

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

SZABÓ ANDREA

DEBRECEN

2023

DEBRECENI EGYETEM
TÁPLÁLKOZÁS- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

PROF. DR. SZILVÁSSY ZOLTÁN
egyetemi tanár

Témavezető:

PROF. DR. NAGY ATTILA
egyetemi tanár

PRECÍZIÓS ÖNTÖZÉSI TECHNOLÓGIA
VÍZFORGALMI PARAMÉTEREINEK
ÉRTÉKELÉSE ÉS FEJLESZTÉSE

Készítette:

SZABÓ ANDREA
doktorjelölt

Debrecen

2023

PRECÍZIÓS ÖNTÖZÉSI TECHNOLÓGIA VÍZFORGALMI PARAMÉTEREINEK ÉRTÉKELÉSE ÉS FEJLESZTÉSE

**Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében az élelmiszer
tudományok tudományágban**

Írta: **SZABÓ ANDREA** okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola
(élelmiszertudományi doktori programja) keretében

Témavezető: Prof. Dr. Nagy Attila

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....		
.....		

A bírálóbizottság:

név	fokozat	aláírás
elnök:		
tagok:		
.....		
.....		
titkár:		

Az értekezés védésének időpontja: 2023.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1. Öntözésmenedzsment-stratégiák és az aszálymonitoring alkalmazása az élelmezés biztonságban.....	6
2.2. Regionális és farm szintű termésbecslés	9
2.3. Vízforgalmat befolyásoló talajtani és agrotechnikai tényezők	14
2.4. Vízhány okozta stressz mérés módszerei.....	20
2.5. Vízvisszatartási és öntözési technológiák	26
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	31
3.1. A kutatási területek bemutatása	31
3.2. Termésbecslő rendszer kialakítása műholdas felvételek alapján	37
3.2.1. Termésbecslő rendszer kialakítása MODIS műholdas felvételek alapján....	37
3.2.2. Termésbecslő rendszer kialakítása Landsat 8 műholdas felvételek alapján .	38
3.3. A precíziós öntözőberendezés jellemzői	42
3.3.1. Öntözővíz kijuttatás mérése.....	43
3.3.2. Az öntözés egyenletességének mérési módszertana	45
3.4. Jégháló, mint agrotechnológiai tényező hatásainak a vizsgálata	47
3.4.1. Lombozat hőmérséklet mérési módszertana - termográfiai képalkotás.....	48
3.4.2. Alma lombozat vízpotenciál mérésének módszertana.....	49
3.4.3. Alma lombozat pigmenttartalom mérése spektrofotometriás eljárással	50
3.4.5. Alma lombozat szárazanyag- és talaj nedvességtartalom mérése gravimetriás eljárással.....	51
3.4.6. Alma lombozat stressz mérési módszertana	52
3.4.7. Almatermés fizikai paramétereinek mérési módszertana	53
3.5. Abiotikus stressz spektrális értékelésének módszertana alma lombozaton	54
3.6. Talaj szervesanyag tartalmának spektrális becslési módszertana	57

3.6.1. Talajminta előkészítése és mérési módszertana.....	57
3.6.2. Talaj szervesanyag tartalmának spektrális alapú becslési modelljeinek kialakítása	58
4. EREDMÉNYEK.....	60
4.1. Terméshozam becslése MODIS NDVI idősoros adatok alapján	60
4.2. Terméshozam becslése LANDSAT 8 NDVI és SAVI idősoros adatok alapján..	64
4.3. Öntözővíz kijuttatás vizsgálata új átfordulós lineár öntözőberendezéssel	70
4.3.1. Állandó öntözési sebességű gazdálkodási zóna vízkijuttatásának értékelése	70
4.3.2. A zónák közötti hosszirányú vízkijuttatás átmenetének értékelése	73
4.3.3. Az öntözés egyenletességének értékelése a különböző gazdálkodási zónákban	74
4.4. Jéggháló, mint agrotechnikai eszköz befolyásoló hatása az alma gyümölcsös vízforgalmára	76
4.4.1. A jéggháló mikroklímára gyakorolt hatása.....	76
4.4.2. A jéggháló vízellátásra gyakorolt hatásának értékelése termográfiai adatok alapján.....	78
4.4.3. A jéggháló hatása a lombzat vízpotenciál értékeire.....	80
4.4.4. A jéggháló hatása a lombzat szárazanyag tartalomra	84
4.4.5. A jéggháló hatása a lombzat pigmenttartalmára.....	86
4.4.6. A jéggháló hatása a lombzat stressz értékeire	89
4.4.7. A jéggháló hatása az alma termésének a fizikai paramétereire	92
4.4.8. A vízháztartási paraméterek közötti kapcsolatok	94
4.5. Abiotikus stressz spektrális értékelése és klorofill becslő modellek kialakítása .	95
4.6. Szervesanyag tartalom becslő indexek kialakítása spektrális vizsgálatok alapján	100
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	106

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	109
7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK	111
8. ÖSSZEFOGLALÁS	112
9. SUMMARY	117
10. IRODALOM.....	121
11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN	146
NYILATKOZAT	150
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	151

1. BEVEZETÉS

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 megteremtése 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 elsősorban a globális éghajlati változás, a korlátozott vízkészletek, valamint a biztonságosabb és jobb minőségű, kevesebb vegyszert és környezetbarát gyakorlatot alkalmazó áruk iránti igény. Az élelmezésbiztonságba történő beruházások hagyományosan a mezőgazdasági termelékenységre, különösen az alap élelmiszereket ellátó növényekre összpontosítottak. A gazdálkodók világszerte az új innovációk és technológiák használatára fognak fókuszálni, hogy az intenzív és extenzív mezőgazdaság révén fokozzák a növénytermesztést. A Magyarországra vonatkozó adatok és klímamodellek alapján a levegő hőmérséklete folyamatos emelkedést mutat, emiatt az agroökológiai zónák fokozatosan eltolódtak (HARNOS és CSETE, 2008). A klímaváltozás hatására az elmúlt száz évben a csapadék országos szinten évente átlagosan 50 mm-el csökkent, hosszabbak lettek a csapadék nélküli időszakok és ezzel együtt gyakoribb jelenséggé mutatkozott meg az aszály az egész ország területén. 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. Ezek az eljárások alkalmazhatók biogazdálkodási rendszerekben a környezet és a környezetvédelem nyomon követésére, növényi fiziológiai feltételek megfigyelésére, és a helyben történő cselekvés kiváltására, amikor és ahol szükséges (JUNG et al., 2015). A nagy termőterületek esetében a gazdák számára nehézséget jelent a vegetáció előrehaladásának megfelelő nyomon követése. Manapság a légi, műholdas vagy földközeli multi- vagy hiperspektrális felvételekkel felvételezhetőek a növényi minőség paraméterei, a táblán megjelenő növényi betegségek, kórokozók, kártevők és gyomok

(MILICS és NEMÉNYI, 2007; NEMÉNYI és MILICS, 2007). A területek stresszhatásokra adott válaszána idősoros monitorozására a MODIS, LANDSAT, SENTINEL vagy a SPOT műholdas felvételek alkalmasak. Spektrális adatgyűjtés során gyors információ többletet kapunk a vizsgált területről, egy megbízható monitoring alapjait biztosítva. A felvételekkel összefüggésben számos olyan a stresszhatásokat monitorozó index számítható, amelyekkel meg lehet határozni a biomassza termőképességét aszályos időszakban (KOVÁCS, 2012). A termés hozam 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. A kívánt termés hozam eléréséhez számos agrotechnológiai vízgazdálkodási megoldás létezik, mint az öntözéses növénytermesztésre való berendezkedés. Ahhoz, hogy hazánkban a növénytermesztés megfelelő ütemben fejlődjön, szükséges a vízgazdálkodás minél szakszerűbb javítása. A fejlesztésekkel kapcsolatos döntéseknél figyelembe kell venni egy adott terület éghajlati változásait, a környezeti viszonyokhoz alkalmazkodó növények termesztését, a talaj víztartó képességének szervesanyag pótlását, végül pedig a víztakarékos agrotechnika alkalmazását. A termőhelyi adottságok kihasználása során a víz pótlása kulcsszerepet játszik a vízhiány folyamatos növekedése miatt, amely kifejezetten az alföldi területeken jellemző. 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 termés hozam és a minőség optimalizálása, valamint a víz, a tápanyagok, az agrokémiai és az energiafogyasztás csökkentése. A VRI-technológiát manapság már teljes mértékben kifejlesztették és kereskedelmi forgalomba hozták (LI et al., 2021).

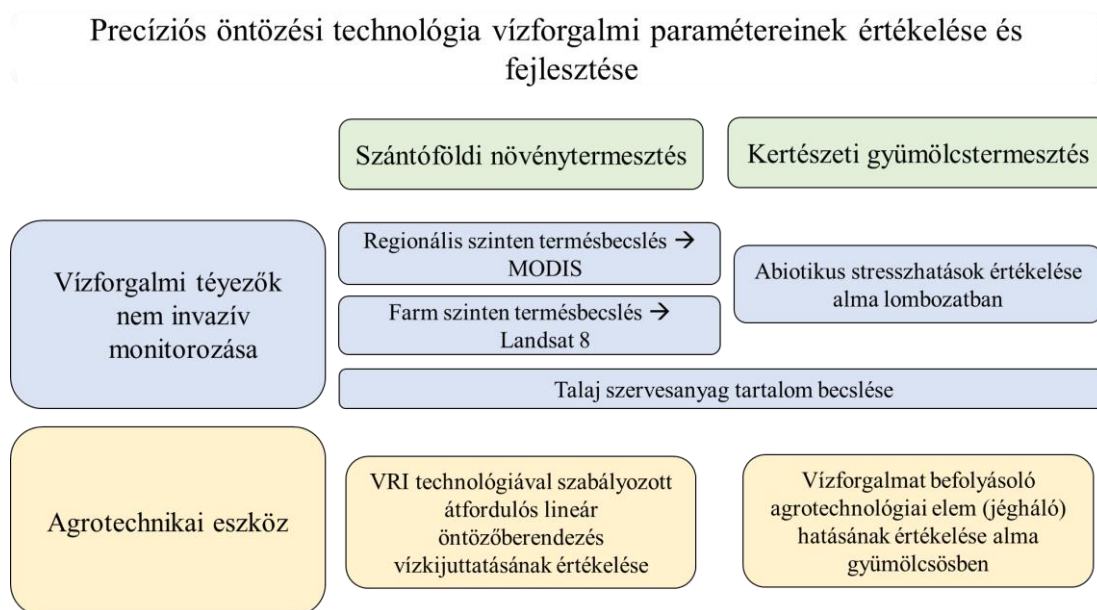
A kutatásom elsődleges célja a vízhiány és az élelmezés biztonság vízgyűjtő szintű kapcsolatrendszerén és a klímaadaptáció kapcsolatrendszerén belül a precíziós öntözési technológia vízforgalmi paramétereinek értékelése és fejlesztése. A kutatás során validált spektrális adatsorokra és nem invazív mérési 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 átordulós 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 gyümölcstermesztésben meghatározó almatermesztés kiegészül jégghálós agrotechnikai védelemmel is, amelynek a mikroklímára és a növény vízforgalmára gyakorolt hatása nem kellően feltárt. Ezért célul tűztam 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 (1. ábra).



1. ábra: Precíziós öntözési technológia vízforgalmi paramétereinek értékelése és fejlesztése

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

- 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.
- Hazánkban az elsők között kifejlesztett VRI technológiával szabályozott átfordulós 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.
- A jéggháló 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 lombzatban mérhető klorofilltartalom spektrális jellemzői alapján 400-1000 nm hullámhossztartományban.
 5. Gyors, nem invazív talaj szervesanyag tartalom becslő módszertan fejlesztése és hazai adaptációja alföldi talajminták alapján VIS-NIR (400-2500 nm) hullámhossztartományban.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Öntözésmenedzsment-stratégiák és az aszálymonitoring alkalmazása az élelmezés biztonságban

A XX. század második felében a tudományos fejlődés és a technológiai újítások, beleértve az új növényfajták kifejlesztését, a kémiai műtrágyák és növényvédő szerek használatát, valamint az öntözésre szolgáló kiterjedt infrastruktúrák kiépítését, hozzájárultak az élelmezés és a termelés fellendítéséhez az úgynevezett ipari mezőgazdaságban. Az iparszerű mezőgazdaság azon a feltételezésen alapult, hogy a talaj termékenysége kémiai műtrágyák használatával fenntartható és növelhető, emiatt kevés figyelmet fordítottak a talajban lévő szervesanyag jelentőségére. Néhány évtizeddel később azonban a vegyszeres mezőgazdaság hosszú távú használata során új mezőgazdasági betegségek jelentek meg, megnövekedtek a közegészségügyi aggályok, növekedtek a fizikai termelési tényezők (föld, víz, energia) költségei, csökkenni kezdett a biológiai sokféleség (GLIESSMAN, 2015).

A XXI. században a városi bioszféra jövője meghatározó és fontos kérdéskört alkot, mivel a bolygónk hosszú távon nem lesz képes fenntartani az urbanizált emberiséget. Ahhoz, hogy ezt a nagymértékű népességnövekedést élelmezés szempontjából fenn tudjuk tartani a világ élelmiszertermelését 70%-kal növelni kellene (FOOTE, 2015). Becslések szerint a globális felmelegedés miatt 2080-ra a globális mezőgazdasági termelékenység 3-16%-al fog csökkenni, míg a fejlődő országokban ez az arány 10-25% között változik (IPCC, 2001; CLINE, 2007). A környezet- és ökológiai közgazdászok szerint a nagy ráfordítású mezőgazdaság a tápláló élelmiszerek előállítása helyett leginkább az "árucikkek" előállításában érdekelt, és kizárólag a hozamok és a profit maximalizálására törekszik, ezáltal a monokultúra révén befolyásolja az élelmezésbiztonságot, csökkenti a talaj egészségét ezzel kárt okozva a gazdaságoknak (GLIESSMAN, 2015). Az élelmiszertermelés és -fogyasztás az éghajlatváltozás fő mozgatórugói. Az élelmiszeripar szélesebb körű hatást gyakorol a környezet egészére azáltal, hogy az állati takarmány előállítása érdekében erdőket irt, emellett a túlzott csomagolás, feldolgozás, hűtés és az élelmiszerek nagy távolságokra történő szállítása révén éghajlatkárosító hulladékot termel (REZA és SABAU, 2022). Az ipari mezőgazdaság magas termelékenységének nagy ára van, többek között az, hogy a mezőgazdaság világszerte nem képes alkalmazkodni egy olyan Földhöz, amelyen az aszályok, árvizek, hóhullámok, nagy

havazások és szélsőséges időjárási események mindennapossá váltak. Ezen szélsőséges környezeti jelenségek hatására a bioszféra jelentős változásokon megy keresztül, amelyek potenciálisan súlyos következményekkel járhatnak az élelmiszertermelésre (GLIESSMAN, 2015; LAKHIAR et al., 2018). Az új növényfajták bevezetése, a vetési és betakarítási időpontok megváltoztatása, a hormonok és a jobb műtrágyák alkalmazása, valamint az öntözés kiterjesztése vagy javítása nem változtatja meg radikálisan az uralkodó agrárökoszisztémák monokultúrás jellegét, de rövid időre csökkenthetik a negatív hatásokat (MATTHEWS et al., 2013; ALTIERI et al., 2015). Az élelmezésbiztonság és a vízbiztonság stratégiai kérdésnek számít egy ország stabilitását és társadalmi-gazdasági fejlődését illetően. A fenntartható és stabil élelem- és vízellátás biztosítására irányuló intézkedések az erőforráskorlátok mellett ellentmondásosak lehetnek. A világ édesvízkészleteinek elérhetősége csökkenő tendenciát mutat, míg ezzel szemben a vízfogyasztók közötti verseny egyre jobban fokozódik (SHARMA és IRMAK, 2021). Ezért a világ egyes részein hatékony öntözésmenedzsment-stratégiákat kell kidolgozni az élelmiszertermelés megfelelő felfrissenítése érdekében, miközben a vízkészleteket a vízhiányos helyzetek elkerülése érdekében hasznosítani kell. A szélsőséges időjárási viszonyok miatt a csapadék hatását nem lehet biztonsággal megjósolni, mivel a felesleges víz negatív hatással lehet a növényekre (pl. felszíni erózió, talajerózió), míg a csapadékmentes időszakokban célszerű a mezőgazdasági területeket szabályozott öntözéssel ellátni (TSANG és JIM, 2016). Az aszály, mint a csapadék hosszan tartó hiánya lassan hat a gazdaság számos ágazatára, és néhány héttől akár több évig is eltarthat. Ahogyan az aszályt nehéz meghatározni, úgy nehéz nyomon követni is, hiszen kezdte és hatásai régióként eltérőek. Az aszályra vonatkozó korai előrejelző rendszerek követik, értékelik és megosztják a vízellátásra, az éghajlatra és a hidrológiára vonatkozó ismereteket (WILHITE, 2009). Ideális esetben mind a megfigyelési, mind az előrejelzési komponenseket magukban foglalják, azzal a céllal, hogy az aszály kialakulása előtt és alatt információkat szolgáltatassanak, és olyan intézkedéseket indítsanak el, amelyek csökkenthetik a lehetséges károkat. Az Integrált Aszálykezelési Program (Integrated Drought Management Programme), a Meteorológiai Világszervezet (World Meteorological Organization) és a Globális Vízügyi Partnerség (Global Water Partnership) programja három fő módszert határozott meg az aszály nyomon követésére: (I) egyetlen mutató vagy index használata, (II) több mutató vagy index használata, (III) összetett vagy hibrid mutatók használata. A gyorsabb adathozzáférés miatt olyan indexek alkalmazása lehet indokolt, amelyek részletes adatbázisokat tartalmaznak. A

távérzékelési szenzorok spektrális, tér és időbeli felbontása lehetővé teszi újabb indexek bevezetését (TAMÁS, 2016). A növénytermesztésben az aszály az egyik legkomplexebb természeti veszélynek számít lassú kialakulása és termésre gyakorolt hatása miatt (ZAMBRANO et al., 2016), mely során a gabonafélék minősége és terméshozama csökkenni kezd, illetve időben nagy variabilitást mutatnak (NAGY és NAGY, 2018). Az aszályos időszakok számszerűsítésére számos matematikai eszközt dolgoztak ki. A legszélesebb körben két indexet használnak: a hagyományos Palmer-féle aszály súlyossági indexet (PDSI; PALMER, 1965), amely a vízraktározás és a párolgás kifejezéseit foglalja magában. Ezt az indexet az European Drought Observatory (Európai Aszálymegfigyelő Intézet - EDO) is első helyen alkalmazza. A másik index pedig a szabványosított csapadék index (SPI; McKEE et al., 1993), amely kizárólag csapadék adatokon alapul. McKEE et al. (1993) tanulmányukban megfogalmazták, hogy az SPI a PDSI-nél jobban reprezentálja a rendellenes nedvességet és szárazságot, emellett csak a csapadék adatokat használja. Az SPI mind a száraz, mind az esős évszakokra használható (MISHRA és DESAI, 2005). Minél alacsonyabb SPI értéket kapunk, annál nagyobb a szárazság. Értékeit -1 és +1 között határozzuk meg, magasabb érték esetében csapadékos, alacsonyabb érték esetében pedig száraz időszakról beszélhetünk. Az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) 2016-ban kezdte el kiépíteni a Magyarországra vonatkozó aszálymonitoring rendszert a leginkább vízhiányos alföldi területekre, habár az aszály megjelenése az alföldi területeken kívül az ország 90%-át is érinti (PÁLFAI et al., 1999). Ezáltal a létrehozott és folyamatosan fejlesztés alatt álló aszálymonitoring rendszer időben jelzi, hogy mikor és milyen mennyiségben kell vizet juttatni egy adott területre, mielőtt a növények szárazság okozta stresszhatást szenvednének. A megfigyelt területeken a csapadék, páratartalom, léghőmérséklet, relatív légnedvesség és levélfelület-nedvesség mellett hat szinten (10, 20, 30, 45, 60, 75 cm) naponta történik a talajnedvesség mérése. Az aszálymonitoring hálózat az eredmények értékelése után szöveges értékelést végez, melyet a Vízháztartási tájékoztatóban tesznek közzé. Az aszály detektálására kialakították a napi időlépéssel számítható vízhiány indexet (Hungarian Drought Index-HDI), amely napi szinten frissül. Ez alapján többféle index változat került kifejlesztésre: (I) HDI₀: Az aszályindex alapértéke, számítása a napi csapadékösszeg és a napi középhőmérséklet alapján történik, (II) HDIS: A hőstressz hatását kifejező index, számításához a HDI₀-val megegyező alapparamétereket használ, (III) HDI: A meteorológiai adatok mellett talajnedvesség értékeket is tartalmazó aszályindex. Számításához a HDIS értékét, a mért talajnedvesség értékeket és a talaj vízgazdálkodási

tulajdonságainak adatait használja (FIALA et al., 2018). Az OVF által kialakított és használt aszálymonitoring rendszeren kívül Magyarországon a másik általánosságban használt index a Pálfai-féle ariditási index (Palfai aridity index- PAI) (PÁLFAI, 1990). A szárazság súlyosságát kifejező érték számításához csapadék és hőmérséklet adatokra van szükség, melynek a jelenlétét egy számértékkel fejezi ki. Ezen felül figyelembe veszi a növények időben változó vízigényét és a talajvízszintet. A PAI-nak elérhető egy nemzetközi használatra is kialakított indexe a PaDI. A fejlesztés alapvető célja az adatgyűjtés és a számítás megkönnyítése, ezáltal a délkelet-európai régióban történő felhasználás lehetővé tétele. A korrekciós tényezők számításához a havi átlagos léghőmérsékletet és a csapadék összegét kell használni (PÁLFAI és HERCEG, 2012). Általánosságban éves szinten az aszálykár 40 milliárd forintba tehető, a 2022-es évben ez a szám azonban ennek több tízszeresét is elérte. 2022-ben Európában a mezőgazdasági veszteségek fő okozója a szárazság volt. Az Európai Unió kukoricatermesre vonatkozó előrejelzését 68 millió tonnáról 65,8 millió tonnára csökkentette, mely 2021/2022-ben 70 millió tonna volt. Magyarország főbb kukoricatermő területein a termésbiztonság a vízellátástól függ, így a vízhiánnyal összefüggésben hazánkban jelentős termésingadozás volt megfigyelhető. Kukoricából a sokéves átlag alapján az ország exportja 2,2–4,2 millió tonna közé tehető, amely 6,5–9,3 millió tonna össztermésből származik (ez a kukoricatermés 35–45%-át teszi ki). 2022-ben az ország területén 1 millió 53 ezer hektáron vetettek kukoricát, amelynek 25,1%-a az észak-alföldi, 22,4%-a a dél-alföldi régióban található, mely termőterületek érintettek voltak az aszályval. A szárazság olyan helyzetet okozott az országban, amilyen talán még nem volt, az átlagnál kevesebb kukoricát takarítottak be, emiatt pedig az ország importra szorult. Mindössze 3,41 tonna volt a hazai kukorica hektáronkénti átlaghozama, az összes termés pedig a 2,4 millió tonnát sem érte el. A mennyiségi problémák mellett, megjelentek a minőségi romlások is. Az aszálykárok miatt az ország kiszáradt termőterületeinek nagysága elérhette az egymillió hektárt, vagyis a hazai termőföld 20%-át. Már a nyári aratásnál megfigyelhető volt a termésátlagok csökkenése, az 5-5,5 millió tonna búza helyett csak 3,9 millió tonnát takarítottak be (SZEDLÁK, 2022).

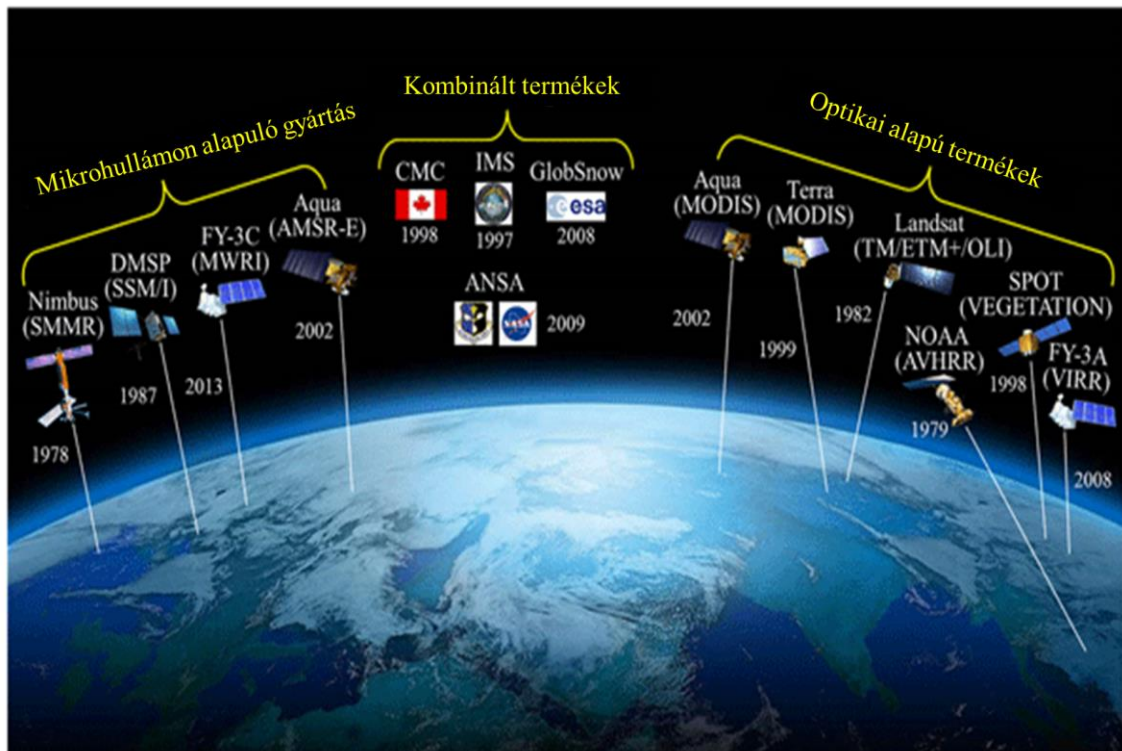
2.2. Regionális és farm szintű termésbecslés

A mezőgazdasági nyersanyagok globális kereskedelmi árai nagymértékben függenek a szezonális termelési szintjeitől, a termőterület teljes nagyságától, a termés hozamok

fontosságától, az export-import tevékenységektől, illetve a nemzeti és nemzetközi kereskedelemtől. A növekvő gabona iránti kereslet miatt fontossá váltak a növénytermesztésre vonatkozó korai, megbízható információk (REMBOLD et al., 2013). A termés becslését korábban a gazdák vizuálisan, vagy pontszerű adatok alapján állapították meg, de az idő előrehaladtával és a precíziós mezőgazdaság fejlődésével a spektrális anyagvizsgálat megjelent a mezőgazdasági aszály, a mezőgazdasági vízforgalmi tényezők és ezek által kialakuló termés mennyiségi és minőségi értékelésének eszközeként is, kiegészítve ezzel a hagyományos kutatási módszertant (ATZBERGER, 2013; TAMÁS et al., 2015; NAGY et al., 2018). A módszer használata egységes adatokat szolgáltat globális szinten, majd a modellezési eredmények potenciálisan nagy régiókban is felhasználhatók. A gazdálkodóknak szükségük van megbízható és korai terméshozambecslésre az intézkedések (általában technikai intézkedések) végrehajtásához, ezáltal időben csökkenteni tudják a lehetséges termés kiesés kockázatát. Az elmúlt évtizedekben a terméshozambecsléssel és előrejelzéssel kapcsolatos kutatások az agrometeorológiai modellektől, a távérzékelési adatokat felhasználó regressziós modelleken át egy átfogóbb módszerig fejlődtek, amely integrálja a termés növekedési környezetét, folyamatalapú modelleket és távérzékelési adatokat. A modellekhez jellemzően éghajlati, talajtani, növényökológiai paramétereket és gazdálkodási információkat használnak fel. A modellek paraméterezéséhez és a modellezési eredmények relevanciájának igazolásához azonban elkerülhetetlenül szükség van a szántóföldi kísérletekre (DORIGO et al., 2007; PAUWELS et al., 2007; MA et al., 2008; CURNEL et al., 2011; MA et al., 2013b; ZHAO et al., 2013; HUANG et al., 2015a).

Az 1980'-as évek óta a terméshozam becslés és megfigyelés fő adatforrása a Nemzeti Óceán- és Légkörkutató Hivatal (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) fejlett, nagy felbontású radiométere (AVHRR) volt (TUCKER et al., 1985; MALINGREAU, 1986). A közelmúltban a távérzékelésen alapuló termésbecsléssel kapcsolatos kutatások a Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal (NASA) mérsékelt felbontású képalkotó spektroradiométereire a MODIS, Landsat, illetve az Európai Űrügynökség (ESA) által kifejlesztett Sentinel műholdakra helyeződnek át, amelyek jobb térbeli felbontású adatokat szolgáltatnak (2. ábra). A műholdas távérzékelés használatának korlátai közé tartozik a vetésforgóra vonatkozó információk, az érvényes

vetésmaszkokra vonatkozó adatok, a kis mezőméretek és a helyileg kalibrált modellek más területekre való kiterjesztése (REMBOLD et al., 2013).



2. ábra: Távérzékelésen alapuló műholdas termékek

Forrás: LI et al., 2019; saját szerkesztés

A területek biotikus és abiotikus stresszhatásokra adott válaszáának idősoros monitorozására alkalmas és felhasználható a MODIS műholdas képek elemzése (GULÁCSI és KOVÁCS, 2015). A feldolgozott adatokból megfigyelhetők a növényi betegség alakulások, a növényi sűrűség változások és a termésmennyiség alakulások. A MODIS a 2330 kilométeres széles látószögével 1-2 nap alatt 36 spektrális sávban készít felvételeket a világ minden pontján, méri a bolygó felületének azokat a részét is, amelyet a felhők szinte minden nap lefednek. A MODIS NDVI felvételek 250 m-es térbeli felbontása 6,25 ha/pixel-t jelent, így elegendő a közép-kelet-európai régióban a szántóföldi, de inkább a regionális léptékű hozam monitorozására. A gyakorlatban REEVES et al., (2005) MODIS adatokat használtak fel arra, hogy a búza hozamát Észak - Dakotában és Montanában megbecsüljék.

A Landsat 8 nagyobb térbeli felbontású (30 m) és szabadon hozzáférhető adatokat állít elő (WOODCOCK et al., 2008). Minél nagyobb a távérzékelési adatok térbeli felbontása, annál jobb segítséget nyújtanak az alacsony felbontású képpontok azonosításában. A Landsat a mezőgazdasági területeken is a megfelelő térbeli felbontású adatok fő forrása, hátránya, hogy az egymást követő képek felvételei között 16 nap eltérés van (LOBELL et al., 2013), ezáltal felhős időszakban hazánkban egy tenyészidőszakon belül nehéz elegendő tiszta és használható képhez hozzájutni. A Landsat által származtatott vegetációs indexek bizonyítottan az egyik hatékony eszköze a vegetáció állapotának értékelésére, ezáltal indokolt a terméshozam becslésére használni őket.

A Sentinel-2 (S2) A és B, 10 m-es felbontással, heti visszatérési gyakorisággal és a felhőalapú számítástechnikai platformokon, például a Google Earth Engine-en keresztül nyilvánosan hozzáférhető adatokkal megoldást kínálnak a kistermelői mezőgazdasággal rendelkező régiók értékelésére (DRUSCH et al., 2012; BURKE és LOBELL, 2017). ELDERS et al., (2022) kutatásukban vizsgálták a nagy felbontású (2-8 m) műholdak használatát a növényállomány összetételének és terméshozamának értékelésére, ahol megállapították, hogy a térbeli felbontás növekedésével javul mind a növénykultúrák osztályozása, mind a terméshozam.

A zöld vegetáció spektrális visszaverődési tulajdonságai nyomon követhetőek (TUCKER, 1979; TUCKER et al., 1980), a Normalizált Különbőség Vegetációs Index (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) használatával. Az NDVI használata egyike a tápanyag- és vízgazdálkodás számos megoldásának, amelyek a fotoszintetikus aktivitáshoz kapcsolódó pigmentaktivitás mérésén alapulnak. Az NDVI a fotoszintetikusan aktív növényzet mutatója, értéke pedig egybeesik a terület növényzeti borítottságának fajlagos klorofilltartalmával és biomassza mennyiségével (PANDA et al., 2010; BOLTON és FRIEDL, 2013; DE LA CASA et al., 2018). Emellett különböző proximális szenzorok alkalmazásai is rendelkezésre állnak a fotoszintetikus aktivitással kapcsolatos pigmentek meghatározására (PALLOTTINO et al., 2019; CSAJBÓK et al., 2022). A növényzet spektrális visszaverődése és a terméshozam összefüggésére gyakorolt hatások eloszlásának csökkentése érdekében egyes kutatók távolságalapú vegetációs indexeket, például a Talajhoz Igazított Vegetációs Indexet (Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI) alkalmaznak. A SAVI alkalmazható az NDVI korrigálására, olyan területeken, ahol a növénytakaró alacsony (HUETE et al., 1988; GILABERT et al., 2002;

RHYMA et al, 2020). A Továbbfejlesztett vegetációs index (Enhanced Vegetation Index-EVI) az NDVI javítására fejlesztették ki a vegetációs jel optimalizálásával és a magas levélfelület-indexszel (Leaf area index-LAI) rendelkező területeken. Az index a kék visszaverődési tartományt használja a háttérben lévő talaj jelek korrekciójára és a légköri hatások, köztük az aeroszol szóródás csökkentésére. Az EVI értékeknek 0-1 között kell mozogniuk a vegetációs képpontok esetében. Az olyan világos jellemzők, mint a felhők és a fehér épületek, valamint a sötét jellemzők, mint a víz, anomális pixelértékeket eredményezhetnek (MATSUSHITA et al., 2007). A Zöld normalizált vegetációs különbségindex (Green NDVI) hasonló az NDVI-hez, azzal a különbséggel, hogy a vörös spektrum helyett a zöld spektrumot méri a 0,54-0,57 mikron közötti tartományban. A növénytakaró fotoszintetikus aktivitásának a mutatója, leggyakrabban a növényi levelek nedvesség tartalmának és nitrogén koncentrációjának értékelésére használják olyan multispektrális adatok alapján, amelyek nem rendelkeznek szélsőséges vörös csatornával. Az NDVI indexhez képest érzékenyebb a klorofill koncentrációra (GITELSON et al., 1996). A Normalizált különbség vörös él index (Normalized Difference Red Edge-NDRE) egy, az NDVI-hez hasonló index, különbsége, hogy a termés egészségi állapotában bekövetkező eltéréseket előrehaladottabb állapotokban is képes észlelni. Ennek oka, hogy vörös szegélyű fényt (red edge) használ, amely sokkal mélyebbre hatol a levelekbe, mint a vörös fény (SIMS és GAMON, 2002).

A termés becslése során az NDVI idősorok zajosságának a csökkentéséhez szükség van egy simítási folyamatra, a szakirodalomban erre többféle technika is rendelkezésre áll (HIRD és MCDERMID, 2009, JULIEN és SOBRINO, 2010, KLISCH és ATZBERGER, 2016). ATKINSON et al., (2012) egy összehasonlító tanulmányban, amely több, általánosan használt szűrővel foglalkozott, kimutatták, hogy a "Whittaker simító" magas eredményeket ad különböző zajszintek és különböző vágási minták esetén. A simítás mellett a terméshozamok távérzékelte képekkel történő sikeres modellezésének és becslésének másik korlátozó tényezője a képmaszkok meghatározása. Amennyiben a termőterület nem ismert, az NDVI és a terméshozam közötti kapcsolat nem nyújt információt a végső terméshozamról (REMBOLD et al., 2013). A termőföld maszkolásáról akkor beszélünk, amikor minden kellően megművelt pixel bekerül a maszkba, függetlenül a terménytípustól, bizonyítottan javítja a terméshozam becslését és előrejelzését (LEE et al., 2000, MASELLI és REMBOLD, 2001). A termőföld maszkokat általában meglévő földhasználati/földborítási térképekből származtatják. Amikor a

maszkolást több éves képfelvételekre alkalmazzák, számos nehézség adódhat. Az egyik fő probléma a vetésforgó széles körben elterjedt gyakorlatával kapcsolatos, amikor egyetlen szántóföldi maszk nem lenne megfelelő. Ezen okok miatt általában a közvetlen NDVI/termés regresszióknak csak bizonyos feltételek mellett van értelme. REMBOLD et al. (2013) pontos áttekintést adott a biomassa és a terméshozam becslésének a módszeréről. Két fő módszert alkalmaztak, az első a műholdas távérzékelési adatok beépítése a meglévő vagy fejlett növényfiziológiai és növénynövekedési modellekbe (REYNOLDS et al., 2000; PATEL et al., 2001; RICHTER et al., 2011; VUOLO et al., 2013). Az általános stratégia második módszere a műholdas távérzékelés és a terméshozamok közötti közvetlen matematikai összefüggések használata. Egyes kutatások során csak műholdas távérzékelési adatokat használnak a kalibráláshoz jelentett termés statisztikai adatokkal, míg mások a távérzékelési mutatók becslését javítják a meteorológiai és agronómiai adatoknak a modellekbe való beillesztésével (PENA-BARRAGAN et al., 2011; DEMPEWOLF et al., 2014; FU et al., 2014; XIE et al., 2015; TAMÁS et al., 2015).

2.3. Vízforgalmat befolyásoló talajtani és agrotechnikai tényezők

A talaj heterogenitása kulcsfontosságú tényező a mezőgazdaságban, mivel a változó termőhelyi jellemzők erősen befolyásolják a növények növekedését és terméshozamát, ezáltal hatással lehetnek a kártevők előfordulására is. Kialakulását különösen a talajképző tényezők befolyásolják, amelyek hozzájárulnak a természetes és a kezelés által kiváltott talajheterogenitáshoz, amely különböző térbeli léptékeken értelmezhető (JUNG és VOHLAND, 2022). Mindazonáltal a talaj tulajdonságai térben és időben sajátosan változnak, amihez a talajmegfigyelési stratégiákat hozzá kell igazítani. A talaj szilárd fázisában több mérettartományú és alakú összetevők találhatók, melyek a kolloid diszperz részecskéktől a homokig terjednek. A különböző méretű ásványi szemcsék aránya befolyásolja a talaj kémiai és fizikai tulajdonságait (STEFANOVITS et al., 1999). A hazai gyakorlatban általában a fizikai jellemzőkből állapítják meg a vizsgált talaj fizikai féleségét, melyet elsősorban az Arany-féle kötöttségi számmal, a higroszkóposági számmal, a leiszapolható részek vizsgálatával és az öt órás kapilláris vízemeléssel határozható meg. Az ország agroökológiáját meghatározó tényezők, valamint a talaj termékenységét korlátozó talajdegradációs folyamatok közvetlenül vagy közvetve befolyásolják a talaj vízháztartását és annak következményeit. A talaj vízháztartása

meghatározza a talaj tápanyag gazdálkodását, kihat a talaj technológiai tulajdonságaira, meghatározva ezzel egyes agrotechnikai műveletek szükségességét. Magyarország talajainak 43%-a kedvezőtlen, 26%-a közepes és 31%-a jó vízgazdálkodású. A talaj teljes vízkapacitása (VKt) és összporozitása elsősorban a talaj tömörödöttségétől függ (VÁRALLYAY, 2003, 2004 a, b). A talaj víznyelő képességének a felszíni vízgazdálkodásban van szerepe, mely által meghatározható, hogy a felszínre jutó csapadék teljes mértékben a mélyebben levő szintekbe tud-e szivárogni (FAUR és SZABÓ, 2011). Manapság az egyik legkörnyezetkímélőbb mezőgazdasági gazdálkodási gyakorlat a talajművelés nélküli (no till) talajművelés (MANGALASSERY et al., 2014). Kutatások kimutatták, hogy a no till talajművelés több élelmiszert képes termelni a természeti erőforrások kimerítése, leépítése és károsítása, valamint a környezet szennyezése nélkül (AHMAD et al., 2009). A no till talajművelés növeli a talaj termelékenységét és hozamát. Nem csak a talaj szervesanyag (SOM) veszteségét minimalizálja, hanem klímatudatos stratégiának is bizonyul a SOM és a szén (C), nitrogén (N) készletek fenntartására (BAYER et al., 2000). Ezen anyagok kimerülése talajromláshoz vezethet, ami kihatással van a fenntartható mezőgazdaság fejlesztésére (TANG et al., 2006). A fenntartható növénytermesztési rendszerek részeként a zöldtrágya növények termesztése lehetőséget ad arra, hogy hosszú távon javítsuk a talaj termelékenységét, szervesanyag tartalmának növekedését, humuszképződését és vízgazdálkodását. Termesztésük hozzájárul az egészséges vetésforgó kialakításához, használatukkal bővíthető a vetésváltás, emellett alkalmazható a monokultúra okozta negatív hatások, illetve a szél- és vízerózió okozta károk javítására (NAK, 2018). A talajművelő retket (Tillage Radish) talajtakaró növénynek fejlesztették ki, amely akár 1 méter mélyen is meglazítja a talajt, feltárja a benne megtalálható tápanyagokat és csökkenti a gyomosodást (CHEN és WEIL, 2010). Ezzel szemben a hagyományos talajművelés folyamatos alkalmazása a talaj egészségének romlásához, a talaj szerves szén tartalmának, a talaj biológiai és enzimatis aktivitásának csökkenéséhez, valamint a talajerózió, a talajtömörödés, az üvegházhatású gázok termelés és -kibocsátás növekedéséhez vezet (ZUBER és VILLAMIL, 2016). A különböző talajművelés hatásai miatt a talaj szervesanyag tartalom (SOC) érték megfigyelése egyre fontosabbá vált a mezőgazdaság számára. A SOC becslésére szolgáló hagyományos módszerek destruktívak, értékelésére és a humusz összetevőinek számszerűsítésére a leggyakrabban használt hagyományos módszerek közé tartozik a WALKLEY és BLACK (1934) módszere, Walkley-Black módosított - külső fűtéssel történő eljárása (KALEMBASA és

JENKINSON, 1973), a Tyurin-módszer és a módosított Tyurin-módszer (PONOMAREVA és PLOTNIKOVA, 1975). A hagyományos vizsgálati módszerek mellett a közeli infravörös reflexiós spektroszkópia (NIRS) egy gyors, roncsolásmentes és költséghatékony talajvizsgálati módszer, amely nem használ vegyszereket (BATTEN, 1998; NAGY et al., 2007; NAGY és TAMÁS, 2009). Ezen túlmenően a technika megismételhetősége és különböző laboratóriumok közötti reprodukálhatósága meghaladja a talajanalízisre használt hagyományos módszerek teljesítményét (VISCARRA ROSSEL et al., 2006). A diffúz reflektancia spektroszkópia különleges előnyökkel rendelkezik a hagyományos módszerrel szemben, mivel világszerte egyre nagyobb szükség van jó minőségű és olcsó térbeli talajadatok nagyobb mennyiségére a környezeti megfigyelés, a modellezés és a precíziós mezőgazdaság számára. A nagy felbontású optikai érzékelőkkel ellenőrzött laboratóriumi körülmények között kapott reflektancia spektrumok információt szolgáltatnak mind a szerves, mind a szervetlen minták összetevőiről, melynek következtében számos fizikai és kémiai tulajdonság becslésére használható (COHEN et al., 2004; CECILLON et al., 2009). Különböző megközelítéseket alkalmaznak a spektrális információk talajtulajdonságaira való lefordítására, valamint a talajértékeléshez szükséges spektrális modellek kidolgozására. Ezen módszerek közé tartozik a többváltozós lineáris regresszió (DALAL és HENRY, 1986), a részleges legkisebb négyzetek regressziója (PLSR), a többváltozós adaptív regresszió (McCARTY és REEVES, 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2006), valamint a főkomponens-analízis (PCA). Ezek többváltozós statisztikai módszerek a nagy dimenziójú korrelált változók hálóbba rendezése során az adatok varianciájának kevesebb hullámhosszra és sávra való csökkentésével alkalmazható. Ezáltal meghatározzák, hogy mely sávok tartalmazzák a további modellezés és elemzés szempontjából a legrelevánsabb információkat (LIU et al., 2020). A különböző matematikai módszerek megjelenésével a kutatások egyre nagyobb hangsúlyt fektettek a különböző talajösszetevők (víz, karbonátok, szerves anyagok) reflektancia spektroszkópiával történő kvantitatív becslésére, amelyek többsége a VIS-NIR spektrális tartományban abszorbeálódik (DALAL és HENRY, 1986). Az ilyen spektrális összetevők közötti összefüggések miatt még a spektrális jellemzők nélküli talajtulajdonságok (kationcserélő kapacitás, pH, kivonható P) is közvetve megbecsülhetők (SHEPHERD és WALSH, 2002). A vizet, mint az egyik fontos talajelem jelentős hatását a VIS-NIR tartományban, az 1400-1900 nm körüli sávokban lehet kimutatni (VISCARRA et al., 2006; VISCARRA és McBRATNEY, 2008). A különböző talajtulajdonságok sikeres becslése a

laboratóriumi reflektancia spektrumok alapján növelheti a távérzékelési technológiával történő gyors térképezés lehetőségeit. Emellett a talajfelszín viszonyai befolyásolhatják a spektrális jelet. Egyes tulajdonságok mind időben, mind térben változhatnak, mint például a talaj kérgesedése, a talaj textúrája, a talajnedvesség, az érdesség és a növényzet vagy a növényi maradványok borítása (NANNI és DEMATTÊ, 2006; GOMEZ et al., 2008; BEN-DOR et al., 2008; KUANG és MOUAZEN, 2013; LU et al., 2013, PIEKARCZYK et al., 2016). A SOM dinamikája nagymértékben függ a SOM bomlását és felbomlását irányító mikrobiális és enzimatikus tevékenységektől. Magas aktivitásuk ellenállóvá teszi a bomlás végtermékét a további biokémiai és fizikai lebomlással szemben, ami a talaj aggregátumain belül nagyobb SOM felhalmozódást eredményez (BALOTA et al., 2004; ZUBER és VILLAMIL, 2016).

A gyümölcsösök telepítési körülményei során a legkedvezőbb természeti feltételeket nyújtó környezetet kell kiválasztani. Ezáltal figyelembe kell venni az éghajlati viszonyokat, a talaj adottságait, a domborzati viszonyokat és a biológiai tényezőket. Magyarország éghajlatára a szélsőséges hő- és fényviszonyok előfordulása jellemző, ezáltal mind a magas (35-40 °C), mind az alacsony (-20-25 °C) hőmérséklet a növény károsodását okozhatja. A csapadék intenzitása, gyakorisága, és időbeni eloszlása szélsőséges. Telepítés megkezdése előtt tereprendezéskor fontos a vízrendezés, a csatornázási munkák, illetve célszerű a mélylazítás elvégzése (PETESNÉ, 2008). A tavaszi fagy, az aszály, a hőhullámok, a szélsőséges csapadék és az erózió a termésveszteségek növekedésével járó termelési kockázatok növekedéséhez vezetnek. A szélsőséges körülmények az állandó kultúrák termés hozamát és minőségét nem csak egy vegetációs időszak alatt befolyásolják, hanem a következő évekre is hatással lesznek a növények kipusztulása vagy másodlagos betegségek révén (ROPAC et al., 2018). A növények növekedését és fejlődését nagymértékben szabályozza a fény, melynek befolyásolására több mint egy évtizeddel ezelőtt a jégpálók (3. ábra) használata jelent meg (RAJAPAKSE és SHAHAK, 2007).



