



Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem

**ÁTMENETI TALAJVÍZSZINTEMELÉS HATÁSA AZ ŐSZI
BÚZA TERMÉSÉRE**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

KEREZSI GYÖRGY

Gödöllő

2025

A doktori iskola

megnevezése: MATE Környezettudományi Doktori Iskola
tudományága: Környezettudományok
vezetője: Csákiné Prof. Dr. MICHÉLI Erika
intézetigazgató, egyetemi tanár, az MTA rendes tagja
MATE, Szent István Campus
MATE, Környezettudományi Intézet
Talajtani Tanszék Tanszék

Témavezető(k): Dr. habil. GÉCZI Gábor PhD
egyetemi docens, tanszékvezető helyettes
MATE, Környezettudományi Intézet
Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék

Dr. habil. WALTNER István PhD
egyetemi docens, tanszékvezető
MATE, Környezettudományi Intézet
Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék

.....
Csákiné Prof. Dr. MICHÉLI Erika
iskolavezető jóváhagyása

.....
Dr. habil. GÉCZI Gábor PhD
témavezető jóváhagyása

.....
Dr. habil. WALTNER István PhD
témavezető jóváhagyása

A munka előzményei, célkitűzések

Magyarország belvíz- és aszályveszélyeztetettsége egyedülálló, (az ország területének 47% és 90%-a). A fenntartható és biztonságos biomassza-termelés egyik kulcskérdése a talajvízháztartásának hatékony szabályozása takarékosan fenntartható vízgazdálkodással. A klímamodellek a jövőben gyakoribb aszályokat jövendőlnék egész Európában, így hazánkban is, de a helyi, intenzív záporok miatt a hirtelen áradások és vízelöntések szintén gyakoribbak lesznek. Az átlagos éves vízhiány 200-250 mm között mozog. A káros vízhiányok kivédése érdekében egyaránt biztosítani kell az ésszerű vízvisszatartást. A hazai jogszabályok a mentesítési sorrendet (10/1997. (VII. 17.) KHVM rendelet) és a belvízkárr (2011. évi CLXVIII. törvény) részleteit határozzák meg, de nem rendelkeznek az elvezetési időről és mennyiségről. A dolgozat témája az átmeneti belvízborítottság őszi búzára gyakorolt hatásának vizsgálata kontrollált, liziméteres körülmények között. A kutatás célja az volt, hogy különböző vízmélységek (0, -30, -60 cm) és tartósságok (3, 6, 9, 12 nap) mellett elemezem a növény válaszképpen, mind mennyiségi (hozam), mind minőségi (pl. fehérje, sikér, Zeleny-érték) paraméterek szempontjából. Külön figyelmet kaptak a távérzékelés eszközeivel (UAV – drón) és kézi SPAD-méréssel nyert adatok is, amelyek a növény fiziológiai állapotának korai detektálását segítették. A dolgozat gyakorlati relevanciája abban áll, hogy segít pontosítani azokat a kezelési küszöbértékeket, amelyek mentén a gazdálkodó döntéseket hozhat a víz visszatartásáról vagy elvezetéséről. A kutatás kiterjedt azokra az összefüggésekre is, amelyek a vízstressz, a drónos légifelvételekkel vegetációs indexek (GNDVI, BNDVI) és a SPAD relatív klorofilltartalom index (RCI) érték között mutatkoznak, és ezeket regressziós modellek segítségével jellemezte. Mindez új módszertani alapot teremthet a precíziós vízgazdálkodási gyakorlat számára, különösen a klímaváltozás hatásainak mérséklése érdekében. A vizsgálatok komplexitása lehetővé tette annak feltárását is, hogy az egyes évjáratok közötti időjárási különbségek hogyan befolyásolják a kezelések eredményességét. A kutatás során alkalmazott statisztikai módszerek MANOVA, ANOVA, Welch-próba, Games-Howell post-hoc teszt, valamint többváltozós korreláció- és görbeillesztés biztosították az eredmények tudományos megalapozottságát és validálhatóságát

Anyag és módszer

Kísérleti helyszín liziméter telep

A kísérleteket a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE) szarvasi Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóközpontjának (ÖVKI) Liziméter Telepén végeztem. Egy-egy gravitációs liziméter térfogata 1 m^3 , amelynek 80%-át a vizsgált az edényekben lévő duzzadóagyagos talajtípusú talajoszlop tölti ki, ami egy 10 cm-es kavicsrétegen pihen a rendszeren esetlegesen átfolyó víz precíz összegyűjtéséhez. A liziméterek egyedi mérő edényekhez csatlakoznak a mérőpincékben, amelyek segítségével a közlekedő edények elvén vízszintet lehet beállítani. A gravitációs/kompenzációs liziméterek segítségével a szántóföldi körülményekhez hasonlóan, de részben zárt így pontosan nyomon követhető módon lehet vízszintet tartani az edényekben.

Kísérleti növény:

A vizsgálatokban a 'GK Déva' őszi búza fajtát használtam, amely egy szálkás, középérésű, malmi (A1 farinográfus) hasznosítású fajta. A Basilica és Izidor fajták keresztezéséből, DH (duplikált haploid) módszerrel nemesítették. Kiemelkedő a sárga- és szárrozsdával, valamint a fuzáriummal szembeni rezisztenciája. Az ország egész területén biztonsággal termesztethető, kiváló alkalmazkodóképességgel és magas terméshozammal rendelkezik.

Kísérleti kezelések beállítása:

A belvíz-szimulációs kísérletet 64 liziméter edényben állítottam be. Három fő vízszintet vizsgáltam:

- i. 0 cm: a talajfelszínig tartott vízszint (kétfázisú talajállapot),
- ii. -30 cm: a felszín alatt 30 cm-re tartott vízszint,
- iii. -60 cm: a felszín alatt 60 cm-re tartott vízszint.

Ezeket a szinteket különböző időtartamokra (3, 6, 9, 12 nap) állították be, kiegészítve egy folyamatosan -60 cm-en tartott kezeléssel és egy öntözés nélküli kontrollal, így összesen 13 kezelést és a kontrollt vizsgáltam.

Vetés és Növényápolás

A búzát 2018, 2019 és 2020 októberében vetették el, minden 1 m^2 -es liziméter edénybe 17,5 g vetőmagot juttatva ki. Minden évben minden edény azonos mennyiségű kézi kijuttatással komplex NPK (15-15-15 %) alaptrágyát kapott és egységesen lett növényápolva.

Kezelések kezdete

2019.05.07-én, 2020.01.27-én és 2021.04.29-én kezdődött a kísérlet. A 2020-as évet szándékosan korábban kezdtük, mert a régióban ez az „igazi” időszaka a télvégi-tavaszi belvizeknek.

Adatgyűjtési módszereim I.

Relatív Klorofilltartalom Index (RCI) mérése a Konica Minolta SPAD 502 Plus készülékkel

A levél relatív klorofilltartalmát egy Konica Minolta SPAD 502 Plus készülékkel mértem. A műszer a levélen áthaladó fény sűrűségkülönbségét méri két hullámhosszon: 650 nm: a maximális klorofill-aktivitás tartományon és a 940 nm: referencia mérés, amely kompenzálja a levél vastagságából és nedvességtartalmából adódó eltéréseket. A méréseket a fotoszintetikusan legaktívabb leveleken végeztem, liziméterenként 15-20 ismételtsben, majd az eredményeket átlagoltam. Ezt a részmeréseket átlagát jegyeztem fel a mérési jegyzőkönyvbe.

Biometriai mérések és betakarítás

Aratás előtt növénymagasság-mérést végeztem. A betakarítás kézzel történt, azonos tarlómagassággal, majd a föld feletti kévetőmeget lemértem. A cséplést egy kisparcellás cséplőgéppel végeztem.

Búza minőségi paramétereinek mérése

A búza beltartalmi paramétereit egy Foss Infratec™ NOVA gabonaanalizátorral vizsgáltam, amely közeli infravörös transzmittancia (NIT) technológián alapul. A műszer őrlés nélkül, gyorsan és pontosan képes meghatározni a nedvesség-, fehérje-, sikér-, keményítő- és hamutartalmat. A készülék nemzetközi szabványoknak (pl. ISO 12099, EN 15948) megfelel, és a nemzetközi gabonakereskedelemben is elfogadott.

A vizsgált főbb paraméterek a következők voltak:

- i. Fehérjetartalom: fontos minőségi mutató, melyet a nitrogéntrágyázás és a környezeti stressz (pl. aszály) is befolyásol.
- ii. Sikértartalom: a lisztből kimosható rugalmas fehérjék összessége.
- iii. Zeleny ülepitési érték (ZSV): a fehérjeminőség és sikérerősség mutatója
- iv. W-érték: a tészta nyújtásához szükséges deformációs munka.

