

GÁBOR DÉNES EGYETEM

Dróntechnológia és Képfeldolgozás Tudományos Műhely

VEGETÁCIÓS-INDEX VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ MAGASSÁGÚ FELVÉTELEZÉS
ESETÉN

TDK DOLGOZAT

Szerző:

BERZÉKI MARCEL

Konzulens:

DR. KOZMA-BOGNÁR VERONIKA
tudományos rektorhelyettes, főiskolai docens

Budapest

2024

Tartalomjegyzék

1.Bevezetés, célkitűzés.....	3
2.Irodalmi áttekintés.....	4
2.1.Távérzékelés alapjai	4
2.2.Vegetációs indexek	6
2.3.Vegetációs indexek alkalmazása a drónfelvételeknél	11
3.Anyag és módszer	19
3.1.Vizsgált terület bemutatása	19
3.2.Drónok és képalkotó rendszerük bemutatása	20
3.3.Felhasznált programok.....	22
4.Eredmények és értékelésük	26
4.1.Vizsgált indexek bemutatása.....	26
4.3.GNDVI index vonatkozó eredmények.....	28
4.4.NDRE index vonatkozó eredmények.....	29
4.5.VDVI index vonatkozó eredmények.....	31
4.6.Irradiancia és entrópia adatok vizsgálata	32
4.7.EXIF adatok vizsgálata	35
4.8.Sávok hisztogramjának vizsgálata	38
4.9.Regresszió vizsgálata	40
5.Összefoglalás.....	44
6.Irodalomjegyzék.....	45

1.Bevezetés, célkitűzés

Hazánkban a drónok (UAV) alkalmazása az elmúlt néhány évben egyre inkább növekvő tendenciát mutat. A rendelkezésre álló légi járművek és az azokon elhelyezett kamerák, illetve kamerarendszerek jelentősen befolyásolják, bizonyos esetekben korlátozhatják is a hatékony és megbízható - adatbiztonsági szempontból is megfelelő - alkalmazásukat a növénytermesztés területeinek felmérésében. Az előállított vizuális és nem vizuális adatok kinyerhető információ tartalmát az adatok előállításán felül, azok feldolgozási és elemzési módszerei is nagymértékben befolyásolhatják.

Előző méréseimnél tapasztaltam eltéréseket a vegetációs indexek esetén különböző magasságon, ezért érdekesnek és fontosnak tartottam utána járni, hogy ténylegesen van-e eltérés és ha igen milyen mértékű.

Vizsgálataim célja annak bemutatása, hogy feltárjam az eltérő felvételezési magasságok okoznak-e eltérést a mérési eredményben és így az UAV-val rögzített vegetációs indexek segítik-e a napi tevékenységet és egyértelműbb iránymutatás nyújtása a napi gyakorlat számára. Felméréseim során egy tavaszi árpával bevetett helyszínen készítettem multitemporális légifelvételeket a vegetációs időszak eltérő időpontjaiban. Dolgozatomban bemutatom az NDVI, a GNDVI, a NDRE a VDVI vegetációs indexekre vonatkozó eredményeinket, melyek magukba foglalják az UAV-val előállított légifelvételek feldolgozását, kiemelve a légifelvételek diszkrét és nem diszkrét sávjainak eltérő magasságok összefüggéseire vonatkozó elemzéseinket.

Célkitűzéseim:

- A kijelölt területen a teljes vegetációs időszakban drónokkal történő multispektrális felvételek készítése, több magasságon.
- A diszkrét és nem diszkrét felvételek NDVI, GNDVI, NDRE és VDVI indexek alapján történő összehasonlítása, kiértékelése.
- Az indexek változásainak, eltéréseinek vizsgálata.

2. Irodalmi áttekintés

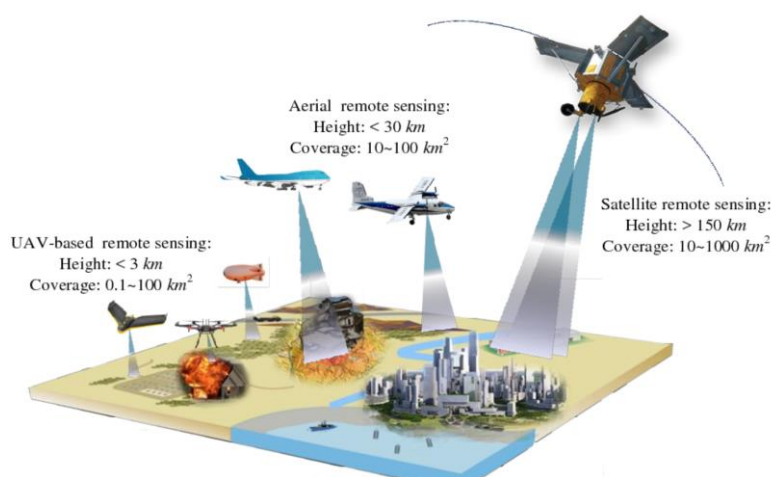
2.1. Távérzékelés alapjai

A távérzékelés egy olyan technológia, amely lehetővé teszi a környezeti jellemzők és objektumok távoli észlelését anélkül, hogy közvetlenül közel kellene hozzájuk menni. Ez a technika különböző szenzorok, például légi és űrből készített képek, radar, lidar vagy hőkamera segítségével történik.

A távérzékelés két fő típusa van: az aktív és a passzív távérzékelés.

Az aktív távérzékelés során a szenzor aktív jelet küld az objektumra vagy a területre, majd ez a jel visszaverődik és észlelhetővé válik. Például, a radar aktív távérzékelő rendszer, amely rádióhullámokat használ az objektumok helyzetének és tulajdonságainak meghatározására.

A passzív távérzékelés során a szenzor az objektumok természetes sugárzását használja, például az elektromágneses spektrumot. Az ilyen típusú távérzékelés a legelterjedtebb, és magában foglalja a látható fény, az infravörös sugárzás és a hőmérséklet méréseit. A leggyakrabban használt eszközök közé tartoznak a műholdak, amelyek távoli érzékelési adatokat gyűjtenek a Földről (1. ábra).



1. ábra Távérzékelési platformok: műholdak, repülőgépek és drónok(UAV) [20]

A távérzékelés széles körben alkalmazható különböző területeken, mint például a földtudomány, a mezőgazdaság, az erdőgazdálkodás, az állattenyésztés, a városi tervezés, a környezetvédelem, az időjárás-előrejelzés és a katasztrófa-menedzsment. A távérzékelés

nyújtotta adatok segítenek az objektumok és a területek vizsgálatában, monitorozásában és megértésében, valamint a döntéshozatal folyamataiban.

A távérzékelést számos eszközzel és technológiával lehet végezni. Az alábbiakban néhány gyakran használt eszközt és technikát sorolok fel:

1. Műholdak: A műholdak távoli érzékelési rendszerekkel rendelkeznek, amelyek segítségével képeket és adatokat gyűjtenek a Földről. Különböző érzékelőkkel, mint például multispektrális vagy hiperspektrális képalkotó eszközökkel, radarokkal vagy hőkamerákkal felszereltek.

2. Repülőgépek: Speciális távérzékelési felszereléssel rendelkező repülőgépek, például légifényképezőgépek vagy légi lidar rendszerek is használatosak a légi távérzékeléshez. Ez a technika részletesebb és magasabb felbontású képeket eredményezhet.

3. Szenzorok a földfelszínen: A földfelszínen elhelyezett szenzorok, például állomások vagy állatnyakörvek, adatokat gyűjtenek a környezetről. Ezek a szenzorok lehetnek hőmérséklet-, páratartalom-, és légköri összetételt érzékelők, vagy akár szélsébséget vagy zajszintet mérő műszerek.

4. UAV-t (Drón) is lehet használni távérzékelésre. Ezek kisméretű repülőeszközök, amelyeket különféle szenzorokkal is felszerelhetünk, például kamerával vagy infravörös kamerával. Használhatók a földi és légi felvételek készítésére, területek felmérésére.

Az UAV-k (unmanned aerial vehicles) vagyis az ember nélküli légi járművek számos előnyt nyújtanak a mezőgazdasági tevékenységek számára. Az alábbiakban felsorolok néhány fő előnyt:

1. Precíziós mezőgazdaság: Az UAV-k képesek nagy felbontású képeket készíteni a mezőgazdasági művelésű területekről. Ez lehetővé teszi a mezőgazdálkodók számára, hogy pontosan meghatározzák a növények állapotát, a kártevők jelenlétét, a vízhiányt és más mezőgazdasági problémákat. Lehetővé teszi a precíziós mezőgazdasági intézkedések bevezetését, például a célzott tápanyag- vagy vízellátást, a kártevők felismerését vagy a betakarítás optimális időpontjának meghatározását.

2. Tápanyag- és vízgazdálkodás: Az UAV-k segítségével a mezőgazdálkodók pontosan meghatározhatják a területek tápanyag- és vízellátottságát. Lehetőséget nyújt a feleslegesen felhasznált tápanyagok és víz mennyiségének csökkentésére, azok célzott és hatékonyabb

alkalmazására. Ez a gazdaságosabb és fenntarthatóbb módszer segít megelőzni a túlzott tápanyagterhelést és a környezeti szennyezést.

3. Betakarítás- és terméshozam-monitoring: Az UAV-k segítségével lehetőség nyílik a betakarítás előtti időszakban a terméshozam állapotának felmérésére és az optimális betakarítási időpont meghatározására. Ez segít a termelőknek az erőforrások hatékony felhasználásában és a termelékenység fokozásában.

4. Területfelügyelet és növényvédelem: Az UAV-k lehetővé teszik a területfelmérések végrehajtását, ideértve a határ- és kerítésellenőrzést, a kártevők és betegségek ellenőrzését, valamint a növényvédelmi intézkedések felügyeletét. Ez jelentősen csökkentheti a szükségtelen munkafolyamatokat és a vegyszerek túlzott használatát, ezáltal környezetbarátabb mezőgazdasági gyakorlatot eredményezve.

5. Gyors és hatékony adatgyűjtés: Az UAV-k gyorsan és hatékonyan képesek adatokat gyűjteni és feldolgozni a mezőgazdasági területekről. Ez lehetővé teszi a mezőgazdasági döntések gyorsabb meghozatalát és a problémák időben történő kezelését [18].

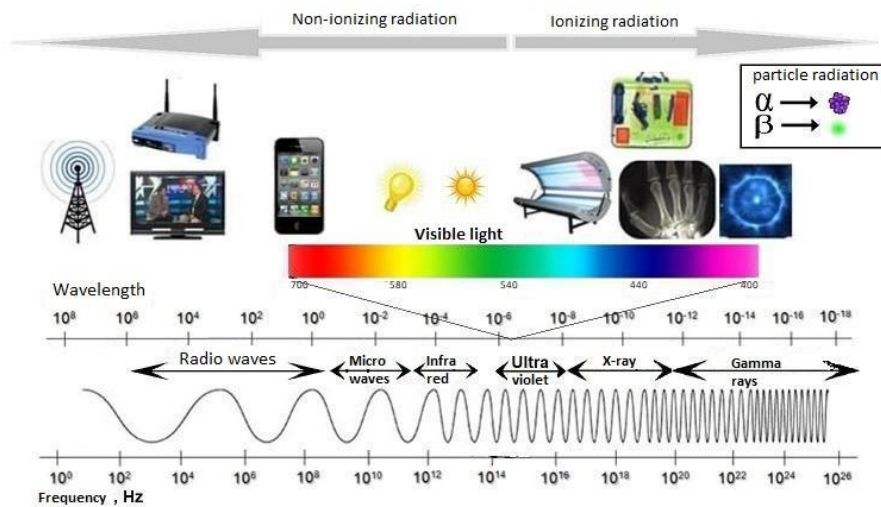
2.2. Vegetációs indexek

A vegetációs indexek távérzékeléssel történő adatgyűjtésének fő célja elemezni, értelmezni és nyomon követni a vegetáció időbeli változásait évszakos vagy éves időskálán. Ezen indexeket széles körben alkalmazzák, meglehetősen egyszerű és hatékony algoritmusok a növényzet borítottságának (növényzet/talaj elkülönítése), mennyiségi (biomassza) és növekedési potenciáljának értékelése szempontjából [15].

Mind műholdas és repülőgépes platformokat használnak az adatokat begyűjtő, távérzékelő eszközök hordozására, a legújabb elemként az UAV-t (Unmanned Aerial Vehicle) vonták be [12,14].

Adott feladatra szabott algoritmusokat fejlesztettek ki [2,3], melyeket számos feladatban/alkalmazásban teszteltek, speciális matematikai képletek alapján, amelyek kombinálják a különböző spektrális sávokat (2.ábra).

The electromagnetic spectrum



2. ábra Spektrális tartományok [21]

A valós alkalmazásokhoz optimalizált indexeket, az adott alkalmazási követelményekhez igazítják. A megfelelő vegetációs index kiválasztásánál figyelembe kell venni a vizsgálandó terület adottságait, növényzet típusát és az így rendelkezésre álló információ tartalmát [10].

A következőkben felsorolt indexek röviden bemutatják, hogyan épülnek egymásra a fejlődésük során és miként javítják az első generációs modellek hiányosságait az második generációs modellek.

A felsorolt index halmaz közel sem teljes -hiszen több százról beszélünk, köztük számos speciálisról is, melyek adott eszközök, hullámsávokhoz lettek finomítva-, de a leggyakrabban hivatkoznak vagy alkalmazzák őket.

RVI

Ratio Vegetation Index 1969-ben került bemutatásra, főképp nagy összefüggő zöld területek biomassza tömeg felmérésére alkalmazzák, amennyiben a fedettség 50% alatti úgy már az légköri zavarok jelentősen rontják az eredményeket.