3. ábra: Jégálóval védett alma gyümölcsös a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Pallagi Kertészeti Kísérleti Telepén

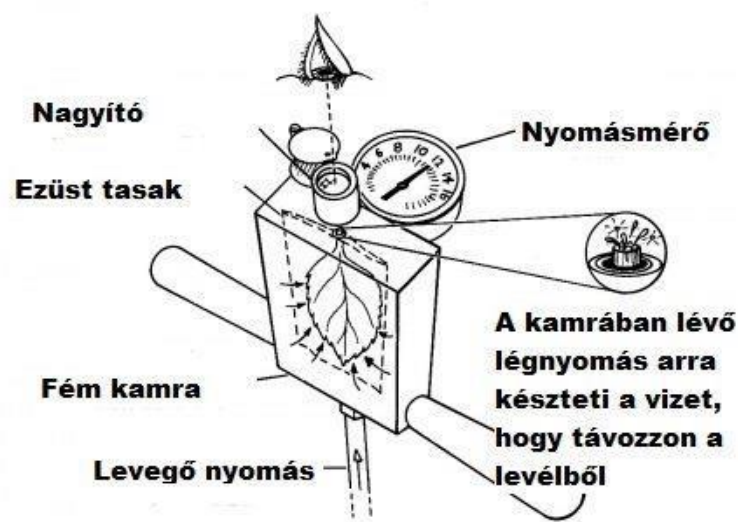
A jégáló használata 12%-kal, 15%-kal, 17%-kal és 30%-kal csökkentik a fotoszintetikusán aktív sugárzást (PAR), de akár a napsugárzás 90%-át is képesek csökkenteni. A jégáló módosítják a fényminőséget az ultraibolya (UV) (100-400 nm) és a közeli infravörös hullámhossztartományban (NIR) (760-1500 nm) (ZIBORDI et al., 2009). A jégáló használata az almatermesztésben is egyre nagyobb teret hódít, mivel a termesztők a fákat és a gyümölcsöket a túlzott napsugárzástól és a jégeső okozta károktól igyekeznek megvédeni (SHAHAK et al., 2004a, 2004b; DO AMARANTE et al., 2011). Többnyire nagy sűrűségű polietilénből készülnek, a szálsűrűség és a szövés mód befolyásolja az árnyékolás százalékos arányát. A hagyományos fekete hálók nem látszanak át, ezáltal nem módosítják a sugárzás spektrális minőségét, hanem inkább csökkentik a fényintenzitást anélkül, hogy befolyásolnák a fény minőségét (ARTHURS et al., 2013; ILIĆ és FALLIK, 2017). Az árnyékoló hálók átlátszóbbak, ezáltal jobban szórják a sugárzást, ami növeli a lombkoronán áthatoló szórt fényt. Ez javítja a sugárzás felhasználás hatékonyságát (STAMPS, 2009). A színes hálók fokozzák a fény szórását, ami befolyásolhatja a növények fejlődését és növekedését, módosíthatja az alatta lévő

növényeket érő sugárzás spektrumát, fokozva a fotómorfogenetikai és fiziológiai válaszokat (CASTELLANO et al., 2008). A jégáló használata kedvező környezetet biztosít a fotoszintetikus enzimek aktivitásához (MDITSHWA et al., 2019) ezáltal a klorofilltartalom növekedéséhez (MANJA és AOUN, 2019). A megnövekedett fotoszintetikus aktivitás és vízfelhasználás hatékonysága növeli a lombkorona szénhidrát termelését, ezáltal hozzájárulnak a jobb termés minőségéhez (SIVAKUMAR és JIFON, 2018). A sztómakonduktancia fontos szerepet játszik a növényi gázcserében és a növényi vízviszonyokban. A fényspektrum kék és vörös része befolyásolja a sztómák nyitását, bármely spektrum megváltozása potenciálisan hatással lehet a sztómavezetésre. Hasznos eszköz a fák stresszének a csökkentésére szélsőséges időjárási körülmények között, az öntözési költségek és a talajtakarás csökkenésére (McCASKILL et al., 2016). A jégáló használata a fénybefolyásoló hatásán kívül kihat a fa fiziológiájára, a növekedésre és a gyümölcsfák fejlődésére (GIACCONE et al., 2012), emellett csökkenti a napégés okozta károk megjelenését és az állati kártevők (madarak, gyümölcscdenevér, rovarok) általi rongálást (MIDDLETON és MCWATERS, 2002; GINDABA és WAND, 2005; IGLESIAS és ALEGRE, 2006; KALCSITS et al., 2017). Pozitívan hat a mikroklimatikus tényezőkre, különösen a hőmérsékletre, a szélsébségre, a széljárásra és a relatív páratartalomra. A gyümölcsösök relatív páratartalma közvetlenül összefügg a gyümölcsösön kívüli relatív páratartalommal, a szélsébséggel, az öntözéssel és a növényesűrűséggel (BOSCO et al., 2015; MUPAMBI et al., 2018). A szakirodalomban az árnyékolási rendszerek használata során eltérő gyümölcs számokról és -méretekről számolnak be. Ezek az eltérő almatermés eredmények az árnyékolási rendszerekben az árnyékolás típusával (jégáló, fényszelektív háló) és az árnyékolás intenzitásával (10-50%) hozhatók összefüggésbe (MILLER et al., 2015; SERRA et al., 2020). TREDER et al., (2016) megállapították, hogy meleg régiókban a lombkoronát érő kevesebb napfény a levelek transzspirációs sebességének csökkenéséhez vezethet, növelve a vízfelhasználás hatékonyságát és csökkentve a vízstressz tüneteit. Emellett a növények jobb termés hozamot és nagyobb gyümölcsméretet mutatnak. A jégáló által károsított gyümölcsöknél igen gyakori a rossz gyümölcsminőség és a rothadás, valamint az olyan betegségek megjelenése, mint a foltosság (BAL et al., 2014).

2.4. Vízhiány okozta stressz mérés módszerei

A kontinentális klíma miatt az őszi, tavaszi és téli fagykárosodások kialakulása egyre gyakoribbak hazánk területén, míg nyáron a légköri aszály hatásai jelentősek. A klímaváltozás hatásai között az elemi károk növekedése is érzékelhető, amely a gazdaságot komoly mértékben veszélyezteti. A gyümölcsösökben naprakész információkra van szükség a gyümölcsfák vízkapacitásáról és esetleges vízstresszéről. Ennek oka, hogy a fiziológiai reakciók a változó vízkapacitással szemben sokkal korábban jelentkeznek, mint a vízstressz. Ezek az élettani változások nem vizuálisan is megfigyelhető a vízstressz korai időszakában. A termográfia vagy hőkamerás képalkotás lehetővé teszi a növényből kibocsátott infravörös hősugárzás (8-15 μm hullámhossz) térbeli eloszlásának passzív és roncsolásmentes észlelését és monitorozását. Lehetővé teszi a sugárzás eloszlásának nagy felbontású, valós idejű feltérképezését és a lombkorona meghatározott részeinek kiválasztását a vízstressz becsléséhez (JONES, 2004). Ezáltal a külső és belső hőmérséklet mérésére és a gyümölcsfák termikus tulajdonságainak (hőcseréjének) tanulmányozására is használható (ZHOU et al., 2016). A lombkorona hőmérsékletét, mint a "termés vízstressz" mérőszámát évtizedekkel ezelőtt vezették be (TANNER, 1963). Ezt követően JACKSON et al. (1981) által bevezetett "Crop Water Stress Index" (CWSI) fogalma magában foglalta a "nem vízstresszelt alapvonalhoz" való viszonyát, hordozható egypontos hőmérőkkel. JONES (1999) adaptálta és egyszerűsítette a korábbi szerzők által javasolt eljárásokat, beépítve egy algoritmust a CWSI kiszámításához a hőkamerás eszközökből, a lombkoronában a különböző levélszinteken lévő "meleg" és "nedves" referenciák felhasználásával, hogy tanulmányozza a sztómavezetéssel való kapcsolatát. A növényeknek a vízellátottsága és annak mérése az utóbbi időkben egyre nagyobb figyelmet kapott, mivel a vízpotenciál jelzi a víz iránti igényt a növényen belül, illetve, hogy hogyan befolyásolja a környezet a növény vízellátottságát. A magas érték sok fiziológiai folyamatot befolyásolhat, mint például a fotoszintézis lassulását vagy teljes leállítását, amely csökkenti a növény növekedését és végül a növény elhalását okozza. A vízpotenciál egy rendszer vagy egy a rendszer részében lévő víznek a kémiai potenciálja nyomás értékekben kifejezve, viszonyítva a tiszta víz kémiai potenciáljához. Ezzel a méréssel a xylemben lévő víz nyomásgradienst, tehát a negatív nyomást lehet kimutatni (SCHOLANDER et al., 1965; BOYER, 1967). Mérése viszonylag egyszerű módszer, viszont ennek ellenére fontos információval szolgál (NAGY, 2011). Ez az érték útmutatóként szolgálhat a növekedés és a

terméshozam javítása érdekében. A két alapvető tényező, mely meghatározza a vízpotenciál értékét az oldatok koncentrációja és a hidrosztatikus nyomás. Ez az érték többféle módszerrel mérhető, mint a Sardakov-féle módszer vagy a Scholander-féle nyomáskamra, ahol a levél/hajtás nagy része a kamrában van, de a szár vágott része a kamrán kívül helyezkedik el (4. ábra). Az a nyomás, amivel a víz a vágott felületen megjelenik, mutatja, hogy mennyi feszültséget tapasztal a levél a vízellátásban. A magas nyomásérték a magas feszültséget jelenti. Ezek a feszültség szintek fajkon belül különbözőek. Normál körülmények esetében a vízpotenciál a talajban a legnagyobb és a levegőben a legkisebb, átmeneti értéket pedig a talajtól a levegőig a növényen keresztül adja. Ezért a víz útja a talajból a növényen át vezet a levegőbe, amely magyarázható az egyre negatívabb vízpotenciál értékekkel.



4. ábra: Scholander-féle nyomáskamra elven működő vízpotenciál mérő részei

Forrás: I1, saját szerkesztés

A közvetlen napfénynek kitett gyümölcszövetek fotooxidatív stressze a fotoszisztéma II (PSII) fotoinhibícióját okozza (WÜNSCHE et al., 2005). Ennek oka a fény- és a hőmérsékleti komponens. A napsugárzásnak kitett almaszövetek alacsonyabb fotokémiai kioltást (qP) és PSII működési hatékonyságot (nagyobb hőleadás) mutatnak, mint a napsugárzásnak közvetlen nem kitett almaszövetek. A gyümölcsök lombzatának árnyékos részei nem tudnak akklimatizálódni a magas fényhez, ezért érzékenyebbek a fotoinhibícióra, és kisebb Fv/Fm (változó fluoreszcencia és a maximális fluoreszcencia aránya) értéket mutatnak, mint a napsütésnek kitett szövetek ugyanolyan fényviszonyok és fejlődési stádium mellett. Ezáltal a klorofill-fluoreszcencia mérését széles körben

alkalmazzák roncsolásmentes, gyors, terepi technikaként annak értékelésére, hogy a klorofillt tartalmazó gyümölcsökben és zöldségekben hogyan zajlik az általános fotoszintézis folyamata (MAXWELL és JOHNSON, 2000). Számszerűsíti a PSII fotokémiai hatékonyságát a vizsgált növény szervezetében és működésében, illetve kimutatja a növényekre kihatott stresszes állapot előrehaladottságát (BAKER és ROSENQVIST, 2004).

A hiper- és multispektrális technológia megjelenése egyre nagyobb szerepet játszik a gyümölcstermesztési ágazatokban a precíziós mezőgazdasági technológiák között (MILICS et al., 2008; BURAI et al., 2009; RICZU et al., 2014). Az elektromágneses hullámok (400-2500 nm) távérzékelési módszerekkel detektálhatók. A légi távérzékelés a drónok használatával különböző hullámhosszúságú képeket készít és különböző vegetációs indexek mérhetők vele a növények különböző állapotainak felismeréséhez (AKRAM et al., 2017). A pilóta nélküli légi járművek (UAV) (5. ábra) fejlődése és a hasznos teherrel rendelkező eszközök súlyának csökkentése a termények távérzékelését teszi lehetővé. Ez a technológia olcsóbb, időtakarékosabb, és nagy felbontású képeket készít roncsolásmentes módon (PURI et al., 2017; EL BILALI és ALLAHYARI, 2018).



5. ábra: Drónfelvétel készítése

A drónok által készített képek az infravörös és a vizuális spektrumtartományban tartalmaznak információkat. Ezekből a képekből különböző jellemzők vonhatók ki, amelyek szabad szemmel nem látható módon adnak információt a növények egészségéről. A drónfelvételek másik fontos jellemzője, hogy képes a termés rendszeres, azaz heti vagy akár óránkénti nyomon követésére. A drónokkal gyűjtött nyers adatokat elemzés céljából analitikus modellekbe lehet táplálni és további korrekciós intézkedéseket lehet létrehozni a terméshozam javítása érdekében. A drónok képesek a talaj állapotának a vizsgálatára, az öntözésben, a műtrágya kijuttatásában és a növények egészségi állapotának nyomon követésében való segítségnyújtásban. Ezen kívül hasznos adatelemzést biztosít a mezőgazdasági hozam becsléséhez is (HAFEEZ et al., 2022). A növényi levélminta fényvisszaverő tulajdonságai a látható hullámhossztartományban (400-700 nm) vizsgálhatók. A növényi kloroplasztiszok a 450 nm, 680 nm és 700 nm hullámhosszon nyelik el a fényt, míg a parenchima szövet és a sejtfal lignin tartalma a távoli infravörös (SWIR:1000-2500 nm, de még inkább a 2000-2500 nm) fényvisszaverő képességért felelős. A levelek reflexiós tulajdonságait a sejtfalak felülete határozza meg, nem pedig a sejtek közötti tér mérete. A reflexiós értékek alakulása olyan tényezőktől függ, mint a pigment összetétel, a levélfelület minősége, a növény egészségi állapota (NAGY, 2015). A levél színét különböző pigmentek, mint az antocián, a xantofill, a karotinoid és a klorofill jellemzik, amelyek a fény átalakításában és energiájának hasznosításában is fontos szerepet játszanak (WINKEL-SHIRLEY, 2002; NAGY et al., 2016). A klorofill a 450-670 nm-es hullámhossztartományban erős abszorpciót mutat, mérésével elemezhetjük a növény fiziológiai állapotát. Az egészséges növényzet a beérkező energia 40-50%-át a 700-1300 nm közötti spektrális tartományban veri vissza a levél belső szerkezetének köszönhetően. A mért reflektancia fontos szerepet játszik a különböző növények és az esetleges vízstressz megkülönböztetésében, még akkor is, ha ezek a fajok a látható spektrális tartomány alapján hasonlóknak tűnnek (NAGY et al., 2014). Az oxidatív stressz által kiváltott elsődleges károsodás mellett, amely hatással van a lipidekre, fehérjékre, nukleinsavakra és a klorofill lebomlására, a szárazság stressz alatt álló növények másodlagos károsodást is szenvednek. Szélsőséges szárazság esetén a klorofill a és b mennyisége csökkenő tendenciát mutat (SIRCELJ et al., 2007), így a klorofillértékek felhasználhatók a növény környezeti stresszre adott válaszának vizsgálatára (GHOBADI et al., 2013; NETO et al., 2017). A klorofilltartalom szorosan összefügg a növény nitrogén tartalmával, így szorosan kapcsolódik a fotoszintézis folyamatához. USHA és SINGH (2013) kimutatta, hogy a stressz okozta

klorofilltartalomra vonatkozó reflexiós érzékenység a 690-700 nm-es tartományban magas, és ha a stressz elég erős ahhoz, hogy gátolja a klorofill képződést, akkor a megnövekedett reflexió először a jellemző abszorpciós hullámhosszakon mutatható ki. A növényi vízstressz meghatározására a 760-790 nm-es tartomány alkalmas (JUNG, 2005; NEMESKÉRI, 2011), de a 730 és 960 nm-es hullámhosszak is a vízelnyelési sávokhoz kapcsolódnak (YU et al., 2014).

A GreenSeeker, mint NDVI szenzor a nitrogénfejtrágyázás során nyújthat segítséget számunkra. A NDVI érték nagyon szoros összefüggésben van a növény egészségi állapotával és klorofilltartalmával, így egy objektív képet kapunk a növényállományról. Ennek segítségével képesek vagyunk a növényeink pillanatnyi állapotának megfelelő nitrogén műtrágya mennyiségének meghatározására. A GreenSeeker precízen megoldja a tavaszi műtrágya kijuttatási feladatokat, mert valós idejű feldolgozást végez, azaz a megfigyelt értékek alapján dolgozik. RAUN et al. (2002) olyan algoritmust fejlesztettek ki, amely képes megbecsülni az őszi búza szezon közbeni N-igényét. Munkájuk azt mutatta, hogy az őszi búza nitrogén felhasználási hatékonysága több mint 15%-kal javult, összehasonlítva a hagyományos N-arányajánlatokkal. RAUN et al. (2005) tovább finomította az N alkalmazási algoritmust az NDVI leolvasásokból származó variációs együttható segítségével. A porométert levélszintű fotoszintézisben részt vevő folyamatok mérésére alkalmazzák. Valós idejű méréseket lehet végrehajtani két különálló, de párosított fotoszintézis folyamatban. Az eszköz méri a szén-dioxid (CO_2) felvételt és a víz kibocsátását (H_2O) a levélből nagy pontosságú infravörös gázelemző készülékekkel. Továbbá párhuzamosan méri a levél hőmérsékletét, a sztóma vezetőképességét (gsw) és az intercelluláris CO_2 koncentrációt (C_i). A porométer számszerűsíti a fluoreszcencia hozamot (ΦF) vagy a fotonok újbóli kibocsátását a II. fotórendszerhez társított klorofill által, ezáltal valós idejű információkat szolgáltat. A porométerrel ki lehet küszöbölni a vízellátással kapcsolatosan felmerülő akadályokat és lehetővé teszik a műszer számára, hogy gyorsan reagáljon a levélváltozásokra. Például, ha a sztóma bezárul, akkor a vezérlőrendszert azonnal észleli a vízgőz csökkenését és kompenzálni tudja azt (LI-6800 PORTABLE PHOTOSYNTHESIS SYSTEM, OPERATING INSTRUCTION). A SapFlow érzékelők a transzpirációs áramlást a nedv emelkedéseként mérik a xylemben. Méréseket végezhetünk szárazban, törzsekben, ágakban vagy talajművelőkben. A transzpiráció érzékeny a növények vízállapotára, a hatást a sztóma megnyílása közvetíti, a nedváramlás felhasználható a növényi víz állapotának az indikátoraként. A folyamatos adatrögzítés lehetővé teszi a transzpiráció

időbeli követését. Két különböző technikát alkalmaznak a nedváramlás mérésére, mindkettő a hőmérsékletet használja nyomjelzőként. Az egyik a szár (vagy törzs) szektor hőegyensúly-módszere, amelyben a teljes szár terület egy szakaszát elektromosan felmelegítik és megméri az axiális és a radiális hőveszteséget. A nedv tömegáramát a felszálló nedv által elvezetett hő függvényében számolják. A másik módszer a hő impulzus módszer, amelyben a fűtőberendezést és a hőmérséklet érzékelő szondákat sugárirányban helyezik el. A nedvesség sebességét annak az időnek a függvényében számolják, amelyre az áramló nedvnek szüksége van a hő szállításához egy adott helyre (GIMÉNEZ et al., 2013). A Soil Plant Analysis Development (SPAD) klorofillmérőt a kukorica környezetbarát N-műtrágyázásának könnyen használható eszközének tartják. Alternatív módszert kínál a levél relatív klorofillszintjének mérésére, amely ezeket a hátrányokat kiküszöböli. Ez az eszköz gyors, megbízható és nem károsítja a növényi szöveteket. Két fénykibocsátó diódán és egy szilícium fotodióda receptoron alapul, amely a levél áteresztőképességét méri vörös (650 nm) és infravörös (940 nm) hullámhossztartományokban. Ezeket az áteresztőképességi értékeket használja a készülék egy relatív SPAD-mérő érték származtatására (általában 0,0 és 50,0 között), amely arányos a mintában lévő klorofill mennyiségével. Ahhoz, hogy a relatív SPAD-mérő értékeket abszolút klorofill koncentráció mértékegységére konvertálják, kalibrációs görbét kell alkalmazni. A SPAD értékek és a klorofill koncentráció közötti kapcsolatot számos különböző fajban vizsgálták, és azt találták, hogy jelentős fajok közötti eltéréseket mutat. A mérőt széles körben használták kutatási és mezőgazdasági környezetben is, és a tudományos irodalomban számos publikáció ismerteti a használatát (BERZSENYI és LAP, 2006; UDDLING et al. 2007; SZÉLES, 2007; VÁNYINÉ, 2008; LING et al., 2011). A levélterület-index (LAI) becslés mérésére fejlesztett eszközök a félgömbös fényképek készítésének segítségével történik. A rugalmasság, a fejlett funkciók, a pontosság és a könnyű használat szempontjából felülmúlja a többi módszert. Emiatt széles körben alkalmazzák különböző növényi tulajdonságok megfigyelésében, mint például a lombkorona növekedése, a lombkorona termelékenysége, a lombkorona terhelése vagy akár a légszennyezettség-lerakódás modellezése. A LAI mérése alkalmazható szénáram-vizsgálatokra és globális szén ciklus-kutatásra (LEBLANC et al., 2005; SONG et al., 2014).

2.5. Vízvisszatartási és öntözési technológiák

A vízválság a világ nagy részein a mezőgazdasági ágazat és az élelmiszertermelés növekedésének egyik fő korlátozó tényezője. A világ édesvízkészleteinek elérhetősége csökkenő tendenciát mutat, míg ezzel szemben a vízfogyasztók közötti verseny egyre jobban fokozódik. Az előrejelzések szerint az édesvízkészletek iránti keresletet világszerte a növekvő népesség, az urbanizáció és az iparosodás hajtja (SHARMA ÉS IRMAK, 2021). A világ növekvő népessége számára a mezőgazdaság lesz az élelmiszertermelés egyik fő forrása, amelynek sikere a megfelelő vízellátástól függ. A válsághelyzet leküzdése érdekében a szántóföldi vízátkalmazást igazságosan kell végezni. A természetes vízvisszatartási intézkedések (Natural Water Retention Measures-NWRM) magukban foglalják a vízgyűjtő terület visszatartó képességének javítására alkalmas technikai intézkedéseket. A vízvisszatartás nemcsak a felszíni vizek vízzel való visszatartását vagy a vízfolyások feltorlaszolását jelenti, hanem mezőgazdasági gyakorlatokat, földek javítását, erdősítést és a folyók szabályozását. A természetes visszatartó képesség javítása, hozzájárul a megnövekedett természetes módon tárolható vízmennyiség növekedéséhez. A vízmegtartó képesség növelése jelentősen korlátozhatja a kedvezőtlen vízhozamot. A talajnedvesség a vízkörforgás azon összetevője, amely a növények gyökerei számára hozzáférhető, és a rendelkezésre álló víz mennyisége a növények növekedésének egyik fő irányító tényezője. A talaj nedvességtartalma a csapadék, a párolgás, a felszíni lefolyás és a mélyszivárgás tényezője, ezért érzékenyen reagál a hőmérséklet és a csapadék intenzitásának változásaira (EEA, 2016a; 2016b). Mivel a talajnedvesség kiszáradása már megfigyelhető, néhány intézkedést lehet hozni a talajnedvesség védelme és a mezőgazdasági termelékenység biztosítása érdekében. Egy mezőgazdasági terület vízmegtartó képessége javítható a vízelvezető rendszerek fenntartásával, változó vízhozam rendszer kialakításával, a folyók morfológiai struktúráinak helyreállításával, rekonstrukciójával vagy átalakításával, ad hoc vetésforgó és egyéb mezőgazdasági gyakorlatok bevezetésével, valamint árvízvédelmi tározók létesítésével. Síkvidéki területeken az állandó vízpótlásra mederduzzasztással van lehetőség. A mederben megemelt vízszint magas szintű vízpótlási lehetőségeket teremt, amely gravitációsan juttatható el a mezőgazdasági területekre, a hatásterületén megjelenő vízigények irányába, emellett a talajviszonyoktól függően akár 500 m távolságban emelhető a talajvíz szintje. Számos, a mezőgazdaságban alkalmazott technológián alapuló intézkedés növelheti a talaj vízvisszatartását azáltal, hogy csökkenti a lefolyást.

A talaj jellemzőitől függően a különböző talajművelési módszerekkel, valamint a nagy gyökérsűrűségű és dús felszínborítású növényekkel kombinált talajműveléssel csökkenthető a lefolyás. További talajvédelmi módszerek közé tartozik a teraszozás és a kontúrszántás a gyors felszíni lefolyás lassítására vagy megakadályozására (PETRASOVITS et al., 1982; THYLL et al., 1983). A talajnedvesség mérésére laboratóriumi körülmények között hagyományosan a 105-110 °C-on 24 óráig szárított módszert használják, amely időigényes és nem képes a talajnedvesség valós idejű nyomon követésére. Az időtartománybeli reflektometria (TDR) (LEE és YOON, 2020; HE et al., 2021), a frekvenciatartománybeli reflektometria (FDR) (LINMAO et al., 2012) és az ellenállás- és a kapacitív érzékelők (ESCRIBA et al., 2020) alkalmazása fontos szerepet játszik a talajnedvesség valós idejű megfigyelésében (BANON et al., 2021). Ezek közül az érzékelők közül az FDR és a TDR jelentős időbeli felbontást biztosít, de karbantartásuk költséges. A kihelyezett szenzorok a modern automatizált öntözőrendszereknél a szántóföld különböző pontjain a talaj víztartalmát nyomon tudja követni. A dolgok internetje (Internet of Things - IoT) olyan összekapcsolt számítástechnikai eszközök hálózata, amely képes az adatátvitelre anélkül, hogy ember-ember vagy ember-számítógép közötti interakcióra lenne szükség. A dolgok internetje különböző típusú szenzorok használatával adatokat gyűjtenek, feldolgozzák és megosztják azokat a csatlakoztatott eszközök hálózatán keresztül. Vezeték nélküli technológiával valós idejű talajvízmérleget lehet kialakítani öntözőrendszerekben, amely akár 45%-os vízmegtakarítást eredményez (VERDOUW et al., 2019). A vízviisszatartás javítása csökkentheti a mezőgazdaság vízigényét, az öntözés régóta bevett gyakorlat az európai mezőgazdaságban. Az öntözés hatékonyságának javítására, a vízfelhasználás optimalizálására és ez által a vízigény csökkentésére irányuló technikák közé tartozik a gravitációs öntözésről a modern, nyomás alatt álló rendszerekre (pl. csepegtető és esőztető öntözés) való áttérés. A hagyományos öntözési rendszerben a gazdálkodók a szántóföld vízigényének figyelembevétele nélkül egyenletesen alkalmazzák az öntözést a gazdaság egész területén, ami túl- vagy alulöntözést eredményezhet (KUMAR et al., 2017). A precíziós öntözés bevezetése lehetővé teszi, a vízhatékony öntözési stratégiák kidolgozását a természetű növény vízigénye alapján, miközben javítják a mezőgazdaságot és csökkentik a talajvíz felhasználást (SMITH et al., 2010). A lineár öntözőberendezések vizet takarítanak meg azáltal, hogy csak annyi vizet juttatnak ki, amennyire - ahol és amikor - szükség van rá. A talaj határozza meg a szórófej típusának a kiválasztását, a szántóterület alakja pedig a szórófej távolságát és a cseppméretet

(RAINE et al., 2007). Az öntözési technológiák, mint például a center pivot és a lineár öntözőrendszerek, valamint a kapcsolódó irányítási megközelítések folyamatosan fejlődnek, hogy megfeleljenek a hatékony mezőgazdasági növénytermesztés jelenlegi öntözési igényeinek. Az évek során a center pivot és a lineár rendszerek az öntözés mellett műtrágya kijuttatására is alkalmassá váltak, ezért napjainkban az egyik fő kérdés, hogy hogyan lehet az öntözővíz és a műtrágya kijuttatását jobban kezelni a termés hozamok növelése érdekében (ZHANG et al., 2002). A precíziós mezőgazdasági technológiák, mint például a helyspecifikus öntözési technológia (VRI) és a mikroöntözőrendszerek lehetővé teszik a gazdálkodók számára, hogy a vizet és az agrokémiai szereket helyspecifikusan és változó módon alkalmazzák egy területen belül, a talaj és a termés igényeinek megfelelően (EVANS és SADLER, 2008; SHARMA és IRMAK, 2020a). A VRI lehetővé teszi az aktuális termesztési adatok, a talajváltozók (pl. talajtípus, szervesanyag tartalom, mikroborítottság és öntözetlen területadatok) és egy topográfiai térkép bevitelét (BOLUWADE et al., 2016; COLAIZZI et al., 2017; YARI et al., 2017). A VRI koncepciója egyre nagyobb érdeklődésre tart számot, mivel várhatóan és/vagy feltételezhetően javítja a növények víztermelékenységét. A gyakorlatban a VRI-nek három típusa létezik: (I) alap, ahol a gép sebességszabályozási tervét vezérlik, (II) zóna, ahol a gépen lévő szórófejeket vezérlik, (III) teljes, ahol a gépen lévő egyes szórófejek vezérlése külön történik. A VRI alkalmazása elsősorban a center pivot rendszerekre összpontosít, de alkalmazható lineár öntözőrendszerekre, sőt egyes rögzített rendszerekre is. Mérnöki szempontból a VRI rendszerek mechanikai teljesítménye kiforrott, megbízhatóan biztosítja az egyenletes kijuttatást és az alkalmazott mélység pontosságát (PERRY és POCKNEE, 2003; KING et al., 2006; DUKES és PERRY, 2006; O'SHAUGHNESSY et al., 2013; SUI és FISHER, 2015; YARI et al., 2017). A VRI rendszer a GPS pozicionálást integrálja a vezérlőrendszerbe, és utólagosan felszerelhető a jelenlegi közép vonalrendszerekhez. Az egyes külön kezelési zónákon belül a vezérlőrendszer ciklikusan végigjárja az egyes szórófejek vagy szórófejek csoportjait, be- és kikapcsolja őket, és a megfelelő kijuttatási mennyiségek elérése érdekében változtatja az előrehaladási sebességet. A VRI használata a lejtőkön és a szántóföldeken belüli völgyekben szintén segíthet a lefolyás és a talajerózió csökkentésében, valamint az alacsony területeken történő felhalmozódás mérséklésében. A VRI a túl- és alulöntözés megelőzésével javíthatja az általános termés hozamot. A termelők általában a szántóföld legszárazabb területei szerint ütemezik az öntözést, vagy talajvízérzékelőket telepítenek a legalacsonyabb rendelkezésre álló talajvízmegtartó képességű területekre, hogy

enyhítsék a szántóföld bármely részének az alulöntözését (DACCACHE et al., 2015; PETERS és FLURY, 2017). A szabálytalan alakú földek esetében zónákat lehet kijelölni, és az öntözéskezelés a termény elhelyezkedése alapján határozható meg. Ha a növényállomány homogén, akkor elegendő a rácshálós térközsabályozás, de jelentős térbeli eltérések esetén a zónás szabályozás is alkalmazható. A VRI rendszerhez használt szoftver az adatok táblázatos megjelenítését és két grafikus megjelenítést tartalmazza. Az adatok szerkesztésére mind a táblázatos, mind a grafikus területek használhatók. Az öntözési arányok százalékos értékeit színskála mutatja be, külön kémiai grafikon és adattáblázat segítségével. A zóna kialakításakor kritikus fontosságú, hogy a megfelelő vízmennyiséget a megfelelő időben juttassuk ki, és a vízmennyiséget kontroll alatt tartsuk (GONZALEZ PEREA et al., 2017). Magyarországon a mezőgazdasági területek mindössze 2%-a öntözhető a rossz vízgazdálkodású és vízbefogadó képesség tekintetében gyenge szántóföldi területek miatt, ezáltal alacsony vízkijuttatás mellett is fenn állhat a túlöntözés veszélye. A felszíni öntözővíz készlet 1150 millió m³, felszín alatti öntözésre alkalmas víz mennyisége 280 millió m³ (BOZÁN et al., 2018), ami elég lenne 400 ezer hektárnyi terület öntözésére, azonban az öntözés csak 100 ezer hektáron valósul meg (NEMZETI VÍZSTRATÉGIA, 2017). Az országban a fő öntözési mód a lineáris öntözés, melyet az öntözhető területek 64,8%-n használnak, 16,3%-ot dobos öntözéssel öntöznek és csak a területek 14,9%-án használnak center pivot öntözést (DEMETER, 2022). A lineáris öntözés akár 50%-kal több időt takaríthat meg, mint a felületi, oldalhengeres vagy dobos öntözés. A lineáris öntözőgépek nagyszámú aránya az öntözőgépek között az Alföld csatornasűrűsége miatt alakult ki. Egy másik probléma, hogy a lineáris öntözőgépek általában elavultak, a GPS (globális helymeghatározó rendszer) elérhetősége nem áll rendelkezésre, ami a VRI-t letiltja. Magyarországon az elmúlt évekig nem voltak VRI-vel felszerelt lineár öntözőrendszerek (TAKÁCS et al., 2018a), különösen nem egy olyan berendezésen, amely lineár és center pivot egyben, ezáltal a lineár öntözőberendezés a szántóföldek végén forgatott (6. ábra).



6. ábra: Átfordulós lineár öntözőberendezés a nyírbátori teszterületen

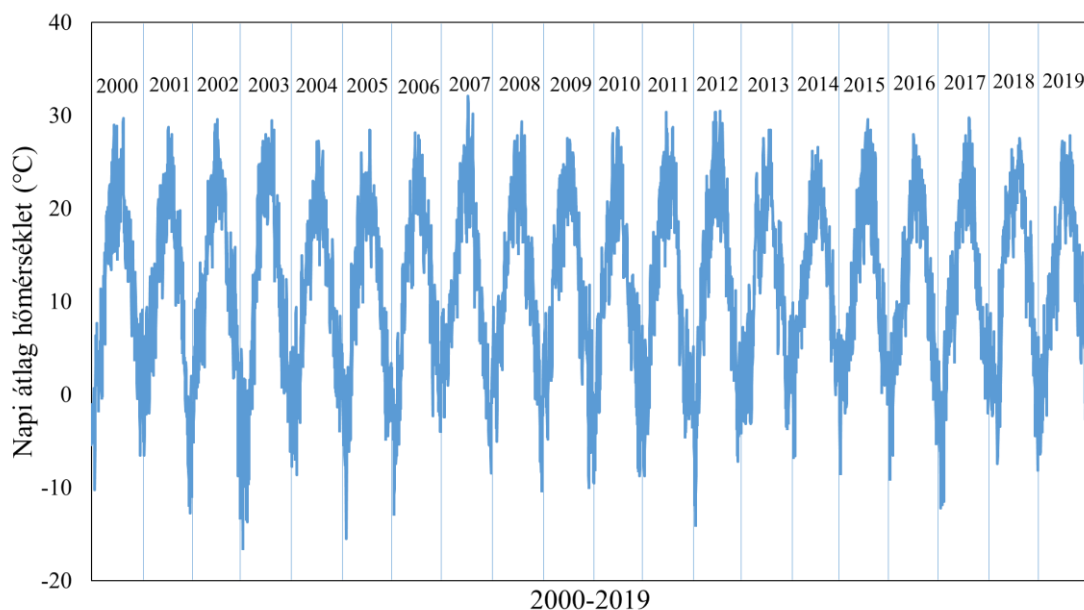
3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A kutatási területek bemutatása

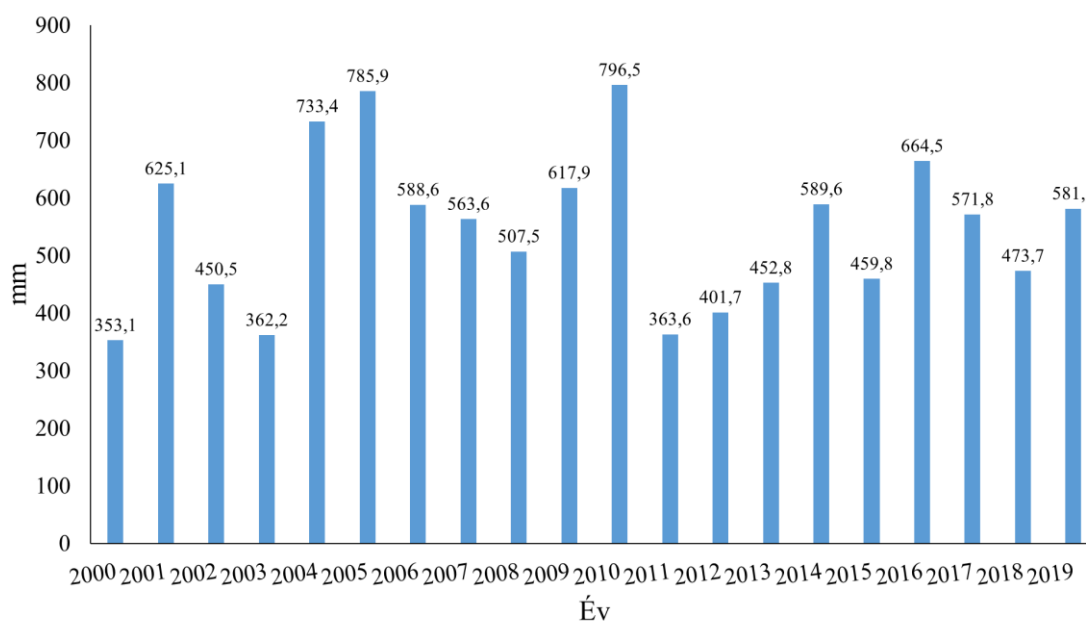
A) A Tisza-vízgyűjtő területe

Kutatásom során a regionális és farm szintű termésbecslő rendszerek kialakítása és a talaj szervesanyag tartalombecslő modellek kialakításához szükséges minták a Tisza-vízgyűjtő területén találhatóak. A vizsgált terület egy nemzetközi vízgyűjtő, a Tisza-vízgyűjtőjének alföldi része (200 m alatti tengerszint feletti magasság), amely a legfontosabb búza- és kukoricatermesztő régió Közép-Kelet-Európában azon belül is a Kárpát-medencében. A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) éves jelentései alapján a szántóföldek mintegy 55%-a búzával és kukoricával van borítva. A hőmérséklet, a napsugárzás és a talajnedvesség három olyan éghajlati tényező, amely befolyásolja a növényzet fejlődését és a virágzást. A Tisza vízgyűjtőjének síkvidéki területei megfelelő globál sugárzással rendelkeznek, kb. 4430 MJ/m²/év. Magyarországon az éves napi középhőmérséklet 10- 17,5 °C között van a vegetációs időszakban. Annak ellenére, hogy az alföldi régió nedves kontinentális éghajlatúnak számít az átlagos 495 mm-es csapadékmennyiséggel, komoly vízgazdálkodási problémákkal küzd. Az árvizek, a belvíz és az aszályos időszakok gyakran előfordulnak ugyanabban az évben, gyakran ugyanabban a vegetációs időszakban (NAGY et al., 2021). A legváltozatosabb éghajlati elem ezen a területen a csapadék mennyisége, mely évenként eltérő, és évszakos eloszlása is egyre szélsőségesebb. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) meteorológiai adatai szerint 1901 és 2010 között az éves maximális és minimális csapadékmennyiség 321 mm, illetve 953 mm volt. Ez kiszámíthatatlan vízhozamot biztosít a növényzet vízellátásához, ami a növénytermesztést és a gyümölcsstermesztést is sebezhetővé teszi (JUHÁSZ et al., 2020).

A MODIS műholdas felvételek feldolgozása 2000-2018 között, a Landsat 8 műholdas képek feldolgozása pedig 2013-2019 történt, melynek a meteorológiai adatait a Túrkevei meteorológiai állomás adatai alapján dolgoztam fel (I2). 2000-2019 között a legalacsonyabb éves átlag hőmérséklet 2005-ben volt 10,11 °C-al, a legmagasabb átlagos éves hőmérsékletet 2014-ben 14,61 °C volt (7. ábra). A vizsgált időszakban a legalacsonyabb csapadék értéket 2013-ban lehetett megfigyelni 353,1 mm-el, a legmagasabb csapadék érték pedig 2010-ben volt 796,5 mm-el (8. ábra).



7. ábra: Napi átlaghőmérséklet alakulása 2000-2019 között a Tisza-vízgyűjtő területén



8. ábra: Csapadék értékek 2000-2019 között a Tisza-vízgyűjtő területén

A meteorológiai adatok mellett a növénytermesztés esetében befolyásoló hatással bír az alföldi területek talajtani heterogenitása, ugyanis a területen csernozjom (kilúgzott csernozjom, mészlependékes csernozjom, réti csernozjom), barna erdőtalaj, szoloncsák, szoloncsák-szolonyec, réti szolonyec, sztyeppesedő réti szolonyec, szoloncsákos réti, szolonyeces réti, humuszos homoktalajok találhatóak (MICHÉLI et al., 2006). A klímaváltozási modellek előrejelzései alapján a Tisza-vízgyűjtőjén az éghajlatnak

megfelelően egyre súlyosabb aszályos események lesznek tapasztalhatók, amely befolyásoló hatással lesz a területen termesztett növények élettani folyamataira, ezzel korlátozva a megfelelő ütemű növekedést (ABID et al., 2018). A gabonafélék érése alatti hőségnapok számának emelkedése, illetve a csapadék hiánya jelentős mennyiségű termés kiesést és ezzel együtt minőségromlást is okozhat. A túl sok csapadék ugyanakkor elhúzódo éréshez és gyengébb minőséghez vezethet. Ezáltal a területen fontos a termésbecslés és az időbeli beavatkozásnak a lehetősége, illetve a megfelelő talajminőség vizsgálatának az elvégzése.

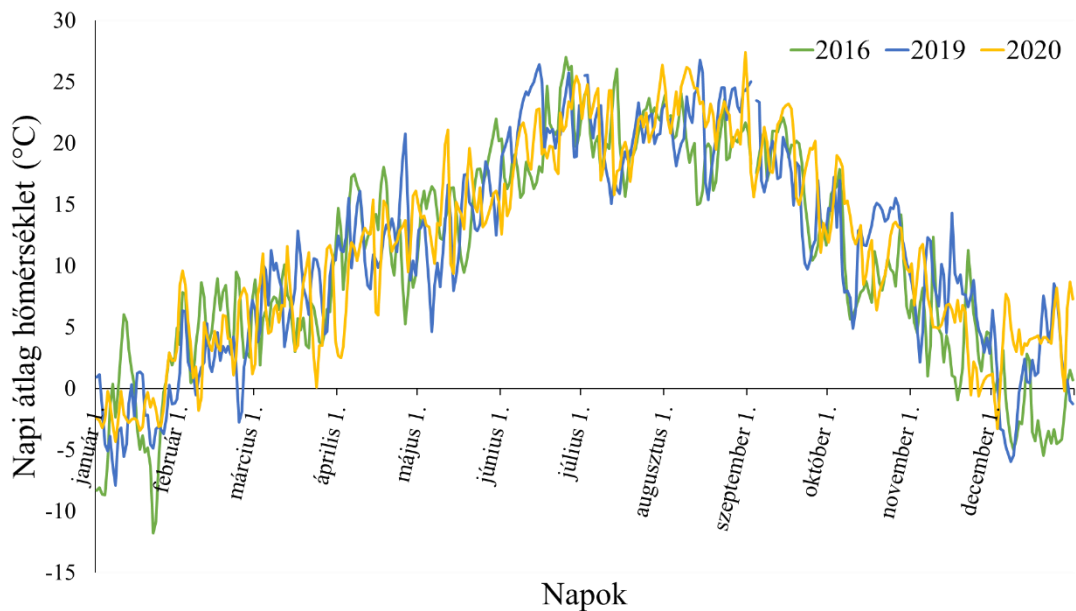
B) Öntözött szántóföldi terület

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 átfordulás lineár öntözőrendszert 2020-ban telepítették, a tesztidőszak 2020-ban és 2021-ben kezdődött. A kísérleti helyszínen az éves átlaghőmérséklet 9,5-9,7 °C, az éves napsütéses órák száma 1900-2000 h. A legmagasabb hőmérséklet a leghidegebb téli napokon -17,0 °C és -18,0 °C között mozog, a legmelegebb nyári napokon pedig meghaladhatja a 34 °C-ot. Az éves csapadékmennyiség 570-600 mm, ebből 350-360 mm a vegetációs időszakban. Az északkeleti és délkeleti szélirányok a legjellemzőbbek, a vegetációs időszakban átlagosan 2,5 m/s sebességgel (SZABÓ et al., 2022). A terület geometriáját és földrajzát elemezve általánosságban elmondható, hogy a terület egészén 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. Az időjárás megfigyelésére egy Davis Vantage Pro2 (Davis Instruments Corporation) automata meteorológiai állomás szolgált, mely alapján 2020-ban az éves átlagos hőmérséklet 11,31 °C, az éves lehullott csapadék mennyisége 497,2 mm, az éves átlagos légnyomás 998,9 hPa, az éves átlagos szélsősebesség 1,739 m/s, az éves átlagos relatív páratartalom pedig 72,74 % volt. 2021-ben az éves átlagos hőmérséklet 10,51 °C, az éves lehullott csapadék mennyisége 350,8 mm, az éves átlagos légnyomás 998,2 hPa, az éves átlagos szélsősebesség 1,717 m/s, az éves átlagos relatív páratartalom pedig 74,33 % volt.

