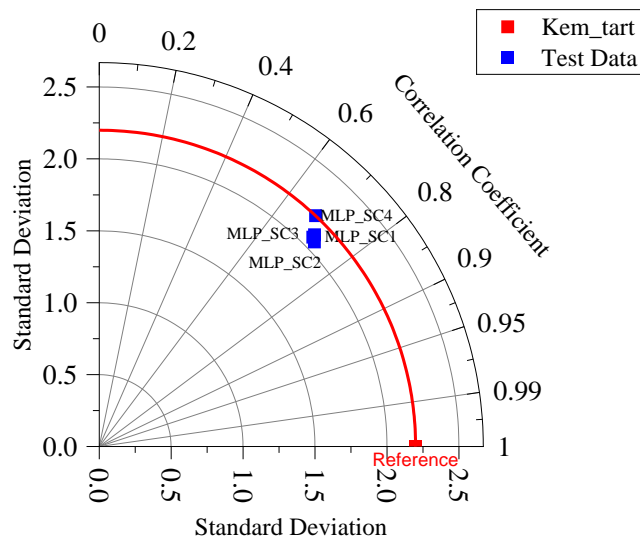
	Modell teljesítménymutatók			
	r	r ²	RMSD	NSE
MLP_SC1	0,961	0,923	0,611	0,923
MLP_SC2	0,928	0,861	0,820	0,861
MLP_SC3	0,945	0,894	0,718	0,894
MLP_SC4	0,986	0,972	0,368	0,972

A fentiek alapján tehát kiderült, hogy az MLP modell minden esetben jobban teljesített, mint az RBF modell. Amellett, hogy a legjobb teljesítményű kombináció az MLP_SC4 volt, a legrosszabb pedig az RBF_SC1, az MLP modell legkevésbé hatékony forgatókönyve is felülmúlta a legjobb RBF forgatókönyvet. A 4. táblázat összefoglalva mutatja be az egyes forgatókönyvek hatékonysági mutatóit.

4. táblázat: A modellek teljesítményének összefoglalása

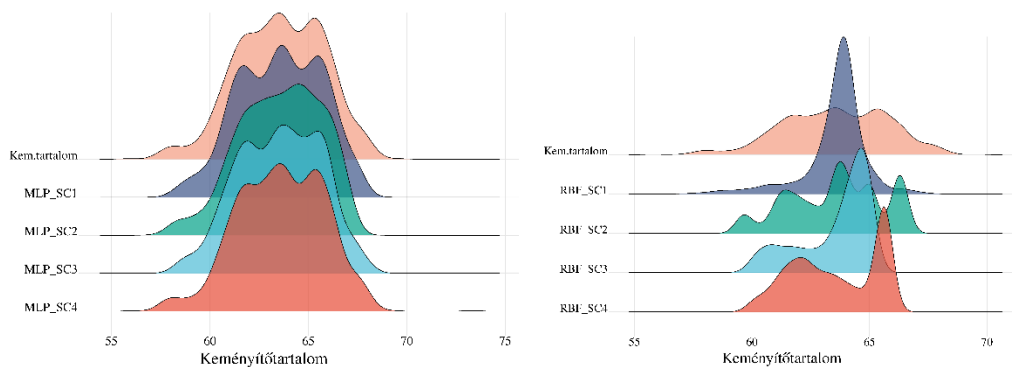
Modell	Szcenárió	Tanítás		Tesztelés	
		Négyzetes hibák összege	Relatív hiba	Négyzetes hibák összege	Relatív hiba
MLP	SC1	36,536	0,081	14,948	0,069
	SC2	59,893	0,132	27,611	0,156
	SC3	42,323	0,095	26,979	0,131
	SC4	17,173	0,038	1,179	0,006
RBF	SC1	280,262	0,611	144,479	0,638
	SC2	95,621	0,212	43,717	0,214
	SC3	256,587	0,558	98,352	0,488
	SC4	156,305	0,341	51,767	0,307

Végül a 8. ábrán látható Taylor-diagram összefoglaló módon szemlélteti a az MLP modell forgatókönyveinek előrejelzési teljesítményét.