Alapja, hogy a növények különbözőképpen nyelik el a vörös és az infravörös fény, azaz a vörös fényből (RED) jelentősen többet nyelnek el, mint a közeli infravörös (NIR) tartományból [11]

$$RVI = RED / NIR$$

DVI

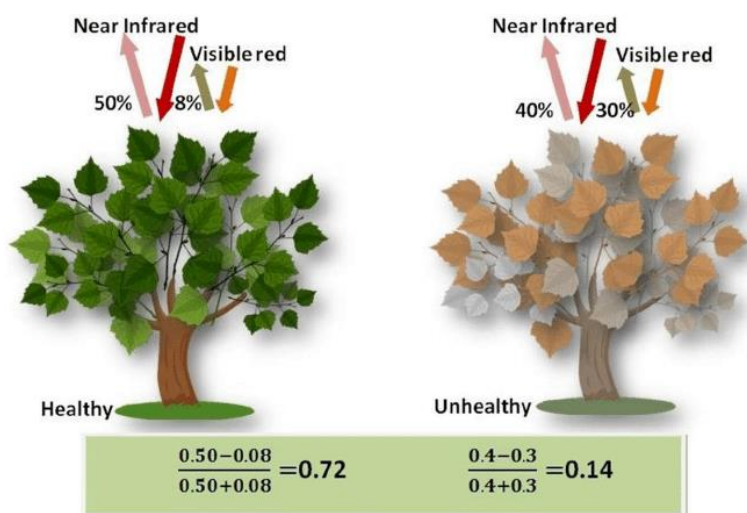
Difference Vegetation Index (DVI) segítségével elkülöníthetjük a talajt és a növényzetet, meghatározhatjuk a vegetáció mennyiségét. Nem tudja kiszűrni a légköri és az árnyékokból adódó visszaverődést és a kisugárzás zavarait [10].

$$\text{DVI} = \text{NIR} - \text{RED}$$

NDVI

Egy standardizált index (normalize difference vegetation index), mely biztosítja a növényzet egészségi állapotának megjelenítését. Ez az index két alapvető tulajdonságot ötvöz, miszerint kihasználja a kontraszt különbséget a klorofill pigmentek vörös tartományban történő (RED) elnyelése és a közeli infravörös (NIR) erős visszaverődése között [3,16] (3.ábra).

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



3. ábra NDVI [22]

NDRE

Mélyebben belát a lombkorona alá, nem csak a felületen érzékeli a klorofill tartalmat és érzékenyebb a növényeket ért stressz hatás kimutatásában az előrehaladottabb fejlődési fázisokban is [1].

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

REDEGE= vörösel

VARI

A Visible Atmospherically Resistant Index (VARI), a látható tartomány R, G, B sávjaiból képez vegetációs indexet, kiszűri a megvilágítási és légköri hatásokat [7].

$$\text{VARI} = (\text{GREEN} - \text{RED}) / (\text{GREEN} + \text{RED} - \text{BLUE})$$

GREEN= zöld, RED= vörös, BLUE= kék sáv

VDVI

A Visible-band Difference Vegetation Index, a látható sávokból képez az VARI indexhez képest sokkal pontosabb értékek, értéke -1 és 1 között mozog. Egyes jelentések szerint pontossága elérheti a 90%-t [19].

$$\text{VDVI} = (2 * \text{GREEN} - \text{RED} - \text{BLUE}) / (2 * \text{GREEN} + \text{RED} + \text{BLUE})$$

SAVI

Mivel a fentiekben említett indexek nem teljességgel szűrik ki a növényzet és a talajt, így új index család került kifejlesztésre, mely ennek kiküszöbölésére hivatott. A talajhoz igazított vegetációs index (SAVI) arra hivatott, hogy egy talaj világosság korrekciós értékkel kiigazítsa az általa okozott zavarokat.

Ezen változó értéke -1 és 1 között mozog, a növénytakaró mértékétől függően. Az 1 értéket ritkán éri el, a legtöbb esetben 0,5 alatt van, ha értéke 0 akkor a SAVI = NDVI [8].

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + \text{L})) \times (1 + \text{L})$$

NIR = a közeli infravörös sáv pixel értéke

RED = a vörös sáv pixel értéke

L = a zöld növénytakaró mennyisége

GNDVI

A GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) a növények fotoszintetikus aktivitására és zöldtömegére utal. Alkalmazása főként mezőgazdasági területeken és

erdőgazdálkodásban terjedt el, ahol fontos a zöld biomassza és a fotoszintézis hatékonyságának meghatározása [13].

$$\text{GNDVI} = (\text{NIR} - \text{GREEN}) / (\text{NIR} + \text{GREEN})$$

MSAVI

Módosított SAVI (soil adjusted vegetation index), amely minimalizálja a takaratlan föld területek befolyásoló tényezőjét [16].

$$\text{MSAVI2} = (1/2) * (\text{NIR} + 1) - \sqrt{((2 * \text{NIR} + 1) - 8 * (\text{NIR} - \text{RED}))}$$

sqrt = a szám négyzetgyöke

TSAVI

A módosított talajhoz igazított vegetáció index (TSAVI) módszer, mely figyelembe veszi a vizsgált terület talaj lejtését és metszéspontjait, minimalizálja a talaj világosságából eredő befolyásoló tényezőket [16].

$$\text{TSAVI} = (s * (\text{NIR} - s * \text{RED} - a)) / (a * \text{NIR} + \text{RED} - a * s + X * (1 + s^2))$$

NIR = a közeli infravörös sáv pixel értéke

RED = a vörös sáv pixel értéke

s = talaj vonalának meredeksége

a = talaj vonalának metszéspontja

X = kiigazító érték a talaj által okozott zavarok minimalizálására

OSAVI

Ez az index egy egyszerűsített változata a TSAVI indexnek, mely nem kíván meg előzetes talaj adatokat. a SAVI index családban a talaj effektus minimalizálása egy X változó beiktatásával, tapasztalati alapon történik, melynek értéke 0,16; ezen érték mellett ritka és sűrű növénytakaró mellett is kielégítő eredményt kapunk [17].

$$\text{OSAVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + 0,16)$$

2.3. Vegetációs indexek alkalmazása a drónfelvételeknél

A Burunge vadgazdálkodási területen, egy UAV-ra (Yuneec H520) rögzített multispektrális (5 sávós MicaSense) szenzorral és a Sentinel-2 képeivel gyűjtöttek adatokat 2020 februárjában és márciusában Tanzániában.

Az ember által okozott károk, földhasználati változások következtében a természetes élőhelyek súlyos kihívásokkal néznek szembe és növelik az ember-vadállat konfliktusok kockázatát.

Az élelemforrások, amelyek nélkülözhetetlenek a vadállatok számára, gyakran csökkennek vagy elvesztek a degradált élőhelyeken. Az élőhelyek állapotának felmérése a vadállatok élőhelyi viszonyainak felmérése szempontjából létfontosságú és a Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) és a Green NDVI (GNDVI) növényi indexek, melyek értékes információkat nyújthatnak az élőhely állapotáról.

A hagyományos élőhely állapotának felmérésére szolgáló módszerek, mint például a műholdas távérzékelés és a talajműszeres módszerek, korlátozott a költségvetés és az alacsony felbontás és magas költség és időigény miatt.

Az Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technológia megjelenése új lehetőséget kínál az adatgyűjtésre az élőhely állapotának értékeléséhez.

Az UAV-alapú NDVI és GNDVI térképek részletesebb információkat mutattak az élőhelyi állapotokról a Sentinel-2 térképekhez képest, főként a térbeli felbontás különbségei és az atmoszférikus hatások kiküszöbölése következtében.

A tanulmány további kutatásokat javasol más növényzeti mutatók felfedésére és alkalmazására az élőhely értékelésében. Összességében az élőhely állapotának megértése és figyelemmel kísérése alapvető fontosságú a hatékony vadállat védelem szempontjából.

A NDVI és a GNDVI értékeket osztályokba sorolták, például nagyon jó, jó, rossz és nagyon rossz állapotú élettérként. Az adatokat leíró statisztikák és lineáris regressziós modellek segítségével elemezték (4.ábra).

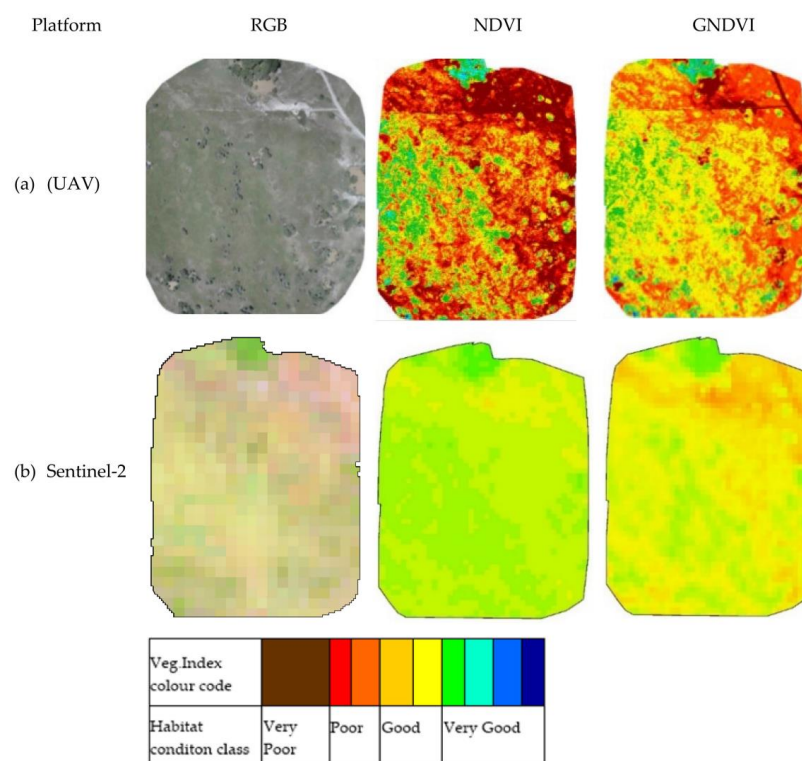


Figure 6. Comparative vegetation index maps for NDVI and GNDVI and RGB orthoimages from grassland. The UAV imagery depicts greater detail, obviously, and also provides a much greater range of habitat condition, from very poor to very good.

4. ábra NDVI és GNDVI indexek összehasonlítása

Az eredmények azt mutatták, hogy az UAV alapú NDVI és GNDVI térképek részletesebb információt nyújtottak minden élettértípus állapotáról, mint a Sentinel-2 térképek. Az UAV érzékenysége és képessége a korai diagnosztikai jelzések nyújtására magasabb volt, mint a hagyományos műholdas platformé.

A lineáris regressziós elemzés erős pozitív korrelációt mutatott a két platform között. A különbségeket elsősorban a térbeli felbontás és az alacsonyabb légköri hatások okozták.

A tanulmány felismerte más vegetációs indexek potenciálját az élettér állapotának értékelésére és további kutatásokat javasol az alkalmazhatóságuk tesztelésére.

Ez a kutatás hozzájárulhat hatékony monitoring- és kezelési stratégiák kidolgozásához a vadonélők élőhelyei számára, a fenntarthatatlan állapotokkal és az ember-vadonélő konfliktusokkal kapcsolatos aggályok kezelésére [13].

A következő tanulmányban a egy 14 hektáros füves területen a Sherbrooke Research and Development Centre of Agriculture and Agri-Food , Kanadában végeztek méréseket, hogy

három különböző megközelítést teszteljenek és összehasonlítsanak az UAV-k által készített képek alapján a takarmánybiomassza és vegetáció fedőréteget becslést ezen területen.

A vizsgált terület egy 30 legelő terülből, 5 mezőgazdasági talajterületből és 6 kontroll területből állt, összesen 14 hektáros területet lefedve. Repüléseket egy UAV (Inspire 1 Pro, DJI) segítségével hajtották végre, mely fel volt szerelve egy multispektrális kamerával (Sequoia, Parrot).

Az első megközelítésben egy szerkezet-analízis módszerrel dolgoztak, hogy egy térfogat-alapú biomassza becslési modellt hozzanak létre. Ez a megközelítés jó pontosságot mutatott a friss biomassza (FM) és az aszályos biomassza (DM) becslésére, különösen olyan biomassza szinteken, amelyek meghaladják a 0,5 kg/m²-t (FM) vagy a 0,1 kg DM/m²-t (DM).

A második és harmadik megközelítésben a Zöld Normalizált Vegetációs Indexet (GNDVI) használták. Az egyik megközelítésben egy regressziós modellt fejlesztettek ki a biomassza becslésére a GNDVI értékek alapján. Ez a megközelítés jó pontosságot mutatott FM és DM becslésére alacsonyabb biomassza szinteken, akár 3 kg/m² (FM) vagy 0,6 kg DM/m² (DM) magasságig.

A harmadik megközelítésben a GNDVI értékeket csoportosították a vegetációt lefedőréteg négy különböző osztályba sorolására, ezáltal egy részben minősített, de megbízható módszert nyújtva a mezőgazdasági területek jellemzésére (5.ábra).

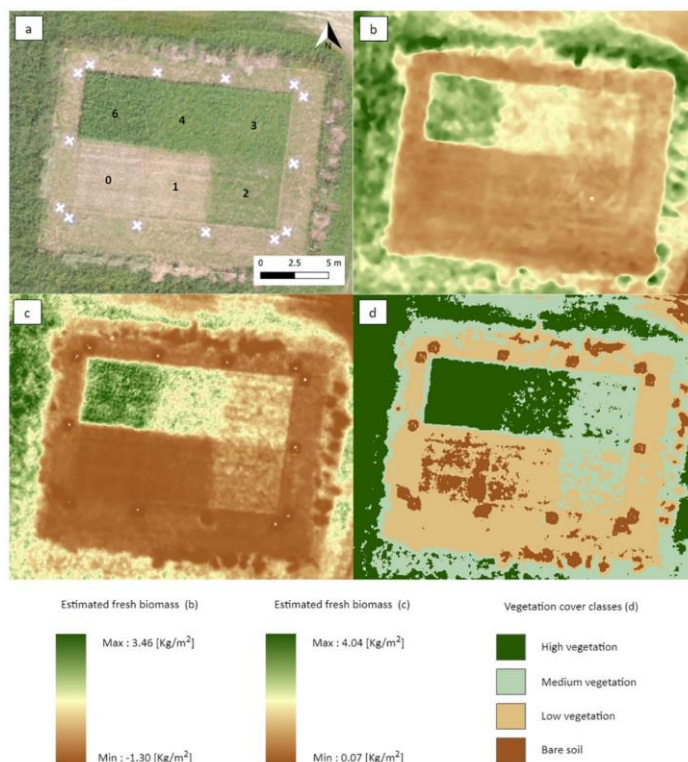


Fig 7. Visual comparison of three biomass or vegetation cover estimation methods for the imagery acquired on August 29th in the control unit: (a) the RGB imagery including the forage growth duration per plot (weeks), (b) the volumetric-based biomass model, (c) the GNDVI-based biomass model, and (d) the GNDVI-based vegetation cover classification.