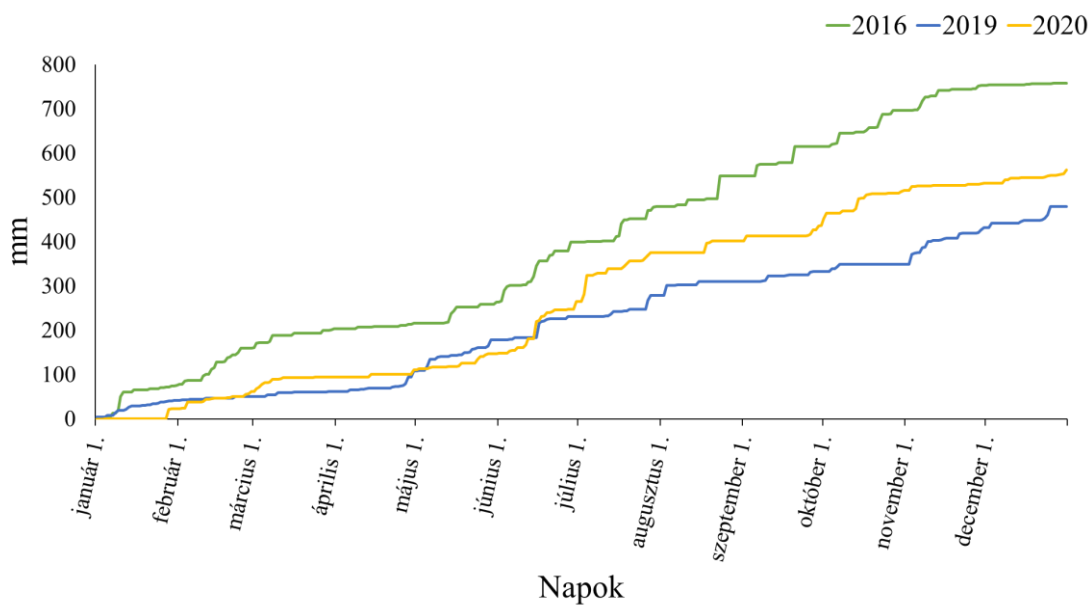
C) Alma gyümölcsös termesztési területe

A jégfaló használatának alma gyümölcsös vízforgalmára gyakorolt hatásának értékelését a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Pallagi Kertészeti Kísérleti Telepén végeztem el. A területen több mint 250 gyümölcsfajtát termesztnek, köztük számos almafajtát. A kísérletek egy intenzíven termesztett, mikroöntözéssel és jégfalóval védett 10 éves Early Gold és Golden Reinders almaültetvényben történtek 0,68 hektáros parcellán, ahol minden fa M9-es alanyra volt oltva. Az almafák minden sorában 100 egyed volt, melyből 50 egyedet jégfalóval védtek. A két fajta kiválasztásánál figyelembe vettem, hogy a Golden fajták több más fajtához képest érzékenyebbek a szárazság- és hőstresszre (OAUSSAT és ALLAM, 2017). A Golden Reinders a Golden Delicious mutációja, szeptember végén, október elején szedhető, emiatt a téli almák közé sorolják. Gyümölcse közepes nagyságú ~150-190 g, enyhén megnyúlt, héja vékony, az érés elején zöldessárga, éretten sárga színű (SZABÓ et al., 2001). Az Early Gold fajta érése nem elhúzódó, termése augusztus elején szedhető. Gyümölcse közepes méretű, ~170 g, kissé aszimmetrikus, csonkakúp alakú, világossárga, kezdetben zöldes, majd fehérsárga. Továbbá az ugyanabban a gyümölcsösben szintén jégfalóval védett Gala fajták kevésbé érzékenyek a vízstresszre (NEMESKÉRI et al., 2010). A gyümölcsös szélsőséges vízháztartású homokos talajon található, ami különösen nagy kockázatot jelent a vízhiány és a hőség okozta stresszre (NAGY, 2015). A talaj fizikai és kémiai tulajdonságait tekintve homogén, a mélységgel nem mutat jelentős különbségeket (NAGY et al., 2011). A vizsgált területen a gyümölcsös védelmére fekete jégfalót használnak, amely nagymértékben elnyeli az UV-B sugarakat, csökkentve ezzel a hőszugárzás és a napégés káros hatásait. A méréseket az aszály által leginkább érintett időszakban végeztem, júliusban és augusztusban két csapadékosabb (2016, 2020) és egy aszályos (2019) évben (I2). 2016-ban az éves átlagos hőmérséklet 10,57 °C (július: 21,09 °C, augusztus: 19,81 °C), az éves lehullott csapadék mennyisége 758,3 mm (július: 80,55 mm, augusztus: 69,14 mm), az éves átlagos szélsebesség 2,538 m/s (július: 2,161 m/s, 2,398 m/s), az éves átlagos relatív páratartalom pedig 80,74 % (július: 76,49 %, 73,33 %) volt. 2019-ben az éves átlagos hőmérséklet 11,20 °C (július: 20,46 °C, augusztus: 22,18 °C), az éves lehullott csapadék mennyisége 480,4 mm (július: 47,81 mm, augusztus: 31,61 mm), az éves átlagos szélsebesség 2,674 m/s (július: 2,353 m/s, 2,140 m/s), az éves átlagos relatív páratartalom 73,75 % (július: 67,15%, 69,16 %) volt. 2020-ban az éves átlagos hőmérséklet 11,66 °C (július: 21,35 °C, augusztus: 22,96 °C), az éves lehullott csapadék

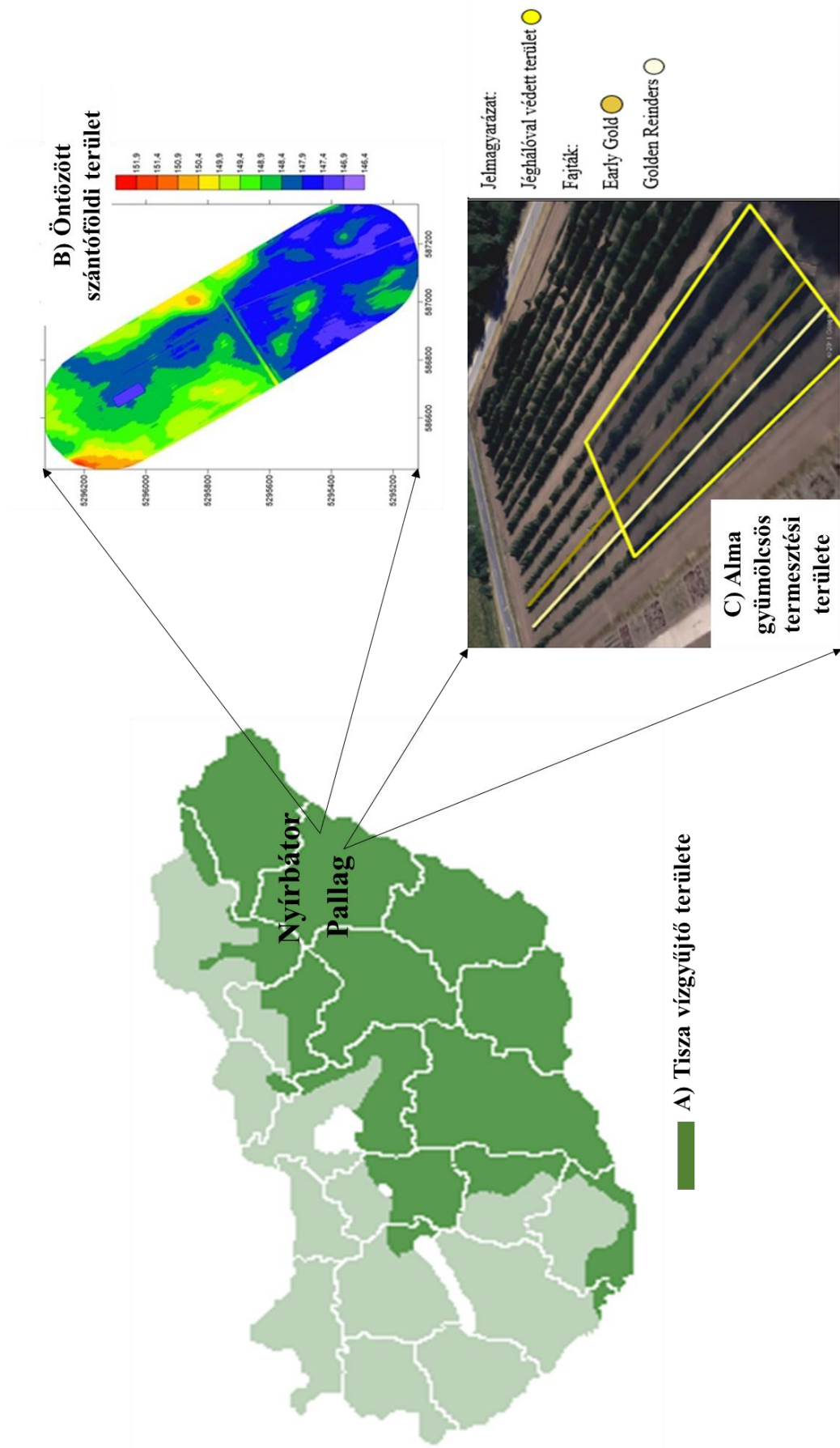
menyisége 571,4 mm (július: 109,5 mm, augusztus: 27,15 mm), az éves átlagos szélsebesség 2,438 m/s (július: 2,541 m/s, 2,375 m/s), az éves átlagos relatív páratartalom 80,13 % (július: 81,66 %, 77,05 %) volt (9-10-11. ábra).



9. ábra: Napi átlaghőmérséklet alakulása az alma gyümölcsös termesztési területén



10. ábra: Kummulált csapadék értékek alakulása az alma gyümölcsös termesztési területén



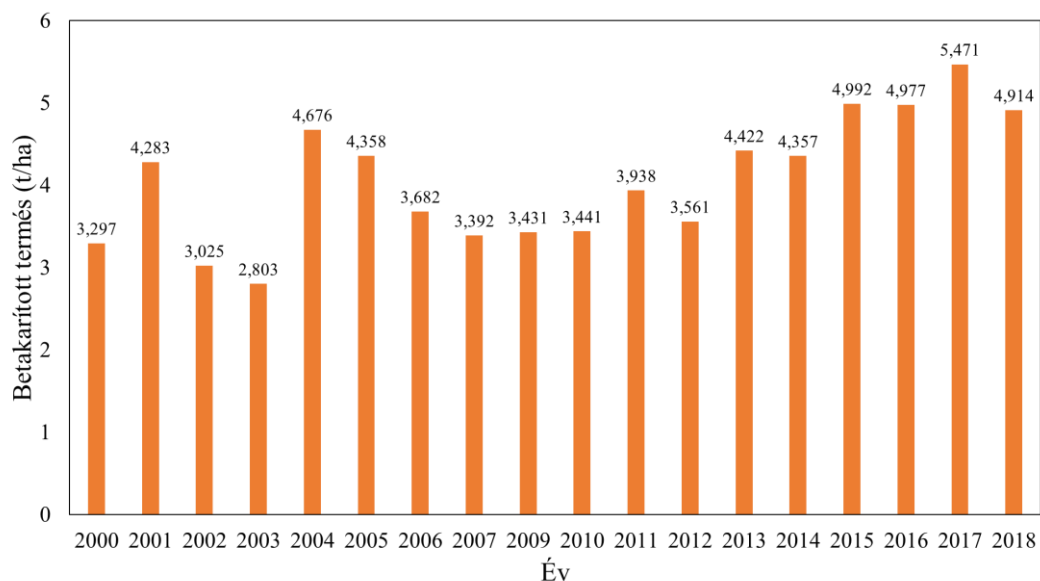
11. ábra: Vizsgálati helyszínek elhelyezkedése

3.2. Termésbecslő rendszer kialakítása műholdas felvételek alapján

3.2.1. 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 (Békés-megye, Heves-megye, Borsod-Abaúj-Zemplén megye, Csongrád-megye, Hajdú-Bihar megye, Szabolcs-Szatmár-Bereg megye, Jász-Nagykun-Szolnok megye) 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 mintaterületre elérhető és letöltött MODIS NDVI idősoros adatokat előkészítettem további feldolgozásra, melyhez TerrSet szoftverkörnyezetben GeoTiff formátumba konvertáltam át, majd minden évre terményspecifikus maszkokat készítettem búza növényre. Az adatfeldolgozás során szabványosított földrajzi, földhasználati és domborzati adatokat használtam. Első lépésként a szántófölddel rendelkező sík területet minden évre kivágtam az NDVI idősoros adatokból. A Tisza vízgyűjtő területein megtalálható búzatáblák megjelenítéséhez minden év áprilisi és júliusi MODIS NDVI adatait használtam. A képek osztályozása alapján Boolean maszkokat készítettem két kép/ év alapján. A képek logikai maszkba való sorolása után jelzik a vegetáció sűrűségét és a kopár helyszíneket a vegetációs periódusban. Ezzel a búza esetében a lucerna, kukorica és az ipari növények által fedett területek kiküszöbölhetőek. A végleges búzaspecifikus maszkok (a növénytakaró adatok alapján) kevesebb, mint 5%-os bizonytalanságot tartalmaztak, főként a tritikálé takarása miatt. Az Egyesült Államok Geológiai Szolgálat (USGS) az Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) modelljeivel válogattam le az alföldi jellegű sík területeket, majd a CORINE Landcover 2012 adatkészletet használtam a szántóterületek leválogatására. A szántóterületek leválogatása után a rétegeket összevontam és minden megyére lehatároltam. A megye - szántó maszk egy adott megye szántóföldi területeit mutatja be. A megye - szántó maszk és a búzával borított, osztályozott területeket integráltam, ezáltal minden évre megkaptam az adott megyére vonatkozó potenciális búzatermesztő területeket. Az extrakciót követően az átlag NDVI értékek adatmátrixát hoztam létre, a kapott értékek az NDVI felvételek kalibrációjának az alapjait adják. 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). A vizsgált területeken természetett őszi búzának kiemelkedő átlag termésmennyiség volt megfigyelhető 2015-2018-ig (~5 t/ha és felette) és kiemelkedően alacsony volt 2002-2003 között (~3 t/ha és alatta), melyet az aszályos időszaknak tudhatunk be. A többi évben átlagos terméshozam volt 3-4 t/ha között (12. ábra).

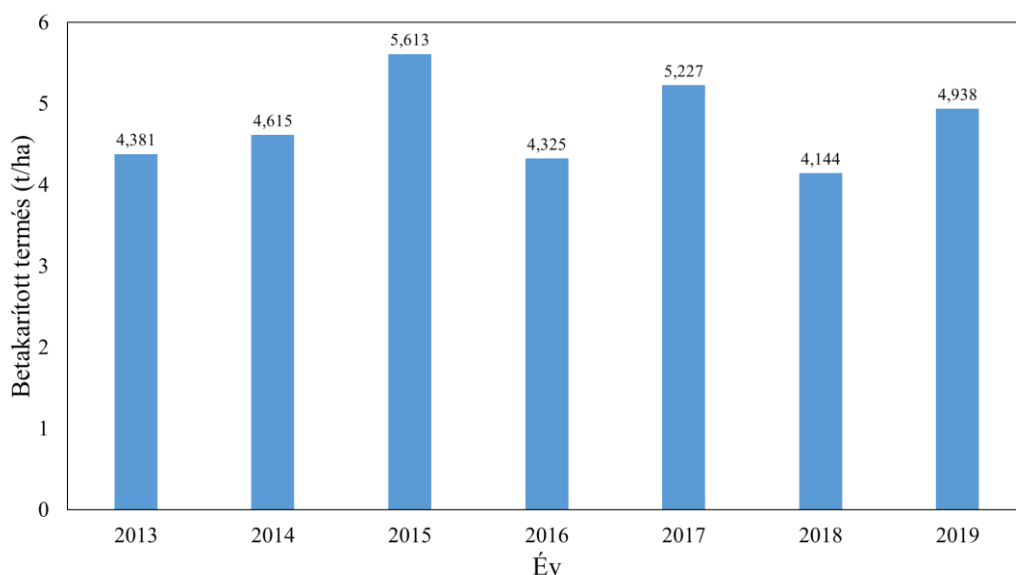


12. ábra: 7 vizsgált megye átlag terméshozam adatai

3.2.2. Termésbecslő rendszer kialakítása Landsat 8 műholdas felvételek alapján

A jelen tanulmányban a 2013-2019-es vegetációs időszakra vonatkozó Landsat 8 műhold képeket töltöttem le a <https://earthexplorer.usgs.gov/> oldaláról. A Landsat 8 adatai 11 sávot tartalmaznak: operatív földfelszín képalkotás (OLI) és a termikus infravörös érzékelők (TIRS) C1 Level-1 képeit kilenc spektrális sávval, azonban a 4. (vörös) és az 5. (NIR) sávot használtam a 30 m-es térbeli felbontással a további feldolgozások során. 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. A búzatermést a betakarított búza összömege alapján mértem egy adott területre. A területen természetett őszi búzának kiemelkedő

termésmennyiség volt megfigyelhető 2015-ben, és 2017-ben (>5 t/ha), átlagos termésmennyiség volt megfigyelhető 2019-ben (~5 t/ha). 2013-ban, 2014-ben, 2016-ban és 2018-ban termés csökkenést mértek (~0,8-1 t/ha veszteség, összehasonlítva az átlaghoz képest), melyet az aszályos időszaknak tudhatunk be (13. ábra).



13. ábra: 26 szántóterületről származó búza átlag terméshozam adatai

A nagy felbontású érzékelőkkel összehasonlítva az alacsony felbontású műholdképek sokkal jobb szinoptikus képet és időbeli ismétlési gyakoriságot biztosítanak a nagy kiterjedésük miatt (REMBOLD et al., 2013). A Landsat által származtatott vegetációs indexek bizonyítottan hatékony eszköznek bizonyulnak a vegetáció állapotának értékelésére, emiatt indokolt a terméshozam becslésére is használni. Az adatfeldolgozás és a terméshozambecslés az adatgyűjtéstől kezdve a feldolgozáson és kalibráláson át az érvényesítésig több lépést foglal magában. Először az adatgyűjtés és előfeldolgozás, majd a vegetációs index számítása és simítása. Ezután az NDVI és SAVI adatok maszkolása a szántóföldek alapján, a maszkolt adatok kalibrálása a termésadatokkal, végül a termésbecslő modellek validálása. Kutatásomban az NDVI-t és a SAVI-t választottam a termésbecslő modellek felállítására, mivel ezeket a vegetációs indexeket (VI) sorolták a búza és a kukorica terméshozamával, a legmagasabb korrelációval rendelkező VI-k közé (MOKHTARI et al., 2018; PANEK et al., 2020). Az NDVI és a SAVI képi adatait a Landsat 8 műholdképekből származtattam a következő egyenletek alapján:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

$$SAVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED + 0.5} \right) * L \quad (2)$$

Az L értéke a zöld növényzet mennyiségétől vagy borítottságától függően változik. L=0: nagyon magas növényzetű területeken, L=1: zöld növényzet nélküli területeken, L=0,5: a legtöbb helyzetben jól működik, és ez az alapértelmezett érték. Ezen értékek alapján a számítások során átlagosan 0,5 értéket választottam. A simítás mellett egy másik korlátozó tényező a szántóföldi maszkolás. Kutatásomban 26 búzatermő mezőgazdasági terület alakját választottam ki terményspecifikus maszkként, hogy a búza biomasszával kapcsolatos VI-ek idősoros átlagértékeket külön-külön származtassam minden egyes búzamezőre, melyhez lineáris regressziós modelleket dolgoztam ki hat év VI értékek alapján (2013-2018). A modell validálásához, 2018-as és 2019-es adatokat használtam.

Termésbecslő modellek statisztikai értékelése

A becslő modellek teljesítményét a pontossági mérőszámok determinációs együtthatójával (R^2) és lineáris regresszióval állítottam fel. Mind a MODIS műholdas felvételek, mind pedig a Landsat 8 műholdas felvételek alapján felállított becslő egyenletek pontosságát a négyzetes középhiba (Root Mean Square Error-RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (3)$$

a normalizált átlagos négyzetes középhiba (Normalized Root Mean Square Error-NRMSE):

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}}{(\bar{y})} 100 \quad (4)$$

a Nash-Sutcliffe-hatékonyság (NSE):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

az átlagos abszolút százalékos hiba (Mean Absolute Percentage Error-MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{y}_i - y_i|}{\bar{y}} 100 \quad (6)$$

és az átlagos százalékos hiba (Mean Percentage Error-MPE):

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)}{\bar{y}} 100 \quad (7)$$

adataival értékeltem

ahol

y_i : becslött érték;

$\hat{y}_i$: mért érték;

$\bar{y}$: átlagos mért érték;

n : a validáláshoz használt minták száma.

Az RMSE egy általánosan használt bizonytalansági mérőszám az abszolút hibák becslésére, az NRMSE hasznos az évszakok közötti összehasonlításhoz változó termésmennyiségek esetében (DARVISHZADEH et al, 2008). Az NSE értékei 1,0 (ami tökéletes illeszkedést jelent) és $-\infty$ között mozognak. Ebben az esetben a nullánál kisebb hatékonyság azt jelenti, hogy a betakarított hozam átlagértéke jobb becslő lett volna, mint a modell. A MAPE az abszolút százalékos hiba, azaz a becslött érték mért értéktől való átlagos eltérés értékét, az MPE a relatív százalékos hiba, azaz a becslött érték mért értéktől való relatív eltérés értékét mutatja meg százalékos formában.

Az általános termésbecslési pontosság értékelése után a bizonytalanságokat és a becslési pontosságot értékeltem a különböző terméstartományok esetében, hogy kiemeljem azokat a terméstartományokat, amelyekben a becslő modell a legjobb teljesítményt mutatta. Ehhez elsőnek a becslött termésértékeket társítottam a betakarított terméshozam adatokhoz. Ezután négy csoportot állítottam fel különböző termésintervallumokkal, és a csoportosítást a betakarított termésértékek alapján végeztem el. Így a betakarított és a

hozzá tartozó becsült hozamértékek összehasonlíthatóvá váltak a betakarított hozam adatok alapján meghatározott intervallumokon belül. Független T-próba elemzésekkel értékeltem a kapcsolódó betakarított és becsült termésértékek közötti szignifikáns különbséget. Ennek eredményeképpen becsült terméshozamok eloszlása összehasonlíthatóvá válik a valós, betakarított adatok eloszlásával.

3.3. 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 m³/h, a minimális vízigény a VRI céljától függ. A GPS vezérlés a központi rendszer tornyán található, amely két antennából és egy vevőből áll a vezérlő elektronikával együtt. A szántóföld közepén a tározóból egy csatorna indul a déli irányba, amely az öntözőgépet táplálja. A tározóból a csatornába a víz gravitációs úton jut, a csatorna külön vízszintszabályozóval rendelkezik, ami vissza van kapcsolva az elektromos zsiliphez és a tározóból kifolyó vizet szabályozza. A tervezés első lépése a szükséges napi öntözési mennyiség (mm/nap) meghatározása volt. Ez az érték függ a termény típusától és az éghajlati viszonyoktól. A tervezési minimumnak el kellene érnie, vagy kissé meg kellene haladnia a termesztett növény maximális napi párolgását, hogy elkerülhető legyen az öntözőberendezés folyamatos működtetése. Mivel a rendszer VRI-vel felszerelt, a szivattyút frekvenciavezérlővel vezérelték. Szükség van egy nyomáscsökkentő szabályozószelepre a rendszer bemeneti nyomásának állandó értéken tartására. 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 lineár üzemmódban működő 17 öntözési zónát impulzusjel vezérelte, 180 másodperces ciklusidővel (100%). Például, ha egy zónának 50%-ban kell bekapcsolva lennie, akkor az a zóna 90 másodpercig bekapcsolva, majd 90 másodpercig kikapcsolva lesz, fele annyi vizet öntözve, mint az állandó (180 másodperces) nyitva tartással rendelkező zónák. A kísérlethez kiválasztott szórófej típus az alacsony nyomású Nelson O3030 Orbitor fekete lemezes szórófej volt (14. ábra). Az Orbitor olyan új technológiával rendelkezik, amely kiküszöböli a szórótest merevítőket, így alacsony üzemi nyomáson is kiemelkedő egyenletességet és optimális cseppképzést biztosít. Ez az új technológia azt jelenti, hogy a tárcsa a körkörös forgás mellett excentrikus köröket is

leír a szórófej függőleges tengelye körül, amit Wobbler típusú szórófejként ismerünk, így egyenletes szórásképet érhetünk el (I3).



14. ábra: Nelson O3030 Orbitor fekete lemezes szórófej

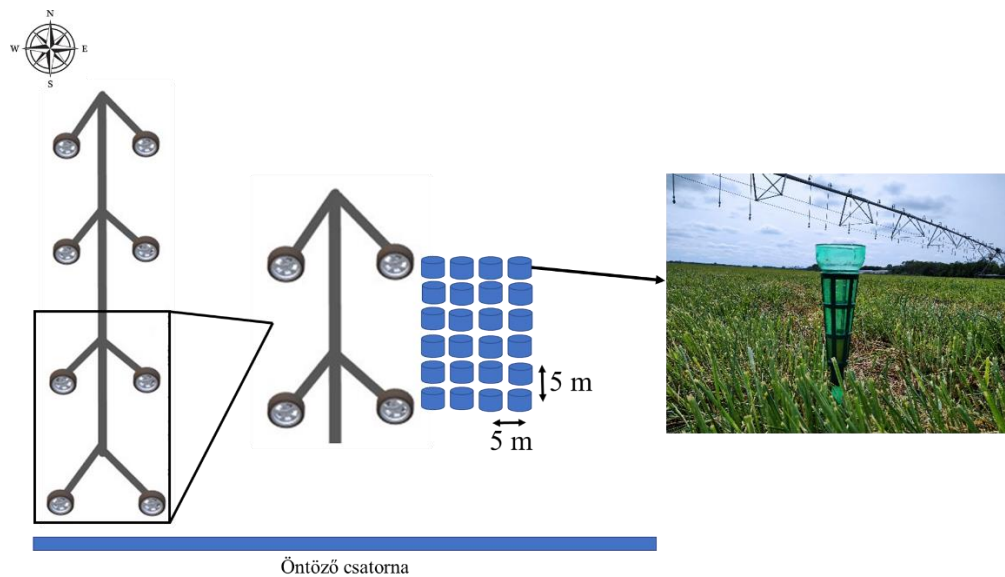
Az átfordulós lineár egyenletességi jellemzőit a Reinke adta meg a szimulált öntözési vízkijuttatás alapján. A szimulációkat mind a pivot, mind a lineár üzemmódra elvégezték állandó öntözési sebesség (2,5 mm) mellett, a csővezeték teljes hosszát figyelembe véve. A szimulált CU és DU 98% és 96,3% volt a lineár üzemmód esetében, és 96,2% és 92,8% a pivot üzemmód esetében.

Kutatásomban a felméréseket az öntözőrendszer második szakaszán végeztem el, ahol a 4., 5. és 6. zóna volt aktív, a 3., 7., 8. és 9. zóna pedig ki volt kapcsolva az átfedések elkerülése érdekében. Az oldalirányú mozgó üzemmódban működő mind a 17 zóna VRI vezérlésű, 180 másodperces ciklusidővel rendelkező impulzusjelekkel.

3.3.1. Öntözővíz kijuttatás mérése

Az átfordulós lineár öntözőrendszer vízeloszlásának felmérése érdekében az öntözőrendszer VRI-teljesítményét rácsháló mentén, valamint az öntözőrendszer haladási irányában és az oldalsó csővezeték mentén vizsgáltam. A mérésekhez az oldalukon mm-es skálával ellátott csapadékmérőket helyeztem ki. A rácsoiban végzett mérések célja egy állandó öntözési intenzitás gazdálkodási zóna modellezése volt az öntözés homogenitásának és a vízkijuttatás pontosságának értékelésére, valamint az alul- és túlöntözött területek arányának és térbeli eloszlásának elemzésére. A tervezett öntözővíz kijuttatás 10 mm volt. A csapadékmérő edényeket 50 cm magasságban helyeztem el egy

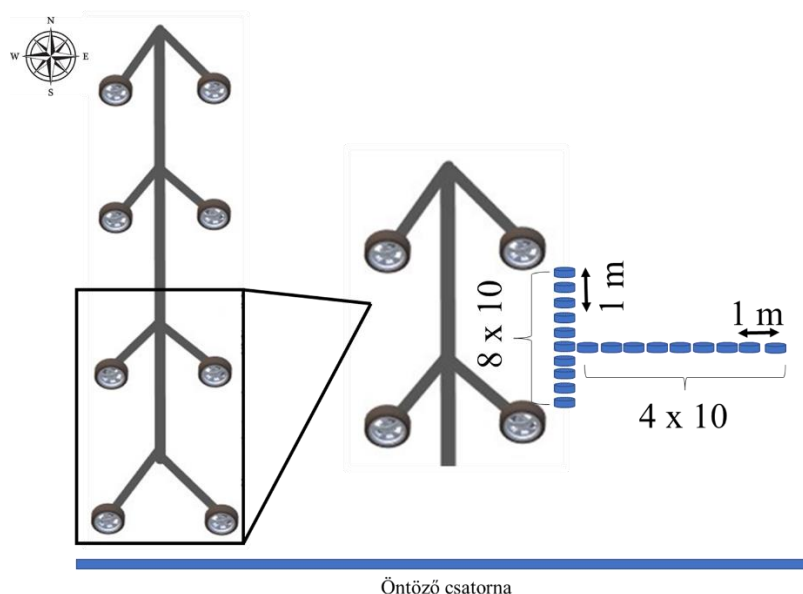
6*4-es rácshálóban 5 m-es távolsággal (15. ábra). A kísérleteket három ismétlésben, azonos paraméterekkel végeztem el 2020 és 2021 nyarán.



15. ábra: A vízelosztási mérések sémája és a csapadékmérő edények rácshálós elrendezése

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 hosszanti átmenetre vonatkozó kísérleteket három ismétlésben végeztem el.

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. Ennek megfelelően négy 2,5, 5, 7,5 és 10 mm-es öntözési vízkijuttatást vizsgáltam. Ezeket a kísérleteket két ismétlésben végeztem el. A keresztirányú (a csővezeték mentén) és a hosszirányú (az öntözőcsatornával párhuzamos) zónaátmenet mérések esetében 40 db csapadékmérőt helyeztem el egyenes vonalban méterenként (16. ábra).



16. ábra: A vízelosztási mérések sémája és a csapadékmérő edények egyenes vonalban történő elrendezése a hosszanti átmenet és keresztirányú mérések esetében

A pontos mérések biztosítása és a párolgás esetleges hatásának kiküszöbölése érdekében a felfogott öntözővíz mennyiséget közvetlenül a vizsgálatok elvégzése után olvastam le a csapadékmérő edényekből.

3.3.2. Az öntözés egyenletességének mérési módszertana

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), az alsó negyed eloszlás egyenletességi együtthatóját (DU%) és a variációs együtthatót (CV) használtam. A gyakorlatban a megfelelő szórás egyenletességhez a CUc%-nak legalább 84%-ot kell elérnie. A számítási módszer az alul- és túlöntözött területeket azonos mennyiségben veszi figyelembe (MAROUFPOOR et al., 2010).

$$CUc = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Vi - \bar{V}|}{\sum_{i=1}^n Vi} \right] \quad (8)$$

ahol:

$\sum |Vi - \bar{V}|$: az egyes mérések abszolút eltéréseinek összege az átlaghoz viszonyítva

$\bar{V}$: az összes mérés átlaga

V_i : egyedi mérési adatok

n: mérési pontok száma

A másik fontos képlet az alsó negyed eloszlás egyenletességi együtthatója (DU%), amelyet a vízkijuttatás egyenletességének meghatározására számoltam ki, és amely érzékeny az alulöntözésre (KRUSE, 1978). Az öntözési eloszlás alsó negyedének egyenletességét általában az eloszlás legkisebb felfogott vízmennyiség és az egész eloszlás átlagos vízmennyiségének a hányadosaként határozzák meg. A gyakorlatban az öntözési egyenletességnek el kell érnie a minimális 80%-ot (IRMAK et al. 2011):

$$DU = 100 \left(\frac{\bar{X}_{i25\%}}{\bar{x}_i} \right) \quad (9)$$

ahol:

$\bar{X}_{i25\%}$: legkisebb negyed felfogott vízmennyiség átlaga

$\bar{x}_i$: egész eloszlás átlagos vízmennyisége

A CUC% és a DU% egymást kiegészítő információt ad: empirikus bizonyítékok igazolják, hogy az egységesség fokozódik, ha értékeik közelebb vannak egymáshoz (ORTIZ et al., 2010).

A CV variációs együtthatót a szórás standard eltéréseként lehet számítani (ABD EL-WAHED et al., 2016):

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{h}} 100 \quad (10)$$

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 alulöntözött terület meghatározásához az alkalmazott öntözővíz medián - (medián-minimum) - CUC% számítást használtam. A túlöntözés határértékét a medián + (maximum - medián) - CUC% egyenlettel állapítottam meg. Az alkalmazott öntözővíz eloszlását a Surfer 15 (Golden Software, Inc, Golden, Colorado) programban ábrázoltam és számoltam.

A MAE-t választottam annak értékelésére, hogy a mért kijuttatott öntözővíz mennyisége mennyire áll közel a tervezett kijuttatott öntözővíz mennyiséghez a különböző gazdálkodási zónákban (O'SHAUGHNESSY et al., 2013). Az öntözőrendszer által alkalmazott vízmennyiség becslési pontosságának értékelésére az MBE-t használtam. A pozitív érték túlöntözést, míg a negatív érték alulöntözést jelez (YARI et al., 2017). Az RMSE (WANG et al., 2020) a kijuttatni kívánt és a mért öntözési vízmennyiség közötti relatív hibát tükrözi. Az öntözővíz kijuttatásának a vizsgálatánál, nem a becsült vízkijuttatással számoltam, hanem a kijuttatni kívánt víz mennyiségét számoltam a felfogott öntözővíz mennyiségével. Ezen kívül varianciaanalízist (ANOVA), Tukey és Duncan-teszteket alkalmaztam a kezelési zónák vízkijuttatási különbségeinek és a zónák közötti vízkijuttatás pontosságának a meghatározására.

3.4. Jéggháló, mint agrotechnológiai tényező hatásainak a vizsgálata

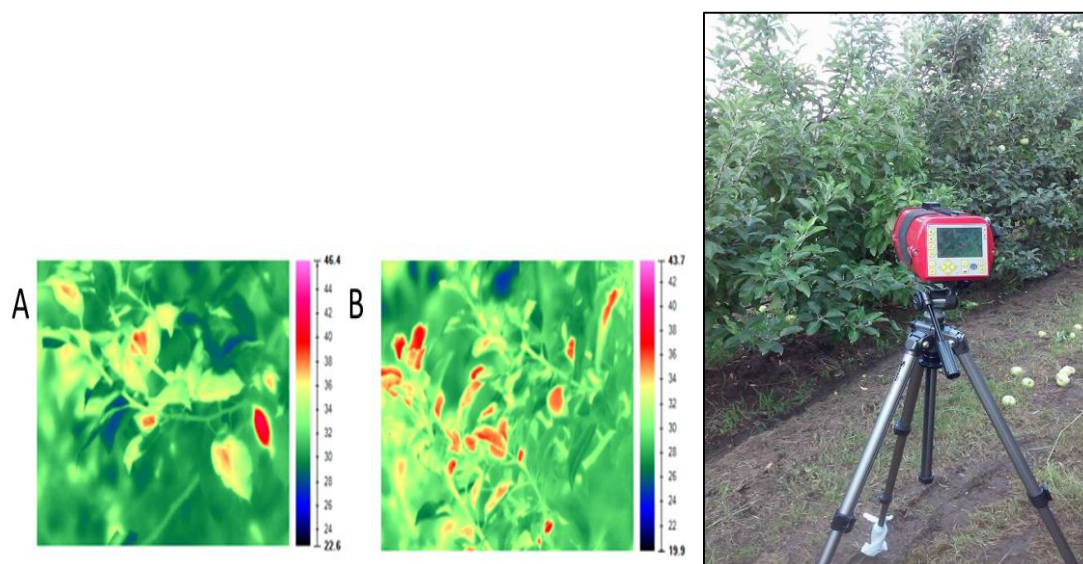
A kutatás során a terepi felmérések 2016-ban, 2019-ben és 2020-ban lettek elvégezve. A terepi méréseket heti szinten végeztem el 9-10 óra között, 2020-ban kéthetente végeztem el a vizsgálatokat 9-14 óra között óránkénti felmérésekkel (1. táblázat). A kutatás során minden terepi felmérés alkalmával Testo 175 H1 típusú mérőműszerrel mértem a hőmérsékletet és a relatív páratartalom alakulását vizsgálva a jéggháló mikroklímára gyakorolt pozitív hatásait. A méréseket a lombkoronában 2 m magasságban végeztem el.

1. táblázat: Terepi felmérési időpontok

Early Gold	Golden Reinders
2016. 07. 20. 9-10 óra	2016. 07. 20. 9-10 óra
2016. 07. 26. 9-10 óra	2016. 07. 26. 9-10 óra
2016. 08. 03. 9-10 óra	2016. 08. 03. 9-10 óra
2016. 08. 18. 9-10 óra	2016. 08. 18. 9-10 óra
-	2019. 07. 04. 9-10 óra
2019. 07. 17. 9-10 óra	2019. 07. 15. 9-10 óra
2019. 07. 23. 9-10 óra	2019. 07. 22. 9-10 óra
2019. 07. 31. 9-10 óra	2019. 07. 30. 9-10 óra
2019. 08. 08. 9-10 óra	2019. 08. 06. 9-10 óra
2019. 08. 13. 9-10 óra	2019. 08. 12. 9-10 óra
2019. 08. 29. 9-10 óra	2019. 08. 28. 9-10 óra
2020. 07. 21. 9-14 óra	2020. 07. 21. 9-14 óra
2020. 08. 04. 9-14 óra	2020. 08. 04. 9-14 óra
2020. 08. 17. 9-14 óra	2020. 08. 17. 9-14 óra

3.4.1. Lombozat hőmérséklet mérési módszertana - termográfiai képalkotás

Optimális vízellátás esetén a lombkorona hőmérséklete közel áll a levegő hőmérsékletének értékéhez, az eltérő értékek pedig a nem megfelelő vízellátást tükrözik (ANDA és LIGETVÁRI, 1991). A termográfiai képalkotás hasznos módszer a különböző növényi tulajdonságok nyomon követésére (JONES, 1999, 2004). Aszályos időszakokban a termés hozam csökken, a minőség romlik és megjelennek a lombkorona vízhiányának a jelei. 14 termográfiai felmérés lett elvégezve a HEXIUM PYROLATER-12 termokamerával 2016-ban. A kamera spektrális érzékenysége 8 μm -tól 14 μm -ig terjed. 15-15 jégárlóval védett és nem védett egyedeken történt a felmérés mind az Early Gold és mind a Golden Reinders almafajta esetében (17. ábra).



17. ábra: Termográfiai felvételek a Golden Reinders fajtáról - A: jégárlóval védett; B: jégárlóval nem védett, C: HEXIUM PYROLATER-12 termokamera

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 mérés az összes kiválasztott fánál egy adott, viszonylag rövid időn belül (1 óra) kulcsfontosságú, mivel, ha az időintervallum meghosszabbodik, a meteorológiai viszonyok jelentősen megváltoznak, befolyásolva a lombkorona hőmérsékletet, ami a mérés heterogenitását fogja eredményezni. A termikus képet előfeldolgoztam, ezáltal csak az almafák lombkorona

értékeit vontam ki a háttérben lévő talaj- és légpixelek eltávolítása érdekében, mely után meghatározható a lombozat átlagos hőmérséklete. A termokamerás felvételek az eszköz meghibásodása miatt csak 2016-ban lettek elvégezve.

3.4.2. Alma lombozat vízpotenciál mérésének módszertana

A termográfiai adatok értékelése mellett a lombozat vízháztartását is nyomon követtem egy Scholander-nyomáskamra elven működő levél vízpotenciáljának mérése alkalmas eszközzel (Pump-Up Chamber, PMS Instrument Company). A levél teljes vízpotenciálja fontos mérőszám a vízáramlás vizsgálatokhoz, mivel szorosan összefügg a turgornyomással, amely elsősorban a növények fiziológiai reakcióját határozza meg. Annak ellenére, hogy viszonylag egyszerű mérési módszer, fontos információkat szolgáltat a növényzet vízzel kapcsolatos állapotáról (JONES és VAUGHAN, 2010). 2019-ben fajtánként 20 egyedet választottam ki, 10 egyedet jégphálóval védett és 10 egyedet jégphálóval nem védett területről, hogy megfigyelhessem a levelek vízpotenciál értékeinek az alakulását. A méréseket hat alkalommal végeztem el 9-10 óra között. 2020-ban 9-14 óra között fajtánként 6 fát választottam ki, 3 egyedet jégphálóval védett és 3 egyedet jégphálóval nem védett területről. A mérési módszertant FULTON el al. (2014) alapján alkalmaztam. Az ép, egészséges és naptól védett levélmintákat zárt, fénytől védett speciális tasakba helyeztem 15 percre, majd a mérés kezdetén a hajtásmintát pengével levágtam a levélnyélnél. A mintákat a nyomókamrába helyeztem a zárt tasakkal együtt, és a folyamatos nyomásnövelés után megmértem a vízpotenciál értékét (18. ábra).



18. ábra: Lombozat vízpotenciáljának mérési módszertanának a menete

3.4.3. Alma lombozat pigmenttartalom mérése spektrofotometriás eljárással

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 almafát jelöltem ki jégpórával 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 kvarcküvetába helyeztem. Az oldat abszorbanciáját SECOMAN Anthelie Light II készülékkel mértem 470, 644 és 663 nm hullámhosszon (19. ábra). A minták klorofilltartalmát DROPPA et al. (2003) által közzétett egyenlet alapján határoztam meg:

$$\text{Klorofill (a + b) } \mu\text{g/g friss tömeg} = (20,2 * A_{644\text{nm}} + 8,02 * A_{663\text{nm}}) * V/w \quad (11)$$

A karotinoid értékeket LICHTENTHALER és WELLBUM (1983) egyenlete alapján határoztam meg:

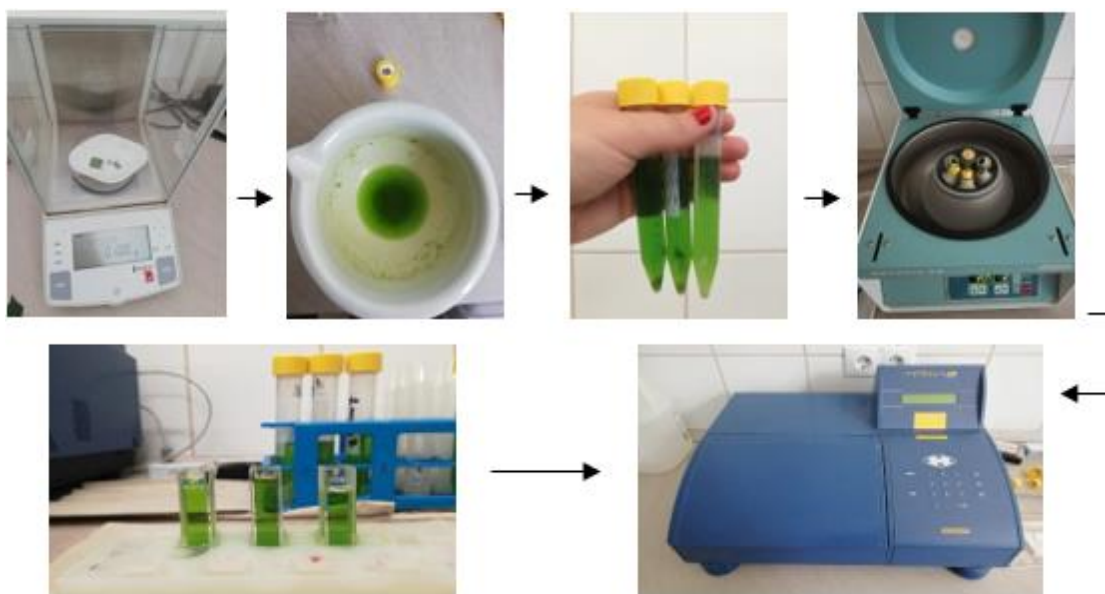
$$\text{Karotinoid } \mu\text{g/g friss tömeg} = (1000 * A_{470\text{nm}} - 3,27 (12,21 * A_{663\text{nm}} - 2,81 * A_{644\text{nm}}) - 104 * (20,13 A_{644\text{nm}} - 5,03 A_{663\text{nm}})) / 229 \quad (12)$$

ahol:

V = a szövetkivonat térfogata (ml)

w = a szövet friss tömege (g)

A = abszorbancia



19. ábra: Lombozat pigmenttartalom mérése spektrofotometriás eljárással

3.4.5. Alma lombozat szárazanyag- és talaj nedvességtartalom mérése gravimetriás eljárással

A mintavétel 9 alkalommal történt 9-10 óra között, a lombozat szárazanyag tartalmát 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, nedvesség tartalmát a levél szárazanyag tartalmához hasonlóan gravimetrikus módszerrel mértem, és tömegszázalékban fejeztem ki.

A lombozat szárazanyag tartalom százalékban kifejezett értékét a következő egyenlet alapján számítottam ki:

$$ns\% = \text{száraz minta tömege} / \text{nedves minta tömege} * 100 \quad (13)$$

A talaj nedvességtartalom százalékban kifejezett értékét a következő egyenlet alapján számítottam ki:

$$ns\% = (\text{nedves minta tömege} - \text{száraz minta tömege}) / \text{száraz minta tömege} * 100 \quad (14)$$

3.4.6. Alma lombozat stressz mérési módszertana

A növényi stressz méréséhez az Fv/Fm értékének meghatározására volt szükségem. A növényi stressz méréséhez az OS30p+ (Opti-Sciences) típusú klorofill fluoriméterét alkalmaztam. Az OS30p + -ot a klorofill-fluoreszcencia mérésre fejlesztették ki, az Fv/Fv, Fv/Fo sötét adaptációs protokollok és az Fv/x teszt felhasználásával. Az Fv/Fm számos előnyt kínál, korrelálnak a szén-asszimilációval a PSII-t befolyásoló növényi stressztípusok során.

Az OS-30p+ automatikusan méri és számítja ki a következő paramétereket:

- Fo: Minimális fluoreszcencia: A fotoszintézis előtti antennák fluoreszcenciája gyenge vörössel modulált fényforrással történő gerjesztéssel mérve. A kapott fluoreszcencia intenzitása elég magas a detektáláshoz, de a gerjesztő fény intenzitása nem elég magas ahhoz, hogy a fotoszintézist előidézze. A Fo bizonyos mértékig változhat, eltérő sötét alkalmazkodási időkkel és fényelőzményekkel. Ha a sötét detektálási időhöz megfelelően alkalmazkodik, az összes elérhető PSII reakcióközpont teljesen oxidálódik, a xantofill ciklus és az állapotátmenetek inaktív állapotba enyhülnek.
- Fm: Maximális fluoreszcencia: A fluoreszcencia intenzitása nagy fényintenzitású telítési vaku expozíciója. Az összes rendelkezésre álló PSII reakció központok redukálódnak és bezáródnak. A telítő fény intenzitásának elég magasnak és elég hosszúnak kell lennie ahhoz, hogy az összes rendelkezésre álló PSII reakcióközpontot teljesen telítse.
- Ft: Fluoreszcencia a t időpontban: A modulációs fényerősség helyes beállításához használt pillanatnyi fluoreszcencia leolvasása.
- Fv/Fm: A változó fluoreszcencia és a maximális fluoreszcencia aránya. Számítva $Fv/Fm = (Fm - Fo) / Fm$. A változó fluoreszcencia (Fv) a PSII változó fluoreszcenciája. Az Fv/Fm egy normalizált paraméter, amelyet a legpontosabban egy modulált fluorométerrel mérnek. Az egészséges növények 0,79-0,84 Fv/Fm-el rendelkeznek (MAXWELL és JOHNSON, 2000). Az alacsonyabb értékek a növényi stresszt jelzik (OS-30P+ CHLOROPHYLL FLUOROMETER MANUAL, 2012).

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 (20. ábra).



20. ábra: Lombozat stressz mérése OS-30p+ műszerrel

3.4.7. Almatermés fizikai paramétereinek mérési módszertana

Az almatermés fizikai paramétereinek a meghatározásához 2022. augusztus 8-án kijelölt jégghálóval védett és nem védett Early Gold és Golden Reinders almafákról történt. Minden kijelölt fáról 1-1,5 m magasságból 20 db termést szedtem, majd szállítottam a DE MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet laboratóriumába, ahol tolómérővel mértem a termések szélességét és magasságát, majd analitikai mérlegen a termés tömegeket határoztam meg. A fizikai paraméterek mérése után a terméseket 60 °C szárítószekrényben termés szárazanyag tartalom meghatározására alkalmaztam (21. ábra).



21. ábra: Alma gyümölcsös szárazanyag tartalom mérése Early Gold és Golden Reinders almafajtáknál

A jéggháló hatása a fenti paraméterekre gyakorolt hatását varianciaanalízissel (Duncan-teszt $SD = 5\%$) elemeztem. A statisztikai kiértékeléshez az R studio agricolae csomagot használtam (MENDIBURU, 2019). Az eredmények normál eloszlását elemeztem Shapiro-Wilk teszttel, amelyből kiderült, hogy minden változó normál eloszlású volt. Ezen kívül Pearson-féle korrelációs elemzést végeztem a vizsgált paraméterek szignifikáns különbségeinek a megállapítására.

