

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Precíziós öntözési technológia vízforgalmi
paramétereinek értékelése és fejlesztése**

Szabó Andrea
doktorjelölt

Témavezető: Prof. Dr. Nagy Attila
egyetemi tanár



DEBRECENI EGYETEM
Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Debrecen, 2023

1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

Az előrejelzések szerint a 2050-re 9 milliárd főt elérő világnépesség esetében az élelmiszerigény 59%-ról 98%-ra fog emelkedni (DURO et al., 2020). Bolygónk legnagyobb egyetemes kihívása az élelmezésbiztonság megteremtésének kérdése a világ gyorsan növekvő népessége számára. Az Egyesült Nemzetek Szervezete által élelmezésbiztonságról akkor beszélhetünk, "amikor minden ember mindenkor fizikai, társadalmi és gazdasági szempontból hozzáfér elegendő, biztonságos és tápláló élelmiszerhez, amely megfelel az élelmezési preferenciáinak és a táplálkozási szükségleteinek az aktív és egészséges élet fenntartásához" (WORLD FOOD SUMMIT, 1996). Ezt a kihívást fokozza első sorban a globális éghajlati változás, a korlátozott vízkészletek, valamint a biztonságosabb és jobb minőségű, kevesebb vegyszert és környezetbarát gyakorlatot alkalmazó áruk iránti igény. A klímaadaptáció egyik fontos eszköze a precíziós mezőgazdasági technológia kialakulása által az öntözésfejlesztés és a hozzájuk kapcsolódó monitoring, valamint a szenzorálási technológiák fejlődése és fejlesztése (TAMÁS, 2001). Különböző távérzékelési eljárásokkal roncsolásmentes mérések végezhetőek el anélkül, hogy ténylegesen kémiai anyagokat kellene használni, emellett a mérés az anyagok fizikai manipulálása nélkül történik. Spektrális adatgyűjtés során gyors információbőveletet kapunk a vizsgált területről, egy megbízható monitoring alapjait biztosítva. A terméshozam becslése ezáltal kulcsfontosságú szerepet játszik a mezőgazdasági tervezés és az élelmezésbiztonság szempontjából a termésmonitoring rendszerekben, hiszen korai információt szolgáltat a döntéshozók számára (FRITZ et al., 2019). Magyarországon az elmúlt időszakban megnövekedett, hosszan tartó aszályos időszakok mértéke megnőtt és régióként eltérő. Ahhoz, hogy hazánkban a növénytermesztés megfelelő ütemben fejlődjön, szükséges a vízgazdálkodás minél szakszerűbb javítása. Az öntözésfejlesztés előrehaladtával a helyspecifikus öntözési technológia (Variable Rate Irrigation - VRI) kezelése fontos és időszerű téma lett világszerte. A VRI potenciális előnyei közé tartozik a terméshozam és a minőség optimalizálása, valamint a víz, a tápanyagok, az agrokémiai és az energiafogyasztás csökkentése (LI et al., 2021).

A kutatásom elsődleges célja a vízhiány és az élelmezés biztonság vízgyűjtő szintű kapcsolatrendszerén és a klímaadaptáció kapcsolatrendszerén belül a precíziós öntözési technológia vízforgalmi paramétereinek értékelése és fejlesztése. A kutatás során validált spektrális adatsorokra és nem invazív mérési módszerekre alapozott modellezéssel terveztem értékelni a növény-talaj-víz kapcsolatrendszerét, a növénytermesztési tér hidrológiai folyamatait és vízháztartási viszonyait a Tisza-vízgyűjtőjén regionális és farm szinten, mind szántóföldi, mind pedig kertészeti termesztésben.

A vízforgalmi problémák első sorban a biomassa és a termés mennyiség csökkenésén és minőségén vehető észre, ezért a növényállomány monitorozása a stressz hatások számszerűsítését teszi lehetővé a szántóföldi kultúrák esetén. Hazánkban a kukorica mellett a legfontosabb szántóföldi növényünknek, a búza termésveszteség monitoringjának a kidolgozása volt a célom. A szántóföldi növényeknek a vízhiány és aszály okozta stressz monitoring rendszereknek a módszertani alapjait alkalmaztam és fejlesztettem, melyekhez különböző műholdas idősoros adatokat és számított vegetációs indexeket használtam regionális és szántóföldi körülmények között egyaránt.

Az aszály és vízhiány okozta stressz hatások ellen számos agrotechnikai eszköznek az alkalmazása lehetséges mind szántóföldi, mind kertészeti körülmények között. Az egyik legeredményesebb aszály elleni agrotechnikai eszköz az öntözés. A hazai öntözőrendszerek a legtöbb helyen elavultak, VRI-re nem képes, ezért a dolgozatomban, egy hazánkban elsőként átforduló VRI-vel felszerelt lineár öntözőberendezés műszaki paramétereinek értékelését végeztem el.

A kertészeti intenzív termesztésben a mikroöntöző rendszerek alkalmazása bevált és elengedhetetlen gyakorlat. Ugyanakkor a hazai gyümölcsstermesztésben meghatározó almatermesztés kiegészül jégghálós agrotechnikai védelemmel is, amelynek a mikroklimára és a növény vízforgalmára gyakorolt hatása nem kellően feltárt. Ezért célul tűztem ki a jéggháló almagyümölcsös vízforgalmára gyakorolt hatásainak komplex értékelését, és a vízhiány okozta stresszhatások gyors spektrális értékelési módszertanának fejlesztését.

A vízforgalmat a talajtani tényezők is befolyásolják, amelyek gyors monitorozásának lehetősége termesztéstechnológiai aspektusból lényeges. Számos talajtani paraméter közül a víz és tápanyagforgalomra jelentős hatást gyakorló szervesanyag tartalom gyors, nem invazív mérési módszertanának a fejlesztése volt a célom.

Az eddigi ismereteink alapján a kutatásom során az alábbi célokat fogalmaztam meg:

1. Mezőgazdasági aszálymonitoring és termésbecslő rendszer fejlesztése a Tisza-vízgyűjtő területén
 - Regionális szinten a termesztett növények hozamadataival kalibrált MODIS NDVI adatokra épülő termésmonitoring rendszer fejlesztése,
 - Farm szinten a termesztett növények hozamadataival kalibrált Landsat 8 műholdas adatokra épülő termésmonitoring rendszer kidolgozása.

2. Hazánkban az elsők között kifejlesztett VRI technológiával szabályozott átfordulás lineár öntözőberendezés vízkijuttatásának értékelése szórás egyenletesség és pontosság alapján
 - Öntözés homogenitásának vizsgálata: alul- és túlöntözés mértékének az értékelése
 - Zónák közötti hosszirányú vízkijuttatás értékelése,
 - Zónák közötti keresztirányú vízkijuttatás értékelése.
3. A jégáló használatának alma gyümölcsös vízforgalmára gyakorolt hatásának értékelése
 - Mikroklímában kimutatható eltérések számszerűsítése alapján,
 - Lombozat termográfiai, pigmenttartalmi, lombozatban mért vízpotenciál, stressz és szárazanyag tartalmi adatai alapján,
 - Termés fizikai paramétereire gyakorolt hatások értékelése alapján.
4. Abiotikus stresszhatások nem invazív értékelési módszertanának fejlesztése és adaptációja alma gyümölcsösben Early Gold és Golden Reinders fajtákra a lombozatban mérhető klorofilltartalom spektrális jellemzői alapján 400-1000 nm hullámhossztartományban.
5. Gyors, nem invazív talaj szervesanyag tartalom becselő módszertan fejlesztése és hazai adaptációja alföldi talajminták alapján VIS-NIR (400-2500 nm) hullámhossztartományban.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A kutatási területek bemutatása

A Tisza-vízgyűjtő területe

Kutatásom során a regionális és farm szintű termésbecslő rendszerek kialakítása és a talaj szervesanyag tartalom becslő modellek kialakításához szükséges minták a Tisza-vízgyűjtő területén találhatóak. A vizsgált terület egy nemzetközi vízgyűjtő, a Tisza-vízgyűjtőjének alföldi része, amely a legfontosabb búza- és kukoricatermesztő régió a Kárpát-medencében. A hőmérséklet, a napsugárzás és a talajnedvesség három olyan éghajlati tényező, amely befolyásolja a növényzet fejlődését. A meteorológiai adatok mellett a növénytermesztés esetében befolyásoló hatással bír az alföldi területek talajtani heterogenitása. Ezáltal a területen fontos a termésbecslés és az időbeli beavatkozásnak a lehetősége, illetve a megfelelő talajminőség vizsgálatának az elvégzése.

Öntözött szántóföldi terület

A kutatás során a nyírbátori Bátortrade KFT. 85 hektáros szántóterületén egy valós idejű ökopotenciál-mérési módszertant dolgoztak ki egy víztakarékos precíziós öntözőrendszerhez. Az országban az első VRI-vel felszerelt lineár öntözőrendszert 2020-ban telepítették, a tesztidőszak 2020-ban és 2021-ben kezdődött. A terület geometriáját és földrajzát elemezve általánosságban elmondható, hogy a terület egészen csak néhány méteres magasságkülönbség van, többnyire északkeleti lejtőirányú, és a terület 96,93%-án a lejtő mértéke kevesebb, mint 5%. A talaj fizikai jellemzője homok, ami kevésbé érzékeny az öntözés intenzitására.

Alma gyümölcsös termesztési területe

A jégáló használatának alma gyümölcsös vízforgalmára gyakorolt hatásának értékelését a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Pallagi Kertészeti Kísérleti Telepén végeztem el. A kísérletek egy intenzíven termesztett, mikroöntözéssel és jégálóval védett Early Gold és Golden Reinders almaültetvényben történtek. Az almafák minden sorában 100 egyed volt, melyből 50 egyedet jégálóval védtek. A gyümölcsös szélsőséges vízháztartású homokos talajon található, ami különösen nagy kockázatot jelent a vízhiány és a hőség okozta stresszre (NAGY, 2015).

2.2. Termésbecslő rendszer kialakítása műholdas felvételek alapján

2.2.1. Termésbecslő rendszer kialakítása MODIS műholdas felvételek alapján

A MODIS műholdas felvételek feldolgozásához a MOD13Q1V6 képeket töltöttem le 2000-2018 között 7 a Tisza vízgyűjtő területén található megyére az <https://earthexplorer.usgs.gov/> oldaláról. A letöltött műholdas képek feldolgozásához TerrSet és ArcGIS térinformatikai szoftvereket használtam TAMÁS et al., (2015) és NAGY et al., (2018) alapján. A kalibrálás a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) által elérhető búza termésátlag (t/ha) értékekkel történt lineáris regresszió felállításával 2000-2016-ig, majd a kapott eredményeket 2017-2018-as évek adataival validáltam. Szakirodalmi adatok alapján terméselemzésre minimum 6 éves távérzékelt idősorokat alkalmaztam a minél nagyobb pontosság érdekében (DEMPEWOLF et al., 2014; NAGY et al, 2018).