5. ábra GNDVI eredmények értelmezése

Ez a módszer egy általánosan alkalmazható, kvalitatív, de megbízható módszert biztosított a gyepfelület jellemzésére. Lehetővé tette a különböző növénytakarók könnyű azonosítását és értékelését a tanulmányterületen belül.

A tanulmány szerint a GNDVI index alkalmazása ígéretesnek tűnik a vegetációtakaró degradációjának monitorozásában, valamint a biomassza becslésében. Az index alapú osztályozási módszer jó pontosságot mutatott a vegetációtakaró állapotának előrejelzésében, míg a regressziós modell alapú GNDVI becslési módszer nagy pontosságot nyújtott a biomassza előrejelzésében alacsonyabb biomassza szinteken. Mindhárom módszerrel lehetőség van magas térbeli és időbeli felbontású adatok gyűjtésére.

Azonban a tanulmány felhívja a figyelmet a GNDVI alapú modell további validációjának szükségességére. Különösen a legelők betakarítása által okozott kis biomassza változások mérése és a legelőtáplálkozás becslése terén további vizsgálatokra van szükség [9].

A következő tanulmányban a Zhejiang Egyetem Digitális Mezőgazdaság és Mezőgazdasági Internet-of-things Innovációs Laboratóriuma által fejlesztett octokopter UAV-t használtak. Az

UAV átmérője 1,1 m, magassága 0,35 m, maximális terhelhetősége pedig 8 kg, a repülési idő 30 perc. Az UAV-ra egy RGB kamera (Sony, Japán) és egy multispektrális kamera (IMEC, Chatsworth, Leuven, Belgium) volt felszerelve, melyel a vegetációs indexhez szükséges felvételeket készítették (VIs). AGB ("aboveground biomass", ami a talaj feletti biomasszát jelenti) tér-időbeli változásait figyelték és értékelték ki a RGB képekből kinyert terméstakarmány-modellt (CSM). A Random Forest (RF) modell alapján becsülték meg az AGB és PB (kalász biomassza).

Az eredmények azt mutatják, hogy a CSM-ből kinyert lombkorona magasság magas korrelációt mutat a talajon mért lombkorona magassággal, de nem alkalmas a rizs biomasszájának teljes növekedési szakaszára történő önálló becslésre. Több VIs erősen korrelál az AGB-vel és a multispektrális képekből kinyert MGRVI index éri el a legmagasabb korrelációt. Az RF modell a RGB és multispektrális képadatok kombinálásával lényegesen javítja az AGB és PB becslésének eredményeit. Az optimális becslési eredmények az AGB és PB esetében a meghatározott együttható (r^2), az RMSEP (négyzetgyök hibájának becslésére) és a RRMSE (relatív négyzetgyök hiba) tekintetében 0,90, 0,21 kg/m² és 14,05% illetve 0,68, 0,10 kg/m² és 12,11%. Az így kapott eredmény megerősíti, hogy az érzékenységi elemzés egyszerűsítheti a becslési modellt, a becsléspontosságának csökkentése nélkül.

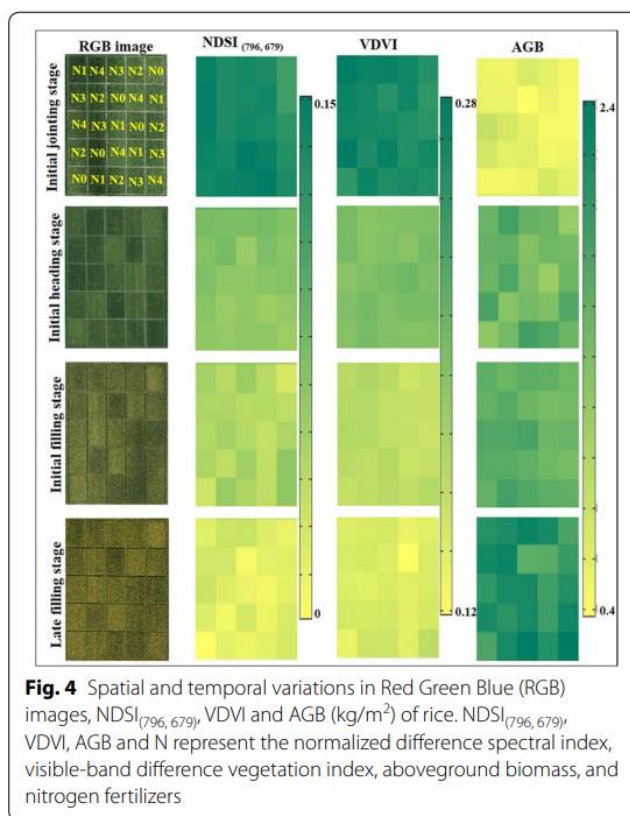
A szerzők bemutatják a multispektrális és az RGB kamera előnyeit és hátrányait a biomassza becsléséhez. Állítják, hogy az RGB képek, magasabb térbeli felbontásuknak köszönhetően, értékes információt nyújtanak a növényzet szerkezetéről, a növényzet borítottságáról és a növények magasságáról, amelyek fontosak az föld feletti biomassza (AGB) meghatározásához. Az RGB képek gazdag textúrainformációt is tartalmaznak, és az SfM (structure-from-motion) technika az RGB kamerával sűrű pontfelhő adatokat képes generálni, részletes felületi textúra helyreállítást tesz lehetővé.

Másrészről, a multispektrális kamera szélesebb hullámhossz tartományt rögzít, ideértve a kultúrák fiziológiai jellemzőit tükröző közeli infravörös (NIR) spektrális információt is. Ez különösen hasznos a kalász biomassza becsléséhez. Azonban a multispektrális kamera sűrű növényzetben előforduló telítődési problémája korlátot jelenthet a biomassza becsléséhez. Így minden kamera saját korlátokkal rendelkezik a pontosság és a teljesség tekintetében. A mindkét kamera adatainak kombinálása átfogóbb megértést nyújt a növényi növekedési státuszról.

A cikk bemutatja a random forest (RF) modell eredményeit az földfeletti biomassza (AGB) becslésére. A RF modell kilenc vegetációs indexet (VI) és a növényzet magasságát használja a növényi növekedési folyamat során készült felületmodellek (CSM) alapján. Az becslési eredmények azt mutatják, hogy a VI-k és a növényzet magasságának kombinációját használó RF modell nagy pontosságot ér el az AGB becslésében.

A modell teljesítményét összehasonlítják egyetlen változós alapú RF modell alapján és egyértelmű, hogy a VI-k és a növényzet magasságának kombinációja javítja a biomassza becslésének pontosságát.

A cikk szerint a módosított normalizált differenciált spektrális index (VDVI) jelentős korrelációt mutat az földfeletti biomasszával (AGB) és kalász biomasszával (PB) a rizs növekedési folyamata során. A VDVI az egyik vegetációs index, amely hasznos információt nyújt a növényzet egészségi állapotáról és biomasszájáról (6.ábra).



6. ábra Indexek összehasonlítása

A cikk szerint a VDVI a legmagasabb korrelációt érte el az AGB-vel, ami azt mutatja, hogy megbízhatóan alkalmazható a rizs biomasszájának becslésére. Ezek alapján elmondható, hogy

a VDVI hasznos eszköz lehet az agráriumban a rizs biomasszájának monitorozására és az előrejelzési pontosság növelésére [6].

A következő tanulmányban a saláta növekedésének becslését vizsgálták RGB drónfelvételek segítségével, gyökérgubacs-fonálféreggel fertőzött talajban.

A felmérés a Lavras Szövetségi Egyetem (UFLA) Technológiai Fejlesztési és Átadási Központjában (CDTT) történt, amely Ijaci településen található, Minas Gerais államban, Brazíliában.

A felméréshez egy DJI Phantom 4 Advanced drónt használtak, melynek a RGB kameráját használták, a felmérés során kétféle vegetációs indexet képeztek az RGB képekből:

1. Zöld Levél Index (GLI): Ez az index a zöld, vörös és kék színek arányát használja a növényzet és a talaj elkülönítésére a képeken.
2. Többlet Zöld Vegetációs Index (ExG): Ez az index szintén a zöld, vörös és kék színek arányát használja, de különösen jól működik árnyékos és napfényes körülmények között is.

A tanulmány célja az volt, hogy RGB drónfelvételek segítségével becsülje meg a saláta növekedését gyökérgubacs-fonálféreggel (*Meloidogyne* spp.) fertőzött talajban.

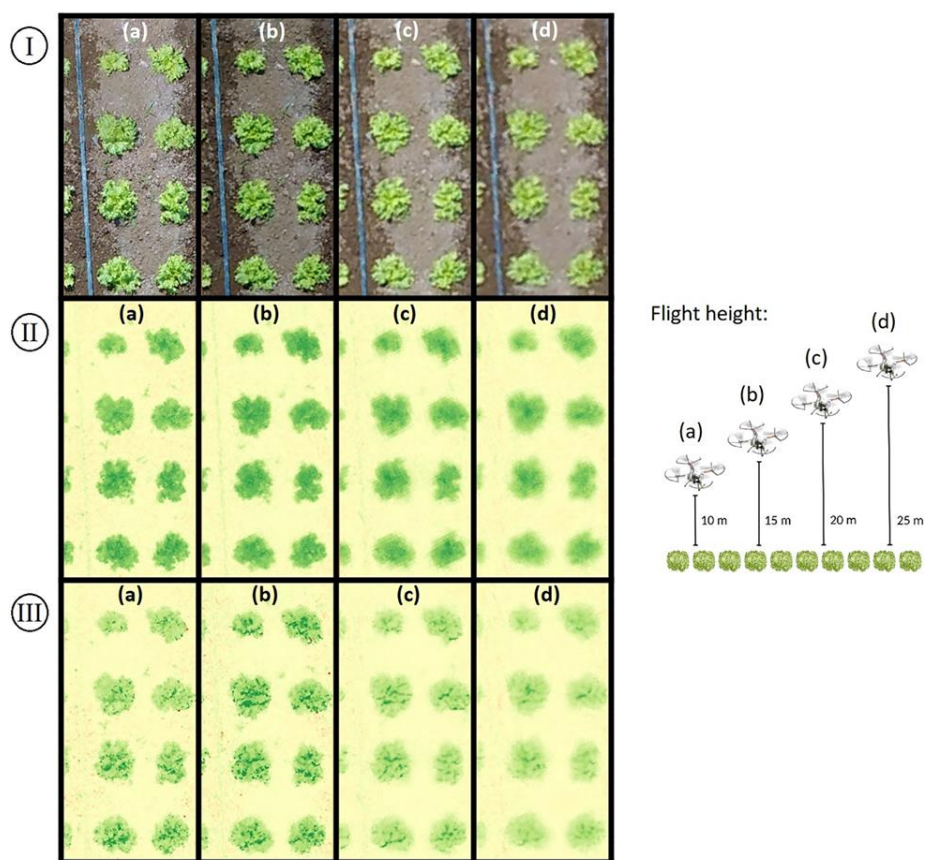
A kutatók rövid idő alatt nagy pontosságú képeket gyűjthettek a növényekről. A vizsgálat során különböző repülési magasságokat (10 m, 15 m, 20 m, 25 m) repültek, hogy meghatározzák a legmegfelelőbb magasságot a saláta növekedésének becslésére.

A képeket vegetációs indexek (VI) és vegetációs borítás (VC) kiszámítására használták.

Az eredmények azt mutatták, hogy a bionematocid kezelt parcellák és a kontroll parcellák között nem volt jelentős különbség a fonálféreg peték számában és a saláta növekedésében.

A különböző repülési magasságok közötti VI értékek nem voltak arányosak, ami arra utal, hogy a VI értékeket befolyásolhatja a repülési körülmények közötti fényerő kalibrációjának hiánya. A terepi adatokból számított VC értékek határozott, pozitív korrelációt mutattak az UAV képadatokból származó VI és VC értékekkel, ami azt jelzi, hogy az RGB képek hasznosak

lehetnek a növekedést befolyásoló betegségek kimutatásában és a betakarítási idő nyomon követésében (7.ábra).



7. ábra RGB(I) képek, ExG(II) és GLI(III) indexképek különböző magasságokban

A kutatás során felmerült kihívások közé tartozik az RGB képek spektrális információjának korlátozottsága és a repülési körülmények közötti fényerő kalibrációjának hiánya.

Az új módszer költséghatékony és széles körben alkalmazható, ami hasznos lehet a mezőgazdasági termelés és a növénytermesztés optimalizálásában. [5]

3. Anyag és módszer

3.1. Vizsgált terület bemutatása

A dolgozatomhoz kapcsolódó méréseket, egy a lakhelyemhez közeli parcellán végeztem, Gödöllő Máriabesnyő részének keleti részén, melyet balról egy erdősáv határol, jobbról egy aktívan működő lovasiskola és lovarda. Észak-keletről egy földes út, Dél-nyugatról egy kis erdő vegyes faállománnyal (8. ábra).



8. ábra Mérési terület áttekintő kép, (GoogleEarth)

A terület egy 2,3 hektáros szántó, ahova az idős tulajdonos 2024. tavaszán árpát ültetett, az ezt megelőző száraz, csapadék hiányos nyár után, a terület ezt megelőzően 3 évig pillangósokkal volt bevetve, pihentetve volt (8. ábra). A gazda hagyományos gazdálkodást folytat, így nagyon ritkán avatkozik bele a „természet rendjébe”, nem alkalmazott semmilyen vegyszeres beavatkozást, az árpa ennek ellenére jó hozamot hozott.

