

SZAKDOLGOZAT

Pál Dorián
Mezőgazdasági mérnöki

Keszthely
2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Georgikon Campus

Mezőgazdasági Mérnöki Szak

**PRECÍZIÓS GAZDÁLKODÁSI TEVÉKENYSÉG
TÁMOGATÁSA TÁVÉRZÉKELÉSI FELVÉTELEK
SEGÍTSÉGÉVEL**

Belső konzulens:

Dr. Busznyák János

egyetemi docens

Készítette:

Pál Dorián

RGVT5W

nappali tagozat

Intézet/Tanszék:

Műszaki Intézet/

Mérnökinformatikai Tanszék

Készthely

2023

TARTALOMJEGYZÉK

1	BEVEZETÉS.....	4
2	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	5
2.1	TÉRINFORMATIKA ÉS A PRECÍZIÓS GAZDÁLKODÁS	5
2.2	DRÓNOK TÖRTÉNETE ÉS TÍPUSAI.....	8
2.3	MEZŐGAZDASÁGI DRÓNOK.....	11
2.4	TÁVÉRZÉKELEÉS	12
2.4.1	VEGETÁCIÓS INDEXEK.....	13
2.5	AZ ŐSZIBÚZA TERMESZTÉSI SAJÁTOSSÁGAI	20
2.5.1	ÉGHAJLATIGÉNYE	20
2.5.2	VETÉSVÁLTÁSA	20
2.5.3	TÁPANYAGIGÉNYE.....	21
3	ANYAG ÉS MÓDSZER	22
3.1	A KÍSÉRLET CÉLKITŰZÉSEI	22
3.2	A MINTÁZÁSOK FOLYAMATA	24
3.3	A MINTÁK FELDOLGOZÁSA	25
3.4	FELVÉTELEZÉSEK	28
3.4.1	AZ ELSŐ FELVÉTELEZÉS.....	28
3.4.2	A MÁSODIK FELVÉTELEZÉS	30
3.4.3	FELVÉTELEK KIÉRTÉKELÉSE.....	31
4	A MINTÁZÁSOK EREDMÉNYEI.....	32
4.1	A KÉT REPÜLÉS ÖSSZEHASONLÍTÁSA.....	32
4.2	A PÁROLGÁS ÉS AZ NDVI KÖZTI VIZSGÁLAT	34
4.3	NÖVÉNYI NITROGÉN VIZSGÁLAT ÉS ANNAK EREDMÉNYEI	35
4.4	A TALAJ NITROGÉN ÉS SZÉN VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI.....	37
4.5	A TERMÉSÁTLAG ÉS AZ NDVI KÖLCSÖNHATÁS VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI.....	40
5	KÖVETKEZTETÉSEK.....	41
6	ÖSSZEFOGLALÁS.....	43
7	SZAKIRODALOM JEGYZÉKE.....	46

1 BEVEZETÉS

„Ma, a 21. század küszöbét átlépve egy újabb relatív élelmiszerválsággal állunk szemben, hiszen jelenleg közel 7,8 milliárd ember élelmiszer-szükségletét kell kiszolgálnia 1,4 milliárd hektárnyi szántó- és ültetvényterületnek. Ha kicsit előrettekintünk, akkor az előbbi szám növekedni, míg az utóbbi feltehetően csökkenni fog – többek közt az elsivatagosodás és az urbanizáció miatt. Nagyon sok problémával kell megküzdenie egy mai gazdának, hiszen a klímaváltozás, a romló talajviszonyok, a növekvő munkaerőhiány, az elöregedő társadalom mellett még megannyi más probléma nehezíti az eredményes, ugyanakkor fenntartható gazdálkodást.” (Internet1)

Napjainkban a fejlesztések előterébe az ésszerű megoldások és a precizitás kerültek. A precíziós gazdálkodás az egyik legjobb módja a hosszú távú sikernek és fennmaradásnak. Ez ma már nem egy választható lehetőség. A világ rohamos léptekkel fejlődik a mezőgazdasággal együtt, és ezen a területen is akadnak olyan megoldások és technológiák, amelyek felett eljárt már az idő. A dróntechnológia és precíziós mezőgazdaság viszont a közeli jövő egyik meghatározó irányvonala. Ezen lehetőségek kombinálása minden vállalkozás vagy gazdálkodó számára forradalmi újítás lehet. (Internet2)

A talajadatok alapján történő differenciált tápanyag-kijuttatás, az eltérő ellátottságú területek helyspecifikus művelése és növényvédelme, valamint a betakarítást követő hozamtérképek alkalmazása fontos elemek a precíziós növénytermesztésben. A drónok jelentős szerepet játszhatnak ezen műveletekben, mivel általuk pontosabb képet kaphatunk a terület aktuális állapotáról. A permeteződrónok használatával akár 90% víz- és 50% növényvédőszer-megtakarítás is elérhető. (Internet3)

2 SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 TÉRINFORMATIKA ÉS A PRECÍZIÓS GAZDÁLKODÁS

A földmérők évezredek óta alkalmazzák a tudomány és technika eredményeit, hogy segítsék a tudományokat helymeghatározási módszerekkel és megbízható helyzeti adatokkal, amelyek szolgálják a társadalom intézményeit, egyéneit és polgárait. A földmérők által használt eszközök a XVII. századig lassan fejlődtek, de Galilei kutatásai és a távcső alkalmazása jelentős változásokat hoztak 400 évvel ezelőtt, amelyek nagyban növelték a mérések pontosságát. Az elmúlt század elején megkezdett légi fényképezési kísérletek is jelentős fejlődést eredményeztek, lehetővé téve, hogy a terepet már az irodába vihessük. Az űrtechnika újabb lehetőségeket kínált a földmérés terén a hetvenes években, és a műholdfelvételek ma már mindenki számára elérhetőek az 1990-es években kialakult Internet révén. (POPP et al. 2018) Azonban, a műholdakra alapozva kialakult a globális helymeghatározó rendszer (GPS újabb nevén GNSS), amelynek alkalmazásával ma már bárki egyszerűen precíz koordinátákhoz juthat. (MÁRKUS, 2010)

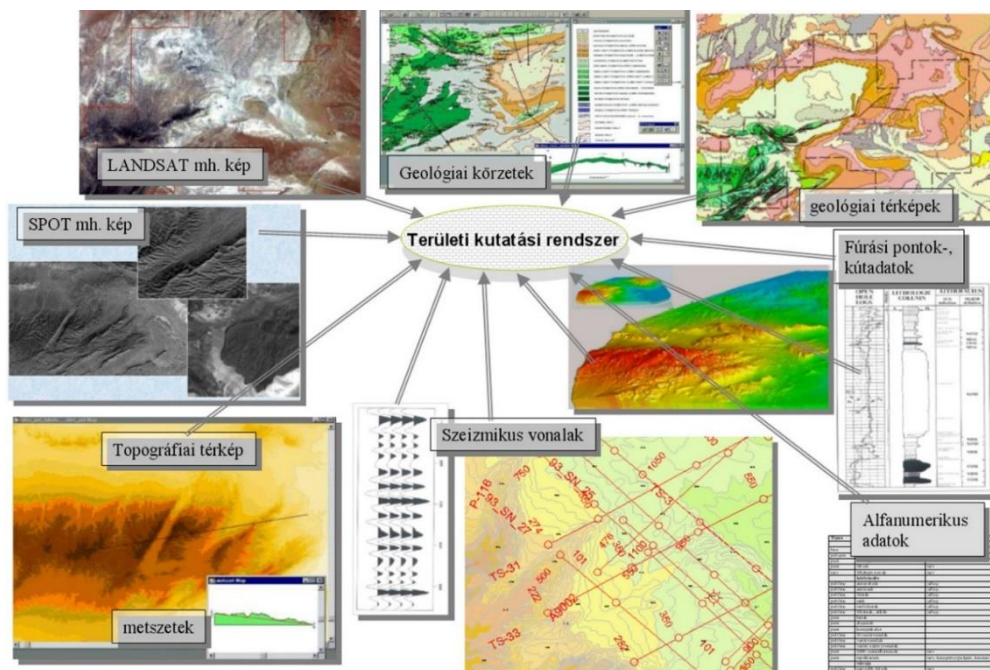
„A térinformatikai rendszer (GIS) egy olyan számítógépes rendszer, melyet földrajzi helyhez köthető adatok gyűjtésére, tárolására, kezelésére, elemzésére, az információk megjelenítésére, a földrajzi jelenségek megfigyelésére, modellezésére dolgoztak ki. A GIS lehetőséget ad nagyszámú földrajzi és leíró adat gyors, együttes, integrált áttekintésére és elemzésére. A hálózatok terjedésével egyre erősödik az információ gyors elérése iránti igény.” (CHENGHAI et al. 2014)

A térinformatikai és mezőgazdasági rendszerek hatékony adatgyűjtési rendszert igényelnek, amely képes az automatizált adatfeldolgozásra, és az output adatai közvetlenül integrálhatóak a döntéstámogatási modellekbe. A hagyományos adatgyűjtési eljárások mellett, a műholdas helymeghatározási rendszerek, különösen a 90-es évektől rohamosan terjedő Global Positioning System (GPS) rendszerek a legtöbbet használtak a polgári alkalmazásban, és gyakorlatilag nélkülözhetetlenné váltak a precíziós mezőgazdálkodásban. Ennek köszönhetően lehetővé vált egy teljesen új termesztési rendszer bevezetése. (TAMÁS, 2001) A térinformatikai rendszerek adatbázisának sokszínűségét az 1. ábra mutatja be.

A takarmánynövények és élelmiszer alapanyagok biztonságos előállítása érdekében szükség van a műszaki és szellemi feltételek továbbfejlesztésére. A precíziós (helyspecifikus) módszerekkel termesztett növények mennyiségi és minőségi paramétereinek mérése során a környezetterhelést minimalizálni kell, és a tevékenység fenntartható legyen, miközben kihasználjuk az ökológiai potenciált. Ez megalapozza az agrár-ökológiai modellek alkalmazását a táblán belüli kezelési egységek optimalizálásához. A minőség javítása már csak kis mértékben lehetséges a feldolgozás

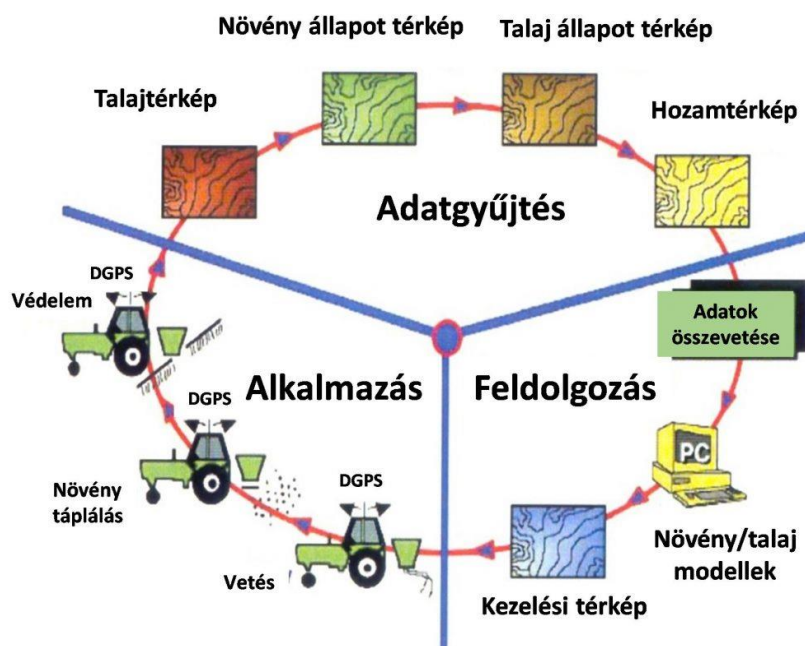
során. A környezetterhelés csökkentése érdekében pontos tápanyag visszapótlásra és a legkisebb mennyiségben történő peszticid, herbicid és inszekticid kiadagolásra van szükség. (DOBOS, 2013) A légi felvételeken megfigyelhetőek a talaj heterogenitásából adódó különbségek, a talajszín változásai (pl. erózió, szervesanyag-tartalom területi eloszlása), és információk nyerhetők a talaj vízellátottságáról, dokumentálhatók a belvizes foltok, valamint más tényezők, melyek befolyásolják a termés hozamot. Az alatta található növényzet változásairól is információk nyerhetők, a gyomosodás, kártevők és kórokozók terjedése is követhető. Ezek az előzmények vezettek el a precíziós mezőgazdaság lehetőségéhez. (ERDEINÉ – GALLY, 2020) A gyakorlati alkalmazása előtt már számos technikai, gépészeti, agrárkémikáliával és növény-nemesítéssel kapcsolatos kutatás tette hatékonyabbá és szakszerűbbé a növénytermesztést. A precíziós mezőgazdaság segítette a gazdálkodókat abban, hogy a technikát helyspecifikusan, beazonosíthatóan és visszakereshetően alkalmazzák. Ennek köszönhetően a gazdák célja az optimális alkalmazás a termőhelyi viszonyoknak megfelelően. A hivatásszerű gazdálkodók számára is elérhetőek az ehhez szükséges részletes ismeretek. A jó gazda ismeri területét, tisztában van azzal, hogy milyen akadályokkal kell szembenéznie a termesztési ciklusok során különböző környezeti feltételek mellett. (Internet4) A termelésirányítás a precíziós gazdálkodásban legtöbbször a 2. ábra alapján történik.

A fejlett precíziós növénytermesztés célja a gazdaságos és fenntartható növénytermesztés alkalmazása, amely illeszkedik a termőhely térbeli heterogenitásához. Az ilyen technológia alkalmazásával csökkenthető a kiadások szintje és minimalizálható a nem hasznosuló tápanyagok kimosódása, amelyek környezeti terhelést okoznak. Az optimális tápanyag-ellátottság és az energiamérleg javítása is lehetséges az ilyen technológia alkalmazásával. (HUANG et al. 2010) A helyspecifikus technológia használatával az élelmiszer és takarmány alapanyagok toxikus anyagoktól és vegyszerektől mentesek lehetnek. A tápanyag-utánpótlás technológiája meghatározza a termesztett növények kémiai összetételét és ásványi anyag tartalmát, ami hatással van az esszenciális és potenciálisan toxikus anyagok előfordulására és arányára a terményekben. Az ilyen technológia alkalmazása lehetővé teszi, hogy a növények által szintetizált formában biztosítsuk a termények kémiai összetételét, miközben minimalizáljuk a plusz adalékanyagok hozzáadását. A növényvédelmi szerek felhasználása is csökken az ilyen technológia alkalmazásával, mivel a prevencióra helyezzük a hangsúlyt, nem pedig a védekezésre. (JONES – VAUGHAN, 2011)



1. ábra: Térinformatikai rendszerek adatbázisainak összetétele

Forrás: (<http://www.geo.u-szeged.hu/>)



2. ábra: A precíziós gazdálkodás termelési „forgója”

Forrás: (Márkus Béla, 2010)

2.2 DRÓNOK TÖRTÉNETE ÉS TÍPUSAI

A drónok története az 1900-as évek elején kezdődött, amikor az első rádióvezérelt repülőgépeket fejlesztették ki katonai alkalmazásokra. Az 1960-as években az első automatizált drónokat katonai és a kémkedési tevékenységekben alkalmazták. Az 1980-as években jelentek meg az első kereskedelmi drónok, amelyeket mezőgazdasági feladatokra használtak. A technológia fejlődésével a drónok egyre kisebbek és hatékonyabbak lettek és manapság számos területen használják őket. Beleértve a kutatást, az építőipart, a szórakoztató ipart, a logisztikát és még sok mást. (HOGAN, 2015)

7.1 Multikopterek: A multikopter egy olyan típusú drón, amely több rotorból áll és ezek forgatásával képes a levegőben maradni és irányítani a mozgását. A multikopterek között számos különböző típus található, amelyeket általában a rotorszám, a méret és az alkalmazási terület szerint különböztetnek meg. Az egyik legnépszerűbb multikopter típus az ún. quadcopter, amely négy rotorból áll és kifejezetten a repülésre alkalmas. A quadcopterek általában könnyűszerkezetű műanyagból készülnek, és az egyes rotorokat kis elektromotorok hajtják meg. A quadcopterek stabilan repülnek és könnyen kezelhetőek, ezért az amatőr drónpilóták körében igen népszerűek. A hexacopter típus hat rotorral rendelkezik, és nagyobb terhelést képes szállítani, mint a quadcopterek. (Internet5) A hexacopterek például ideálisak lehetnek a fényképezésre és a videózásra, mivel a hat rotor stabilabb és kevésbé rezeg, mint a négyrotoros quadcopterek. A hegyes csúcsú hatszöget formáló rotorszerkezettel rendelkező oktacopter típus nyolc rotorból áll, és nagyobb méretű drónok esetében alkalmazzák. Az octocopterek például a mozgóképek készítésénél és a teher szállításánál használatosak, mivel nagyobb terhelést bírnak el, és könnyebb velük nagyobb távolságokat megtenni. A multikopterek a repülési képességüket és a szállítási teljesítményüket tekintve a legjobb választásnak bizonyulnak számos különböző iparágban. Az utóbbi években a multikopterek felhasználása robbanásszerűen növekszik, és számos területen alkalmazzák őket, például a filmkészítésben, a légi felmérésekben, a mezőgazdasági munkákban, az épületek karbantartásában és a mentési munkáknál. (DARUKA, 2014) Egy ilyen multikopter látható a 3. ábrán.