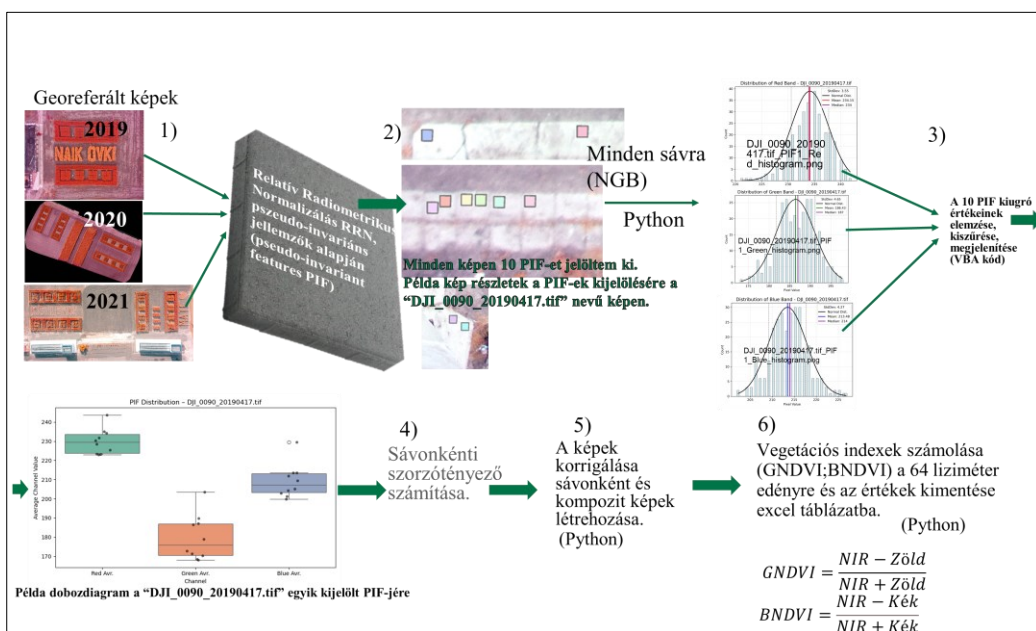
Adatgyűjtési módszereim II. (Távérzékelés)

Pilóta nélküli légifelvételezés (drón)

A liziméter edényekről légifelvételeket egy DJI Phantom 4 „agro” drónnal készítettem, amely egy speciális, átalakított NGB (Near-infrared, Green, Blue) kamerával rendelkezett. A három év alatt (2019-2021) összesen 60 repülést hajtottam végre, melyekből 29 időpont felvételt értékeltem ki a dolgozatban. A szelektálás a képek minősége és a párhuzamos SPAD mérések megléte alapján történt. Míg 2019-ben manuálisan repültem, 2020-tól már Pix4D Capture repüléstervező szoftvert használtam az automatizált adatgyűjtéshez.

Térinformatikai kiértékelésem és képfeldolgozásom (1. ábra)

a) Georeferálás: A különböző időpontokban készült felvételek kb. 5 méteres térbeli pontatlansága miatt az első és legfontosabb lépés a képek georeferálása volt. Referenciaként egy 2025-ben, DJI Matrice 300 RTK drónnal készített, centiméteres pontosságú ortomozaik szolgált, amit a szarvasi kollégámmal készítettem el.



1. ábra A skálatényezőn alapuló PIF-normalizáció kiugróérték-kezeléssel vagy robusztus PIF-alapú normalizálás lineáris skálázással folyamatábrája a georeferálás után a képek relatív radiometrikus normalizálásán át, a vegetációs indexek számolásáig

Az összes korábbi (2019-2021) képet ehhez az RTK-pontos ortomozaikhoz illesztettem harmadrendű polinomiális transzformációval, legalább 10 kötőpont használatával.

b) Relatív Radiometrikus Normalizálás (PIF-módszer): A különböző fényviszonyok között készült képek összehasonlíthatósága érdekében relatív radiometrikus normalizálást végeztem a Pszeudo-Invariáns Jellemzők (PIF) módszerével (1. ábra).

1. Referenciakép kiválasztása: Egy statisztikailag stabil, kedvező fényviszonyok között készült képet (DJI_0093.tif) választottam referencia alapnak.

2. Kvázi-invariáns jellemzőjű objektum (PIF-ek) azonosítása: Minden képen a beton járdalapokat jelöltem ki PIF-ként, mivel ezek spektrális tulajdonságai változtak a legkevésbé.

3. Kiugróérték-szűrés: A PIF-ekről vett mintákból egy VBA kód és Excel képletek segítségével kiszűrtem a kiugró értékeket.

4. Képek korrekciója: Python kódokkal, sávonkénti szorzótényezők (skálafaktorok) alkalmazásával minden képet a referenciaképhez igazítottam.

c) Vegetációs Indexek Számítása: A normalizált képekből szintén Python szkriptekkel automatizáltan számoltam ki a GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) és a BNDVI (Blue Normalized Difference Vegetation Index) értékeket minden liziméter edényre.

Adatfeldolgozási és modellezési módszereim

1. Vegetációs indexek és spad adatok kapcsolatának modellezése

A drónnal mért vegetációs indexek (GNDVI, BNDVI) és a terepen mért relatív klorofilltartalom (SPAD) közötti összefüggés leírására többféle matematikai modellt alkalmaztam.

a) Másodfokú Regressziós Modell: A 2020-as adatokra egy másodfokú regressziós modellt ($y = ax^2 + bx + c$) illesztettem, hogy egy parabola alakú görbével írjam le az adatok közötti nemlineáris kapcsolatot.

b) Michaelis–Menten Modell: A vegetációs indexek és a SPAD-értékek közötti telítődési jelenség modellezésére a Michaelis–Menten modellt is használtam. Ez a modell kiválóan alkalmas olyan biológiai folyamatok leírására, ahol a

válaszváltozó (SPAD) egy bizonyos szint felett már nem növekszik. A modell kulcsparaméterei a V_{max} (a maximális elérhető SPAD-érték) és a K_m (az a vegetációs index érték, amelynél a SPAD-érték eléri a V_{max} felét).

2. Modell validálás és hibaszámítás

A létrehozott modellek pontosságának ellenőrzésére hibaszámítási mutatókat alkalmaztam. a) Átlagos Abszolút Hiba (MAE - Mean Absolute Error): A MAE a modell becslései és a ténylegesen mért értékek közötti átlagos eltérést mutatja. Kiszámításához a hibák abszolút értékét átlagoltam. Minél kisebb az értéke, annál pontosabb a modell.

b) Méréstartományra Vetített Relatív Hiba (NMAE - Normalized Mean Absolute Error): Az NMAE az MAE értékét a mért adatok terjedelméhez viszonyítja, és százalékos formában fejezi ki. Ez lehetővé teszi a különböző skálájú adatokon futtatott modellek pontosságának összehasonlítását.

Statisztikai elemzéseim módszertana

Az adatok statisztikai kiértékeléséhez az R programnyelvet és az RStudio fejlesztői környezetet használtam, számos speciális csomag segítségével (pl. dplyr, Hmisc, car, rstatix).

1. Elővizsgálatok és feltételek ellenőrzése

A főbb statisztikai próbák előtt több feltételt is ellenőriztem.

Korrelációvizsgálat: A függő változók (pl. fehérje, hozam) közötti lineáris kapcsolat erősségét Pearson-féle korrelációs együtthatóval mértem az Hmisc csomag `rcorr()` függvényével.

Kiugró Értékek Szűrése: A többváltozós kiugró értékeket robusztus főkomponens-analízis (PCA) segítségével azonosítottam az mvoutlier R csomag használatával.

Varianciahomogenitás Ellenőrzése: Annak tesztelésére, hogy a csoportok varianciái megegyeznek-e, a Bartlett-tesztet (normális eloszlású adatokra) és a robusztusabb Levene-tesztet is alkalmaztam.

Normalitásvizsgálat: A modell-reziduálok eloszlását több teszttel is ellenőriztem: a Henze–Zirkler teszttel (többváltozós normalitás), a Shapiro–Wilk teszttel és a Lilliefors (Kolmogorov–Smirnov) teszttel (egyváltozós normalitás).

2. Vizuális adatelemzésem

Kétutas Dobozdiagram (Boxplot): Az adatok eloszlásának, mediánjának és szórásának vizuális összehasonlítására használtam, hogy felmérjem a tényezők (vízszint, időtartam) hatását és az interakciókra utaló mintázatokat keressek.

Kétutas Kölcsönhatás Diagram (Interaction Plot): Azt ábrázoltam vele, hogy az egyik tényező hatása hogyan változik a másik tényező szintjein. A nem párhuzamos vonalak a tényezők közötti kölcsönhatásra utaltak.

Hipotézisvizsgálati módszereim

1. Többváltozós Varianciaanalízis (MANOVA)

A kísérletem fő hipotéziseinek tesztelésére egy két tényezős, véletlen blokkos elrendezésű többváltozós varianciaanalízist (MANOVA) alkalmaztam. Ezzel a módszerrel vizsgáltam a két független változó (vízszint és időtartam) és azok kölcsönhatásának együttes hatását több függő változóra (pl. fehérje-, sikértartalom, hozam).

2. Post-hoc Tesztek és Csoport-összehasonlítások

Amennyiben a MANOVA szignifikáns hatást jelzett, további tesztekkel azonosítottam, hogy pontosan mely csoportok között van szignifikáns különbség.