3.2.Drónok és képalkotó rendszerük bemutatása

A méréseket, illetve repüléseket egy Mavic 3 Multispectral drónnal végeztem. Az DJI Mavic 3 Multispectral egy speciális drónmodell, amelyet mezőgazdasági alkalmazásokhoz terveztek. A drón kifejezetten a növényi egészségi állapot értékelésére és monitorozására szolgál. A Mavic 3 Multispectral több szenzorral van felszerelve, amelyek képesek különböző spektrális adatokat érzékelni és gyűjteni a növényekről. Ezáltal lehetővé teszi a gazdálkodóknak és agrárszakembereknek, hogy megbízhatóbban és hatékonyabban értékeljék a talaj- és növényi viszonyokat, és figyeljék a növények egészségét és fejlődését. A drónban található szenzorok között szerepel egy nagyfelbontású RGB kamera a vizuális képek készítéséhez. Emellett a drón rendelkezik multispektrális szenzorokkal is, amelyek a különböző spektrális sávokat képesek érzékelni, mint például közeli infravörös vagy a vörös-él sáv. Ezek a szenzorok lehetővé teszik a növényi indexek (pl. NDVI) kiszámítását és más agráriumspecifikus adatokat. A Mavic 3 Multispectral drón rendkívül pontos és megbízható adatokat nyújt a növények állapotával kapcsolatban. Ez lehetővé teszi a gazdálkodók és agrárintézetek számára, hogy jobban megértsék a növények vízellátását, tápanyagigényét és általános egészségi állapotát. Ennek eredményeként pontosabb agrárium béli döntéseket hozhatnak, optimalizálhatják az öntözést és tápanyagkezelést, valamint korai figyelmeztetést kapnak a betegségek vagy stressz faktorok jelenlétéről (9.ábra).



9. ábra Mérést végző drón, DJI MAVIC 3 multispectral (saját forrás)

A lényeges különbség a két kamera között, hogy az RGB kamera esetében egy 20 MP szenzor Bayer szűrő elven biztosítja a három (RED, GREEN, NIR) sávokat, míg a Multispektrális kamera minden sávhoz külön 5 MP (GREEN, RED, REDEGE, NIR)kamerával rendelkezik (1. táblázat).

1. táblázat kamerarendszerek műszaki adatai [23]

Mavic 3 Multispectral kamerái			
	RGB		Multispektrális
Image Sensor	4/3 CMOS Effective Pixels: 20 MP	Image Sensor	1/2.8-inch CMOS Effective pixels: 5 MP
Lens	FOV: 84° Equivalent focal length: 24 mm Aperture: f/2.8 to f/11 Focus: 1 m to ∞	Lens	FOV: 73.91° (61.2° x 48.10°) Equivalent focal length: 25 mm Aperture: f/2.0 Focus: Fixed Focus
ISO Range	100-6400	Multispectral Camera Band	Green (G): 560 ± 16 nm; Red (R): 650 ± 16 nm; Red Edge (RE): 730 ± 16 nm; Near infrared (NIR): 860 ± 26 nm; Gain Range 1x-32x
Shutter speed	Electronic shutter: 8-1/8000 s Mechanical shutter: 8-1/2000 s	Shutter Speed	Electronic Shutter: 1/30~1/12800 s
Max Image Size	5280×3956	Max Image Size	2592×1944 Image Format TIFF Video Format MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)
Photo Shooting Mode	Single shot: 20 MP Timelapse: 20 MP JPEG: 0.7/1/2/3/5/7/10/15/20/30/60 s JPEG + RAW: 3/5/7/10/15/20/30/60 s Panorama: 20 MP (original material)	Photo Shooting Mode	Single shot: 5 MP Timelapse: 5 MP TIFF: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Video Resolution	H.264: 4K: 3840×2160@30fps FHD: 1920×1080@30fps	Video Resolution	H.264 FHD: 1920 x 1080@30fps Video content: NDVI/GNDVI/NDRE Stream: 60 Mbps
Max Video Bitrate	4K: 130Mbps FHD: 70Mbps	Max Video Bitrate	
Supported File System	exFAT		
Image Format	JPEG/DNG (RAW)		
Video Format	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)		

3.3.Felhasznált programok

A vizsgálataim során több szoftver is alkalmazásra került a megfelelően optimalizált eredmény elérése érdekében.

A repülési feladat tervezését és kivitelezését a DJI Pro távirányítón gyárilag telepített szoftverrel végeztem, ügyelve a készítendő képek megfelelő átfedésére. Minden repülési időpontban az adott tervet használtam, a repülési magasságot 40, 80 és 120 méterben szabtam meg, a sebességet 2.5 m/mp, a kép készítés intervallumát 5 mp értékekkel állítottam be, a képet átfedését 80%-ra állítottam (10.ábra).



10. ábra DJI Pro repülési terv, 2024.10.30. (saját forrás)

A felvételezés folyamán készült VIS képeken a DXO PhotoLab 5 programmal zajszerűttem (vignettálás, geometriai torzítás, életlenség és kromatikus aberráció). Ebből készültek a vizsgált területről az áttekintő képek.

A két rendszer által készített képeket előválogattam, csak a releváns felvételek kerültek további feldolgozásra.

Következő lépcsőben az Agisoft Mateshape Professional Version 1.6.4 build 102928 (64 bit) verzióját használtam, a képek összefűzésére, módosítására, pontfelhő kialakítására, textúra illesztésére, valamint az ortofotó elkészítésére. Minden felvétel sorozat feldolgozása komoly számítási teljesítményt követelt, így elkészítésük hosszabb időt vett igénybe.

A vegetációs indexek számításához a szabadon hozzáférhető QGIS 3.28-Firenze (64 bit) verzióját használtam. A TIFF állományok betöltése után a raszter kalkulátor funkcióval

készültek el a NDVI, GNDVI, NDRE és VDVI indexek a 2.1. alfejezetben ismertetett képletek alapján, melyből a termőterület (tavaszi árpa) kivágásra került. A terület értékei normalizálásra kerültek, azaz az érték minimum és maximum értékei -1 és +1 közé kerültek beállításra, majd 10 osztályra osztva, hogy a későbbiekben kiértékelhető legyen.

Az így kapott eredményeket a nagy adattömeg miatt első lépcsőben kerekíteni kellett a „Raszterértékek kerekítése” menüpontban, majd a „Raszter réteg egyedi értékek jelentése” menüpont alkalmazásával, letölthető az adathalmaz, HTML fájl formájában, mely a további feldolgozásra alkalmas adatsort biztosít.

Az Excel táblázatkezelő alkalmazásban az adatok további feldolgozásra kerültek, megállapításra került a maximális érték, annak helye az X tengelyen és a félérték szélesség, középérték, szórás érték és az átfedés.

EXIFTOOL [24] programot az EXIF adatok kinyerésére és a Draw.io programot az adatbázis felépítésének ábrázolására használtam.

Spyder(python) 5.5.1 (conda) és SQLite 3.13.1 segítségével alakítottam ki az adatbázist és raktam össze az további elemzésekhez szükséges táblákat, melyeket .csv fájlba mentve használtam fel.

Az adatok feldolgozásához asztali számítógépet használtam a következő konfigurációval: ASUS-PC, 11th Gen Intel(R) Core(TM) i9-11900 @ 2.50GHz processzorral, 64,0 GB (63,8 GB használható) RAM, az operációs rendszer a Windows 11 Pro volt.

Az adatok „kinyerése” a következő parancssori utasítással történt az EXIFTOOL -l(ez egy a sok közül, hiszen az időpontok és magasságok változnak, példa):

```
exiftool -modifydate -createdate -make -model -format -bitpersample -gpstimestamp -gpsdatestamp -version -
imagesource -gpsstatus -altitudetype -gpslatitude -gpslongitude -absolutealtitude -relativealtitude -
gimbalrolldegree -gimbalYawDegree -gimbalPitchDegree -flightRollDegree -flightYawDegree -flightPitchDegree -
flightXSpeed -flightYSpeed -flightZSpeed -camReverse -gimbalReverse -selfData -rtkflag -rtkstdlon -rtkstdlat -
rtkstdhgt -rtkstdhgt -NTRipmountpoint -NTRipreport -NTRiphost -surveyingMode -dewarpFlag -dewarpData -
calibratedFocalLength -calibratedOpticalCenterX -calibratedOpticalCenterY -UTCAtExposure -shuttertype -
cameraserialnumber -captureUUID -relativeopticalcenterX -relativeopticalcenterY -dewarpHmatrix -calibratedHmatrix -
vignettingFlag -vignettingData -LS_type -LS_status -package_idx -cfg_cnt -rawdata -bandname -bandfreq -irradiance -
sensorgain -exposureTime -sensorGainAdjustment -sensorindex -blacklevel -droneID -T -n -csv -ext TIF E:\M3M\DJII_
202404111222_001_Arpa40\TIF >E:\M3M\DJII_202404111222_001_Arpa40\TIF\2024_04_12_40m_exif_out.csv
```

A kapott adatokat .csv fájlalba mentettem, elhelyeztem őket az adatfájlok között, melyek a eredeti_exif mappába kerültek mentésre.

Adatbázis fájl összeállítás:

Az előző lépésben kapott EXIF fájlokat betöltve az eredeti_exif mappából, szám szerint 12, Python (Spyder) segítségével fűztem egybe és töröltem felesleges oszlopokat. melyek nem tartalmaztak adatot vagy nem relevánsat, szám szerint 31 db oszlop került törlésre.

A következő Python kóddal (exif_tiszt_adv_batch.py; 11.ábra) :

```
1 import pandas as pd
2 import glob
3 import os
4
5 # CSV fájlok beolvasása
6 csv_files = glob.glob('E:/GDE_kepzes/Adatbazisok/projekt_feladat/eredeti_exif/*.csv')
7
8 # Kimeneti könyvtár
9 output_dir = 'E:/GDE_kepzes/Adatbazisok/projekt_feladat/modositott_exif/'
10
11 if not os.path.exists(output_dir):
12     os.makedirs(output_dir)
13
14 for file in csv_files:
15
16     # CSV fájl beolvasása
17     df = pd.read_csv(file)
18
19     # Felesleges oszlopok törlése
20     df = df.drop(columns=['ModifyDate', 'Make', 'Format', 'bitpersample', 'gpstimestamp', 'gpsdatestamp',
21
22     # A módosított adatokat egy új CSV fájlba írja
23     output_file = os.path.join(output_dir, 'm_' + os.path.basename(file))
24     df.to_csv(output_file, index=False)
```

11. ábra EXIF adatok tisztítása Python kóddal

A Python kód a módosított fájlokat a „modositott_exif” mappába mentette, -csv formátumban. Az adattisztítás ellenőrizve létrehoztam a megfelelő táblát ügyelve az adattípusok helyességére és feltöltöttem az SQLite-ba, Python kód segítségével, mely kapcsolódik a SQLite-hoz, létrehozza az adatbázist, majd feltölti a „modositott_exif”-ben található adatokkal (exif_tiszt_to_DB.py;12.ábra):

```
1 import os
2 import csv
3 import sqlite3
4
5 # Kapcsolódás az adatbázishoz (ha nem létezik, létrehozza)
6 conn = sqlite3.connect('E:/GDE_kepzes/Adatbazisok/projekt_feladat/Berzeht_Marcel_Projekt_feladat.db')
7 cursor = conn.cursor()
8
9 # Tábla létrehozása
10 cursor.execute("""
11 CREATE TABLE IF NOT EXISTS exif_adatok_projekt (
12     id INTEGER PRIMARY KEY,
13     SourceFile TEXT,
14     CreateDate TEXT,
15     Model TEXT,
16     GpsStatus TEXT,
17     GPSLatitude REAL,
18     GPSLongitude REAL,
19     RelativeAltitude REAL,
20     GimbalRollDegree REAL,
21     GimbalYawDegree REAL,
22     GimbalPitchDegree REAL,
23     FlightRollDegree REAL,
24     FlightYawDegree REAL,
25     FlightPitchDegree REAL,
26     FlightXSpeed REAL,
27     FlightYSpeed REAL,
28     FlightZSpeed REAL,
29     DewarpFlag INTEGER,
30     DewarpData TEXT,
31     CameraSerialNumber TEXT,
32     CaptureAZID TEXT,
33     DewarpMatrix TEXT,
34     CalibratedMatrix TEXT,
35     VignettingFlag INTEGER,
36     VignettingData TEXT,
37     Package_idx INTEGER,
38     RawData TEXT,
39     BandName TEXT,
40     BandFreq REAL,
41     Irradiance REAL,
42     SensorData REAL,
43     ExposureTime REAL,
44     sensorOffsetAdjustment REAL,
45     SensorIndex INTEGER,
46     BlackLevel REAL,
47     DroneID TEXT
48 )
49 """)
50
51 # Mappa előresi útja, tábla feltöltése .csv file adatokkal
52 folder_path = 'E:/GDE_kepzes/Adatbazisok/projekt_feladat/modositott_exif/'
53 for filename in os.listdir(folder_path):
54     if filename.endswith('.csv'):
55         with open(os.path.join(folder_path, filename), 'r') as file:
56             reader = csv.DictReader(file)
57             for row in reader:
58                 cursor.execute("""
59 INSERT INTO exif_adatok_projekt (
60     SourceFile, CreateDate, Model, GpsStatus, GPSLatitude, GPSLongitude, RelativeAltitude,
61     GimbalRollDegree, GimbalYawDegree, GimbalPitchDegree, FlightRollDegree, FlightYawDegree,
62     FlightPitchDegree, FlightXSpeed, FlightYSpeed, FlightZSpeed, DewarpFlag, DewarpData,
63     CameraSerialNumber, CaptureAZID, DewarpMatrix, CalibratedMatrix, VignettingFlag,
64     VignettingData, Package_idx, RawData, BandName, BandFreq, Irradiance, SensorData,
65     ExposureTime, sensorOffsetAdjustment, SensorIndex, BlackLevel, DroneID
66 ) VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?)
67 """)
```

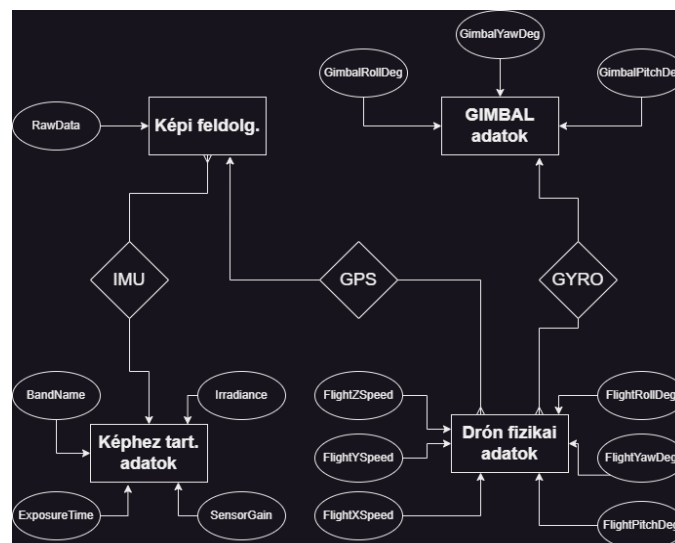
```

67         """
68         row.get('SourceFile'),
69         row.get('CreateDate'),
70         row.get('Model'),
71         row.get('GpsStatus'),
72         row.get('GPSLatitude'),
73         row.get('GPSLongitude'),
74         row.get('RelativeAltitude'),
75         row.get('GimbalRollDegree'),
76         row.get('GimbalYawDegree'),
77         row.get('GimbalPitchDegree'),
78         row.get('FlightRollDegree'),
79         row.get('FlightYawDegree'),
80         row.get('FlightPitchDegree'),
81         row.get('FlightXSpeed'),
82         row.get('FlightYSpeed'),
83         row.get('FlightZSpeed'),
84         row.get('DewarpFlag'),
85         row.get('DewarpData'),
86         row.get('CameraSerialNumber'),
87         row.get('CaptureUUID'),
88         row.get('DewarpHMatrix'),
89         row.get('CalibratedHMatrix'),
90         row.get('VignettingFlag'),
91         row.get('VignettingData'),
92         row.get('Package_idx'),
93         row.get('RawData'),
94         row.get('BandName'),
95         row.get('BandFreq'),
96         row.get('Irradiance'),
97         row.get('SensorGain'),
98         row.get('ExposureTime'),
99         row.get('sensorGainAdjustment'),
100        row.get('SensorIndex'),
101        row.get('BlackLevel'),
102        row.get('DroneID')
103    ))
104    conn.commit()
105
106    # Kapcsolat lezárása

```

12. ábra Adatbázisba betöltés Python kód

Az EXIF adathalmaz nem teljesen átlátható, illetve nem volt egyértelmű, mely adatok tudnak hasznosak lenni a további vizsgálatokhoz, ezért egy folyamat/kapcsolati ábrát állítottam össze az összefüggések felismeréséhez és a jobb átláthatósághoz(13.ábra).