2.2.2. Termésbecslő rendszer kialakítása Landsat 8 műholdas felvételek alapján

A jelen tanulmányban a 2013-2019-es vegetációs időszakra vonatkozó Landsat 8 műholdképeket töltöttem le a <https://earthexplorer.usgs.gov/> oldaláról. A Landsat 8 műholdas felvételek vizsgálata során 26 szántó területéről származó búza termésátlag adatait (t/ha) a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Karcagi Kutatóintézet (2021-től MATE Karcagi Kutatóintézete) bocsátotta rendelkezésemre 2013-2019 között. Az adatfeldolgozás és a terméshozambecslés az adatgyűjtéstől kezdve a feldolgozáson és kalibráláson át az érvényesítésig több lépést foglal magában. Kutatásomban az NDVI-t és a SAVI-t választottam a termésbecslő modellek felállítására.

2.3. A precíziós öntözőberendezés jellemzői

A nyírbátori öntözött szántóföld területén egy 209,09 m szerkezeti hosszúságú átfordulós lineár öntözőberendezés került telepítésre. A rendszer maximális vízigénye $180 \text{ m}^3/\text{h}$, a minimális vízigény a VRI céljától függ. Az öntözőgépen összesen 118 szórófej volt, 2,2 m magasságban a talaj felett. A 118 szórófejből 62 szórófej csak oldalirányú mozgási módban működött, 48 szórófej csak pivot üzemmódban, az öntözőgép közepén pedig 8 szórófej mind lineár, mind pivot üzemmódban. A kísérlethez kiválasztott szórófej típus a szokásos alacsony nyomású Nelson O3030 Orbitor fekete lemezes fúvóka volt.

2.3.1. Öntözővíz kijuttatás mérése

A lineár öntözőrendszer vízeloszlásának felmérése érdekében az öntözőrendszer VRI-teljesítményét rácokban, valamint az öntözőrendszer haladási irányában és az oldalsó

csővezeték mentén vizsgáltam. A rácsháló mentén végzett mérések célja egy állandó öntözési intenzitású gazdálkodási zóna modellezése volt. A csapadékmérő edényeket 50 cm magasságban helyeztem el egy 6*4-es rácshálóban 5 m-es távolsággal. Az öntözőgép haladási irányában végzett öntözési vizsgálatot két öntözési zóna közötti vízkijuttatás hosszanti átmenetének meghatározása és a kezelési zóna minimális hosszának felmérése érdekében végeztem el. A zónák tervezett öntözővíz kijuttatásának a mennyisége 5 és 10 mm volt. A zónák közötti tervezési határ a 20. csapadékmérőnél volt kiszámítva. A különböző kezelési zónákban történő öntözés pontosságának elemzése érdekében négy zónát állítottam be keresztirányban a csővezeték mentén impulzusjelzéssel, a ciklusidőt 25, 50, 75 és 100%-ra, 10 mm-es maximális tervezett öntözővíz kijuttatással. A keresztirányú és a hosszirányú zóna átmenet mérések esetében 40 db csapadékmérőt helyeztem el egyenes vonalban méterenként.

2.3.2. Az öntözés egyenletességének mérési módszere

A csapadékmérő edények felfogott vízmennyiségi adataiból származó vízeloszlás egyenletességét egyenletességi együtthatókkal értékeltem. Kutatásom során a Christiansen-féle egyenletességi együtthatót (CUC%) (CHRISTIANSEN, 1941; TAKÁCS et al., 2018), alsó negyed eloszlás egyenletességi együtthatóját (DU%) és a variációs együtthatót (CV) használtam. Az egyenletességi tényezők kiszámítása mellett az öntözött területre kijuttatott öntözővíz eloszlását is vizsgáltam, úgy, hogy a kihelyezett rácshálók alapján meghatároztam az alul- és túlöntözött területek arányát. Az alkalmazott öntözővíz eloszlását a Surfer 15 (Golden Software, Inc, Golden, Colorado) programban ábrázoltam és számoltam.

2.4. Jégsháló, mint agrotechnológiai tényező hatásainak a vizsgálata

A kutatás során a terepi felmérések 2016-ban, 2019-ben és 2020-ban lettek elvégezve. A terepi méréseket heti szinten végeztem el 9-10 óra között, 2020-ban kéthetente végeztem el a vizsgálatokat 9-14 óra között óránkénti felmérésekkel. A kutatás során minden terepi felmérés alkalmával Testo 175 H1 típusú mérőműszerrel mértem a hőmérsékletet és a relatív páratartalom alakulását vizsgálva a jégsháló mikroklímára gyakorolt pozitív hatásait. A lomboszat hőmérséklet mérése során 14 termográfiai felmérés lett elvégezve a HEXIUM PYROLATER-12 termokamerával 2016-ban. 15-15 jégshálósával védett és nem védett egyedeken történt a felmérés mind a két vizsgált almafajta esetében. A lombkoronáról készült termográfiai felvételeket 1-2 m magasságban készült árnyékos nyugati oldalról, a közvetlen napsugárzás káros hatásának a csökkentése érdekében. A gyümölcsösökben végzett NAGY, (2015) előzetes kutatása alapján a 9-11 óra közötti időszak ajánlott a termográfiai vizsgálatok elvégzéséhez. A

termikus képet előfeldolgoztam, hogy csak az almafák lombkoronaértékeit vonjam ki a háttérben lévő talaj- és légpixelek eltávolítása érdekében, mely után meghatározható a lombzat átlagos hőmérséklete. A termográfiai adatok értékelése mellett a lombzat vízháztartását is nyomon követtem egy Scholander-nyomáskamra elven működő levél vízpotenciáljának mérése alkalmas eszközzel (Pump-Up Chamber, PMS Instrument Company). Fajtánként 20 egyedet választottam ki, 10 egyedet jégghálóval védett területről és 10 egyedet jégghálóval nem védett területről. A méréseket hat alkalommal végeztem el 2019 júliusában és augusztusában 9-10 óra között, 2020-ban 07.21-től kéthetente 9-14 óra között pedig 3-3 mintával. A mérési módszertant FULTON et al. (2014) alapján alkalmaztam.

A mintavétel homogenitásának biztosítása érdekében a pigmenttartalom meghatározásához a kijelölt fákról levélmintákat vettem 1,2 m magasságból, az egyik ág középső részéből NEMESKÉRI et al. (2009) alapján. A mintavétel 9-10 óra között végeztem el, melyhez 15-15 almát jelöltem ki jégghálóval védett és nem védett területről mind a két fajta esetében. A levélmintákat 4 °C-on hűtve tároltam és szállítottam, majd laboratóriumban 6 órán belül mértem. A mintákat 80 %-os acetonnal és 1 g kvarchomokkal roncsoltam a homogenitás érdekében. Az extrakciót követően a szuszpenziókat 3000 fordulat/perc sebességgel 3 percig Hettich ROTOFIX 32A készülékben centrifugáltam majd a tiszta oldatot 2,5 ml-es kvarcküvetébe helyeztem. Az oldat abszorbanciáját SECOMAN Anthelie Light II készülékkel mértem 470, 644 és 663 nm hullámhosszon. A minták klorofilltartalmát a DROPPA et al. (2003) által közzétett egyenlet alapján határoztam meg. A karotinoid értékeket LICHTENTHALER és WELLBUM (1983) egyenlete alapján határoztam meg.

A szárazanyag tartalmat a pigmenttartalom laboratóriumi vizsgálatával párhuzamosan határoztam meg hagyományos gravimetriás módszerrel. A talaj nedvességtartalmát minden terepi felmérés alkalmával, a mintavételekkel párhuzamosan monitoroztam. A mintákat 30 cm mélységből vettem, nedvességtartalmát a levél szárazanyag tartalmához hasonlóan gravimetrikus módszerrel mértem, és tömegszázalékban fejeztem ki.

A növényi stressz méréséhez az OS30p+ (Opti-Sciences) típusú klorofill fluoriméterét alkalmaztam. Az OS30p +-ot a klorofill-fluoreszcencia mérésére fejlesztették ki, az Fv/Fv, Fv/Fo sötét adaptációs protokollok és a Fv/x teszt felhasználásával. Az egészséges növények 0,79-0,84 Fv/Fm-el rendelkeznek (MAXWELL és JOHNSON, 2000). Az alacsonyabb értékek a növényi stresszt jelzik. A vizsgálatokhoz mind a két vizsgált fajta esetében 10-10 fát jelöltem ki jégghálóval védett és nem védett területekről. Az almafajták stressz mérését 2020-ban 07.21-től kéthetente végeztem el 9-14 óra között óránkénti felmérésekkel, a kiválasztott egyedek árnyékos oldaláról.

Az almatermés fizikai paramétereinek a meghatározásához 2022. augusztus 8-n kijelölt jégálmával védett és nem védett Early Gold és Golden Reinders almafákról történt. Minden kijelölt fáról véletlenszerűen 20 db termést szedtem, majd szállítottam a DE MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet laboratóriumába, ahol tolómérővel mértem a termések szélességét és magasságát, majd analitikai mérleggel a termés tömegeket határoztam meg.

2.5. Abiotikus stressz spektrális értékelésének módszertana alma lombzaton

A mintavételt hetente kétszer, 9 és 10 óra között végeztem 2019. július 7-től 2019. augusztus 29-ig. Minden mérési időszakban 30 mintát gyűjtöttem mind a két vizsgált almafajtából. A levélminták spektrális adatgyűjtéséhez az AvaSpec 2048 spektrométert használtam 400-1000 nm hullámhossztartományban, 0,6 nm pontossággal. Az eredmények statisztikai elemzését az SPSS szoftverrel végeztem. A legnagyobb faktorsúlyú hullámhosszak azonosítására a varimax rotációval végzett PCA-t használtam a klorofill érzékeny hullámhosszak azonosítására.