Games-Howell Post-hoc Teszt: Ezt a tesztet akkor használtam, ha a varianciák nem voltak egyenlők a csoportok között. Előnye, hogy nem feltételezi a varianciák homogenitását és az egyenlő mintaméreteket, így robusztusabb, mint más klasszikus tesztek. Welch-féle Kétmintás t-próba: Két független csoport átlagának összehasonlítására szolgált, szintén abban az esetben, ha a varianciák egyenlőségének feltétele nem teljesült.

Eredmények és azok megbeszélése

A kutatásom célja az volt, hogy megértsem, hogyan befolyásolják a különböző vízszint- és időtartam-kezelések az őszi búza minőségét és hozamát a vizsgált három év során. Ezen túlmenően célom volt a drónnal számított vegetációs indexek és a SPAD relatív klorofilltartalom-mérések közötti kapcsolatok feltárása is. Az adatelemzés alapját 168 megfigyelés (56 liziméter edény $\times$ 3 év) képezte, amelyek a hozam- és minőségi paraméterekre vonatkoztak. Az drónos vegetációs indexek és SPAD relatív klorofill index mérések összevetésénél 2019-ben, $n=448$; 2020-ban, $n=440$; 2021-ben, $n=192$ párhuzamos mérés történt, összesen $n=1084$.

A függő változók közötti korreláció és a kiugró értékek meghatározása

Első lépésként a válaszváltozók – fehérje, sikér, Zeleny-érték, W-érték és hozam – közötti lineáris kapcsolatokat vizsgáltam a Pearson-féle korrelációs együtthatóval. Az eredmények erős pozitív korrelációt mutattak a minőségi paraméterek között, különösen a fehérje és a sikér ($r = 0,989$, $p < 0,001$), a fehérje és a Zeleny-érték ($r = 0,961$, $p < 0,001$), valamint a Zeleny- és a W-érték ($r = 0,909$, $p < 0,001$) esetében. Ez azt jelzi, hogy ezek a paraméterek a kezelések hatására szorosan együtt mozogtak. Ezzel szemben a hozam csak mérsékelt korrelációt mutatott a minőségi paraméterekkel. Ez az eredmény arra utal, hogy a vízszint- és időtartam-kezelések elsősorban a gabona minőségi tulajdonságait befolyásolták összhangoltan, míg a hozamra részben független hatások érvényesültek.

A többváltozós kiugró értékek vizsgálatához az `mvoutlier::aq.plot()` függvényt alkalmaztam $\alpha = 0,001$ szignifikanciaszinten. A módszer 54 kiugró értéket azonosított a 168 megfigyelésből, ami az adatok 32%-át tette ki. Az első két robusztus főkomponens a teljes variancia $\sim 97,2\%$ -át magyarázta, így a kétdimenziós pontfelhő jól tükrözte az adatok lényegi szerkezetét. A kiugró értékek főként a 113–146. és 148–168. sorokban koncentrálódtak, ami arra utalhat, hogy bizonyos kezelési kombinációk szokatlan eredményeket produkáltak, vagy adatminőségi problémák állhattak fenn, amelyek további ellenőrzést igényeltek.

Az őszi búza termésének kétutas dobozdiagram (boxplot) elemzése

A különböző kezelési kombinációk hatásait dobozdiagramokon vizsgáltam. A fehérjetartalom eloszlása jelentősen különbözött a kombinációk között. A mélyebb és/vagy hosszabb vízborítás több esetben növelte a fehérjét a kontrollhoz képest, míg a 0 cm-es vízszint 12 napos kezelésnél inkább csökkentette azt. A

sikértartalom a fehérje mintázatát követte, ami a két mutató közötti erős korreláció alapján várható volt. A Zeleny-érték eloszlása is nagyon hasonló volt a fehérje és a siker ábráihoz, ami azt mutatta, hogy a minőségi index érzékeny a vízszint-időtartam kombinációra. A „0 cm/12 nap” kezelés kedvezőtlenebbnek, míg a „-60 cm/12 nap” és több „-30 cm” variáns kedvezőbbnek tűnt. A W-értékeknél a szórás volt a legnagyobb, ami összhangban van a mutató ismert változékonyságával. A kezelésekre ez a mutató is érzékenyen reagált: voltak gyengébb (pl. 0 cm/12 nap) és erősebb (pl. Kontroll, -60 cm/12 nap) állapotok. Végül, a hozam eloszlása jóval kiegyensúlyozottabbnak bizonyult, mint a minőségi jellemzőké. A vizuális elemzés alapján a hozamra a vízszint hatása markánsabbnak tűnt, míg az időtartam önmagában kevésbé volt egyértelmű.

Az őszi búza termésének kétutas interakció diagram elemzése

Az interakciós diagramok elemzése során azt vizsgáltam, hogy a vízszint és az időtartam hatása mennyire függ egymástól. A fehérje, a siker, a Zeleny-érték és a W-érték esetében a görbék több helyen nem voltak párhuzamosak és részben keresztezték egymást, ami interakció jelenlétére utalt. Különösen a -60 cm-es vízszintnél rajzolódott ki egy U-alakú mintázat, ahol a 3 és 12 napos kezelések magasabb, míg a 9 napos alacsonyabb értékeket eredményezett. Ezzel szemben a hozam esetében a görbék többnyire párhuzamosak voltak, ami gyenge interakciót jelzett; itt a vízszint főhatása tűnt meghatározónak. A mélyebb vízszint a hozam csökkenésével járt. A 0 cm-es és -30 cm-es beállítások átlagosan magasabb hozamot adtak, míg a -60 cm-es és a kontroll alacsonyabbat.

A statisztikai modellek feltételeinek vizsgálata

A varianciaanalízis előtt ellenőriztem a feltételek teljesülését. A Bartlett-próba alapján az időtartam szintek között a legtöbb változónál heteroszkedaszticitást (a szórások eltérését) találtam, ami sérti a klasszikus ANOVA feltételeit. A vízszint szintjei között azonban a minőségi mutatók esetében nem találtam bizonyítékot varianciakülönbségre, egyedül a hozamnál volt heteroszkedaszticitás.

Az átfogó többváltozós varianciaanalízis (MANOVA) eredményei szerint mind a vízmélység, mind az időtartam, mind az év, valamint a vízmélység és időtartam közötti interakció szignifikáns hatást gyakorolt a vizsgált öt változó együttes mintázatára. A hatások erősségének sorrendje a következő volt: Év >> (Vízmélység $\approx$ Időtartam) > Interakció. Ez megerősítette, hogy az évek közötti különbségek dominánsak, de a kezelések is kimutathatóan befolyásolják a minőségi mutatókat és a hozamot.

Különálló egyváltozós ANOVA-k eredményei

A MANOVA által kimutatott általános hatások részletesebb megértéséhez különálló, egyváltozós ANOVA tesztek is futtattam. Ez az elemzés tárta fel a vizsgálat legizgalmasabb részleteit, mivel megmutatta, hogy a vizsgált tényezők nem egyformán hatnak mindenre. Az eredmények egyértelműen szétválasztották a minőségi és a mennyiségi mutatókat.

A minőségi paraméterekre (fehérje, siker, Zeleny, W) minden tényező szignifikáns hatást gyakorolt: a vízmélység, az időtartam, az év, és a vízmélység-időtartam kölcsönhatás is. Ez azt jelenti, hogy a minőség komplexebben reagál, és a vízmélység, valamint az időtartam finomhangolása egyaránt számít. Különösen a Zeleny-szám esetében volt hangsúlyos a vízmélység és az időtartam együttes, kombinált hatása.

Ezzel szemben a mennyiségi mutató (hozam) teljesen másképp viselkedett. A hozamot szignifikánsan befolyásolta a vízmélység és az év, de az időtartamnak és a vízmélység-időtartam kölcsönhatásnak nem volt szignifikáns hatása. Ez egy kulcsfontosságú felfedezés: míg a minőséget minden tényező befolyásolta, addig a mennyiséget a kezelés időtartama a vizsgált tartományban nem.

Gyakorlati szempontból ez azt jelenti, hogy ha a cél a minőség javítása, akkor a vízmélységet és a kezelés időtartamát együtt, egymásra optimalizálva kell beállítani. Ha viszont a cél a hozam maximalizálása, akkor az adatok alapján a kezelés időtartama irreleváns lehet, ami költséghatékonysági lehetőségeket rejt magában. Fontos kiemelni, hogy minden egyes vizsgált paraméter esetében az év hatása volt a legdominánsabb, ami aláhúzza a környezeti tényezők mezőgazdaságban betöltött, sokszor a technológiát is felülíró szerepét.