3.5. Abiotikus stressz spektrális értékelésének módszertana alma lombozaton

A mintavételt hetente kétszer, 9-10 óra között végeztem 2019. július 7-től augusztus 29-ig. Minden mérési időszakban 30 mintát gyűjtöttem mind a két vizsgált almafajtából (összesen 390 db). A levélminták spektrális adatgyűjtéséhez az AvaSpec 2048 spektrométert használtam 400-1000 nm hullámhossztartományban, 0,6 nm pontossággal. A mérést a spektrométer fehér és sötét referenciához való kalibrálása után a levélmintát a spektrométer megvilágítása alá helyeztem, a méréseket három ismétlésben végeztem el. A mért reflexiók értékeit Excelbe exportálás után rendszereztem a spektrofotométerrel mért klorofill értékek eredményei alapján. A reflexiók értékeit és a relatív szórásértékeket (SD) azonos intervallumokba csoportosítottam. Az eredmények statisztikai elemzését SPSS szoftverrel végeztem. A legnagyobb faktorsúlyú hullámhosszak azonosítására a varimax rotációval végzett PCA-t használtam a klorofill

érzékeny hullámhosszak azonosítására. Miután a PCA eredmények alapján kiválasztottam a klorofill érzékeny hullámhosszakokat a legérzékenyebb, illetve a legkevésbé érzékeny hullámhosszak felhasználásával klorofill becselő modelleket alakítottam ki. A modelleket az adatbázisom 2/3 adataival kalibráltam, a maradék 1/3-ad adataival validáltam. Egyszerű lineáris regresszió módszerét használtam a klorofill becslésére szolgáló modell létrehozására. A regressziós modellek erősségének összehasonlítására determinációs együtthatót (R^2) alkalmaztam. A becselő modellek pontosságának mérésére a RMSE, NRMSE, NSE, MAE és MBE függvényeket alkalmaztam.

az átlagos abszolút hiba (Mean Absolute Error-MAE):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N |\hat{y}_i - y_i| \quad (15)$$

és az átlagos torzítási hiba (Mean Bias Error- MBE):

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i) \quad (16)$$

ahol

y_i : becsült érték;

$\hat{y}_i$: mért érték;

n : a validáláshoz használt minták száma.

A kialakított modellek mellett, összehasonlításképpen már meglévő és a gyakorlatban használt VI-t számoltam. Az NDVI-t és a Red Edge Position (Vörös Él Normalizált Vegetációs Index-REP) indexet, mint a növényi levél visszaverődési spektrumának a vörös és a közeli infravörös hullámhosszak közötti maximális meredekségű pontját figyeltem meg. A Red Edge Normalised Difference Vegetation Index (Vörös Él Normalizált Vegetációs Index-NDVI₇₀₅) a hagyományos NDVI kismértékű módosítása, és a nagy spektrális felbontású reflexiós adatok (POTTER et al., 2012) felhasználására használják. A hagyományos NDVI-al ellentétben az NDVI₇₀₅ egy keskenyebb hullámsávot vesz figyelembe a klorofill abszorpciós jellemző szélén (pl. 705 nm), nem

pedig a közepén (SIMS és GAMON, 2002; MORONI et al., 2013). Az NDVI₇₀₅-re az NDVI-hez képest nagyobb hatással van a klorofilltartalom, és gyakori alkalmazásai közé tartozik a precíziós mezőgazdaság, az erdőfigyelés, az erdőtüzek és a vegetációs stressz kimutatása (CUNDILL et al., 2015). A Modified Red Edge Simple Ratio Index (Módosított Egyszerű Arány Index) a szélessávú egyszerű arány (SR) módosítása. A vörös perem sávjait használja, és a levelek tükör reflexiójának korrekcióját tartalmazza. Alkalmazásai közé tartozik a precíziós mezőgazdaság, az erdőfelügyelet és a vegetációs stressz kimutatása. A Photochemical Reflectance Index (Fotokémiai Reflektancia Index-PRI) érzékeny az élő lombzatban lévő karotinoid pigmentek változásaira. A karotinoid pigmentek a fotoszintetikus fényhasznosítási hatékonyságot, vagyis a lombzat által az egységnyi elnyelt energiára jutó szén-dioxid felvétel mértékét jelzik. Mint ilyet, a növényzet termelékenységének és stresszének vizsgálatában használják. Mivel a PRI a növények stresszre adott válaszait méri, műholdas adatokkal vagy más távérzékelési formákkal az ökoszisztéma általános állapotának értékelésére is használható. A Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index (Módosított klorofill-abszorpciós arányindex-MCARI) a levél klorofill koncentrációjára és a talajvisszaverődésre reagál. Általában a magas MCARI értékek alacsony levél klorofilltartalomra utalnak, NDVI-al vagy a LAI-vel együtt kell értelmezni (NAGLER et al., 2000) (2. táblázat).

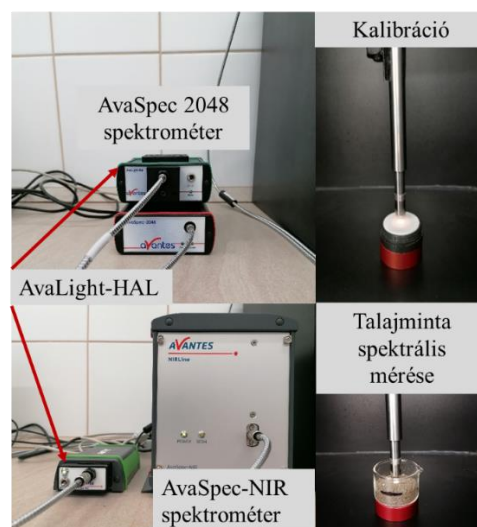
2. táblázat: Vizsgált indexek összegzése

Index neve	Index képlete
Normalized Difference Vegetation Index (Normalizált Vegetációs Index)	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$
Red Edge Position (Vörös Él Pozíció)	$700 + 40 \frac{(\lambda_{670} + \lambda_{780})/2 - \lambda_{700}}{\lambda_{740} - \lambda_{700}}$
Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (Vörös Él Normalizált Vegetációs Index)	$\frac{\lambda_{750} - \lambda_{705}}{\lambda_{750} + \lambda_{705}}$
Modified Red Edge Simple Ratio Index (Módosított Egyszerű Arány Index)	$\frac{\lambda_{750} - \lambda_{445}}{\lambda_{705} + \lambda_{445}}$
Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (Módosított Vörös Él Normalizált Vegetációs Index)	$\frac{\lambda_{750} - \lambda_{705}}{\lambda_{750} + \lambda_{705} - 2\lambda_{445}}$
Photochemical Reflectance Index (Fotokémiai Reflektancia Index)	$\frac{\lambda_{531} - \lambda_{570}}{\lambda_{531} + \lambda_{570}}$
Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index (Módosított klorofill-abszorpciós arányindex)	$[(\lambda_{700} - \lambda_{670}) - 0,2(\lambda_{700} - \lambda_{550})] * \left(\frac{\lambda_{700}}{\lambda_{670}}\right)$

3.6. Talaj szervesanyag tartalmának spektrális becslési módszertana

3.6.1. Talajminta előkészítése és mérési módszertana

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 MEZŐSI, (2016) talajtérképe alapján. A mintákat a vegetációs időszak előtti szántóföldekről véletlenszerűen gyűjtöttem, mely során egy minta 5 minta átlagát eredményezte. A validálásra szánt mintákat véletlenszerűen választottam ki az egyes talajtípusokból. A talaj szerves széntartalmát a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karának (MÉK) az Agrárműszerközpontjában végezték el Walkley-Black módszerrel. A spektrális profilokat 400-2500 nm közötti két külön laboratóriumi spektrométerrel mértem a Debreceni Egyetem MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet laboratóriumában. Az AvaSpec 2048 spektrométert használtam a 400-1000 nm-es hullámhossztartományban 0,6 nm-es spektrális felbontással, az AvaSpec-NIR spektrométert pedig az 1000-2500 nm-es hullámhossztartományban 5 nm-es spektrális felbontással. A mérési folyamat mindkét spektrométerrel hasonló volt. A rendszer egy spektrométerből, egy AvaLight-HAL halogén fényforrásból és egy speciális, szabadalmaztatott mintavevő dobozból áll, amely a méréseket sötétben végzi. A minta és az érzékelő közötti egyenlő, 5 mm-es távolságot használtam a homogén mérések biztosítása érdekében három ismételtsben 22. ábra).



22. ábra: Talajminták spektrális mérési módszertana

A SOC százalékos arányának pontos becsléséhez fontos a talajminták megfelelő előkészítése mind a spektrális elemzésekhez, mind az azonos típusú talajmintákhoz (LUDWIG et al., 2002; VAN WAES et al., 2005; BRUNET et al., 2007; CROFT et al., 2012). A talajmintákat 105°C-on szárítottam, majd 0,25 mm alatti méretfrakcióra szitáltam, hogy kizárjam a durva és közepesen finom homokot, mivel ez a frakció nem tartalmaz SOC-ot (GUILLOU et al., 2015; TERRA et al., 2015; SHI et al., 2015; NAWAR et al., 2016). Minél kisebb a talajszemcse, annál nagyobb a felülete és annál nagyobb a spektrális reflexiók tényezője (BANNINGER és FLUHLER, 2004), ami fokozhatja a talaj reflexiók értékeiben bekövetkező változásokat. Azok a NIRS-kalibrációk, amelyeket nem validáltak független mintákkal, vagy amelyeket nem használtak fel a kalibrációs eljárás során, általában kevésbé megbízhatóak (BRUNET et al., 2007; NDUWAMUNGU et al., 2009). Az 560, 750, 760, 1000, 1100, 1600, 1400, 1700, 1800, 1900, 2000, 2200 és 2400 nm VIS-NIR sávok több tanulmányban is relevánsnak bizonyultak a SOC becsléséhez (LAAMRANI et al., 2019).

A NIRS kalibrációja GE et al., (2007) alapján történt:

- I. Laboratóriumban meghatározták a célzott talajkomponensek koncentrációját, majd megállapítottam a spektroszkópiai reflexiójukat.
- II. Előkezelés, amelynek során a spektroszkópiai reflexiót előfeldolgoztam.
- III. Kalibrálás, amelynek során a minták egy részhalmazát regressziós modellek kidolgozására használtam fel.
- IV. Validálás, amelynek során a fennmaradó mintákat a regressziós modellek érvényességének értékelésére használtam fel.

3.6.2. Talaj szervesanyag tartalmának spektrális alapú becslési modelljeinek kialakítása

A spektrális indexek meghatározása a talajok monitorozásában és távérzékelési vizsgálatokban bevett gyakorlat (NAGY et al., 2014; BABAEIAN et al., 2019; MOHAMED et al., 2020; BÉNI et al., 2021). Az eredmények statisztikai elemzését SPSS szoftverrel végeztem. A legnagyobb faktorsúlyú hullámhosszak azonosítására a varimax rotációval végzett PCA-t használtam a SOC érzékeny hullámhosszak azonosítására. A varimax egy ortogonális rotációs módszer, amelyet hihetetlenül magas vagy jelentősen alacsonyabb faktorterhelések létrehozására használnak, így az egyes objektumok sokkal

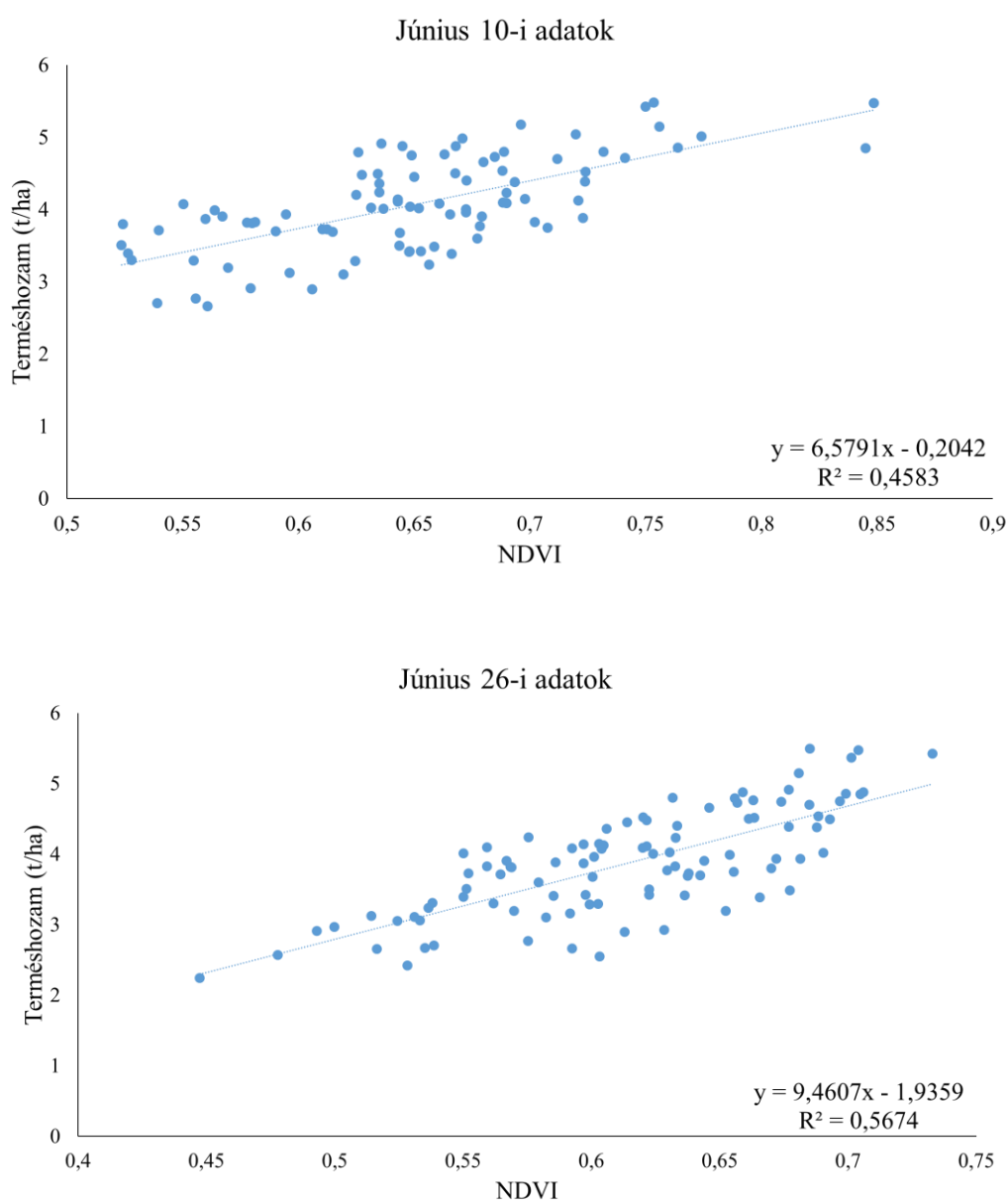
könnyebben rendelhetőek egyetlen faktorhoz (ALLEN, 2017). A PCA mellett a spektrális jellemzők szórásait (SD) is megvizsgáltam ahhoz, hogy kiválasszam azokat a hullámhosszakat, ahol az eltérések a legnagyobbak, ami a SOC potenciális változékonyságára utal. Miután a PCA és az SD eredmények alapján kiválasztottam a SOC-érzékeny hullámhosszakat a 400-1000 nm és 1000-2500 nm-es tartományban, a spektrális indexeket a legérzékenyebb, illetve a legkevésbé érzékeny hullámhosszak felhasználásával határoztam meg.

Egyszerű lineáris regresszió módszerét használtam a SOC becslésére szolgáló modell létrehozására 60 minta alapján, a kialakult modellek validálásához 30 talajmintát használtam. A regressziós modellek erősségének összehasonlítására determinációs együtthatót (R^2), a SOC becselő modellek pontosságának mérésére az RMSE, NRMSE és NSE függvényeket alkalmaztam.

4. EREDMÉNYEK

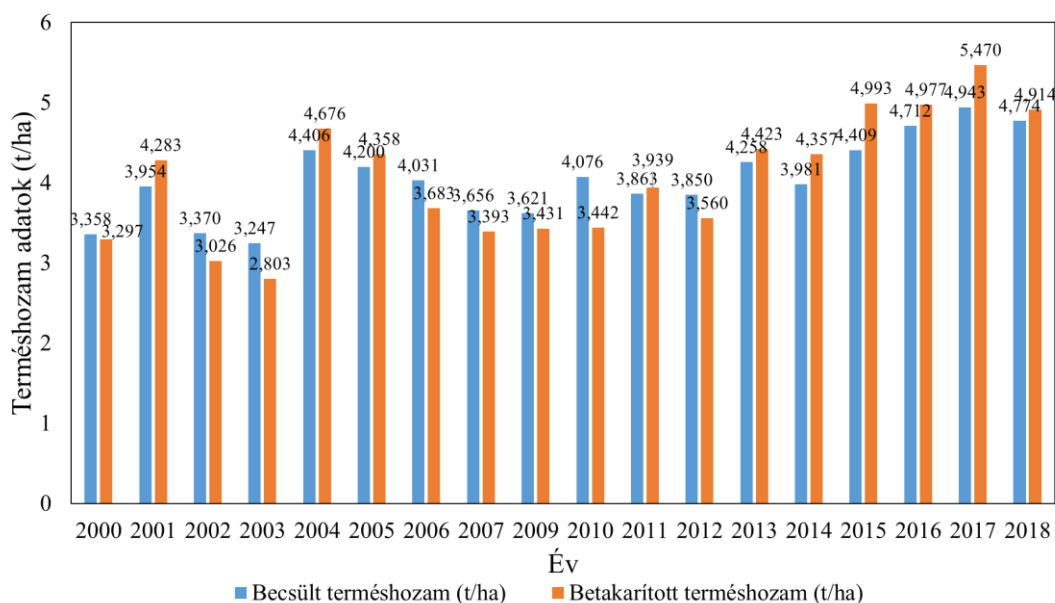
4.1. Terméshozam becslése MODIS NDVI idősoros adatok alapján

A búza termésbecslését a betakarított terméshozamok és a MODIS NDVI adataiból származtatott idősorának a regressziójával végeztem el. A lineáris regresszió értékeit 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 $R^2 = 0,567$ értéket adott. A determinációs együttható értékei közepesen erős értéket adnak a további kiértékelés folytatásához (23. ábra).



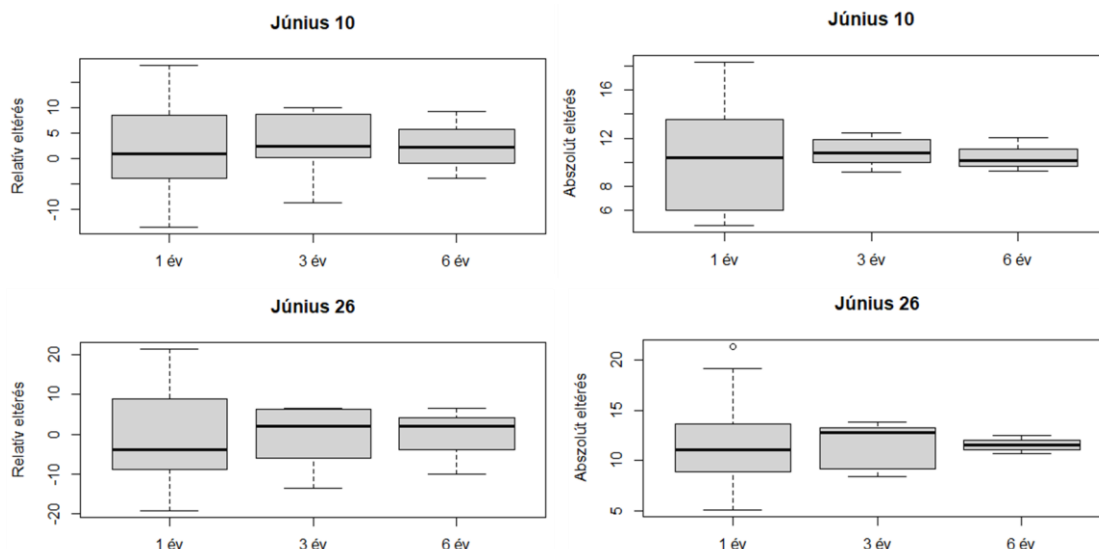
23. ábra: Termésbecslő modellek

A regressziós egyenletek számításával kapott június 10-i és június 26-i értékeket átlagolva összevettem a KSH által megadott hozamértékekkel. A becült értékek közel azonos eredményeket adtak, a legnagyobb eltérést 2004-ben és 2017-ben figyeltem meg (24. ábra).



24. ábra: Vizsgált 7 megye terméshozam adatai

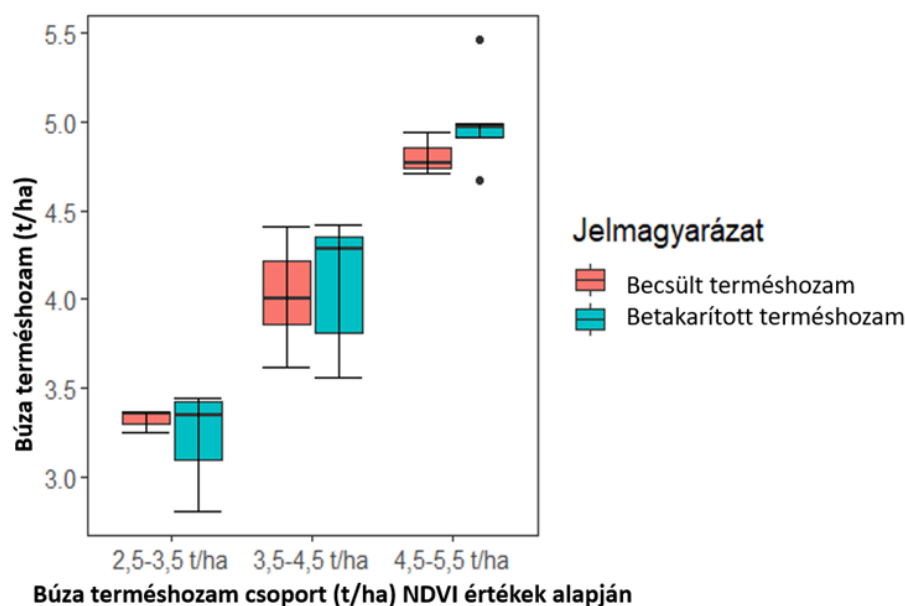
A becült érték valós értéktől való átlag relatív és abszolút eltérések értékeit felhasználva vizsgáltam a becült hozam és a betakarított hozamértékek közötti összefüggéseket 1, 3 és 6 éves időintervallumba az összes vizsgált évre és megyére. A becült érték valós értéktől való 1 éves átlag relatív eltérése június 10-én 1,951 %, abszolút eltérés értéke 10,58 %. A becült érték valós értéktől való relatív 3 éves átlag eltérése 2,455 %, abszolút eltérés értéke 10,85 % volt. A 6 éves becült 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 becült érték valós értéktől való relatív átlag eltérés értéke -0,722 %, abszolút eltérés értéke 11,79 %, a 3 éves becült érték valós értéktől való relatív átlag eltérés értéke -0,476 %, míg az abszolút eltérés értéke 11,73 % lett. A 6 éves becült érték valós értéktől való relatív átlag eltérésére -0,471 %-ot, abszolút eltérés során pedig 11,58 %-t kaptam (25. ábra). 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).



25. ábra: Becsült érték valós értéktől való relatív és abszolút eltérése

2000-2018-ig a vizsgált 7 megyére vonatkozó becslő 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 összes év 7 vizsgált megyére vonatkozó becslő RMSE hiba értékeiből RMSE/év értékeket számoltam, melyekből a valós terméshozam adataival RMSE/termés % értékeket állapítottam meg. Június 10-re az RMSE/év átlagosan 0,444 t/ha értéket, június 26-ra 0,484 t/ha eltérés értéket mutattak. Az RMSE/termés % átlagosan 11,03 %-os eltérés értéket mutattak június 10-én és 12,15% értéket adott június 26-án. 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.

A csoportosított értékek eredményeképpen a becsült terméshozamok eloszlása összehasonlíthatóvá vált a betakarított és a becsült adatok eloszlásával. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a magasabb termésértékeket alulbecsülték. A becsült és a betakarított termésértékek közötti különbség átlagosan 0,017 t/ha volt (26. ábra).



• kiugró értékek

26. ábra: A betakarított és a becsült hozam közötti különbségek a búza hozamtartományain belül

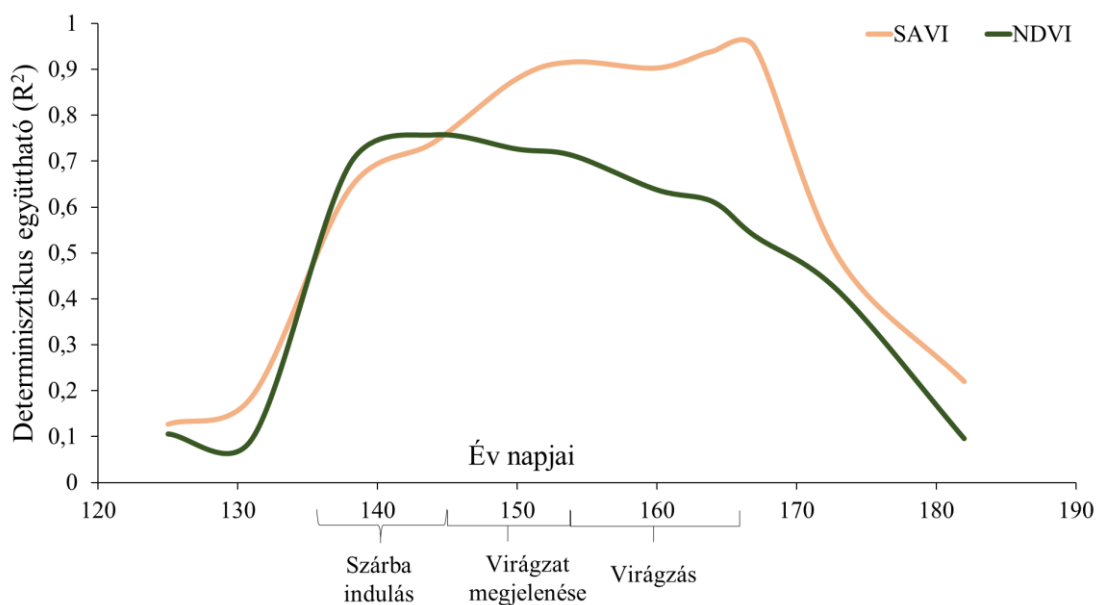
NAGY et al. (2018) kutatásuk során a búzatermés a bejelentett termésértékek és 15 különböző csúcsidőszakra vonatkozó MODIS NDVI idősoros adat regressziójával határozták meg. A legalacsonyabb RMSE értékeket a vízgyűjtő szintjén a búzatermés becslés, illetve a betakarított terméshozam esetében akkor találták, ha legalább 6 vagy több évnnyi képzési adatot használtak fel. A 2000 és 2015 közötti termesztési időszakokra vonatkozó búzatermés becslése 0,82%-on, illetve 19,08%-on belül volt a betakarított termésértékekhez képest. Az NSE pozitív, $NSE = 0,322$ a búza termésbecslése esetében, ami azt jelenti, hogy a kifejlesztett és értékelt becselő módszer elfogadható hatékonysággal működik. Ehhez képest a jelen tanulmány során tovább fejlesztett búza termésbecslő modell erősebb $NSE = 0,799$ hatékonysággal működik. MEDINA et al. (2021) kutatásuk során a kukoricatermés pontos becselő módszertanát dolgozták ki az Egyesült Államok öt termelő államára MODIS alapú idősoros képek alapján. Munkájukban a saját kutatásomhoz hasonlóan NDVI-t alkalmaztak, ezen felül EVI, LAI és FPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetic Active Radiation) alapú becselő módszertanokat is megvizsgálták. Lineáris regressziós modelleket alkalmaztak, és mind a megyei, mind az állami szintű becsléső értékeket a százalékos hiba, az átlagos abszolút százalékos hiba és a determinációs együtthatóval értékelték. REN et al. (2021)

munkájukban az őszi búza vetésterületének nyomon követésére és terméshozam modellezésére MODIS műholdas képeket használtak a kínai Huang-Huai-Hai-síkságon. Az eredményeik azt mutatták, hogy az őszi búza bevetett területének becsült pontossága 96,5% volt 2001 és 2016 között. A termésmodellezés tekintetében a becsült termés és a statisztikai adatok közötti R^2 mindegyike magasabb volt, mint 0,86, melyek a jelen kutatás eredményeihez képest erősebb összefüggést mutattak. A relatív hibák értékei a jelen kutatáshoz hasonlóan kevesebb, mint 5% voltak. PANEK és GOZDOWSKI (2021) kutatásuk során a MODIS műholdas adatok alapján kapott NDVI értékeket és az összes gabonaféle, a búza és az árpa szemtermése közötti kapcsolatokat elemezték 2010-2018 között 20 olyan európai országra vonatkozóan, ahol a gabonafélék aránya magas. Az elemzést minden országra külön-külön és az összes összegyűjtött adatra együttesen végezték el. Az NDVI és a kumulatív NDVI (cNDVI) közötti kapcsolatokat lineáris regresszióval elemezték a jelen tanulmányhoz hasonlóan. Eredményeik alapján a kora tavaszi NDVI és a gabonafélék szemtermése közötti kapcsolat nagyon erős volt Horvátország, Csehország, Németország, Magyarország, Lettország, Litvánia, Lengyelország, Lettország, Lengyelország és Szlovákia esetében. Ez azt jelenti, hogy a terméshozambecslés ezekben az országokban akár 4 hónappal a betakarítás előtt már lehetséges, míg a saját eredményeim alapján 4 héttel korábbi adatok elérése lehetséges. Az NDVI kora tavaszi növekedése a szemtermés kb. 0,5-1,6 t/ha-os növekedésével függött össze. Az átlagolt NDVI kumulatív értéke stabilabb becslő értéket ad a szemtermés szezonkénti alakulására.

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

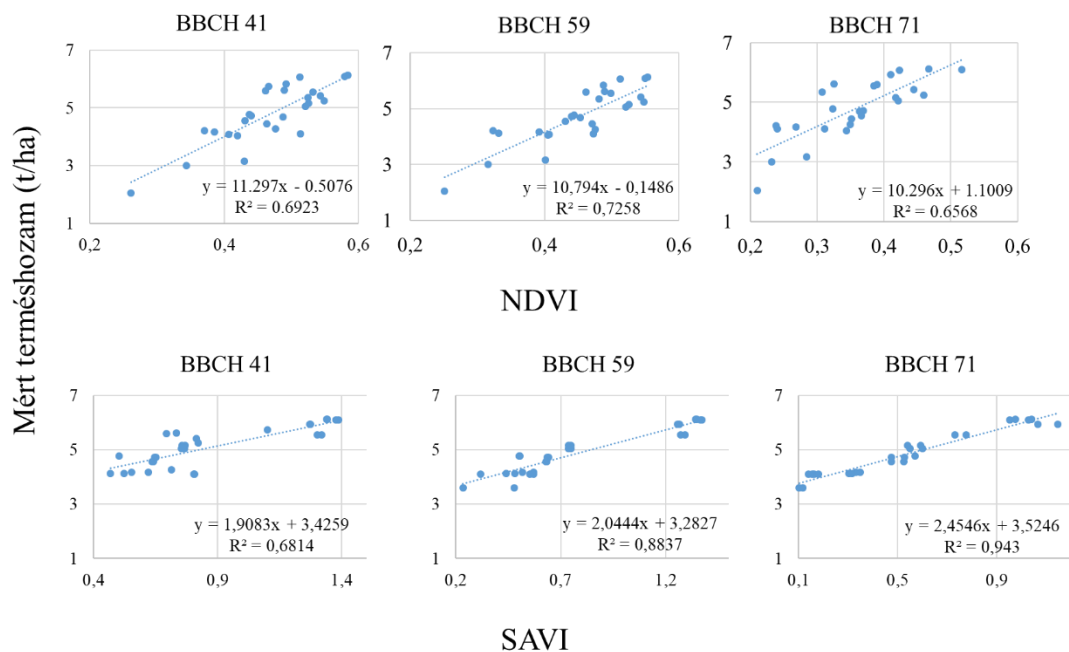
A búza termésbecslését a betakarított termésértékek és a Landsat 8-ról származtatott 6 különböző csúcsidőszak NDVI és SAVI idősorának a regressziójával végeztem el. A Landsat 8 adataiból származtatott vegetációs indexeket alkalmaztam és teszteltem a búza termésbecslés és előrejelzés előállítására. A 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 csúcserkéket (NDVI: $0,461 \pm 0,077$; SAVI: $0,837 \pm 0,338$). Ezt az időszakot követően a vegetációs indexek a betakarításig enyhén csökkenni kezdtek (BOKEN és SHAYKEWICH, 2002; BASNYAT et al., 2004;

BECKER-RESHEF et al., 2010; REMBOLD et al., 2013) 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. Az NDVI és a SAVI-ból származtatott modellek közötti különbség szerint az NDVI a fejedési szakasz elején, míg a SAVI a virágzás és a korai érés szakaszában teljesítette a maximális regressziós együtthatókat ($R^2=0,757$). Továbbá 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 (27. ábra).



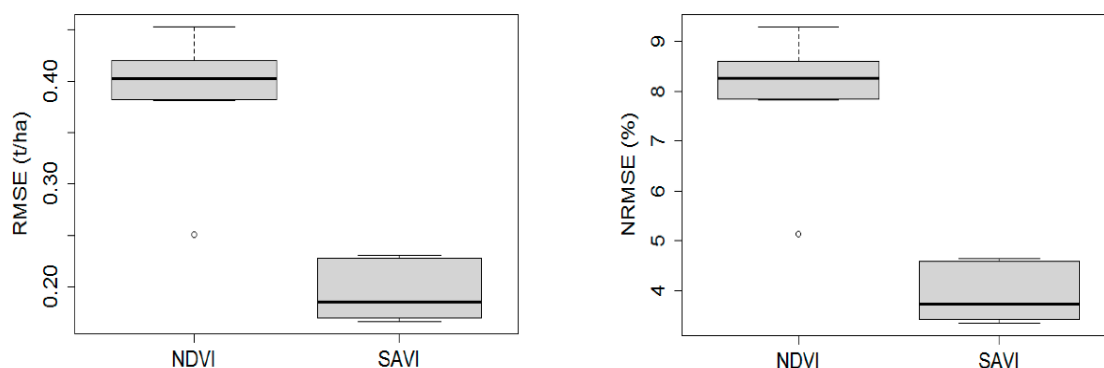
27. ábra: A betakarított és a becsült búzatermés meghatározási együtthatói egy adott időpontban

A meghatározott termésbecslő algoritmusok jobb megismerése érdekében a regresszióelemzés eredményeit választottam az NDVI és SAVI alapú modellek jellemzőinek értelmezéséhez a BBCH 41, BBCH 59 és BBCH 71 szakaszokban. A modellek a búza különböző fenológiai stádiumaiban gyors korai termés meghatározást tesznek lehetővé (28. ábra).



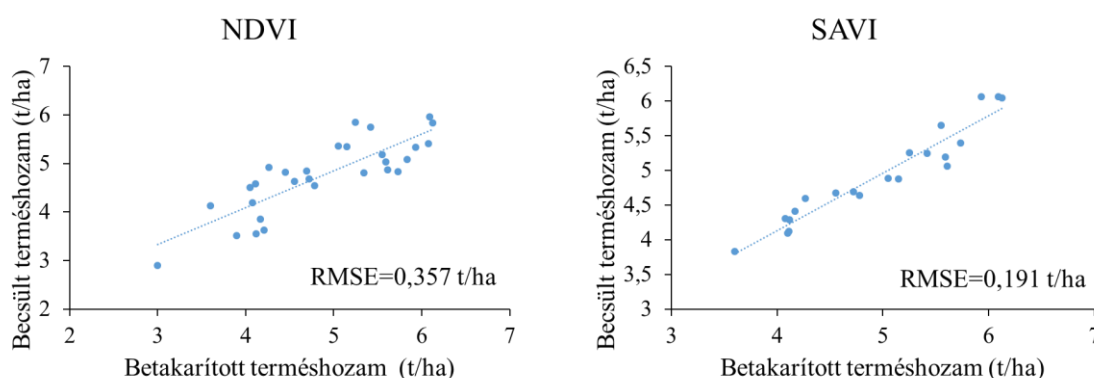
28. ábra: Terméshozam becslő algoritmusok, NDVI és SAVI modellek

Az NDVI és a SAVI teljesítményét a búza terméshozamának becsléséhez 6 év adatai alapján számítottam ki a búza legérzékenyebb időszakában (május és június eleje). 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 becslő eredményeket összehasonlítottam a hivatalosan betakarított termésértékekkel, majd kiszámoltam az RMSE, NRMSE, az abszolút és a relatív százalékos különbség eltérés értékeket a becslő és a betakarított terméshozam értékek között. 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 becslő 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 becslő értékek pontossága 0,177-0,239 t/ha (3,347-4,646%) között változott, ami a becslő modellek jobb teljesítményét mutatja (29. ábra).



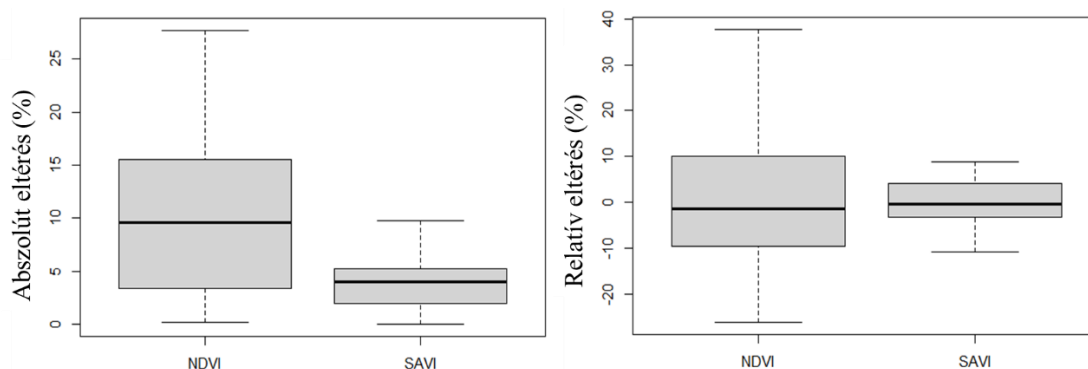
29. ábra: NDVI és SAVI RMSE és NRMSE értékei

A VI alapú becslő modellek általános pontosságának értékelése érdekében a teljes, legérzékenyebb időszakokra becsült 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%) (30. ábra).



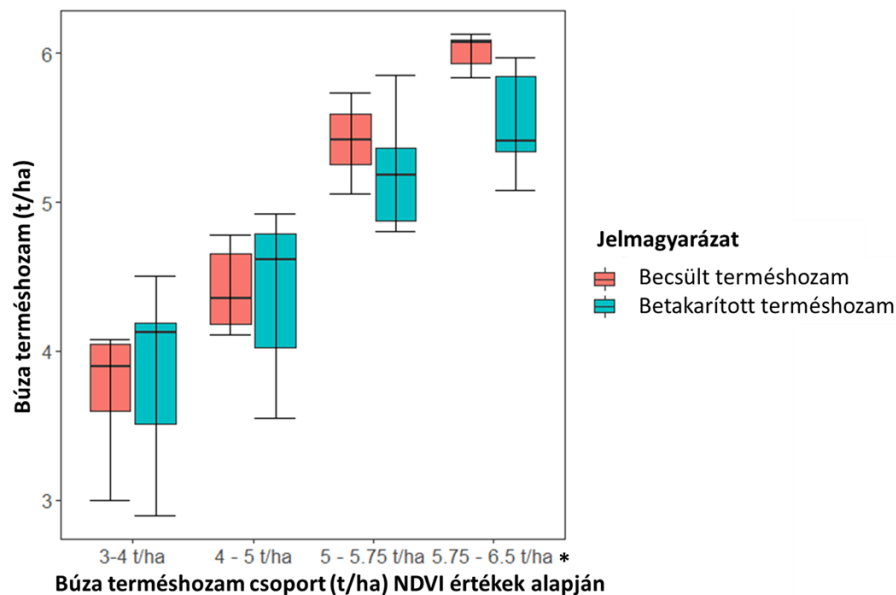
30. ábra: NDVI és SAVI indexen alapuló becslések pontossága

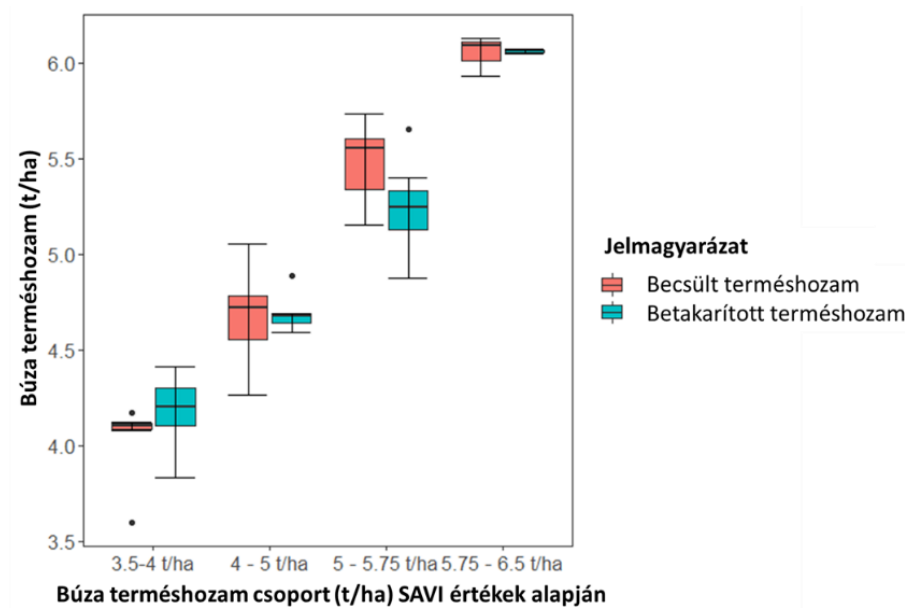
Az átlagos relatív eltérés (-1,072%) alapján az NDVI alul becsülte a betakarított termésértékeket. A SAVI alapú becslések kisebb, de pozitív eltérést (0,466%) mutattak a betakarított értékekhez képest. A becsült és a betakarított termésadatok közötti átlagos abszolút eltérés is nagyobb volt az NDVI alapú becslés esetében (kb. 8,515%), szemben a SAVI alapú 4,132%-os abszolút eltérés értékével (31. ábra). 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).



31. ábra: Abszolút és relatív eltérési értékek a hivatalosan bejelentett búzatermés hozamokból

A csoportosított értékek eredményeképpen a becült terméshozamok eloszlása összehasonlíthatóvá vált a valós és a betakarított adatok eloszlásával. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy az NDVI esetében a magasabb termésértékeket felülbecsülték. A becült és a betakarított termésértékek közötti különbség átlagosan 0,551 t/ha volt. A SAVI esetében nem volt jelentős különbség a betakarított és a becült értékek között (32. ábra).





*terméshozam tartomány, amelyben szignifikáns különbség volt a betakarított és a becsült termésadatok között ($p < 0,05$)

• kiugró érték

32. ábra: A betakarított és a becsült hozam közötti különbségek az NDVI és a SAVI esetében a búza hozamtartományain belül

Számos tanulmány (REMBOLD et al., 2013; MARTIET al., 2007; LABUS et al., 2002; MKHABELA et al., 2011; BAI et al., 2019; YOUSFI et al., 2016) bizonyította a műholdas vegetációs indexek felhasználásának létjogosultságát búza terméshozam becsléséhez. Ezekkel a korábbi tanulmányokkal összhangban a jelenlegi eredmények azt mutatták, hogy a VI-k és a végső terméshozamok között szignifikáns összefüggések vannak, és a búza fejedési szakaszában a legmagasabb NDVI értékekkel rendelkező csúcsidőszak határozható meg a legalkalmasabbnak. Az NDVI és a SAVI-ból származtatott modellek validálása jól teljesített a búza előrejelzésében. Az NDVI alapú becselő modell pontossága 0,36 t/ha (7,33%) volt, mely eredmény összhangban van RUDORFF és BATISTA (1991) tanulmányaival, akik Brazíliában a Landsat műhold használatával 0,37-0,44 t/ha pontossággal becsülték a búza termését gazdasági szinten. Az NDVI-al ellentétben a SAVI alapú becslés minden terméstartományban homogén, és a SAVI alapú becselő modell az NDVI-hez képest jobb pontossággal rendelkezett: 0,191 t/ha (3,86%). MULLER et al. (2020) szintén azt találta, hogy a SAVI valamivel nagyobb pontosságot ért el, mint az NDVI, ami arra utal, hogy a SAVI csökkentette a talaj

háttérviszszaverődés bizonyos hatásait. LIAQAT et al. (2017) leírták, hogy a SAVI-ból származtatott modellek jobban teljesítettek a búzatermés becslésében, mint az NDVI és az EVI. Az eredmények azt mutatták, hogy a SAVI hozta a legpontosabb eredményeket a LAI becslésére (MOKHTARI et al., 2018).

Összességében a közepes és nagy térbeli felbontású távérzékelési képek, mint például a Landsat 8 képek jelentős potenciállal rendelkeznek a búzatermés becslésében, és a SAVI pontosabb becsülő indexe a búzatermésnek, mint az NDVI.

4.3. Öntözővíz kijuttatás vizsgálata új átfordulós lineár öntözőberendezéssel

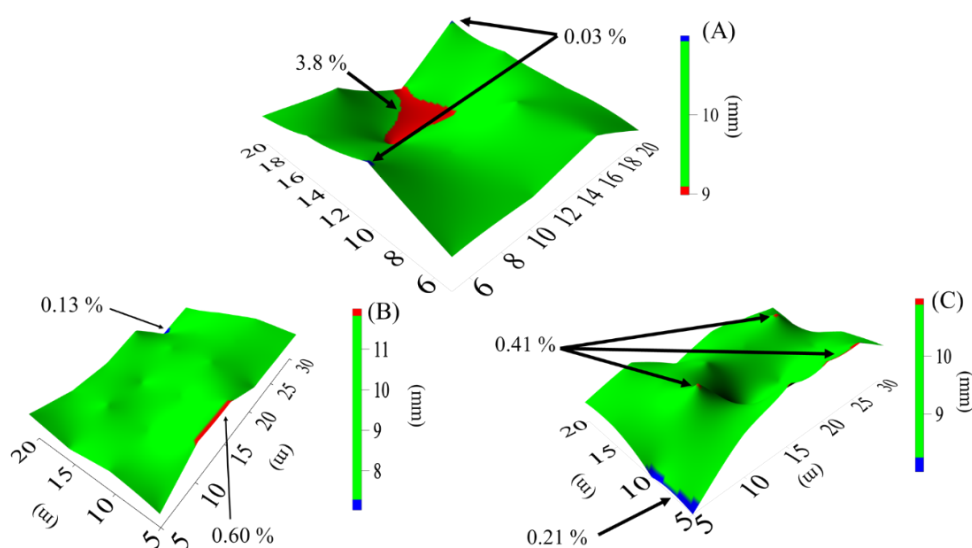
4.3.1. Állandó öntözési sebességű gazdálkodási zóna vízkijuttatásának értékelése

A 3. táblázat a CV, CUC és DU öntözővíz kijuttatás mennyiségére, valamint a túl- és alulöntözés jellemzőire vonatkozó öntözési tesztek kombinált eredményeit ismerteti egy modellgazdálkodási övezetben, állandó öntözési ráta mellett. A vízgyűjtő edényekben összegyűjtött öntözővíz átlagos mennyisége $10,03 \pm 0,641$ mm volt, a CUC%, DU% és CV% 95,25%, 90,97%, illetve 6,435% volt az első mérésnél, ami jó öntözési homogenitásra utal. A mért CUC% és DU% értékek kissé alacsonyabbak voltak a szimulált értékeknél, ami minden bizonnyal a környezet (párolgás, hőmérséklet és relatív páratartalom stb.) valós körülmények közötti hatásának tudható be. Az alulöntözött terület $8,555 \text{ m}^2$ volt, ami a teljes öntözött terület 3,810%-a, míg a túlöntözött terület mindössze $0,007 \text{ m}^2$ volt, ami a teljes terület 0,030%-a felfogott öntözővíz térbeli elemzése alapján. A következő mérés során az átlagos felfogott öntözővíz $9,692 \pm 1,065$ mm volt, és az egyenletességi együtthatók az első méréshez képest kissé alacsonyabbak voltak, de még mindig homogén vízeloszlást jeleztek (CUC=92,10%, DU=87,74%, CV=10,96%). Az alulöntözés aránya mindössze 0,131% volt, ami a vizsgálati terület $0,485 \text{ m}^2$ -ét érintette, míg a túlöntözött terület $2,244 \text{ m}^2$ volt, ami 0,601%-ot jelentett. A harmadik mérés során $9,757 \pm 0,945$ mm felfogott öntözővíz mennyiséget figyeltem meg, az egyenletességi értékek hasonló jellemzőket mutattak, mint az előző mérés során (CUC=92,31%, DU=87,18% és CV= 9,681%). Az alul- és túlöntözés is elhanyagolható volt: az öntözött vizsgálati terület 0,211%-a ($0,795 \text{ m}^2$) volt alulöntözött, és 0,414%-a ($1,523 \text{ m}^2$) volt túlöntözött (33. ábra).