2.6. Talaj szervesanyag tartalmának spektrális becslési módszertana

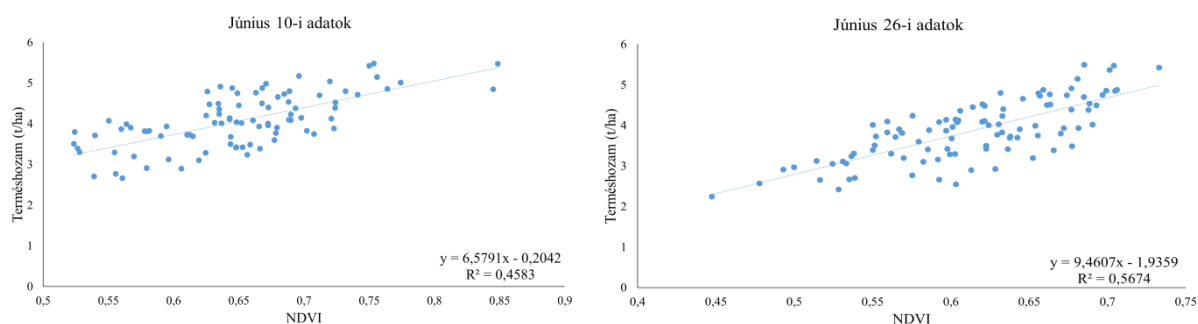
2.6.1. Talajmintaelőkészítés és a talaj szervesanyag tartalmának spektrális alapú becslési modelljeinek kialakítása

A talaj szervesanyag tartalmának spektrális becslési módszertanának a kialakításához összesen 90 talajmintát gyűjtöttem 2020-ban 0-20 cm mélységből, amelyből 60 talajmintát használtam fel a kialakított modellek kalibrálásához és 30 mintát a modellek validálásához. A mintavételi helyeket véletlenszerűen határoztam meg a Tisza-vízgyűjtő területén. A talaj szerves széntartalmát a DE MÉK Agrárműszerközpontjában végezték el Walkley-Black módszerrel. A spektrális profilokat 400-2500 közötti két külön laboratóriumi spektrométerrel mértem. Az eredmények statisztikai elemzését az SPSS szoftver segítségével végeztem. A legnagyobb faktorsúlyú hullámhosszak azonosítására a varimax rotációval végzett PCA-t használtam a SOC érzékeny hullámhosszak azonosítására (ALLEN, 2017). A PCA mellett a spektrális jellemzők szórásait (SD) is megvizsgáltam ahhoz, hogy kiválasszam azokat a hullámhosszakokat, ahol az eltérések a legnagyobbak, ami a SOC potenciális változékonyságára utal.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Terméshozam becslése MODIS NDVI idősoros adatok alapján

A búza termésbecslését a betakarított terméshozamok és a MODIS NDVI adataiból származtatott idősorának a regressziójával végeztem el. A lineáris regresszió értékeket NAGY et al., (2018) előzetes vizsgálatait és módszertana alapján június 10-re és 26-ra kapott NDVI és KSH terméseredményekkel számítottam ki, mely június 10-én $R^2 = 0,458$, június 26-án pedig $R^2 = 0,567$ lett (1. ábra). A determinációs együttható értékei közepesen erős értéket adnak a további kiértékelés folytatásához.



1. ábra: Termésbecslő modellek

A becsült érték valós értéktől való átlag relatív és abszolút eltérések értékeit felhasználva vizsgáltam a becsült hozam és a betakarított hozamértékek közötti összefüggéseket 1, 3 és 6 éves időintervallumba az összes vizsgált évre és megyére. A becsült érték valós értéktől való 1 éves átlag relatív eltérése június 10-én 1,951 %, abszolút eltérés értéke 10,58 %. A becsült érték valós értéktől való relatív 3 éves átlag eltérése 2,455 %, abszolút eltérés értéke 10,85 % volt. A 6 éves becsült érték valós értéktől való átlag relatív eltérés értéke 2,478 %, abszolút eltérés értéke pedig 10,46 % lett. Június 26-i értékek alapján az 1 éves becsült érték valós értéktől való relatív átlag eltérés értéke -0,722 %, abszolút eltérés értéke 11,79 %, a 3 éves becsült érték valós értéktől való relatív átlag eltérés értéke -0,476 %, míg az abszolút eltérés értéke 11,73 % lett. A 6 éves becsült érték valós értéktől való relatív átlag eltérésére -0,471 %-ot, abszolút eltérés során pedig 11,58 %-t kaptam. A kapott negatív értékek alapján megállapítható, hogy az alkotott modellek inkább alul becsülik az értékeket. A relatív eltérés értékei alacsonyabbak lettek a szakirodalomban elfogadott 5 %-os küszöbértéknél (FERENCZ et al., 2004). 2000-2018-ig a vizsgált 7 megyére vonatkozó becsülő modellek megbízhatóságának RMSE hibája június 10-re átlagosan 0,491 t/ha (NRMSE=12,19 %), június 26-ra pedig átlagosan 0,545 t/ha (NRMSE=13,33 %). Az NSE-t, mint a modell hatékonyságának globális mérőszámát

alkalmaztam, mely az NDVI értékek alapján $NSE = 0,799$ becslési értéket adott a modellek használata során.

3.2. Terméshozam becslése LANDSAT 8 NDVI és SAVI idősoros adatok alapján

A búza termésbecslését a betakarított termésértékek és a Landsat 8-ról származtatott 6 különböző csúcsidőszak NDVI és SAVI idősorának a regressziójával végeztem el. A Landsat 8 adataiból származtatott vegetációs indexeket alkalmaztam és teszteltem a búza termésbecslés és előrejelzés előállítására. A búza csúcsszezonja május és június elején figyelhető meg, ezt követi az érési szakasz, majd a betakarítási időszak július elején. Ezért a búzatermés becsléséhez a 120. naptól a 190. napig (április 30-tól július 9-ig) gyűjtöttem az NDVI és SAVI adatokat. Az NDVI és a SAVI indexek a 138-150. nap (május 18-tól május 30-ig) között mutatták a legmagasabb csúcserőértékeket (NDVI: $0,461 \pm 0,077$; SAVI: $0,837 \pm 0,338$). A VI-k és a búzatermés közötti korrelációk szignifikanciája és erőssége az NDVI és SAVI értékek változásának megfelelően változott. A determinációs együtthatók mindkét VI esetében a 138. és 167. nap (május 18. és június 16. között) között voltak a legmagasabbak ($R^2 > 0,6$). Ez az intervallum megegyezett a BBCH 41-től 71-ig terjedő időszakával. A búzatermés és a SAVI értékek közötti kapcsolat erősebb volt, mint az NDVI esetében, ami arra utal, hogy a SAVI jobb becslő indexe a búzatermésnek. A meghatározott termésbecslő algoritmusok jobb megismerése érdekében a regresszioelemzés eredményeit választottam az NDVI és SAVI alapú modellek jellemzőinek értelmezéséhez a BBCH 41, BBCH 59 és BBCH 71 szakaszokban. A becslő modellek további validálásához és pontosságának számításához a vizsgált terület 2018 és 2019 közötti betakarított átlagos búzaterméseit használtam. Az NSE-t, mint a modell hatékonyságának globális mérőszámát alkalmaztam, mely az NDVI értékek alapján $NSE = 0,722$ és SAVI értékek alapján $NSE = 0,915$ -es erős becslési értéket adott a modellek használata során. A determinációs együtthatók a búzára vonatkozóan az NDVI esetében több mint 60%-os, a SAVI esetében pedig 70%-os értéket mutattak a fenológiai csúcsidőszakban. Bár az NDVI esetében a becslési értékek pontossága 0,255-0,452 t/ha (5,139%-9,301%) között változott a becslő modellek RMSE és NRMSE értékei alapján. A legjobb becslési pontosságot a korai érési időszakokból származtatott modellek adták. A SAVI esetében a becslési értékek pontossága 0,177-0,239 t/ha (3,347-4,646%) között változott, ami a becslő modellek jobb teljesítményét mutatja. A VI alapú becslő modellek általános pontosságának értékelése érdekében a teljes, legérzékenyebb időszakokra becslési hozamértékeket átlagoltam és összehasonlítottam a betakarított hozamértékekkel. Az NDVI alapú becslő modell RMSE értéke 0,357 t/ha volt (NRMSE: 7,336%), a SAVI alapú becslő modell RMSE értéke pedig

0,191 t/ha (NRMSE 3,867%). Az átlagos relatív eltérés (-1,072%) alapján az NDVI alul becsülte a betakarított termésértékeket. A SAVI alapú becslések kisebb, de pozitív eltérést (0,466%) mutattak a betakarított értékekhez képest. A becsült és a betakarított termésadatok közötti átlagos abszolút eltérés is nagyobb volt az NDVI alapú előrejelzés esetében (kb. 8,515%), szemben a SAVI alapú 4,132%-os abszolút eltérés értékével. A kapott eredmények alapján csak az NDVI alapú becslő értékek pontossága haladta meg az 5%-os küszöbértéket, ami általánosan jónak fogadható el (FERENCZ et al., 2004).

3.3. Öntözővíz kijuttatás vizsgálata új átfordulás lineár öntözőberendezéssel

3.3.1. Állandó öntözési sebességű gazdálkodási zóna vízkijuttatásának értékelése

Az 1. és 2. táblázat összefoglalja a felfogott öntözővíz mennyiség CV, CUC és DU, valamint a túl- és alulöntözés jellemzőire vonatkozó öntözési tesztek kombinált eredményeit egy modellgazdálkodási övezetben, állandó öntözési ráta mellett.

1. táblázat: Az öntözési egyenletesség eredményei a rácshálós vizsgálat során

	Kijuttatott öntözővíz mennyiség (mm)	CUC%	DU%	CV%	Alulöntözött terület (m ²)	Alulöntözési %	Túllöntözött terület (m ²)	Túllöntözés %
Első mérés	10,03 ± 0,641	95,25	90,97	6,435	8,555	3,810	0,007	0,030
Második mérés	9,692 ± 1,065	92,10	87,74	10,96	0,485	0,131	2,244	0,601
Harmadik mérés	9,757 ± 0,945	92,31	87,18	9,681	0,795	0,211	0,211	0,414

2. táblázat: A rácshálós kísérlet öntözési pontosság eredményei

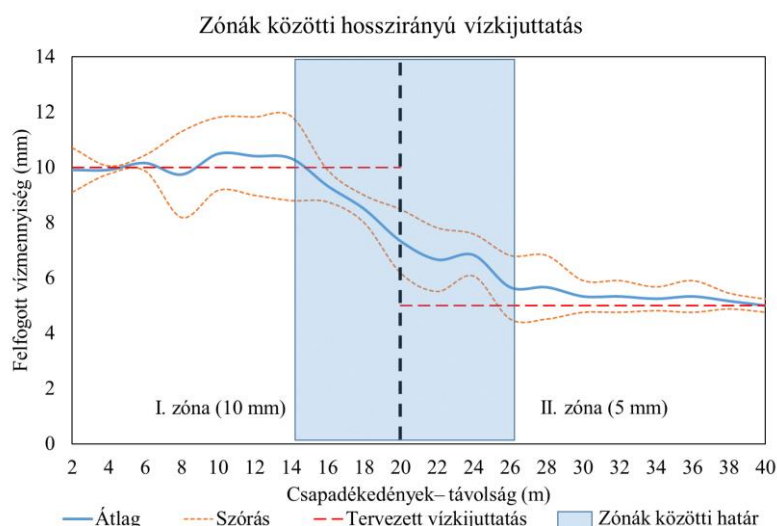
	MAE (mm)	MBE (mm)	NRMSE%
Első mérés	0,475	-0,031	6,235
Második mérés	0,691	0,310	11,32
Harmadik mérés	0,679	0,255	8,112

Összefoglalva az eredményeket, valamennyi vizsgálat azt bizonyította, hogy az állandó sebességű öntözés egyenletes és homogén volt a modellezett gazdálkodási zónában, bár a második két mérés az első méréshez képest kissé alacsonyabb CUC%, DU% és így magasabb CV% értékeket adott. Ez valószínűleg az időjárási körülményeknek tudható be. Míg az első mérés során az időjárás teljesen szélcsend volt a helyszínen, a második és a harmadik mérés

során északkelet felől 10-13 km/h-s szellőkezeket észleltek, ami magyarázatot adhat a CUc% és DU% alacsonyabb értékeire.