A modell-reziduálok normalitásának ellenőrzése

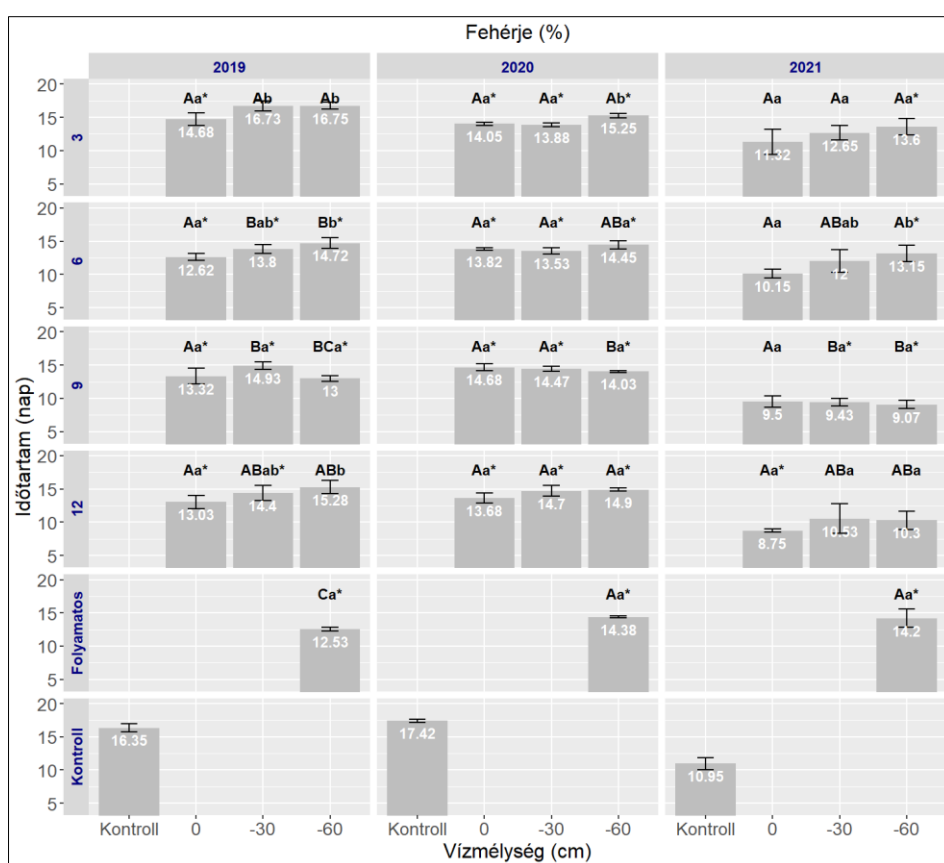
A modellek megbízhatóságának ellenőrzéséhez a reziduálok eloszlását vizsgáltam. A grafikus ellenőrzések (hisztogram-, QQ- és sűrűségmátrixok) alapján az ANOVA normalitási feltételei elfogadhatónak tűntek, bár a szélső kvantilisoknál kisebb eltérések látszóttak. A formális tesztek azonban árnyaltabb képet mutattak. Az átfogó Shapiro–Wilk teszt erős nem-normalitást jelzett, és a Henze–Zirkler (HZ) teszt is elutasította a multivariáns normalitás hipotézisét ($p < 0,001$). Az egyváltozós Shapiro–Wilk tesztek szerint a reziduálok normalitását a legtöbb változónál nem kellett elutasítani, egyedül a fehérje mutatott gyenge szignifikanciát ($p = 0,046$).

A nem-normalitás okát a multivariáns kiugró értékek jelenthették. A robusztus Mahalanobis-távolság alapján 16-26 megfigyelést azonosítottam outlierként, amelyek erősen hozzájárulhattak a tesztek szignifikanciájához. Mivel a normalitás-tesztek nagy mintán kis eltérésekre is érzékenyek, és a probléma főként többváltozós jellegű volt, javasolt a MANOVA eredményeinek robusztus vagy permutációs módszerekkel történő ellenőrzése, illetve egy érzékenységi vizsgálat a kiugró értékek kizárásával.

Részletes post-hoc elemzések

Mivel a varianciahomogenitás feltétele több helyen sérült, a csoportok közötti különbségek részletes vizsgálatához a robusztus Games-Howell post-hoc tesztet és a Welch-féle kétmintás t-próbát alkalmaztam.

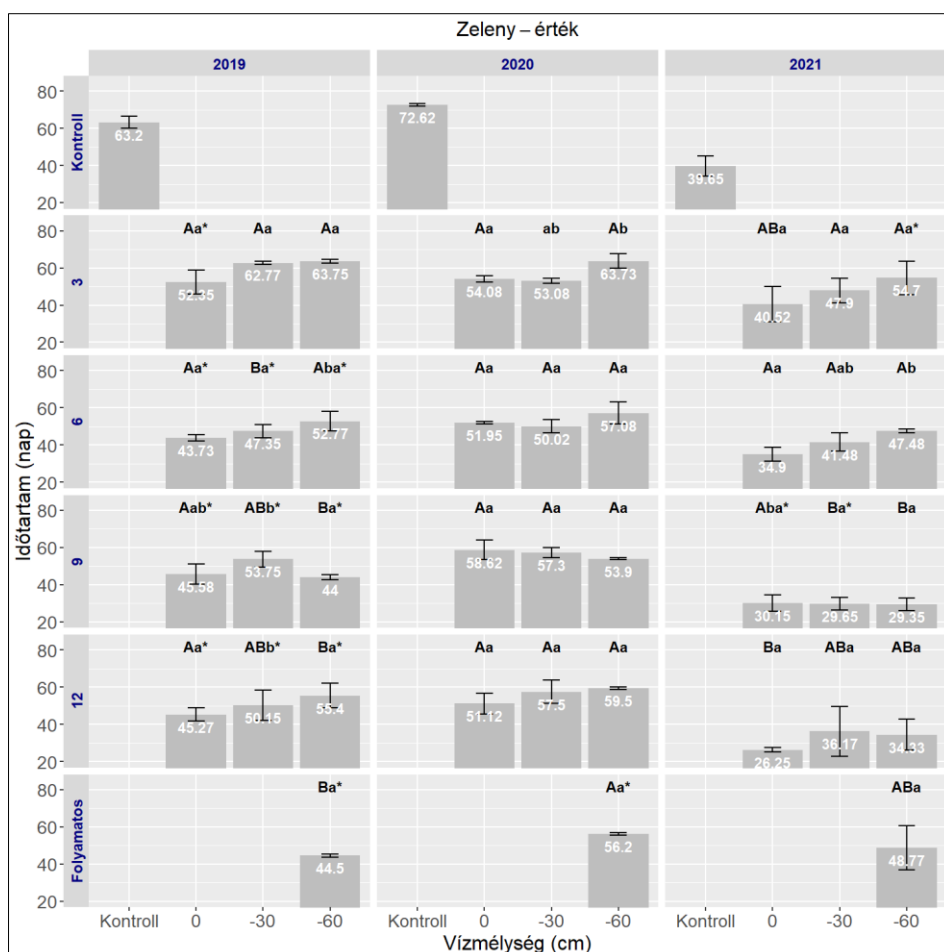
A fehérjetartalom esetében az időtartam szerinti összehasonlítások komplex, év- és vízmélység-függő mintázatokat tártak fel (2. ábra).



2.ábra Fehérjetartalom vízszint- és időtartam-kezelések szerint (2019–2021) átlag–szórás hibasávos oszlopdiagram (CLD jelöléssel)

A kontrollhoz képest a kezelések hatása is évről-évre változott: 2021-ben egyes kezelések javították, 2020-ban viszont szinte mindegyik csökkentette a fehérjetartalmat. A vízmélység hatását vizsgálva a -60 cm-es szint gyakran társult alacsonyabb fehérjével, különösen a rövidebb (3-6 napos) kezeléseknél. Például 2019-ben -60 cm-es vízmélységnél a hosszabb, folyamatos vízellátás adta a legjobb fehérjeeredményt, míg 2020-ban ugyanitt a 9 napos kezelés emelkedett ki.

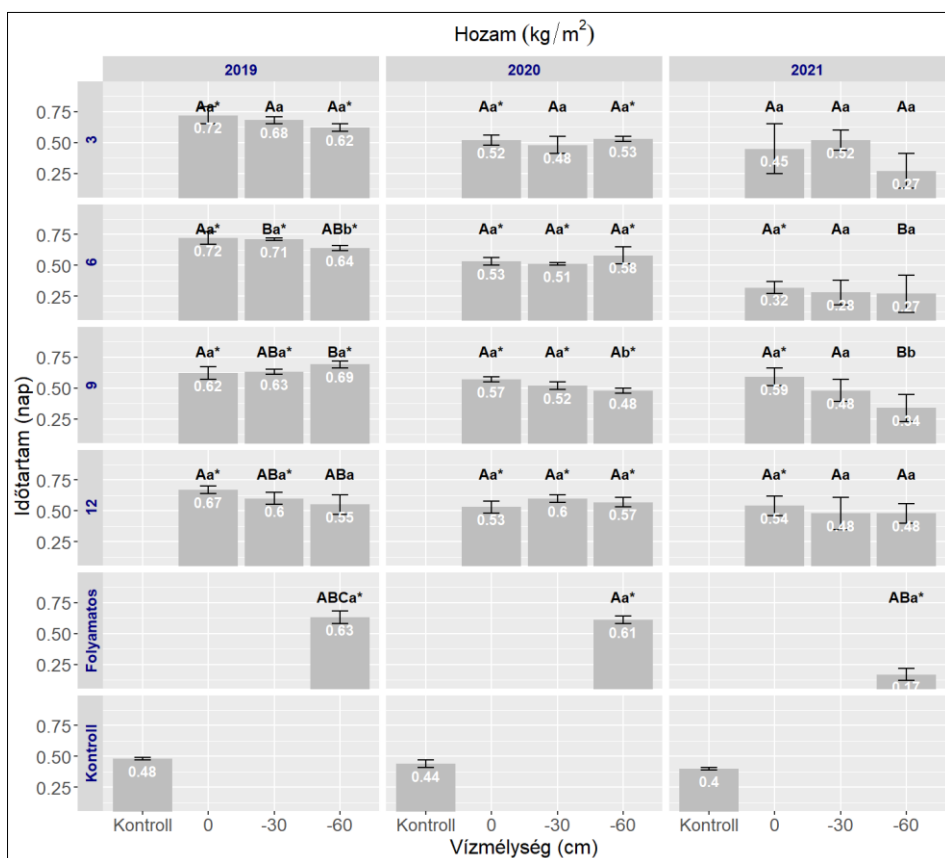
A 3. ábrán a Zeleny-érték vizsgálata során hasonlóan összetett eredményeket kaptam. Az időtartam hatása itt is év- és vízmélység-specifikus volt. Például 2019-ben -60 cm-es mélységnél a 9 napos és a folyamatos kezelés is erősen jobb Zeleny-értéket eredményezett, mint a rövid, 3 napos kezelés.