3. ábra: Egy multikopter, ami más drónok elfogására is képes

Forrás: (<https://raketa.hu>)

7.2 Szárnyas drónok: Az ilyen típusú drónok a repülőgépekhez hasonlóak, de kisebb méretűek és általában magasabb sebességgel és hatótávolsággal rendelkeznek. Ezek közül van, ami fix szárnnal rendelkezik és van olyan, ami egy hibridebb típus és kis mértékű vitorlázásra is képes, de rendelkezik egy rotorral. (Internet6) Ezt a 4. ábra mutatja be.



4. ábra: Fix szárnyú mezőgazdasági felvételező drón

Forrás: (<https://beaverfield.hu/>)

7.3 Szárazföldi drónok: A szárazföldi drónok (vagy földi robotok) olyan autonóm vagy távirányítású robotok, amelyek számos feladatot elláthatnak a szárazföldön. Az ilyen típusú drónok lehetnek kerekes vagy lábakon álló kialakításúak, és a szállítástól a felmérésig, a biztonságtól az ipari felhasználásokig sokféle alkalmazásra használják őket. Rendkívül hasznosak lehetnek a katonai és rendészeti erők számára, mivel segíthetnek a területek felderítésében és a veszélyes területek felügyeletében. Az ipari szektorban gyakran az épületkarbantartásban és a csővezetékek ellenőrzésében használják. Az autonóm szárazföldi drónok, amelyek képesek a környezetükre reagálni és az adott helyzetnek megfelelően dönteni, folyamatosan fejlődnek, és széles körben

alkalmazhatóak lehetnek a jövőben az építőiparban, az energiaiparban és a mezőgazdaságban. (Internet7) Egy harcászatra fejlesztett drón látható az 5. ábrán.



5. ábra: Egy katonai autonóm harci jármű

Forrás: (<https://hang.hu/>)

7.4 Vízi vagy víz alatti drónok: Ezeket a fajta drónokat víz felszíni, vagy a vízfelszín alatti munkákra hozták létre. Letöbbször ezek valamilyen erős fényforrással is rendelkeznek, mert ha víz alatti munkavégzésről van szó akkor nagy valószínűséggel sötét és szűk helyeket is el kell érniük. Ezek akár 100 méter mélységig is képesek leereszkedni, így elég sokrétű és nehezebb problémákat is könnyedén képesek megoldani. Ezekre a drónokra is jellemző lehet valamilyen tároló rekesz vagy egy kisebb kar, amivel akár mintákat is tudnak gyűjteni az adott helyről. (Internet8) Ez a típus a 6. ábrán látható.



6. ábra: Chasin M2 típusú vízalatti drón

Forrás: (<https://dronerz.hu>)

2.3 MEZŐGAZDASÁGI DRÓNOK

1. Megfigyelő drónok: Ezek a drónok légifelvételeket készítenek a mezőgazdasági területekről, amelyek segítségével az agrárszakemberek betekintést nyerhetnek az adott terület állapotába. Ezen felül a multispektrális képalkotás lehetővé teszi, hogy az ültetvények állapotáról információt nyerjünk, azok egészségi állapotáról és tápanyagszükségletéről. Ezen felül centiméter pontosan területmérést is végezhetünk, vagy ellenőrizhetjük az esetleges átműveléseket is. Ha megfelelő képminőségű kamerával rendelkező drónt használunk akkor tökéletes lehet birtokszemlére is. Nem utolsó sorban a megfigyelő drónoknál hatalmas segítséget tud biztosítani egy hőkamerával rendelkező drón is. Az épületek hővesztésének pontjainak vizsgálatára, vagy a napelemek. (DOBOS 2013) Egy ilyen drón látható az 7. ábrán.



7. ábra: DJI Matrice 300 RTK képes mezőgazdasági felvételező drón

Forrás: (<https://www.kite.hu>)

2. Növényvédelmi drónok: Egy permetező drón pedig a 8. ábrán látható. Ezek a drónok permetezőként funkcionálnak és a mezőgazdasági területen található növényeket permetezik. Ezek a drónok különleges algoritmusokat használnak a növények pontos lokalizálására és permetezésére. (TAMÁS, 2001)

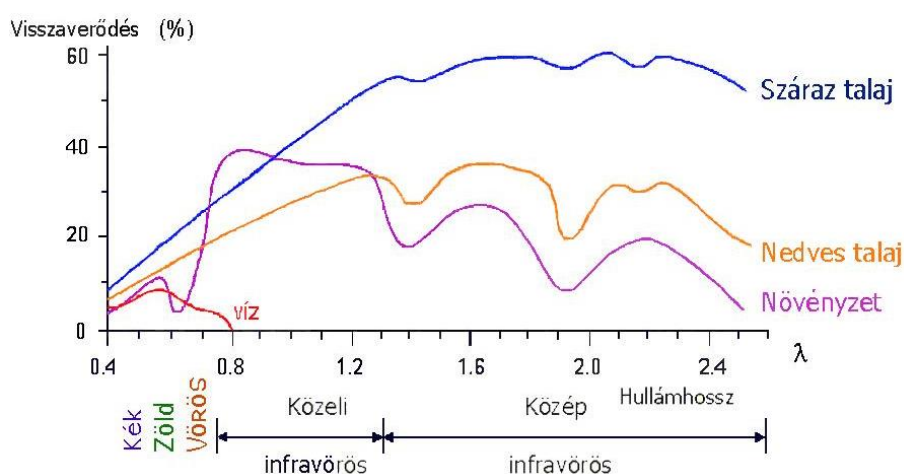


8. ábra: DJI Agras T30 típusú drón

Forrás: (<https://www.agroinform.hu/>)

2.4 TÁVÉRZÉKELÉS

Az optikai távérzékelési eljárások, mint például a multispektrális és hiperspektrális képalkotás, hasznosak lehetnek a növények állapotának meghatározásához és a talajminőség értékeléséhez. A mezőgazdasági alkalmazásokban azonban az egyik legfontosabb távérzékelési eljárás a radaros távérzékelés, amelyet a területi felméréseknél, a talajnedvesség mérésében és a növények állapotának meghatározásában használnak. A radaros távérzékelés segítségével a mezőgazdasági területek szintű és időszerű információi gyűjthetők, ami lehetővé teszi a termelékenység és a fenntarthatóság javítását a mezőgazdasági termelésben. Tehát könnyedén mondhatjuk, hogy távérzékelési eljárások kulcsfontosságúak a mezőgazdaságban, mivel lehetővé teszik a termelők számára a mezőgazdasági területek gyors és pontos értékelését, ami elősegíti a hatékonyabb gazdálkodást és a jobb eredmények elérését. A távérzékelés során az információ az objektumok elektromágneses sugárzás útján jut el a szenzorokhoz, amelynek széles hullámhosszú spektruma van. A felhasználás során a látható fény (VIS, 0,38-0,72 μm) és az azt követő infravörös hullámhossztartomány (NIR, 0,72-1,3 μm) használják. Az elektromágneses sugárzás és a földfelszín közötti kölcsönhatás a legfontosabb tényező a távérzékelés során, mivel a földfelszíni objektumok tulajdonságaira vonatkozó következtetéseinket ebből az interakcióból vonjuk le. Az objektumokra érkező sugárzási energia három részre oszlik: egy része elnyelődik, egy része áthalad, és egy része visszaverődik. Az eloszlás aránya a felszínborítástól és a hullámhossztól függ. A reflektancia nagyon fontos tényező a földfelszín objektumainak leírásában, mely az objektumokról visszavert sugárzás és a beérkező sugárzás hányadosa. A felszínborításoknak jellemző reflektanciájuk van a hullámhosszfüggvényben, amely az ún. spektrális reflektancia-függvénynek nevezik. A 9. ábra a visszaverődés és a hullámhossz kapcsolatát mutatja be. (LANDGREBE, 2003)



9. ábra: A különböző felületekről való reflektancia szemléltetése.

Forrás: (<http://tamop412.elte.hu/>)

Ha a multispektrális távérzékelést nézzük akkor az Föld felszínének távérzékelése során alkalmazott egyik legfontosabb technika. Ennek az eljárásnak a lényege, hogy az elektromágneses spektrum különböző tartományait érzékelő szenzorokat használnak, amelyek lehetővé teszik a különböző hullámhosszú spektrumokban elnyelt, visszaverődött és kibocsátott energiák rögzítését. Ennek során a földfelszín tulajdonságai, mint például a talaj típusa, a növényzet, a víz és a sziklák, eltérő módon bocsátanak ki elektromágneses sugárzást a különböző hullámhossztartományokban. Ez lehetővé teszi, hogy az érzékelők a földfelszín változóit észleljék és azonosítsák. Ezt a fajta távérzékelést széles körben alkalmazzák a mezőgazdaságban, a vízforrások nyomon követésében, az erdő- és tűzveszély előrejelzésében, az urbanizáció és az éghajlatváltozás figyelésében, a környezeti monitoringban és a térképezésben. Az előnye az, hogy a multispektrális távérzékelés segítségével lehetőség nyílik az emberi szemmel nem látható jelek rögzítésére is, ami elősegíti a környezeti változások pontosabb és hatékonyabb nyomon követését. De ahogy semmi sem tökéletes, az alkalmazása számos kihívással jár, például a nagy adatmennyiséggel, a szenzorok kalibrálásával, a felhők és más atmoszférikus zavaró tényezők hatásainak szűrésével és a földfelszín változóinak pontosabb azonosításával. Ennek ellenére a multispektrális távérzékelés még mindig az egyik legfontosabb eszköz a földfelszín változóinak követésében és azok hatékonyabb kezelésében. (SEARCY, 1997)

2.4.1 VEGETÁCIÓS INDEXEK

„A vegetáció globális megfigyelését műholdakon elhelyezett mérőeszközök végzik. A technika sokat fejlődött az elmúlt évtizedek alatt, a mérésekből például vegetációs indexeket fejlesztettek ki, a már meglévő indexeket pedig műholdas mérésekkel becsülték. Az adatok mennyisége mára hihetetlen méreteket öltött. A vegetációs indexek felhasználása széleskörű: a környezet megfigyelésében és az éghajlatváltozás hatásainak nyomon követésében alapvetőek. Ma már ilyen információkat is fölhasználnak a mezőgazdasági kultúrák monitorozására, előrejelzésére, termésbecslésre, de a mind nagyobb teret hódító precíziós gazdálkodásban is nő a szerepük.”

(Internet9)

A vegetációs indexek olyan matematikai algoritmusok, amelyek segítségével a növényzet fotoszintézis aktivitásának és biológiai produktivitásának változásait lehet monitorozni a Föld felszínén. A növények klorofill tartalmát, valamint a fotoszintetikus folyamatokból eredő más jellemzőket érzékelik, mint például a növények leveleinek mennyisége és minősége.

A vegetációs indexek a földi felvételekből származó adatokból készülnek, amelyeket a műholdak vagy drónok rögzítenek. A különböző vegetációs indexek az egyes hullámhosszú spektrumokból

származó adatokat különböző módon használják fel a növényi stressz, a növényi fenológia és az éghajlati változások nyomon követésére. (GAÁL et al. 2017)

NDVI (normalized difference vegetation index), ami egy olyan matematikai mutató, amelyet a földfelszíni élet, különösen a növényzet felületi állapota és fotoszintézise mérésére használnak. Az NDVI értékei a távérzékelési adatokból származnak, amelyeket a növényzet fotoszintetikus aktivitásának megértésére alkalmaznak. Az NDVI segítségével mérhető az éghajlati változások hatása a növényzetre, a termőterületek termékenysége és az ökológiai állapot változása. (MOGILI – DEEPAK, 2018) Az NDVI egy értékpáron alapuló mutató, amely a következő képlettel számítható ki: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ Ahol a "NIR" a közel infravörös sugárzás intenzitása, a "RED" a vörös sugárzás intenzitása. A NIR és RED értékeket a távérzékelési adatokból nyerik ki, amelyeket általában műholdak és repülőgépek felvételei biztosítanak. Az NDVI értékei -1 és 1 közötti skálán mozognak, ahol a negatív értékek azt jelzik, hogy a terület nem növényzet borította, a pozitív értékek pedig azt jelzik, hogy nagyobb az értéke a fotoszintetikus aktivitásnak, és a terület nagyobb valószínűséggel növényzet borította. (JONES – VAUGHAN, 2011)

A magas NDVI értékek általában a friss, sűrű növényzetet jelzik, míg az alacsonyabb értékek azt jelzik, hogy a növényzet elhalt vagy sérült. (Internet10)

„Az egyes NDVI értékek értelmezése így történhet:

0,05 – 0,3: a területet a rendszer barna színnel jelöli = az adott táblán nincs növényzet;

0,3 – 0,4: sárgás-barna vagy sárga színű táblák = alacsony vegetációs érték, az első csíranövények megjelenése vagy a betakarítás utáni gyomok néznek ki így;

0,4 – 0,6: sárgától a világoszöldig terjedő értékek = alacsony és átlagos vegetáció, pl. a hó nélküli, erősen fagyos télből kijövő növények néznek ki így márciusban;

0,6 vagy magasabb: zöld vagy sötétzöld táblák = magas vegetációs érték, ami aktív fejlődést, egészséges és sűrű növényzetet jelent;

fehér szín: hóval fedett parcellák.” (Talajreform.hu)