3.3.2. A zónák közötti hosszirányú vízkijuttatás átmenetének értékelése

A határon történő vízkijuttatást valószínűleg befolyásolja a gazdálkodási övezetek eltérő tervezett öntözési szintje. Mindazonáltal fontos tudni, hogy az öntözőgép haladási irányában milyen szélesek a zónák közötti határok, mivel ez határozza meg, hogy a VRI esetében mekkora a gazdálkodási zóna minimálisan beállítható hossza. A zónák közötti hosszanti átmenet a 14. és a 26. csapadékmérő edény között folyamatos és homogén volt, ami az öntözőgép haladási irányában 12 m széles határ a kezelési zónák között. Ez valószínűleg az öntözőgépek kijuttatási sugarának köszönhető (2. ábra).



2. ábra: Az öntözési zónák közötti átmenet értékelése

3.3.3. Az öntözés egyenletességének értékelése a különböző gazdálkodási zónákban

A VRI-rendszerek vízelosztási jellemzői kulcsfontosságú mutatót jelentenek az öntözés egyenletességének értékeléséhez a különböző gazdálkodási zónákban (3. táblázat).

3. táblázat: Az öntözés pontosságának eredményei a különböző gazdálkodási zónákban

Zónák száma	Tervezett vízkijuttatás (mm)	CUc%	DU%	CV%
1	2,5	81,36	81,36	20,26
2	5	85,94	78,28	17,31
3	7,5	92,81	88,42	9,355
4	10	92,98	90,75	8,439

A mért vízmélységek átlagának, az NRMSE, a MAE és az MBE kombinált eredményeit a csővezeték mentén lévő négy VRI-zóna vízkijuttatásának különböző tervezett vízkijuttatások mellett a 4. táblázatban ábrázoltuk. A vízmélységekben szignifikáns különbségeket találtunk a kezelési zónák között, ami azt jelenti, hogy a VRI-rendszer jól teljesített, és a kezelési zónák tervezett öntözési szintjei minden esetben eltérőnek bizonyultak. A megadott szinttől való eltérést elemeztük, hogy értékeljük az öntözés pontosságát az egyes kezelési zónáknál. Valamennyi kezelési zóna esetében a mért vízmélység a vízgyűjtő edényekben valamivel kevesebbet mutatott, mint a tervezett öntözési vízmélység.

4. táblázat: Az öntözés pontosságának eredményei a különböző gazdálkodási zónákban a csővezeték mentén

Zónák száma	Tervezett vízkijuttatás (mm)	N	Átlagos felfogott víz mennyisége (mm)	MAE (mm)	MBE (mm)	NRMSE%
1	2,5	20	2,417 ^a	0,458	0,042	21,97
2	5	20	4,934 ^b	0,645	0,146	11,52
3	7,5	20	7,050 ^c	0,625	0,313	7,021
4	10	20	9,200 ^d	0,767	0,633	5,519

Az azonos betűvel jelölt vízmélységek között nincs statisztikai különbség ($p > 0,05$).

3.4. Jégháló, mint agrotechnikai eszköz befolyásoló hatása az almafa lombzatára

3.4.1. A jégháló mikroklímára gyakorolt hatása

Vizsgálataim során először a jégháló mikroklimatológiai hatásait elemeztem, a léghőmérséklet (°C) és a relatív páratartalom (%) változásaira. A jéghálóval védett egyedek során 2019-ben $26,58 \pm 2,192$ °C-ot mértem, ami 2,911 %-kal alacsonyabb, mint a jéghálóval nem védett gyümölcsösben mért $27,37 \pm 2,201$ °C-os hőmérséklet. A különbség nem volt szignifikáns ($p = 0,150$). Szignifikáns különbség mutatkozott a jéghálóval védett gyümölcsös $71,52 \pm 15,43$ %-os relatív páratartalma és a jéghálóval nem védett gyümölcsös $69,33 \pm 16,50$ %-os relatív páratartalma között ($p = 0,0001$). A jégháló átlagosan 3,16 %-kal növelte a relatív páratartalmat az almaültetvényben. Ezt a tendenciát követve 2020-ban a hőmérséklet a jéghálóval védett egyedeknél $26,21 \pm 1,712$ °C volt, ezzel szemben a jéghálóval nem védett egyedeknél $27 \pm 1,625$ °C-ot figyeltem meg. Az eredmények között 3,055 %-os eltérés volt, közöttük szignifikáns különbség nem volt kimutatható ($p=0,058$). A relatív páratartalom értékek során a jéghálóval védett területen $58,50 \pm 4,767$ %-ot mértem, a jéghálóval nem védett állományok során ez az érték $56,30 \pm 4,329$ % lett, közöttük szignifikáns különbség nem volt megfigyelhető.

($p=0,167$). A jégáló átlagosan 3,804 %-kal növelte a relatív páratartalmat. 2019-ben a mikroöntözésnek köszönhetően a talajnedvesség átlagos értékei közötti különbség elhanyagolható (0,484 %, $p = 0,776$) (jégálóval védett: $11,07 \pm 2,181$ m/m %, míg a jégálóval nem védett: $11,06 \pm 2,367$ m/m %), aminek következtében a teljes gyümölcsös vízellátása homogén volt. A 2020-as évi csapadékosabb időjárás a talajnedvesség értékeknél is megfigyelhető volt, minden mérési időpontban magasabb talajnedvesség eredményeket kaptam a 2019-es évhez képest. A minimum talajnedvesség érték 6 %, a maximum talajnedvesség érték elérte a 20 %-ot a jégálóval védett területen. A jégáló hatása az óránkénti eltérések esetében dominánsabban megfigyelhető volt, a jégálóval védett területen akár 4-5 %-kal magasabb talajnedvesség tartalom értékek mérésével.

3.4.2. A jégáló vízellátásra gyakorolt hatásának értékelése termográfiai adatok alapján

A termográfiai adatok alapján a jégálóval védett almaültetvények lombkorona átlaghőmérséklete a legtöbb esetben alacsonyabb volt. Összességében a védett almafák lombkorona hőmérséklete ($25,69 \pm 2,022$ °C) szignifikánsan ($p = 0,006$) 7,283 %-kal alacsonyabb volt, mint a nem védett egyedek átlagos lombhőmérséklete ($27,71 \pm 2,328$ °C). Eredményeimből megállapítható, hogy a jégáló használata eltérő hatással van a két almafajtára. Az Early Gold esetében a védett állományok átlagos levélhőmérséklete $26,80 \pm 2,444$ °C volt, ami 2,825 %-kal alacsonyabb, mint a nem védett egyedek $27,58 \pm 2,465$ °C-os átlagos levélhőmérséklete, az eredmények között szignifikáns különbség nem volt megfigyelhető ($p = 0,326$). A Golden Reinders esetében szignifikáns különbség volt a lombhőmérsékletek között ($p = 0,017$). A jégálóval védett egyedek átlagos lombhőmérséklete ($24,59 \pm 2,491$ °C) 11,66 %-kal volt alacsonyabb a jégálóval nem védett almafák $27,84 \pm 3,381$ °C-os lombhőmérsékletéhez képest. A Golden Reinders fajták összehasonlításakor a lombkorona hőmérséklete 8,919 %-kal nagyobb különbséget mutatott a jégálóval védett lombkorona esetén, mint az Early Gold. Ez arra utal, hogy a jégáló alkalmazása kedvezőbb hatással van a Golden Reinders lombkorona hőmérsékletére. A jégáló hatásának részletesebb elemzése érdekében a lombkorona hőmérsékletének különbségeit minden egyes mérési időpontban értékeltem. Annak ellenére, hogy az Early Gold a gyümölcsös belsőbb részén helyezkedik el (3. sor), mint a Golden Reinders (2. sor), a lombkorona átlagos hőmérséklete az Early Gold fák esetében hasonló vagy alacsonyabb, 1,335 °C-kal magasabb volt a Golden Reinders fákhoz képest. Ez valószínűleg az Early Gold fajta hőérzékenyebb tulajdonságainak köszönhető.

3.4.3. A jégáló hatása a lombzat vízpotenciál értékeinek az alakulására

A növények víztartalma miatt a növényekben feszültség vagy negatív nyomás keletkezik, így a növények vízpotenciáljának értéke negatív értékekben fejeződik ki (FULTON et al., 2014). A jégálóval védett gyümölcsösök átlagos vízpotenciál értéke $(-8,5 \pm 1,846 \text{ bar})$ 20,80 %-kal magasabb, mint a nem védett gyümölcsösök átlagos vízpotenciál értéke: $-10,8 \pm 2,769 \text{ bar}$. A vízpotenciál értékek jelentős szórása miatt azonban nem volt szignifikáns különbség ($p = 0,399$). Hasonló eredményeket kaptam a fajták külön-külön értékelése során. 2019-ben az Early Gold esetében a jégálóval védett fák vízpotenciál értékei 18,67 %-kal magasabbak voltak, ami a fák jobb vízellátottságára utal. A különbség nem volt szignifikáns ($p = 0,837$): a vízpotenciál értéke $-8,5 \pm 2,502 \text{ bar}$ volt a jégálóval védett gyümölcsösökben és $-10,4 \pm 2,983 \text{ bar}$ a nem védett gyümölcsösökben. 2020-ban a 9-10 óra között mért Early Gold során a jégálóval védett egyedek átlagosan $-6,8 \pm 1,955 \text{ bar}$ értéket adtak, a jégálóval nem védett egyedek magasabb vízpotenciál értékkel rendelkeztek $-7,5 \pm 2,422 \text{ bar}$ értékkel, közöttük szignifikáns összefüggés nem volt megfigyelhető ($p=0,095$). 2019-ben a Golden Reinders esetében azonban szignifikáns különbség volt a védett és a nem védett gyümölcsösök vízpotenciál értékei között ($p = 0,030$). A különbség 22,78 % volt: a jégálóval védett egyedeknél magasabb vízpotenciál értékeket ($-8,7 \pm 1,307 \text{ bar}$) mértem, míg a jégálóval nem védett gyümölcsösben $-11,2 \pm 2,633 \text{ bar}$ -t. 2020-ban a 9-10 óra között mért Golden Reinders egyedeknél az Early Goldhoz hasonlóan a jégáló pozitív hatása volt megfigyelhető, ahol a védett egyedek $-6,2 \pm 1,475 \text{ bar}$, a nem védett egyedek pedig $-7,9 \pm 2,324 \text{ bar}$ vízpotenciál értéket adtak, közöttük szignifikáns összefüggés nem volt megfigyelhető ($p=0,385$). 2020-ban megvizsgáltam a fajták óránkénti vízpotenciál alakulását, mely során az Early Gold és a Golden Reinders esetében is megfigyelhető volt, hogy az idő teltével folyamatosan csökkent a vízpotenciál érték. A jégáló hatását legjobban a 2020.08.17-ei nap eredményein lehet bemutatni mind a 2 vizsgált fajta esetében. Az Early Gold esetében megfigyelhető, hogy a reggel 9 órakor mért jégálóval védett $-4,7 \pm 0,291 \text{ bar}$ értékhez képest az idő teltével ez 14 órára $-9,3 \pm 0,587 \text{ bar}$ vízpotenciál értékre csökkent. A jégálóval nem védett területen 9 órakor megfigyelhető, hogy magasabb $-5,2 \pm 0,299 \text{ bar}$ vízpotenciál értéket kaptam, amely 14 órára $-10,70 \pm 1 \text{ bar}$ értékre csökkent. A Golden Reinders során hasonló tendencia volt megfigyelhető, ahol a jégálóval védett egyedek esetében 9 órakor $-4,7 \pm 0,588 \text{ bar}$ érték 14 órára majdnem a duplájára $-10,70 \pm 1,533 \text{ bar}$ -ra csökkent. Az idő elteltével párhuzamosan minden mérési időpontban megfigyelhető a jégáló használatának a pozitív hatása, a nem védett területen 9 órakor a vízpotenciál érték $-5,3 \pm 1 \text{ bar}$ volt, mely 14 órára $-14,20 \pm 4,544 \text{ bar}$ -ra csökkent.