8. ábra Az MLP modellben alkalmazott forgatókönyvek hatékonyságának ábrázolása Taylor-diagram segítségével

A mesterséges neurális hálózat (ANN) algoritmusok - a többrétegű perceptron (MLP) és a radiális bázisfüggvény (RBF) - hatékonyságának összehasonlító elemzése érdekében a keményítőtartalom előrejelzésében a 9. ábrán látható gerincvonal módszert alkalmaztam. E grafikonok vizsgálatakor nyilvánvalóvá válik, hogy az MLP algoritmus által generált előrejelző kimenet nagyobb fokú hasonlóságot mutat a megfigyelt mérésekkel. Ezzel szemben az RBF algoritmus előrejelző képessége kevésbé pontos ebben az összefüggésben.



9. ábra A megfigyelt és az ANN-MLP alapján megjósolt értékek gerincvonalis ábrája a vizsgált forgatókönyvek esetében.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Az évjáráthatás szignifikánsan befolyásolta a keményítőtartalmat. Az ANOVA és LSD tesztek alapján bizonyítást nyert, hogy a kukorica szemtermésének keményítőtartalma szignifikáns eltérést mutatott az évjáratok között. A 2018-as évjáratban mért átlagos keményítőtartalom (65,76%) szignifikánsan magasabb volt mind a 2017-es (61,78%), mind a 2019-es (62,93%) évhez képest (LSD $p < 0,01$), ami az évjárat sajátosságainak kiemelt szerepét igazolja a beltartalom alakulásában a vizsgált helyszínen és időszakban.
2. A vizsgált években a műtrágyadózisok növekedése csökkentette a keményítőtartalmat. A három különböző tápanyagkezelés (kontroll, 80 kg N ha⁻¹, 160 kg N ha⁻¹) összehasonlítása során statisztikailag szignifikáns különbség mutatkozott a keményítőtartalom esetében. A kontroll kezelés esetén mért átlagos keményítőtartalom 65,01% volt, míg a legmagasabb nitrogénszint mellett ez 60,67%-ra csökkent (LSD $p < 0,001$). Ez az eredmény a vizsgált kísérleti körülmények és évek esetében bizonyítja azt a feltételezést, hogy a magasabb N-dózisok a keményítőtartalom csökkenéséhez vezetnek, azonban mivel a terméshozamot növelik, a fajlagos keményítőhozamra is pozitív hatást gyakorolnak.
3. kukorica keményítőtartalma és fehérjetartalma között erős negatív korreláció mutatkozott. A Spearman-féle korrelációs elemzés alapján az adatok összevont vizsgálatánál -0,72 korrelációs együttható volt kimutatható a keményítőtartalom és a fehérjetartalom között. A kapott eredmény azt bizonyítja, hogy a vizsgált időszak és a kísérlet körülményei tekintetében teljesült az előzetes feltételezés, amely a fenti negatív korrelációra vonatkozott. Az eredményt továbbá alátámasztják az ANN vizsgálatok (különösen a legjobb eredményt hozó MLP_SC4 scenárió) inputváltozói esetében kapott normalizált fontossági adatok, ahol a fehérjetartalom kiemelkedő szereppel bírt, mint fontos befolyásoló tényező a keményítőtartalom becslésekor.
4. A többrétegű perceptron (MLP) modell kiemelkedő pontossággal becsülte meg a keményítőtartalmat. A gépi tanulási elemzés során az MLP_SC4 modell a tesztelési szakaszban 0,006 relatív hibát, 0,986 Pearson-korrelációs együtthatót és 0,972 Nash-Sutcliffe értéket ért el, ami rendkívül pontos illeszkedést mutat a tényleges értékekhez. A modell teljesítménye felülmúlta az összes RBF alapú modellt és más scenáriókat, igazolva az MLP-modell jobb hatékonyságát a mezőgazdasági beltartalom-

predikcióban. Ezzel kisparcellás szántóföldi kukorica kísérlet és az abból származó szerteágazó adattípusok esetén is teljesült a kutatás elején megfogalmazott egyik feltételezés, nevezetesen, hogy az MLP modell hatékonyabb becslést ad majd mint az RBF modell.

5. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

A kutatás során feltárt eredmények számos módon hozzájárulhatnak a korszerű kukoricatermesztés gyakorlati fejlesztéséhez. A keményítőtartalom – mint iparilag és takarmányozás szempontjából is kiemelt jelentőségű beltartalmi mutató – alakítását célzó döntések szempontjából kulcsfontosságú, hogy mely környezeti és agrotechnikai tényezők gyakorolnak rá mérhető hatást.