3. ábra A Zeleny-érték vízszint- és időtartam-kezelések szerint (2019–2021) átlag–szórás hibásávós oszlopdiaagram (CLD jelöléssel)

A kontrollhoz viszonyítva a kezelések a 2021-es év néhány esetét leszámítva inkább negatívan hatottak, különösen 2020-ban, amikor széles körű, statisztikailag erős csökkenést figyeltem meg.

A 4. ábrán a hozam esetében az időtartam szerinti összehasonlítások szintén év- és vízmélység-függő mintázatot mutattak, de az ANOVA-val ellentétben itt a post-hoc tesztek kimutattak szignifikáns különbségeket. Például 2021-ben -60 cm-es mélységnél a folyamatos elárasztás szignifikánsan alacsonyabb hozamot adott, mint a 12 napos kezelés, míg 2020-ban éppen fordítva, a folyamatos kezelés volt a legjobb.



4. ábra A hozam vízszint- és időtartam-kezelések szerint (2019–2021) átlag–szórás hibasávos oszlopdiagram (CLD jelöléssel)

A kontrollhoz képest a kezelések 2019-ben és 2020-ban következetesen növelték a hozamot, míg 2021-ben a hatásuk vegyesebb volt. A vízmélységek közötti különbségek főként a 9 napos kezeléseknél jelentkeztek 2020-ban és 2021-ben, ahol a -60 cm-es szint hozama elmaradt a 0 cm-esétől.

Vegetációs indexek és SPAD relatív klorofilltartalom kapcsolatának vizsgálata

A drónnal mért vegetációs indexek (GNDVI, BNDVI) és a SPAD értékek kapcsolatát is elemeztem. A három év összesített átlagai alapján a BNDVI nagyobb ingadozást mutatott a kezelések hatására, mint a stabilabb SPAD vagy a enyhén csökkenő tendenciát mutató GNDVI. Az évjáráthatás a vegetációs indexek esetében is jelentős volt, ami arra utal, hogy érzékenyek az adott év időjárási körülményeire.

A SPAD értékek becslésére alkalmas modellek kidolgozásához a 2020-as adatokat használtam, mivel ebben az évben teljesültek a metodikai követelmények: a kapcsolat fiziológiailag értelmezhető volt (pozitív korreláció), és a modellillesztés feltételei is megfelelőek voltak. Az illesztett másodfokú polinomiális regressziós modellek (GNDVI-re és BNDVI-re) a 2019-es és 2021-es adatokon validálva is elfogadható pontosságot mutattak, átlagos abszolút hibával (MAE) (7. Tézis).

Végül a Michaelis–Menten típusú görbék illesztésével vizsgáltam a két index érzékenységet. Az eredmények alapján a GNDVI a két vizsgált index közül érzékenyebb és pontosabb prediktornak bizonyult a levélklorofill-tartalom (SPAD) modellezésére, még ha a kapcsolat erőssége összességében korlátozott is volt. A GNDVI modell által becsült maximális SPAD-érték magasabb volt, és az illesztési hiba (RMSE) is alacsonyabbnak bizonyult a BNDVI-hez képest.

Következtetések és a javaslatok

Az őszi búza vízszint- és időtartam-kezeléseinek hatását vizsgáló statisztikai elemzésem számos jelentős megfigyeléssel szolgált, amelyek mélyebb betekintést nyújtanak a hozam, valamint a minőségi mutatók – különösen a fehérjetartalom és a Zeleny-index – alakulásába. Az ANOVA-modellek által kimutatott kölcsönhatások alapján világosan kirajzolódik, hogy sem a vízszint, sem az elárasztás időtartama önmagában nem elegendő a termelési eredmények megbízható előrejelzésére, hanem azok együttes hatása, valamint az évjárat-specifikus környezeti tényezők döntő szerepet játszanak az eredmények alakulásában.

A multivariáns statisztikai vizsgálatok egyértelműen kimutatták, hogy az évjárat hatása rendkívül erős a vizsgált változók összességére nézve (Wilks = 0,02248, $p < 2,2e-16$), és ez minden egyes minőségi jellemzőre külön-külön is igaz. Emellett a vízszint és az időtartam főhatásai is szignifikánsan befolyásolták a fehérje-, siker- és Zeleny-értékeket. Az ANOVA eredmények alapján például a vízszint hatása a fehérjetartalomra $F = 14,85$, $p = 1,59e-08$ értékkel jelentkezett, míg az időtartam hatása $F = 10,20$, $p = 2,41e-07$ értékű volt.

Az őszi búza minőségi tulajdonságai, mint a fehérjetartalom, a sikértartalom, a Zeleny-index és a W érték, szorosan együtt mozognak, amit a nagyon magas korrelációs értékek is alátámasztanak ($r = 0,955-0,989$, $p < 0,001$). Ez arra utal, hogy ezek a minőségi jellemzők együttesen reagálnak a vízszint- és időtartam-kezelésekre, vagyis a kedvező hatások több mutatóban egyszerre érvényesülnek.

A terméshozam ugyanakkor csak gyenge pozitív korrelációt mutat a minőségi paraméterekkel ($r = 0,155-0,206$), vagyis a hozam növekedése nem feltétlenül jár együtt a minőség javulásával. Ez a megfigyelés is megerősíti, hogy a mennyiségi és minőségi célok elérése eltérő stratégiákat igényelhet.

A kontrollhoz viszonyított eltérések szinte minden esetben a vízszint és az időtartam együttes befolyásától függtek. Különösen a -60 cm-es vízszint, valamint a 9 napos kezelés kombinációja mutatott következetes pozitív hatást a fehérjetartalomra. Ez a kezelés ugyanis olyan mérsékelt stresszállapotot idézhet elő, amely serkenti a fehérjeszintézisért felelős fiziológiai mechanizmusokat, miközben nem csökkenti drasztikusan a terméshozamot. Ezzel szemben a rövid, 3 napos kezelések rendre gyengébb eredményeket hoztak, akár hozam, akár minőségi paraméterek tekintetében. A folyamatos kezelések hatása évjáratonként eltért, ami tovább növeli a technológiai bizonytalanságot.

A hozamvizsgálat során a vízszint és időtartam hatása szintén változatos mintázatot mutatott. A 2020-as évben több kezelés is szignifikáns hozamnövekedést okozott a kontrollhoz képest, míg 2021-ben az eltérések többsége nem volt szignifikáns. A leghatékonyabb kezelések évjáratonként eltérőek voltak, ami ismételten a környezeti feltételek jelentőségére világít rá. A hozamra gyakorolt hatásnál azonban a szignifikancia ritkábban volt kimutatható, és azok is sokszor gyenge hatásnagyságot mutattak.

A minőségi mutatók – különösen a Zeleny-index – vizsgálata során egyértelműen kirajzolódott, hogy a mérsékelt vízstressz pozitívan befolyásolja a sütőipari értéket. Ennek oka a koncentrációs hatás, mely során a növény kevesebb keményítőt termel, így a fehérjekomponensek aránya növekszik a szemben. Ezt támasztja alá a statisztikai elemzés is, mely szerint a 9 napos kezelés jellemzően magasabb Zeleny-értékhez vezetett, különösen -60 cm-es vízszint mellett. Ugyanakkor a kontrollhoz viszonyított eltérések évjáratonként erősen különböztek, amit az éves kontrollértékek (pl. 2019: 63,2; 2020: 72,6; 2021: 39,7) is alátámasztanak. A legszigorúbb összehasonlítási alapot a 2020-as év jelentette, ahol a kezelések hatásai jobban előtérbe kerültek.

A multivariáns statisztikai elemzés tovább erősítette az évjáráthatás jelentőségét: a MANOVA szerint az évjárat erősen szignifikáns hatással bírt mind a minőségi mutatók, mind a hozam szempontjából. Emellett a vízszint és időtartam főhatásai is szignifikánsak voltak, és a vízszint-időtartam interakciója szintén befolyásolta a vizsgált paramétereket, különösen a fehérjetartalom esetében. A varianciahomogenitás hiánya miatt a Welch-teszt és Games–Howell post-hoc eljárások alkalmazása indokolt volt, amelyek pontosabb különbségek kimutatását tették lehetővé a kezelések között.