3.4.4. A jéggháló hatása a lombzat szárazanyag tartalom alakulására

A növényfiziológiai szakirodalmak egy részében a növény vízállapotát a levél vízpotenciáljaként fejezik ki, ezzel szemben kutatásomban megfigyeltem a jéggháló lehetséges hatását az abszolút szárazanyag tartalom alakulására. Az alacsonyabb szárazanyag tartalom érték kedvezőbb vízellátottságot tükrözhet. Az eredmények alapján a jégghálóval védett gyümölcsösök leveleinek szárazanyag tartalma ($34,11 \pm 3,238$ m/m %) 4,761 %-kal volt alacsonyabb, mint a jégghálóval nem védett gyümölcsösben ($35,81 \pm 4,458$ m/m %), a különbség azonban nem volt szignifikáns ($p = 0,119$). A fajták külön-külön értékelésénél a Golden Reinders fajta esetében 7,635 %-kal szignifikánsan alacsonyabb szárazanyag tartalmat állapítottam meg ($p = 0,033$) ($36,17 \pm 4,458$ m/m% a jégghálóval nem védett egyedek esetében és $33,41 \pm 3,755$ m/m% a jégghálóval védett egyedek esetében). Ugyanakkor az Early Goldnál kisebb (1,830 %) és nem szignifikáns ($p = 0,406$) különbséget találtunk a gyümölcsösök szárazanyag tartalma között ($34,80 \pm 3,442$ m/m %, $35,45 \pm 5,104$ m/m %).

3.4.5. A jéggháló hatása a lombzat pigmenttartalom alakulására

A jégghálóval védett gyümölcsös klorofilltartalma ($2874 \pm 283,6$ µg/g) 10,24 %-kal magasabb volt, mint a jégghálóval nem védett gyümölcsösök klorofilltartalma ($2607 \pm 412,8$ µg/g). Az eredmények közötti különbség azonban nem volt szignifikáns ($p=0,066$). Az Early Gold esetében mért lombkorona klorofilltartalma $3070 \pm 400,2$ µg/g volt a jégghálóval védett területen, ami 11 %-kal magasabb volt, mint a nem védett gyümölcsösben ($2766 \pm 449,1$ µg/g). Szignifikáns különbség azonban nem volt megfigyelhető ($p=0,071$). Hasonló eredményeket figyeltem meg a Golden Reiders almafák esetében is, a jégghálóval védett almafák átlagos klorofilltartalma ($2725 \pm 316,1$ µg/g) szintén 11 %-kal magasabb volt, mint a jégghálóval nem védett gyümölcsösben ($2455 \pm 445,6$ µg/g). A kapott eredmények között a különbség nem volt szignifikáns ($p=0,236$). A fajtákat összehasonlítva a Golden Reinders ugyanolyan különbséget mutatott a klorofilltartalomban jéggháló alkalmazása mellett, mint az Early Gold. Ez arra utal, hogy a jéggháló alkalmazása nem okoz különbséget a fajták klorofilltartalmának az alakulása között. Egy másik fotoszintetikusan aktív pigment a karotinoid. A jéggháló használata szignifikáns ($p=0,004$) növekedést (16,41 %) eredményezett az alma lombkoronájának karotinoid tartalmában (jéggháló használata során $562,6 \pm 47,56$ µg/g, jégghálóval nem védett területen $483,3 \pm 62,70$ µg/g). A különbség 18 % volt, és szintén szignifikáns ($p = 0,026$) az Early Gold esetében (jégghálóval védett területen $595,3 \pm 70,28$ µg/g, jégghálóval nem védett területen $505,7 \pm 73,72$ µg/g). A Golden Reinders jégghálóval védett lombkoronájának karotinoid tartalma $533,1 \pm 49,21$ µg/g volt, ami szignifikánsan ($p = 0,009$) 16,24 %-kal

magasabb volt, mint a jégálóval nem védett almák $458,6 \pm 65,01 \mu\text{g/g}$ karotinoid tartalma. A fajtákat összehasonlítva a Golden Reinders 2,15 %-kal nagyobb különbséget mutatott a levelek karotinoid tartalmában jégáló használatának a jelenlétében, mint az Early Gold. Ez arra utal, hogy a jégáló alkalmazása kissé kedvezőbb hatást gyakorol a Golden Reinders karotinoid tartalmára.

3.4.6. A jégáló hatása a lombzat stressz értékeinek az alakulására

A fluorométer állapotjelzője az Fv/Fm hányados, mely a fotoszintetikus elektrontranszpor állapotát jellemző paraméterek közé sorolhatjuk. A stressz mérésével párhuzamosan mértem az állományklíma alakulását, ahol megfigyelhető volt, hogy az idő előrehaladtával, ezáltal a hőmérséklet folyamatos emelkedésével az Fv/Fm értékek csökkentek, tehát a vizsgált almákban a stressz hatások egyre jobban érvényesültek. A vizsgálati idő alatt a legmagasabb hőmérsékletet (jégálóval védett: $27,90^\circ\text{C}$ és jégálóval nem védett: $28,95^\circ\text{C}$) és egyben a legalacsonyabb páratartalom (jégálóval védett: 47,75 % és jégálóval nem védett: 45,50 %) értéket 2020. 08. 04-n figyeltem meg 13-14 óra között a jégálóval védett és nem védett területeken egyaránt. A hőmérséklet és a páratartalom esetében negatív korreláció mutatható ki (jégálóval védett területen: -0,79, jégálóval nem védett területen: -0,85). MAXWELL és JOHNSON (2000) vizsgálata alapján az Fv/Fm értéke 0,79-0,84 között utal egészséges, stresszmentes növényzetre, az alacsonyabb tartományba tartozó értékek jelzik a növényi stresszt. A jégálóval védett gyümölcsös Fv/Fm értéke $0,73 \pm 0,033$ volt, amely 4,107 %-kal magasabb, mint a jégálóval nem védett gyümölcsösök $0,70 \pm 0,031$ Fv/Fm értéke. Az eredmények között szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,004$). A fajtákat külön megfigyelve az Early Gold esetében a jégálóval védett egyedek kevésbé voltak a stresszhatásnak kitéve, mint a jégálóval nem védettek. A legmagasabb Fv/Fm érték 2020.07.21. 9-11 óra között volt megfigyelhető a jégálóval védett egyedek során ($Fv/Fm = 0,76 \pm 0,022$), a megfigyelt értékek között szignifikáns eltérés nem volt megfigyelhető ($p=0,199$). Az ebben az időintervallumban mért stressz értékek lettek a legalacsonyabbak mind az Early Gold, mind a Golden Reinders esetében. Viszont ennek ellenére a jégáló pozitív hatása megfigyelhető, a jégálóval védett Early Gold esetében az Fv/Fm értékek 3 %-al magasabbak lettek (jégálóval védett: $0,71 \pm 0,0701$, jégálóval nem védett: $0,65 \pm 0,098$), az eredmények között szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,001$). A Golden Reinders fajtánál a jégálóval védett egyedeknél 9%-al magasabb Fv/Fm értéket figyeltem meg (jégálóval védett: $0,71 \pm 0,0701$, jégálóval nem védett: $0,65 \pm 0,098$), az eredmények között szignifikáns különbség nem figyelhető meg ($p=0,151$). A legmagasabb Fv/Fm eredményt 2020.

07. 21. 9-10 óra között $0,77 \pm 0,022$ eredménnyel, mely a vizsgált periódusban is a legmagasabb Fv/Fm értéket adta. Az adatok között szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,004$). A kapott értékek alapján megállapítható, hogy a hőmérséklet emelkedése befolyásoló hatással van a növényzet stressz értékeire, mely gyors, nem-invazív terepi módszerrel is kimutathatóak. Emellett a kapott értékek alátámasztják a jégáló használatának pozitív hatását a hőstresszel szemben.

3.4.7. A jégáló hatása az alma termés alakulására

A termések vizsgálata során megfigyeltem, hogy jégálóval védett fák terméseinek a szélessége 3%-kal magasabb volt a jégálóval nem védett fák terméseinek a szélességénél (jégálóval védett: $6,433 \pm 0,667$ cm, jégálóval nem védett: $6,255 \pm 0,501$ cm). Az eredmények között szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,035$). A jégálóval védett fák terméseinek a magassága ($6,381 \pm 0,790$ cm) 2%-kal volt nagyobb a jégálóval nem védett fák terméseinek a magasságánál ($6,261 \pm 0,711$ cm), közöttük szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,0007$). A termés tömegének a vizsgálata során a jégálóval védett egyedek $168,1 \pm 52,22$ g-a 15%-kal haladta meg a nem védett egyedek $143,7 \pm 27,61$ g-át. Az eredmények között szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,031$). A termések szárazanyag tartalma a jégálóval védett egyedek esetében 4%-kal magasabb értéket adott, mint a jégálóval nem védett egyedek (jégálóval védett: $26,90 \pm 5,931$ g, jégálóval nem védett: $25,81 \pm 7,688$ g), a megfigyelt értékek között szignifikáns különbség nem volt ($p=0,201$). A fajták termés értékeit külön-külön vizsgálva hasonló tendenciát figyeltem meg, melyet az 5. táblázatban mutatok be.