A többéves eredmények alapján egyértelmű, hogy a nitrogéntrágyázás intenzitásának visszafogása jelentősen javíthatja a keményítőtartalmat. A legmagasabb nitrogénadag alkalmazása esetén a keményítőtartalom több mint 4%-kal csökkent a kontrollhoz képest, ami közvetlen hatással van az ipari feldolgozhatóságra és tárolhatóságra. Ez arra utal, hogy a hozam maximalizálása nem minden esetben jár együtt a minőség javulásával, és a beltartalom optimalizálása érdekében a tápanyag-utánpótlási stratégiát differenciáltan, célzottan célszerű megtervezni.

A talajművelési módok közül a lazításos technológia bizonyult a leginkább kedvezőnek a keményítőhozam szempontjából, különösen aszályos évjáratokban. Ez arra utal, hogy a mélyebb gyökérszónák feltárása javíthatja a vízhasznosítást, ami közvetve a keményítőtartalom stabilizálását is elősegíti.

A kutatás során alkalmazott MLP típusú gépi tanulási modellek a keményítőtartalom előrejelzésében kiemelkedő pontosságot értek el. Ez alapot nyújthat precíziós döntéstámogató rendszerek fejlesztéséhez, amelyek valós időben képesek előrejelezni a beltartalmi értékeket termőhely, technológia és évjáratok alapján.

Eredményeim alapján a termelők, feldolgozók és nemesítők egyaránt képesek lehetnek célzott, adatvezérelt módon befolyásolni a keményítőtartalmat, növelve ezzel a kukoricatermesztés gazdasági és minőségi hatékonyságát.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Elbeltagi, A. – Zhang, L. – Deng, J. – Juma, A. – Wang, K.: 2020. Modeling monthly crop coefficients of maize based on limited meteorological data: A case study in Nile Delta, Egypt. *Computers and Electronics in Agriculture*. 173: 105368.
2. Gerland, P. – Raftery, A. E. – Ševčíková, H. – Li, N. – Gu, D. – Spoorenberg, T. – Alkema, L. – Fosdick, B. K. – Chunn, J. L. – Lalic, N. – Bay, G. – Buettner, T. – Heilig, G. K. – Wilmoth, J.: 2014. World population stabilization unlikely this century. *Science*. 346. (6206): 234–237.
3. Harsányi – E. – Bashir – B. – Almhamad – G. – Hijazi – O. – Maze – M. – Elbeltagi – A. – Szabó – S.: 2021a. GHGs emission from the agricultural sector within EU-28: A multivariate analysis approach. *Energies*. 14. (20): 6495.
4. Harsányi – E. – Bashir – B. – Alsilibe – F. – Alsafadi – K. – Alsalman – A. – Széles – A. – Mohammed – S.: 2021b. Impact of agricultural drought on sunflower production across Hungary. *Atmosphere*. 12. (10): 1339.
5. Hateffard – F. – Mohammed – S. – Alsafadi – K. – Enaruvbe – G. O. – Heidari – A. – Abdo – H. G. – Rodrigo-Comino – J.: 2021. CMIP5 climate projections and RUSLE-based soil erosion assessment in the central part of Iran. *Scientific Reports*. 11. (1): 1–17.
6. Huang, Y. – Chen, Z. – Yu, T. – Huang, X. – Gu, X.: 2018. Agricultural remote sensing big data: Management and applications. *Journal of Integrative Agriculture*. 17. (9): 1915–1931.
7. Huzsvai, L. – Balogh, P.: 2015. *Lineáris modellek az R-ben*. Debreceni Egyetemi Kiadó.
8. Juhász – C. – Gálya – B. – Kovács – E. – Nagy – A. – Tamás – J. – Huzsvai – L.: 2020. Seasonal predictability of weather and crop yield in regions of Central European continental climate. *Computers and Electronics in Agriculture*. 173: 105400.
9. Kamilaris – A. – Kartakoullis – A. – Prenafeta-Boldú – F. X.: 2017. A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 143: 23–37.