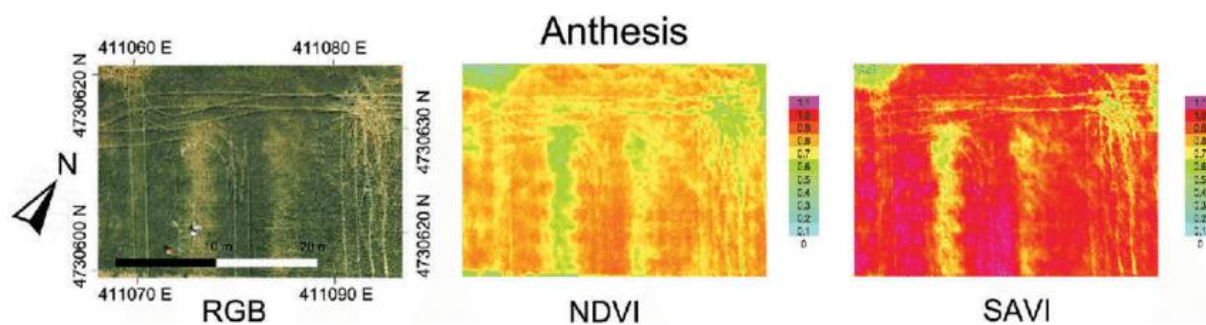
Az NDVI alkalmazása számos területen hasznos lehet, például a mezőgazdasági területeken a termőterületek termékenységének becslésére, a növénybetegségek és a kártevők terjedésének előrejelzésére, az erdők állapotának figyelemmel kísérésére, a területi felmérések végrehajtására és a környezeti változások követésére. A 10. ábrán egy NDVI térkép látható. Ezen egy kicsivel több mint két hónap vegetációs előrehaladása figyelhető meg. A világosabb színek az alacsonyabb, ritkább fotoszintetikus aktivitást jelölik. A sötétebb, mélyebb színek pedig az előrehaladottabb, magasabb klorofill értéket szemlélteti. (GAÁL et al. 2017)



10. ábra: A vegetációs előrehaladás több mint két hónap alatt

Forrás: (<https://app.onesoil.ai/>)

A SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) egy olyan növényzetindex, amelyet különböző talajtípusok és azokban a növényzet állapotának figyelembevételére hoztak létre, hogy pontosabb eredményeket nyújtson a hagyományos NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) indexhez képest. (Internet11) Nem utolsó sorban előnyei közé tartozik az, hogy különböző talajokon, például homokos, agyagos vagy szerves talajokon is használható, mivel a talaj hatásait is figyelembe veszi. Emellett a növényzet állapotának becslése során javítja a NDVI hibáit, amelyeket a talaj hatásai és a szenzorok által érzékelt zajok okoznak. (CHUVIECO – HUETE, 2010) Nagy előnye még, hogy kiválóan alkalmazható mezőgazdasági, erdészeti és ökológiai kutatásokban, valamint a vízforrások és a természeti környezet állapotának felmérésében. Használatával pontosabb és megbízhatóbb adatokat lehet gyűjteni a növényzet állapotáról és az ökoszisztéma egészségéről, ami lehetővé teszi az időben történő intervenciókat és az erőforrások hatékonyabb felhasználását. a 11. ábra pont ezt az indexet mutatja be és annak összehasonlítását egy ortofotóval és egy NDVI képpel. (DOBOS, 2013)



11. ábra: A SAVI összehasonlítása az RGB és NDVI képekkel

Forrás: (<https://www.researchgate.net>)

Az **EVI vagy (Enhanced Vegetation Index)** egy olyan távérzékelési mutató, amelyet a MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) műholdas rendszer által gyűjtött adatok alapján állítanak elő. Az EVI a növényzet fotoszintetikus aktivitásának becslésére szolgál, és nagyobb pontossággal méri a vegetáció zöld biomasszáját, mint más mutatók, mint például a NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Az EVI a következő képlettel számolható ki:

$$EVI = 2.5 \times ((NIR - Red) / (NIR + 6 \times Red - 7.5 \times Blue + 1))$$

Itt a NIR (Near Infrared) a közeli infravörös tartományban található sugárzás, a Red a vörös tartományban található sugárzás, a Blue pedig a kék tartományban található sugárzás. (Internet12)

Az EVI alkalmazása azért előnyös, mivel a mutató képes kiküszöbölni a talaj és egyéb nem vegetációs felületek hatását a mérésekre, így pontosabb becslést nyújt a valódi vegetációs területekről. Ezen kívül az EVI érzékenyebb a nagy sűrűségű vegetációs területek változásaira az NDVI-al szemben. Ezek az adatok lehetővé teszik a növényzet biomassza, a talajnedvesség, a fotoszintetikus aktivitás és más fontos növényi paraméterek hatékonyabb becslését és figyelemmel kísérését. (THENKABAIL – LYON, 2011)

A Leaf Area Index (LAI) egy hasonlóan fontos index, amely a növényi levelek felületének arányát mutatja a növényi területhez képest. A LAI az egyik legfontosabb paraméter a növényi élettér modellezéséhez, és a növényi élettér tervezésének és kezelésének fontos eszköze.

A LAI meghatározásához többféle módszer is létezik. Az egyik leggyakrabban használt módszer az optikai LAI meghatározása, amelynek során az ég felé néző érzékelőkkel vagy kamerákkal mérjük a növényi levelek felületének arányát a növényi területhez képest. Az optikai LAI meghatározásának hátránya, hogy csak a növényi levelek felső részére vonatkozik, és nem veszi figyelembe a levelek alsó részének felületét. (Internet13)

A LAI (levélterület index) matematikai képlete a következő:

$$\text{LAI} = \text{LAD} / S$$

Ebből:

- LAI: a levélterület index
- LAD: a levélzet vastagságának sűrűsége (leaf area density)
- S: az adott területre eső talaj felületének területe

Ezen kívül a meghatározására használnak egyéb módszereket is, mint például a biometria módszert, amely során a növények levélterületét közvetlenül mérjük, vagy a spektrometria módszert, amelynek során az érzékelők a növényi levelek spektrumát vizsgálják.

Segít a növényi élettér modellezéséhez, mivel könnyebb megérteni a növényi levelek elhelyezkedését és a növényi élettér változásait. Nem utolsó sorban a növényi fotoszintézis, a vízhasznosítás modelljeinek kidolgozásához, a talajerózió és az erdőtüzek hatásainak elemzéséhez, valamint az éghajlatváltozás hatásainak előrejelzéséhez is használják. (KENT, 2011)

A meghatározása fontos feladat a növényi kutatásban, valamint a mezőgazdaságban és az erdőgazdálkodásban is, mivel a használata során a növényeket hatékonyabban kezelik és termelékenységet is növeli. A LAI értéke hatással van a növények fotoszintézisére, a vízhasznosítására és az általános növényi egészségre, ezért egy nagyon fontos növényi élettér hatékony kezeléséhez. (DOBOS, 2013)

NDRE: (Normalized Difference Red Edge Index) index-szel. Az NDRE index a közeli infravörös és vörös él sáv kombinációjából számítható. A vörös él egy átmenet a vörös és a közeli infravörös spektrumtartomány között. Az NDRE index a növényzet egészségi állapotának térképezésére, valamint a nitrogénfelvétel jellemzésére alkalmas mérőszám. Tapasztalatok azt mutatják, hogy a növény későbbi növekedési fázisában több és megbízhatóbb információt biztosít az egészségi állapotról, mint az NDVI, amely a megnövekedett biotömegtartalom miatt telítődik, vagyis az NDVI érték túlzottan megnövekedik (valóságban heterogén tábla homogén területként jelenik meg)

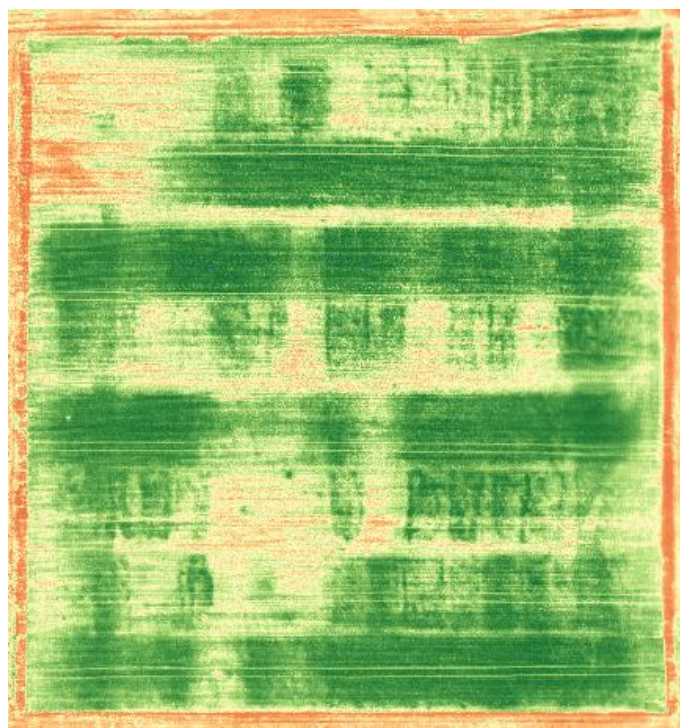
Ha összehasonlítjuk az NDRE-t az NDVI-al akkor, az NDRE használata előnyös lehet az alacsonyabb NDVI értékű növénytakarmányok, például az árpa vagy a búza esetében, mivel az NDRE kiegészíti az NDVI-t azáltal, hogy kifejezi a red edge spektrumokat, amelyeket a fotoszintetikus pigmentek a búzában vagy az árpában erősebben abszorbeálnak. Az NDRE érzékeny a növények stressztényezőire, például a vízhiányra vagy a tápanyaghiányra, így használata segíthet az időben történő beavatkozásban, hogy minimalizálják az ilyen stressztényezők hatásait a termés hozamra. (JORGEA et al. 2019)

Az NDRE számítása hasonló az NDVI-hoz, csak a piros és infravörös érzékelőcsatornák helyett a piros és a red edge érzékelőcsatornákat használjuk. Az NDRE értéke a következő képlettel számítható ki:

$$\text{NDRE} = (\text{NIR} - \text{RED edge}) / (\text{NIR} + \text{RED edge})$$

Ahol a NIR a közel-infravörös és a RED edge a red edge érzékelőcsatornák adatértékei.

Az NDRE használata egyre elterjedtebbé válik a mezőgazdasági alkalmazásokban, különösen a precíziós mezőgazdaságban, amelynek célja az agrárszektor hatékonyságának növelése és az élelmiszer-biztonság javítása. Az NDRE használata lehetővé teszi a növények pontosabb és hatékonyabb kezelését, ami hozzájárulhat a jobb terméshozamokhoz is.(Internet14) Az NDRE képre saját példát mutatok a 12. ábrán.



12. ábra: A 2022.05.02-es felvételezés NDRE képe.

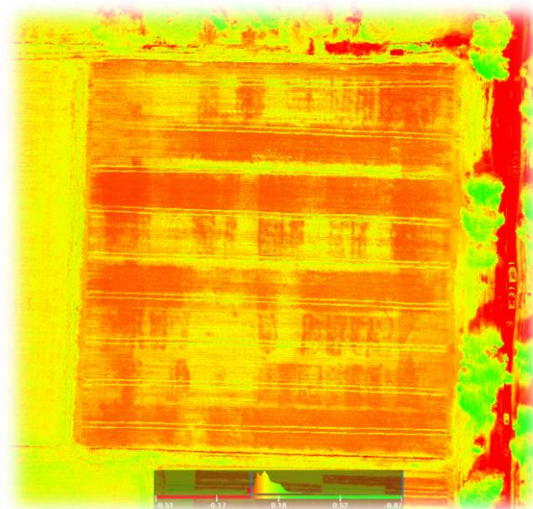
Forrás: (QGIS, saját feldolgozás alapján)

A TGI (Triangular Greenness Index) egy olyan index, amelyet a növényzet „zöldességének” mérésére használnak a távérzékelési adatok alapján. A TGI algoritmusát a két nagyon fontos spektrális sáv, a közepes infra-vörös (MIR) és a közepes sárga (MY) használatával fejlesztették ki. Az MIR sáv érzékeny a növényzet stresszére, míg a MY sáv érzékeny a levelek klorofill-tartalmára. A TGI képletét úgy tervezték, hogy e két spektrális sáv közötti arányt használja a növényzet zöldességének értékelésére. $TGI = (G - 0.39R - 0.61B) / (G + 0.59R + 0.14B)$

Ebből:

- TGI: a triangular greenness index
- G: a zöld érzékelési sávban mért reflektancia
- R: a vörös érzékelési sávban mért reflektancia
- B: a kék érzékelési sávban mért reflektancia

A TGI értékei az -1 és +1 között változnak. Az alacsony értékek a sárgás-zöldes, kevésbé egészséges növényzetet jelentik, míg a magasabb értékek a sötétebb zöld színű, egészséges növényzetet jelentik. (KENT, 2011) Az index nagyon hasznos lehet a mezőgazdasági termelés, az erdőgazdálkodás, a növényteni kutatás és a környezeti vizsgálatok területén. A távérzékelési adatok, mint például a műholdas felvételek, lehetővé teszik a TGI értékeinek széles körű felhasználását a növényzet zöldességének és egészségi állapotának megfigyelésére és értékelésére. Fontos azonban megjegyezni, hogy a TGI csak az egyik módszer a növényzet zöldességének mérésére, és a pontosabb eredmények eléréséhez további adatokat és elemzéseket kell alkalmazni. Az általam vizsgált búzatábla TGI felvétele ami május 2-án készült pedig az 13. ábrán látható. Itt a piros részek a gyengébb alacsonyabb klorofill tartalmú részeket mutatja, a sárgásabb részek pedig a magasabbat. Látszik is a fákon az erősebb zöld szín, hiszen azoknál a legmagasabb a képen látható növények közül a klorofill százalékos aránya. (Internet15)



13. ábra: TGI felvétel a kísérleti búzatábláról.