5. táblázat: Az almafajták terméseinek fizikai paraméterei

		Szélesség (cm)	Magasság (cm)	Tömeg (g)	Szárazanyag tartalom (g)
Early Gold	Jégálóval védett	$6,422 \pm 0,817$ b	$6,405 \pm 0,766$ a	$176,6 \pm 64,66$ a	$29,10 \pm 5,934$ a
	Jégálóval nem védett	$6,278 \pm 0,415$ a	$6,115 \pm 0,490$ a	$147,2 \pm 25,45$ a	$25,86 \pm 9,680$ a
Golden Reinders	Jégálóval védett	$6,440 \pm 0,496$ b	$6,655 \pm 0,969$ b	$159,5 \pm 35,53$ b	$27,78 \pm 7,099$ a
	Jégálóval nem védett	$6,237 \pm 0,591$ a	$6,134 \pm 0,657$ a	$140,1 \pm 29,85$ a	$23,08 \pm 5,391$ a

Az azonos betűvel jelölt populációk között nincs statisztikai különbség ($p > 0,05$).

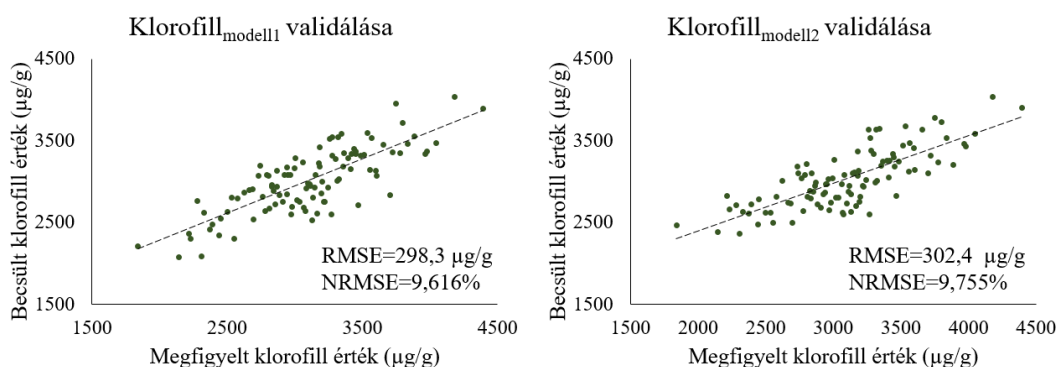
3.4.8. A vízháztartási paraméterek közötti kapcsolatok

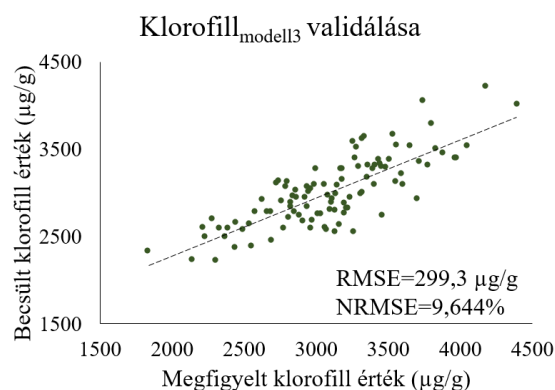
A jéggháló vízháztartási és pigmentváltozókra gyakorolt hatásának elemzése mellett korrelációs elemzéseket is végeztünk azon változók értékei között, amelyek bizonyos mérési időpontokban jelentős eltéréseket mutattak. A klorofill és a karotinoidok esetében szignifikánsan pozitív korreláció mutatható ki ($r=0,943$, $p=0,004$). A lombkorona hőmérséklete és a klorofilltartalom fordítottan arányos volt egymással ($r=-0,491$, $p=0,033$). A karotinoid és lombkorona hőmérséklet értékek közötti korrelációban is fordított arányosság volt megfigyelhető a csökkent hőstressz miatt, azonban a korreláció nem volt szignifikáns ($r=-0,328$, $p=0,383$). A szárazanyag tartalom és a lombkorona hőmérséklet között szignifikánsan fordított kapcsolat volt ($r=-0,718$, $p=0,007$). Az eredmények azzal magyarázhatók, hogy a jéggháló nélküli gyümölcsösök melegebb és szárazabb mikroklímája miatt megnövekedett lombkorona hőmérséklet csökkentette a fotoszintetikus aktivitást, valamint a lombzat nedvességtartalmát. A jéggháló csökkenti a hőstresszt azáltal, hogy a lombkorona hőmérsékletét közelebb hozza a fotoszintézis szempontjából optimális hőmérséklethez (RAVEH et al., 2003). A jéggháló vízháztartásra gyakorolt pozitív hatását alátámasztja az, hogy a magasabb vízpotenciálértékek magasabb klorofill- és karotinoid tartalommal járnak együtt. Ezt alátámasztja a klorofill és a vízpotenciál értékek közötti szignifikáns pozitív korreláció ($r=0,644$, $p=0,015$), valamint a karotinoid és a vízpotenciál értékek közötti szignifikáns, közepesen erős korreláció ($r=0,660$, $p=0,017$). A szárazanyag és a vízpotenciál értékei között szignifikáns, de gyenge korreláció volt megfigyelhető ($r=0,289$, $p=0,006$).

3.5. Abiotikus stressz spektrális értékelése és klorofill becselő modellek kialakítása

A klorofilltartalom legalacsonyabb értéke $1828 \mu\text{g/g}$, a legmagasabb klorofilltartalom $4576 \mu\text{g/g}$ volt. Eredményeim során megfigyelhető volt, hogy a magas klorofilltartalommal rendelkező levelek 8-10% közötti reflexiós értéket mutattak, ami a klorofill értékek csökkenésével arányosan növekvő reflexiót mutat. Alacsony, $1800-2700 \mu\text{g/g}$ klorofill értékeknél 11-12%-os reflexiós érték volt megfigyelhető. A karotinoidok reflektancia maximuma az 520-580 nm-es hullámhossztartományban mérhető, ami magas klorofilltartalom esetén alacsony, 12% körüli reflektancia értéket adott. Megfigyelhető, hogy a klorofilltartalom csökkenésével arányosan nő a reflexiós érték a karotinoid tartalom esetében. A karotinoid alacsony klorofilltartalom intervallum értékek esetén 17-18 %-os reflexiós értéket ért el. Tehát a növényi stressz az 500-700 nm-es hullámhossztartományban magas reflexiós értékekkel kimutatható. A levélminták spektrális jellemzőinek további vizsgálatához a reflektancia (%) érték adatainak a relatív szórás értékeit klorofilltartalom alapján több csoportra osztottam

(1800-2700 $\mu\text{g/g}$, 1800-3100 $\mu\text{g/g}$, 1800-4000 $\mu\text{g/g}$, 1800-4600 $\mu\text{g/g}$). Az alacsony klorofilltartalmú csoportokban alacsony standard eltérés ($520 \text{ nm} \pm 30 \text{ nm}$ -ig) volt megfigyelhető. A reflektancia standard eltérése a klorofilltartalommal párhuzamosan nőtt. Ezért ez a tartomány alkalmas lehet a növényi érettségi vizsgálatok megállapítására. A standard eltérés csúcsa az adott hullámhossztartományban mért klorofill abszorpciós jellemzői miatt kiemelkedő, magas klorofilltartalomnál 670 nm-en érzékeny. Megfigyelhető, hogy az 550 nm, 670 nm és 700 nm hullámhossztartományban számított reflexiós értékek standard eltérése pigmentérzékeny. A karotinoid tartalommal egyidejűleg bekövetkező abszorpció növekedés miatt ez az érzékenység csökken. Így ez a spektrális jellemző a karotinoid tartalom növekedésével eltűnik. A PCA öt főkomponenst eredményezett. Az első komponens faktorsúlyai alapján a reflexió két legnagyobb varianciája az 556 és 710 nm hullámhossztartományon figyelhető meg. A faktorsúlyban két minimum volt megfigyelhető, mely közül a 800 nm-es tartományt használtam az 556 és 710 nm-es tartományokkal együtt a klorofill becslő indexek kialakítására. Kutatásom során három indexet alkottam: $\text{Index}_1 = (\lambda_{800} - \lambda_{710}) / (\lambda_{800} + \lambda_{710})$ amely lineáris regresszióan alapult, erős regressziós értékkel $R^2=0,561$ ($p=0,000$). Az $\text{Index}_2 = (\lambda_{800} - \lambda_{710}) / \lambda_{556}$ modell erős korrelációt mutatott $R^2=0,506$ ($p=0,000$) értékkel. Az $\text{Index}_3 = (\lambda_{800} - \lambda_{556}) / \lambda_{710}$ modell szintén erős regressziós értéket mutatott, $R^2=0,560$ -os értékkel ($p=0,000$). A 400-1000 nm-es hullámhossztartományban működő Klorofill_{modell1} NSE=0,601 MBE=84,59 $\mu\text{g/g}$ és MAE=243,4 volt. Az Klorofill_{modell2} NSE=0,595, MBE=62,59 $\mu\text{g/g}$ és MAE=246,9 $\mu\text{g/g}$. Az Klorofill_{modell3} használata NSE=0,601, MBE=91,48 $\mu\text{g/g}$ és MAE=244,6 volt (3. ábra).