A fentiek alapján levonható a következtetés, hogy az őszi búza vízszint- és időtartam-kezelésének optimalizálása rendkívül kontextusfüggő. Egyetlen univerzálisan legjobb kezelés nem létezik; a célhoz (pl. hozammaximalizálás vagy minőségjavítás) igazított, évjárat- és talajállapot-specifikus stratégiákra van szükség. A 9 napos kezelés -60 cm-es vízszint mellett több évben is kedvező kompromisszumot kínált a hozam és a minőség között, míg a rövid (3 napos) és a folyamatos elárasztás gyakran kedvezőtlenebb eredményeket hozott.

A vízszint és időtartam kölcsönhatása is szignifikáns volt több minőségi paraméter esetében – például a Zeleny-indexre vonatkozóan $F = 3,21$, $p = 0,0054$.

2020-ban például a -30 cm-es vízállás mellett a 6 és 12 napos kezelések között szignifikáns hozamkülönbség mutatkozott ($p = 0,009$), ami arra utal, hogy ebben az évjáratban a hosszabb ideig tartó mérsékelt vízstressz kedvezőbb feltételeket teremtett a hozam növekedéséhez. Ugyanez az év mutatta ki azt is, hogy a -60 cm-es vízborítás 9 napos időtartama is szignifikáns hozamnövekedést eredményezett a kontrollhoz képest ($p = 0,005$).

Ezek azt jelenti, hogy azonos vízszint mellett nem mindegy, hány napig tart a kezelés, és fordítva: ugyanazon időtartam mellett sem mindegy, milyen mély a vízállás.

A kezelési döntések meghozatalánál tehát figyelembe kell venni az évjáratra jellemző meteorológiai körülményeket, a talaj vízgazdálkodási sajátosságait, valamint a kívánt termelési célt (pl. malmi vagy takarmánybúza).

Végző soron az elemzés rávilágít arra, hogy a precíziós mezőgazdasági megközelítések és az UAV-alapú vegetációs indexek, különösen a GNDVI, bevonása lehetőséget ad arra, hogy a klorofilltartalom és vegetációs állapot pontosan nyomon követhető legyen. Ez különösen fontos lehet nagy területű szántóföldi kultúrák esetében, ahol a térbeli változékonyság és az évjáráthatás kezelése kulcsfontosságú a hozam- és minőségoptimalizálás szempontjából.

Új tudományos eredmények

A kutatás statisztikailag igazolt tézisei:

1. Tézis: Megállapítottam, hogy az őszi búza minőségi és mennyiségi paramétereire gyakorolt vizes stressz hatását dominánsan az évjárat-hatás határozza meg, amelynek statisztikai ereje felülmúlja az alkalmazott (3,6,9,12 napos időtartamon és 0 cm (kétfázisú talaj), -30 cm (a felszíntől -30 cm-en beállított vízszint) és -60 cm (a felszíntől -60 cm-en beállított vízszint)) kezeléseket.

Statisztikai alátámasztás: A többváltozós varianciaanalízis (MANOVA) eredményei egyértelműen kimutatták, hogy az Év faktor Wilks-féle Lambda értéke ($\lambda = 0,02248$) és F-statisztikája ($F = 167,834$) nagyságrendekkel erősebb, mint a Vízmélység ($\lambda = 0,56417$, $F = 6,282$) vagy az Időtartam ($\lambda = 0,55753$, $F = 4,737$) hatása ($p < 2,2e-16$ minden esetben)

Ezt a dominanciát az összes egyváltozós ANOVA teszt is megerősíti, ahol az Év F-értéke minden egyes vizsgált paraméter (fehérje, sikér, Zeleny érték, W érték, hozam) esetében a legmagasabb volt (pl. Fehérje $F=126,3082$, Sikér $F=81,8964$; Zeleny $F=11,7941$; W $F=80,0361$, Hozam $F=84,8474$; mind $p < 2,2e-16$). Az egyes évek kontrollcsoportjai között akkora a különbség (pl. Zeleny-érték 2020 kontra 2021), amely gyakran meghaladja a kezelések éven belüli hatását.

2. Tézis: Igazoltam, hogy az őszi búza minőségi és mennyiségi mutatói eltérő módon reagálnak 3,6,9,12 napos időtartamon és 0 cm (kétfázisú talaj), -30 cm (a felszíntől -30 cm-en beállított vízszint) és -60 cm (a felszíntől -60 cm-en beállított vízszint) időtartamra és vízmélységekre; míg a minőségi paraméterek (fehérje, sikér, Zeleny-, W-érték) együttesen és komplexen változnak, addig a hozam (mennyiség) válaszreakciója ettől részben független mintázatot mutat.

Statisztikai alátámasztás: A Pearson-féle korrelációs mátrix magasan szignifikáns, erős pozitív korrelációt igazolt a minőségi mutatók között ($r = 0,955-0,989$, $p < 0,001$), míg a hozam gyenge pozitív korrelációt mutatott a minőségi paraméterekkel ($r = 0,155-0,206$)

Ezt a kettősséget az egyváltozós ANOVA tesztek is megerősítik: a minőségi paraméterek esetében mindhárom főhatás (év, vízmélység, időtartam) és a vízmélység×időtartam interakció is szignifikáns volt ($p < 0,05$). Ezzel szemben a hozam esetében az időtartam ($p = 0,1885$) és a vízmélység×időtartam interakció ($p = 0,8095$) nem volt szignifikáns az egyváltozós ANOVA szerint.

3. Tézis: Igazoltam, hogy a 3,6,9,12 napos időtartamon és 0 cm (kétfázisú talaj), -30 cm (a felszíntől -30 cm-en beállított vízszint) és -60 cm (a felszíntől -60 cm-en beállított vízszint) kezelések minőségre (fehérjetartalomra és Zeleny-értékre) gyakorolt hatása kontextusfüggő: kedvező évjáratokban a kezeletlen kontrollhoz képest minden stresszhatás minőségromlást okoz, míg kedvezőtlen évjáratokban a rövid idejű, mérsékelt stressz statisztikailag igazolható minőségjavulást (koncentrációs hatást) eredményezhet.

Statisztikai alátámasztás: A Welch-féle t-próbák ezt a kettős hatást igazolják. A 2020-as, kiemelkedően jó minőségű évben szinte minden kezelés szignifikánsan ($p < 0,05$ a Holm-korrektció után is) alacsonyabb fehérje- és Zeleny-értéket eredményezett, mint a kontroll (pl. 2020, 0 cm, 3 nap: Zeleny diff = -18,55, $p_{\text{adj}} = 3,1e-04$). Ezzel szemben a 2021-es, gyenge évjáratban a 3 napos, -60 cm-es kezelés szignifikánsan növelte a fehérjetartalmat (diff = +2,65; $p = 0,0151$, Holm korrekció után is), és a 6 napos -60 cm-es kezelés is (diff = +2,2, $p = 0,0314$). A Zeleny-érték 2021-ben, 3 napos, -60 cm-es kezelésnél pozitív irányú volt (diff = +15,05), bár a Holm-korrektció után nem maradt szignifikáns ($p_{\text{adj}}=0,366$).

4. Tézis: Kimutattam, hogy az őszi búza terméshozamát a kedvező évjáratokban (2019, 2020) a legtöbb vizes kezelés (és 0 cm=kétfázisú talaj; -30 cm=a felszíntől -30 cm-en beállított vízszint;-60 cm = a felszíntől -60 cm-en beállított vízszint) szignifikánsan növelte a kezeletlen kontrollhoz képest, míg a kedvezőtlen (2021) évben a hatásuk bizonytalanná és időtartam-függővé vált.

Statisztikai alátámasztás: A Welch-féle t-próbák ezt a mintázatot egyértelműen mutatják

A 2019-es és 2020-as években a kezelések túlnyomó többsége statisztikailag szignifikáns ($p < 0,05$), pozitív hozameltérést mutatott a kontrollhoz képest (pl. 2019, 0 cm, 12 nap: $p \approx 2,8e-04$, 2020, 0 cm, 9 nap: $p \approx 0,00035$). Ezzel ellentétben 2021-ben a hatás vegyes volt: a 0 cm-es vízszintnél a 6 napos kezelés szignifikánsan csökkentette ($p = 0,04958$), míg a 9 napos ($p = 0,00905$) és 12 napos ($p = 0,0341$) kezelések szignifikánsan növelték a hozamot. A mélyebb vízszintek (-30 és -60 cm) esetében 2021-ben a kezelések többségénél nem volt szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest.

5. Tézis: Kimutattam, hogy az alkalmazott vizes kezelések (és 0 cm=kétfázisú talaj; -30 cm=a felszíntől -30 cm-en beállított vízszint;-60 cm = a felszíntől -60 cm-en beállított vízszint) optimális stratégiájának megválasztása kompromisszumot igényel a terméshozam (mennyiség) és a minőség (pl. Zeleny-

index) között, mivel a minőségjavító stresszhatások gyakran hozamcsökkenéssel járhatnak.