10. *Khallouf – A. – Talukdar – S. – Harsányi – E. – Abdo – H. G. – Mohammed – S.:* 2021. Risk assessment of soil erosion by using CORINE model in the western part of Syrian Arab Republic. *Agriculture & Food Security*. 10. (1): 1–15.
11. *Khan, M. A. – Ali, S. – Khan, M. A. – Khan, M. A.:* 2018. Impact of different agricultural practices on yield and quality of maize. *Journal of Agricultural Research*. 56. (2): 123–128.
12. *Lynch, J. – Cain, M. – Frame, D. – Pierrehumbert, R.:* 2021. Agriculture's Contribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct From Predominantly Fossil CO₂-Emitting Sectors. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.
13. *Mohammed – S. – Alsafadi – K. – Hennawi – S. – Mousavi – S. M. N. – Kamal-Eddin – F. – Harsányi – E.:* 2021a. Effects of long-term agricultural activities on the availability of heavy metals in Syrian soil: A case study in southern Syria. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 20. (5): 304–312.
14. *Mohammed – S. – Gill – A. R. – Alsafadi – K. – Hijazi – O. – Yadav – K. K. – Hasan – M. A. – Harsányi – E.:* 2021b. An overview of greenhouse gases emissions in Hungary. *Journal of Cleaner Production*. 314: 127865.
15. *Mohammed, S. – Alsafadi, K. – Enaruvbe, G. O. – Bashir, B. – Elbeltagi, A. – Széles, A. – Harsanyi, E.:* 2022b. Assessing the impacts of agricultural drought (SPI/SPEI) on maize and wheat yields across Hungary. *Scientific Reports*. 12. (1): 8838.
16. *Mohammed, S. – Elbeltagi, A. – Bashir, B. – Alsafadi, K. – Alsilibe, F. – Alsalman, A. – Zeraatpisheh, M. – Széles, A. – Harsányi, E.:* 2022c. A comparative analysis of data mining techniques for agricultural and hydrological drought prediction in the eastern Mediterranean. *Computers and Electronics in Agriculture*. 197: 106925.
17. *Ragán, P. – Rátonyi, T. – Széles, A. – Nagy, J. – Tamás, A.:* 2024. Az agrotechnikai paraméterek és az évjárat hatásának vizsgálata a kukorica (*Zea mays* L.) termésére polifaktoriális tartamkísérleti adatok felhasználásával. *Növénytermelés*. 73. (2): 77–100.
18. *Ramasamy – J. – Moorthy – P.:* 2006. Managing food insecurity and poverty in India in the era of globalization. *International Journal of Multidisciplinary Research*. 2. (1): 1–10.
19. *Raza, H. – Bilal, H. – Raza, A. – Shoukat, M. B. – Tariq, R. – Rasheed, A. – Shahid, M. – Sharif, M. U. – Maqsood, M. – Ramzan, M.:* 2021. Impact of Climate Change on Agriculture and Food Security: A Review. *Indian Journal of Pure and Applied Biosciences*. 9. (3): 110–118.

20. Roberts – L.: 2011. 9 Billion? *Science*. 333. (6042): 540–543.
21. Takács – I. – Amiri – M. – Károly – K. – Mohammed – S.: 2021. Assessing soil quality changes after 10 years of agricultural activities in eastern Hungary. *Irrigation and Drainage*. 70. (1): 68–76.
22. Tanumihardjo, S. A. – McCulley, L. – Roh, R. – Gunaratna, N. S. – Lopez-Ridaura, S. – Palacios-Rojas, N. – Mattei, F. – Pixley, K. V.: 2019. Maize agro-food systems to ensure food and nutrition security in reference to the Sustainable Development Goals. *Global Food Security*. 23: 22–30.

7. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**
H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/146/2025.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Fejér Péter
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10084000

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. Ferencsik, S., Rátonyi, T., **Fejér, P.**, Harsányi, E.: A kukorica talajművelési rendszereinek összehasonlító elemzése réti csernozjom talajon.
Agrártud. közl. 60, 21-24, 2014. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (6)