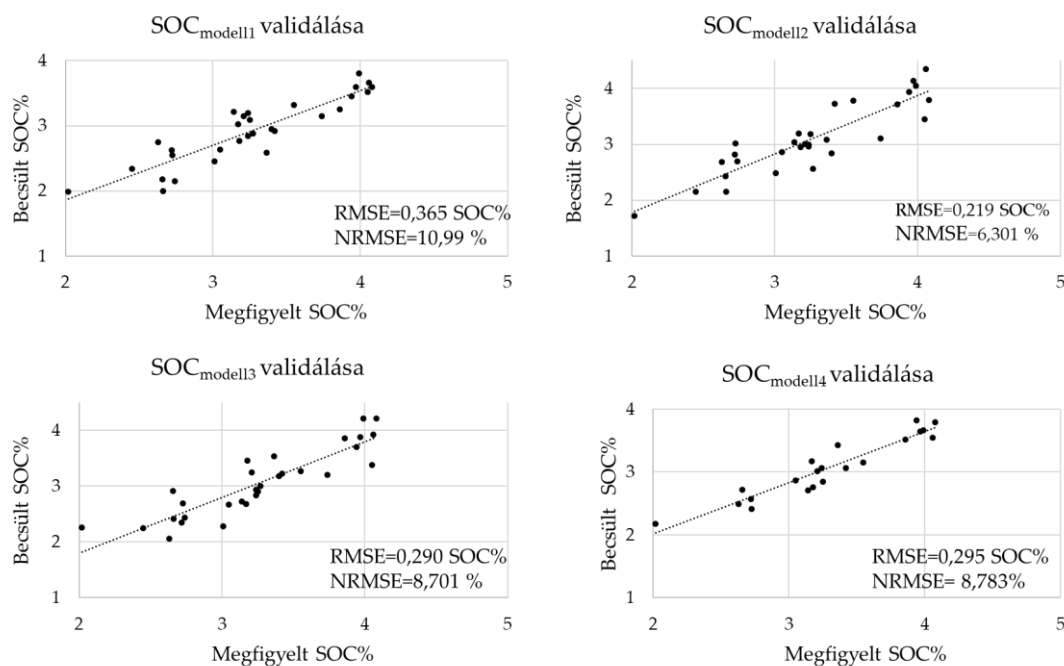


3. ábra: A klorofill modellek validálásán alapuló becsülő modellek pontossága

3.6. Szervesanyag tartalom becsülő indexek kialakítása spektrális vizsgálatok alapján

A száraz talajminták reflexiós profiljait a 400-2500 nm-es tartományban értékeltem. Átlagosan a reflexiós tényező lineárisan növekszik a hosszabb hullámhosszúsággal. A talajminták fényvisszaverő képessége 9-14% között változott rövidebb hullámhosszon, és 1000 nm-en elérte a 34-39,5%-ot. A reflexiós profil standard eltérés görbéje parabolikus alakot vett fel. A minimum reflektancia érték a rövid hullámhosszakon (400-430 nm) volt megfigyelhető a talaj nagy abszorpciója miatt. Ezután egy viszonylag széles sávban, a 600-800 nm-es hullámhossztartományban éri el a maximumot, majd 1000 nm-ig ismét csökken. Az SD alapján a reflexiós tényező legnagyobb ingadozása a 650-750 nm-es tartományban volt. Az 1000-2500 nm-es tartományban átlagosan a hosszabb hullámhosszakkal a reflexiós tényező növekedése figyelhető meg, amely 2150-2300 nm között elér egy részben, majd enyhe csökkenés következik. Három csökkenés volt megfigyelhető az 1420 nm, 1930 nm, 2210 nm-nél, ami völgyeket eredményezett a reflexiós görbékben. Az első két eltérés a talaj spektrumának vízabszorpciós sávjaira jellemző. A PCA öt fő komponenst eredményezett. Az első komponens factorsúlyai alapján a reflexió legnagyobb varianciája az 580-600 nm-es tartományban volt, ezért az ezeken a hullámhosszakon mért reflexiós faktorok átlagát használtam az első spektrális index számlálójaként. A faktorok súlyában két minimum volt, de a korábban azonosított különbségek és eltérések miatt a 960-970 nm-es tartományt kevésbé érzékenynek tekintettem a SOC-ra, ezért kiszámítottam az $\text{Index}_1 = \lambda_{580-600} / \lambda_{960-970}$ értéket. Az első SOC modell (SOC_{modell1}) lineáris regresszió alapult, közepesen erős regressziós értékkel $R^2=0,475$ ($p=0,000$). A PCA-görbék első kiemelkedése a NIR-tartományban 1020-1040 nm-nél volt megfigyelhető, amelyet a második hullámhossz különbséggel 1900-2100 nm-el kombináltam. A két megfigyelt eltérésből képeztem az $\text{Index}_2 = \lambda_{1020-1040} / \lambda_{1900-2100}$ modellt. A SOC_{modell2} erős korrelációt mutatott ($R^2=0,611$, $p=0,000$). A SOC_{modell3} a NIR-ben a kezdő és a befejező

hullámhossztartományok faktorsúlyai alapján került meghatározásra. Ez alapján az 1000-1010 nm-es tartományban különbség volt megfigyelhető, és a faktorsúlyok minimumát a 2420-2500 nm-es hullámhossztartományban figyeltem meg, amely kevésbé érzékeny a SOC-ra. A kapott eredmények alapján a létrehozott $\text{Index}_3 = \lambda_{1000-1010} / \lambda_{2420-2500}$ erős regressziós értéket mutatott, $R^2=0,562$ ($p=0,000$). A PCA-görbe eredményei alapján a $\text{SOC}_{\text{modell4}}$ -et az első VIS-tartomány növekvő faktorsúly adataiból és a harmadik NIR-tartomány növekvő faktorsúly adataiból $\text{Index}_4 = \lambda_{640-660} / \lambda_{2200-2300}$ hoztam létre. A $\text{SOC}_{\text{modell4}}$ lineáris regresszió alapult, közepesen erős regressziós értékkel $R^2=0,493$ ($p=0,000$). A 400-1000 nm-es hullámhossztartományban is működő $\text{SOC}_{\text{modell1}}$ $\text{NSE}=0,561$ volt. Két modellt dolgoztam ki a SOC becslésére a NIR hullámhossztartományban. A legerősebb regressziós együtthatóval rendelkező $\text{SOC}_{\text{modell2}}$ $\text{NSE}=0,855$ értéket eredményezett, ami alátámasztja a modell becslésének a legjobb megbízhatóságát. A $\text{SOC}_{\text{modell3}}$ használata $\text{NSE}=0,725$ volt. A $\text{SOC}_{\text{modell4}}$ becslési pontossága $\text{NSE}=0,727$ volt (4. ábra).



4. ábra: A SOC modellek validálásán alapuló becslő modellek pontossága

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Műholdas idősoros adatok alapján regionális és farm szintű búza termésbecslő modelleket alakítottam ki a Tisza-vízgyűjtő területén. A MODIS NDVI idősoros adatok alapján regionális szinten megállapítottam, hogy a becslő modellek hat éves adatok alapján a legpontosabbak (MPE = -0,471-2,478 %, MAPE= 10,46-11,58 %, NRMSE= 12,19-13,33 t/ha, NSE=0,799). A Landsat 8 NDVI és SAVI idősoros adatok alapján megállapítottam, hogy farm szinten az NDVI alapú becslő modellek hibája 10 % alatti (MPE= -1,072%, MAPE= 8,515%, NRMSE= 5,139-9,301 %, NSE=0,722), míg SAVI alapú becslő modellek hibája 5 % alatti (MPE= 0,466%, MAPE= 4,132%, NRMSE= 3,347-4,646 %, NSE=0,915).
2. Megállapítottam, hogy az átfordulós lineár öntözőberendezésre szerelt helyspecifikus öntözési technológiával szabályozott vízkijuttatás homogénen (CUc=93,22%, DU=88,63%) és pontos adagokkal kivitelezhető (MAE= 0,615 mm, MBE= 0,185 mm, NRMSE= 8,555 %).
3. Megállapítottam, hogy homoktalajon, alföldi klímaviszonyokat figyelembe véve a jégáló borítás pozitívan hat az Early Gold és Golden Reinders almaültetvények vízháztartására. Az alacsonyabb hőmérséklet (-2,980 %) és a magasabb páratartalom (3,488 %) hatására a jégálóval védett almafák lombkorona hőmérséklete 7,283 %-kal, leveleinek szárazanyag tartalma 4,761 %-kal volt alacsonyabb, mint a nem védett egyedeké. A jégálóval védett gyümölcsösök átlagos vízpotenciál értéke 20,80 %-kal, klorofilltartalma 10,24 %-kal, karotinoid tartalma 16,41 %-kal, Fv/Fm értéke 4,107 %-kal, fák terméseinek a szélessége 3%-kal, magassága 2%-kal, tömege 15%-kal, valamint szárazanyag tartalma 4%-kal volt magasabb, mint a nem védett gyümölcsfáké.
4. Három darab klorofill tartalom becslő modellt alakítottam ki Early Gold és Golden Reinders almafajtákra, nem-invazív mérési módszertan alapján, 400-1000 nm-es hullámhossztartományban. A modellek közül az $Index_1 = (\lambda_{800} - \lambda_{710}) / (\lambda_{800} + \lambda_{710})$ ($R^2=0,561$, RMSE=298,3 µg/g, NRMSE=9,616%, NSE=0,601, MBE=84,59 µg/g és MAE=243,4 µg/g) alapú modell alkalmazható a legpontosabban az Early Gold és Golden Reinders almafajták klorofill tartalmának gyors, roncsolásmentes vizsgálatára és becslésére.
5. Négy darab talaj szervesanyag tartalom becslő modellt alakítottam ki nem-invazív mérési módszertan alapján, 400-2500 nm-es hullámhossztartományban. A kialakított becslő modellek közül az $Index_2 = \lambda_{1020-1040} / \lambda_{1900-2100}$ (RMSE=0,219 SOC%, NRMSE=6,301%, NSE=0,855) alkalmazható a legpontosabban a talaj szervesanyag tartalom gyors, nem invazív vizsgálatára.

5. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

1. A MODIS NDVI idősoros adatképek alapján kidolgozott monitoring rendszerrel akár 4 héttel hamarabb is lehet megközelítő eredményeket adni még a búza betakarítása előtt.
2. A Landsat 8 NDVI és SAVI idősoros adatképek alapján kidolgozott monitoring rendszerrel akár 6 héttel hamarabb is lehet megközelítő eredményeket adni még a búza betakarítása előtt. A SAVI esetében a becsült értékek pontossága a becslő modellek jobb teljesítményét mutatja.
3. A helyspecifikus öntözési technológiával felszerelt átfordulós lineár öntözőberendezés szórás egyenletessége homogén alul- és túlóntozottság minimális. Emellett a zónák közötti határok átmeneti hatását figyelembe véve egy kezelési zónának hosszirányban 12 m-nél nagyobbnak kell lennie.
4. Az almaültetvényben alkalmazott fekete jéggháló pozitív hatással van a hő- és szárazságérzékeny almafajták, kiemelten a Golden Reinders almafajta vízháztartására, hő és vízhiány okozta stresszel szembeni alkalmazkodására, amely a termés fizikai paramétereiben is megnyilvánul. Összességében a jéggháló alkalmazása nem csak a jégkárok ellen alkalmazható, hanem az alma gyümölcsöst érintő abiotikus stresszhatásokat is tompítja. A termés minőségbeli alakulására további vizsgálatok javasoltak.
5. Az almafajtákra adaptált nem invazív klorofilltartalom becslő modellek alkalmazása lehetővé teszi, hogy nagyszámú minták alapján gyors és részletes információt kapjunk egy gyümölcsös egyedeinek klorofilltartalmáról, amely egyben jobb stresszindikátor lehet a már meglévő vegetációs indexekhez képest.
6. A kialakított nem invazív talaj szervesanyag tartalom becslő modellek alkalmazása lehetővé teszi, hogy nagyszámú minták alapján gyors és részletes információt kapjunk a talajok szervesanyagtartalmáról. Így térhelyes adatok alapján akár az akkreditált mérésekhez szükséges mintaszám optimalizálható így a mintavételi és elemzési költségek csökkenthetőek.