Forrás: (PIX4DFields, saját feldolgozás alapján)

2.5 AZ ŐSZIBÚZA TERMESZTÉSI SAJÁTOSSÁGAI

2.5.1 ÉGHAJLATIGÉNYE

Az időjárási viszonyok meghatározó szerepet játszanak a búza termesztésében, és gyakran a termésingadozásokat is befolyásolják, különösen akkor, ha a csapadékhiány dominál. Az aszály a búzatermesztés legfőbb termésveszteség okozója, amelyet csak modern mezőgazdasági technikákkal lehet enyhíteni. Azonban a csapadék mennyisége és eloszlása meghatározó a termés mennyiségére és minőségére. Az őszi búza (*Triticum aestivum*) a mérsékelt égövön fejlődik a legjobban, míg délebbre csak a járójellegű vagy tavaszi búzafajtákat lehet termesztetni, a jellemző hőmérsékleti feltételek miatt. Az északi mérsékelt égövön az őszi búza termeszthető, amíg a tartós hideg vagy a hótakaró nem akadályozza a növényzet áttelelését. (PEPÓ – SÁRVÁRI, 2011) A Dunántúl csapadékosabb időjárása mellett a termésingadozások kisebbek, mint az Alföldön, ahol a szárazabb és szélsőségesebb klíma a jellemzőbb. De ezen éghajlati tulajdonságok kedvezőbbek a jobb minőségű termés kialakulásához. A tavaszi búza mindenhol termeszthető, ahol a fajta minimális hőigénye kielégíthető a fagymentes tenyészidőben. Magyarország éghajlata alkalmas a búzatermesztésre az egész ország területén, de nem mindenhol egyformán kedvező. Az enyhe, csapadékos és hosszú ősz kedvez a búza kezdeti fejlődésének, mert így a búza jól megerősödve kerül a télbe. A száraz ősz nemcsak a búza fejlődésére kedvezőtlen, hanem megnehezíti a talajelőkészítést és erősen késlelteti a kelést is. (BORSOS et al. 1994)

2.5.2 VETÉSVÁLTÁSA

A búza nagyon érzékeny az előveteményekre, mivel azok eltérő módon és mértékben szárítják ki a talajt. Ezért a búza elővetemény igénye olyan növények, amelyek korán lekerülnek, jó erőben vannak, kedvező vízkészlettel hagyják vissza a talajt és kellően gyommentesek is. Vannak jó, közepes és rossz elővetemények attól függően, hogy az elővetemények milyen mértékben képesek a búza igényeit kielégíteni. Jó elővetemények a korán lekerülő növények (repce, dohány, mák, korai burgonya, rost- és olajlen stb.), a hüvelyes növények, az időben feltört pillangós szálaskarmánynövények (vöröshere, lucerna stb., és a füves herék), az őszi- és tavaszi keveréktakarmányok. Közepes előveteménynek mondható például a főnövényként vetett kender, silókukorica és csalamádé, később feltört pillangósok a korán letakarított kapások (pl. a napraforgó, burgonya, valamint a korán érő kukoricák, kender, gabonafélék (búza, árpa). A rossz elővetemények közé tartozik minden későn lekerülő növény (pl. cukorrépa, a később érő kukoricák, takarmánycirok stb.). A búza nem tartozik azon növények közé, amelyeket monokultúrában lehet termesztetni, vagyis ha két évnél tovább önmaga után termesztenék, akkor jelentős termés-csökkenés következne be. Ezért fontos, hogy a búzát önmaga után ne termesszék ugyanazon a területen. Ha

pedig ez nem lehetséges akkor fajtaváltásra van szükség, a jelentős növényvédelmi problémák elkerülése érdekében. (RAPAICS, 1934)

2.5.3 TÁPANYAGIGÉNYE

A búza fajlagosan vett tápanyagigénye kimondja, hogy 100 kg szem és az ahhoz tartozó szalmaterméshez 2,7 kg N, 1,1 kg P₂O₅ és 1,8 kg K₂O, vagyis 5,6 kg vegyes hatóanyag (NPK) szükséges. Közelítőleg ezeknek az aránya 1:0,4:0,7 (N:P:K). Ennek eredményeként könnyen mondhatjuk, hogy az őszi búza a tápanyagigényes növények közé tartozik. Az optimális és megbízható termés elérése érdekében fontos, hogy a növények könnyen hozzájussanak a felvehető tápanyagokhoz. A megfelelő tápanyag-ellátottság kellő trágyázással, jellemzően műtrágyázással érhető el. A búza tápanyagszükségletét a szem és az ehhez kapcsolódó melléktermékek tápanyagtartalma alapján készítik el. (RAPAICS, 1934)

Nitrogén. A kutatások és a gyakorlati tapasztalatok egyaránt bizonyítják, hogy a nitrogén a búza egyik legfontosabb tápanyaga, mivel nemcsak növeli a termés mennyiségét, hanem javítja a búza sütőipari minőségét is. Ennek következtében az optimális nitrogénellátás kritikus jelentőséggel bír egyaránt a búzatermés minőségére és mennyiségére is. Fontos azonban ügyelni a túlzott és egyoldalú tápanyag-utánpótlás elkerülésére, mivel az a növények dőlését, a gombás megbetegedések (pl. lisztharmat) kialakulását és a növények tenyészidejének meghosszabbodását okozhatja. A nitrogénellátás továbbá segíti a foszfor és a kálium hatékony felszívódását is, és csökkentheti az előveteményekből eredő különbségeket. (BICSKEI, 2010)

Foszfor. A búza termesztése során a foszfor jelentős szerepet játszik, mivel rövidíti a tenyészidőt és növeli a szalma szilárdságát a nitrogénnel ellentétben. Az optimális mennyiségű és arányú foszfor műtrágyázással nemcsak a termés növekedése javítható, hanem csökkenthető a megdőlés kockázata, és egyenletesebbé tehető a növény fejlődése. Azonban a foszfor hatása összetettebb, mint a nitrogéné, és csak akkor fejt ki hatását, ha a talajban bőségesen megtalálható nitrogén és kálium és csak foszforban szegény. A foszfor elősegíti a gyökérfejlődést és télállóságot, valamint fontos szerepet játszik a fehérjék kialakulásában, különösen a szemképződés időszakában. (RAPAICS, 1934)

Kálium. Azokon a talajokon, amelyek jobbak a búzatermesztés szempontjából, vagy kötöttebbek, általában gazdag a kálium, de felvehető formában a növények számára azonban ez csak kis részben áll rendelkezésre. Különösen akkor fontos a megfelelő tápanyag-ellátás, amikor fokozott foszfor és nitrogén műtrágyák alkalmazása történik. Ezért is fontos a búza megfelelő mennyiségű és arányú kálium utánpótlása. Ha ez nem történik meg, a növényen hiánytünetek lépnek fel, amelyek rendszerint szemmel láthatóak. Ilyen a levelek szélének sárgulása, barnulása és később elhalása. (BICSKEI, 2010)

3 ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A KÍSÉRLET CÉLKITŰZÉSEI

A kísérletem fontos célkitűzései közé tartozik az őszi búzáról készült felvételek pontos visszajelzésének szemléltetése a drónfelvételek alapján. A szakdolgozat egyik nagy kérdése pedig az, hogy a precíziós eszközök használata és azok helye életszerű-e a mezőgazdasági termelésben. A kísérletem részletessége abban rejlik, hogy tartozik a felvételek mellé nitrogén %-os arány, ami növénymintából származik. Ezen felül végeztem talajmintákat is. Ezt kiegészítik még a betakarítás során végzett termésátlagok is, ami tökéletes összehasonlítást biztosít a vegetációs indexek értékeivel. Összességében a minták és az elkészült drónfelvételek reprezentatív összehasonlítása és megjelenítése a célom. Ezen multispektrális felvételeket a legjobb körülmények között próbáltuk elkészíteni, hogy később a kiértékelések során a legmegbízhatóbb értékekkel, képekkel rendelkezünk. A megjelenített problémák lehetnek egy esetleges vadkár, taposás, nem megfelelő tápanyagellátás vagy különböző biotikus, abiotikus tényezők jelei is. Ezen adatok fontossága azért is olyan nagy, mert ha megfelelőek és releváns adatokat tartalmaznak, akkor egy adott tábla hiányosságait, kedvezőtlen paramétereit fel tudjuk térképezni. Másrészt pedig ezeket a negatív tulajdonságokat könnyedén az előnyünkre fordíthatjuk, ha a kellő válaszreakciókat jó időben és a megfelelő lépéseket tesszük meg.

A kísérletet két alkalommal végeztük el. Az egyik repülés 2022.05.02-án a másik pedig 2022.05.31-én történt. A repülések elengedhetetlen követelménye volt a drónpilótáknak készített repülési engedély. Ezt a dronespace.at oldalon tettem meg ami az Austro Control által biztosított. Az uniós jogszabályok szerint a nemzetközileg megszerzett ilyen típusú engedélyeket itthon is elfogadják, ezért ez egy tökéletes és díjmentes lehetőség volt. Ez az A1 és A3-as kategóriára biztosít repülési engedélyt. Online teszt révén, előtte külön egy a témát részletesen átfogó anyagot kellett elsajátítani. Itt a drónokkal való repülés előnyeiről, veszélyeiről, vagy éppen a helyzetéről tudhattam meg mindent. A számos hasznos és jövőbe tekintő előnye mellett számos veszélye is van a drónokkal való repülésnek. Pont ezek miatt szükséges minden repülés előtt légtérhasználati engedélyt kérni és kötelező biztosítással rendelkezni. Regisztrálni a központi rendszerbe pedig minden olyan drónt be kell amelyik vagy meghaladja a 120 grammot, vagy valamilyen adatrögzítője van, vagy a pilótától messzebbre repül mint 100 méter. Az általam megszerzett osztrák típusú engedély 2026 végéig érvényes. Ez az engedély a 14. ábrán figyelhető meg.

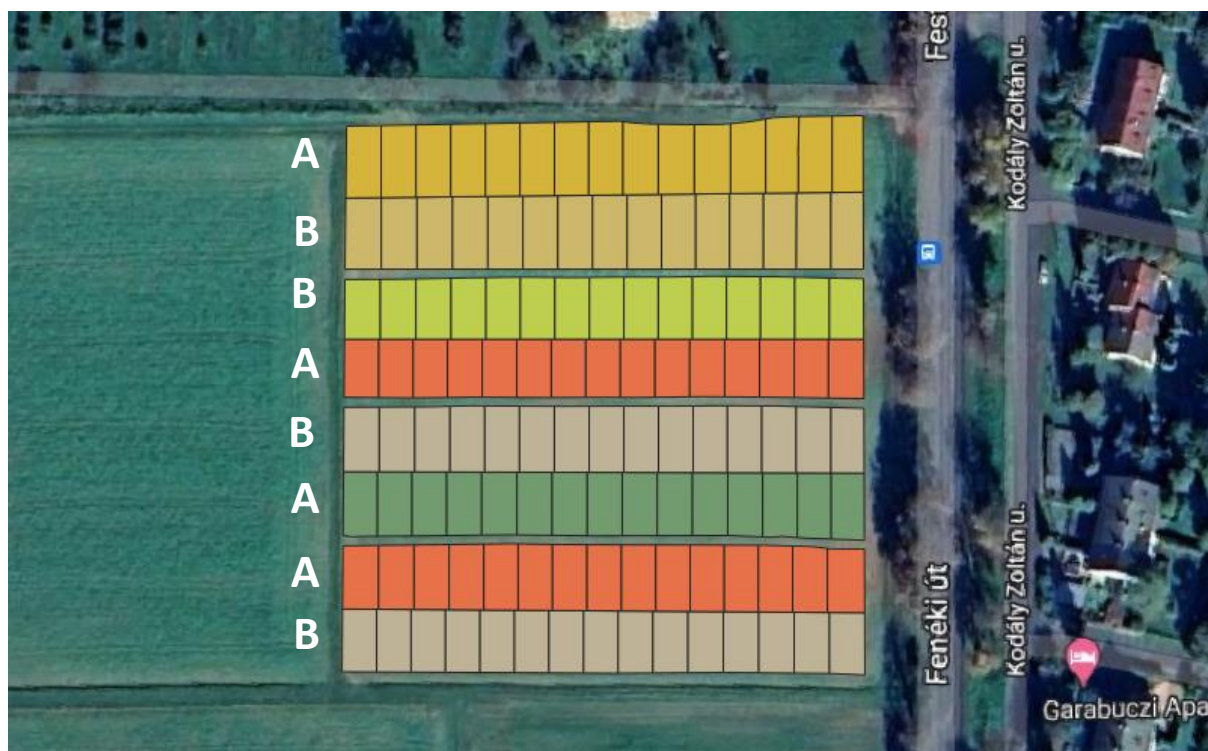


14. ábra: Austro Control A1/A3-as kategóriájú drónpilóta engedélyem

Forrás: (Saját képernyőfotó)

3.2 A MINTÁZÁSOK FOLYAMATA

A felvételek mellett növény és talajmintázásokat is végeztem a területen. Ezek lebonyolításához segítséget is kaptam, Liska Dávid és Deák Bence személyében. Az első feladat az útvonal megtervezése és a mintázás elvégzéséhez szükséges eszközök összegyűjtése volt. Ezt követően a táblához érkeztünk. Itt előre megírt címkével ellátott kötözővel haladtunk. A tábla észak-keleti sarkából indulva az észak-nyugati sarkához haladtunk. A teljes táv 105 és 115 méter között alakult. Egy parcellát A és B forgókra különítettük, ahonnan forgónként 15 darab mintát szedtünk. A minták szedésének határait a tábla szélein leütött karók segítségével tudtuk a legpontosabban végrehajtani. A minták nagyságának meghatározása egy 40 centiméteres fa határolóval történt. Gyomosodás nem jellemezte a táblát, így a haladás a sorok között egyszerű volt, ezen kívül pedig nem volt hatással az NDVI képekre sem. A búza földfelszín feletti részének legnagyobb részét próbáltuk begyűjteni, így összesen a 4 parcellát nézve 120 darab minta készült. A tábla felosztását a 15. ábrán mutatom be.



15. ábra: A búzatábla felosztása 120 zónára és annak A-B fordulói

Forrás: (Saját képernyőfotó)

3.3 A MINTÁK FELDOLGOZÁSA

Ezeket a mintázott növényeket utána bevittük az egyetem területén található feldolgozó laborba és nedves állapotban lemértük azokat. A 16. ábrán már az üvegház alatt voltak, ahol pár hét alatt a nyári melegben könnyedén megszáradtak. Egy újbóli alkalommal amikor már teljesen kiszáradtak, akkor újból le is tudtam őket mérni.



16. ábra: A növényminták szárítás alatt

Forrás: (Saját kép)

A növényminták szárazon való ledarálásához egy vágódarálót használtam. Ez a 17. ábrán látható. Ebbe felülről kellett belehelyezni a növénymintákat. A búza hosszú szára miatt elég sűrűn használnom kellett a gép oldalá lévő kart amivel a gép garat részébe tudtam terelni azt. A bal oldalt található oszlop alakú résszel pedig teljesen a daráló késeihez lehetett tömni a növényi részeket. Ezután a bal alsó részéhez egy duncos üveget raktam. Ezt követően bekapcsoltam a porszívót ami vákumot képezve a duncos üvegbe keringette a ledarált részeket.



17. ábra: RETSCH SM 300-as típusú vágódaráló

Forrás: (Saját kép)

A mintákat egy külön edénybe gyűjtöttem a darálás és a zacskózás után, a 18. ábrán látható módon. Később így kerültek a laborba, ahol a növényi nitrogén vizsgálatot végezték el rajtuk.



18. ábra: A növényminták gyűjtése a darálás után

Forrás: (Saját kép)

A növényi részek darálása után a talajminták feldolgozása következett. Ezeket kézzel szedtük, szintén egyedileg címkézett zacskókba. Ezt követte a szárításuk, ami hasonló edényekben történt mint a növényminták gyűjtése. Ezekbe kiöntve teljesen megszáradtak. Utána egy rostálási folyamat vette kezdetét ahol különböző frakciókra különítettem a mintákat. Egy kisebb zacskóba tettem az 1 és 2mm átmérő közé eső részeket. A 2mm és az 5mm közöttieket pedig egy nagyobbba. A rostáló berendezés pedig a 19. ábrán található.



19. ábra: A talajminták rostálása

Forrás: (Saját kép)

A rostált minták 5mm-es típusa a következő művelethez nem volt szükséges, így azt külön tettem és az 1-2mm-es frakció morzsolása következett. A gép beállítása volt az első lépés. A morzsoló gép működésének időtartamát és a megfelelő amplitúdót kellett jól konfigurálni. Ennek a működése is hasonló volt a morzsoló gépéhez, ahol egy rezgő tálca működtette magát a folyamatot. A különbség ezzel szemben az volt, hogy itt egy zárt rendszert működtettem. A morzsolást egy nehéz acél golyó végezte ami a megfelelő rezgés során finomra, porította azt. Ezt a folyamatot a 20. ábrán szemléltetem.



20. ábra: A golyós talajporító szétszerelt állapotban

Forrás: (Saját kép)

A talajminta porítása fontos lépés a laborvizsgálat előtt, mert ez biztosítja a minta homogenitását. A homogén minta jelentése az, hogy az összes rész a mintában azonos méretű részecskékből áll, és az ásványi anyagok egyenletesen oszlanak el a mintában.