13. ábra Adatkapcsolati folyamatábra , (saját forrás)

Ezen folyamatábra segítségével jelentősen egyszerűbb volt a további vizsgálatokhoz szükséges és hasznos adatok megtalálása és felhasználása.

4.Eredmények és értékelésük

4.1.Vizsgált indexek bemutatása

A vizsgálathoz használt eszközök műszaki adottságai alapján az NDVI, GNDVI, NDRE diszkrét sávokból képezhető indexek kerültek kiszámításra, melyek a nem-diszkrét sávokból képzett VDMI indexel hasonlítók össze, az elérhető spektrális sávokat táblázatban foglaltam össze (2.táblázat).

2. táblázat A vizsgált kamerák sáv kiosztásának adatai [4]

Spektrális sávok	Mavic 3 Multispectral	
	sávközép	sávszélesség
	nm	
KÉK	450	±16
ZÖLD	560	±16
VÖRÖS	650	±16
VÖRÖSÉL	730	±16
KÖZELI INFRAVÖRÖS	860	±26

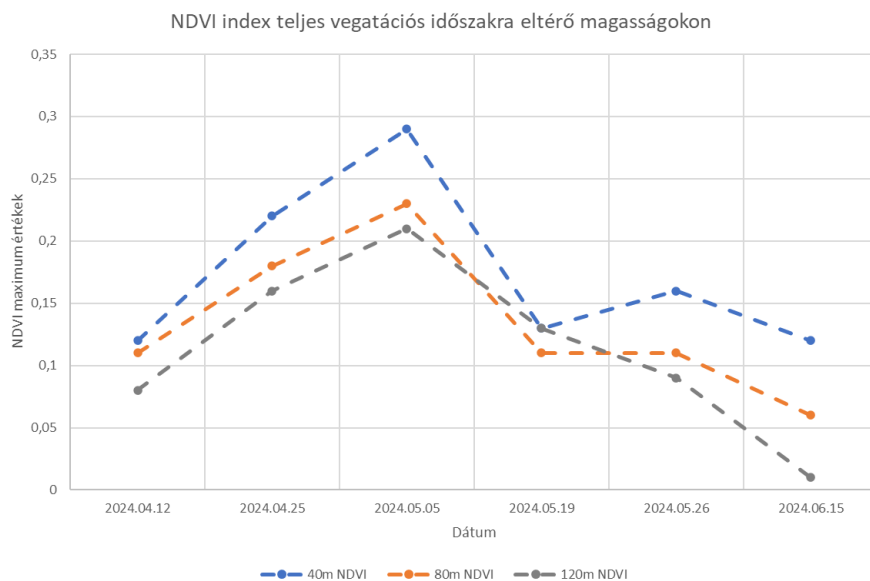
A felvételezés a teljes vegetációs időszakot magába foglalta, azaz kora tavasztól az aratás előtti hétig.

Az elemzések pontos megjelenítése során az egyes pontokat szaggatott vonallal kötöttem össze, melyet a későbbiekben „görbeként” használok.

4.2.NDVI indexre vonatkozó eredmények

Index értékei is normalizáltak, azaz -1 és +1 közötti értéket vehet fel. A növényi index azt jelzi, hogy a nullához közelítve a növény egészségi állapota romlik, míg az 1-hez közelítve a növény egészségesnek tekinthető.

A 14.ábrán látható a növényzet, a zöldtömeg növekedésével, emelkedik, majd május derekát követően ismét süllyedni kezd, azaz elindult az érési folyamat. Júliusban pedig ellaposodik. Jellegében minden magasságon azonos képet mutat.



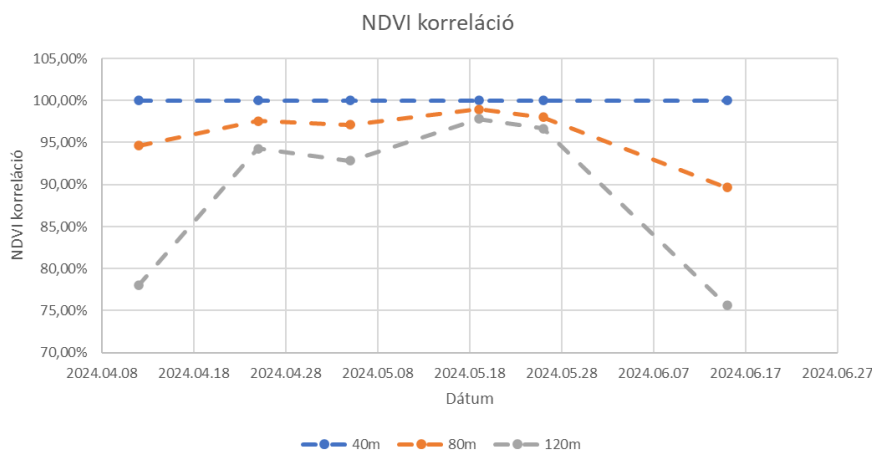
14. ábra NDVI index különböző magasságokon való összehasonlítása

A vegetációs időszak végén megállapítható, hogy jelentősebb mértékben válnak el, míg a hosszabb csapadék mentes májusi időszakban közelítenek egymáshoz.

3. táblázat NDVI indexek korrelációja

NDVI	2024.04.12	2024.04.25	2024.05.05	2024.05.19	2024.05.26	2024.06.15	Átlag
40m	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
80m	94,64%	97,54%	97,10%	98,95%	98,00%	89,67%	95,98%
120m	78,00%	94,27%	92,81%	97,79%	96,65%	75,64%	89,19%

A korreláció átlagtól való eltérése 11%-on belül van, míg a maximális érték a vegetációs időszak végén megközelíti a 25%-t, ahogy ez a 3. táblázat, 2024.06.15 oszlopában és szemléletesebben a 15. ábrán látható.



15. ábra NDVI indexek korrelációja a teljes vegetációs időszak alatt

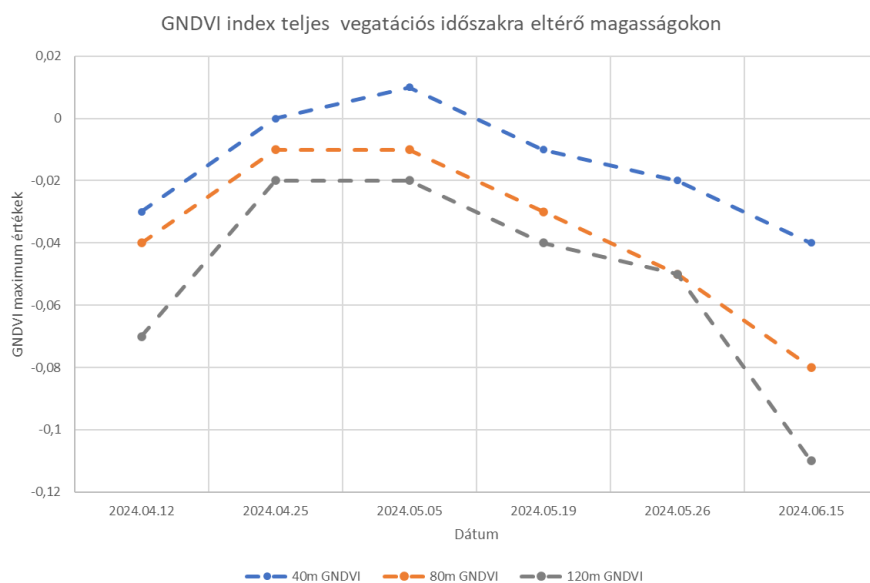
Jelentős az eltérés a 40 és 120 méteres mérésnél az első és az utolsó adatsorban.

4.3.GNDVI index vonatkozó eredmények

Index értékei is normalizáltak, azaz -1 és +1 közötti értéket vehet fel.

Ahogy a 16.ábrán látható a növényzet, a zöldtömeg növekedésével, május elejéig növekednek az értékek, majd május derekát követően ismételen csökkenni kezdenek, azaz elindult az érési folyamat. Júliusban pedig elérik legalacsonyabb értéküket, hiszen a zöld tömeg szinte megszűnik az árásban.

Az NDVI görbékhez hasonlítva itt a görbék íve kiegyensúlyozottabb, a fenológiai fázisok hasonlóan követhetők, a görbe csúcsosodásával az élőtömeg változása is jól nyomon követhető.



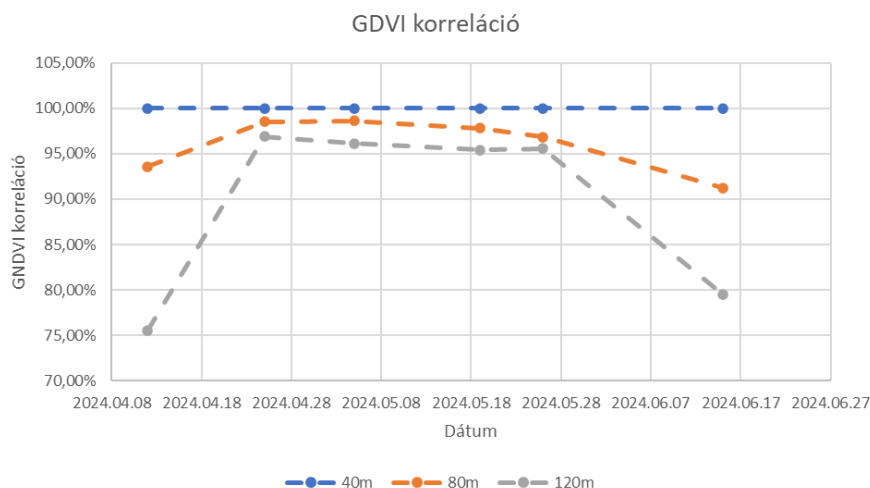
16. ábra GNDVI indexek korrelációja a teljes vegetációs időszak alatt

A különböző magassági értékek a vegetációs időszak elején és végén válnak el nagyobb mértékben, mint azt a NDVI indexnél is megfigyeltük, míg a hosszabb csapadék mentes időszakban közelítenek itt is egymáshoz (16.ábra).

4. táblázat GNDVI indexek korrelációja

GNDVI	2024.04.12	2024.04.25	2024.05.05	2024.05.19	2024.05.26	2024.06.15	Átlag
40m	100,00%	100,00%	100,0%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
80m	93,56%	98,54%	98,6%	97,83%	96,84%	91,26%	96,11%
120m	75,55%	96,90%	96,1%	95,41%	95,58%	79,51%	89,84%

A korreláció a vizsgált időszak közepén 3-5% eltérést mutat, míg a maximális eltérési értéket a vegetációs időszak elején megközelíti, mely eléri a 25%-ot (4-táblázat).



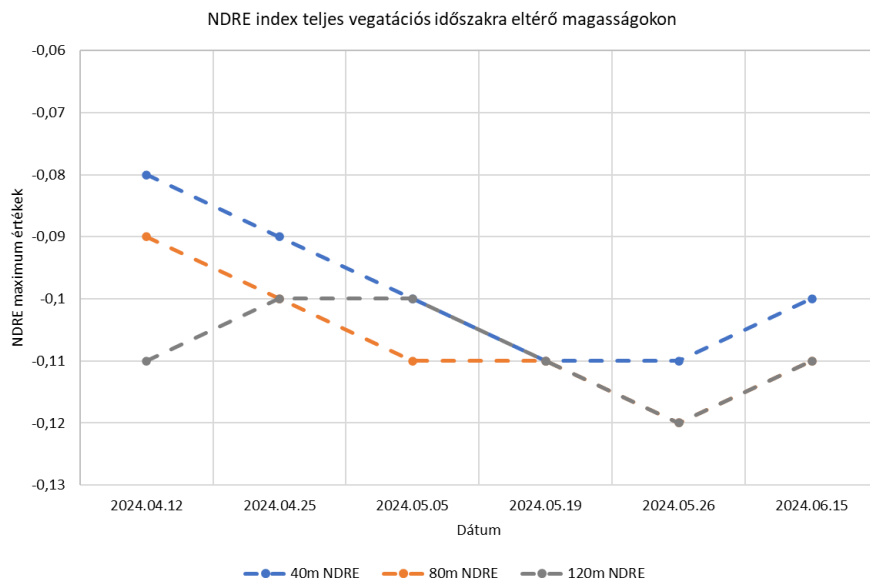
17. ábra GNDVI index korreláció teljes vegetációs időszak alatt

Jelentős az eltérés a 40 és 120 méteres mérésnél, az első (24,45%) és az utolsó (20,49%) időpontban, mely nagyobb mértékű az elején, vélhetően a kevesebb zöld tömeg miatt.