Összefoglalva az eredményeket, valamennyi vizsgálat azt bizonyította, hogy az állandó sebességű öntözés egyenletes és homogén volt a modellezett gazdálkodási zónában, 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 szelet mértem, ami magyarázatot adhat a CUc% és DU% alacsonyabb értékeire.

3. 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)	Túllöntözési %
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



33. ábra: Az alul- és túllöntözött területek megoszlása az első (A), a második (B) és a harmadik (C) mérési időpontban

FARIA et al., (2016) tizenhat szántóföldi kísérletben vizsgáltak egy lineár öntözőrendszert, melyet rizs öntözésére alkalmaztak. A csapadékmérő edényeket 70 cm magasságban, két sorban, a lineár öntözőrendszerrel párhuzamos 5 m-es távolságban helyezték el. A CUC 85,00% és 93,86% között változott a 16 szántóföldi kísérlet során, a DU pedig 76,41% és 89,26% között mozgott, ami hasonló vagy kissé rosszabb eredményeket adott, mint ebben a vizsgálatban. SZABÓ et al. (2021) szintén hagyományos lineáris szórófejekkel végzett vizsgálatokat, ahol az öntözés egyenletessége sokkal alacsonyabb CUC% 75,43% és DU% 74,14% volt. Ebben az esetben a rossz egyenletesség a karbantartás hiányának és a szórófejek eltömődésének tudható be. Továbbá az alulöntözött terület a teljes öntözött terület 20,5%-a, a túlöntözött rész pedig a teljes terület 3,3%-a volt. Ezzel szemben a jelen eredmények kiemelésében az alul- és túlöntözés csökkenthető a VRI használatával.

A vizsgálatok során kapott MAE értékek alacsonyak voltak, 0,475-0,691 mm között, az MBE szintén alacsony, -0,031-0,310 mm között, míg az NRMSE 6,235-11,32% között mozgott, ami megfelelő a kijuttatott vízmennyiséghez. Az első mérésünk során a mutatók kis öntözési eltéréseket mutattak (MAE= 0,475 mm, MBE= -0,031 és NRMSE= 6,235%). A negatív MBE érték azt jelezte, hogy a kijuttatott vízmennyiség kisebb volt a kijuttatott öntözővíz mennyiségénél. A második és harmadik mérésnél nagyobb eltérések voltak megfigyelhetők az elsőhöz képest, a legnagyobb eltérés a második mérési időpontban volt, MAE= 0,691 mm, MBE= 0,310 mm és NRMSE= 11,32% (4. táblázat).

4. táblázat: A rácshálós kísérlet öntözési pontosság eredményei

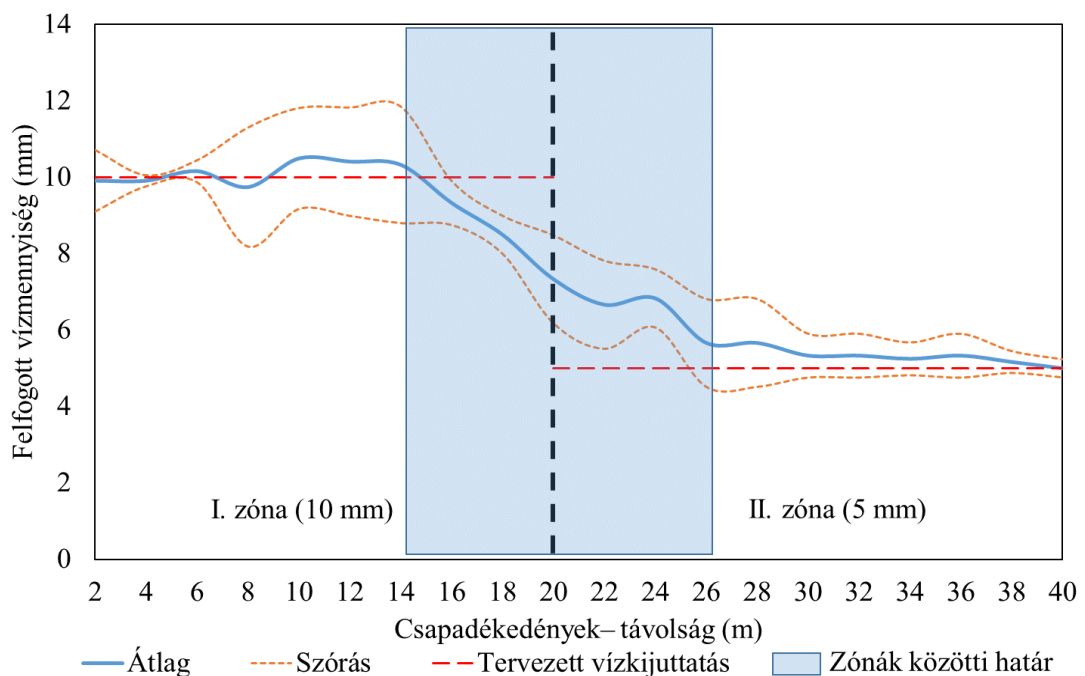
	MAE (mm)	MBE (mm)	NRMSE (%)
Első mérés	0,475	-0,031	6,235
Második mérés	0,691	0,310	11,32
Harmadik mérés	0,679	0,255	8,112

YARI et al., (2017) egy center pivot öntözőberendezést vizsgáltak 3 különböző vízmennyiség beállítással. A mért és az előírt vízmennyiségek közötti átlagos NRMSE 21%, 38% és 34% volt, és az MBE értékek 1,12 és 9,62 mm között mozogtak minden vízleadási kezelésnél. Jelen tanulmányban jobb NRMSE és alacsonyabb MBE értékeket kaptam, amely a különböző időjárási körülményekre vezethető vissza. Ezzel szemben HUI et al., (2022) magas pontossági értékeket mértek: 16,9-32,7% NRMSE, 1,4-3,6 mm

MBE, 2,4-5,3 mm MAE állandó sebességű öntözés esetén szélszemes időjárási körülmények között. Ebben az esetben a jelen tanulmányhoz képest magasabb értékek leginkább a különböző szórófejek használatával magyarázhatók.

4.3.2. 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 meghatározza, 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 az öntözőgépek kijuttatási sugarának köszönhető, amely 12 m körüli volt. A mérési zónák közötti meghatározott határok is rávilágítanak arra, hogy a zónák közötti határok átmeneti hatását figyelembe véve egy kezelési zóna hosszirányú hosszának 12 m-nél nagyobbnak kell lennie (34. ábra).



34. ábra: Az öntözési zónák közötti átmenet értékelése

TAKÁCS et al., (2018) munkájában a menetirányra merőleges két mérővonalat használt, és mérte a 0-100%-os és az 50-100%-os átmenetet. Ebben a két esetben mind a 0-100%-os, mind az 50-100%-os vonalakon azt mutatták, hogy a gazdálkodási zónák közötti határok 9 m-en belül megszűnnek, így az átmeneti sávok szélességét figyelembe véve átlagosan 9 m-rel kell számolni az öntözőgép haladási irányára.

4.3.3. Az öntözés egyenletességének értékelése a különböző gazdálkodási zónákban

A VRI rendszerek vízelosztási jellemzői kulcsfontosságú mutatót jelentenek az öntözés egyenletességének értékeléséhez a különböző gazdálkodási zónákban. A csapadékmérő edényekben összegyűjtött öntözővíz átlagos mennyisége $2,422 \pm 0,517$ mm volt, az alkalmazott vízzadatokból számított CUC%, DU% és CV% 81,36%, 81,36% és 20,26% volt az első zóna esetében. A következő kezelési zónában az átlagos öntözővíz $4,790 \pm 0,945$ mm volt, ami 85,94%-os CUC%-ot, 78,28%-os alacsony DU%-ot és 17,31%-os CV-t eredményezett. A harmadik zónában az átlagos öntözővíz $7,051 \pm 0,744$ mm volt, ami 92,81%-os CUC%-ot, 88,42%-os DU%-ot és 9,355%-os CV-t eredményezett. A maximális vízhozamú negyedik zónában átlagosan $9,204 \pm 0,777$ mm vizet mértem, ami 92,98%-os CUC%-ot, 90,75%-os DU%-ot és 8,439%-os CV-t eredményezett (5. táblázat).

5. 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 vízelosztásra és az öntözés egyenletességére összpontosító tanulmányok többsége a center pivot rendszereket értékeli. O'SHAUGHNESSY et al. (2013) például két VRI-vel ellátott center pivot öntözőrendszerrel végzett kísérleteket. A csapadékmérő edényeket a lekaszált búza fölött helyezték el. A gyűjtőedényeket lineáris rácsban és íves tájolásban állították be annak érdekében, hogy értékeljék a VRI-rendszer egyenletességét. Az átlagos Heermann és Hein egyenletességi együttható (CUHH) és a DU 86,3% és 89,5%, illetve 76,3% és 82,9% között mozgott. Ezek az átlagértékek jól összevethetők a DUKES

és PERRY (2006) egyenletes alkalmazási eredményeivel. Ők alacsonyabb CUHH és DU értékeket mértek, amelyek 73% és 82%, illetve 64% és 74% között mozogtak a VRI rendszerrel rendelkező lineár öntözőrendszer esetében. Ezzel szemben CLARK et al. (2003) jó egyenletes teljesítményt mért (CUHH = 90%), ami szintén megfelel a jelen tanulmány eredményeinek. Más tanulmányok lineár öntözőrendszereket vizsgáltak állandó sebességgel. CHAVEZ et al. (2010) egy VRI-vel felszerelt lineár öntözőrendszert vizsgált, amely forgó szórótányérral, egymástól 3 m távolságra lévő szórófejekkel és a talaj felett 1,2 m-re lévő szórófejekkel mozgott 1,5 m távolságra lévő csapadékedények felett egy 8×20 -as rácsrendszerben. Eredményeik szerint a CUc% 88-96,5%. Annak ellenére, hogy ebben a vizsgálatban kisebb rácsméretet használtak, hasonló egyenletességi eredményeket találtak a jelen tanulmánnyal összefüggésben.

A mért öntözővíz mennyiségek átlagának, az NRMSE, a MAE és az MBE kombinált eredményeit a csővezeték mentén lévő négy VRI-zóna vízkijuttatásának különböző tervezett vízkijuttatások mellett a 6. táblázatban ábrázoltam. Az öntözővíz mennyiségek értékei között szignifikáns különbségeket figyeltem meg 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 elemeztem azért, hogy értékeljem az öntözés pontosságát az egyes kezelési zónáknál. Valamennyi kezelési zóna esetében a mért víz mennyisége a vízgyűjtő edényekben valamivel kevesebbet mutatott, mint a tervezett öntözővíz mennyisége. A 25%-os vízkijuttatási arány 0,458 mm-es MAE-t, 0,042 mm-es MBE-t és 21,97%-os NRMSE-t eredményezett. Az 50%-os alkalmazásnál a MAE eredmény a kijuttatandó vízmennyiség és a felvett vízmennyiség értékei között 0,645 mm és az MBE 0,146 mm volt, magasabb, mint a 25%-os alkalmazásnál. Az NRMSE viszont alacsonyabb volt a 25%-os alkalmazáshoz képest, 11,52%-os eredménnyel. A 75%-os vízkijuttatás 0,625 mm MAE-t és 0,313 mm MBE-t eredményezett, ami majdnem megegyezett a 25%-os kijuttatással, és az NRMSE valamivel alacsonyabb, 7,021% volt. A 100%-os alkalmazásnál a MAE és MBE értékek magasabbak voltak, mint a többi alkalmazásnál (0,767 és 0,633 mm), míg az NRMSE érték 5,519% volt. Ez lehetővé teszi a gazdálkodási zónák optimális variálását a fesztáv mentén, hogy a szükséges vízmennyiséget az adott helyeken lehessen kijuttatni.

6. 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 vízmennyiségek között nincs statisztikai különbség ($p > 0,05$).

O'SHAUGHNESSY et al., (2013) center pivotos vizsgálataik során megállapították, hogy a MAE, MBE és RMSE 1,9-2,6 mm, -0,6-1,1 mm, illetve 1,8-2,4 mm közötti tartományban mozogtak. Az 1. és 2. szakaszon lévő szórófejek átlagosan mintegy 9%-kal túlöntöztek, míg az 5. és 6. szakaszon lévő szórófejek mintegy 2%-kal alulöntöztek. A 30% és 100% közötti pulzációs arányú öntözési zónákban lévő kollektorok esetében az MBE% és az RMSE% -6% és 14%, illetve 11% és 21% között mozgott. CHAVEZ et al., (2010) arról számoltak be, hogy a mért vízmennyiségekre vonatkozó MBE és RMSE -0,6% és -11,8%, illetve 3,0% és 8,9% között mozgott a 20% és 100% közötti célszázalékos kijuttatási arányok esetében, amikor a lineár mozgást felfelé alkalmazták. Lefelé haladva az MBE és az RMSE -8,3% és 18,9%, illetve 3,5% és 11,7% között mozgott. Amikor a vezérlésüket lineár mozgásra helyezték át Észak-Dakotában, az MBE és az RMSE $-8,8 \pm 8,1\%$ és $-0,14\% \pm 6,7\%$ volt. Az eredmények arra is utalnak, hogy az öntözés egyenletessége és a pontosság nagymértékben megfelelt egymásnak, és hogy a jobb egyenletességű öntözés nagyobb pontosságot eredményezett, és fordítva, ami összhangban van YARI et al. (2017) megállapításaival.

4.4. Jégtháló, mint agrotechnikai eszköz befolyásoló hatása az alma gyümölcsös vízforgalmára

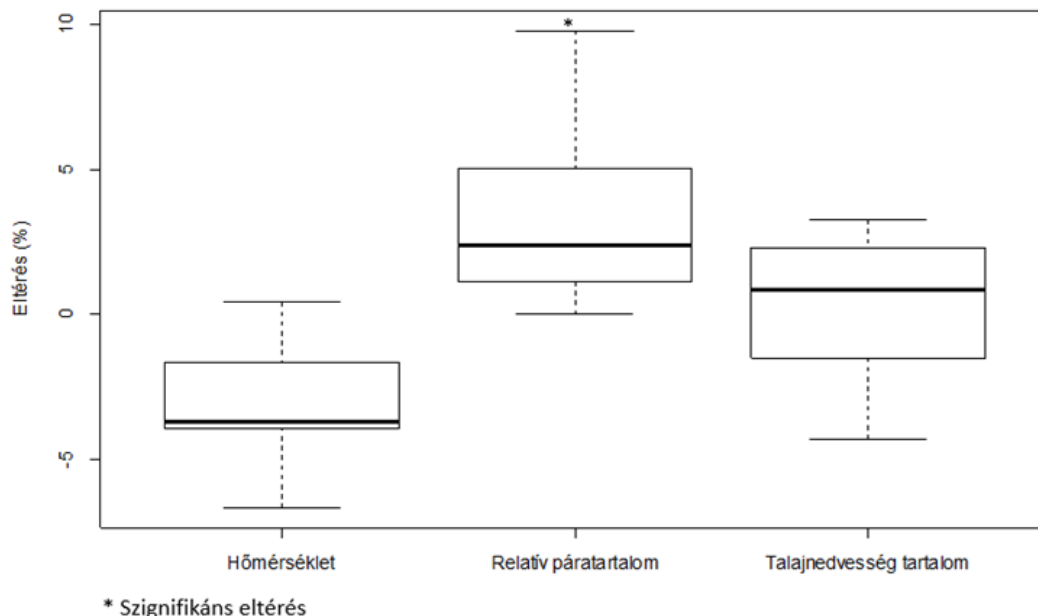
4.4.1. A jégtháló mikroklímára gyakorolt hatása

Vizsgálataim során először a jégtháló mikroklimatológiai hatásait elemeztem, a léghőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$) és a relatív páratartalom (%) változásaira. A jégthálózattal védett egyedek során 2019-ben $26,58 \pm 2,192$ $^{\circ}\text{C}$ -ot mértem, ami 2,911 %-kal alacsonyabb, mint a jégthálózattal nem védett gyümölcsösben mért $27,37 \pm 2,201$ $^{\circ}\text{C}$ -os hőmérséklet. A különbség nem volt szignifikáns ($p = 0,150$), ennek fontos biológiai hatása lehet a növény

élettanára, mert a forró nyári napokon a hőmérséklet változása befolyásoló hatással van a növény légzésére és fotoszintézis folyamataira (RAVEH et al., 2003). Emellett hatással lesz a szénhidrát termelésre és a szervesanyag felhalmozódásra, pozitívan befolyásolva a növekedés intenzitását, a termés mennyiségét és minőségét (HOPKINS és HÜNER, 2009). Szignifikáns különbség mutatkozott a jégghálóval védett gyümölcsös $71,52 \pm 15,43$ %-os relatív páratartalma és a jégghálóval nem védett gyümölcsös $69,33 \pm 16,50$ %-os relatív páratartalma között ($p = 0,0001$). A jéggháló átlagosan $3,165$ %-kal növelte a relatív páratartalmat az almaültetvényben. Ezt a tendenciát követve 2020-ban a hőmérséklet a jégghálóval védett egyedeknél $26,21 \pm 1,712$ °C volt, ezzel szemben a jégghálóval 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 jégghálóval védett területen $58,50 \pm 4,767$ %-ot mértem, a jégghálóval nem védett állományok során ez az érték $56,30 \pm 4,329$ % lett, közöttük szignifikáns különbség nem volt megfigyelhető ($p=0,167$). A jéggháló átlagosan $3,804$ %-kal növelte a relatív páratartalmat. 2019-ben a mikroöntözésnek köszönhetően a talajnedvesség átlagos értékei közötti különbség elhanyagolható ($0,484$ %, $p = 0,776$) (jégghálóval védett: $11,07 \pm 2,181$ m/m %, míg a jégghálóval 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 jégghálóval védett területen. A jéggháló hatása az óránkénti eltérések esetében dominánsabban megfigyelhető volt, a jégghálóval védett területen akár $4-5$ %-kal magasabb talajnedvesség tartalom értékek mérésével (35. ábra). A jéggháló alkalmazása pozitív hatással van a mikroklímára, mivel a jégghálóval védett gyümölcsösben alacsonyabb hőmérsékletet és magasabb relatív páratartalom értékeket mértem, ami első sorban a gyümölcsös vízháztartását befolyásolta.

Az eredményekkel összefüggésben RIGDEN (2008), majd MIDDLETON és MCWATERS (2002) is megállapította, hogy a jéggháló használata $10-15$ %-kal növelte a relatív páratartalmat a szárazság idején Ausztráliában. LAKATOS et al., (2011) szintén a relatív páratartalom növekedéséről számoltak be fekete jéggháló alkalmazása során, bár ők a jelen vizsgálatban mért értékeknél közel kétszer-háromszor nagyobb növekedést tapasztaltak. A különbség oka lehet, hogy ők 70 cm magasságban mérték a meteorológiai

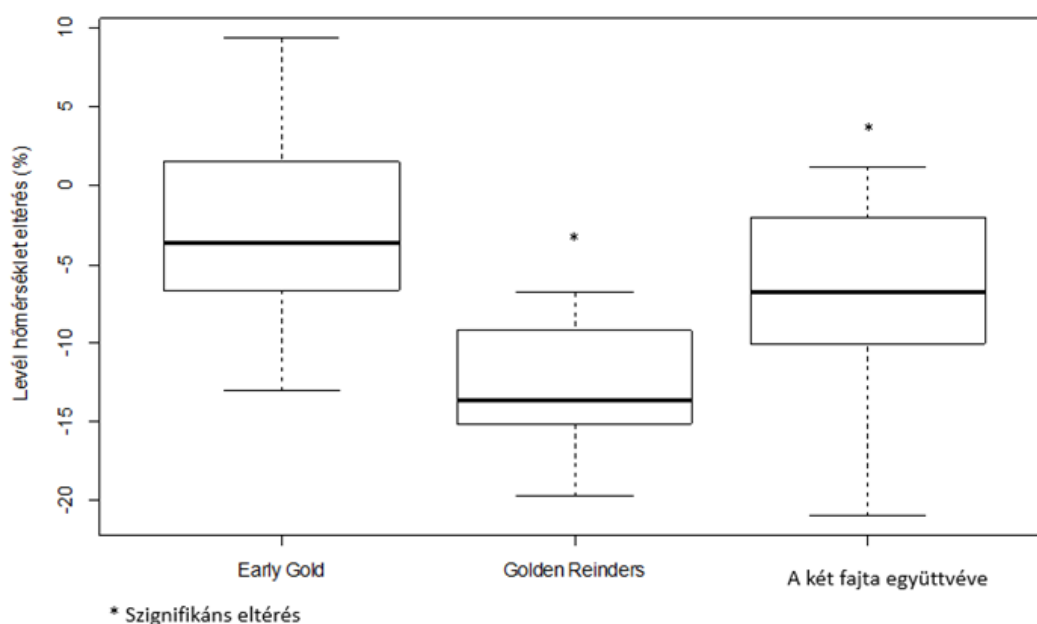
tulajdonságokat, szemben a jelen tanulmány 2 m-es mérési magasságával. Vizsgálataik alapján azonban a jégáló hatására a hőmérsékletre gyakorolt hatása hasonló volt a saját kutatásomban kapott eredményekhez.



35. ábra: A jégáló hatása a levegő hőmérsékletére, a relatív páratartalomra és a talajnedvességre

4.4.2. 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 (7. táblázat) (36. ábra).



36. ábra: A jégtháló hatása a lombkorona hőmérsékletére termográfiai felvételek alapján

A Golden Reinders fajták összehasonlításakor a lombkorona hőmérséklete 8,919 %-kal nagyobb különbséget mutatott a jégthálóval védett lombkorona esetén, mint az Early Gold. Ez arra utal, hogy a jégtháló alkalmazása kedvezőbb hatással van a Golden Reinders lombkorona hőmérsékletére. A jégtháló hatásának részletesebb elemzése érdekében a lombkorona hőmérsékletének különbségeit minden egyes mérési időpontban értékeltem. Az Early Gold esetében a felmérések 64%-nál alacsonyabb lombkorona hőmérsékletet mértem, és a 14-ből 7 esetben találtam szignifikáns különbséget. A Golden Reinders esetében a lombkorona hőmérséklete minden esetben alacsonyabb volt, és a különbség 9-ből 6 esetben volt szignifikáns. 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.

7. táblázat: A lombkorona hőmérsékleti értékeinek különbségei a termográfiai adatok alapján

Év/N ₂	Early Gold		Golden Reinders	
	Jéghálóval védett	Jéghálóval nem védett	Jéghálóval védett	Jéghálóval nem védett
2016/1.	26,04 ± 1,335 a	23,80 ± 0,535 b	20,98 ± 1,069 a	22,65 ± 0,685 b
2016/2.	25,91 ± 1,838 a	28,21 ± 2,903 ab	25,57 ± 0,861 a	29,84 ± 1,880 b
2016/3.	27,40 ± 2,040 ab	25,80 ± 2,279 b	29,78 ± 0,672 a	34,49 ± 2,632 b
2016/4.	30,16 ± 1,715 a	25,08 ± 1,844 b	21,89 ± 0,585 a	26,43 ± 2,627 b
2016/5.	27,24 ± 0,373 ab	28,61 ± 2,088 ab	25,08 ± 0,955 a	29,55 ± 3,738 b
2016/6.	29,56 ± 2,068 a	31,77 ± 1,464 a	22,96 ± 1,392 a	25,28 ± 1,955 a
2016/7.	24,86 ± 1,635 a	28,60 ± 2,029 a	25,60 ± 2,414 a	-
2016/8.	27,52 ± 1,237 ab	29,40 ± 0,998 b	25,35 ± 1,977 a	-
2016/9.	21,31 ± 1,149 a	27,38 ± 3,167 b	21,30 ± 0,855 a	26,56 ± 2,366 b
2016/10.	27,52 ± 2,399 a	26,79 ± 1,730 a	24,83 ± 0,469 a	26,64 ± 0,240 a
2016/11.	28,83 ± 0,543 ab	29,78 ± 1,890 b	26,93 ± 1,938 ab	-
2016/12.	22,99 ± 1,108 a	22,90 ± 1,118 a	21,90 ± 0,794 a	-
2016/13.	27,59 ± 2,102 a	28,68 ± 1,594 a	25,70 ± 1,057 a	-
2016/14.	28,31 ± 1,683 a	29,32 ± 2,294 a	26,39 ± 2,278 a	29,09 ± 2,553 a

Az azonos betűvel jelölt populációk között nincs statisztikai különbség ($p > 0.05$).

- Technikai problémák (hőkamera túlmelegedése) miatt nincsenek adatok.

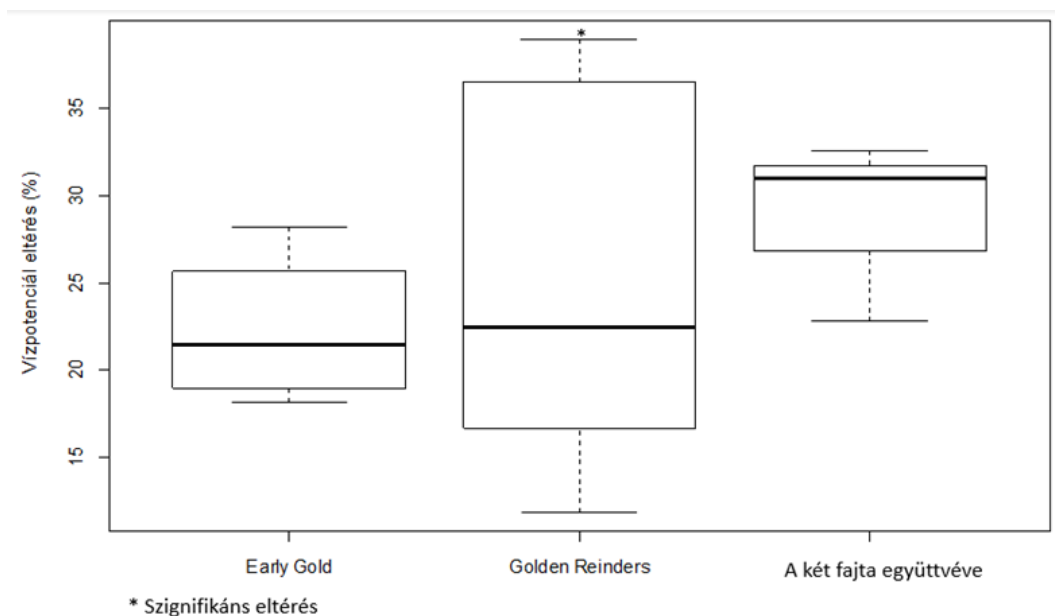
Év/N₂: a felmérés sorszáma egy évben.

A termográfiai adatok alapján a jégháló pozitív hatással van a lombkorona hőmérsékletére, ami az almafák kedvezőbb vízháztartását tükrözi. Az eredményekkel összhangban GIULIANI et al., (2001) is a termográfiai adatokat tartják lehetséges megoldásnak az almaültetvények vízstresszének meghatározására. A jelen vizsgálat eredményei alapján a jéghálóval védett és nem védett lombkorona hőmérséklete között átlagosan 2-4 °C-os eltérés tapasztalható, azonban ez a különbség még nagyobb is lehet, mivel MIDDLETON és MCWATERS (2002) vizsgálatában a nem védett almaültetvények lombhőmérséklete 4-6 °C-kal magasabb volt, mint a jéghálóval védett gyümölcsösöké.

4.4.3. A jégháló hatása a lombozat vízpotenciál értékeire

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 jéghálóval védett gyümölcsösök átlagos vízpotenciál értéke (-8,5 ± 1,846 bar) 20,80 %-kal magasabb, mint a nem védett gyümölcsösök átlagos vízpotenciál értéke: -10,8 ± 2,769 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 jégthálóval 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 $-8,5 \pm 2,502$ bar volt a jégthálóval védett gyümölcsösökben és $-10,4 \pm 2,983$ bar a nem védett gyümölcsösökben. 2020-ban a 9-10 óra között mért Early Gold során a jégthálóval védett egyedek átlagosan $-6,8 \pm 1,955$ bar értéket adtak, a jégthálóval nem védett egyedek magasabb vízpotenciál értékkel rendelkeztek ($-7,5 \pm 2,422$ bar), 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 jégthálóval védett egyedeknél magasabb vízpotenciál értékeket ($-8,7 \pm 1,307$ bar) mértem, míg a jégthálóval nem védett gyümölcsösben $-11,2 \pm 2,633$ bar-t. 2020-ban a 9-10 óra között mért Golden Reinders egyedeknél az Early Goldhoz hasonlóan a jégtháló pozitív hatása volt megfigyelhető, ahol a védett egyedek $-6,2 \pm 1,475$ bar, a nem védett egyedek pedig $-7,9 \pm 2,324$ bar vízpotenciál értéket adtak, közöttük szignifikáns összefüggés nem volt megfigyelhető ($p=0,385$) (8. táblázat) (37. ábra). A fajtákat összehasonlítva a Golden Reinders 4,12 %-kal nagyobb különbséget mutatott a lombkorona vízpotenciál értékeiben jégthálóval való védettség esetén, mint az Early Gold. Ez arra utal, hogy a jégtháló alkalmazása kedvezőbb hatással van a Golden Reinders vízpotenciál értékeire. A jégthálóval védett Early Gold fák esetében minden egyes mérési időpontban magasabb vízpotenciál értékeket mértem, és az 5 mérési időpontból 4 alkalommal szignifikáns különbséget találtam. A Golden Reinders esetében az Early Goldhoz hasonlóan minden mérési időpontban magasabb értékeket mértem, és 6 mérési időpontból 5 esetben szignifikáns különbségeket találtam a védett és nem védett egyedek között. A lombzat vízpotenciál értékei alapján a jégtháló mindkét vizsgált fajta esetében jelentős hatással van a gyümölcsös vízháztartására, ami összhangban van ALARCON et al. (2006) és NICOLÁS et al. (2008) tanulmányaival, amelyek szintén kimutatták a jégtháló pozitív hatását a gyümölcsösök vízpotenciáljára.



37. ábra: A jégáló hatása a levelek almafa vízpotenciáljára

8. táblázat: Az almafajták lombkoronájának vízpotenciál értékeiben mutatkozó különbségek 2019-ben

	Early Gold		Golden Reinders	
Év/№	Jégálóval védett	Jégálóval nem védett	Jégálóval védett	Jégálóval nem védett
2019/2.	-	-	$-9,7 \pm 3,032$ a	$-12,0 \pm 1,201$ b
2019/3.	$-5,7 \pm 1,001$ a	$-6,9 \pm 0,615$ b	$-6,8 \pm 1,036$ a	$-11,1 \pm 1,166$ b
2019/4.	$-8,2 \pm 0,747$ a	$-10,2 \pm 1,226$ b	$-7,8 \pm 0,789$ a	$-10,5 \pm 1,063$ b
2019/5.	$-6,5 \pm 1,312$ a	$-8,5 \pm 1,480$ a	$-9,1 \pm 0,877$ a	$-7,8 \pm 0,734$ b
2019/6.	$-9,7 \pm 1,029$ a	$-11,0 \pm 1,039$ b	$-9,7 \pm 1,599$ a	$-11,0 \pm 1,421$ a
2019/7.	$-10,5 \pm 1,141$ a	$-14,6 \pm 2,477$ b	$-10,1 \pm 2,097$ a	$-16,0 \pm 1,465$ b

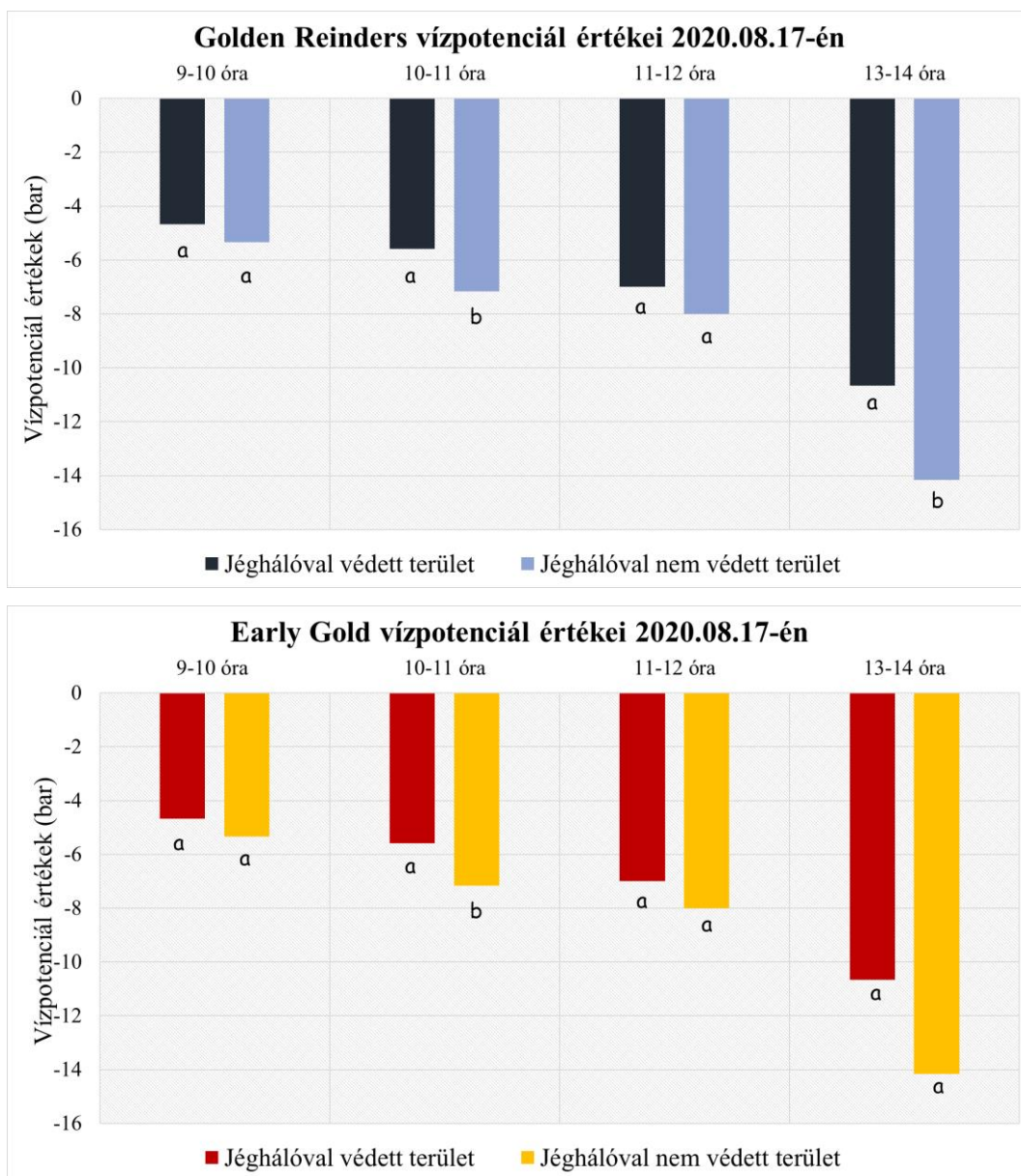
Az azonos betűvel jelölt populációk között nincs statisztikai különbség ($p > 0.05$).

- Technikai problémák miatt nincsenek adatok.

Év/№: a felmérés sorszáma egy évben.

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 $-4,7 \pm 0,291$ bar értékhez képest az idő teltével ez 14 órára $-9,3 \pm 0,587$ bar vízpotenciál értékre csökkent. A jégálóval nem védett területen 9 órakor megfigyelhető, hogy magasabb $-5,2 \pm 0,299$ bar vízpotenciál értéket kaptam, amely 14 órára $-10,70 \pm 1$ bar értékre csökkent. A Golden

Reinders során hasonló tendencia volt megfigyelhető, ahol a jégálóval védett egyedek esetében 9 órakor $-4,7 \pm 0,588$ bar érték 14 órára majdnem a duplájára $-10,70 \pm 1,533$ barra csökkent. Az idő elteltével párhuzamosan minden mérési időpontban megfigyelhető a jégáló használatának a pozitív hatása, a nem védett területen 9 órakor a vízpotenciál érték $-5,3 \pm 1$ bar volt, mely 14 órára $-14,20 \pm 4,544$ barra csökkent (38. ábra) (9. táblázat).



38. ábra: Fajták vízpotenciál értékei óránkénti mérés esetében

9. táblázat: Az almafajták lombkoronájának vízpotenciál tartalmában mutatkozó különbségek 2020-ban

Év/№	Early Gold		Golden Reinders	
	Jéghálóval védett	Jéghálóval nem védett	Jéghálóval védett	Jéghálóval nem védett
2020. 07. 21. 9-10	-8,5 ± 1,044 a	-10 ± 1,267 a	-7,6 ± 0,902 a	-9,8 ± 1,151 a
2020. 07. 21. 10-11	-10,0 ± 1,577 a	-10,2 ± 0,746 a	-9,3 ± 0,761 a	-9,8 ± 0,292 a
2020. 07. 21. 11-12	-9,7 ± 1,268 a	-10,3 ± 0,582 a	-9,0 ± 0,876 a	-9,0 ± 0,877 a
2020. 07. 21. 13-14	-11,5 ± 0,501 a	-11,3 ± 0,291 a	-12,7 ± 0,760 a	-10,3 ± 1,154 b
2020 .08.04. 9-10	-7,2 ± 0,766 a	-7,3 ± 0,584 a	-6,5 ± 0 a	-8,6 ± 2,138 a
2020. 08.04. 10-11	-5,7 ± 0,294 a	-6,0 ± 1,320 a	-6,8 ± 1,044 a	-7,0 ± 1,327 a
2020. 08.04 11-12	-6,3 ± 0,763 a	-8,2 ± 0,588 b	-8,3 ± 1,896 a	-9,3 ± 0,588 a
2020. 08.04. 13-14	-10,5 ± 1,327 a	-9,7 ± 1,615 a	-14,5 ± 2,652 a	-12,0 ± 3,285 b
2020 .08. 17. 9-10	-4,7 ± 0,298 a	-5,2 ± 0,294 a	-4,7 ± 0,585 a	-5,3 ± 1,040 a
2020. 08.17. 10-11	-5,2 ± 0,764 a	-6,8 ± 0,297 b	-5,6 ± 0,382 a	-7,2 ± 1,156 b
2020. 08.17. 11-12	-7,0 ± 0,456 a	-8,7 ± 1,265 a	-7,0 ± 0,554 a	-8,0 ± 104 a
2020. 08.17. 13-14	-9,3 ± 0,585 a	-10,7 ± 1,155 a	-10,7 ± 1,538 a	-14,2 ± 4,541 b

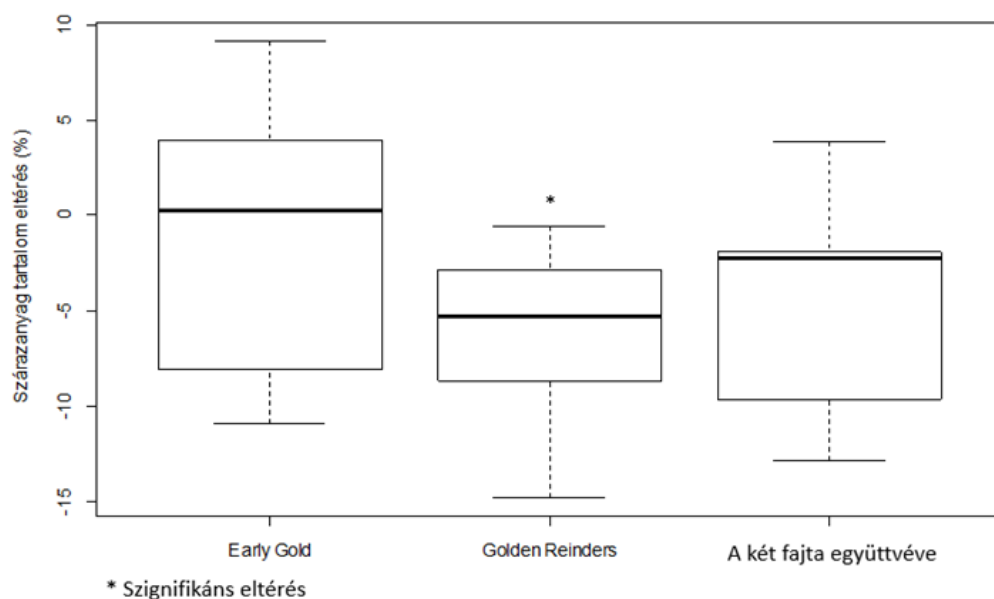
Az azonos betűvel jelölt populációk között nincs statisztikai különbség ($p > 0.05$).

Év/№: a felmérés sorszáma egy évben.

4.4.4. A jégháló hatása a lombozat szárazanyag tartalomra

A növényfiziológiai szakirodalmak alapján a növény vízállapotát a levél vízpotenciáljaként fejezik ki, ezzel szemben kutatásomban megfigyeltem a jégháló lehetséges hatását az abszolút szárazanyag tartalomra. Továbbá a levél szárazanyag tartalom fontos változó az összehasonlító növényökológiában, mivel szoros kapcsolatban áll a növényi növekedési sebességgel, a szén asszimilációval (WILSON et al., 1999) és a levél fotoszintézisével (SHIPLEY és VU, 2001), amelyeket a hőstressz és a vízhiány is befolyásol. Az alacsonyabb szárazanyag tartalom érték kedvezőbb vízellátottságot tükrözhet. Az eredmények alapján a jéghálóval védett gyümölcsösök leveleinek

szárazanyag tartalma ($34,11 \pm 3,238$ m/m %) 4,761 %-kal volt alacsonyabb, mint a jégálóval 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 jégálóval nem védett egyedek esetében és $33,41 \pm 3,755$ m/m% a jégálóval védett egyedek esetében). Ugyanakkor az Early Goldnál kisebb (1,830 %) és nem szignifikáns ($p=0,406$) különbséget találtam a gyümölcsösök szárazanyag tartalma között ($34,80 \pm 3,442$ m/m %, $35,45 \pm 5,104$ m/m %) (39. ábra) (10. táblázat).



39. ábra: A jégáló hatása az almalevelek szárazanyag tartalmára

A fajták összehasonlításakor a Golden Reinders 5,83 %-kal nagyobb különbséget mutatott a levelek szárazanyag tartalmában a jégáló alkalmazásakor, mint az Early Gold esetében. Ez arra utal, hogy a jégáló alkalmazása kedvezőbb hatással van a Golden Reinders szárazanyag tartalmára. Az Early Gold lombkorona szárazanyag tartalma a 9 mérési alkalomból csak 4 esetben volt alacsonyabb, és a különbségek csak ezek felében voltak szignifikánsak. A Golden Reinders esetében minden mérési időpontban alacsonyabb szárazanyag tartalom értéket mértem, a 9 mérési időpontból 4 esetben volt szignifikáns különbség. EGILLA et al. (2005) vizsgálatában a levelek víztartalmának csökkenése a vízstressz hatására volt visszavezethető, ami feltételezi, hogy a jégáló

vízállapotra gyakorolt hatása a szárazanyag tartalommal is mérhető lehet, de a pontosabb eredményekhez több mérés szükséges.

10. táblázat: Az almafajták leveleinek szárazanyag-tartalmában mutatkozó különbségek

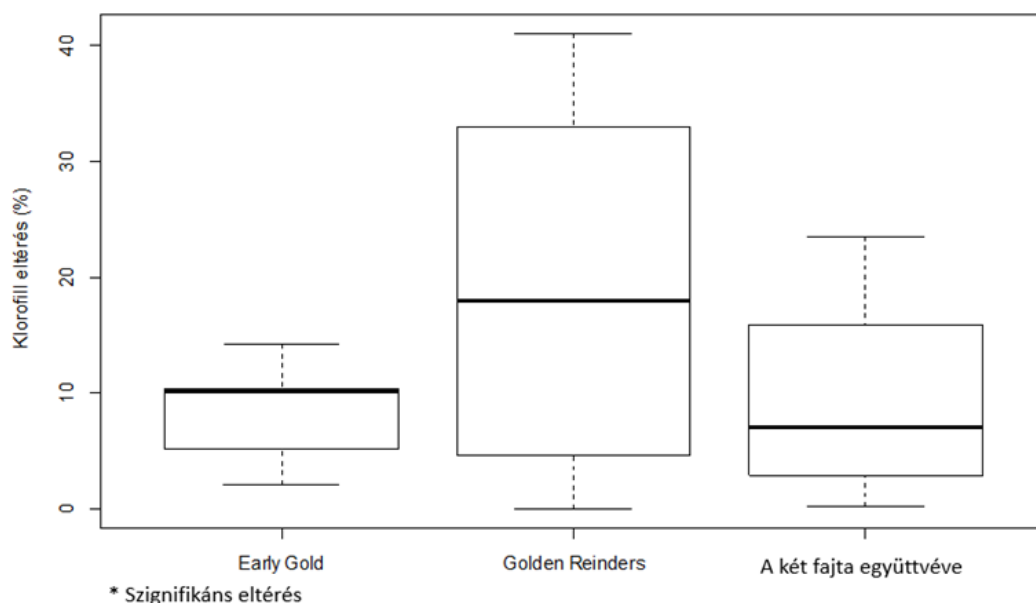
Év/N ₂	Early Gold		Golden Reinders	
	Jéghálóval védett	Jéghálóval nem védett	Jéghálóval védett	Jéghálóval nem védett
2016/5.	38,40 ± 3,635 a	41,80 ± 2,864 b	33,90 ± 3,175 a	41,20 ± 3,845 b
2016/10.	33,70 ± 2,437 a	31,90 ± 10,4 a	30,20 ± 6,660 a	33,20 ± 6,154 a
2016/14.	40,10 ± 6,112 a	45,00 ± 1,524 a	38,70 ± 3,234 a	42,10 ± 27,1 ab
2019/2.	36,00 ± 4,582 a	33,00 ± 5,001 a	30,50 ± 4,294 a	31,10 ± 6,652 a
2019/3.	35,10 ± 3,264 a	33,70 ± 5,372 a	40,00 ± 2,735 a	40,30 ± 3,692 a
2019/4.	29,40 ± 2,814 a	29,30 ± 2,990 a	30,80 ± 3,381 a	32,00 ± 2,427 a
2019/5.	31,70 ± 2,241 a	31,50 ± 1,623 a	30,70 ± 2,829 a	32,90 ± 2,653 b
2019/6.	36,80 ± 3,917 a	37,00 ± 2,234 a	34,80 ± 2,368 a	36,30 ± 2,734 a
2019/7.	31,90 ± 2,605 a	35,70 ± 2,376 b	31,00 ± 3,344 a	36,40 ± 2,291 b

Az azonos betűvel jelölt populációk között nincs statisztikai különbség ($p > 0.05$).