A porítás a talajrészecskék nagyságát csökkenti, és lehetővé teszi a minta homogenizálását, ami javítja az elemzés pontosságát. A talajmintában lévő szerves anyagok, ásványi anyagok és mikroorganizmusok eltérő méretű részecskékből állnak, amelyek eltérően viselkednek a laboratóriumi elemzéseknél. Tehát a mintát nem porítottam volna, akkor a kisebb részecskék felhalmozódtak volna a minta alján, és nem vettek volna részt a vizsgálatban, ami torzíthatja is az eredményeket.

3.4 FELVÉTELEZÉSEK

3.4.1 AZ ELSŐ FELVÉTELEZÉS

Az első repülést, felvételezést 2022.05.02-án végeztük el, ami egy őszi búzatábla volt. Ez a Georgikon kertészet és a Fenéki út által közbezárt tábla volt. Az időjárási körülmények kedvezőek voltak az aznapi repüléshez. Szélcsend, tiszta égbolt és megfelelő fényviszonyok álltak rendelkezésre az egész repülés során. Magunknál tartottuk a szükséges engedélyeket, ezek a drón biztosítását és a légtérengedélyt jelentette. Ezt egy esetleges ellenőrzés miatt mindig meg kell tenni. A felvételezést egy DJI Matrice 210-es V2.0-ás típusú drónnal és egy hozzá tartozó Micasense MX RedEdge DJI Skyport multispektrális felvételezésre tökéletesen alkalmas szenzorral végeztük. A drónt saját gyári dobozában szállítottuk, ebben a drón, a forgószárnyai (amiből volt csere pár is), két pár akkumlátor az esetleges hosszabb munkavégzés miatt, a távirányítója, a carbon lábak voltak megtalálhatóak. Felhasználóbarát és könnyű volt mind a használata mind az összeszerelése. Mindenhol a megfelelő jelzéseket figyeltem így szinte el sem lehetett téveszteni, hogy melyik forgószárny melyik motorra passzol, vagy éppen melyik akkumlátor melyik akkuval volt párban. A Micasense szenzort is utólag kellett felhelyezni aminek külön helye volt a drón elején. Ezt egy bajonet záras megoldáshoz hasonlóan kellett feltenni. A távirányító egy érintőpaneles kivitel volt, így az üzembehelyezés gördülékeny és gyors volt. A felszállást a mellette lévő tábláról végeztük el. A 21. ábrán pedig a felszállás előtti pillanatok láthatóak.



21.ábra: Repce tábláról való felszállás

Forrás: (Saját fotó)

Első körben kijelöltük a lerepülendő területet, beállítottuk a repülési magasságot, az átfedési arányokat és a másodpercenként készíteni kívánt fotók gyakoriságát. A lerepült útvonal pontjai a 22. ábrán látszódnak. Egyedül a WIFI hálózat és a GPS jel működött az elején kevésbé jól de idővel ez is helyrejött és utána pontosan dolgozott. A drónon található még egy fény szenzor is amivel a képeket folyamatosan korrigálta az adott fényviszonyokhoz, de ezt a repülés előtt kalibrálni kell egy QR kódos lap beolvasásával. Ha ezt megteesszük akkor lesz tökéletes a korrekció a képek és a valós fényviszonyok között. A drón 180 méter magasságban repülve 4425 darab képet készített. A képek száma magas de ennek a számát az is növelte, hogy magas volt az átfedés értéke is. Ezt azért eszközöltük, így hogy a felvételezés minősége a legtokéletesebb legyen és esetlegesen, ne maradjon olyan rész ami nem kerülne bele a felvételezendő területbe. A felvételezés majdnem 20 percet vett igénybe és ez nagyjából 65 százalék töltöttségébe került a drónnak. Ahogy a 22. ábrán is látszik A drón először az észak-nyugati sarokba vonult ahonnan megkezdte útját déli irányba. Itt folyamatosan a fordulók mentén felváltva pedig lerepülte az útját. Az utolsó felvételeket az észak-keleti sarokban fejezte be és innen pedig visszarepült a kiindulási helyére. A felvételezés vége felé látszott, hogy később előfordulhat kisebb eső, de szerencsére az a fél miliméteres eső a délutáni órákban esett így ez nem akadályozta a felvételezést. Miután problémamentesen sikerült elvégezni a felvételezést, következett a drón szétszerelése és a fájlok kinyerése az SD kártyáról.

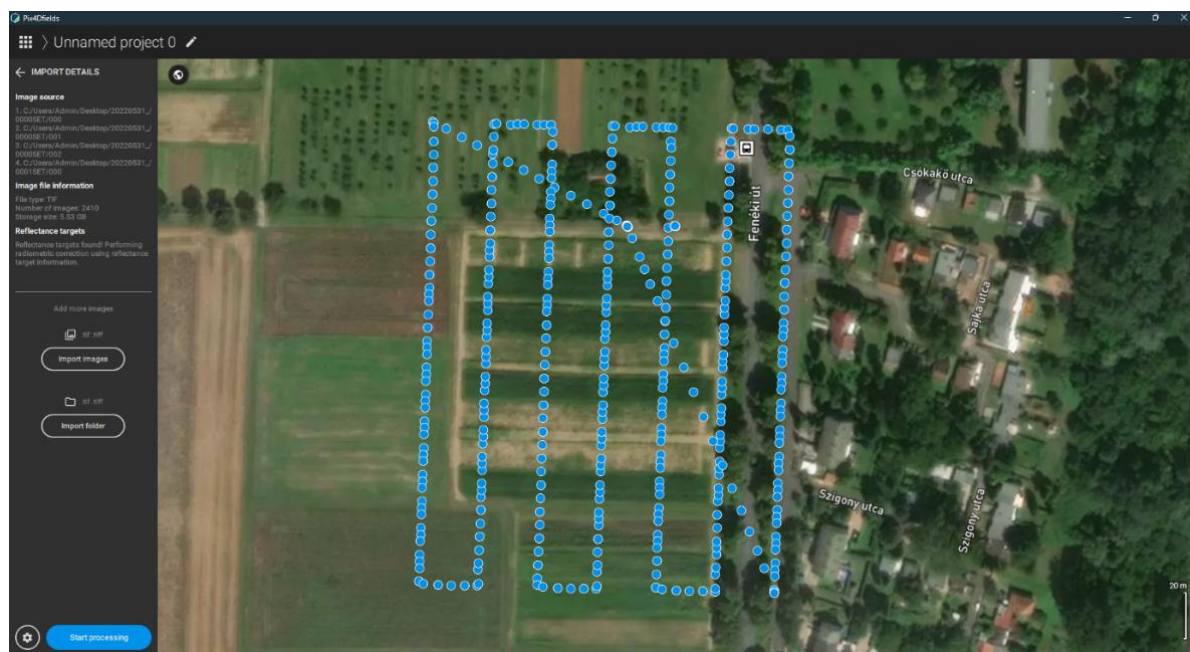


22. ábra: 2022.05.01-én lerepült búzatábla drón útvonala

Forrás: (Pix4DFields, saját feldolgozás alapján)

3.4.2 A MÁSODIK FELVÉTELEZÉS

A második kísérleti repülést 2022.05.31.-én végeztük. Az előző repüléshez hasonlóan kedvező éghajlati tényezők álltak rendelkezésünkre. Gyenge szél lengedezett de ez nem volt annyira erős, hogy a felvételezést zavarta volna. A drónt most már egyedül üzemeltetem be, miközben a tanár úr előkészítette a QR kódos lapot a fényszenzornak. A kötelező engedélyek most is nálunk voltak, ezek ugye a kötelező biztosítás, a regisztrációs papír és ez előre lefoglalt légtérnek az engedélyét jelentette. A drón összeszerelése után, most már magam állítottam be a szükséges paramétereket a tanár úr segítségével. A drónon található bekapcsológomb hosszú lenyomása után fényjelzést adva készen is állt a repülés megkezdéséhez. A GPS jel ezúttal is lassan érkezett meg. Egyszeri teljes rendszer újraindítást is eszközölnünk kellett. Másodjára sikerült létrehozni a kapcsolatot. Ezt követően kijelöltem a repülési területet, ami szintén nagyobb ráhagyással történt a biztos képminőség érdekében. A drón által lerepült pontokat a 23. ábra szemlélteti. A kezdési pont itt szintén az észak-nyugati sarok volt, de a drón most a dél-keleti sarokban fejezte a képek készítését így üresjáratban érkezett vissza a leszállási területre. Szerencsére hibamentesen történt ez a felvételezés is. A drónt kikapcsoltam szétszereltem és visszahelyeztem a dobozába. Ezután pedig kimentettük a felvételeket a drón SD kártyájáról.



23. ábra: 2022.05.31-én lerepült terület útvonala

Forrás: (Saját képernyőfotó)

3.4.3 FELVÉTELEK KIÉRTÉKELÉSE

A feldolgozáshoz választásom a PIX4D Fields 2.3.1 verziószámú programra esett. Ez egy külön az agráriumban végzett drónos felvételek feldolgozására készült. Ezen kívül különböző felhasználási területekre is vannak programjaik amit a 24. ábra szemléltet is. A program biztosít egy ingyenes 15 napos próbaidőszakot, ami nagyon jól jött számomra, hiszen így mindkettő felvételezést egyszerűen el tudtam készíteni. A program nagyon könnyen kezelhető és felhasználóbarát. Szinte pár kattintással sikerült beimportálnom a képeket. Ezután pár beállítást eszközölni kellett. Ilyen például a felhőzet, a renderelt képek minősége. Én a gyorsabb és kevésbé részletgazdag folyamatot választottam, de így is hihetetlen jó vegetációs indexeket készített. Az egyetlen hiányossága az ingyenes próbaidőnek, hogy előfizetés nélkül nem lehet exportálni kész képet. Ezért egy másik programot is használnom kellett, ami a QGIS 3.30.1 volt. Ebben a programban kontúr shape fileokat és kivágatokat is el lehet készíteni a Sentinel 2-es műhold képek alapján. Ha pedig egy ilyen kivágatot elkészítünk, akkor az SCP nevű speciális modullal el lehet készíteni a különböző vegetációs indexeket. Nincs másra szükség csak az index képletét tudni és ismerni, hogy melyik sáv melyik amit be kell illeszteni a képletben belül. Nálam ilyenre nem volt szükség mert a PIX4D Fields 2.3.1 által generált fiek tif kiterjesztésűek voltak. Ezek már kész idexek, csak a színezést kellett elvégezni. Az indexképek színezése után a többi fontos adat feldolgozása következett. Ezután a QGIS 3.30.1-es programban a 120 zónából készítettem egy NDVI érték átlagolást minden egyes zónára. Ezt összehasonlítottam a természetlag értékeivel az exportált adatok alapján. Ezt Excel-be importáltam és ebből pontdiagrammot készítettem. Trendvonalat állítottam és erre pedig az R^2 értékét. Az NDVI és a színezett zónák alapján magasabb összefüggésre számítottam, de végül nem jutottam eredményre. A május végi érték ami magasabbnak mondható az első felvétel R^2 értékével szemben, így is csak 0,1 volt.



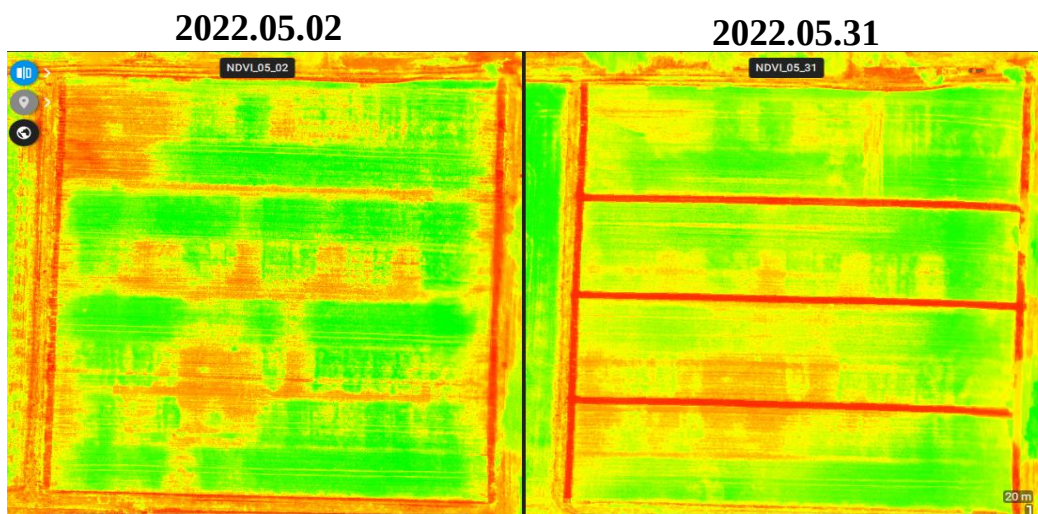
24. ábra: A PiX4D különböző iparágakra készült programjai

Forrás: (<https://www.pix4d.com>)

4 A MINTÁZÁSOK EREDMÉNYEI

4.1 A KÉT REPÜLÉS ÖSSZEHAISONLÍTÁSA

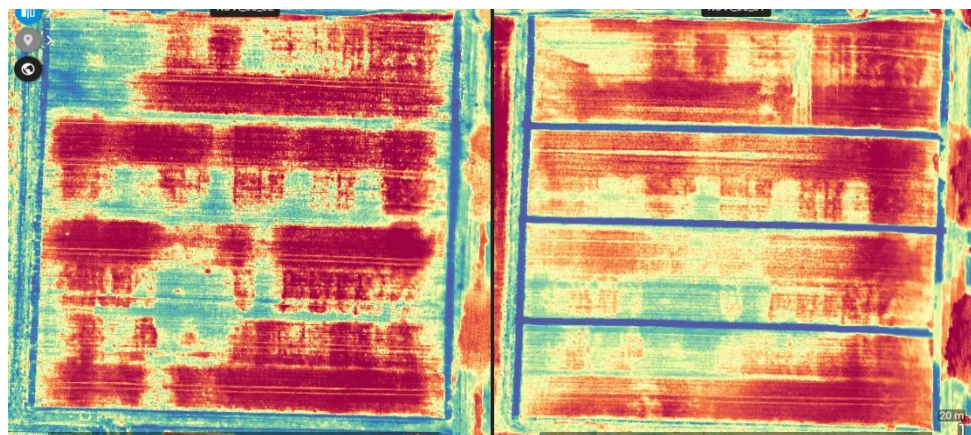
Az első kísérleti repülés, ahogy már említettem május elején lett lerepülve, a másik pedig május végén. A búza előrehaladottabb vegetációs állapotban volt így egy hónap elteltével. Alacsonyabb klorfilltartalom de sűrűbb, dúsabb, és magasabb állomány is jellemezte. A 2. felvételezés időpontjára a blokkok között a gyomokat talajmaróval eltűntették. Az NDVI képeken tökéletesen is látszik a szabad talajfelszín. A vörös szín ezen nagyon alacsony reflektancia hányadosokat jelenti. A két NDVI kép a 25. ábrán látható.