4.4.NDRE index vonatkozó eredmények

Index a szakirodalomban említettek szerint a vegetációs időszak második felében mutat helytállóbb adatokat, nem hajlamos telítődésre, értékei normalizáltak, azaz -1 és +1 közötti értéket vehet fel. Röviden összefoglalva a nullához közelítve a növény egészségi állapota romlik, míg az 1-hez közelítve egészséges.

Ahogy a 18.ábrán látható a növényzetre jellemző adatokat csak a 120 méteren mért paraméterek adnak és itt is megfigyelhető a csapadékmentes hosszú időszak jelensége.



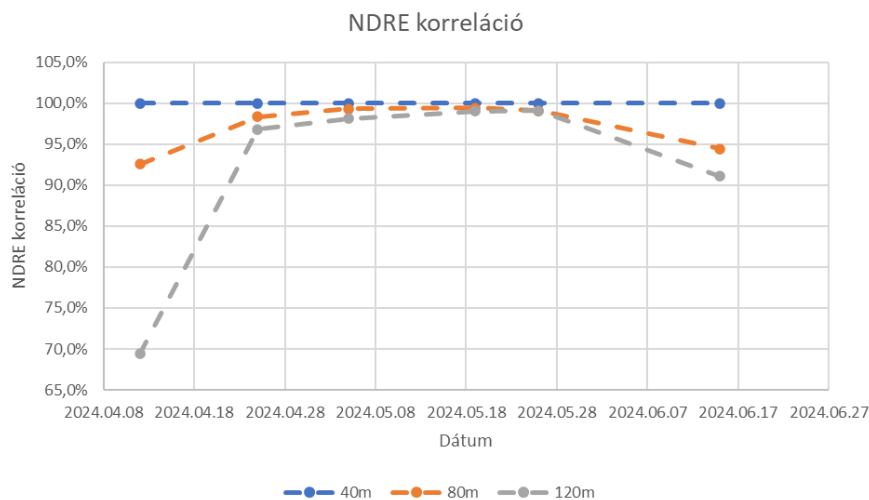
18. ábra NDVI és VDMI index átfedése a teljes vegetációs időszak alatt

Az eddigi vizsgált görbék közül a legellentmondásosabb, csak az első időpontban figyelhető meg hasonló jelenség, nem koherens adatok.

5. táblázat NDRE indexek korrelációja

NDRE	2024.04.12	2024.04.25	2024.05.05	2024.05.19	2024.05.26	2024.06.15	Átlag
40m	100,0%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
80m	92,6%	98,33%	99,31%	99,45%	99,11%	94,45%	97,20%
120m	69,4%	96,81%	98,14%	99,05%	99,06%	91,10%	92,26%

A korreláció a vizsgált időszak közepén 1-3% eltérést mutat, míg a maximális eltérési értéket a vegetációs időszak elején megközelíti, mely eléri a 30%-ot (3.táblázat).



19. ábra NDRE index korreláció teljes vegetációs időszak alatt

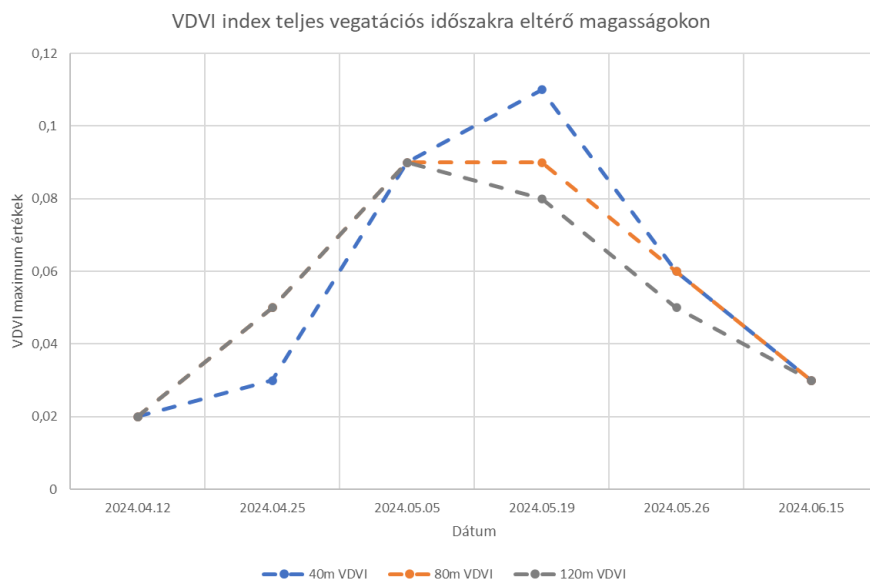
Jelentős az eltérés a 40 és 120 méteres mérésnél az első időpontban (30,6%), mely nagyobb mértékű az elején, vélhetően a kevesebb zöld tömeg miatt (19.ábra).

4.5.VDVI index vonatkozó eredmények

Index értékei is normalizáltak, azaz -1 és +1 közötti értéket vehet fel és a nullától jobbra haladva a növény egészsége javul, növekszik.

Hasonlóan a NDVI indexhez itt is nyomon követhető a 20.ábrán a növény fenológiai fázisai, az értékek nem mutatnak szignifikáns eltéréseket a különböző magasságokon, ez látszik a görbék alakján.

Majd május derekától itt is vissza rendeződik, csökken, azaz elindult az érési folyamat. Júniusban teljesen ellaposodik, itt a görbék lefolyása nem teljesen egyezik a diszkrét sávokból generált görbékkel, itt határozottan összetartanak. Nagyon érzékenységet mutat a csapadékhiányosabb időszakokban, vélhetően a RGB (zöld) sáv algoritmusa miatt (20.ábra).



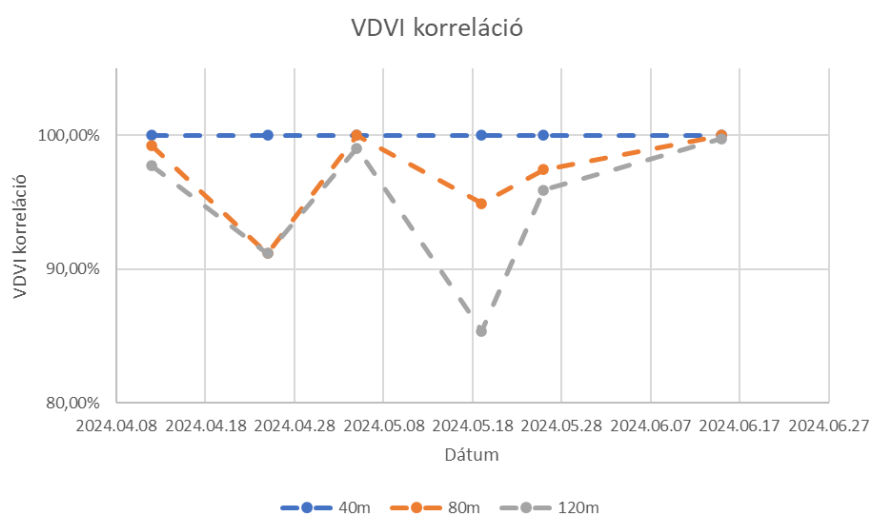
20. ábra NDVI és VDVI indexek középérték vizsgálata

Az összes vizsgált index közül a legkoherensebb, kisebb eltérésekkel. Hasonló jellegű az NDVI-hoz. Értékei tükrözik a fenológiai fázisokat.

5. táblázat NDRE indexek korrelációja

VDVI	2024.04.12	2024.04.25	2024.05.05	2024.05.19	2024.05.26	2024.06.15	Átlag
40m	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,0%	100,00%	100,00%
80m	99,22%	91,18%	100,00%	94,89%	97,4%	100,00%	97,12%
120m	97,72%	91,18%	99,04%	85,35%	95,9%	99,74%	94,82%

A korreláció ezen esetben mutat nagyon közeli értékeket, szinte 5% belül marad, az átlagos szórás és nem haladja meg a 15%-t a maximum sem (5.táblázat).



21. ábra VDV index teljes vegetációs időszak alatt

Az értékek eltérése ~10%-on belül marad, megfigyelhető, hogy a két csapadék mentes időszakban (4. és 5.hó közepe) a 80 és 120 méteres görbék elválnak egymástól (21.ábra).

Mivel a diszkrét indexeknél megfigyelhető volt, szinten minden esetben, hogy az első és az utolsó időpontban a értéket jelentősen különböznek, akár 25%-al is eltérnek egymástól, így további vizsgálatokat végeztem a TIF állomány EXIF adatai segítségével.

4.6.Irradiancia és entrópia adatok vizsgálata

A kutatásaim során a vegetációs időszak elején és végén megvizsgáltam, hogy mi okozza a ilyen mértékű eltérést a vegetációs görbénél.

Három tényezőt vizsgáltam meg, hogy tisztábban láthassunk az ok-okozat szempontjából.

1., Szoftver frisitések érinthettek-e olyan paraméter változást ,mely befolyásolta volna a képi adatokat. A Release Note-k átvizsgálva nem történt ilyen változtatás [27]

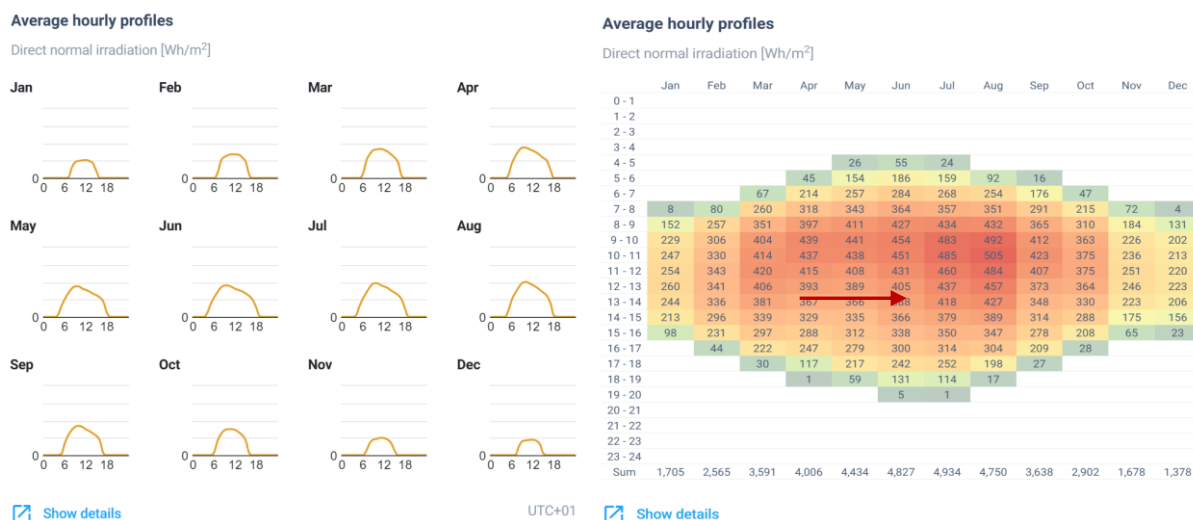
2., A nap beesési szöge okozhatta-e, ehhez segítségük vettem a NOAA intézet, ingyenesen letölthető excel kalkulátorát [25] , melyel az adott helyszín koordinátaira és időpontokra kiszámoltam a napi adatokat .

6. táblázat Nap beesési szögei a felmérések időpontjában [6]

Date	Time (past local midnight)	Solar Zenith Angle (deg)	Solar Elevation Angle (deg)	Atmospheric Refraction (deg)	Elevation corrected for atm refraction	Azimuth Angle (deg cw from N)
2024.04.12	12:30:00	39,45353	50,54647	0,013271	50,55974	197,7438
2024.04.25	12:30:00	35,22712	54,77288	0,011389	54,78427	200,5494
2024.05.05	12:30:00	32,35462	57,64538	0,010219	57,6556	202,5091
2024.05.19	12:30:00	29,01423	60,98577	0,008948	60,99472	204,5825
2024.05.26	12:30:00	27,68772	62,31228	0,008466	62,32074	205,1929
2024.06.15	12:30:00	25,38622	64,61378	0,007656	64,62144	205,0168

Ahogy a 6. táblázatban látszik a vegetációs időszak előrehaladtával a beesési szög növekedett, melyet általános tanulmányainkból és tapasztalatainkból is tudunk, így nem esik egybe a vizsgálandó jelenséggel, azaz a vizsgált időszak végén nem csökken.

3., A besugárzás energia mennyisége lehet-e okozója, itt nem találtam szabadon elérhető napi mérési adatok, így csak a Global Solar Atlas online kalkulátorát tudtam használni [6] az adott helyszín és időpontokra érvényes átlag számok megjelenítésére (22.ábra).



22. ábra DNI(direct normal irradiation) éves viszonylatban a felmérés helyszínén [26]

7. táblázat Átlagos napenergia a vizsgált időszakban [7]

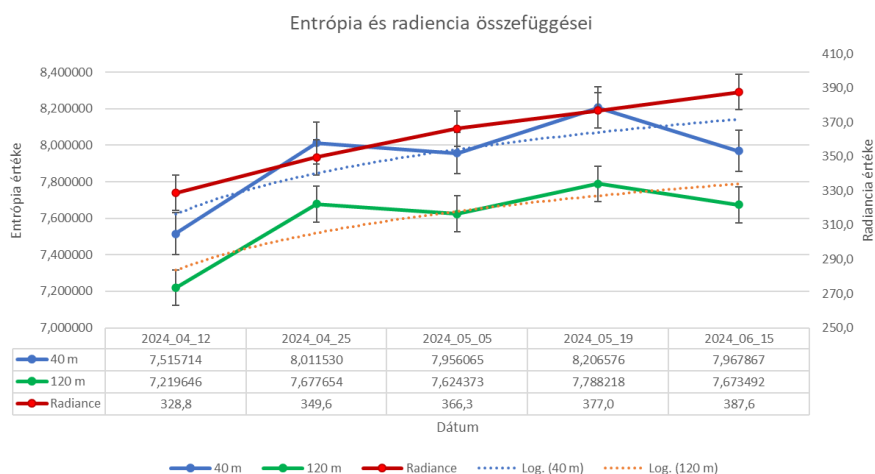
Date	12 óra	13 óra	DNI (direct normal irradiation) Wh/m2
2010.04.12	393,4	328,8	361,1
2010.04.25	393,4	328,8	361,1
2010.05.05	388,6	366,3	377,45
2010.05.19	388,6	366,3	377,45
2010.05.26	388,6	366,3	377,45
2010.06.15	404,6	387,6	396,1

Ahogy a 7.táblázatban látszik az vegetációs időszak előrehaladtával a besugárzási energia növekedett, így itt sem esik egybe a vizsgálandó jelenséggel, azaz a vizsgált időszak végén nem csökken.