Év/N₂: a felmérés sorszáma egy évben.

4.4.5. A jégháló hatása a lombzat pigmenttartalmára

A jéghálóval védett gyümölcsös klorofilltartalma ($2874 \pm 283,6 \mu\text{g/g}$) 10,24 %-kal magasabb volt, mint a jéghálóval nem védett gyümölcsösök klorofilltartalma ($2607 \pm 412,8 \mu\text{g/g}$). Az eredmények közötti különbség azonban nem volt szignifikáns ($p=0,066$). Az Early Gold esetében mért lombkorona klorofilltartalma $3070 \pm 400,2 \mu\text{g/g}$ volt a jéghálóval védett területen, ami 11 %-kal magasabb volt, mint a nem védett gyümölcsösben ($2766 \pm 449,1 \mu\text{g/g}$). Szignifikáns különbség azonban nem volt megfigyelhető ($p=0,071$). Hasonló eredményeket figyeltem meg a Golden Reinders almafák esetében is, a jéghálóval védett almafák átlagos klorofilltartalma ($2725 \pm 316,1 \mu\text{g/g}$) szintén 11 %-kal magasabb volt, mint a jéghálóval nem védett gyümölcsösben ($2455 \pm 445,6 \mu\text{g/g}$). A kapott eredmények között a különbség nem volt szignifikáns ($p=0,236$) (40. ábra) (11. táblázat).



40. ábra: A jégsháló hatása az almafa lombkoronájának klorofilltartalmára

11. táblázat: Az almafajták lombzatban mért klorofilltartalmában mutatkozó különbségek

Év/N _o	Early Gold		Golden Reinders	
	Jégshálóval védett	Jégshálóval nem védett	Jégshálóval védett	Jégshálóval nem védett
2016/1.	3203 ± 351,3 a	1895 ± 540,8 b	2256 ± 558,9 a	1599 ± 326,1 a
2016/5.	3097 ± 391,1 a	2811 ± 253,7 a	3187 ± 343,2 a	2273 ± 594,2 b
2016/10.	2657 ± 250,4 a	2415 ± 503,2 a	2954 ± 151,9 a	2222 ± 224,7 b
2016/14.	2162 ± 797,9 a	2207 ± 454,9 a	2481 ± 341,4 a	1864 ± 643,7 b
2019/1.	–	–	2552 ± 417,5 a	2684 ± 277,5 a
2019/2.	3121 ± 283,3 a	2922 ± 404,1 a	2677 ± 235,7 a	2469 ± 454,3 a
2019/3.	3518 ± 357,8 a	3083 ± 262,8 b	3101 ± 259,1 a	2627 ± 416,1 b
2019/4.	3171 ± 449,1 a	2775 ± 513,7 b	3085 ± 378,1 a	2954 ± 400,9 a
2019/5.	3363 ± 224,7 a	3223 ± 388,1 a	2777 ± 440,8 a	2797 ± 296,3 a
2019/6.	3274 ± 310,8a	3112 ± 368,7 a	2458 ± 397,3 a	2458 ± 712,1 a
2019/7.	3331 ± 504,5 a	3017 ± 387,6 a	2449 ± 386,7 a	3061 ± 312,8 b

Az azonos betűvel jelölt populációk között nincs statisztikai különbség ($p > 0.05$).

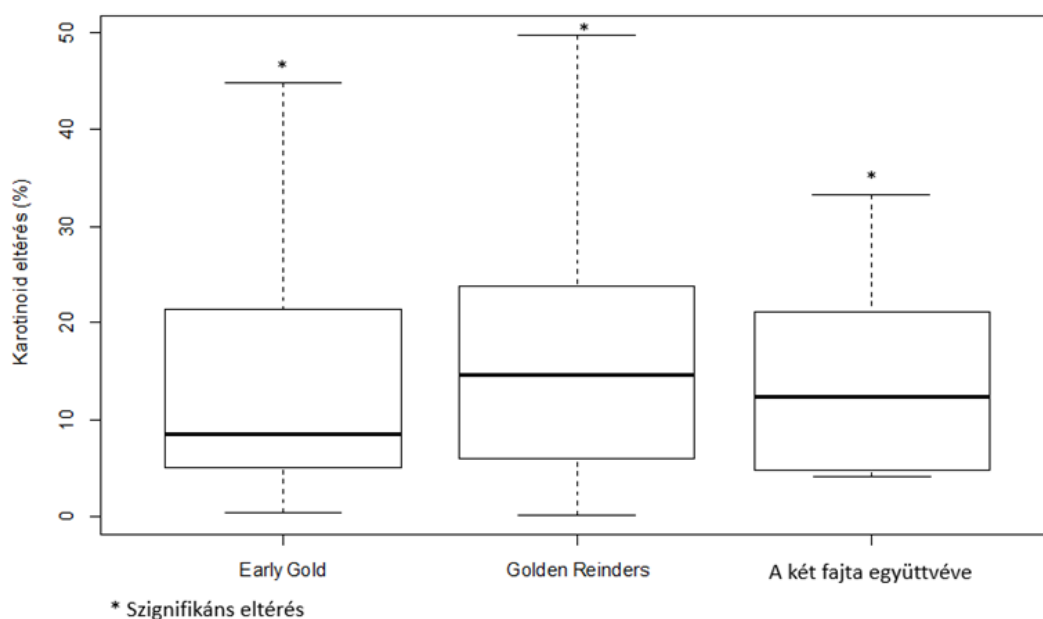
- Technikai problémák miatt nincsenek adatok.

Év/N_o: a felmérés sorszáma egy évben.

A fajtákat összehasonlítva a Golden Reinders ugyanolyan különbséget mutatott a klorofilltartalomban jégsháló alkalmazása mellett, mint az Early Gold. Ez arra utal, hogy a jégsháló alkalmazása nem okoz különbséget a fajták klorofilltartalmai között. Az Early Gold esetében a mérési időpontok 88 %-ban magasabb klorofill értékeket mértem a jégshálóval védett egyedeken, ahol a 9 mérési időpontból 3 esetben volt szignifikáns különbség. Hasonló eredményeket találtam a Golden Reinders fánál is, ahol a 11 mérési időpontból 5 esetben volt szignifikáns különbség a klorofilltartalomban, és a mérési

időpontok közel 80 %-ban a jégthálóval védett almafáknál kaptam magasabb klorofill értékeket.

Egy másik fotoszintetikusan aktív pigment a karotinoid. A jégtháló használata szignifikáns ($p=0,004$) növekedést (16,41 %) eredményezett az alma lombkoronájának karotinoid tartalmában (jégtháló használata során $562,6 \pm 47,56 \mu\text{g/g}$, jégthálóval nem védett területen $483,3 \pm 62,70 \mu\text{g/g}$). A különbség 18 % volt, és szintén szignifikáns ($p = 0,026$) az Early Gold esetében (jégthálóval védett területen $595,3 \pm 70,28 \mu\text{g/g}$, jégthálóval nem védett területen $505,7 \pm 73,72 \mu\text{g/g}$). A Golden Reinders jégthálóval védett lombkoronájának karotinoid tartalma $533,1 \pm 49,21 \mu\text{g/g}$ volt, ami szignifikánsan ($p = 0,009$) 16,24 %-kal magasabb volt, mint a jégthálóval nem védett almafák $458,6 \pm 65,01 \mu\text{g/g}$ karotinoid tartalma (41. ábra).



41. ábra: A jégtháló hatása az almafa lombkoronájának karotinoid tartalmára

A fajtákat összehasonlítva a Golden Reinders 2,15 %-kal nagyobb különbséget mutatott a levelek karotinoid tartalmában jégtháló használatának a jelenlétében, mint az Early Gold. Ez arra utal, hogy a jégtháló alkalmazása kissé kedvezőbb hatást gyakorol a Golden Reinders karotinoid tartalmára. Mindkét fajta esetében minden mérési időpontban magasabb karotinoid tartalmat lehetett kimutatni a jégthálóval védett területek esetében. A különbség csak a mérési időpontok 50 %-ban volt szignifikáns az Early Gold esetében,

míg a Golden Reinders esetében 11 mérési időpontból 4 esetben volt szignifikáns (12. táblázat).

12. táblázat: Az almafajták lombozatban mért karotinoid tartalmában mutatkozó különbségek

Év/N ₂	Early Gold		Golden Reinders	
	Jéghálóval védett	Jéghálóval nem védett	Jéghálóval védett	Jéghálóval nem védett
2016/1.	591,3 ± 37,26 a	408,4 ± 86,65 b	481,3 ± 121,4 a	396,5 ± 52,22 a
2016/5.	655,4 ± 76,19 a	409,8 ± 75,12 b	551,2 ± 126,3 a	368,2 ± 103,9 b
2016/10.	502,1 ± 58,88 a	465,2 ± 97,49 a	571,1 ± 72,61 a	420,1 ± 55,53 b
2016/14.	461,9 ± 47,78 a	439,4 ± 83,01 a	476,1 ± 73,12 a	384,9 ± 118,4 a
2019/1.	–	–	560,3 ± 88,71 a	531,6 ± 92,54 a
2019/2.	552,8 ± 63,91 a	550,8 ± 97,94 a	491,5 ± 53,54 a	448,0 ± 86,26 a
2019/3.	686,1 ± 99,71 a	553,3 ± 95,33 b	561,1 ± 56,12 a	489,6 ± 84,58 b
2019/4.	624,9 ± 98,32 a	523,7 ± 102,15 b	592,7 ± 91,23 a	573,7 ± 42,44 a
2019/5.	645,4 ± 68,71 a	630,1 ± 108,29 a	551,1 ± 69,91 a	517,6 ± 72,44 a
2019/6.	618,2 ± 51,36 a	569,7 ± 87,23 a	448,1 ± 91,36 a	447,3 ± 119,8 a
2019/7.	614,8 ± 110,2 a	506,1 ± 89,07 b	579,7 ± 49,44 a	467,3 ± 89,86 b

Az azonos betűvel jelölt populációk között nincs statisztikai különbség ($p > 0.05$).

- Technikai problémák miatt nincsenek adatok.

Év/N₂: a felmérés sorszáma egy évben.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a jégháló használata mérhető hatással van a pigmenttartalmakra mind a két almafajtában, de a pigmentváltozást a víztartalmi tényezőkön kívül befolyásolják a tápanyagok (VAL et al., 1987; BOWKER et al., 2008), az öregedés (LU et al., 2001), amelyek módosíthatják vagy pufferozhatják a pigment változások mértékét.

4.4.6. A jégháló hatása a lombozat stressz értékeire

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 almafák a stressz hatások egyre jobban érvényesültek. A vizsgálati idő alatt a legmagasabb hőmérsékletet (jéghálóval védett: 27,90 °C és jéghálóval nem védett: 28,95 °C) és egyben a legalacsonyabb páratartalom (jéghálóval védett: 47,75 % és jéghálóval nem védett: 45,50 %) értéket 2020. 08. 04-n figyeltem meg

13-14 óra között a jégghálóval védett és nem védett területeken egyaránt. A hőmérséklet és a páratartalom esetében negatív korreláció mutatható ki (jégghálóval védett területen: -0,79, jégghálóval nem védett területen: -0,85) (13. táblázat).

13. táblázat: Állományklíma a stressz mérési időszakában

Év/Nº	Hőmérséklet (°C)		Páratartalom (%)	
	Jégghálóval védett	Jégghálóval nem védett	Jégghálóval védett	Jégghálóval nem védett
2020. 07. 21. 9-10	25,75	26,80	61,50	59,50
2020. 07. 21. 10-11	26,75	27,40	61	58,50
2020. 07. 21. 11-12	27	27,65	61,50	58,50
2020. 07. 21. 13-14	27,90	28,30	52,50	51
2020. 08.04. 9-10	24,50	25,35	60,50	58,50
2020. 08.04. 10-11	26,35	27,30	49,50	48
2020. 08.04. 11-12	27,35	28,30	49	47
2020. 08.04. 13-14	27,90	28,95	47,75	45,50
2020. 08. 17. 9-10	23,25	24,40	69,25	67,50
2020. 08.17. 10-11	24,25	25,20	64,25	63
2020. 08.17. 11-12	25,95	26,45	58,50	56,50
2020. 08.17. 13-14	26,25	27	59	57

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 jégghálóval védett gyümölcsös Fv/Fm értéke $0,73 \pm 0,033$ volt, amely 4,107 %-kal magasabb, mint a jégghálóval 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 jégghálóval védett egyedek kevésbé voltak a stresszhatásnak kitéve, mint a jégghálóval nem védettek. A legmagasabb Fv/Fm érték 2020.07.21. 9-11 óra között volt megfigyelhető a jégghálóval védett egyedek során ($Fv/Fm = 0,76 \pm 0,022$), a mért 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. Ennek ellenére a jéggháló pozitív hatása megfigyelhető, a jégghálóval védett Early Gold esetében az Fv/Fm értékek 3 %-al magasabbak lettek (jégghálóval védett: $0,65 \pm 0,091$, jégghálóval nem védett: $0,67 \pm 0,094$), az eredmények között szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,001$). A Golden Reinders fajtánál a jégghálóval védett egyedeknél 9%-al magasabb Fv/Fm értéket figyeltem meg (jégghálóval védett: $0,71 \pm 0,0701$, jégghálóval 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 ($p=0,004$). (14. táblázat). A kapott értékek alapján megállapítható, hogy a hőmérséklet emelkedése befolyásoló hatással van a növényzet stressz értékeire, mely gyors, nem-invazív terepi módszerrel is kimutathatók. Emellett a kapott értékek alátámasztják a jégáló használatának a pozitív hatását a hőstresszel szemben.

MIHALJEVIĆ et al. (2020) kutatásukban a maximális kvantumhozam (Fv/Fm) átlagértékei között mindkét vizsgált évükben jelentős különbségek mutatkoztak a reggeli és a délutáni mérések között, ahol az Fv/Fm értékek délután szignifikánsan csökkentek mindkét vizsgált almafajtájuknál. Ezek az eredmények összhangban vannak JANKA (2014) kutatásával, ahol a hőstressz és a magas fényintenzitás miatt szintén jelentős csökkenést figyeltek meg a krizantém leveleinek (Fv/Fm) paraméterében. MANJA és AOUN (2019) vizsgálataikban megállapították, hogy a jégálók pozitívan befolyásolják a fotoszintézis hatékonyságát a levelekben, mivel a II. fotoszisztéma primer fotokémia maximális kvantumhozama a sötétbe alkalmazkodott állapotban (Fv/Fm) és az Fv/Fo arányok jelentősen megnöttek a hálóval ellátott fák leveleiben a fedetlen kontrollfákhoz képest. MLINARIĆ et al. (2016) arról számoltak be, hogy a füge levelein magasabb hőmérséklet és délutáni fénytöbblet hatására az Fv/Fm értékei 0,75 alá csökkentek. Számos kutatás alátámasztja azt a hipotézist, hogy a levélfotoszintézis növekedése a teljes biomassza-termelés és a terméshozam növekedéséhez vezethet (ZHU et al., 2010; EVANS, 2013; BRESTIC et al., 2018). A stresszel szembeni ellenálló képesség nagyon fontos tényező az alma sikeres termesztése szempontjából az egyre igényesebb agroökológiai körülmények között.

14. táblázat: Az almafajták leveleinek fotoszintetikus elektrontranszport állapotát jellemző paraméterek változásai

Év/№	Early Gold		Golden Reinders	
	Jéghálóval védett	Jéghálóval nem védett	Jéghálóval védett	Jéghálóval nem védett
2020. 07. 21. 9-10	0,76 ± 0,021 a	0,71 ± 0,095 a	0,77 ± 0,023 a	0,71 ± 0,098 b
2020. 07. 21. 10-11	0,76 ± 0,028 a	0,75 ± 0,022 a	0,73 ± 0,034 a	0,69 ± 0,051 b
2020. 07. 21. 11-12	0,75 ± 0,034 a	0,75 ± 0,037 a	0,73 ± 0,036 a	0,72 ± 0,036 a
2020. 07. 21. 13-14	0,75 ± 0,033 a	0,73 ± 0,029 a	0,75 ± 0,011 a	0,74 ± 0,018 a
2020 .08.04. 9-10	0,75 ± 0,037 a	0,73 ± 0,024 a	0,72 ± 0,054 a	0,69 ± 0,034 a
2020. 08.04. 10-11	0,72 ± 0,044 a	0,72 ± 0,031 a	0,75 ± 0,033 a	0,73 ± 0,037 a
2020. 08.04 11-12	0,71 ± 0,038 a	0,69 ± 0,060 b	0,74 ± 0,037 a	0,71 ± 0,045 a
2020. 08.04. 13-14	0,67 ± 0,090 a	0,65 ± 0,091 b	0,71 ± 0,701 a	0,65 ± 0,094 a
2020 .08. 17. 9-10	0,72 ± 0,054 a	0,72 ± 0,037 a	0,74 ± 0,030 a	0,72 ± 0,041 a
2020. 08.17. 10-11	0,70 ± 0,054 a	0,67 ± 0,077 a	0,73 ± 0,045 a	0,68 ± 0,055 b
2020. 08.17. 11-12	0,71 ± 0,053 a	0,68 ± 0,093 b	0,70 ± 0,088 a	0,69 ± 0,073 a
2020. 08.17. 13-14	0,67 ± 0,074 a	0,66 ± 0,104 a	0,74 ± 0,031 a	0,67 ± 0,092 b

Az azonos betűvel jelölt populációk között nincs statisztikai különbség ($p > 0.05$).

Év/№: a felmérés sorszáma egy évben.

4.4.7. A jégháló hatása az alma termésének a fizikai paramétereire

A termések vizsgálata során megfigyeltem, hogy jéghálóval védett fák termésének a szélessége 3%-kal magasabb volt a jéghálóval nem védett fák termésének a szélességénél (jéghálóval védett: $6,433 \pm 0,667$ cm, jéghálóval nem védett: $6,255 \pm 0,501$ cm). Az eredmények között szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,035$). A jéghálóval védett fák termésének a magassága ($6,381 \pm 0,790$ cm) 2%-kal volt nagyobb a jéghálóval nem védett fák termésének a magasságánál ($6,261 \pm 0,711$ cm), közöttük szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,0007$). A termés tömegének a vizsgálata során a jéghálóval védett egyedek $168,1 \pm 52,22$ g-a 15%-kal haladta meg a nem védett egyedek

143,7 ± 27,61 g-át. Az eredmények között szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,031$). A termések szárazanyag tartalma a jégthálóval védett egyedek esetében 4%-kal magasabb értéket adott, mint a jégthálóval nem védett egyedek (jégthálóval védett: $26,90 \pm 5,931$ g, jégthálóval nem védett: $25,81 \pm 7,688$ g), a mért értékek között szignifikáns különbség nem volt ($p=0,201$). A fajták termés értékeit külön-külön vizsgálva, megfigyeltem, hogy a Golden Reinders jégthálóval védett fák terméseinek a szélessége ($6,445 \pm 0,491$ cm) 4%-kal nagyobb volt, mint a jégthálóval nem védett fák termésértékei. A kapott értékek között szignifikáns különbség volt megfigyelhető ($p=0,031$). A magasság esetében szintén a jégthálóval védett termés értékek adtak 8%-kal magasabb értéket, közöttük szignifikáns eltérés volt ($p=0,015$). A termés tömegének a vizsgálata során a jégthálóval védett egyedek $159,50 \pm 35,53$ g-a 13%-kal haladta meg a nem védett egyedek $140,14 \pm 29,85$ g-át. Az eredmények között szignifikáns különbség volt ($p=0,007$). Ezáltal a termés szárazanyag tartalma is 17%-kal haladja meg a jégthálóval védett egyedek terméshozam értéke a jégthálóval nem védett egyedekét, közöttük szignifikáns különbség nem volt kimutatható ($p=0,400$). Az Early Gold esetében a Golden Reindershez hasonló tendencia figyelhető meg. A termések átlag szélessége 3%-kal nagyobb a jégthálóval védett egyedeknél, közöttük szignifikáns különbség figyelhető meg ($p=0,024$). A gyümölcsös átlag magassága 5%-kal volt magasabb a jégthálóval védett területen, viszont az eredmények között szignifikáns különbség nem volt kimutatható ($p=0,050$). A termések tömegénél a jégthálóval védett egyedek átlag $176,6 \pm 64,66$ g-a 17%-kal haladja meg a jégthálóval nem védett egyedek $147,2 \pm 25,45$ g-át. Az eredmények között szignifikáns különbség nem mutatható ki ($p=0,185$). Ezáltal a termések szárazanyag tartalma is 12%-kal magasabb a jégthálóval védett egyedeknél ($29,10 \pm 5,933$ g), az eredmények között szignifikáns különbség nem volt ($p=0,754$) (15. táblázat).

15. táblázat: Az almafajták termésének fizikai paraméterei

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

Az azonos betűvel jelölt populációk között nincs statisztikai különbség ($p > 0.05$).

BOINI et al., (2018) Bolognában vizsgálták az árnyékolás és a vízstressz hatását az alma terméshozamára és élettanára nézve. 2013-ban a fákat három, különféle árnyékolású háló alatt vizsgálták (piros, fehér és fekete, valamint háló nélkül). A vizsgálat eredményénél a termésmennyiségek között figyelték meg különbségeket. A háló alatt termesztett almafák hozama körülbelül 9-13 kg volt, a háló nélküli, gyenge vízellátottságú almafák pedig 5-7 kg termést adtak. Vizsgálataim során hasonló eredményeket figyeltem meg, a jéghálóval védett egyedek során 93,09-340,3 g közötti termésmennyiség értékeket mértem, míg a jéghálóval nem védett egyedek során ez 89,43-207,9 g volt. Ezek az eredmények arra ösztönözhetik a gyümölcstermelőket, hogy ha korlátozott a vízellátottság, akkor hálókat telepítsenek a gyümölcsösükbe.

4.4.8. A vízháztartási paraméterek közötti kapcsolatok

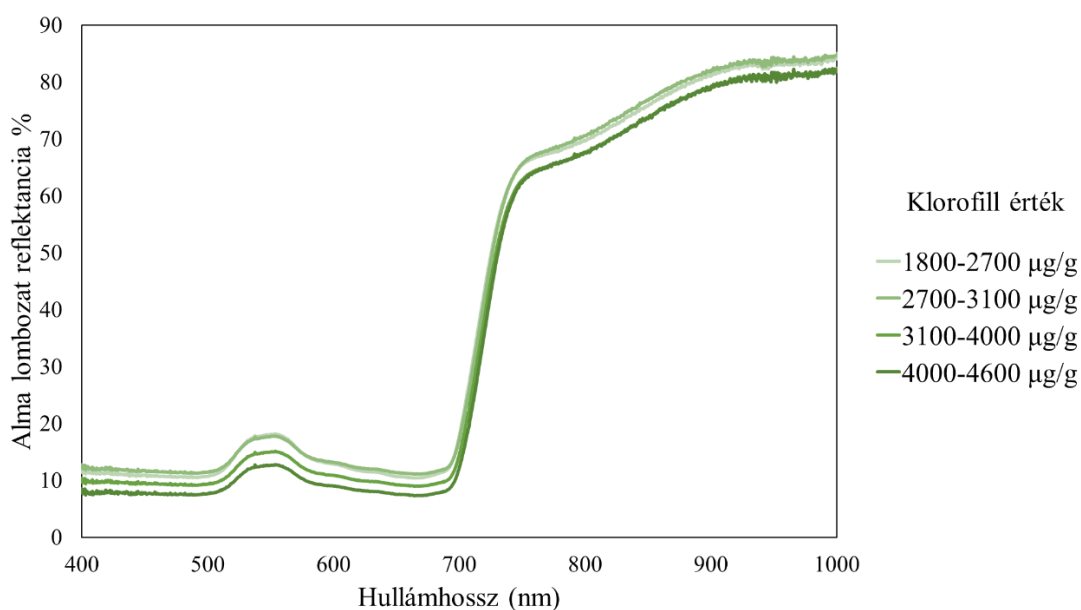
A jégháló vízháztartási és pigment változókra gyakorolt hatásának elemzése mellett korrelációs elemzéseket is végeztem azon változók értékei között, amelyek bizonyos mérési időpontokban szignifikáns különbséget mutattak. A klorofill és a karotinoidok esetében szignifikánsan pozitív korreláció mutatható 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 száranyag tartalom és a lombkorona hőmérséklet között szignifikánsan fordított kapcsolat volt ($r=-0,718$, $p=0,007$). Az eredmények azzal magyarázhatók, hogy a jéghálóval nem védett

gyümölcsösök melegebb és szárazabb mikroklímája miatt megnövekedett lombkorona hőmérséklet csökkentette a fotoszintetikus aktivitást, valamint a lombzat nedvességtartalmát. Ez megegyezik TANNY (2013) tanulmányával, miszerint a mérsékelt árnyékolás csökkenti a levélhőmérsékletet és a párolgásigényt, valamint növeli a fotoszintézist. Az eredmények összhangban vannak azzal, hogy a vízstressz mellett a magas hőmérséklet (hőstressz) is hozzájárul a pigmentek lebomlásához és a fotoszintetikus aktivitás csökkenéséhez. YILDIZ és TERZI (2007) eredményeivel összhangban, ebben a vizsgálatban a magasabb léghőmérséklet következtében a magasabb hőstressz miatt alacsonyabb klorofill- és karotinoid tartalmat mértek a jégghálóval nem védett gyümölcsösökben. 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 hatása során magasabb vízpotenciál értékek 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 ($r=0,289$, $p=0,006$).

4.5. Abiotikus stressz spektrális értékelése és klorofill becselő modellek kialakítása

A klorofilltartalom reflexiós profiljait a 400-1000 nm-es tartományban értékeltem. A klorofilltartalom legalacsonyabb értéke $1828 \mu\text{g/g}$, a legmagasabb klorofilltartalom $4576 \mu\text{g/g}$ volt. Eredményeim során megfigyelhető, hogy a magas klorofilltartalommal rendelkező levelek 8-10% közötti reflexiós értéket mutattak, ami a klorofill értékek csökkenésével arányosan növekvő reflexiót mutat. Alacsony, $1800\text{-}2700 \mu\text{g/g}$ 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 (42. ábra). A növényi stressz az 500-700 nm-es hullámhossztartományban magas reflexiós értékekkel kimutatható. A levél szerkezeti

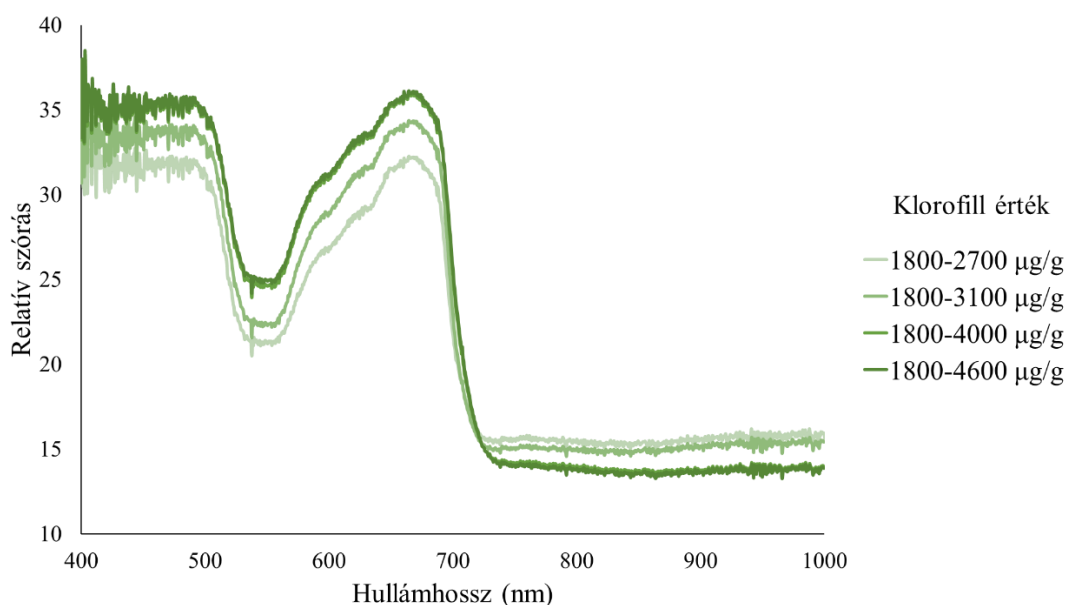
tulajdonságai alapján az energia nagy része áteresztésre és visszaverődésre kerül, ami egy magas közeli infravörös (NIR) görbét hoz létre. A vörös perem, ami a reflexió erős emelkedése során a vörös és a NIR sávok között helyezkedik el, a növényi stressz kimutatására használnak és szorosabban kötődik a pigmentekhez (HUETE, 2004). A vegetációs indexeket főként a vörös és NIR sávok reflexiós adataiból vezetik le, ezek olyan numerikus mérések, amelyek a növényzet spektrális jellemzői alapján mérik a biomasszát vagy a vegetációs állapot előrehaladását (ROMAN és URSU, 2016).



42. ábra: Alma lombozat reflektancia % értékei

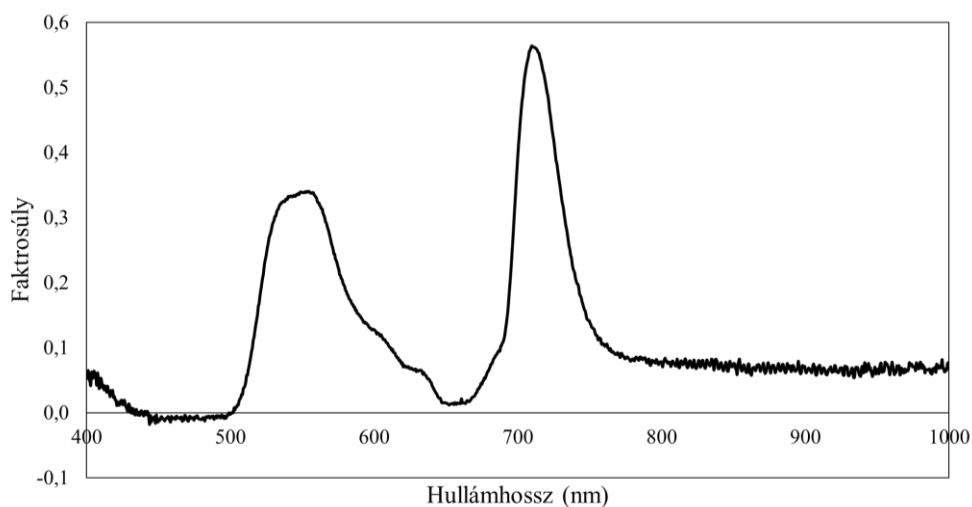
A levélminták spektrális jellemzőinek további vizsgálatához a reflektancia (%) érték adatainak a relatív szórás értékeit klorofilltartalom alapján négy csoportra osztottam (1800-2700 µg/g, 2700-3100 µg/g, 3100-4000 µg/g, 4000-4600 µg/g). Az alacsony klorofilltartalmú csoportokban alacsony standard eltérés (520 nm $\pm$ 30 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 (43. ábra). Ezt NAGY

et al., (2016), valamint ZUR et al., (2000) is megerősítik, akik a falevelek pigmenttartalmának változását vizsgálták, és hasonló következtetésekre jutottak.



43. ábra: Alma lombzat reflektanciájának relatív szórás értékei

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 fel az 556 és 710 nm-es tartományokkal együtt a klorofill becselő indexek kialakítására (44. ábra).



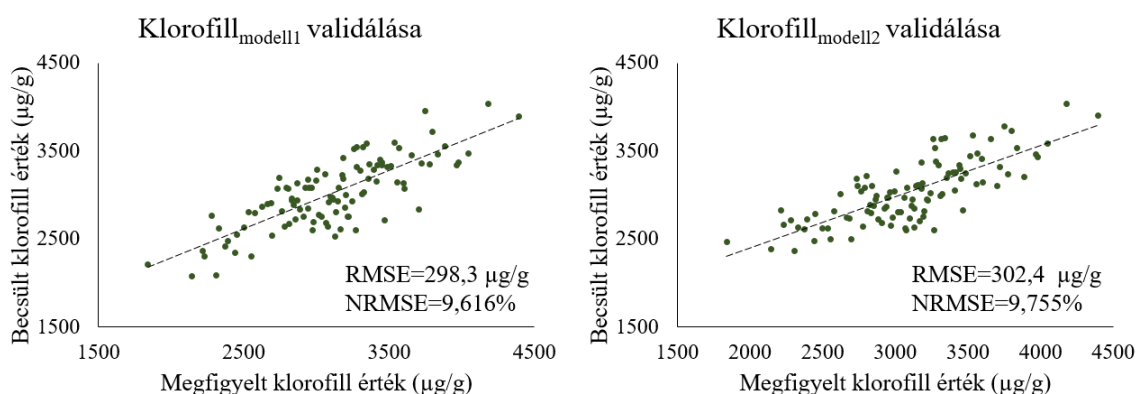
44. ábra: Alma lombzat spektrális értékeinek faktoranalízise

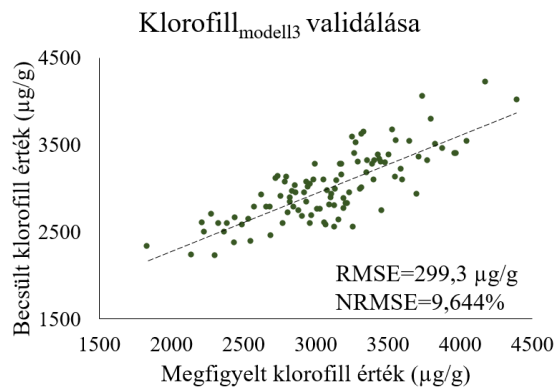
Kutatásom során három indexet alkottam: $Index_1 = (\lambda_{800} - \lambda_{710}) / (\lambda_{800} + \lambda_{710})$ amely lineáris regresszió alapult, erős regressziós értékkel $R^2=0,561$ ($p=0,000$). Az $Index_2 = (\lambda_{800} - \lambda_{710}) / \lambda_{556}$ modell erős korrelációt mutatott $R^2=0,506$ ($p=0,000$) értékkel. Az $Index_3 = (\lambda_{800} - \lambda_{556}) / \lambda_{710}$ modell szintén erős regressziós értéket mutatott, $R^2=0,560$ -os értékkel ($p=0,000$) (16. ábra).

16. táblázat: A lineáris regresszió alapuló klorofill modellek statisztikái

Modell		Nem standardizált együtthatók		Standardizált együtthatók	t	Sig.	N
		B	Standard hiba	Beta			
Klorofill modell1	Konstans	-468,6	210,4		-2,227	0,027	260
	Index ₁	8149	484,5	0,749	16,82	0,000	
Klorofill modell2	Konstans	1504	105,7		14,22	0,000	260
	Index ₂	581,1	38,72	0,710	15,01	0,000	
Klorofill modell3	Konstans	646,5	144,2		4,483	0,000	260
	Index ₃	1228	72,81	0,750	16,88	0,000	

A 400-1000 nm-es hullámhossztartományban működő Klorofill_{modell1} RMSE=298,3 µg/g, NRMSE=9,616%, NSE=0,601 MBE=84,59 µg/g és MAE=243,4 µg/g volt. A klorofill értékek 2084 és 4045 µg/g között mozogtak, az átlagos szórás $3017 \pm 394,8$ µg/g volt. Az Klorofill_{modell2} RMSE=302,4 µg/g, NRMSE=9,755%, NSE=0,595, MBE=62,59 µg/g és MAE=246,9 µg/g. A becsült klorofill értékek 2371 és 4040 µg/g között mozogtak, az átlagos szórás $3039 \pm 355,6$ µg/g volt. Az Klorofill_{modell3} használata RMSE=299,3 µg/g, NRMSE=9,644%, NSE=0,601, MBE=91,48 µg/g és MAE=244,6 µg/g volt. Az becsült klorofill értékek 2212 és 4218 µg/g között változtak, átlagosan $3010 \pm 395,6$ µg/g értékkel (45. ábra).





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

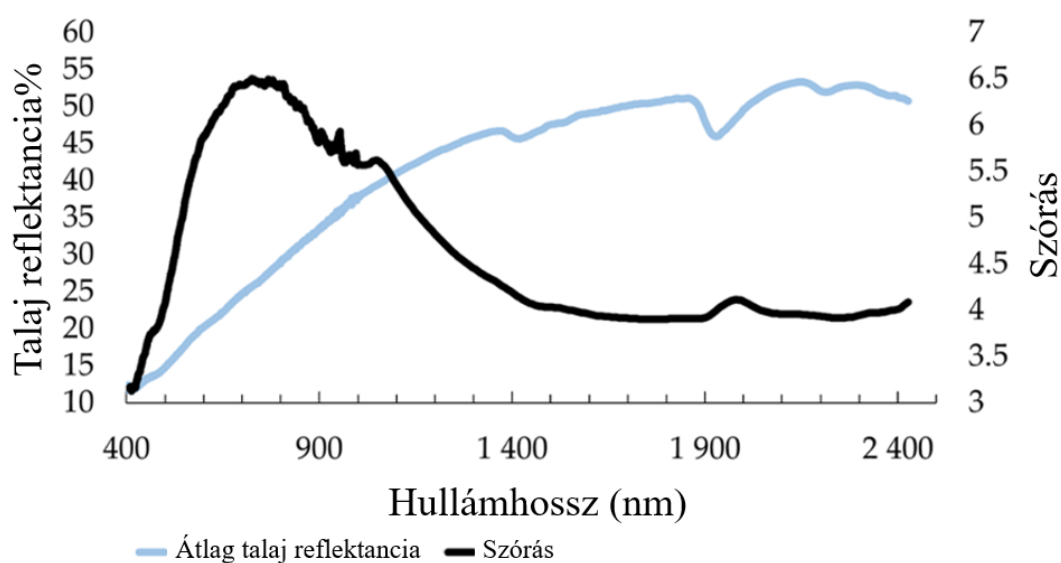
A kialakított modellek mellett, összehasonlításképpen már meglévő és a gyakorlatban használt VI-t számoltam. Az NDVI esetében $R^2 = 0,112$ (NRMSE= 16,78%), a REP index során, mint a növényi levél visszaverődési spektrumának a vörös és a közeli infravörös hullámhosszak közötti maximális meredekségű pontját megfigyelve $R^2 = 0,266$ -ot (NRMSE= 14,74%) kaptam. A Red Edge Normalised Difference Vegetation Index számítása során $R^2 = 0,388$ -at kaptam 14,11%-s NRMSE értékkel. A Modified Red Edge Simple Ratio Index során $R^2 = 0,091$ és NRMSE= 16,93% értéket kaptam. A Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index számításakor $R^2 = 0,242$ (NRMSE= 14,94%), a Photochemical Reflectance Index során alacsony $R^2 = 0,015$ (NRMSE= 17,58%) értéket kaptam. Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index számításakor $R^2 = 0,178$ értéket kaptam 15,22 %-s NRMSE mellett. A vizsgált indexek minden esetben alacsonyabb R^2 és magasabb NRMSE értéket adtak az általam kialakított indexekkel szemben (17. táblázat).

17. táblázat: Vizsgált indexek összegzése

Index neve	R ²	NRMSE (%)
Normalized Difference Vegetation Index	0,112	16,78
Red Edge Position	0,266	14,74
Red Edge Normalized Difference Vegetation Index	0,388	14,11
Modified Red Edge Simple Ratio Index	0,091	16,93
Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index	0,242	14,94
Photochemical Reflectance Index	0,015	17,58
Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index	0,178	15,22
Klorofill _{modell1}	0,561	9,616
Klorofill _{modell2}	0,506	9,755
Klorofill _{modell3}	0,560	9,644

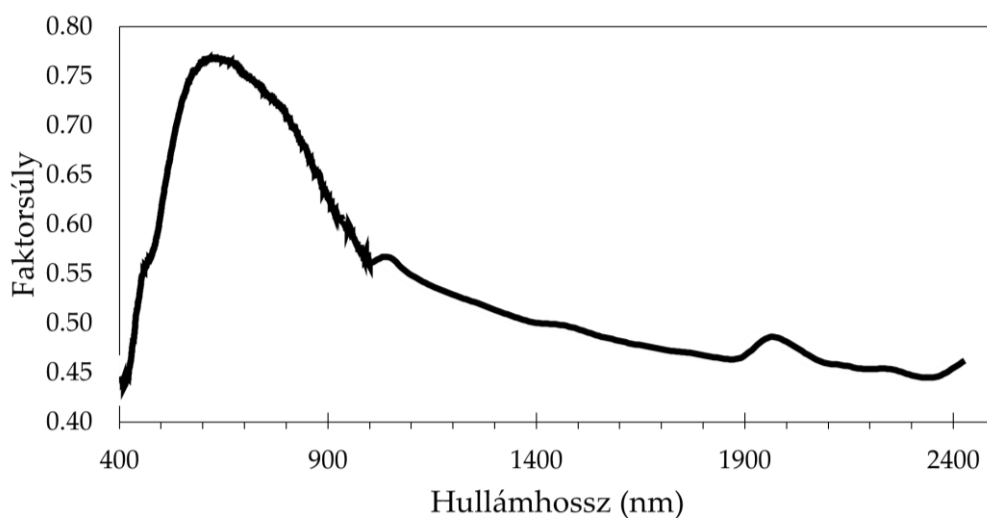
4.6. Szervesanyag tartalom becslő indexek kialakítása spektrális vizsgálatok alapján

A száraz talajminták reflexiós profiljait a 400-2500 nm-es tartományban értékeltem. Átlagosan a reflektancia lineárisan növekszik a hosszabb hullámhosszúsággal. A talajminták fényvisszaverő képessége 9-14% között változott rövidebb hullámhosszon, és 1000 nm-en elérte a 34-39,50%-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. Bár a szerves funkciós csoportok esetében a másik oldalon 1930 nm közelében van egy csúcs, amelyet elfedhet a víz erős hatása az 1900 nm-es sávban (BOWERS és HANKS, 1965) (46. ábra).



46. ábra: VIS-NIR tartományban kapott reflexiós és szórás érték görbéi

A PCA öt fő komponenst eredményezett. Az első faktor a teljes variancia 93,20%-át magyarázta, a fennmaradó négy komponens a variancia 5,580%-át magyarázta, így a teljes magyarázott variancia 99,80% volt (47. ábra). Az első komponens faktorsúlyai 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.



47. ábra: VIS-NIR főkomponens analízis

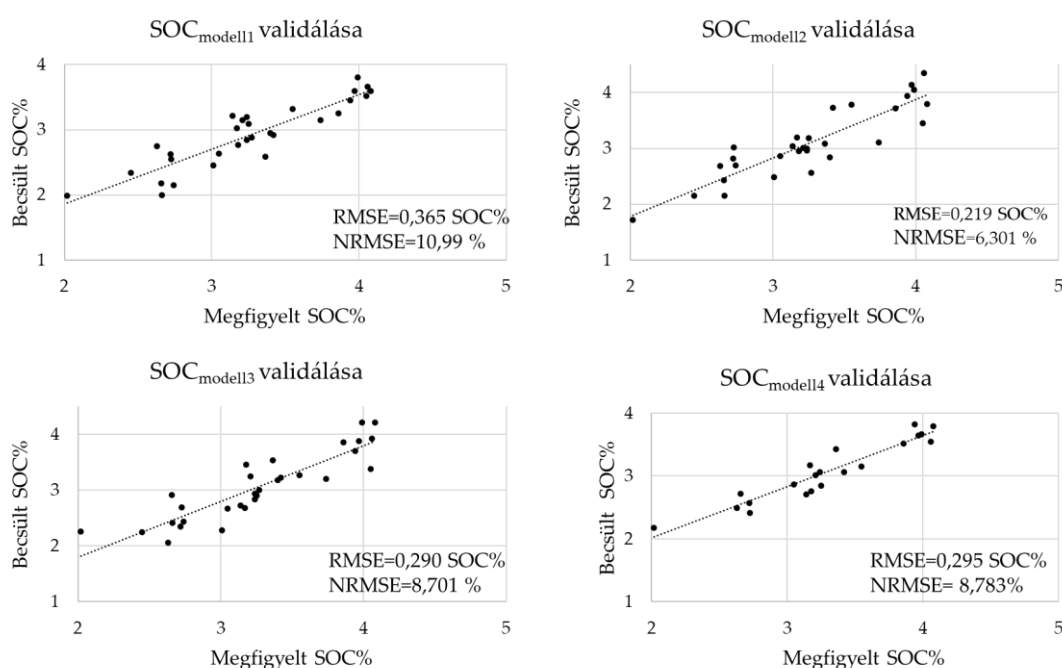
A faktorok súlyában két minimum volt, de a korábban azonosított különbségek és eltérések miatt a 960-970 nm-es tartományt kevésbé érzékenynek tekintettem a SOC-ra, ezért kiszámítottam az $\text{Index}_1 = \lambda_{580-600} / \lambda_{960-970}$ értéket. Az első SOC modell ($\text{SOC}_{\text{modell1}}$) 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 $\text{SOC}_{\text{modell2}}$ erős korrelációt mutatott ($R^2=0,611$, $p=0,000$). A $\text{SOC}_{\text{modell3}}$ 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 $R^2=0,493$ ($p=0,000$) (18. táblázat).

18. táblázat: A lineáris regresszió alapuló SOC modellek statisztikái

Modell		Nem standardizált együtthatók		Standardizált együtthatók	t	Sig.	N
		B	Standard hiba	Beta			
SOC modell1	Konstans	6,093	0,730		8,348	0,000	60
	Index ₁	-6,125	1,363	-0,684	-4,493	0,000	
SOC modell2	Konstans	9,344	1,061		8,806	0,000	60
	Index ₂	-8,167	1,327	-0,782	-6,156	0,000	
SOC modell3	Konstans	7,121	0,800		8,904	0,000	60
	Index ₃	-6,048	1,124	-0,747	-5,381	0,000	
SOC modell4	Konstans	4,954	0,464		10,68	0,000	60
	Index ₄	-4,947	1,069	-0,702	-4,630	0,000	

A 400-1000 nm-es hullámhossztartományban is működő $\text{SOC}_{\text{modell1}}$ RMSE=0,365 SOC%, NRMSE=11% és NSE=0,561 volt. A SOC-értékek 1,988 és 3,819 SOC% között mozogtak, az átlagos szórás $3,021 \pm 0,490$ volt. Két modellt dolgoztam ki a SOC

becslésére a NIR hullámhossztartományban. A legerősebb regressziós együtthatóval rendelkező SOC_{modell2} RMSE=0,219 SOC%, NRMSE=6,301% és NSE=0,855 pontossági értéket adott, ami alátámasztja a modell becslésének a legjobb megbízhatóságát. A becslült SOC értékek 1,723 és 4,357 SOC% között változtak, átlagosan $3,151 \pm 0,699$ értékkel. A SOC_{modell3} használata RMSE=0,290 SOC%, NRMSE=8,701% és NSE=0,725 volt. A becslült SOC-értékek 2,056 és 4,223 SOC% között mozogtak, átlagosan $3,170 \pm 0,687$ értékkel. A SOC_{modell4} becslési pontossága RMSE=0,295 SOC%, NRMSE=8,783%, NSE=0,727 volt. A becslült SOC értékek 2,189 és 3,834 SOC% között mozogtak, az átlagos SOC érték $3,109 \pm 0,486$ volt (48. ábra).