25. ábra: A két felvételezés összehasonlítása

Forrás: (PIX4D Fields, saját feldolgozás alapján)

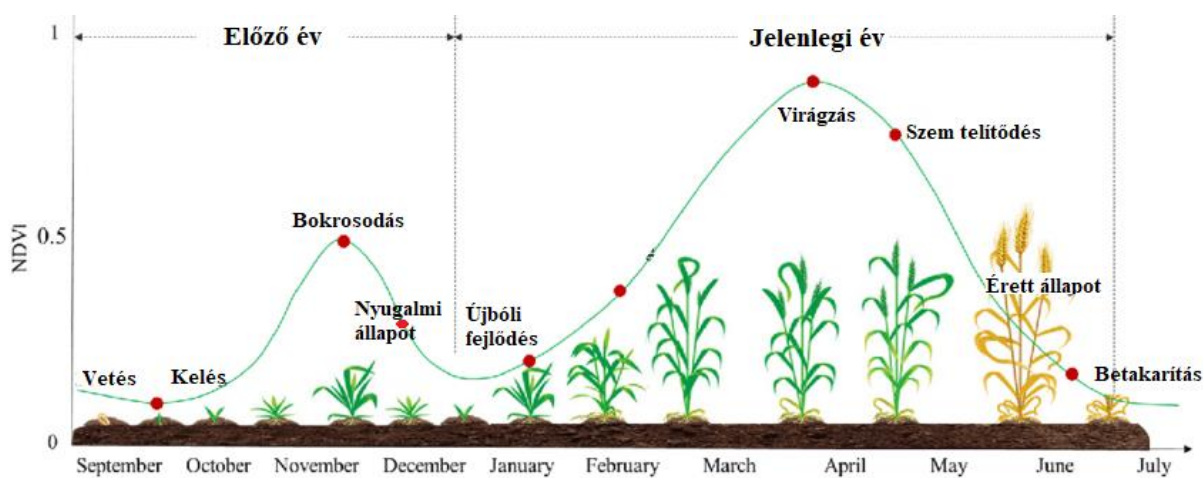
A 26. ábra képe egy turbo színezéssel készült. Itt szembetűnő különbség, hogy a vegetáció lemaradottabb részei részlegesen de utolérték a többi már fejlettebb részeket. Nem utolsó sorban az első kép erős színe kissé halványodott. Ez a búza fejlődési szakasza, vagyis az alacsonyabb zöld színanyag miatt jelentkezett, mert ekkor kezdett lassan acélosodni a búza.



26. ábra: A két kísérlet NDVI turbo nevű színezésű összehasonlítása

Forrás: (PIX4D Fields, saját feldolgozás alapján)

Ezt a folyamatot megelőző állapotot és annak lényeges változásait a 27. ábra mutatja be. Az ábra is szemlélteti, hogy a vetés és a kelés során a szabad talajfelszínhez közeli értékek a mérvadóak. Csak később a csírázás során kezd az NDVI értéke növekedni, ami egészen a november végéig tart. Itt a hidegebb időjárásnak köszönhetően belassulnak vegetációs folyamatok és a növény veszít a biomasszájából. Ez tavasszal a felmelegedés hatására újból normalizálódik, az NDVI értékek pedig szintén emelkedni kezdenek. Ez a tendencia egészen addig a pontig tart ameddig az érési folyamatok el nem indulnak. Ezt az érettségi állapotba való átmeneti időszakot általában az éretlen állapottól a teljes érettségig terjedő időszaknak tekintjük. Ebben az időszakban a búza tovább fejlődik, és megérlelődik a termése, de még nem éri el a teljes érettséget, amely a betakarításhoz szükséges. Ezt az átmeneti időszakot jellemzi az, hogy a növények levélzete sárgulni kezd, a kalászkok pedig egyre jobban kiteljesednek és megduzzadnak. Ilyenkor a búza keménysége és fehérjetartalma is növekszik, és a gabonaszemek fokozatosan átveszik a jellegzetes érettségi színt, ami általában aranysárga. Ebből adódóan ahogy a turbo színezésen is látszott, a magas NDVI értékek a kevésbé kiugró, egyre csökkenő tendenciájú értékek felé haladtak. A lehetséges magyarázat nagy valószínűséggel ez lehetett, hogy a 2. felvételezés NDVI képein már alacsonyabb értékeket mértünk.

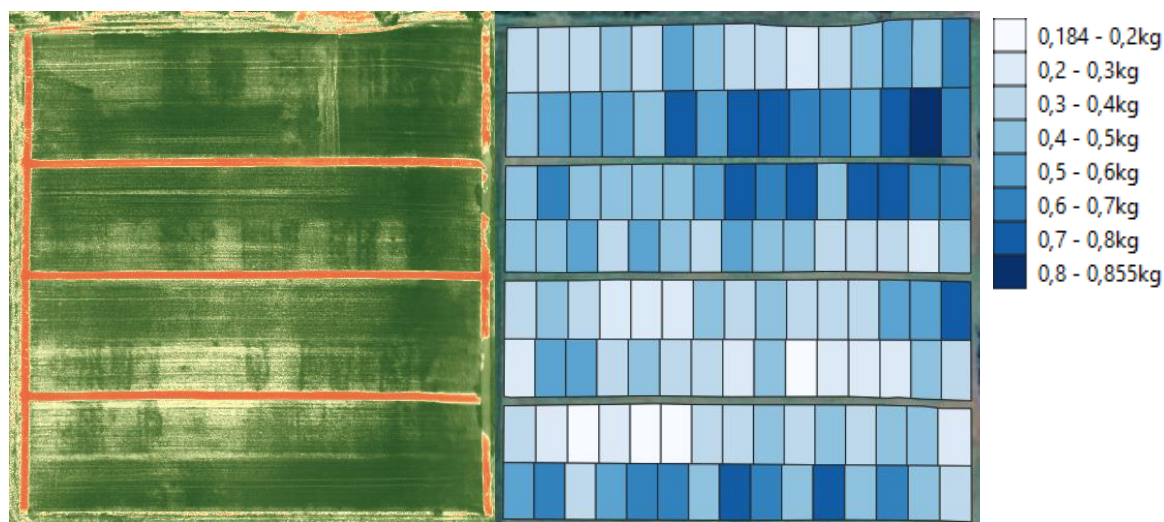


27. ábra: A búza fejlődési szakaszai és a hozzá tartozó NDVI értékek változása

Forrás: (<https://www.researchgate.net/>, saját feldolgozás alapján)

4.2 A PÁROLGÁS ÉS AZ NDVI KÖZTI VIZSGÁLAT

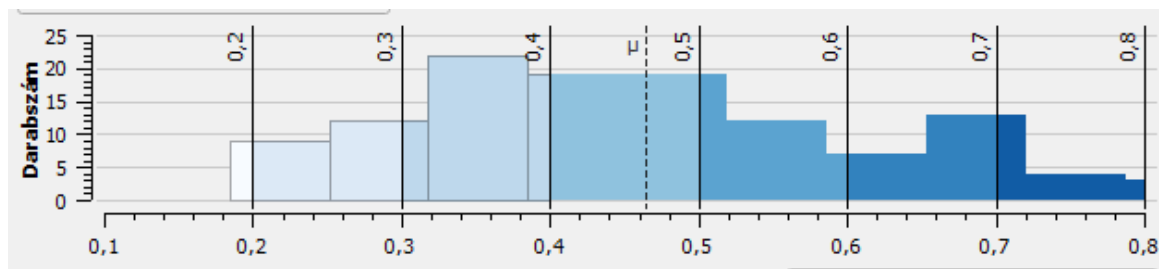
A következő elemzés ami a 28.ábrán látható az összehasonlítás a Május 31.-ei felvétel NDVI képe és a nedves, később száraz állapotban lemerített tömegek különbségével. Szemléltetés szempontjából a legalkalmasabb kép az alábbi volt, mert ezen volt legelőrehaladottabb állapotban a búza. A képen tisztán látszik, hogy ahol az NDVI felvétel erőteljesebb zöld színt mutat, vagyis a dús vegetációs értékek voltak, ott voltak a legnagyobb párolgási hányadosok is. A jobb oldali nedvességi képen, fehér színű zónák az alacsony mértékű párolgást szemléltetik, az egyre erőteljesebb kék színek pedig a magasabb értékeket jelölik, amiket a kép mellett illusztráltam.



28.ábra: A május 31.-ei NDVI kép és a párolgás mértéke összehasonlítva

Forrás: (QGIS, saját feldolgozás alapján)

A térbeli szemléltetés mellett a hisztogram pedig a 120 minta eloszlását vizualizálja a 29. ábrán. Látható, hogy a legmagasabb darabszámú leadott nedvességet tartalmazó minták a 0,350kg-nál helyezkednek el. Az átlag ehhez viszonyítva pedig 0,463. Ezt az értéket leginkább az alacsonyabb számú de magas párolgási hányadossal rendelkező minták okozták.

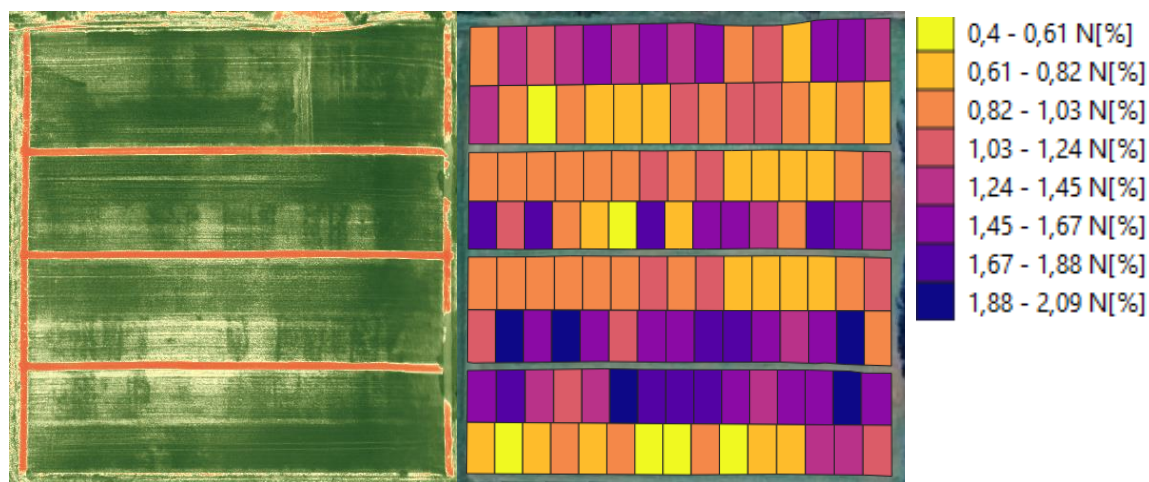


29.ábra: Hisztogram alapú eloszlása az elpárolgott nedvességnek

Forrás: (QGIS, saját feldolgozás alapján)

4.3 NÖVÉNYI NITROGÉN VIZSGÁLAT ÉS ANNAK EREDMÉNYEI

A növényi nitrogén vizsgálat eredménye a kiértékelés során először meglepetést okozott. Arra az eredményre számítottam, hogy ahol magas NDVI értékek voltak az NDVI képen ott magas lesz a nitrogén% aránya. Ehhez képest a nitrogén csak pár helyen volt magas az NDVI képhez viszonyítva. A magas NDVI értékekkel rendelkező részek rendszerint alacsony nitrogén%-al rendelkeztek, miközben a gyér és visszamaradottabb részekben pedig magas. A 30. ábrán prezentáltam a május 31.-ei és a növényi nitrogén% viszonyát.

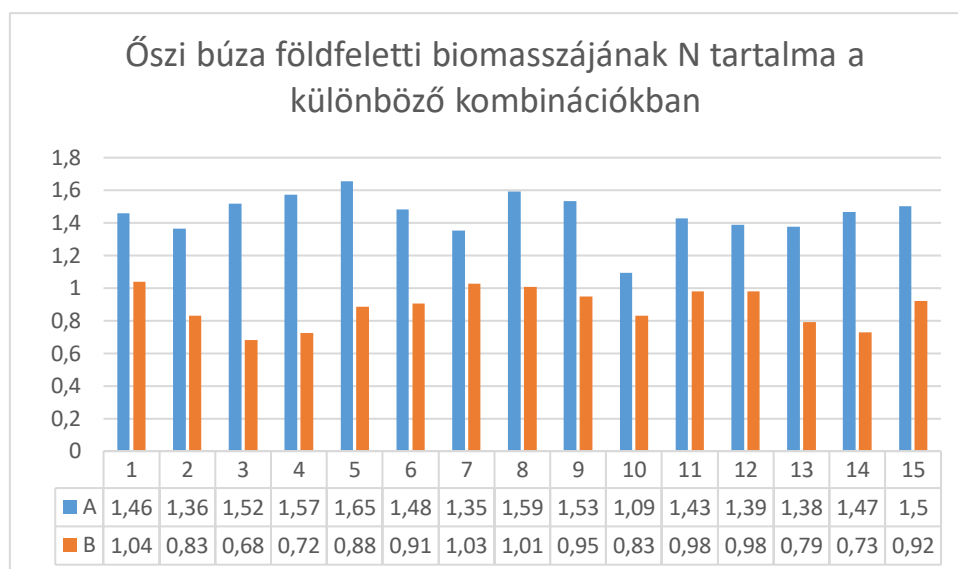


30. ábra: NDVI felvétel és a nitrogén% összehasonlítása

Forrás: (QGIS, saját feldolgozás alapján)

Ennek a logikus magyarázata abban keresendő, hogy a magas NDVI érték általában a növényi biomassza mennyiségével van összefüggésben. A N% értékek a vetésforgók különböző változatai között tértek el egymástól szignifikánsan. Az egyes kombinációk között nem volt szignifikáns a különbség (vetésforgó átlagok: 0,886-1,453 %).

A szignifikáns eredményeket amelyeket vetésforgók használata okozott, az NDVI képeken is szembetűnő. A forgók közti különbséget a 31. ábra szemlélteti. Az értékek eltérése a forgók között átlagosan 56% volt. Olyan részek is előfordultak, ahol csak 26% volt az eltérés. Ezzel szemben a legnagyobb különbségekkel rendelkező parcelláknál, ez az érték 80% os eltérést is könnyedén megugratta.



31. ábra: Az A és B forgó nitrogén tartalmának összehasonlítása

Forrás: (Excel, saját feldolgozás alapján)

A nitrogéntartalom vetésforgonkénti különbsége nagy mértékben hatással van a növények biomasszájára is. Az összefüggés a nitrogén és a növényi biomassza között az, hogy a növények számára a nitrogén a növekedésükhöz és a biomassza termeléséhez szükséges. A megfelelő mennyiségű nitrogén hatással van a növények növekedésére, a levelek színére és méretére, valamint a termés mennyiségére és minőségére is. A vetésforgonkénti biomassza különbség a 32. ábrán látható.

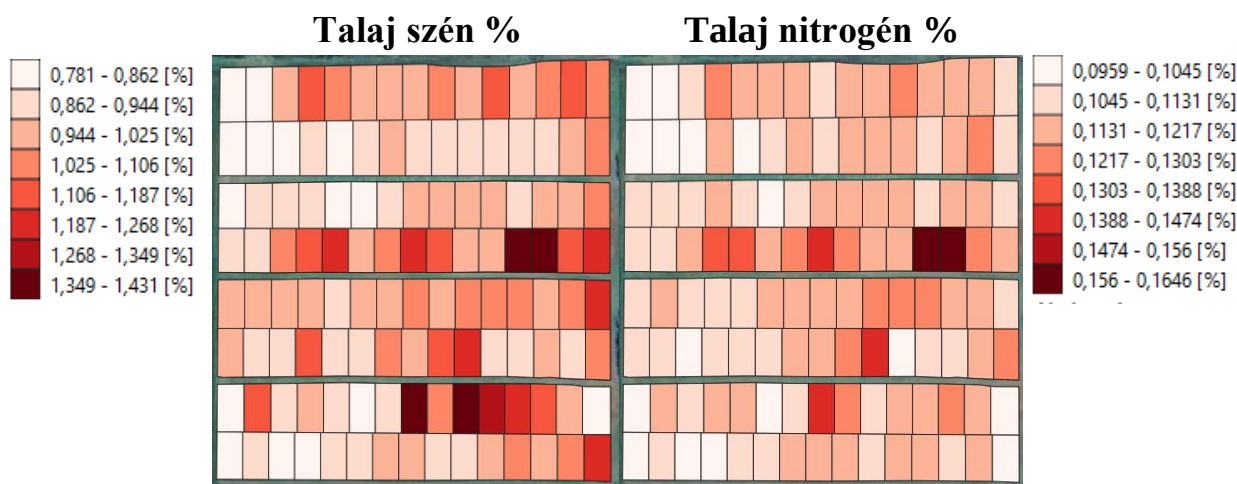


32. ábra: Az A és B forgó biomasszájának az összehasonlítása

Forrás: (Excel, saját feldolgozás alapján)

4.4 A TALAJ NITROGÉN ÉS SZÉN VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI

A talaj nitrogén és szén kísérlet kiértékelése szintén meglepő eredményekett hozott. Ahogy a 33. ábrán is látható a szén és a nitrogén % aránya nem mindenhol, de lényeges mértékben azonos arányokat szemléltet. A fehér zónák alacsony szén illetve nitrogén arányt jelentenek, a sötétebb pirosas részek pedig magasabb arányokat.