2. Zagyai, P., Tamás, A., Rácz, D., **Fejér, P.**, Radócz, L., Horváth, É.: Correlation analysis of relative chlorophyll content and yield of maize hybrids of different genotypes.
Agrártud. Közl. 1, 211-214, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/10393>
3. Huzsvai, L., **Fejér, P.**, Illés, Á., Bojtor, C., Bojté, C., Horváth, É., Demeter, C.: Analysis of sweet corn nutritional values using multivariate statistical methods.
Agrártud. Közl. 1, 103-108, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/1/8587>
4. Horváth, É., Tamás, A., **Fejér, P.**, Széles, A.: Effect of different N doses on maize yield and quality.
Agrártud. Közl. 1, 97-101, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/8493>
5. Horváth, É., **Fejér, P.**, Széles, A.: Examination of drought stress of two genotype maize hybrids with different fertilization.
Agrártud. Közl. 1, 53-57, 2020. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/3757>
6. Horváth, É., **Fejér, P.**, Széles, A.: The impact of climatic factors on the relative chlorophyll content and yield of a maize hybrid in a long-term experiment.
Agrártud. Közl. 1, 71-77, 2019. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/2374>





7. Rátonyi, T., **Fejér, P.**, Veres, S., Harsányi, E.: Influences of soil tillage and fertilization on leaf photosynthetic characteristics of maize (Zeal mays L.) in a long term experiment.
Növénytermelés. 64 (Suppl.2), 173-181, 2015. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12666/Novenyterm.64.2015.Suppl2>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

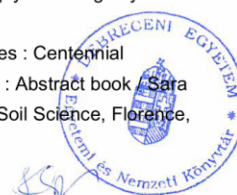
8. **Fejér, P.**, Széles, A., Horváth, É., Rátonyi, T., Ragán, P.: Effects of some agronomic practices on the quality of starch content of maize grains.
Agron. Res. 20 (1), 124-133, 2022. ISSN: 1406-894X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15159/AR.22.006>
9. Széles, A., **Fejér, P.**, Harsányi, E., Huzsvai, L.: Evaluation of Changes Caused by Genotypes and Weather on the Protein and Oil Content of Maize Grains in the Continental Climate of Centreal European Hungary.
J. Agric. Food Dev. 5 (1), 22-32, 2019. EISSN: 2415-0142.
DOI: <http://dx.doi.org/10.30635/2415-0142.2019.05.3>

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

10. Rátonyi, T., Nagy, O., Bakó, K. I., **Fejér, P.**, Harsányi, E.: Effects of fertilization on grain quality and bio-ethanol production of maize.
Növénytermelés. 63 (Suppl.), 31-34, 2014. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12666/Novenyterm.63.2014.Suppl>

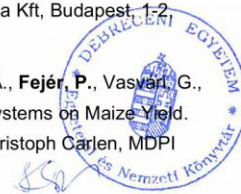
Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (9)

11. Rátonyi, T., Tamás, A., **Fejér, P.**, Horváth, É., Széles, A., Ragán, P., Bojtó, C., Illés, Á., Juhász, C., Somogyi, E., Harsányi, E.: Evaluation of soil moisture dynamics in a long-term field experiment set up on chernozem soil.
In: 2nd International Congress on Sustainable Development in the Human Environment - Current and Future Challenges : Proceedings book. Eds.: Atilgan Atilgan, Iksad Institute, Antalya, 27-28, 2024. ISBN: 9786258254600
12. Illés, Á., Széles, A., Rátonyi, T., **Fejér, P.**, Harsányi, E., Ragán, P., Nagy, J., Bojtó, C.: Examination of the ATSAVI index in the case of different nutrient supply and tillage systems in a small plot long-term field experiment with a multispectral UAV.
In: 100 years of soil science - past achievements and future challenges : Centennial Celebration and Congress of the International Union of Soil Sciences : Abstract book / Sara Marinari, Giuseppe Corti, Edoardo A.C. Costantini, Italian Society of Soil Science, Florence, 1419, 2024.