8. táblázat Entropia vizsgálat eredményei

File name	SFD DSR Number	SFD DSR Number	EW-SFD DSR N	EW-SFD DSR N	SFD DSR Number	EW-SFD DSR Number	SFD DSR Number	EW-SFD DSR Number	Entropia
Arpas_2024_04_12_120m_VIS_vagott copy.tif_n1-3	2,2245296	1,842556	1,68304	1,50001	2,2245296	1,683042786	2,2245296	1,683042786	7,219646
Arpas_2024_04_12_40m_VIS_vagott copy.tif_n1-3	2,4822772	2,0396477	1,93283	1,69553	2,4822772	1,932827883	2,4822772	1,932827883	7,515714
Arpas_2024_05_05_120m_VIS_vagott copy.tif_n1-4	2,3775107	1,9524541	1,73666	1,54629	2,3775107	1,736657005	2,3775107	1,736657005	7,624373
Arpas_2024_05_05_40m_VIS_vagott copy.tif_n1-3	2,5044704	2,0629799	1,87177	1,68063	2,5044704	1,871765308	2,5044704	1,871765308	7,956065
Arpas_2024_06_15_120m_VIS_vagott copy.tif_n1-4	2,4109708	1,9798186	1,79817	1,58807	2,4109708	1,798168935	2,4109708	1,798168935	7,673492
Arpas_2024_06_15_40m_VIS_vagott copy.tif_n1-3	2,578106	2,1184939	2,08423	1,80565	2,578106	2,084231891	2,578106	2,084231891	7,967867

Ahogy a fenti 8. táblázatban is látszik az Entrópia a magasság függvényében változik, azaz közelebb a talajhoz magasabb, míg távolabb ezen érték csökken, haladva a nap-éj egyelőség időpontja felé növekedés figyelhető meg.



23. ábra Entrópia és a radiancia összefüggései

A fenti 23.ábrán látható, hogy a radiancia értékének a növekedésével a képek entrópiája, azaz adattartalma is növekszik, mind 40 és 120 méteren. Itt nem lelhető fel a keresett eltérés a kezdeti és a vegetációs időszak közepén tapasztalt különbségekre.

4.7.EXIF adatok vizsgálata

Miután megvizsgáltam és nem találtam a jelenségre utaló jelet az összefűzött képeken, így az EXIF adatokban megtalálható RawData (diszkrét érzékelő szenzorok nyers adatai) halmazon is entrópiát számoltam Python kód segítségével, melyek adatait, visszatöltöttem az entropia_adatok táblába (Raw_data_entropia_DB.py) (24.ábra), az adatok pontos értelmezésében a DJI Mavic 3M képfeldolgozási útmutató komoly segítséget nyújtott [28] :

```
1 import sqlite3
2 import math
3
4 # Kapcsolódás az adatbázishoz
5 conn = sqlite3.connect('E:\GDE_kepzes\Adatbazisok\projekt_feladat\Berzseki_Marcel_Projekt_feladat.db')
6 cursor = conn.cursor()
7
8 # Adatok lekérdezése és csoportosítása BandName, datum és magasság szerint
9 cursor.execute("""
10 SELECT BandName, GROUP_CONCAT(RawData, ' ') AS concatenated_values, SourceFile
11 FROM exif_update
12 WHERE SourceFile LIKE '%20240412%' AND SourceFile LIKE '%40m%'
13    OR SourceFile LIKE '%20240412%' AND SourceFile LIKE '%120m%'
14    OR SourceFile LIKE '%20240505%' AND SourceFile LIKE '%40m%'
15    OR SourceFile LIKE '%20240505%' AND SourceFile LIKE '%120m%'
16 GROUP BY BandName, SourceFile
17 """)
18 rows = cursor.fetchall()
19
20 # Új tábla létrehozása, ha még nem létezik
21 cursor.execute("""
22 CREATE TABLE IF NOT EXISTS entropia_ertekek (
23     id INTEGER PRIMARY KEY,
24     BandName TEXT,
25     datum TEXT,
26     magassag TEXT,
27     entropy REAL
28 )
29 """)
30
31 # Entrópia kiszámítása és beszúrása az új táblába
32 for row in rows:
33     band_name = row[0]
34     concatenated_values = row[1]
35     source_file = row[2]
36
37     # Dátum és magasság kinyerése a SourceFile-ből
38     if '20240412' in source_file and '40m' in source_file:
39         datum = '20240412'
40         magassag = '40m'
41     elif '20240505' in source_file and '40m' in source_file:
42         datum = '20240505'
43         magassag = '40m'
44     elif '20240412' in source_file and '120m' in source_file:
45         datum = '20240412'
46         magassag = '120m'
47     elif '20240505' in source_file and '120m' in source_file:
48         datum = '20240505'
49         magassag = '120m'
50
51     values = concatenated_values.split()
52     value_counts = {value: values.count(value) for value in set(values)}
53     total_count = len(values)
54
55     entropy = 0
56     for count in value_counts.values():
57         probability = count / total_count
58         entropy -= probability * math.log2(probability)
59
60     cursor.execute("INSERT INTO entropia_ertekek (BandName, datum, magassag, entropy) VALUES (?, ?, ?, ?)", (band_name, datum, magassag, entropy))
61
62 conn.commit()
63 conn.close()
```

24. ábra EXIF adatok RawData adatainak entrópia számítása Python kód

Ahogy az alábbi 9. táblázatban is látszik az adatartalom a magasság függvényében változik, azaz közelebb a talajhoz magasabb, míg távolabb ezen érték csökken, de a vizsgálat tárgyát képző jelenségre nem ad magyarázatot, hiszen az azonos magasságokat az értékek minden vizsgálati időpontban közel azonosak. Így nem az RawData adattartalmában keresendő a hiba.

9. táblázat RawData adatok entrópiája

id	BandName	datum	magassag	entropy
Fil...	Filter	Filter	Filter	Filter
1	Green	20240412	120m	7.46921412997007
2	Green	20240412	40m	10.3074233142724
3	Green	20240505	120m	7.45851976299633
4	Green	20240505	40m	10.3697141248163
5	NIR	20240412	120m	7.46921412997007
6	NIR	20240412	40m	10.3074233142724
7	NIR	20240505	120m	7.45851976299633
8	NIR	20240505	40m	10.3697141248163
9	Red	20240412	120m	7.46921412997007
10	Red	20240412	40m	10.3074233142724
11	Red	20240505	120m	7.45851976299633
12	Red	20240505	40m	10.3697141248163
13	RedEdge	20240412	120m	7.46921412997007
14	RedEdge	20240412	40m	10.3074233142724
15	RedEdge	20240505	120m	7.45851976299633
16	RedEdge	20240505	40m	10.3697141248163

Megvizsgáltam, hogy a sebességi adatok mutatnak-e hasonló jellegű eltérést. 5 időpontban, két magasságban összesítettem az adatokat (magasság, X és Y sebesség átlaga, minimuma, maximuma) és ezt a sebesseg_magassag_teljes táblába mentettem el (10.táblázat).

10.táblázat Sebességi vektorok adatainak összefoglalása

SourceFile	Mag_atl	Mag_min	Mag_max	SebX_atl	SebX_min	SebX_max	SebY_atl	SebY_min	SebY_max
Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
20240412_120m	120.003614130435	119.863	120.099	-0.228260869565217	-2.4	1.8	0.23695652173913	-1.8	2.4
20240412_40m	39.9966295811518	39.772	40.26	-0.116492146596859	-2.3	1.8	0.100130890052356	-1.9	2.5
20240425_120m	120.005308510638	119.908	120.095	-0.217553191489362	-2.4	1.7	0.272340425531915	-1.8	2.4
20240425_40m	40.0024816753927	39.763	40.306	-0.127683246073298	-2.3	1.8	0.108049738219895	-1.8	2.5
20240505_120m	119.9978	119.794	120.184	-0.24	-2.4	1.8	0.233333333333333	-1.8	2.4
20240505_40m	40.0042723097113	39.74	40.368	-0.11253280839895	-2.3	1.9	0.106758530183727	-1.8	2.6
20240526_120m	120.003972826087	119.822	120.226	-0.239673913043478	-2.4	1.8	0.230978260869565	-1.8	2.4
20240526_40m	39.9975523560209	39.709	40.221	-0.129515706806283	-2.3	1.8	0.1	-1.8	2.4
20240615_120m	120.007967391304	119.883	120.229	-0.228260869565217	-2.4	1.8	0.232608695652174	-1.8	2.4
20240615_40m	40.0070032722513	39.643	40.265	-0.12336387434555	-2.3	1.8	0.104973821989529	-1.8	2.4

Nem volt fellelhető összefüggés a vizsgálat tárgyával.

Ezekután megvizsgáltam a kamera rendszer stabilizáló mechanizmusának adatai is, ahol két időpontban, két magasságban összesítettem az adatokat (dőntés, csűrés, fordulás → átlaga, minimuma, maximuma) és ezt a Gimbal_adatok táblába mentettem el (11.táblázat).

11. táblázat Gimbal kitéréseinek vizsgálata

SourceFile	Dontes_atl	Dontes_min	Dontes_max	Csures_atl	Csures_min	Csures_max	Ford_atl	Ford_min	Ford_max
Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
20240412_120m	-2.39130434782609	-5.9	6.6	0.553260869565217	-7.0	7.8	-24.6891304347826	-163.9	173.4
20240412_40m	-2.34057591623037	-6.4	9.8	0.335602094240838	-16.8	16.0	-36.9467931937173	-178.1	179.1
20240425_120m	-2.04840425531915	-4.8	2.0	-0.396276595744681	-16.1	7.5	-22.7962765957447	-164.2	171.6
20240425_40m	-1.8119109947644	-5.7	11.2	-0.122185863874346	-13.9	14.5	-36.0979712041885	-177.3	178.8
20240505_120m	-1.19222222222222	-8.8	6.2	0.662222222222222	-6.8	12.0	-26.0133333333333	-164.0	178.5
20240505_40m	-1.95551181102362	-8.7	8.3	0.341601049868766	-12.8	18.0	-34.511154855643	-155.1	178.9
20240526_120m	-2.65163043478261	-7.5	6.3	0.481521739130435	-10.0	13.2	-24.6445652173913	-163.8	177.0
20240526_40m	-2.29489528795812	-7.4	11.4	0.388743455497382	-20.5	16.6	-36.0811518324607	-175.6	178.7
20240615_120m	-2.2375	-6.0	1.8	0.677717391304348	-5.1	9.3	-24.8114130434783	-163.8	172.8
20240615_40m	-2.12257853403141	-8.2	9.1	0.344764397905759	-16.9	18.7	-35.97022513089	-179.1	179.8

Itt sem találtam kiugró adatokat, igaz a csűrési adatokban vannak nagyobb ingadozások, ezt vélhetően nagyobb széllel okozhatta, hiszen a másik két adatban nincs ilyen mértékű eltérés, így nagy valószínűséggel, nem a kamera kiegyenlítő mozgása befolyásolta a vizsgált jelenséget.

Továbbiakban megvizsgáltam, hogy a Irradiance értékek, azaz a beépített algoritmus által generált korrekciót, okozhathatta-e a jelenséget, ahol öt időpontban, két magasságban és sávonként (zöld, vörös, vörös-él, közeliinfravörös) összesítettem az adatokat (Irradiance, SensorGain, ExposureTime átlaga, minimuma, maximuma) és ezt a Irradiance_Sens_Gain_Exposure táblába mentettem el.

12. táblázat Irradiance, SensorGain vizsgálata 40 méteren

40m				SensorGain			ExposureTime			
04_12		átlag	Irradiance min	max	átlag	min	max	átlag	min	max
	Green	15 706,58	14 793,71	16 205,64	1,012699	1	1,0610	0,001210	0,001000	0,002000
	NIR	11 204,58	10 721,17	11 448,22	1,012194	1	1,0610	0,001584	0,001250	0,002000
	Red	13 593,27	12 816,65	14 012,61	1,013628	1	1,0550	0,000884	0,000667	0,001563
	RedEdge	11 350,32	10 785,63	11 629,52	1,015848	1	1,0550	0,001408	0,001250	0,002000
					1,013592		1,0580			
40m										
04_25	Green	16 914,40	4 702,64	20 010,00	1,129065	1	2,8430	0,001334	0,001000	0,002000
	NIR	12 036,51	2 704,29	14 378,64	1,183814	1	3,1010	0,001387	0,001000	0,002000
	Red	14 662,93	3 558,12	17 549,34	1,151880	1	3,7890	0,001230	0,000800	0,002000
	RedEdge	12 665,42	2 993,07	15 171,44	1,155992	1	2,9530	0,001267	0,001000	0,002000
					1,155188		3,1715			
40m										
05_05	Green	17 870,43	4 221,85	18 895,56	1,022247	1	1,8530	0,001149	0,001000	0,002000
	NIR	12 557,94	1 891,93	13 177,02	1,027690	1	2,3520	0,001058	0,001000	0,002000
	Red	15 371,32	2 909,02	16 246,55	1,024646	1	2,1220	0,001151	0,000800	0,002000
	RedEdge	12 786,76	2 148,57	13 454,31	1,022302	1	2,2160	0,001066	0,001000	0,002000
					1,024221		2,1358			
40m										
05_19	Green	8 527,90	5 614,60	24 352,45	1,581351	1	2,8740	0,001937	0,001000	0,002000
	NIR	6 788,51	4 799,11	19 387,58	1,195500	1	1,5500	0,001903	0,000800	0,002000
	Red	7 125,10	4 579,80	21 685,39	1,692298	1	4,6540	0,001907	0,000800	0,002000
	RedEdge	6 365,66	4 312,47	18 690,27	1,417801	1	2,1110	0,001926	0,001000	0,002000
					1,471738		2,7973			
40m										
05_26	Green	14 046,10	5 589,63	22 293,56	1,467602	1	3,5310	0,001604	0,000800	0,002000
	NIR	9 955,00	3 633,95	16 166,26	1,368770	1	2,4970	0,001513	0,000800	0,002000
	Red	11 855,80	4 291,76	19 277,55	1,610631	1	4,8340	0,001560	0,000667	0,002000
	RedEdge	9 847,76	3 559,72	16 072,76	1,489105	1	3,2200	0,001562	0,001000	0,002000
					1,484027		3,5205			
40m										
06_15	Green	19 354,82	19 104,60	19 666,78	1,016390	1	1,1950	0,001268	0,000800	0,002000
	NIR	13 271,03	13 135,69	13 630,95	1,017565	1	1,0610	0,001365	0,000800	0,001563
	Red	16 539,60	16 302,19	16 758,32	1,023579	1	1,5670	0,001017	0,000667	0,002000
	RedEdge	13 634,59	13 491,08	13 906,01	1,015047	1	1,0550	0,001321	0,001000	0,002000
					1,018145		1,2195			