8. IRODALOMJEGYZÉK

1. Allen, M.: 2017. The sage encyclopedia of communication research methods. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 1438-1440.
2. Christiansen E. J.: 1941. The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*. 22(3): 89–92
3. Dempewolf, J.- Adusei, B.- Becker-Rehef, I.- Hansen, M.- Potapov, P.- Khan, A.- Barker, B.: 2014. Wheat Yield Forecasting for Punjab Province from Vegetation Index Time Series and Historic Crop Statistics. *Remote Sens.*, 6, 9653–9675.
4. Droppa, M.- Erdei, S.- Horváth, G.- Kissimom, J.- Mészáros, A.- Szalai, J.- Kosáry, J.: 2003. Plantbiochemistry and plantphysiology in practice (In Hungarian: Növénybiokémiai és növényélettani gyakorlatok) Budapest, 88.
5. Duro, J.-Lauk, C.- Kastner, T.- Erb, K. H.- Haberl, H.: 2020. Global inequalities in food consumption, cropland demand and land-use efficiency: A decomposition analysis. *Global Environmental Change*. 64. 102124.
6. Ferencz, C.- Bognár, P.- Lichtenberge, J.-Hamar, D.- Tarcsai, G.- Timár, G.- Molnár, G.- Pásztor, S.- Steinbach, P.- Székely, B. (2004) Crop yield estimation by satellite remote sensing. *Int. J. Remote Sens.*, 25, 4113–4149.
7. Fritz, S. - See, L.- Bayas, J.C.L.- Waldner, F.- Jacques, D.- Becker-Reshef, I.- Whitcraft, A. - Baruth, B.- Bonifacio, R.- Crutchfield, J.: 2019. A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps. *Agric. Syst.*, 168, 258-272
8. Fulton, A.- Grant, J.- Buchner, R.- Conell, J. (2014): Using the Pressure Chamber for Irrigation Management in Walnut, Almond and Prune (ANR Publication 8503 University of California), pp. 1–27.
9. Li, X.- Zhao, W.- Li, J.- Li, Y.: 2021. Effects of irrigation strategies and soil properties on the characteristics of deep percolation and crop water requirements for a variable rate irrigation system. *Agricultural Water Management*, 257, 107143.
10. Lichtenthaler, H.K.- Wellbum, A.R.: 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 603, 591–592.
11. Maxwell, K.- Johnson, G.: 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J Exp Bot* 51: 659-668. *Journal of experimental botany*. 51.
12. Nagy, A.- Fehér, J.- Tamás, J.: 2018. Wheat and maize yield forecasting for the Tisza river catchment using MODIS NDVI time series and reported crop statistics. *Comput. Electron. Agric.*, 151, 41–49.
13. Nagy, A.: 2015. Thermographic Evaluation Of Water Stress In An Apple Orchard. *Journal of multidisciplinary engineering science and technology* 2: 8 pp. 2210–2215.
14. Nemeskéri, E.- Sárdi, É.- Kovács-Nagy, E.- Stefanovits Bányai, É.- Nyéki, J.- Szabó, T.: 2009. Studies on the drought responses of apple trees (*Malus domestica* Borkh.) grafted on different rootstocks. *Int. J. Hortic. Sci.* 15 (1-2), 29–36.
15. Raveh, E.- Cohen, S.- Raz, T.- Yakir, D.- Grava, A.- Goldschmidt, E.E.. 2003. Increased growth of young citrus trees under reduced radiation load in a semi-arid climate. *J. Exp. Bot.* 54 (381), 365–373.
16. Takács S.- Helyes L.- Bíró T.- Pék Z.: 2018. Variable Rate Precision Irrigation Technology for Deficit Irrigation of Processing Tomato. *Irrigation and Drainage*. 68, 234-244.
17. Tamás, J.: 2001. Precíziós mezőgazdaság. Szaktudás Kiadó Ház ZRT.
18. Tamás, J.-Nagy, A.- Fehér, J.: 2015. Agricultural biomass monitoring on watersheds based on remote sensed data. *Water Sci. Technol.*, 72, 2212–2220.
19. World Food Summit: 1996, Rome Declaration on World Food Security



Nyilvántartási szám: DEENK/367/2023.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Szabó Andrea

Doktori Iskola: Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola. Élelmiszertudományi doktori program

MTMT azonosító: 10068754

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű, hazai könyvek (1)

1. Nagy, A., Bódi, E., **Szabó, A.**, Tamás, J.: Advanced technologies of precision irrigation. Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 106 p., 2021. ISBN: 9789634903277

Magyar nyelvű könyvrészletek (2)

2. **Szabó, A.**, Adeniyi, O. D., Tamás, J., Nagy, A.: Búza-termés előrejelzés lehetőségének értékelése Landsat 8 idősoros adatok alapján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XI. : Theory meets practice in gis. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 249-256, 2020. ISBN: 9789633188866
3. **Szabó, A.**, Adeniyi, O. D., Tamás, J., Nagy, A.: Wheat yield prediction based on MODIS NDVI time series data in the wider region of a cereal processing plant.
In: Innovációs kihívások a XXI. században : LXI. Georgikon Napok konferenciakötete. Szerk.: Pintér Gábor, Csányi Szilvia, Zsiborács Henrik, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 407-415, 2019. ISBN: 9789633961308

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

4. **Szabó, A.**, Tamás, J., Nagy, A.: Precíziós öntözőberendezés szórássegényletességének értékelése.
Hidrol. Közlöny. 101 (1), 74-79, 2021. ISSN: 0018-1323.
5. **Szabó, A.**, Tamás, J., Nagy, A.: A jégvédő háló használatának hatásai az alma gyümölcsös vízháztartására és lombozatának pigment tartalmára.
Kertgazdaság. 52 (3), 3-16, 2020. ISSN: 1419-2713.
6. Nagy, A., Tamás, J., **Szabó, A.**, Gálya, B., Fehér, J.: Mezőgazdasági aszály monitoring és aszály előrejelzés távérzékelési adatok alapján a Tisza vízgyűjtőn.
Hidrol. Közlöny. 99 (4), 60-68, 2019. ISSN: 0018-1323.





7. **Szabó, A.**, Tömöri, F., Vad, A., Tamás, J., Nagy, A.: Precíziós öntözéstechnológia alkalmazásának és kialakításának vizsgálata.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 4 (4), 239-248, 2019. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2019.4.27>.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

8. **Szabó, A.**, Tamás, J., Nagy, A.: Preliminary studies to evaluate the use of spectral data in monitoring of apple orchard parameters.
Acta Agrar. Debr. 2, 37-41, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/2/8454>
9. **Szabó, A.**, Kubicza, K., Tamás, J., Nagy, A.: Effect of hail net on the water potential of an apple orchard.
Acta Agrar. Debr. 2, 109-113, 2020. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/ACTAAGRAR/2/3728>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (6)

10. **Szabó, A.**, Tamás, J., Kövesdi, Á., Nagy, A.: Evaluation of new pivoting linear-move precision irrigation machine = Evaluation d'une nouvelle machine d'irrigation de precision a mouvement lineaire pivotant.
Irrig. Drain. [Epub ahead of print], 1-12, 2023. ISSN: 1531-0353.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ird.2850>
IF: 1.9 (2022)
11. **Szabó, A.**, Tamás, J., Nagy, A.: An Irrigation Homogeneity Assessment of a Variable Rate Sprinkler Irrigation.
Acta Horticulturae et Regiotecturae. 24 (1), 8-11, 2021. ISSN: 1335-2563.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/ahr-2021-0002>
12. **Szabó, A.**, Adeniyi, O. D., Tamás, J., Nagy, A.: Assessment of a Yield Prediction Method Based on Time Series Landsat 8 Data.
Acta Horticulturae et Regiotecturae. 24 (1), 12-15, 2021. ISSN: 1335-2563.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/ahr-2021-0003>
13. **Szabó, A.**, Tamás, J., Nagy, A.: The influence of hail net on the water balance and leaf pigment content of apple orchards.
Sci. Hortic. 283, 1-8, 2021. ISSN: 0304-4238.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110112>
IF: 4.342
14. Nagy, A., **Szabó, A.**, Adeniyi, O. D., Tamás, J.: Wheat Yield Forecasting for the Tisza River Catchment Using Landsat 8 NDVI and SAVI Time Series and Reported Crop Statistics.
Agronomy-Basel. 11 (4), 1-13, 2021. EISSN: 2073-4395.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11040652>
IF: 3.949





15. **Szabó, A.**, Tamás, J., Adeniyi, O. D., Nagy, A.: Wheat yield prediction based on MODIS NDVI time series data in the wider region of a cereal processing plant.
Nat. Res. Sustain. Develop. 9 (2), 193-202, 2019. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v9i2.036>

További közlemények

Idegen nyelvű, külföldi könyvrészek (1)

16. Nagy, A., **Szabó, A.**, Gálya, B., Tamás, J.: Real-time spectral information to measure crop water stress for variable rate irrigation scheduling.
In: Precision agriculture '21. Ed.: John V. Stafford, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 427-433, 2021. ISBN: 9789086863631

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

17. Tamás, J., Bódi, E., Gálya, B., **Szabó, A.**, Fehér, J., Nagy, A.: Integrált városi hidrológiai modell módszertani alapjai vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés támogatásához.
Hidrol. Közöny. 100 (3), 56-63, 2020. ISSN: 0018-1323.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

18. **Szabó, A.**, Juhász, C., Gálya, B., Kövesdi, Á., Tamás, J., Nagy, A.: Combined traffic control of irrigation on heterogeneous field.
Acta Agrar. Debr. 1, 187-190, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/10369>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

19. Gálya, B., Nagy, A., Juhász, C., Riczu, P., **Szabó, A.**, Blaskó, L., Tamás, J.: Identification of inland-excess water patches based on LIDAR and Sentinel 1 data.
Nat. Res. Sustain. Develop. 10 (2), 188-199, 2020. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v10i2.054>

20. **Szabó, A.**, Tamás, J., Nagy, A.: Spectral evaluation of the effect of poultry manure pellets on pigment content of maize (*Zea mays* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings.
Nat. Res. Sustain. Develop. 9 (1), 70-79, 2019. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v9i1.025>

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

21. Nagy, A., Bódi, E., **Szabó, A.**, Fehér, Z. Z., Tamás, J.: Assessment of UAV-based LiDAR and photogrammetry data in crop morphology monitoring for advanced irrigation.
In: EGU Gallileo Conferences : A European vision for hydrological observations and experimentation, European Geosciences Union, Munchen, GC8-Hydro-103, 2023.





22. Nagy, A., Fehér, Z. Z., **Szabó, A.**, Bódi, E., Magyar, T., Tamás, J.: Management of alternative water resources for variable rate irrigation - a Hungarian case study.
In: EGU General Assembly 2023 : HS5.3 : Strategies for allocations of scarce water resources and technologies for improving water productivity in agriculture : Posters on site, European Geosciences Union, Munchen, EGU23-5592, 2023.
23. Nagy, A., **Szabó, A.**, Juhász, C., Gálya, B., Kövesdi, Á., Tamás, J.: Combined traffic control of irrigation on heterogeneous field.
In: Poster Proceedings of the 13th European Conference on Precision Agriculture. Eds.: J. V. Stafford, G. Milics, Magyarországi Precíziós Gazdálkodási Egyesület, Budapest, 31-32, 2021.
ISBN: 9786150120171

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 10,191

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
10,191**

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

Debrecen, 2023.08.11.