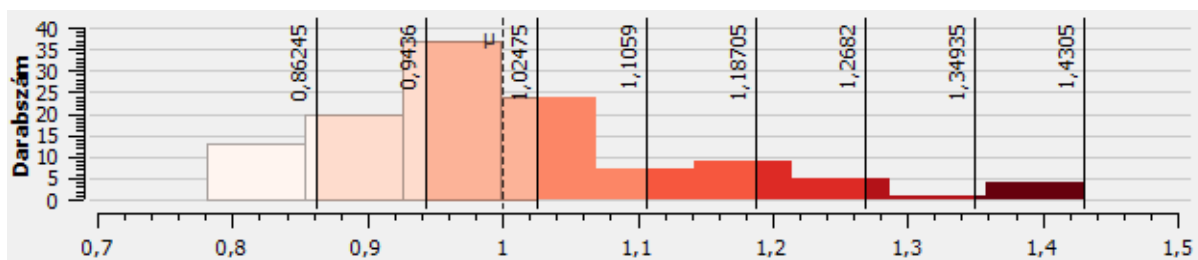
33.ábra: A kísérleti tábla talaj nitrogén és szén aránya

Forrás: (QGIS, saját feldolgozás alapján)

A lehetséges magyarázat a talaj szén- és nitrogéntartalma közötti szoros kapcsolatban keresendő. Mivel mindkét elem fontos szerepet játszik a talaj életképességében és a növényi növekedésben. A talaj szén- és nitrogéntartalma közötti arány azonban változó lehet attól függően, hogy milyen a talaj típusa, annak agrotechnikája, vagy akár az éghajlati tényezők összhatása.

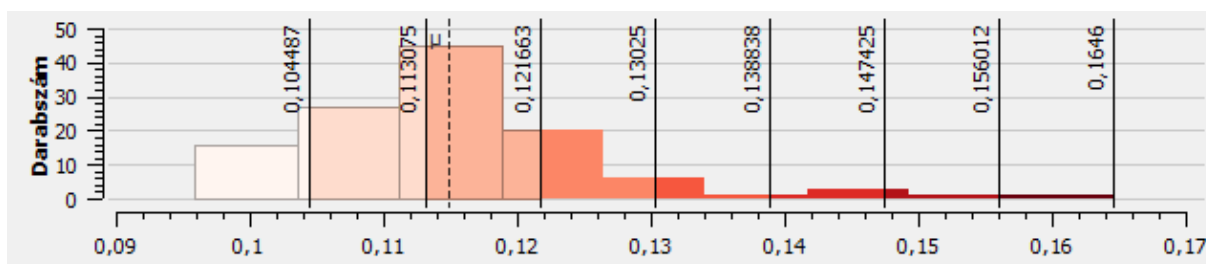
A szén és a nitrogén szoros kapcsolatát a talajban az ökológiai folyamatok, mint például a talaj szerves anyagának lebontása és a növényi növekedés szabályozása okozza.

Ha megfigyeljük akkor ahogy a 34. ábrán is látható ami a talaj szén százalékának az eloszlása látható. 35. ábrán pedig a talaj nitrogéné. A térbeli eloszlás mellett a darabszámban megfigyelhető arányok is lényegesen hasonló értékeket mutatnak.



34.ábra: A talaj szén% eloszlása darabszám tekintetében

Forrás: (QGIS, saját feldolgozás alapján)



35.ábra: A talaj nitrogén% eloszlása darabszám tekintetében

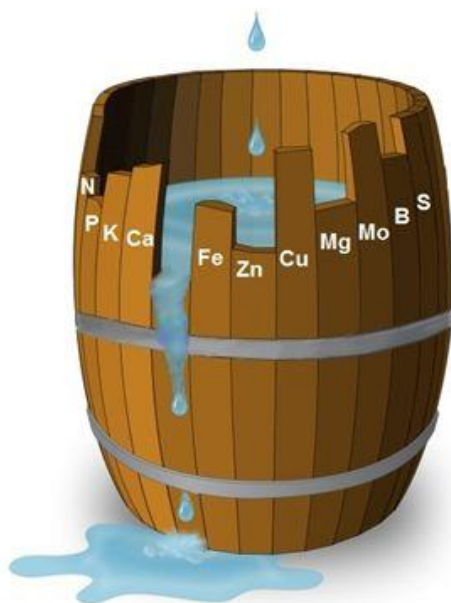
Forrás: (QGIS, saját feldolgozás alapján)

A tábla sajátossága ezen felül még a különböző kijuttatási módok alkalmazása is. Sima műtrágyázás, szerves trágyázás és ennek a kettőnek a kombinálása az amit eszközölnek ezen a táblán. A szerves trágyázás előnyei közé tartozik, hogy javítja a talaj szerkezetét, növeli a talaj mikrobiális aktivitását, elősegíti a vízmegkötő képességét és javítja a talaj tápanyag-ellátottságát. Ezen kívül pedig hozzájárul a talaj szervesanyag-tartalmának növeléséhez, ami hosszú távon segíti a talaj nitrogén- és széntartalmának javítását is. Nem utolsó sorban javítja a talaj pH-ját, ami kedvező hatást gyakorol a talaj biológiai aktivitására és a növények tápanyagfelvételére.

A szerves trágya használata a talaj egészségének megőrzését és a fenntartható mezőgazdasági termelést is elősegíti, ami alapja a mai precíziós gazdálkodásnak is. A talaj szerkezete, vízgazdálkodása, az éghajlati tényezők és a többi ásványi anyag és létfontosságú elem határozza meg a ténylegesen felvehető nitrogént, amihez szorosan kapcsolódik a Liebig-féle minimumtörvény. Ennek a képi illusztrációja látható a 36. ábrán.

Liebig törvénye azt mondja ki, hogy a növényi növekedés csak azoknak a tápanyagoknak az általános hiánya miatt korlátozódik, amelyek a legalacsonyabb koncentrációban állnak rendelkezésre. Ez azt jelenti, hogy az összes szükséges tápanyag közül a legkisebb mennyiséggel előforduló tápanyag fogja meghatározni a növényi növekedést és a termés hozamot. Ha ezeket a talaj nitrogén adatokat alapjául vesszük egy esetleges kijuttatás tervezésben akkor az több esetben lehetnek hasznosak de nem teljesen mondhatni elegendőnek. Hiszen a nitrogén folyamatos

mozgásban van a talajban, így csak egy talajminta alapú hiányos lenne. De jelen esetben az általunk használt drón tökéletes képet tud adni a biomassza nagyságáról, a vegetáció előrehaladottságáról esetleges gyomképeről. Így ha a drón által készített képet egy teljeskörű talajmintával kiegészítjük akkor egy tökéletes kijuttatás tervezetet tudunk készíteni.



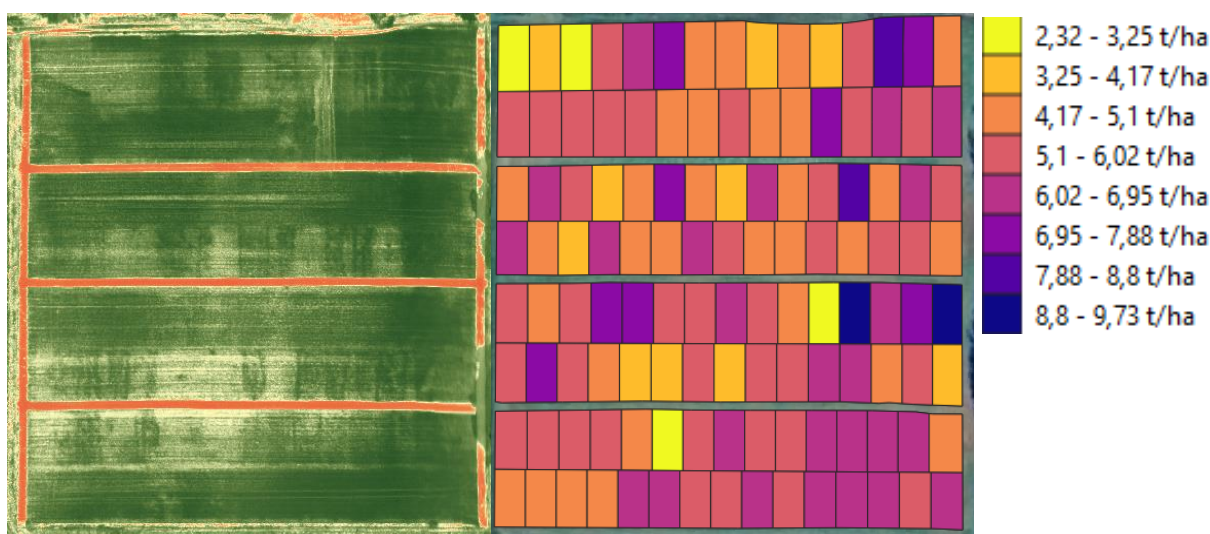
36.ábra: A Liebig féle minimum elv

Forrás: (<https://agraragazat.hu/>)

4.5 A TERMÉSÁTLAG ÉS AZ NDVI KÖLCSÖNHATÁS VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI

A betakarításra 2022.07.22-én került sor. Így a legutolsó NDVI kép és a termésátlagok között majdnem két hónap különbség volt. Az NDVI képet értelmezve viszont a második felvételezés időpontja tökéletes választás volt, mert lényeges biomassa és klorofilltartalom jellemezte a vegetációt. Az acélosodás pont a második felvételezés után következett be a növényen. A reflektancia viszonyokat alapul véve jó eredményt kaptam. Ez az NDVI felvétel a 2022.05.31-es repülés eredménye. Ahogy a 37.ábrán is látható az NDVI képnek szoros a kapcsolata a termésátlaggal. A sárga színek az alacsony 2 és 4 tonna körüli értékeket jelölik. Az erősebb, először halvány lilás, később sötét lilás színek egyre magasabb értékeket szemléltetnek. Az NDVI képen látható foltosabb, gyengébb vegetációs részek a zónázott termésátlagon is rendszerint hasonló módon alacsonyak voltak. Ha az egész táblára nézzük az átlagot ami 5,45 akkor kijelenthetjük, hogy ez egy jó termésátlagnak nevezhető. Nem túlságosan kiemelkedő, de nem is a gyenge kategóriába sorolható.

A precíziós gazdálkodás, pont a hasonló problémák kiküszöbölésére is nyújt lehetőséget. Lehetséges megoldás lehetne a különböző dózisu kijuttatás azon területek javítására ahol alacsonyabb volt a terméshozam. A két eshetőség a talajszerkezet javítása vagy azok a területek további megtámogatása amelyek már kedvezően magas terméshozammal rendelkeznek. A második opcióval leginkább a terméshozamot tudjuk maximalizálni. Az elsővel pedig inkább a fenntartható gazdálkodást használó és környezetkímélő vonalat támogatnánk.



37.ábra: Az NDVI kép és a termésátlag viszonya

Forrás: (QGIS, saját feldolgozás alapján)

5 KÖVETKEZTETÉSEK

A két repülésből származó NDVI képek összehasonlításából arra az következtetésre jutottam, hogy a búza vegetációs fázisa nagy mértékben befolyásolja a visszaverődött sugárzást és az abból fakadó értékeket. Ezt a legjobban a 27. ábra szemlélteti. Azon láthatóak a lényeges eltérések és a magyarázatok is. Ez ugye azt jelentette, hogy amíg magasabb volt a zöld színanyag koncentrációja a vegetációban addig magasabb értékeket mértünk. Később pedig az érési fázisból adódó zöld színanyag csökkenése, alacsonyabb értékeket eredményezett.

A növényi párolgási kísérlet eredményéből az egyik levonható következtetés az volt, hogy a magas biomasszával rendelkező területeken a párolgások mértéke egyenes arányosságot mutatott. Ezen a részen fejlettebb erősebb, gyökérszettel és magasabb zöld színanyaggal rendelkező növények voltak megtalálhatóak. Ebből adódóan a levelek nagysága, vagyis a növények fotoszintetizáló felülete is nagyobb volt, ami pedig az asszimiláció hatékonyságát is befolyásolta.

A talaj szén és nitrogén kísérletből származó eredménynél megfigyelt szoros kölcsönhatás lehetséges magyarázata pedig az, hogy a talajban a szerves anyagok a növényi és állati maradványokból származnak. Ezek a szerves anyagok tartalmazzák a szénforrást, amely a talajban az elsődleges építőanyag. A mikroorganizmusok a talajban lebontják a szerves anyagokat, és ezzel felszabadítják a bennük található nitrogént. A lebomlási folyamat során a mikroorganizmusok a szerves anyagokban található szénforrást használják energiaforrásként, és a felszabaduló nitrogént a növények fel tudják használni. A talajban jelen lévő nitrogén azért fontos, mert a növények a növekedéshez szükséges tápanyagokat veszik fel belőle.

A szerves anyagok lebomlása során a talajban található mikroorganizmusokhoz kötődő nitrogén az egyik legfontosabb forrása a növényi növekedésnek. Azonban az optimális növekedés érdekében a talajban a szén és a nitrogén arányának kiegyensúlyozottnak kell lennie. Ha a szén aránya magasabb a talajban, akkor a lebomlás során a mikroorganizmusok a felszabaduló nitrogént nem tudják felhasználni hatékonyan, és a talajban lévő nitrogén koncentrációja csökkenhet. Ha a nitrogén aránya magasabb a talajban, akkor a mikroorganizmusoknak kevesebb szénforrást kell felhasználniuk a nitrogén felszabadításához, ami azt jelenti, hogy kevesebb szerves anyagból állítanak elő energiát. Ennek eredményeként csökken a talajban a szerves anyagok mennyisége és az egész talajélet aktív részvételével a talaj tápanyag-ellátottsága is romolhat.

A kísérleti táblában látható volt az is, hogy milyen lényeges különbségeket okoznak a változtatott és kombinált trágyázási módok és a vetésforgók használata. A kísérlet során a forgók eltérő trágyázásból eredő nitrogén különbségekkel kapcsolatban egy lehetséges következtetésre jutottam. Az organikus trágyázás során az élő szervezetek, mint például állatok és növények

maradványai lebomlanak és ezáltal tápanyagokat szabadítanak fel a talajban. Az ilyen típusú trágyázás azonban nem csak nitrogént, hanem számos más fontos tápanyagot is tartalmaz, mint például foszfort, káliumot, kalciumot és magnéziumot.