Statisztikai alátámasztás: A Games-Howell post-hoc tesztek szerint a Zeleny-érték esetében a mérsékelt stressz, különösen a 9 napos kezelés a -60 cm-es vízszintnél, szignifikánsan javította a minőséget (pl. 2021, -60 cm, 9 nap vs. 3 és 6 nap: $p = 0,031$ és $p = 0,004$). Ugyanezen körülmények között (pl. 2021, -60 cm, 9 nap), a hozam nem mutatott szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest a Welch-féle t-próba szerint ($p = 0,4032$). Ez azt jelzi, hogy a minőségjavulás nem feltétlenül társul hozamnövekedéssel, sőt, más esetekben a hozam csökkenhet is. A 2021-es évben a 0 cm-es vízszint mellett a 6 napos kezelés szignifikánsan csökkentette a hozamot ($p = 0,0496$), míg a 9 és 12 napos kezelések növelték ($p = 0,009$, $p = 0,034$). Ez a dilemmát hangsúlyozza a gazdálkodási döntésekben.

6. Tézis: A vizsgálataimmal igazoltam, hogy a felszíntől mérve folyamatosan -60 cm-en tartott vízszint hatása az őszi búza minőségi és mennyiségi paramétereire nem konzisztensen kedvező, hanem erősen évjárat- és paraméterfüggő, gyakran kedvezőtlen, de kivételesen előnyös is lehet.

Statisztikai alátámasztás: A Games-Howell és Welch-féle t-próbák eredményei alapján a „Folyamatos” kezelés hatása változatos:

Fehérje: 2021-ben -60 cm-es vízszintnél a folyamatos kezelés szignifikánsan alacsonyabb fehérjetartalmat eredményezett, mint a 9 és 12 napos kezelések ($p = 0,009$ és $p = 0,035$). Ezzel szemben 2019-ben -60 cm-en a folyamatos kezelés szignifikánsan magasabb fehérjetartalmat mutatott, mint a 3 és 12 napos kezelések ($p < 0,001$ és $p = 0,038$).

Zeleny-érték: 2020-ban -60 cm-en a folyamatos kezelés szignifikánsan rosszabb volt, mint a 12 napos ($p = 0,004$). Míg 2019-ben ugyanezen vízmélységnél a folyamatos kezelés szignifikánsan jobb volt, mint a 3 napos ($p < 0,0001$).

Hozam: 2021-ben -60 cm-en a folyamatos elárasztás szignifikánsan alacsonyabb hozamot eredményezett, mint a 12 napos kezelés ($p = 0,005$). Viszont 2020-ban -60 cm-en a folyamatos elárasztás szignifikánsan jobb volt, mint a 3 napos ($p = 0,026$) és a 9 napos ($p = 0,003$) kezelés. Ez a mintázat aláhúzza a folyamatos kezelés kockázatos és évjárat-specifikus jellegét.

7. Tézis: 2. fokú polinomiális regressziós modellel bizonyítottam, hogy a SPAD érték GNDVI (4,83 Átlagos Abszolút Hibával, MAE) indexszel és a BNDVI (4,71 MAE) indexszel becsülhető.

A függvények alapján, ha van egy UAV-ból származó GNDVI vagy BNDVI érték, akkor a SPAD értéket (relatív klorofilltartalmat) 4,83 átlagos abszolút hibával a GNDVI-ra és 4,71 átlagos abszolút hibával a BNDVI-ra becsülhetünk hasonló érzékenységű kamera használatával búzára.

A SPAD és GNDVI kapcsolatára:

2020 egész adathalmazra (n=440)

$$\text{GNDVI} = (-177.25 * \text{GNDVI}^2) + (235.27 * \text{GNDVI}) + (-25.64)$$

$$\text{BNDVI} = (-167.54 * \text{BNDVI}^2) + (246.17 * \text{BNDVI}) + (-38.15)$$

A szerzőnek az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációi

- [1]K. György, K. Ágnes, and J. Mihály, “Examination of Red Clover Optimum Harvesting Status in Seed Production With Unmanned Aerial Systems (UAS),” JOURNAL OF CENTRAL EUROPEAN GREEN INNOVATION, vol. 12, no. 3, pp. 3–19, 2024.
- [2]C. Bozán, N. Túri, J. Körösparti, B. Kajári, G. Kerecsi, E. Katona, and I. Nagy, “Harmadrendű öntözőművek felmérése a TIVIZIG működési területén,” in Magyar Hidrológiai Társaság XL. Országos Vándorgyűlése, 2023.
- [3]J. Körösparti, N. Túri, B. Kajári, G. Kerecsi, L. Pásztor, and C. Bozán, “A belvíz-veszélyeztetettség talajtani összefüggései,” in XVIII. Kárpát-medencei Környezettudományi konferencia : Absztraktfüzet = XVIII. Carpathian Basin Environmental Science Conference : Book of Abstracts, 2023, p. 39.
- [4]J. T. Körösparti, B. Kajári, G. Kerecsi, N. Túri, T. Szócs, É. Kun, and C. Bozán, “A felszín alatti vizek kitermelésének hatása a belvíz-veszélyeztetettségre,” in Magyar Hidrológiai Társaság XL. Országos Vándorgyűlése, 2023.
- [5]S. Priya, V. Mónika, K. György, K. Balázs, H.-K. Béla, B. B. Emese, M. Gaál, and G. Gergő, “Dataset: Geographical distribution and reed cover of Hungarian fishponds.” 2023.
- [6]P. Sharma, M. Varga, G. Kerecsi, B. Kajári, B. Halasi-Kovács, E. Békefi, M. Gaál, and G. Gyalog, “Estimating Reed Bed Cover in Hungarian Fish Ponds Using NDVI-Based Remote Sensing Technique,” WATER, vol. 15, no. 8, 2023.
- [7]P. Sharma, M. Varga, G. Kerecsi, B. Kajári, B. Halasi-Kovács, E. Békefi, M. Gaál, and G. Gyalog, “A dataset on the geographical distribution, bounds, and reed cover of Hungarian fishponds,” DATA IN BRIEF, vol. 49, 2023.
- [8]N. Túri, J. Körösparti, B. Kajári, G. Kerecsi, and C. Bozán, “A hazai talajcsövezés szükségességének kérdése az elmúlt évek aszályainak tükrében,” in Magyar Hidrológiai Társaság XL. Országos Vándorgyűlése, 2023.
- [9]B. Kajári, J. Körösparti, G. Kerecsi, N. Túri, C. Bozán, and van L. Boudewijn, “Belvíz monitorozása szegmentálással, felügyelt osztályozással és gépi tanulással SENTINEL 2-es műholdfelvételeken,” in A Magyar Hidrológiai Társaság XXXIX. Országos Vándorgyűlés dolgozatai, 2022, pp. 19–26.

[10]G. Kerecsi, N. Túri, B. Kajári, J. Körösparti, and C. Bozán, “Az M44-es gyorsforgalmi út vonalas létesítményen lehatárolt felszíni vizek összegyűlekezési helyeinek elemzése,” in A Magyar Hidrológiai Társaság XXXIX. Országos Vándorgyűlés dolgozatai, 2022, pp. 1–10.

[11]J. Körösparti, G. Kerecsi, B. Kajári, N. Túri, and C. Bozán, “Harmadlagos öntözőművek terepi szintű műszaki állapotfelmérésének lehetőségei kijelölt mintaterületeken,” in A Magyar Hidrológiai Társaság XXXIX. Országos Vándorgyűlés dolgozatai, 2022, pp. 1–13.

[12]J. T. Körösparti, B. Kajári, G. Kerecsi, N. Túri, L. Pásztor, and C. Bozán, “A területhasználat racionalizálásának hatása Magyarország síkvidéki területeinek belvíz-veszélyeztetettségére,” JOURNAL OF CENTRAL EUROPEAN GREEN INNOVATION, vol. 10, no. Suppl 2, pp. 21–37, 2022.

[13]N. Túri, J. Körösparti, B. Kajári, G. Kerecsi, M. Zain, J. Rakonczai, and C. Bozán, “Spatial Assessment of the Inland Excess Water Presence on Subsurface Drained Areas in the Körös Interfluve (Hungary),” AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN, vol. 71, no. 1, pp. 23–42, 2022.

[14]C. Dr. Bozán, J. Körösparti, N. Túri, G. Kerecsi, and B. Kajári, “AKK Belvízi veszélyeztetettség felülvizsgálata Stratégiai forgatókönyvek.” 2021.

[15]G. Kerecsi, J. Körösparti, N. Túri, B. Kajári, and C. Bozán, “A belvizek táp- és szennyezőanyag terhelésének vízminőségi vizsgálata a Szarvas környéki mezőgazdasági táblákon,” IN MINDEN CSEPP SZÁMÍT: IV. VÍZTUDOMÁNYI NEMZETKÖZI KONFERENCIA. ABSZTRAKT KÖTET = EVERY DROP COUNTS: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER SCIENCES. ABSTRACT VOLUME, 2021, p. 8.

[16]C. Bozán, J. Körösparti, N. Túri, B. Kajári, G. Kerecsi, and L. Pásztor, “A belvíz.veszélyeztetettségi térképezés módszertani fejlődése a NAIK ÖVKI GIS műhelyében,” in Klímaváltozás okozta kihívások - Globálistól lokálisig, 2020, pp. 57–70.