48. ábra: A SOC modellek validálásán alapuló becsülő modellek pontossága

BÉNI et al. (2021) méréseket végeztek RED és NIR reflexióval, egy általuk szabadalmaztatott műszerrel, ahol a mért értékeket összehasonlították a referencia laboratóriumi vizsgálatban különböző talajtípusokra kapott SOC eredményekkel. A kalibráció a NIR/RED indexből származott, ahol erős korrelációt ($R^2=0,73$) találtak a szabadalmaztatott kimutatási módszerükkel kapott értékek és a referencia mérési adatok között. Becslő modellem által kapott eredmények azonban gyengébb, de szignifikáns korrelációt mutatott. Másrészt BÉNI et al., tanulmányában nem voltak validálási adatok. OGRIC et al. (2019) tanulmányában talajmintákat elemeztek a 400-2500 nm hullámhossztartományban, de a saját vizsgálataimtól eltérően ők a predikciós módszer

kidolgozásához részleges legkisebb négyzetet (PLS), a referencia SOC adatok meghatározásához pedig 1050 °C-os száraz égetést használtak. CHANG et al. (2005) erős korrelációt talált a SOC és a karbonátokkal korrigált száraz égetés referencia értékei között az 1100-2500 nm-es hullámhossztartományban, $R^2=0,88$ értékkel. ISLAM et al. (2003) hasonló megközelítést követett, mint a saját vizsgálataim, talajmintákat elemeztek a 400-2500 nm-es hullámhossztartományban, és a referencia SOC értékeik is hasonlóak voltak a Walkley & Black módszerrel való meghatározás után. A főkomponens regresszió kombinációját alkalmazva hasonló eredményeket kaptak, mint amit a jelen kutatásban kaptam. MORÓN és COZZOLINO (2002) szintén a 400-2500 nm-es hullámhossztartományban vizsgálták a SOC becslését és erős korrelációt ($R^2=0,74$) mutattak ki a referencia értékekkel. KÜHNEL és BOGNER (2017) tanulmányukban 350-2500 nm-es hullámhossztartományban vizsgálták a SOC értékeket PCA-t és CHN (szén, hidrogén, nitrogén) elemzést használva, és megállapították, hogy a kapott SOC eredmények erős korrelációt adtak $R^2=0,69$, ami szinte megegyezik a jelen tanulmány eredményével. A hivatkozásokban az RMSE 0,25-0,64 között van, ebben a tanulmányban 0,39, ami azt bizonyítja, hogy a jelen tanulmány validálási eredményei is összhangban vannak a fent leírt tanulmányokkal és a 19. táblázatban leírtakkal.

A látható és közeli infravörös fényvisszaverődési spektroszkópia alternatív módszert kínál a talajban lévő SOC értékelésére, amint azt ebben a tanulmányban is bemutattam, a meghatározás pontossága még mindig korlátozott a szokásos talajanalitikai módszerekhez képest. Hangsúlyozni kell, hogy a SOC nem az egyetlen, de az egyik leginkább befolyásoló tényezője a talaj spektrális jellemzőinek. A talaj szerkezete, nedvességtartalma, agyagtartalma szintén mérhető hatással van a spektrális jellemzőkre (BOWERS és HANKS, 1965). Továbbá a talajok spektrális válaszát a szerves anyag fejlődése és a bomlási szakaszok számos módszerrel befolyásolják, ami megnehezíti a leírását.

19. táblázat: Talaj szervesanyag becslési modellek összehasonlítása spektroszkópai vizsgálatok alapján

Becslo módszer	Referencia módszer	λ – Hullámhosszt artomány (nm)	Kal/ Val	R ²	RMSE (SOC%)	SOC tartalom (mg/g)	SOC tartalom szórása (mg/g)	Szakirodalom
PCA	Walkley & Black	1020- 1050/ 1870-2000	60/30	0,61	0,39	17,2- 43,5	6,9	Jelen tanulmány
PLS	Walkley & Black	660-940	Összesen 26	0,73	*	11,9- 60,5	*	BÉNI, et al., 2021
PLS	1050°-os száraz égetés	400-2500	173/157	0,82	0,64	0,63- 40,85	8,91	OGRIC et al., 2019
PCA	CHN- analízis	350-2500	29/41	0,69	0,5	10,1- 90,6	10,5	KÜHNEL and BOGNER, 2017
PLS	karbonát korrigált száraz égetés	1100-2500	161/83	0,88	0,38	0,5- 40,8	10,4	CHANG, et al., 2005
PCR	Walkley & Black	400-2500	121/40	0,81	0,35	0,6- 49,5	8,2	ISLAM, et al., 2003
PLS	Walkley & Black	1100-2500	270/90	0,66	0,25	6,5- 30	4,2	DUNN, et al., 2002
PLS	Dikromátos oxidáció	400-2500	177/139	0,74	0,5	10,3- 68,5	15	MORÓN és COZZOLINO , 2002

* nem értékelt

ahol

Cal/Val: kalibrációs és validációs minták száma

PCA: főkomponens analízis

PCR: főkomponens regressziós analízis

PLS: parciális legkisebb négyzetes elemzés.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A hosszútávú termésalakulásra vonatkozó információk fontosak a mezőgazdasági gyakorlatokban a növények igényeihez való időbeni igazítás szempontjából. Különösen a távérzékelte vegetációs indexek használata ajánlott széles körben a mezőgazdasági térképezéshez és megfigyeléshez. Vizsgálataimmal megállapítható, hogy a MODIS NDVI idősoros adatképek felhasználhatók a termésbecslés kialakításában és számításában. A monitoring alapjának biztosítása és fejlesztése a Tisza-vízgyűjtő területének fontos előrehaladását jelentheti a búza, kukorica gabonanövények hozamalakulásában. A kidolgozott monitoring rendszerrel akár 4 héttel hamarabb is lehet megközelítő eredményeket adni még a búza betakarítása előtt. Az eredmények a klímaadatokkal összevetve segítséget nyújthat a növényi vízhiány vagy a hosszan tartó csapadékos időszak által okozott víz stressz következményeinek, termésveszteség a korai felismerésére.

Kutatásomban egy olyan becselő módszert is megfogalmaztam, amely a multispektrális távérzékelési adatokból (Landsat 8 - NDVI és SAVI) származó vegetációs indexeken és a Tisza folyó vízgyűjtő területén jelentett búzatermés adatokon alapul. A 6 év alapján kialakított becselő modellből a termés hozam 6 héttel a betakarítás előtt megbecsülhető. A termés hozam becslés alkalmazhatóságának és pontosságának megértése lényeges eleme a becslésnek, mivel a végső cél becslési bizonytalanságok csökkentése egy adott helyre és egy adott mezőgazdasági vagy gazdasági ágazatra vonatkozóan. A kidolgozott becselő modell az NDVI és a SAVI alapján közepesen jó és jó becsléseket adott a tenyészidőszak lehető legkorábbi szakaszában, és a szezon során a betakarításig rendszeresen frissíthetők. Ez az ismeret csökkentheti a lehetséges terméskiesések hatásait, ha időben és megfelelő formában jut el a gazdálkodókhoz vagy a döntéshozókhoz, és ha emellett a kárenyhítési intézkedések és felkészülési tervek is rendelkezésre állnak. A kidolgozott búzatermés becselő modellek időben, rendszeresen és standardizált módon ad tájékoztatást a búzatermésről, valamint a búza állapotáról és hozamáról szántóföldi és vízgyűjtő szinten. Kutatásomban egy VRI-vel felszerelt átforduló lineár öntözőrendszer vízelosztási eredményeit mutatja be, mint az öntözés egyenletessége és pontossága egy modellezett öntözési zónában. Valamint értékeltem a gazdálkodási zónák határait és a vízkijuttatás pontosságát a különböző gazdálkodási zónák között. Homogén öntözési egyenletességet figyeltem meg, ami a gyakorlatban elhanyagolhatóan alacsony alul- és túlóntozást eredményezett. A gazdálkodási zónákat ebben a tanulmányban a lineáris irányban mozgó

VRI rendszert haladási, kereszt- és hosszirányba osztottam fel. Ennek eredményeként nemcsak a zóna minimális hosszát határoztam meg, hanem az öntözés pontosságát is különböző tervezett vízkijuttatási mennyiségek mellett. Az eredmények a lineáris irányú VRI-rendszer optimális tervezési adatait ajánlják. Ez támogatja a pontosabb öntözési ütemtervek kidolgozását, figyelembe véve a térbeli mintázatokat és a szántóföldi léptékű különbségeket. Az eredményeknek azonban még mindig vannak hiányosságai, mint a különböző szórófejtípusok, szórási távolságok, az öntözési nyomás hatása a VRI egyenletes kijuttatására és pontosságára.

Kutatásom eredményei bizonyítják az almaültetvényben alkalmazott jéggháló pozitív hatását a hő- és szárazságérzékeny almafajták vízháztartására, pigmenttartalmára, stresszel szembeni alkalmazkodására és a termékek fizikai paramétereire. Az eredmények alapján a jéggháló a mikroklimatikus viszonyok révén kedvezően hat az Early Gold és Golden Reinders almaültetvények vízháztartására, részben ellensúlyozva a nyári hő- és aszálystressz okozta negatív hatásokat. A jéggháló mikroklimára gyakorolt hatása, amely alacsonyabb léghőmérsékletet és magasabb relatív páratartalom értékeket eredményez, a lombkorona hőmérséklet csökkenése, a magasabb vízpotenciál értékek mind az egyedek jobb vízháztartását támasztja alá. A vízellátottság a szárazanyag tartalom alapján is nyomon követhető, de mellette további mérésekre is szükség van. A fák vízháztartásával közvetlenül összefüggő változókon kívül a jéggháló használata a pigmenttartalom értékeire és a hőstresszel szembeni alkalmazkodásukra is hatással volt. A lombkorona hőmérséklete, a levél vízpotenciálja és szárazanyag tartalma alapján, a Golden Reinders fajta érzékenyebben reagál a jéggháló alkalmazására, mint az Early Gold.

Az almatermesztés során fontossá vált a gyors spektrális alapú módszerek alkalmazása a klorofilltartalom becsléséhez és nyomon követéséhez, mivel a pigmenttartalom jó stressz mutatóként szolgál. Kutatásomban három klorofill becslő modellt hoztam létre, melyek közül az $Index_1 = (\lambda_{800} - \lambda_{710}) / (\lambda_{800} + \lambda_{710})$ tartományok alapján a Klorofill_{modell1} teljesített a legjobban. Az eredmények azt mutatják, hogy a VIS spektrális indexen alapuló modellek sikeresen becslik a klorofill koncentrációt.

A gazdálkodóknak szükségük van megbízható, nem invazív, költséghatékony módszerekre a talaj szervesanyag tartalmáról való információszerzéshez a hagyományos analitikai módszerek mellett, a tápanyagszolgáltató képesség és a vízforgalomra gyakorolt hatások vizsgálata miatt. Az eredményeim igazolták, hogy VIS-NIR spektroszkópia (különösen a NIR) alapú szervesanyag tartalombecslő modellek alkalmasak a talaj SOC%-tartalmának gyors becslési meghatározására. Négy becslő

modellt hoztam létre, melyek közül az $\text{Index}_2 = \lambda_{1020-1040} / \lambda_{1900-2100}$ hullámhosszból kialakított $\text{SOC}_{\text{modell2}}$ teljesített a legjobban, és ez volt a legpontosabb modell is. A jobb mezőgazdasági gazdálkodási döntések meghozatala érdekében előnyös a nem invazív és analitikus módszerek integrálása. Az eredmények azt mutatják, hogy a VIS-NIR spektrális indexen alapuló modellek sikeresen becslik a SOC koncentrációt egy helyspecifikus alkalmazásban. Ez csökkentheti a mintavételi költségeket, azáltal, hogy a laborba szánt mintaszámok optimalizálhatóak, illetve megállapíthatóak a vizsgált területnek a heterogén foltjai. Az eredmények továbbá kevésbé robusztus becselő megoldásokat kínálnak a Kárpát-medence legfontosabb mezőgazdasági régiójának, talajának nem invazív SOC monitorozásához.

Az elért eredményeim hozzájárulnak az aszály okozta termésveszteségek regionális és farmszintű pontosabb előrejelzéséhez, a növénytermesztési tér vízforgalmát jellemző egyes paramétereinek gyors nem invazív mérési módszertanának fejlesztéséhez és hazai adaptációjához, jéggháló, mint agrotechnikai megoldás vízforgalomra gyakorolt hatásának megértéséhez, valamint egy új, VRI-vel felszerelt átfordulós lineár öntözőberendezés precíziós üzemeltetéséhez.

6. 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 jégfaló borítás pozitívan hat az Early Gold és Golden Reinders almaültetvények vízháztartására. Az alacsonyabb hőmérséklet (-2,980 %) és a magasabb páratartalom (3,488 %) hatására a jégfalóval védett almafák lombkorona hőmérséklete 7,283 %-kal, leveleinek szárazanyag tartalma 4,761 %-kal volt alacsonyabb, mint a nem védett egyedeké. A jégfalóval 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 $\mu\text{g/g}$, NRMSE=9,616%, NSE=0,601, MBE=84,59 $\mu\text{g/g}$ és MAE=243,4 $\mu\text{g/g}$) 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 $\text{Index}_2 = \lambda_{1020-1040} / \lambda_{1900-2100}$ (RMSE=0,219 SOC%, NRMSE=6,301%, NSE=0,855) alkalmazható a legpontosabban a talaj szervesanyag tartalom gyors, nem invazív vizsgálatára.

7. 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 túlöntözöttség 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 jégáló 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 jégáló alkalmazása nem csak a jégkárak 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. ÖSSZEFOGLALÁS

Doktori értekezésem során célom volt a vízhiány és az élelmezés biztonság vízgyűjtő szintű kapcsolatrendszerének és a klímaadaptáció kapcsolat rendszerének spektrális vizsgálata és értékelése volt nem invazív mérési módszerek alapján. A kutatás során validált spektrális adatsorokra alapozott modellezéssel értékeltem a növény-talaj-víz kapcsolatrendszerét, a növénytermesztési tér hidrológiai folyamatait és vízháztartási viszonyait a Tisza-vízgyűjtő területén tekintettel az integrált vízgyűjtő gazdálkodás követelményeire. A kutatásom 5 fő részre tagolódik. Elsőnek a regionális és farm szintű aszályindexet, a termesztett növények hozamadataival kalibrált mezőgazdasági aszálymonitoringot és a termésveszteség becslő rendszert dolgoztam ki, melyhez MODIS és Landsat 8 műholdas felvételeket töltöttem le 2000-2018 között, 7 a Tisza-vízgyűjtő területén található megyére. A letöltött műholdas képek feldolgozásához TerrSet és ArcGIS térinformatikai szoftvereket használtam, illetve a CORINE 2012 adatbázis és topográfiai térképek távérzékelési adatait a digitális magassági modellek adataival együtt dolgoztam fel és integráltam. A Tisza vízgyűjtő területein megtalálható búzatablák megjelenítéséhez minden év áprilisi és júliusi MODIS NDVI adatait használtam fel. A kalibrálás a KSH által elérhető búza termésátlag (t/ha) értékekkel történt lineáris regresszió felállításával. 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. A búzatermést a betakarított búza össztömege alapján mértem egy adott területre. A Landsat által származtatott vegetációs indexek bizonyítottan hatékony eszköznek bizonyulnak a vegetáció állapotának értékelésére, indokolt a terméshozam becslésére is alkalmazni. Az adatok feldolgozásnál először az adatgyűjtés és előfeldolgozás, majd a vegetációs indexálás és simítás, az NDVI és SAVI adatok maszkolása a szántóföldek alapján, a maszkolt adatok kalibrálása a termésadatokkal, végül a termésbecslő modellek validálása történt. 2000-2018-ig a vizsgált 7 megyére vonatkozó becslő 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 %) lett. Az összes év 7 vizsgált megyéjére vonatkozó becslés RMSE hiba értékeiből tovább számoltam RMSE/év értékeket, melyekből a valós terméshozam adataival RMSE/termés % értékeket figyeltem meg. Az NSE-t, mint a modell hatékonyságának globális mérőszámát alkalmaztam, mely

az NDVI értékek alapján $NSE = 0,799$ erős becslési értéket adott a modellek használata során. A Landsat 8 műholdas képek feldolgozása során kialakított becslő modellek további validálásához és pontosságának kiszámításához a vizsgált terület 2018 és 2019 közötti betakarított átlagos búzaterméseit használtam, 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. Az NDVI esetében a becsült értékek pontossága 0,255-0,452 t/ha változott a becslő modellek RMSE és NRMSE értékei alapján. A legjobb becslési pontosságot a korai érési időszakokból származtatott modellek adták. A SAVI esetében a becsült értékek pontossága 0,177-0,239 t/ha változott.

VRI technológiával szabályozott átfordulós lineár öntözőberendezés vízkijuttatását értékeltem, mely során csapadékmérő edényeket helyeztem ki a szórófejek vízkijuttatási és szórás egyenletességi értékeit vizsgálva 6×4 -es rácshálóban, 50 cm magasságban, 5 m-es távolsággal. A tervezett öntözővíz kijuttatás 10 mm volt, három ismételtsben. Az öntözőgép haladási irányában végzett öntözési vizsgálatot két öntözési zóna közötti vízkijuttatás hosszanti átmenetének meghatározása és a kezelési zóna minimális hosszának felmérésénél a zónák tervezett öntözővíz mennyisége 5 és 10 mm volt. A zónák közötti tervezési határ a 20. vízgyűjtő volt. A hosszanti átmenetre vonatkozó kísérleteket három ismételtsben végeztem el. 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. Ennek megfelelően négy 2,5, 5, 7,5 és 10 mm-es öntözési vízkijuttatást vizsgáltam, két ismételtsben. A csapadékmérő edények felfogott vízmennyiségi adataiból származó vízeloszlás egyenletességét a Christiansen-féle egyenletességi együtthatóval, az alsó negyed eloszlás egyenletességi együtthatóval és a variációs együtthatóval számítottam ki. 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. A vizsgált vízelosztási jellemzők eredményei a gyakorlatban magas és homogén öntözési egyenletességet értem el, a $CUC\% \ 93,22 \pm 1,765$, a $DU\% \ 88,63 \pm 2,051$ és a $CV \ 9,022 \pm 2,348$ volt. A zónák közötti hosszanti átmenet a 14. és a 26. csapadékedény között folyamatos és homogén volt, ami az öntözőgép haladási irányában 12 m széles határ a kezelési zónák között. A csapadékmérő edényekben összegyűjtött öntözővíz átlagos

mennyisége $2,422 \pm 0,517$ mm volt, az alkalmazott vízatatokból számított CUC%, DU% és CV% 81,36%, 81,36% és 20,26% volt az első zóna esetében. A következő kezelési zónában az átlagos öntözővíz $4,790 \pm 0,945$ mm volt, ami 85,94%-os CUC%-ot, 78,28%-os alacsony DU%-ot és 17,31%-os CV-t eredményezett. A harmadik zónában az átlagos öntözővíz $7,051 \pm 0,744$ mm volt, ami 92,81%-os CUC%-ot, 88,42%-os DU%-ot és 9,355%-os CV-t eredményezett. A maximális vízhozamú negyedik zónában átlagosan $9,204 \pm 0,777$ mm vizet mértek, ami 92,98%-os CUC%-ot, 90,75%-os DU%-ot és 8,439%-os CV-t eredményezett.

A jéggháló használatának alma gyümölcsös vízforgalmára gyakorolt hatásának értékelése lombzat pigmenttartalmi, termográfiai, lombzatban mért vízpotenciál, stressz és szárazanyag tartalom alapján történt. 2016-ban, 2019-ben és 2020-ban terepi felméréseket végeztem el az Early Gold és Golden Reinders almafajtákon. A kutatásom során 14 termográfiai felmérés lett elvégezve a HEXIUM PYROLATER-12 termokamerával 2016-ban. 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) FULTON et al. (2014) alapján. A mintavétel homogenitásának biztosítása érdekében a pigmenttartalom meghatározásához a kijelölt fákról levélmintákat vettem 1,2 m magasságból, az egyik ág középső részéből. A minták klorofill tartalmát a DROPPA et al. (2003) által közzétett egyenlet alapján határoztam meg. A karotinoid értékeket pedig LICHTENTHALER és WELLBUM (1983) egyenlete alapján. A szárazanyag tartalom a pigmenttartalom laboratóriumi vizsgálatával párhuzamosan határoztam meg hagyományos gravimetriás módszerrel. A talaj nedvességtartalmát minden terepi felmérés alkalmával a mintavételekkel párhuzamosan monitoroztam. A növényi stressz méréséhez az Fv/Fm értékének meghatározására volt szükségem, melyet OS30p+ (Opti-Sciences) típusú klorofill fluoriméterrel mértem. A vizsgált paraméterek eredményei alapján megfigyelhető volt, hogy a Golden Reinders fajta érzékenyebben reagál a jéggháló alkalmazására, mint az Early Gold. A jéggháló elsődleges alkalmazási célján túlmenően befolyásolja a mikroklimatikus viszonyokat, ami a gyümölcsösök jobb vízháztartását eredményezi a hőstressz időszakában.

Abiotikus stresszhatások nem invazív értékelési módszertanának fejlesztése alma gyümölcsösben és adaptációja Early Gold és Golden Reinders fajtákra a lombzatban

mérhető klorofilltartalom spektrális jellemzői alapján történt. A mintavételt hetente kétszer 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, három ismétlésben. A reflexiós értékeket és a relatív szórásértékeket (SD) közel azonos intervallumokba csoportosítottam. 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. A modelleket az adatbázisom 2/3 értékeivel kalibráltam, a maradék 1/3-ad adataival validáltam. Az egyszerű lineáris regresszió módszerét használtam a klorofill becslésére szolgáló modell létrehozására. A regressziós modellek erősségének összehasonlítására determinációs együtthatót (R^2), a becslő modellek pontosságának mérésére a RMSE, NRMSE, NSE, MAE és MBE függvényeket alkalmaztam. A kapott eredményeim során három indexet alkottam: $Index_1 = (\lambda_{800} - \lambda_{710}) / (\lambda_{800} + \lambda_{710})$ ($R^2 = 0,561$, $p = 0,000$), $Index_2 = (\lambda_{800} - \lambda_{710}) / \lambda_{556}$ ($R^2 = 0,506$, $p = 0,000$), $Index_3 = (\lambda_{800} - \lambda_{556}) / \lambda_{710}$ ($R^2 = 0,560$, $p = 0,000$). A pontossági értékek alapján a $Klorofill_{modell1}$ teljesített a legjobban (RMSE=298,3 $\mu g/g$, NRMSE=9,616%, NSE=0,601 MBE=84,59 és MAE=243,4).

A spektrális alapú talaj szervesanyag tartalmi vizsgálati módszertan fejlesztése, szervesanyag tartalombecslő rendszer kialakítása és alkalmazása során összesen 90 talajmintát gyűjtöttem 0-20 cm mélységből, amelyből 60 talajmintát használtam fel a kialakított modellek kalibrálásához és 30 mintát a modellek validálásához. A talaj szerves széntartalmát Walkley-Black módszerrel határozták meg, a spektrális profilokat 400-2500 nm közötti két külön laboratóriumi spektrométerrel mértem. Az eredmények statisztikai elemzését az SPSS szoftverrel végeztem. A legnagyobb faktorsúlyú hullámhosszak azonosítására a varimax rotációval végzett PCA-t használtam a SOC-érzékeny hullámhosszak azonosítására. A PCA mellett a spektrális jellemzők szórásait is megvizsgáltam ahhoz, hogy kiválasszam azokat a hullámhosszakokat, ahol az eltérések a legnagyobbak. A kapott eredményeimből négy talaj szervesanyag tartalom becslő modellt hoztam létre $Index_1 = \lambda_{580-600} / \lambda_{960-970}$ ($R^2 = 0,475$, $p = 0,000$), $Index_2 = \lambda_{1020-1040} / \lambda_{1900-2100}$ ($R^2 = 0,611$, $p = 0,000$), $Index_3 = \lambda_{1000-1010} / \lambda_{2420-2500}$ ($R^2 = 0,562$, $p = 0,000$) és az $Index_4 = \lambda_{640-660} / \lambda_{2200-2300}$ ($R^2 = 0,493$, $p = 0,000$). Az egyszerű lineáris regresszió módszerét használtam a SOC becslésére szolgáló modell létrehozására. A regressziós modellek erősségének összehasonlítására determinációs együtthatót (R^2), a

becslő modellek pontosságának mérésére RMSE, NRMSE, NSE függvényeket alkalmaztam, melyek alapján a $SOC_{modell2}$ teljesített a legjobban (RMSE=0,219 SOC%, NRMSE=6,301% és NSE=0,855).

9. SUMMARY

My doctoral thesis aimed to spectrally investigate and evaluate the relationship between water scarcity and food security at the watershed scale and the climate adaptation regime using non-invasive measurement methods. I assessed the interactions of plants, soil, and water during the research by modeling based on validated spectral data series. The hydrological processes and water-hydrological connections in the Tisza watershed crop production space account for the requirement for integrated watershed management. Five main goals were the basis of my research. My first goal was to develop a regional and operational drought index for 7 counties of the Tisza river basin using MODIS and Landsat 8 satellite imagery downloaded between 2000 and 2018. I developed a calibrated agricultural drought monitoring and crop loss estimation system in the Tisza watershed using data on crop yields. I used TerrSet and ArcGIS geospatial software to analyze the downloaded satellite imagery, and I analyzed and integrated digital elevation model data with remote sensing data from the CORINE 2012 database and topographic maps. The wheat cover in the Tisza watershed areas was visualized using MODIS NDVI data from April and July of each year. Linear regression was set up with the average wheat yield (t/ha) values available from the KSH to perform the calibration. The Karcag Research Institute of Agricultural Research and Agricultural Sciences of the University of Debrecen (from 2021 MATE Karcag Research Institute) provided average wheat yield data (t/ha) from 26 field plots of the Landsat 8 satellite imagery between 2013-2019. Based on the average amount of wheat harvested in a specific area, I estimated wheat yield. The Landsat-derived vegetation indices are an effective tool for evaluating the state of vegetation, therefore it is reasonable to use these for yield estimation. The collection and preliminary processing of the data were done first, then the indexing and smoothing of the vegetation. The NDVI and SAVI data were masked based on field plots, the masked data were calibrated with the crop data, and finally, the crop estimation models were validated. The average RMSE error of the estimation models for the seven counties under research from 2000-2018 was 0.491 t/ha (NRMSE=12.19%) on June 10 and 0.545 t/ha (NRMSE=13.33%) on June 26. I also calculated RMSE/year values from the RMSE error values of the estimate for the 7 counties under study for all years, from which I observed RMSE/yield % values using the actual yield data. I got a reasonable prediction of NSE = 0.799 using NDVI values. I used the observed average wheat yields for the study area between 2018 and 2019, with NDVI values giving a strong estimation value of NSE =

0.722 and SAVI values giving a strong estimation value of $NSE = 0.915$ when using the models. The estimator models developed by processing Landsat 8 satellite imagery were able to be further validated, and I was able to calculate their accuracy. The coefficients of determination for wheat showed values of more than 60% for NDVI and 70% for SAVI during the peak phenological period. Based on the RMSE and NRMSE values of the estimator models, the accuracy of the estimated NDVI values ranged from 0.255 to 0.452 t/ha. Models developed from the early blooming times had the highest estimation accuracy. The estimated values accuracy for SAVI ranged from 0.177 to 0.239 t/ha.

I assessed the water depth of a linear irrigation system that was VRI-controlled. I set up catch cans in a 6*4 grid at a height of 50 cm and a spacing of 5 m to evaluate the water depth and spray uniformity. 10 millimeters of irrigation water depth were meant to be applied in three replicates. Determination of the longitudinal transition of the water discharge between two irrigation zones for the irrigation test in the direction of travel of the irrigation machine and to assess the minimum length of the treatment zone. The planned water depth volume for the zones was 5 and 10 mm. The design boundary between the zones was 20 catch cans. Longitudinal transition experiments were performed in three replicates. I created four zones transverse to the pipeline with pulse timing, cycle times of 25, 50, 75, and 100%, and a maximum planned water depth of 10 mm to evaluate the accuracy of irrigation in the various treatment zones. Therefore, four irrigation water depths of 2.5, 5, 7.5, and 10 mm were tested twice. In this study, the coefficient of Christiansen uniformity, the low quarter distribution uniformity, and the coefficient of variation was used. In addition to calculating the uniformity coefficients, I also examined the distribution of irrigation water applied to the irrigated area by determining the proportion of under- and over-irrigated areas. The results of the studied water distribution characteristics showed high and homogeneous irrigation uniformity in practice ($CUC\% \ 93.22 \pm 1.765$, $DU\% \ 88.63 \pm 2.051$, and $CV\% \ 9.02 \pm 2.348$). The longitudinal transition between the zones was continuous and homogeneous between the 14th and 26th catch cans, which is a 12 m wide border between the treatment zones in the direction of the irrigation machine. The average volume in the catch cans was 2.422 ± 0.517 mm, and the $CUC\%$, $DU\%$, and $CV\%$ calculated from the water depth data were 81.36%, 81.36%, and 20.26% for the first zone, respectively. In the next treatment zone, the average irrigation water depth was 4.790 ± 0.945 mm, resulting in a $CUC\%$ of 85.94%, a low $DU\%$ of 78.28%, and a CV of 17.31%. In the third zone, the average water depth was 7.051 ± 0.744 mm, resulting in 92.81% $CUC\%$, 88.42% $DU\%$, and 9.355% CV . In

the fourth zone with maximum water depth, the average water measured was 9.204 ± 0.777 mm, resulting in 92.98% CUC%, 90.75% DU%, and 8.439% CV.

Canopy pigment, thermography, water potential, stress, and dry matter content in the canopy were used to determine the effect of hail net use on apple orchard water balance. Early Gold and Golden Reinders apple varieties were the subjects of field surveys in 2016, 2019, and 2020. 14 thermographic measurements were carried out in 2016 as part of my research and used the HEXIUM PYROLATER-12 thermo camera. The average canopy temperature can then be estimated after the thermo image was pre-processed to separate only the values of the apple trees canopy and remove background soil and air pixels. A Scholander Pressure Chamber Leaf Water Potential Measurement Device (Pump-Up Chamber, PMS Instrument Company) based on FULTON et al. (2014) allowed me to monitor canopy water balance in addition to analyzing the thermographic data. I collected leaf samples from the middle of one tree of the selected trees at a height of 1.2 m to verify the homogeneity of the sampling and to determine the pigment content. The equation from DROPPA et al. (2003) was used to calculate the sample's chlorophyll content. Carotenoid values were determined using the equation of LICHTENTHALER and WELLBUM (1983). The dry matter content was determined in parallel with the laboratory determination of the pigment content using conventional gravimetric methods. The soil moisture content was monitored in parallel with the sampling during each field survey. I measured Fv/Fm using an OS30p+ chlorophyll fluorimeter to measure plant stress. The Golden Reinders variety was determined to be more sensitive to the use of hail net than Early Gold based on the results of the parameters tested. The application of hail net performs their primary purpose as well as influencing the microclimate, which improves the water balance in the orchards during periods of heat stress.

Development of a methodology for non-invasive evaluation of abiotic stress effects in apple orchards and its adaptation to Early Gold and Golden Reinders was based on spectral characteristics of chlorophyll content measured in the orchard. Sampling was conducted twice weekly from 7 July 2019 to 29 August 2019. The two apple varieties under investigation were each the subject of 30 samples per measurement period. I used three replicates of an AvaSpec 2048 spectrometer to collect spectral data on leaf samples in the 400–1000 nm range. Relative standard deviations and reflectance values were grouped into an almost identical interval. SPSS software was used to statistically analyze the results. I used PCA with varimax rotation to identify the wavelengths with the highest factor weight to identify chlorophyll-sensitive wavelengths. I calibrated the models with

2/3 of the values from my dataset and validated them with the remaining 1/3 of the data. I developed a model to estimate chlorophyll using the simple linear regression method. I used the coefficient of determination (R^2) to analyze the stability of regression models and the RMSE, NRMSE, NSE, MAE, and MBE to evaluate the precision of predictive models. Three indexes were developed based on my results: $\text{Index}_1 = (\lambda_{800} - \lambda_{710}) / (\lambda_{800} + \lambda_{710})$ ($R^2=0.561$, $p=0.000$), $\text{Index}_2 = (\lambda_{800} - \lambda_{710}) / \lambda_{556}$ ($R^2=0.506$, $p=0.000$), $\text{Index}_3 = (\lambda_{800} - \lambda_{556}) / \lambda_{710}$ ($R^2=0.560$, $p=0.000$). Based on the precision values, the Chlorophyll_{Model1} performed best (RMSE=298.3 $\mu\text{g/g}$, NRMSE=9.616%, NSE=0.601, MBE=84.59 and MAE=243.4).

A total of 90 soil samples from 0-20 cm depth were collected to develop a spectral-based soil organic matter analysis methodology. The development and implementation of the organic matter estimate system, of which 30 samples were utilized to validate the model and 60 samples were used to calibrate the developed models. The spectral profiles between 400-2500 were measured using two different laboratory spectrometers, and the soil organic carbon content was estimated using the Walkley-Black method. SPSS software was used to statistically analyze the results. I used PCA with varimax rotation to identify the wavelengths that had the highest factor weight to identify SOC-sensitive wavelengths. In addition to PCA, I also looked at the spectral feature standard deviations to identify the wavelengths with the highest deviations. I developed four models for estimating the soil organic matter content based on my results. $\text{Index}_1 = \lambda_{580-600} / \lambda_{960-970}$ ($R^2=0.475$, $p=0.000$), $\text{Index}_2 = \lambda_{1020-1040} / \lambda_{1900-2100}$ ($R^2=0.611$, $p=0.000$), $\text{Index}_3 = \lambda_{1000-1010} / \lambda_{2420-2500}$ ($R^2=0.562$, $p=0.000$) és az $\text{Index}_4 = \lambda_{640-660} / \lambda_{2200-2300}$ ($R^2=0.493$, $p=0.000$). I developed a model to estimate the SOC using the linear regression method. I evaluated the strength of the regression models using the coefficient of determination (R^2) and the accuracy of the prediction models using RMSE, NRMSE, and NSE. The results revealed that the SOC_{model2} performed the best (RMSE=0.219 SOC%, NRMSE=6.301%, and NSE=0.855).

10. IRODALOM

1. Abd El-Wahed, M. H.- Medici, M.- Lorenzini, G.: 2016. Sprinkler irrigation uniformity: Impact on the crop yield and water use efficiency. *Journal of Engineering Thermophysics*. 25, 117–125. 450
2. Abid, M.- Ali, S.- Qi, L.- Zahoor, R.- Tian, Z.- Jiang, D.- Snider, J.- Dai, T.: 2018. Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, 8, 4615.
3. Ahmad, W.- Niaz, A.- Kanwal, S.- Rahmatullah - Rasheed, M. K.: 2009. Role of boron in plant growth: A review. *Journal of Agricultural Research*. Vol. 47, pp. 329-338.
4. Akram, T.- Naqvi, S.R. - Haider, S.A.- Kamran, M.: 2017. Towards real-time crops surveillance for disease classification: exploiting parallelism in computer vision. *Comput Electr Eng*, 59, 15-26,
5. Alarcon, J.J.- Ortuno, M.F.- Nicolas, E.- Navarro, A.- Torrecillas, A.: 2006. Improving water-use efficiency of young lemon trees by shading with aluminized-plastic nets. *Agric. Water Manag.* 82, 387–398.
6. Allen, M.: 2017. The sage encyclopedia of communication research methods. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 1438-1440.
7. Altieri, M.A.- Nicholls, C.I. – Henao, A.: 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron. Sustain. Dev.*, 35, pp. 869-890
8. Anda, A.- Ligetvári, F.: 1991. Infrared thermometry in scheduling irrigation. ICID Proceedings, Beijing, China, Vol. I.-B: 21, I-220.
9. Arthurs, S.P. - Stamps, R.H. – Giglia, F.F.: 2013. Environmental modification inside photoselective shade houses. *HortScience*, 48 (8), 975-979
10. Atkinson, P.M.- Jeganathan, C.- Dash, J. – Atzberger, C.: 2012. Inter-comparison of four models for smoothing satellite sensor time-series data to estimate vegetation phenology. *Remote. Sens. Environ.*, 123, 400-417.
11. Atzberger, C.: 2013. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sens.*, 5, 949–981.
12. Babaeian, E.- Sidike, P.- Newcomb, M. S.- Maimaitijiang, M.- White, S. A.- Demieville, J.- Ward, R. W.- Sadeghi, M.- LeBauer, D. S.- Jones, S. B.- Sagan, V.-

- Tuller, M.: 2019. A New Optical Remote Sensing Technique for High-Resolution Mapping of Soil Moisture. *Frontiers in Big Data.*, 2, 37.
13. Baker, N.R.- Rosenqvist, E.: 2004. Applications of Chlorophyll Fluorescence Can Improve Crop Production Strategies: An Examination of Future Possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1607-1621.
 14. Bal, S.K.- Saha, S.- Fand, B.B.- Singh, N.P. - Rane, J.- Minhas, P.S.: 2014. Hailstorms: Causes, Damage and Post-Hail Management in Agriculture. Technical Bulletin No. 5 National Institute of Abiotic Stress Management, Malegaon, Baramati. 413 115. Pune, Maharashtra (India), 44
 15. Balota, E.- Colozzi, F.- Arnaldo, A.- Richard, D. D.: 2003. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. *Biology and Fertility of Soils*. 38. 15-20.
 16. Banninger, D.- Fluhler, H.: 2004. Modeling light scattering at soil surfaces. *IEEE T. Geosci. Remote*, 42 (7), 1462–1471.
 17. Banon, S. - Alvarez, S.- Banon, D.- Ortuno, M.F. - Sánchez-Blanco, M.J.: 2021. Assessment of soil salinity indexes using electrical conductivity sensors. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, 110171.
 18. Basnyat, P.- McConkey, B.- Lafond, G.P.- Moulin, A.- Pelcat, Y.: 2004. Optimal time for remote sensing to relate to crop grain yield on the Canadian prairies. *Can. J. Plant Sci.* 84, 97–103.
 19. Batten, G. D.: 1998. Plant analysis using near infrared reflectance spectroscopy: The potential and limitations. *Aust. J. Exp. Agric.* 38: 69 7_706.
 20. Bayer, C.- Neto, L.- Mielniczuk, J.- Ceretta, C.: 2000. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil and Tillage Research*. 53. 95-104.
 21. Becker-Reshef, I.- Vermote, E.- Lindeman, M.- Justice, C.: 2010. A generalized regressionbased model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data. *Remote Sens. Environ.* 114, 1312–1323.
 22. Ben-Dor, E.: 2002. Quantitative remote sensing of soil properties. *Advances in Agronomy* 75, 173–243.
 23. Béni, Á.- Juhász, E.- Ragán, P.- Rátonyi, T.- Várbiro, G.- Fekete I.: 2021. Development of soil organic matter measurement system. *Soil & Water Research.*, 3, 1-6.

24. Berzsényi Z. - Lap D. Q.: 2006. A növényszám hatásának vizsgálata különböző tenyészedejű kukorica- (*Zea mays* L.) hibridek vegetatív és reprodukív szerveinek növekedésére Richaldis-függvényvel. *Növénytermelés*, 55: 3–4.
25. Boini, A.- Lopez, G.- Morandi, B.- Manfrini, L.- Corelli-Grappadelli, L.: 2018. Testing the effect of different light environments and water shortage on apple physiological parameters and yield. *Acta Hortic.* 1228.
26. Boken, V.K.- Shaykewich, C.F.: 2002. Improving an operational wheat yield model using phenological phase-based normalized difference vegetation index. *Int. J. Remote Sens.* 23, 4155–4168.
27. Bolton, D.K.- Friedl, M.A.: 2013. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. *Agric. For. Meteorol.* 173, 74–84.
28. Bosco, L.C.- Bergamaschi, H.- Cardoso, L.S.- DE paula, V.A.- Marodin, G.A.B.- Nachtigall, G.R.: 2015. Apple production and quality when cultivated under anti-hail cover in Southern Brazil. *Int. J. Biometeorol.* 59, 773–782.
29. Bowers, S. A.- Hanks, R. J.: 1965. Reflection of radiant energy from soil, *Soil Science.*, 100, 130-138.
30. Bowker, M.A.- Koch, G.- Belnap, J.- Johnson, N.C. : 2008. Nutrient availability affects pigment production but not growth in lichens of biological soil crusts. *Soil Biol. Biochem.* 40 (11), 2819–2826.
31. Boyer, J.S.: 1967. Leaf water potentials measured with a pressure chamber. *Plant Physiol.* 42, 133–137.
32. Bozán, Cs.- Miskó, K.- Péter, K.- Domán, Cs.- Vári, E.- Kemény, G.- Keményné, H. Zs.- Lámfalusi, I.- Molnár, A.- Kiss, A.- Gaál, M.: 2018. Az öntözhetőség természetigazdasági korlátainak hatása az öntözhető területekre, Agrárgazdasági Kutató Intézet, Budapest.
33. Brestic, M.- Zivcak, M.-Hauptvoge, P.- Misheva, S.- Kocheva, K. -Yang, K.- Li, X. – Allakhverdiev, S.I.: 2018. Wheat plant selection for high yields entailed improvement of leaf anatomical and biochemical traits including tolerance to non-optimal temperature conditions. *Photosyn. Res.*, 136 (2), 245-255
34. Brunet, D.- Barthes, B.G.- Chotte, J. L.- Feller, C.: 2007. Determination of carbon and nitrogen contents in Alfisols, Oxisols, and Ultisols and from Africa and Brazil using NIRS analysis: Effects of sample grinding and set heterogeneity. *Geoderma*, 139,. 106-117.

35. Burai, P.-Kovács, E.-Lénárt, Cs.-Nagy, A.-Nagy, I.: 2009. Quantification of vegetation stress based on hyperspectral image processing. *Cereal Research Communications*. 37: 581–584.
36. Castellano, S.- Mugnozza, G.S.- Russo, G. -Briassoulis, D.-Mistriotis, A.- Hemming, S.- Waaijenberg, D.: 2008. Plastic nets in agriculture: a general review of types and applications. *Appl. Eng. Agric.*, 24 (6),799-808
37. Cécillon, L. - Barthès, B. G.- Gomez, C.- Ertlen, D.- Genot, V.- Hedde, M.- Stevens, A. - Brun, J. J.: 2009. Assessment and monitoring of soil quality using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *European Journal of Soil Science*, 60,770 – 784
38. Chang, C. W.- Laird, D. A.- Hurburgh, C. R. J.: 2005. Influence of soil moisture on near-infrared reflectance spectroscopic measurement of soil properties. *Soil Science, an interdisciplinary approach to soils research*, 170, 244-255.
39. Chavez J. L.- Pierce F. J.- Elliott T. V.- Evans R. G.- Kim Y.- Iversen W. M.: 2010. A remote irrigation monitoring and control system (RIMCS) for continuous move systems. Part B: field testing and results. *Precision Agriculture* 11(1): 11-26.
40. Chen, G.- Weil, R. R.: 2010. Penetration of Cover Crop Roots through Compacted Soils. *Plant and Soil* 331 (1–2): 31–43.
41. Christiansen E. J.: 1941. The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*. 22(3): 89–92
42. Clark G. A.- Srinivas K.- Rogers D. H.- Stratton R.- Martin, V. L.: 2003. Measured and simulated uniformity of Low Drift Nozzle sprinklers. *Trans. ASAE* 46(2): 321-330.
43. Cline, W.: 2007. Global warming and agriculture: impact estimates by country FAO Centre for Global Development.Closing the Gender Gap for Development, Rome
44. Cohen, M.J.- Shepherd, K.D.- Walsh, M.G.: 2004. Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. *Geoderma*. 124:235–252
45. Croft, H.- Kuhn, N.- Anderson, K.: 2012. On the use of remote sensing techniques for monitoring spatio-temporal soil organic carbon dynamics in agricultural systems. *Catena*, 94, 64-74.
46. Csajbók, J.- Buday-Bódi, E.- Nagy, A.- Fehér, Z.Z.- Tamás, A.- Virág, I.C.- Bojtor, C.- Forgács, F.- Vad, A.M.- Kutasy, E.: 2022. Multispectral Analysis of Small Plots Based on Field and Remote Sensing Surveys—A Comparative Evaluation. *Sustainability*, 14, 3339.

47. Csihon, Á.- Holb, I.- Gonda, I.: 2015. Growing characteristics of apple cultivars and canopies. *Int. J. Hortic. Sci.* 21 (1–2), 7–10.
48. Cundill, S.- van der Werff, H. - van der Meijde, M.: 2015. Adjusting spectral indices for spectral response function differences of very high spatial resolution sensors simulated from field spectra. *Sensors*, 15 (3), 6221-6240.
49. Curnel, Y.- de Wit, A.J.W. - Duveiller, G. – Defourny, P.: 2011. Potential performances of remotely sensed LAI assimilation in WOFOST model based on an OSS experiment. *Agric. Forest Meteorol.*, 151 (12), 1843-1855.
50. Dalal, R.C.- Henry, R.J.: 1986. Simultaneous Determination of Moisture, Organic Carbon, and Total Nitrogen by Near Infrared Reflectance Spectrophotometry. *Soil Science Society of America Journal*, 50, 120-123.
51. de la Casa, A.- Ovando, G.- Bressanini, L.- Martínez, J.- Díaz, G.- Miranda, C.: 2018. Soybean crop coverage estimation from NDVI images with different spatial resolution to evaluate yield variability in a plot. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 146, 531–547
52. Demeter, E.: 2022. Irrigation report (In Hungarian: Öntözésjelentés). *Institute of Agricultural Economics Nonprofit Ltd.*, Budapest, 22.
53. 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.
54. Do Amarante, C.V.T.- Steffens, C.A.- Argenta, L.C.: 2011. Yield and fruit quality of ‘Gala’ and ‘Fuji’ apple trees protected by white anti-hail net. *Sci. Hortic.* 129, 79–85.
55. Dorigo, W.A.- Zurita-Milla, R.- de Wit A.J.W. - Brazile, J.- Singh, R.- Schaepman, M.E.: 2007. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 9 (2), 165-193
56. Dremák, P.- Csihon, Á.- Gonda, I.: 2016. Vegetative parameters of apple cultivars in integrated and organic production systems. *Int. J. Hortic. Sci.* 22 (1–2), 15–18.
57. 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.
58. Drusch, M.- Del Bello, U.- Carlier, S.- Colin, O.- Fernandez, V.- Gascon, F. - Hoersch, B.- Isola, C.- Laberinti, P.- Martimort, P.- Meygret, A.- Spoto, F. - Sy, O. -

- Marchese, F.- Bargellini, P.: 2012. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services, *Remote Sensing of Environment*, 120, 2012, 25-36
59. Dukes M. D.- Perry C.: 2006. Uniformity testing of variable-rate center pivot irrigation control systems. *Precision Agriculture*, 7, 205–218.
 60. Dunn, B. W.- Batten, G. D.- Beecher, H. G.- Ciavarella, S.: 2002. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis — a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. *Animal Production Science*, 42 (5), 607-614.
 61. 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.
 62. EEA, 2016a: NEC Directive status - Information on the National Emission Ceilings Directive, its technical characteristics and report status
 63. EEA, 2016b: European Union emission inventory report 1990–2012 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP), EEA Report No 16/2016, European Environment Agency.
 64. Egilla, J.- Davies, F.- Boutton, T.: 2005. Drought stress influences leaf water content, photosynthesis, and water-use efficiency of Hibiscus rosa-sinensis at three potassium concentrations. *Photosynthetica*. 43. 135-140.
 65. El Bilali, H.- Allahyari, M.S.: Transition towards sustainability in agriculture and food systems: Role of information and communication technologies. *Inform Process Agric*, 5, 456-464.
 66. Elders, A.- Carroll, M.L.- Neigh, C.S.R.- D'agostino, A.L.- Ksoll, C.- Wooten, M.R.- Brown, M.E.: 2022. Estimating crop type and yield of small holder fields in Burkina Faso using multiday Sentinel-2, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27,100820
 67. Escriba, C.- Aviña Bravo, E.G. - Roux, J. - Fourniols, J.Y. - Contardo, M. - Acco, P. - Soto-Romero, G.: 2020. Toward Smart Soil Sensing in v4.0 Agriculture: A New Single-Shape Sensor for Capacitive Moisture and Salinity Measurements. *Sensors*, 20, 6867
 68. Evans, J.R.: 2013. Improving photosynthesis. *Plant Physiol.*, 162, 1780-1793

69. FAO: 2015. The Impact of Natural Hazards and Disasters on Agricultural and Food Security and Nutrition Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
70. Faria L.C.- Beskow S.- Colombo A.- Nörenberg B. G.- Neto O. R.- Simões M. G.: 2016. Influence of the wind on water application uniformity of a mechanical lateral move irrigation equipment using rotating plate sprinklers. *Ciência Rural* 46(1): 83-88.
71. Faur, K. B.- Szabó, I.: 2011. Geotechnika, Miskolci Egyetem Földtudományi Kar
72. 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.
73. Fiala, K.- Barta, K.- Benyhe, B.- Fehérváry, I.- Lábdy, J.- Sipos, Gy. - Győrffy, L.: 2018. Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer, *Hidrológiai Közlöny*, 98. évf. 3. sz
74. Foote, W. (2015): To Feed the World in 2050, We Need to View Small-Scale Farming as a Business, *Skoll World Forum*, Oxford, UK, 2015.
75. 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
76. Fu, Y.-Yang, G.- Wang, J.-Song, X.- Feng, H. (2014): Winter wheat biomass estimation based on spectral indices, band depth analysis and partial least squares regression using hyperspectral measurements. *Comput. Electron. Agric.*, 100, 51–59.
77. 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.
78. Ge, Y.- Morgan, C. L. S.- Thomasson, J. A.- Waiser, T.: 2007. A new perspective to near-infrared reflectance spectroscopy: A wavelet approach. *Trans. ASABE*, 50, 303-311.
79. Ghobadi, M.-Taherabadi, S.-Ghobadi, M.E.-Mohammadi, G.R.-Jalai-Honarmand, S.: 2013. Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. *Industrial Crops and Products*, 50, 29e38.