Ezen felül az előnye a nitrogén ellátottság szempontjából az, hogy a szerves anyagokban található nitrogén lassan, fokozatosan szabadul fel a talajban, így hosszabb távon biztosítja a növények számára a megfelelő mennyiségű tápanyagot. Emellett, az organikus trágyákban található nitrogén általában nagyobb mennyiségű szerves anyagokkal van kombinálva, amelyek javítják a talaj szerkezetét és vízmegkötő képességét, ezáltal növelve a talaj minőségét.

Ezzel szemben, a műtrágyákban található nitrogén azonnal rendelkezésre áll a növények számára, de gyorsan ki is mosódik a talajból, ami a talaj kimerüléséhez is vezethet. Ezen kívül a műtrágyák használata nem járul hozzá a talaj szerkezetének javításához és a talaj mikrobiális életének növeléséhez, ami hosszú távon negatív hatással lehet a talajra és a növényekre. Tehát levonhatjuk azt a következtetést, hogy a különböző trágyázási módok a talaj szerkezetét és annak mikrobiológiai összetételét megváltoztathatja. Ebből adódóan pedig az eltérések a növényi biomasszában is megmutatkoztak.

A kísérletekből származó következtetéseim közé tartozik az, hogy a mai rohamosan fejlődő világban a megnövekedett népességből származó élelmiszerhiány kiküszöbölése érdekében, hasznossá váltak a precíziós és modern eszközök használata. A precíziós technológiákat nézve, mint ahogy minden megoldásnak ennek is vannak számos hátránya és pozitívuma. A már párszor említett pozitívumok mellett a negatív oldalát, tényezőit, korlátait sem szabad elfelejtenünk. A precíziós technológia, ahogyan minden újdonság, ez is lényeges anyagi határokat húz fel a gazdálkodóknak. Első sorban a szenzorok, a magas fejlesztési költségű szoftverek és az azokhoz tartozó felhő alapú tárolási helyek mind beépülnek a munkagépek, vagy akár a drónok vételárába. Ez lényegesen nehezíti a gazdák helyzetét, hiszen ők is lépést szeretnének tartani a fejlődés gyors tempójával.

Az Európai Unió és a magyar állam is a folyamatosan változó helyzetre és a problémák kiküszöbölése érdekében pályázatokat indítanak. Jelenleg Magyarországon pont egy ilyen pályázat van folyamatban, ahol a gazdák precíziós átállását segítik. Ez a géppark és a hozzá tartozó összes szolgáltatást lefedi. Célja a tényleges átállás ahol a gazdákat képesek első sorban a technológia használatára sarkallni. A hosszútávú cél pedig az egyéni tudatos és fenntartható gazdálkodás napi szintű ismerete, elsajátítása. Ez a folyamatosan a kimerülő és drága alapanyagoknak is köszönhető, hiszen a föld tartalékai végesek és a megnövekedett igények jelentősen befolyásolják ezeket a tendenciákat.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

Ahogy az már évezredek óta nyilvánvaló a mezőgazdaság szerepe és jelentősége világszerte alapvető, hiszen az élelmiszertermelés biztosítása nélkülözhetetlen a lakosság megfelelő ellátásához. Azonban a mezőgazdasági termelés körülményei folyamatosan változnak, és a mezőgazdasági ágazat számos kihívással szembesül. A mezőgazdaság szüntelenül a klímaváltozás és az élelmiszerbiztonság kihívásaival küzd. A klímaváltozás hatása az éghajlati viszonyok változásával, a természeti katasztrófák gyakoribb előfordulásával és a termőföld mennyiségének csökkenésével jelentkezik. Az élelmiszerbiztonság kihívásai közé tartozik az élelmiszerhiány, az élelmiszerpazarlás, a szegénység és az élelmiszer-egészségügyi problémák és az ebből fakadó társadalmi nehézségek is. A mezőgazdaság jövőjének alakulása részben függ a technológiai fejlesztésektől, amelyek segítségével hatékonyabbá, gazdaságosabbá és fenntarthatóbbá tehető a termelés. Az olyan technológiák, mint az IoT (Internet of Things), a robotika, a mesterséges intelligencia és a precíziós mezőgazdaság fejlődése lehetővé teszi a termelési folyamatok hatékonyabb irányítását és a termelési költségek csökkentését.

A mezőgazdaság jövőjét az is nagy mértékben meghatározza, hogy a mezőgazdasági termelés hogyan illeszkedik a globális gazdasági, társadalmi és környezeti trendekhez. A fenntartható mezőgazdaság szerepe egyre inkább előtérbe kerül, a termelésnek pedig ki kell terjednie az élelmiszeripari értékláncok más területeire is.

A kísérletem során is kiderült, hogy a precíziós eszközök, technológiák használata, alkalmazása a jövő mezőgazdasági termelésének alapját képezik, mivel ez a megközelítés lehetővé teszi az erőforrások hatékonyabb felhasználását és a természeti környezet megővését. Az élelmiszerbiztonság és a gazdasági növekedés érdekében az agrárszektorak folyamatosan alkalmazkodnia kell az új környezeti kihívásokhoz. A precíziós mezőgazdálkodás, amely a termesztési ciklusok, az agrokémiai anyagok használata, az öntözés, a tápanyag- és a vízigény pontosabb szabályozására összpontosít, ezzel jelentősen csökkentve a termelési költségeket és növelve a termés hozamot. A modern szenzorok és a robottechnológia alkalmazása lehetővé teszi a növények ténylegesen személyre szabott ápolását, így azok képesek optimális körülmények között fejlődni.

Ha pedig a fenntartható mezőgazdálkodást nézzük akkor, képes hosszú távú megoldást kínálni a természeti környezet megővására és a termelési rendszer fenntarthatóbbá tételére. A célja pedig az ökoszisztémák megővése és a talaj szerkezet és annak tápanyag tartalmának megőrzése. Ezen felül az ökológiai alapú mezőgazdasági technikák, mint például az ökológiai szemléletű talajművelés, az öntözés optimalizálása és a tápanyag- és vízgazdálkodás irányítása, mind hozzájárul a talaj minőségének és a termőképességének javításához.

Hazánkban is egyre nagyobb figyelmet kap a precíziós gazdálkodás, hiszen a hazai mezőgazdaság ismert problémái között szerepel az alacsony hatékonyság és a környezetterhelés. Hazai viszonylatban a precíziós gazdálkodás még csak lassan terjed, azonban egyre több gazdálkodó ébred rá a technológia előnyeire. A legtöbb agrárvállalkozásnak azonban még nincs meg a szükséges szaktudása és a befektetési forrása a precíziós gazdálkodásra való átálláshoz. Ennek ellenére már számos hazai agrárvállalkozás használja a precíziós gazdálkodást, főleg a nagyobb és korszerűbb üzemek. A legelterjedtebb technológiák közé tartozik a GPS alapú navigáció, a drónok használata, a talajmintavétel és a műtrágya kijuttatás optimalizálása.

A magyar kormány is felismerte a precíziós gazdálkodás fontosságát, és több programot indított el az ágazat fejlesztése érdekében. Az egyik ilyen program a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ által vezetett "Precíziós Mezőgazdasági Kutatási Program", amelynek célja az újabb precíziós gazdálkodási technológiák és módszerek fejlesztése, valamint a gazdálkodók számára történő elérhetővé tétele.

A mai felgyorsult világban ezért érdemes lépést tartani a változással. Számomra ezért is volt nagyon vonzó maga a precíziós eszközök használata és a hozzájuk fűződő háttér folyamatok ismerete. Elhatározásom egyre erősebbé vált a kísérlet elkészítése során, hogy az én érdeklődési köröm nagyon szorosan fűződik ezen technikák alkalmazásához. Ezért is számomra fontos volt, hogy ezen a területen úttörőnek és az elsők között kell lenni. Ebből fakadóan a továbbtanulás és a mesterképzésre való jelentkezés mellett döntöttem. Sajnos a precíziós gazdálkodással kapcsolatban mesterképzést még nem indítanak, így a Pécsi Tudományegyetem geoinformatikus képzése vált a legesszerűbb döntésnek. A geoinformatika széleskörű tudást és számos területben való elhelyezkedést kínál. Ilyen akár a várostervezés, a földmérés vagy térképészet, a mezőgazdaság, a vízügy, az energiaipar, a hadiipar, vagy akár a katasztrófavédelem is. Ezen felül ha a magyar jogszabályok érvényben változnak és kellő mértékben segítik a növényvédelmi drónok használatát, akkor egy saját mezőgazdasági permetező drónokkal foglalkozó növényvédelmi vállalkozás is tervben van. Számomra a kísérlet elvégzése az elejétől fogva élvezetes és érdekfeszítő volt. Megtapasztalhattam, milyen egy saját kísérlet elvégzése, annak a kiértékelése és az azokból származó információkból való következtetések levonása. Ezen túl az infromatikai ismereteim is bővítettem, mivel több program használatát képes voltam elsajátítani. Emellett új vizsgálati eszközöket is kipróbálhattam és beleláttam egy teljes vizsgálat lebonyolításához szükséges eszköz és szakmai tudás bázisába is.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Busznyák János tanár úrnak a megannyi segítségért, bizalmáért amelyek nagy mértékben hozzájárultak ennek a szakdolgozatnak a létrejöttéhez, a szakmai és technikai feltételek bármikori biztosításáért és a személyes vagy online konzultációk alatt nyújtott bátorításért.

Külön szeretném megköszönni Tóth Zoltán tanár úrnak, akinek szintén hatalmas érdemei vannak a szakdolgozatom elkészülésében -a motiváló beszélgetéseket, szakmai tanácsokat.

Végül szeretnék köszönetet mondani még a tanüzem dolgozóinak, különösképpen Deák Bencének és Liska Dávidnak, a sok felemelő és felejthetetlen pillanatért, emlékért.

7 SZAKIRODALOM JEGYZÉKE

- [1] **BICSKEI K.** (2010): A búzatermesztés rejtelmek, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest
- [2] **BORSOS J. - PUSZTAI P. - RADICS L. - SZEMÁN L. - TOMPOSNÉ L. V.** (1994): Szántóföldi növénytermesztéstan. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Kertészeti Kar, Budapest
- [3] **CHENGHAI Y. - JOHN K. WESTBROOK - CHARLES P.-C. SUH - DANIEL, E. MARTIN - W. CLINT HOFFMANN - YUBIN L. - BRADLEY K. FRITZ - JOHN A. GOOLSBY** (2014): An Airborne Multispectral Imaging System Based on Two Consumer-Grade Cameras for Agricultural Remote Sensing
- [4] **DARUKA N.** (2014): Oktokopter a légi szállítás modernizációja, vagy a robbanószer-kezetek célba juttatásának újabb lehetősége
- [5] **DAVID A. LANDGREBE** (2003): Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing
- [6] **DOBOS A.** (2013): PRECÍZIÓS NÖVÉNYTERMESZTÉS, Debreceni Egyetem. Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Debrecen
- [7] **EMILIO CHUVIECO, ALFREDO HUETE,** (2010): Fundamentals of Satellite Remote Sensing
- [8] **ERDEINÉ K. - GALLY SZ.** (2020): A precíziós gazdálkodás jelentősége a mezőgazdaság versenyképességében, Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Budapesti Gazdasági Egyetem
- [9] **GAÁL M. - PÉTER K. - TAKÁCSNÉ GY. K. - ILLÉS I. - KISS A. - SÜLYÖK D. - DOMÁN CS. - KEMÉNYNÉ H. ZS.** (2017): A precíziós szántóföldi növénytermesztés összehasonlító vizsgálata, Agrárgazdasági Kutató Intézet, Budapest
- [10] **HAMLYN G. JONES - ROBIN A. VAUGHAN** (2011): Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications
- [11] **J. JORGEA - M. VALLBÉAAND - J. A. SOLER** (2019) Detection of irrigation inhomogeneities in an olive grove using the NDRE vegetation index obtained from UAV images
- [12] **MÁRKUS B.** (2010): Térinformatika 1.: A térinformatika alapfogalmai, kialakulása, fejlődése Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, Székesfehérvár

- [13] **MARTIN K.** (2011): Vegetation Description and Data Analysis: A Practical Approach
- [14] **PEPÓ P. - SÁRVÁRI M.** (2011): GABONANÖVÉNYEK TERMESZTÉSE
- [15] **POPP J. - ERDEI E. - OLÁH J.** (2018): A precíziós gazdálkodás kilátásai Magyarországon
- [16] **PRASAD S. THENKABAIL - JOHN G. LYON** (2011): Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation
- [17] **RAPAICS R.** (1934): A kenyér és táplálékot szolgáltató növényeink története, Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest
- [18] **STEPHEN W. SEARCY** (1997): Precision Farming: A New Approach to Crop Management
- [19] **STEVEN M. HOGAN** (2015): The Drone Revolution: How Robotic Aviation Will Change the World
- [20] **UM RAO MOGILI - B B V L DEEPAK,** (2018): Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture
- [21] **W BUSHUK - VF RASPER** (1994): Wheat production, properties and quality
- [22] **YANBO HUANG - STEVEN J. THOMSON - YUBIN J. MAAS,** (2010): Multispectral imaging systems for airborne remote sensing to support agricultural production management

Internet1: <https://futureofdebreceen.hu/magasles/a-precizios-novenytermesztesrol/> (2022.10.05)

Internet2: <https://agraragazat.hu/hir/novenyvedelem-drontechnologiaval/> (2023.10.06)

Internet3: <https://agraragazat.hu/hir/agrar-dron-pilota-kepzes-precizio-mezogazdasag/> (2022.11.13)

Internet4: <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2013/03/szantofold/precizios-novenytermesztes-i-resz> (2022.12.08)

Internet5: <https://www.thecoronawire.com/what-types-of-drones-are-there-every-type-of-drone-explained-in-detail/> (2022.12.10)

Internet6: <https://interestingengineering.com/innovation/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs> (2023.01.07)

Internet7: https://kozszov.org.hu/dokumentumok/UMK_2017/3/05_Dronok_a_kozszolgalatban.pdf (2023.01.16)

Internet8: <https://www.blue21.nl/wp-content/uploads/2020/08/Indymo-Monitoring-Water-Quality-Ecology-with-Underwater-Drones.pdf> (2023.02.23)

Internet9: https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=2447&hir=Muholdas_vegetacios_indexek_es_szantofoldi_kulturak_termesatlagainak_vizsgalata (2023.02.25)

Internet10: <https://talajreform.hu/tudasbazis/ndvi-kepek-hasznalata/> (2023.02.28)

Internet11: <https://www.geo.university/pages/savi-and-ndvi-spectral-index-comparison> (2023.03.13)

Internet12: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index> (2023.03.24)

Internet13: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/leaf-area-index> (2023.04.16)

Internet14: <https://eos.com/industries/agriculture/ndre/> (2023.05.02)

Internet15: <https://www.djsresearch.co.uk/glossary/item/TGI-Target-Group-Index> (2023.05.04)

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Pál Dorián
A Hallgató Neptun kódja: RGV5W
A dolgozat címe: Precíziós gazdálkodási tevékenység támogatása távérzékelési felvételek segítségével
A megjelenés éve: 2023
A konzulens tanszék neve: Mérnökinformatikai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2023 év 05. hó 08. nap



Hallgató aláírása

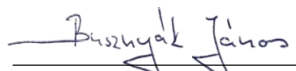
KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A Pál Dorián (név) (hallgató Neptun azonosítója: RGVT5W) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmiforrások korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2023. év 05. hó 08. nap


Belső konzulens

NYILATKOZAT

Alulírott _____ Pál Dorián _____, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, _____ Georgikon _____ Campus, _____ Mezőgazdasági mérnöki _____ szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023 év 05. hó 08. nap



Hallgató