[17]A. Laborczy, C. Bozán, J. Körösparti, G. Szatmári, B. Kajári, N. Túri, G. Kerecsi, and L. Pásztor, “Application of Hybrid Prediction Methods in Spatial Assessment of Inland Excess Water Hazard,” ISPRS INTERNATIONAL JOURNAL OF GEO-INFORMATION, vol. 9, no. 4, 2020.

[18]N. Túri, J. Körösparti, G. Kerecsi, B. Kajári, and C. Bozán, “Kutatás támogatás pilóta nélküli légi járművekkel a NAIK ÖVKI-ben.” 2020.

[19]C. Bozán, J. Körösparti, N. Túri, G. Kerecsi, and B. Kajári, “AKK Belvízi veszélyeztetettség felülvizsgálata.” 2019.

[20]G. Kerecsi, N. Túri, J. Körösparti, and C. Bozán, “Lendületben az agrárinnováció,” in *Lendületben az agrárinnováció*, 2019, pp. 55–66.

[21]G. Kerecsi, B. Kajári, N. Túri, J. Körösparti, and C. Bozán, “Vízvisszatartás tervezése belvizes területen UAV légifelvételből készített digitális magassági modell alapján,” in *XXI. Századi vízgazdálkodás a tudományok metszéspontjában*, 2019, pp. 111–116.

[22]J. Körösparti, C. Bozán, N. Túri, G. Kerecsi, B. Kajári, L. Dr. Pásztor, and A. Laborczi, “Kedvezőtlen vízgazdálkodási állapotú mezőgazdaságilag művelt területek nagy felbontású belvíz-veszélyeztetettségi és kockázati térképezése a 10.07. belvízvédelmi szakasz területén.” 2019.

[23]J. Körösparti, C. Bozán, N. Túri, G. Kerecsi, B. Kajári, L. Pásztor, and A. Laborczi, “Kedvezőtlen vízgazdálkodási állapotú mezőgazdaságilag művelt területek nagy felbontású belvíz-veszélyeztetettségi és kockázati térképezése Tisza-ékcske közigazgatási területén.” 2019.

[24]N. Túri, J. Körösparti, G. Kerecsi, B. Kajári, and C. Bozán, *Belvízkárokkal érintett területek kiterjedésének felmérése és terméskiesés becslése drónnal készült légifelvételek felhasználásával*. Szarvas: Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar, 2019.

[25]N. Túri, J. Körösparti, G. Kerecsi, B. Kajári, and C. Bozán, “Application of UAV remote sensing and GIS techniques for precision sampling in agricultural researches and practices,” in *18th Alps-Adria Scientific Workshop : Alimentation and Agri-environment : Abstract book*, 2019, pp. 166–167.

[26]N. Túri, J. Körösparti, G. Kerecsi, B. Kajári, and C. Bozán, “Pilóta nélküli légi járművek a precíziós mezőgazdaság szolgálatában.” 2019.

[27]N. Túri, J. Körösparti, G. Kerecsi, and C. Bozán, “Pilóta nélküli légi járművek alkalmazása mezőgazdasági és növénykísérleti területek felmérésére, monitorozására,” in *Lendületben az agrárinnováció*, 2019, p. 95.

[28]N. Túri, Á. Kun, G. Kerecsi, B. Kajári, J. Körösparti, and C. Bozán, “Talajcsövezett mintaterületek drónfelvételekből készített digitális adatbázisa, valamint mintavételi rajzolatok alapján elvégzett terepi vizsgálatok,” in *Magyar Hidrológiai Társaság XXXVII. Országos Vándorgyűlés*, 2019.

[29]T. Norbert, K. János Tamás, K. György, and B. Csaba, “Talajcsővezett területek azonosítása békés megyében távérzékelte valós színes felvételek kiértékelése segítségével,” in *Alkalmazkodó Vízgazdálkodás*, 2018.

[30]N. Túri, Á. Kun, G. Kerecsi, J. T. Körösparti, and C. Bozán, “Talajcsővezett mezőgazdasági területek működőképességének felmérése - terepi tapasztalatok,” in *A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXVI. Országos Vándorgyűlés dolgozatai*, 2018.

[31]N. Túri, J. T. Körösparti, G. Kerecsi, and C. Bozán, “Advantages of rational control of soil moisture regime to prevent and mitigate the adverse effects of climate change in Békés County,” in *17th Alps-Adria Scientific Workshop*, 2018, pp. 102–104.

[32]J. Körösparti, N. Túri, G. Kerecsi, and C. Bozán, *Drónok használata a mezőgazdasági kutatásokban*. 2017.

[33]N. Túri, J. T. Körösparti, G. Kerecsi, and C. Bozán, “Okszerű talajvízháztartás szabályozás lehetőségei Magyarország mezőgazdaságilag művelt területein,” in *NAIK Fiatal Kutatói Napok II. szakmai konferencia. Publikációk*. Szeged, 2017.12.14-15, 2017, pp. 45–51.

[34]N. Túri, J. Körösparti, G. Kerecsi, C. Bozán, I. Fabó, and F. Fehér, “Komplexen meliorált területek állapotfelmérésének gyakorlati tapasztalatai mintaterületek példáján,” in *A Magyar Hidrológiai Társaság XXXV. Országos Vándorgyűlése*, 2017, pp. 1–8.

[35]C. Juhász and G. Kerecsi, “Irrigation planning of apricot,” *NÖVÉNYTERMELES*, vol. 64, no. Suppl. 2, pp. 81–89, 2015.

[36]P. Tamás and G. Kerecsi, “A magyarországi potenciális szennyvíziszap elhelyezés térségi vizsgálata,” in *Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása a régió fenntartható mezőgazdaságáért*, 2015, pp. 53–58.

Kerezsi György munkásságának összefoglalása (2025.09.16)
MTMT közlemény és idéző összefoglaló táblázat

Tudományos közlemények	Szám		Hivatkozások ¹	
	Összesen	Részletezve	Független	Összes
I. Tudományos folyóiratcikk	7			
külföldi kiadású szakfolyóiratban idegen nyelvű		3	8	23
külföldi kiadású szakfolyóiratban magyar nyelvű		0	0	0
hazai kiadású szakfolyóiratban idegen nyelvű		3	0	0
hazai kiadású szakfolyóiratban magyar nyelvű		1	2	2
II. Könyvek	0			
a) Könyv, szerzőként	0			
idegen nyelvű		0	0	0
magyar nyelvű		0	0	0
b) Könyv, szerkesztőként ²	0			
idegen nyelvű		0		
magyar nyelvű		0		
III. Könyvrészlet	4			
idegen nyelvű		1	0	0
magyar nyelvű		3	0	0
IV. Konferenciaközlemény folyóiratban vagy konferenciakötetben	12			
idegen nyelvű		2	0	0
magyar nyelvű		10	0	0
Közlemények összesen (I-IV.)	23		10	25
Absztrakt³	4		0	0
Kutatói adat	1		0	1
További tudományos művek⁴	7		0	0
Összes tudományos közlemény	35		10	26
Hirsch index⁵			2	2
Oktatási mű	0			
Felsőoktatási mű	0			
Felsőoktatási tankönyv idegen nyelvű		0	0	0
Felsőoktatási tankönyv magyar nyelvű		0	0	0
Felsőoktatási tankönyv része idegen nyelvű		0	0	0
Felsőoktatási tankönyv része magyar nyelvű		0	0	0
Oktatási anyag	0		0	0
Ötalmi formák	0		0	0
Alkotás	0		0	0
Ismeretterjesztő művek	0			
Folyóiratcikk		0	0	0
Könyvek		0	0	0
További ismeretterjesztő mű		0	0	0
Közérdekű vagy nem besorolt jellegű mű⁶	0		0	0
További közlemények⁷	1		0	0
Egyéb szerzőségű mű⁸	0		0	0
Idézők szerkesztett művekre			0	0
Idézők disszertációban, egyéb típusban			0	0
Összes közlemény és összes idézőik	36		10	26

Megjegyzések:

1 A hivatkozások a disszertáció és egyéb típusú idézők nélkül számolva. A disszertáció és egyéb típusú idézők összesítése a táblázat végén található.

2 Szerkesztőként nem részesedik a könyv idézéséből

3 Csak a tudományos jellegű absztraktok

4 Minden további még el nem számolt tudományos mű (kivéve alkotás vagy ötalmi forma), ahol a szerző: szerző, szerkesztő, kritikai vagy forráskiadás készítője szerzőségű.

5 A disszertációk és egyéb típusú idézők nélkül számolva. A sor értéke az "Összes tudományos közlemény" sor idézettség adatait veszti alapul.

6 Minden "Közérdekű" vagy "Nem besorolt" jellegű közlemény, ahol a szerző nem egyéb szerzőségű szerző.

7 Ideértve minden olyan művet, mely a táblázat más, nevesített soraiban nem került összeszámlálásra, és nem egyéb szerzőségű.

8 Minden olyan egyéb szerzőségű mű, ahol a szerző nem: szerző, szerkesztő, kritikai vagy forráskiadás készítője szerzőségű.