13. Rátonyi, T., **Fejér, P.**, Horváth, É., Széles, A., Ragán, P., Bojtor, C., Illés, Á., Harsányi, E.: The impact of conventional and precision cultivation technology on the moisture content of the chernozem soil.
In: 100 years of soil science - past achievements and future challenges : Centennial Celebration and Congress of the International Union of Soil Sciences : Abstract book / Sara Marinari, Giuseppe Corti, Edoardo A.C. Costantini, Italian Society of Soil Science, Florence, 91 (ID ABS WEB: 137209), 2024.
14. Harsányi, E., **Fejér, P.**, Tamás, A., Széles, A., Ragán, P., Bojtor, C., Illés, Á., Rátonyi, T.: The impact of conventional and precision farming technology on maize yields.
In: 100 years of soil science - past achievements and future challenges : Centennial Celebration and Congress of the International Union of Soil Sciences : Abstract book / Sara Marinari, Giuseppe Corti, Edoardo A.C. Costantini, Italian Society of Soil Science, Florence, 101 (ID ABS WEB: 137239), 2024.
15. Simon, K., Horváth, É., Zagyai, P., **Fejér, P.**, Széles, A.: Effect of abiotic stress factors on quality parameters of sweet corn (*Zea mays* L. convar. *saccharata* Koern.).
In: International Congress on Sustainable Development in the Human Environment- Current & Future Challenges ICSDEC 2022 : Proceedings book. Eds.: Anna Krakowiak-Bal, Atilgan Atilgan, Roman Rolbiecki, Hakan Aktas, Infrastructure and Ecology of Rural Areas Association, Krakow, 52-59, 2022. ISBN: 9788396606211
16. Horváth, É., **Fejér, P.**, Széles, A.: Examination of the nutrient content of various genotype maize hybrids at different N supply levels.
In: Abstract book of the 19th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: by Zoltán Kende, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 23, 2020. ISBN: 9789632698960
17. Horváth, É., **Fejér, P.**, Széles, A.: Effect of the production year and artificial fertilization on the yield and protein content of Renfor (FAO 320) maize hybrid.
In: Abstract book of the 18th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: Zoltán Kende, Csaba Bálint, Viola Kunos, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 54-55, 2019.
18. Rátonyi, T., Sulyok, D., Duzs, L., Törő, Á., **Fejér, P.**, Nagy, J., Harsányi, E., Ragán, P.: Evaluation of the crop year, soil tillage and fertilisation effect on maize yield using a novel statistical method.
In: Prega Science 2019 : Mezőgazdasági Technika, Agroinform Média Kft, Budapest, 1-2, 2019.
19. Rátonyi, T., Ragán, P., Duzs, L., Nagy, J., Sulyok, D., Vántus, A., Törő, Á., **Fejér, P.**, Vasvári, G., Harsányi, E.: The Effect of Conventional and Conservation Tillage Systems on Maize Yield.
In: XV European Society for Agronomy Congress; ESA2018. Ed.: Christoph Carjen, MDPI AG, Geneva, 128, 2018.





További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

20. Harsányi, E., **Fejér, P.**, Kutasiné Nagy, I., Rátanyi, T.: A vidékiség értelmezése és a földhasználat helyzete Magyarországon.

Agrártud. Közl. 61, 79-85, 2014. ISSN: 1587-1282.

DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/61/2044>

Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

21. Ragán, P., Rátanyi, T., Széles, A., **Fejér, P.**, Bácskai, I., Harsányi, E.: A cheap alternative to data management and creating of yield maps of small-plot field experiments.

In: Proceedings of the 1st African Conference on Precision Agriculture, African Plant Nutrition Institute, Benguéirir, 105-111, 2020.

22. Rátanyi, T., Ragán, P., Széles, A., **Fejér, P.**, Bácskai, I., Harsányi, E.: Preparation of a precision ripping plan using manual vertical penetrometer measurements.

In: Proceedings of the 1st African Conference on Precision Agriculture, African Plant Nutrition Institute, Benguéirir, 103-106, 2020.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

23. Bojtor, C., Széles, A., Rátanyi, T., **Fejér, P.**, Harsányi, E., Nagy, J., Illés, Á.: Phosphorus as a key factor in soil nutrient ecosystems - a case study based on longterm field trial data.

In: 100 years of soil science - past achievements and future challenges : Centennial Celebration and Congress of the International Union of Soil Sciences : Abstract book / Sara Marinari, Giuseppe Corti, Edoardo A.C. Costantini, Italian Society of Soil Science, Florence, 877 (ID ABS WEB: 137196), 2024.

24. Duzs, L., Ragán, P., **Fejér, P.**, Vántus, A., Rátanyi, T.: The effects of the soil tillage and the fertilization on the relative chlorophyll content (SPAD-values) of the maize (*Zea Mays L.*) leaves.

In: Abstract book of the 18th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: Zoltán Kende, Csaba Bálint, Viola Kunos, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 50-51, 2019. ISBN: 9789632698182



A DEENK a Jelölt által a Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománytermetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2025.04.11.