80. Giaccone, M.- Forlani, M.- Basile, B.: 2012. Tree vigor, fruit yield and quality of nectarine trees grown under red photosensitive anti-hail nets in southern Italy. *Acta Hort.* 962, 387–393
81. Gilabert, M.A.-González-Piqueras, J.- García-Haro, F.J.-Meliá, J.: 2002. A generalized soil adjusted vegetation index. *Remote Sens. Environ.*, 82, 303–310.
82. Giménez, C.- Gallardo, M.- Thompson, R. B.: 2013. Plant–Water Relations, *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier, 231-238.
83. Gindaba, J.- Wand, S.J.E.: 2008. Comparison of climate ameliorating measures to control sunburn on 'Fuji' apples. *Acta Horticulturae*. 772. 59-64.
84. Gitelson, A. A.- Kaufman, Y. J.- Merzlyak, M. N.: 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS, *Remote Sensing of Environment*, 58, 3, 289-298.
85. Giuliani, R.- Magnanini, E.- Flore, J.A.: 2001. Potential use of infrared thermometry for the detection of water deficit in apple and peach orchards. In: Palmer, J.W., Wunsche, J.N. (Eds.), Proc. 7rd Intern. Sympos. Orch. & Plant Syst, ISHS. *Acta Hort.* 557, 399–405.
86. Gliessman, S.R.: 2015. Agro-ecology: the Ecology of Sustainable Food Systems (third ed.), CRC Press, Taylor & Francis Group, New York
87. Gomez, C.- Viscarra Rossel, R.A.- McBratney, A.B.: 2008. Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field VIS–NIR spectroscopy: an Australian case study. *Geoderma* 146, 403–411.
88. Guillou, F. L.- Wetterlind, W.- Viscarra, R. A. M.- Hicks, W.- Grundy, M.- Tuomi, S.: 2015. How does grinding affect the mid-infrared spectra of soil and their multivariate calibrations to texture and organic carbon? *Soil Res*, 53 (8), 913–921.
89. Gulácsi, A.- Kovács, F.: 2015. Aszályvizsgálat lehetősége MODIS műholdképekből számított spektrális indexekkel Magyarországon. *Tájökológiai Lapok* 13 (2): 235-248.
90. Hafeez, A.- Husain, M.A.- Singh, S.P.- Chauhan, A.- Khan, M. T.- Kumar, N.- Chauhan, A.- Soni, S.K.: 2022. Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. *Information Processing in Agriculture*, Available online 15 February 2022.
91. Harnos, Zs. – Csete L.: 2008. Klímaváltozás: környezet – kockázat – társadalom. Budapest: Szak-tudás Kiadó Ház, 9–14.

92. He, H. - Aogu, K.- Li, M. - Xu, J.- Sheng, W. - Jones, S.B.- González-Teruel, J.D. - Robinson, D.A. - Horton, R. - Bristow, K.- Dyck, M.- Filipović, V. - Noborio, K. - Wu, Q.- Jin, H. - Feng, H.- Si, B.- Lv, J.: 2021. A review of time-domain reflectometry (TDR) applications in porous media. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy*, 83–155.
93. Hird, J.N. - McDermid G.J.: 2009. Noise reduction of NDVI time series: an empirical comparison of selected techniques. *Remote Sens. Environ.*, 113, 248-258.
94. Hopkins, W.G.- Hüner, N.P.A.: 2009. Introduction to Plant Physiology, 4th edition. John Wiley & Sons, Inc., p. 503
95. Huang, J. - Ma, H.- Su, W. - Zhang, X.- Huang, Y. - Fan, J.- Wu, W.: 2015. Jointly assimilating MODIS LAI and ET products into the SWAP model for winter wheat yield estimation. *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Rem. Sens.*, 8 (8), 4060-4071
96. Huete, A.R.: 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sens. Environ.*, 25, 295–309.
97. Hui X.- Lin X.- Zhao Y.- Xue M.- Zhuo Y.- Guo H.- Xu Y.- Yan H.: 2022. Assessing water distribution characteristics of a variable-rate irrigation system, *Agricultural Water Management*, 260, 107276.
98. Iglesias, I.- Alegre, S.: 2006. The effect of anti-hail nets on fruit protection, radiation, temperature, quality and profitability of 'Mondial Gala' apples. *J. Appl. Hortic.* 8. 91-100.
99. Ilić, Z.S.- Fallik, E.: 2017. Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: a review. *Environ. Exp. Bot.*, 139,79–90
100. IPCC: 2001. Climate Change: Synthesis Report 2001. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Cambridge University Press, Wembley, United Kingdom
101. Irmak S.- Odhiambo L. O.- Kranz W. L.- Eisenhauer D. E.: 2011. Irrigation Efficiency and Uniformity, and Crop Water Use Efficiency. *Biological Systems Engineering: Papers and Publications*. 451.
102. Islam, K.- Singh, B.- McBratney, A.: 2003. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. *Australian Journal of Soil Research*, 41 (6), 1101-1114.
103. Jackson, R.D.- Idso, S.- Reginato, R.- Pinter, P.: 1981. Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resources Research*. 17.

104. Janka, E.: 2014. On the Understanding of Climate Tolerance and Early Plant Stress Detection in Greenhouse Cultivation PhD thesis Aarhus University, Aarslev, Germany, 44.
105. Jones, H.G.- Vaughan, R.A.: 2010. Remote Sensing of Vegetation. Oxford University Press, New York.
106. Jones, H.G.: 1999. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agric. Forest. Meteorol.* 95: 139-140.
107. Jones, H.G.: 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Exp. Bot.* 55: 2427-2436.
108. Juhász, Cs.- Gálya, B.- Kovács, E.- Nagy, A.- Tamás, J.- Huzsvai, L.: 2020. Seasonal predictability of weather and crop yield in regions of Central European continental climate. *Comput. Electron. Agric.*, 0168-1699, 173.
109. Julien, Y.- Sobrino, J.A.: 2010. Comparison of cloud-reconstruction methods for time series of composite NDVI data Remote. *Sens. Environ.*, 114, 618-625.
110. Jung, A.: 2005. Spektrális információk alkalmazása a városklíma-kutatásban. *Doktori Értékezés*. Budapest. 22–28.
111. Jung, A.- Hegedűs, B.- Drexler, D.: 2015. Field spectroscopy for precision organic production. *Acta fytotechnica et zootechnica.* 18. 68-70.
112. Jung, A.- Vohland, M.: 2022. Hyperspectral Remote Sensing and Field Spectroscopy: Applications in Agroecology and Organic Farming, In: De Marchi, Massimo; Diantini, Alberto; Eugenio Pappalardo, Salvatore (szerk.) *Drones and Geographical Information Technologies in Agroecology and Organic Farming Contributions to Technological Sovereignty*, CRC Press, 99-121. , 23 p.
113. Kalcsits, L.- Musacchi, S.- Layne, D.R.- Schmidt, T.- Mupambi, G.- Serra, S.- Mendoza, M.- Asteggiano, L.: 2017. Above and below-ground environmental changes associated with the use of photosensitive protective netting to reduce sunburn in apple. *Agric. For. Meteorol.* 238, 9–17.
114. Kalembasa, S. J.- Jenkinson, D. S.: 1973. A comparative study of titrimetric and gravimetric methods for the determination of organic carbon in soil, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 24, Issue 9, pages 1085–1090.
115. Klisch, A.- Atzberger C.: 2016. Operational drought monitoring in Kenya using MODIS NDVI time series. *Remote Sens.*, 8, 267.

- 116.Kovács, F.: 2012. MODIS műholdkép alapú vegetáció-monitoring 2000-2011 között. In: LÓKI J. (szerk.) Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: III. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 223–229.
- 117.Kruse E. G.: 1978. Describing Irrigation Efficiency and Uniformity. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. 104(1): 35–41.
- 118.Kühnel, A.- Bogner, C.: 2017. In-situ prediction of soil organic carbon by vis–NIR spectroscopy: an efficient use of limited field data. *European Journal of Soil Science*, 68, 689–702.
- 119.Laamrani, A.- Berg, A. A.- Voroney, P.- Feilhauer, H.- Blackburn, L.- March, M.- Dao, P. D.- He, Y.- Martin, R. C.: 2019. Ensemble Identification of Spectral Bands Related to Soil Organic Carbon Levels over an Agricultural Field in Southern Ontario, Canada. *Remote Sens.*, 11, 1298.
- 120.Lakatos, L.-Gonda, I.- Soltész, M.- Szabó, Z.- Szél, J.- Nyéki, J.: 2011. Effects of excessive weather on the micro-climate of apple plantations under the hail protection nets. *Int. J. Hortic. Sci.* 17 (4–5), 81–85.
- 121.Lakhiar, I.A.- Gao, J.- Syed, T.N.- Chandio, F.A.- Buttar, N. A.: 2018. Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics, *Journal of Plant Interactions*, 13:1, 338-352
- 122.Lee, R.- Kastens, D.L.- Price, K.P.- Martinko, E.A.: 2000. Forecasting corn yield in Iowa using remotely sensed data and vegetation phenology information. In: Proceedings of the Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Lake Buena Vista, FL, USA, 10–12 January 2000, vol. II, pp. 460–467.
- 123.Lee, H. S.-K. Yoon: 2020. Hydraulic Conductivity of Saturated Soil Medium through Time-Domain Reflectometry. *Sensors*, 20, 7001.
- 124.Li, X.- Jing, Y.- Shen, H.- Zhang, L.: 2019. The recent developments in cloud removal approaches of MODIS snow cover product. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23. 2401-2416.
- 125.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.
- 126.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.

- 127.Ling, Q.- Huang, W.- Jarvis, P.: 2011. Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynth Res.* 107:209–214.
- 128.Linmao, Y.- Longqin, X.- Guangzhou, Z.- Haibo, C. - Likuai, S.- Zhigang, W.- Gouhe, Y.- Yanbin, W. - Sujun, N.- Jin, Y.- Qi, J.: 2012. FDR Soil Moisture Sensor for Environmental Testing and Evaluation. *Phys. Procedia.*, 25 (2012), pp. 1523-1527.
- 129.Liu, T.- Wu, X.- Li, H.- Alharbi, H.- Wang, J.- Dang, P.- Chen, X.- Kuzyakov, Y.- Yan, W. (2020): Soil organic matter, nitrogen and pH driven change in bacterial community following forest conversion, *Forest Ecology and Management*, Volume 477, 118473.
- 130.Lobell, D.B.: 2013. The use of satellite data for crop yield gap analysis. *Field Crops Res.* 143, 56–64.
- 131.Lu, C.- Lu, Q.- Zhang, J.- Kuang, T.: 2001. Characterization of photosynthetic pigment composition, photosystem II photochemistry and thermal energy dissipation during leaf senescence of wheat plants grown in the field. *J. Exp. Bot.* 52 (362), 1805–1810.
- 132.Lu, P.-Wang, L.-Niu, Z.-Li, L.- Zhang, W.: 2013. Prediction of soil properties using laboratory VIS–NIR spectroscopy and Hyperion imagery. *Journal of Geochemical Exploration.* 132. 26-33.
- 133.Ludwig, B.-Khanna, P. K.- Bauhus, J.- Hopmans, P.: 2002. Near infrared spectroscopy of forest soils to determine chemical and biological properties related to soil sustainability. *For. Ecol. Manage.*, 171, 121-132.
- 134.Ma, H.- Huang, J.- Zhu, D.- Liu, J. - Zhang, C. - Su, W.- Fan, J.: 2013. Estimating regional winter wheat yield by assimilation of time series of HJ-1 CCD into WOFOST–ACRM model. *Math. Comput. Model. Dyn. Syst.*, 58 (3–4), 753-764
- 135.Ma, Y. - Wang, S.- Zhang, L. - Hou, Y.- Zhuang, L. - He, Y.- Wang, F.: 2008. Monitoring winter wheat growth in North China by combining a crop model and remote sensing data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 10 (4), 426-437
- 136.Malingreau, J.P.: 1986. Global vegetation dynamics: Satellite observations over Asia. *Remote Sens. Environ.*, 7, 1121–1146.
- 137.Mangalassery, S.- Sjögersten, S.- Sparkes, D.- Sturrock, C.- Craigon, J.- Mooney, S.: To what extent can zero tillage lead to a reduction in greenhouse gas emissions from temperate soils? *Scientific reports*, 4, 4586

138. Manja, K.- Aoun, M.: 2019. The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: a review. *Sci. Hortic.* 246, 110–122.
139. Maroufpoor E.- Faryabi A.- Ghamarnia H.- Moshrefi, G. Y.: 2010. Evaluation of Uniformity 518 Coefficients for Sprinkler Irrigation Systems under Different Field Conditions in Kurdistan Province (Northwest of Iran). *Soil & Water Research*, 5(4): 139–145.
140. Maselli, F. – Rembold, F.: 2001. Analysis of GAC NDVI data for cropland identification and yield forecasting in Mediterranean African countries Photogramm. *Eng. Remote Sens.*, 67, 593-602.
141. Matsushita, B.- Yang, W.- Chen, J.- Yuyichi, O.- Guoyu, Q.: 2007. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-Density Cypress Forest. *Sensors*. 7(11), 2636-2651.
142. Matthews, B.- Ravington, M. - Muhammad, S.- Newton, A.C.- Hallet, P.D.: 2013. Adapting crops and cropping systems to future climates to ensure food security: the role of crop modeling *Global Food Secur.*, 2, pp. 24-28
143. Maxwell, K.- Johnson, G.: 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J Exp Bot* 51: 659-668. *Journal of experimental botany*. 51.
144. McCarty, G.- Reeves, J.- Reeves, V.- Follett, R. - Kimble, J.: 2002. Mid-Infrared and Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy for Soil Carbon Measurement. *Soil Science Society of America Journal*. 66. 640-646.
145. McCaskill, M.R.- McClymont, L.- Goodwin, I.- Green, S.- Partington, D.L.: 2016. How hail netting reduces apple fruit surface temperature: a microclimate and modelling study. *Agric. For. Meteorol.* 226–227, 148–160.
146. McKee, T. B.- Doesken, N. J.- Kleist, J.: 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: 8th Conference on Applied Climatology, *Am. Meteorol. Soc. Boston*, 179–184
147. Mditshwa, A.- Magwazaa, L.S.- Tesfaya, S.Z.: 2019. Shade netting on subtropical fruit: effect on environmental conditions, tree physiology and fruit quality. *Sci. Hortic.* 256, 108556.
148. Medina, H.- Tian, D.- Abebe, A.: 2021. On optimizing a MODIS-based framework for in-season corn yield forecast. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95, 102258.

149. Mendiburu, F.: 2019. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R Package Version 1.3-0. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
150. Mezősi, G.: 2016. Soils of Hungary. The Physical Geography of Hungary, *Akadémiai kiadó*, 165-174.
151. Michéli, E.- Fuchs, M.- Hegymegi, P.- Stefanovits, P.: 2006. Classification of the Major Soils of Hungary and their Correlation with the World Reference Base for Soil Resources (WRB). *Agrokémia és talajtan*, 55.
152. Middleton, S.- Mcwaters, A. (2002) Hail netting of apple orchards. Australian experience. *Com. Fruit Tree* 35, 51–55.
153. Mihaljević, I.- Lepeduš, H.- Šimić, D.- Vuletić, M.V.- Tomaš, V.- Vuković, D.- Dugalić, K.- Teklić, T.- Babojelić, M.S. - Zdunić, Z.: 2020. Photochemical efficiency of photosystem II in two apple cultivars affected by elevated temperature and excess light in vivo. *South African Journal of Botany*, 130, 316-326.
154. Milics, G. – Neményi, M.: 2007. Adatgyűjtés műszaki és informatikai háttere. In: Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs. (szerk.): A precíziós mezőgazdaság módszertana. *JATE Press-MTA TAKI*, Szeged, 139-159. pp
155. Milics, G.–Burai, P.–Lénárt, Cs.: 2008. Pre-Harvest Prediction of spring barley nitrogen content using hyperspectral imaging. *Cereal Research Communications*, Supplement: 1863–1866.
156. Miller, S.S. - Hott, C.- Tworowski, T.: 2015. Shade effects on growth, flowering and fruit of apple. *J. Appl. Hortic.*, 17 (2), 101-105
157. Mishra, A.K.- Desai, V.R.: 2005. Drought forecasting using stochastic models. *Stoch Environ Res Ris Assess* 19, 326–339
158. Mlinarić, S.- J. Antunović Dunić, I.-Štolfa, V. -Cesar-Lepeduš, H.: 2016. High irradiation and increased temperature induce different strategies for component photosynthesis in young and mature fig leaves *S. Afr. J. Bot.*, 103, 25-31
159. Mohamed, E. S.- Ali, A.- El-Shirbeny, M.- Abutaleb, K.- Shaddad, S. M.: 2020. Mapping soil moisture and their correlation with crop pattern using remotely sensed data in arid region. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23, 347-353.
160. Mokhtari, A.- Noory, H.- Vazifedoust, M.: 2018. Improving crop yield estimation by assimilating LAI and inputting satellite-based surface incoming solar radiation into SWAP model. *Agric. Forest Meteorol.*, 250–251, 159–170.

161. Morón, A.- Cozzolino, D.: 2002. Application of near Infrared Reflectance Spectroscopy for the Analysis of Organic C, Total N and pH in Soils of Uruguay. *Near Infrared Spectroscopy*, 10, 215-221.
162. Moroni, M.- Lupo, E.- Marra, E.- Cenedese, A.: 2013. Hyperspectral image analysis in environmental monitoring: setup of a new tunable filter platform. *Procedia Environmental Sciences*, 19, 885-894.
163. Mouazen, A.- Kuang, B.: 2015. On-line visible and near infrared spectroscopy for in-field phosphorous management. *Soil and Tillage Research*. 155.
164. Mupambi, G.- Anthony, B.M.- Layne, D.R.- Musacchi, S.- Serra, S.- Schmidt, T.- Kalcsits, A.: 2018. The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: a review. *Sci. Hortic.* 236, 60–72.
165. Nagler, P.L.- Daughtry, C.S.T.- Goward, S.N.: 2000. Plant Litter and Soil Reflectance. *Remote Sensing of Environment* 71 (2): 229.
166. 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.
167. Nagy, A.- Fórián, T.- Tamás, J.- Szabó, Z.- Soltész, M.: 2011. Monitoring of water regime in an apple orchard. *Int. J. Hortic. Sci.*, 17 1-2 29-32.
168. Nagy, A.- Riczu, P.- Gálya, B.- Tamás, J.: 2014. Spectral estimation of soil water content in visible and near infra-red range. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3(3), 163 – 171.
169. Nagy, A.- Tamás, J.- Burai, P.: 2007. Application of advanced technologies for the detection of pollution migration. *Cereal Research Communications*. 35, 805-809.
170. Nagy, A.- Tamás, J.: 2009. Integrated airborne and field methods to characterize soil water regime. In: Ing., A. Celková (szerk.) *Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system* Bratislava, Slovakia: Slovak Academy of Sciences Institute of Hydrology, pp. 412-420. , 9 p.
171. Nagy, A.- Tamás, J.: 2013. Non-invasive water stress assessment methods in orchards. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 44, 366–376.
172. Nagy, A.: 2015. Thermographic Evaluation of Water Stress In An Apple Orchard. *Journal of multidisciplinary engineering science and technology* 2: 8 pp. 2210–2215.
173. Nagy, A.-Riczu, P.-Juhász, Cs.-Tamás, J.: 2014. Evaluability of apple orchard water balance parameters based on the spectral and thermographic parameters of the

- canopy. hungarian agricultural research: environmental management land use biodiversity.:1, 14–17.
174. Nagy, A.–Riczu, P.–Tamás, J.: 2016. Spectral evaluation of apple fruit ripening and pigment content alteration. *Scientia Horticulturae*, 201: 256–264.
 175. Nagy, J.- Nagy, O.: 2018. Fenntartható agrárgazdálkodás a klímaváltozás tükrében. *Magyar Tudomány* 179(2018)9, 1327–1335
 176. Nanni, M.R.- Demattê, J.A.M.: 2006. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. *Soil Science Society of America Journal* 70, 393–407.
 177. Nash, J.E.- Sutcliffe, J.V.: 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I–A discussion of principles. *J. Hydrol.*, 10, 282–290.
 178. Nawar, S.- Buddenbaum, H.- Hill, J.- Kozak, J.- Mouazen, A. M.: 2016. Estimating the soil clay content and organic matter by means of different calibration methods of vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy. *Soil Till. Res.*, 155, 510–522.
 179. Nduwamungu, C.- Ziadi, N.- Parent, L. É.- Tremblay, G. F.- Thurié's, L.: 2009 Opportunities for, and limitations of, near infrared reflectance spectroscopy applications in soil analysis: A review. *Canadian journal of soil science*, 89 (5), 531-541.
 180. Neményi, M. – Milics, G.: 2007. Precision agriculture technology and diversity. Cereal Research Communications, *Akadémiai Kiadó*, Vol. 35, Nr. 2, 829-832. pp
 181. 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.
 182. Nemeskéri, E.- Sárdi, É.- Szabó, T.- Nyéki, J.: 2010. Ecological drought resistance and adaptability of apple varieties. *Int. J. Hortic. Sci.* 16 (1), 113–122.
 183. Nemeskéri, E.: 2011. Növényi morfológia szerepe az alma vízkészlet-gazdálkodásában. In: Tamás, J. (szerk.): *Almaültetvények vízkészlet-gazdálkodása*. Debreceni Egyetem, AGTC, Kutatási és fejlesztési Intézet; Kecskeméti Főiskola, Kertészeti Főiskolai Kar. 49–52.
 184. Nemzeti Agrár Kamara (NAK): 2018. Mezőgazdasági kézikönyv 2. Zöldtrágyázás.
 185. Nemzeti vízstratégia (Kvassay Jenő terv), 2017.
 186. Neto, A.J.S.–Lopes, D.C.–Pinto, F.A.C.–Zolnier, S.: 2017. Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for non-destructive estimation of water and chlorophyll status in sunflower leaves. *Biosystem engineering*. 155, 124–33.

187. Nicolás, E.- Barradas, V.L.- Ortuño, M.F.- Navarro, A.- Torrecillas, A.- alarcón, J.J.: 2008. Environmental and stomatal control of transpiration, canopy conductance and decoupling coefficient in young lemon trees under shading net. *Environ. Exp. Bot.* 63, 200–206.
188. O'Shaughnessy S. A.- Urrego Y. F.- Evett S. R.- Colaizzi P. D.- Howell T. A.: 2013. Assessing application uniformity of a variable rate irrigation system in a windy location. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 29(4): 497-510.
189. Oaoussat, S.- Allam, L.: 2017. Functional plasticity and tolerance to drought conditions of 11 apple tree varieties grown in Morocco. *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.* 2 (5), 2591–2598.
190. Ogrič, M.- Knadel, M.- Kristiansen, S. M.- Peng, Y. De Jonge, L. W.- Adhikari, K.- Greve, M. H.: 2019. Soil organic carbon predictions in Subarctic Greenland by visible–near infrared spectroscopy. *Antarctic, and Alpine Research*, 51 (1), 490-505.
191. Ortiz, J. N.- de Juan, J. A.- Tarjuelo, J. M.: 2010. Analysis of Water Application Uniformity from a Center Pivot Irrigator and Its Effect on Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Yield, *Biosystems Engineering*, 105, 367–379.
192. OS-30p+ *Chlorophyll Fluorometer Preliminary Manual*: 2012. Field portable hand held instrument designed for FV/FM, FV/FO and advanced OJIP measurements.
193. Pálfai I. – Boga, T. L. – Sebesvári, J.: 1999. Adatok a magyarországi aszályokról 1931-1988. Éghajlati és Agrometeorológiai Tanulmányok. 7. OMSZ. Budapest. 67-76.
194. Pálfai I.: 1990. Description and forecasting of droughts in Hungary. Proceedings 14th International Congress on Irrigation and Drainage. Rio de Janeiro, Brazil. 151-158
195. Pálfai, I.- Herceg, Á.: 2012. Palfai Drought Index (PaDI) – Expansion of applicability of Hungarian PAI for Southeast Europe (SEE) region. *Lower-Tisza District Water Directorate Szeged – Hungary*, 24.
196. Pallottino, F.- Antonucci, F.- Costa, C.- Bisagli, C.- Figorilli, S.- Menesatti, P.: 2019. Optoelectronic proximal sensing vehicle-mounted technologies in precision agriculture: A review. *Comput. Electron. Agric.* 162, 859–873.
197. Palmer, W. C.: 1965. Meteorological Drought. Office of Climatology Research Paper No. 45, Washington DC: US Weather Bureau.

198. Panda, S.S.- Ames, D.P.- Panigrahi, S.: 2010. Application of vegetation indices for agricultural crop yield prediction using neural network techniques. *Remote Sens.* 2, 673–696.
199. Panek, E.- Gozdowski, D.- Stepień, M.- Samborski, S.- Rucinski, D.- Buszke, B.: 2020. Within-Field Relationships between Satellite- Derived Vegetation Indices, Grain Yield and Spike Number of Winter Wheat and Triticale. *Agronomy*, 10, 1842.
200. Patel, N.K.- Patnaik, C.- Dutta, S.- Shekh, A.M.- Dane, A.J.: 2001. Study of crop growth parameters using Airborne Imaging Spectrometer data. *Int. J. Remote Sens.*, 22, 2401–2411.
201. Pauwels, V.R.N.- Verhoest, N.E.C. - De Lannoy, G.J.M.- Guissard, V.- Lucau, C.- Defourny, P.: 2007. Optimization of a coupled hydrology-crop growth model through the assimilation of observed soil moisture and leaf area index values using an ensemble Kalman filter. *Water Resour. Res.*, 43 (4).
202. Pena-Barragan, J.M.- Ngugi, M.K.- Plant, R.E.- Six, J.: 2011. Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology. *Remote Sens. Environ.*, 115, 1301–1316.
203. Petesné, H. A.: 2008. Érdemes telepíteni? A gyümölcstelepítés feltételei, faj és fajtaválasztás lehetőségei, a telepítés ideje és módjai, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 22
204. Petrasovits I. (szerk.): 1982. Síkvidéki vízrendezés és -gazdálkodás, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 324.
205. Piekarczyk, J.- Kazmierowski, C.- Królewicz, S.- Cierniewski, J.: 2016. Effects of Soil Surface Roughness on Soil Reflectance Measured in Laboratory and Outdoor Conditions. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 9.
206. Ponomariova, V.V.- Plotnikova, T.A.: 1980. Humus and soil formation (Methods and results). Nauka, Moscow.
207. Potter, C.- Li, S.- Huang, S.- Crabtree, R.L.: 2012. Analysis of sapling density regeneration in Yellowstone National Park with hyperspectral remote sensing data. *Remote Sens. Environ.*, 121, 61-68.
208. Puri, V.- Nayyar, A.- Raja, L.: 2017. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *J Statist Manage Syst*, 20, 507-518.

209. Rajapakse, N.C.- Shahak, Y.: 2007. Light quality manipulation by horticulture industry. In: Whitelam, G., Halliday, K. (Eds.), *Light and Plant Development*. Blackwell Publishing, UK, 290–312.
210. Raun, W.R. - Solie, J.B. - Johnson, G.V. - Stone, M.L. - Mullen, R.W. - Freeman, K.W. - Thomason, W.E. – Lukina, E.V.: 2002. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agron. J.*, 94, 815-820.
211. Raun, W.R. - Solie, J.B. - Stone, M.L. - Martin, K.L. - Freeman, K.W. - Mullen, R.W. - Zhang, H.- Schepers, J.S. – Johnson, G.V.: 2005. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 36, 2759-2781.
212. 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.
213. Reeves, M.C.- Zhao, M.- Running, S.W.: 2005. Usefulness and limits of MODIS GPP for estimating wheat yield. *Int. J. Remote Sens.* 26, 1403–1421
214. Rembold, F.- Atzberger, C.- Rojas, O.- Savin, I.: 2013. Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection. *Remote Sens.* 11, 1704–1733.
215. Ren, S.- Guo, B.- Wu, X.- Zhang, L.- Ji, M.- Wang, J.: 2021. Winter wheat planted area monitoring and yield modeling using MODIS data in the Huang-Huai-Hai Plain, China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106049.
216. Reynolds, C.A.- Yitayew, M.- Slack, D.C.- Hatchinson, C.F.- Huete, A.- Petersen, M.S.: 2000. Estimating crop yields and production by integrating the FAO Crop Specific Water data and ground-based ancillary data. *Int. J. Remote Sens.*, 21, 3487–3508.
217. Reza, M.S.- Sabau, G.: 2022. Impact of climate change on crop production and food security in Newfoundland and Labrador, Canada, *Journal of Agriculture and Food Research*, 100405.
218. Rhyma, P.- Norizah, K.- Hamdan, O.- Faridah-Hanum, I.- Zulfa, A.: 2020. Integration of normalised different vegetation index and Soil-Adjusted Vegetation Index for mangrove vegetation delineation. *Remote Sens. Appl.*, 17.

- 219.Richter, K.- Atzberger, C.- Vuolo, F.- D'urso, G.: 2011. Evaluation of sentinel-2 spectral sampling for radiative transfer model-based LAI estimation of wheat, sugar beet, and maize. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 4, 458–464.
- 220.Riczu, P.–Nagy, A.–Tamás, J.: 2014. Hyperspectral data in water stress detection. *International Journal of Horticultural Science*, 20 (3–4): 15–17.
- 221.Rigden, P.: 2008. To net or not to net. The State of Queensland, Department of Primary Industries and Fisheries, 3rd ed. (Accessed 09 March 2017). <http://www.otcobird.net.com.au/Orchard-Netting-Report.pdf>.
- 222.Roman, A.–Ursu, T.: 2016. Multispectral satellite imagery and airborne laser scanning techniques for the detection of archaeological vegetation marks. In book: Landscape archaeology on the northern frontier of the roman empire at porolissum-an interdisciplinary research project.141-152.
- 223.Ropac, S.- Hofstätter, M.- Dreisiebner- Lanz S.- Orlik, A.- Lexer, A.- Andre, K.- Kernitzkyi, M. - Kortschak, D.- Prettenhaler, F.- Stangl, M.- Brugger, K.- Formayer, H.: 2017. Klimastatusbericht. CCCA (Hrsg., Wien (2018)
- 224.Scholander, P.F.- Hammel, H.T.- Bradstreet, E.D.- Hemmingsen, E.A.: 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148, 339–346.
- 225.Serra, S.- Borghi, S.- Mupambi, G. - Camargo- Alvarez H.- Layne, D. - Schmidt, T.- Kalcsits, L. – Musacchi, S.: 2020. Photosensitive protective netting improves ‘honeycrisp’ fruit quality. *Plants*, 9 (12), 1708.
- 226.Shahak, Y.- Gussakovsky, E.E.- Cohen, Y.- Lurie, S.- Stern, R.- Kfir, S.- Naor, A.- Atzmon, I.- Doron, I.- Greenblat-Avron, Y.: 2004a. ColorNets: a new approach for light manipulation in fruit trees. *Acta Hortic.* 636, 609–616.
- 227.Shahak, Y.- Gussakovsky, E.E.- Gal, E.- Ganelevin, R.: 2004b. ColorNets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Hortic.* 659, 143–151.
- 228.Sharma, V.- Irmak, S.: 2020a. Comparative analyses of variable and fixed (uniform) rate irrigation and nitrogen management in different soil types: Part I. Impact on maize soil-water dynamics. *Agricultural Water Management* (in review). 246, 106653
- 229.Shepherd, K.- Walsh, M.: 2002. Development of Reflectance Spectral Libraries for Characterization of Soil Properties. *Soil Science Society of America Journal*. 66.

230. Shi, Z.- Ji, W.- Viscarra, R. A. M.- Chen, S.- Zhou, Y.: 2015. Prediction of soil organic matter using a spatially constrained local partial least squares regression and the Chinese vis-NIR spectral library. *Eur. J. Soil Sci.*, 66 (4), 679–687.
231. Shipley, B.- Vu, T.T.: 2001. Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their part. *New Phytol.* 153 (February (2)), 359–364
232. Sims, D. A.- Gamon, J. A.: 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages, *Remote Sens. Environ.*, 81 (2), 337-354.
233. Sircelj, J.-Grill, D.-Batic, F.: 2007. Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters, 362–369.
234. Sivakumar, D.- Jifon, J.: 2018. Influence of photoselective shade nettings on postharvest quality of vegetables. In: Siddiqui, M.W. (Ed.), *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality*, pp. 121–138.
235. Song, J.- Fan, L.- Forney, C.F.- Jordan, M.A.: 2001. Using volatile emission and chlorophyll fluorescence as indicator of heat injury in apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126:771-777.
236. Stamps, R.H.: 2009. Use of colored shade netting in horticulture. *HortScience*, 44 (2), 239-241
237. Stefanovits, P.- Filep, Gy.- Fülek, Gy.: 1999. *Talajtan, Mezőgazda Kiadó*, Budapest, 470.
238. Szabó, A.- Juhász, Cs.- Gálya Farkasné, B.- Kövesdi, Á.- Tamás, J.- Nagy, A.: 2022. Combined traffic control of irrigation on heterogeneous field. *Acta Agraria Debreceniensis*, 1. 187-190.
239. Szabó, T.: 2001. Almatermésűek és bogyósok, összes példány. *Mezőgazda Kiadó-Központi Statisztikai Hivatal*, Budapest, 111.
240. Szedlák, L.: 2022. Fekete év a magyar mezőgazdaságban: tényleg lehúzzhatják a rolót ezek a termelők? <https://www.agrarszektor.hu/noveny/20221228/fekete-ev-a-magyar-mezogazdasagban-tenyleg-lehuzhatjak-a-rolot-ezek-a-termelok-41820>
241. Széles, A.: 2007. The indication of nitrogen deficiency in maize growing using SPAD-502 chlorophyll meter. *Cereal Research Communications*, 35 (2). 1149-1152.
242. 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.

243. *Tamás J.*: 2016. Kihívások az aszálykutatás területén. *Hidrológiai közlöny*, 2.
244. *Tamás, J.*: 2001. Precíziós mezőgazdaság. Szaktudás Kiadó Ház ZRT.
245. *Tamás, J.-Nagy, A.- Fehér, J.*: 2015. Agricultural biomass monitoring on watersheds based on remote sensed data. *Water Sci. Technol.*, 72, 2212–2220.
246. *Tang, H.- Qiu, J.- Van Ranst, E.- Li, C.*: 2006. Estimations of soil organic carbon storage in cropland of China based on DNDC model. *Geoderma*, 134, 200-206.
247. *Tanner, C.B.*: 1963. Plant Temperatures. *Agronomy Journal*, 55, 201-211.
248. *Tanny, J.*: 2013. Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: a review. *Biosyst. Eng.* 114 (1), 26–43.
249. *Terra, F. S.- Dematte, J. A. M.- Viscarra, R. A. M.*: 2015. Spectral libraries for quantitative analyses of tropical Brazilian soils: Comparing vis–NIR and mid-IR reflectance data. *Geoderma*, 255–256, 81–93.
250. *Thyll, Sz.- Fehér, F.- Madarassy, L.*: 1983. Mezőgazdasági talajcsövezés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 308.
251. *Treder, W.- Mika, A.- Buler, Z. -K. Klamkowski*: 2016. Effects of hail nets on orchard light microclimate, apple tree growth, fruiting and fruit quality. *Acta Sci. Pol-Hortorum Cultus*, 15 (3), 17-27
252. *Tsang S.W.- Jim C.Y.*: 2016. Applying artificial intelligence modelingmodelling to optimize green roof irrigation. *Energy and Buildings* 127, 360–369.
253. *Tucker, C.*: 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8, 127–150.
254. *Tucker, C.J.- Vanpraet, C.L.- Sharman, M.J.- Van Ittersum, G.*: 1985. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980–1984. *Remote Sens. Environ.*, 17, 233–249.
255. *Tucker, C.J.-Holben, B.N.- Elgin, J.H., Jr.-Mcmutrey, J.E. III.*: 1980. Relationship of spectral data to grain yield variation. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 46, 657–666.
256. *Uddling, J.- Gelang-Alfredsson, J.- Piikki, K.- Pleijel, H.*: 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynth Res.* 91:37–46.
257. *Usha, K.-Singh, B.*: 2013. Potential applications of remote sensing in horticulture a review. *Scientia Horticulturae*, 153, 71–83.

- 258.Val, J.- Monge, E.- Heras, L.- Abadia, J.: 1987. Changes in photosynthetic pigment composition in higher plants as affected by iron nutrition status. *J. Plant Nutr.* 10, 9–16, 995-1001.
- 259.Van Waes, C.- Mestdagh, I.- Lootens, P.- Carlier, L.: 2005. Possibilities of near infrared reflectance spectroscopy for the prediction of organic carbon concentrations in grassland soils. *J. Agric. Sci.*, 143, 487-492.
- 260.Ványiné, Sz. A.: 2008. The effect of crop year and fertilization on the interaction between the spad value and yield of maize (*Zea mays* L.) within non-irrigated conditions. *Cereal Research Communications*, 36, Supplement: Proceedings of the VII. Alps-Adria Scientific Workshop, 28 April-2 May 2008, Stara Lesna, Slovakia, 1367-1370
- 261.Várallyay, Gy.: 2003. A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Egyetemi jegyzet. FVM Vízgazd. Osztály. Budapest–Gödöllő.
- 262.Várallyay, Gy.: 2004a. Talaj az agro-ökoszisztémák alap-eleme. „*AGRO-21*” *Füzetek*, 37. 33–49.
- 263.Várallyay, Gy.: 2004b. A talaj vízgazdálkodásának agroökológiai vonatkozásai. „*AGRO-21 Füzetek*” 37. 50–70.
- 264.Verdouw, C. - Sundmaeker, H.- Tekinerdogan, B.- Conzon, D.- Montanaro, T.: 2019. Architecture framework of IoT-based food and farm systems: A multiple case study. *Comput. Electron. Agric.*, 165
- 265.Viscarra Rossel, R. A.- Walvoort, D. J. J.- Mcbratney, A. B.- Janik, L. J.- Skjemstad, J. O.: 2006. Visible near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* 131:59-75.
- 266.Viscarra Rossel, R.- Mcbratney, A.: 2008. Diffuse Reflectance Spectroscopy as a Tool for Digital Soil Mapping. Digital Soil Mapping with Limited Data.
- 267.Vuolo, F.- Neugebauer, N.- Falanga, S.- Atzberger, C.- D'urso, G.: 2013. Estimation of Leaf Area Index using DEIMOS-1 data: Calibration and transferability of a semi-empirical relationship between two agricultural areas. *Remote Sens.*, 5, 1274–1291.
- 268.Walkley-Black, A.- Black, L. A.: 1934. An examination of the Dgtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37, 29–38.

269. Wang Y.- Li M.- Hui X.- Meng Y.- Yan H.: 2020. Alfalfa canopy water interception under low-pressure sprinklers. *Agricultural Water Management*, 230, Article 105919.
270. Wilhite, D. A.: 2009. Drought monitoring as a component of drought preparedness planning. In: A. Iglesias et al. (eds.). *Coping with drought risk in agriculture and water supply systems. Springer Science & Business Media B.V.* 3–19.
271. Wilson, P.J.- Thompson, K.E.N.- Hodgson, J.G.: 1999. Specific leaf area and leaf drymatter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytol.* 143 (1), 155–162.
272. Winkel-Shirley, B.J.: 2002. Biosynthesis of Flavonoids and Effects of Stress. *Current Opinion in Plant Biology* 5(3):218–23
273. Woodcock, C.E.-Allen, R.-Anderson, M.-Belward, A.-Bindschadler, R.-Cohen, W.-Gao, F.-Goward, S.N.-Helder, D.-Helmer, E.: 2008. Free access to Landsat imagery. *Science* 320, 1011.
274. World Food Summit: 1996, Rome Declaration on World Food Security.
275. Wünsche, J.N.- Greer, D.H.- Laing, W. A. – Palmer, J. W.: 2005. Physiological and biochemical leaf and tree responses to crop load in apple. *Tree Physiology* 25, 1253–1263
276. Xie, Q.- Huang, W.- Dash, J.- Song, X.- Huang, L.- Zaho, J.- Wang, R.: 2015. Evaluating the potential of vegetation indices for winter wheat LAI estimation under different fertilization and Water conditions. *Adv. Space Res.*, 56, 2365–2373.
277. Yari A.- Madramootoo C. A.- Woods S. A.- Adamchuk V. I.: 2017. Performance Evaluation of Constant Versus Variable Rate Irrigation. *Irrigation and Drainage*. 66(4): 501– 509.
278. Yildiz, M.- Terzi, H.: 2007. Bitkilerin yuksek sıcaklık stresine toleransının hucre canlılığı ve fotosentetik pigmentasyon testleri ile belirlenmesi. Erciyes Universitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; *Dergisi* 23 (1–2), 47–60.
279. Yu, K.Q.-Zhao, Y.R.-Liu, Z.Y.-Li, X.L.-Liu, F.-He, Y.: 2014. Application of visible and near-infrared hyperspectral imaging for detection of defective features in loquat. *Food Bioprocess Technology*, 7, 3077–3087.
280. Zambrano, F.- Lillo-Saavedra, M.- Verbist, K.- Lagos, O.: 2016. Sixteen years of agricultural drought assessment of the BioBío region in Chile using a 250 m resolution vegetation condition index (VCI). *Remote Sens.* 8, 530.

281. Zhao, Y. - Chen, S. – Shen, S.: 2013. Assimilating remote sensing information with crop model using ensemble Kalman filter for improving LAI monitoring and yield estimation *Ecol. Modell.*, 270, 30-42
282. Zhou, H.- He, M.- Li, J.- Chen, L.- Huang, Z.- Zheng, S.- Zhu, L.- Ni, E.- Jiang, D.- Zhao, B.- Zhuang, C.: 2016. Development of Commercial Thermo-sensitive Genic Male Sterile Rice Accelerates Hybrid Rice Breeding Using the CRISPR/Cas9-mediated TMS5 Editing System. *Scientific Reports*, 6, 37395
283. Zhu, X.G.- Long, S.P.- Ort, D.R.: 2010. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 61, 235-261
284. Zibordi, M.- Domingos, S.- Corelli Grappadelli, L.: 2009. Thinning apples via shading: an appraisal under field conditions. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84, 138–144.
285. Zuber, S.M.- Villamil, M. B.: 2016. Meta-analysis approach to assess effect of tillage on microbial biomass and enzyme activities, *Soil Biology and Biochemistry*, 97, 176-187.
286. Zur, Y.-Gitelson, A.A.–Chivkunova, O.B.–Merzlyak, M.N.: 2000. The spectral contribution of carotenoides to light absorption and reflectance in green leaves. Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry. Lake Buena Vista Florida, 10–12.
287. Leblanc, S. G.- Chen, J. M.- Fernandes, R.- Deering, D. W.- Conley, A.: 2005. Methodology comparison for canopy structure parameters extraction from digital hemispherical photography in boreal forests. *Agric. and For. Meteorol.* 129: 187–207.
288. Song, G.- Doley, D.- Yates, D.- Chao, K.- Hsieh, C.: 2014. Improving accuracy of canopy hemispherical photography by a constant threshold value derived from an unobscured overcast sky. *Can. J. For. Res.* 44 (1), 17–27.

Internetes hivatkozások:

- I1: <https://www.pmsinstrument.com/> (letöltés ideje: 2019. 05.13)
- I2: https://odp.met.hu/climate/station_data_series/daily/from_1901/ (Országos Meteorológiai Szolgálat) (letöltés ideje: 2020. 09. 01.)
- I3: <https://nelsonirrigation.com/> (letöltés ideje: 2020.04.08.)

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/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 könyvrészek (2)

2. **Szabó, A.**, Adeniyi, O. D., Tamás, J., Nagy, A.: Búzatermés 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 öntözöberendezés 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 távérzékelte 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 könyvrészletek (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.



NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2023. 09. 12.

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy SZABÓ ANDREA doktorjelölt 2019-2023 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2023. 09. 12.

.....

a témavezető aláírása

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném köszönetemet kifejezni mindazoknak, akik az évek során hozzájárultak a kutatómunkámhoz és a doktori értekezés megírásához. Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Prof. Dr. Nagy Attila egyetemi tanárnak, aki szakmai javaslataival és türelmével támogatta jelen értekezés elkészülését.

Köszönettel tartozom Prof. Dr. Tamás János intézetvezető úrnak, aki segítséget és támogatást nyújtott a kutatás során.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Prof. Dr. Kakuszi-Széles Adriennek (Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet) és Dr. Jung Andrásnak (ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet), akik vállalták az opponensi feladatokat, nagyban segítve ezzel munkámat.

Köszönettel tartozom a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet valamennyi munkatársának, akik munkájukkal és tanácsaikkal segítettek a kutatómunkám során.

Köszönetemet szeretném kifejezni a szakdolgozóimnak, akik aktívan részt vettek a kutatásokban.

Köszönetemet szeretném kifejezni a Bátortrade KFT-nek, a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Pallagi Kertészeti Kísérleti Telepének és a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Karcagi Kutatóintézetének (2021-től MATE Karcagi Kutatóintézete), hogy hozzájárultak ahhoz, hogy a kutatásomat a területeiken végezzem el.

Végül, de nem utolsó sorban, szeretném megköszönni a családom és barátaim önzetlen támogatását, megértését és biztatását.

Kutatásaimat a TKP2021-NKTA-32 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program és az Európai Unió Horizont 2020 ‘WATERAGRI Water retention and nutrient recycling in soils and steams for improved agricultural production’ projektek támogatták.