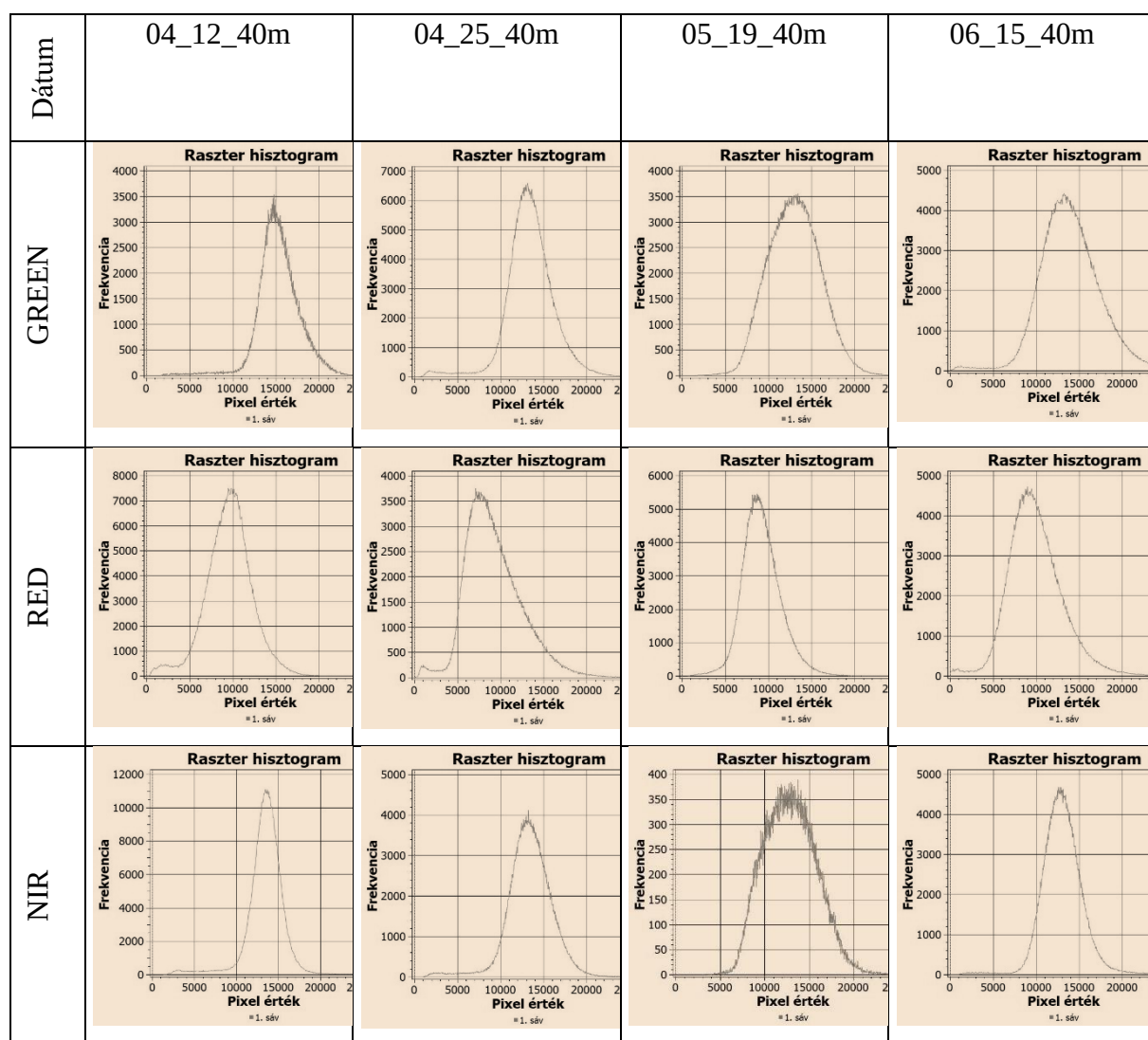
Itt már megfigyelhető, hogy a vegetációs időszak közepén, az első és utolsó mérést kivéve a SensorGain átlag is jelentősen megemelkedik 2024.04.19 – 2024.05.26 -ig, 1,013 (1,018) helyett akár 1,48 és a maximum értéket ugyanezen időszakban 1,058 (1,2195) helyett akár 3,52

értéket is eléri 40méteren. Így ezen paraméter már rámutat, hogy a korrekció hatással van a vizsgált eredményre, míg 120 méteren ez nem figyelhető meg (12.táblázat).

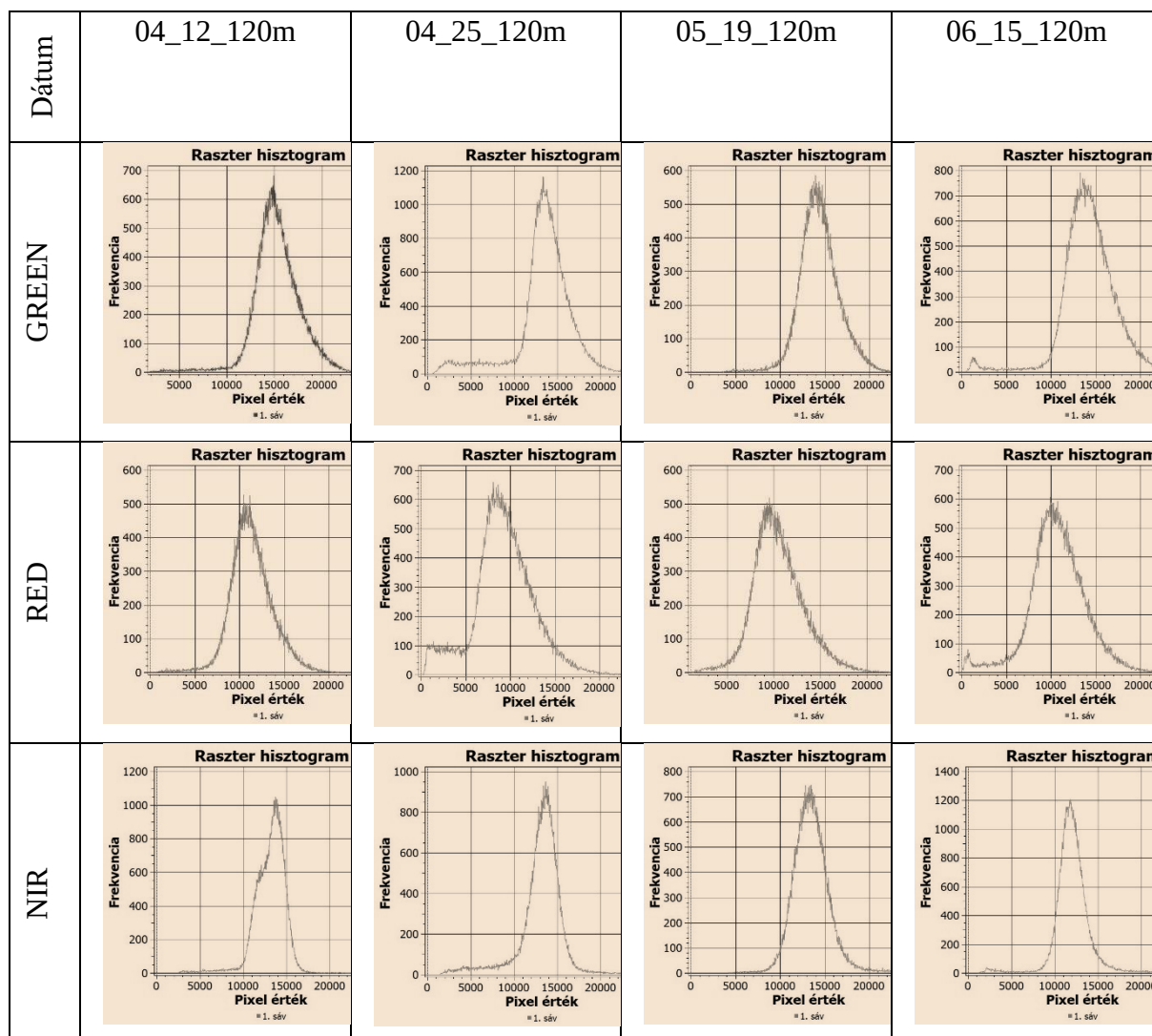
4.8.Sávok hisztogramjának vizsgálata

A következőkben megvizsgáltam az egyes sávok hisztogramját, hogy mutatnak-e összefüggést a imént feltárt SensorGain értékekkel, 40 és 120 méterem.

Ahogy a lenti ábrán látható a SensorGain, ahogy azt a Mavic 3M képfeldolgozási útmutató [28] is említik a NIR értékeihez képez történik meg a kompenzáció, ez az zöld és vörös sávok értékein mindkét magasságon nyomon követhető, illetve 40 méteres értékeken látható, míg a 120 méteres értékeknél nem történik szinte kompenzáció (25.-26-ábra).



25. ábra Diszkrét sávok hisztogramja 40 méteren a vizgál időszakban



26. ábra Diszkrét sávok hisztogramja 120 méteren a vizgál időszakban

A fentiekben feltárt változásoknak jobban utána járva szét választottam a generált és az érzékelt adatokat egy külön táblába, ezen adatokra alapozva megvizsgáltam az érzékelt és az algoritmus által korrigált adatokat, öt időpontban, két magasságban sávonként (összehasonlítva Irradiancia, nyersanyagok (RawData,IMU) átlaga, minimuma, maximuma és a nyers és az algoritmus által módosított radiancia értékek arányát) és ezt az IMU_szerzor_adatok táblába mentettem el.

13.táblázat Irradiance érték és IMU szenzor nyers adatainak vizsgálata

id	SourceFile	BandName	IMU_atlag	IMU_min	IMU_max	Irradiance_atlag_arany
Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter	Filter
181	20240412_120m	Green	13689.5	11539.0	16033.0	116.151451842653
1229	20240412_40m	Green	13558.8219895288	8161.0	16505.0	116.276849214302
1713	20240425_120m	Green	14570.8085106383	10744.0	16635.0	124.447075031979
2945	20240425_40m	Green	13621.1989528796	3379.0	18796.0	142.323792986679
3505	20240505_120m	Green	16012.8444444444	13902.0	17966.0	113.437903322055
4413	20240505_40m	Green	15514.0498687664	3895.0	18553.0	119.610534689325
5313	20240519_120m	Green	16057.5217391304	8585.0	21158.0	140.457614608351
6797	20240519_40m	Green	7414.19371727749	4882.0	21931.0	328.457117909542
7025	20240526_120m	Green	17930.0869565217	10042.0	20257.0	115.204884672836
8553	20240526_40m	Green	12356.335078534	4652.0	20955.0	176.651764955128
8661	20240615_120m	Green	17078.9565217391	15413.0	18270.0	114.439555924402
9277	20240615_40m	Green	17239.7434554974	12620.0	18847.0	113.052633586523
182	20240412_120m	NIR	12241.2173913043	10121.0	14352.0	91.5595291033856
1230	20240412_40m	NIR	12237.9528795812	7183.0	15186.0	93.19351947358
1714	20240425_120m	NIR	12985.9574468085	9505.0	14856.0	98.9373024871383
2946	20240425_40m	NIR	12232.7879581152	2455.0	17419.0	115.920320441693
3506	20240505_120m	NIR	14184.9555555556	12207.0	15974.0	89.8529709880421
4414	20240505_40m	NIR	13801.7349081365	2219.0	16401.0	93.4305294647997
5314	20240519_120m	NIR	14602.7173913043	7391.0	19892.0	115.414463954743
6798	20240519_40m	NIR	7498.47643979058	5299.0	22006.0	258.553642938984
7026	20240526_120m	NIR	16181.7173913043	8329.0	18559.0	91.872949208648
7834	20240526_40m	NIR	11093.9214659686	3838.0	19292.0	143.794239475511
8662	20240615_120m	NIR	14853.0434782609	13225.0	15843.0	90.2088654060067
9546	20240615_40m	NIR	14981.3167539267	10953.0	16399.0	88.6141333105475
183	20240412_120m	Red	11472.347826087	9622.0	13504.0	119.655742731104
1231	20240412_40m	Red	11388.7408376963	6670.0	14039.0	120.616933827591
1715	20240425_120m	Red	12229.9787234043	8962.0	14058.0	128.886471158246
2947	20240425_40m	Red	11432.3246073298	2424.0	16065.0	148.831585739709
3507	20240505_120m	Red	13348.0	11570.0	15039.0	117.168901708121
4415	20240505_40m	Red	12953.8818897638	2614.0	15496.0	122.967479058051
5315	20240519_120m	Red	13354.7826086957	6767.0	17966.0	147.410950644615
6799	20240519_40m	Red	6011.25916230367	3865.0	18974.0	360.746133455501
7027	20240526_120m	Red	14927.5652173913	7979.0	16939.0	118.743905934163
8555	20240526_40m	Red	10129.0157068063	3459.0	17574.0	185.672197026633
8663	20240615_120m	Red	14166.0	12772.0	15174.0	118.002449527037
9279	20240615_40m	Red	14309.835078534	10390.0	15651.0	116.279495247017

A 13. táblázatban elmondható, hogy az első és utolsó mérést kivéve az IMU minimumok is jelentősen alacsonyabbak 2024.04.25 – 2024.05.26 -ig, 2854,25 (4903,50) értéket vesz fel míg az első és utolsó mérésnél 7636,25 (11641) értéket is eléri.

Továbbá megfigyelhető, hogy ezen időszakban a jelentős korrekció a ZÖLD és VÖRÖS sávokon történik. Így ezen paraméter már rámutat, hogy a korrekció hatással van a vizsgált eredményre.

4.9. Regresszió vizsgálata

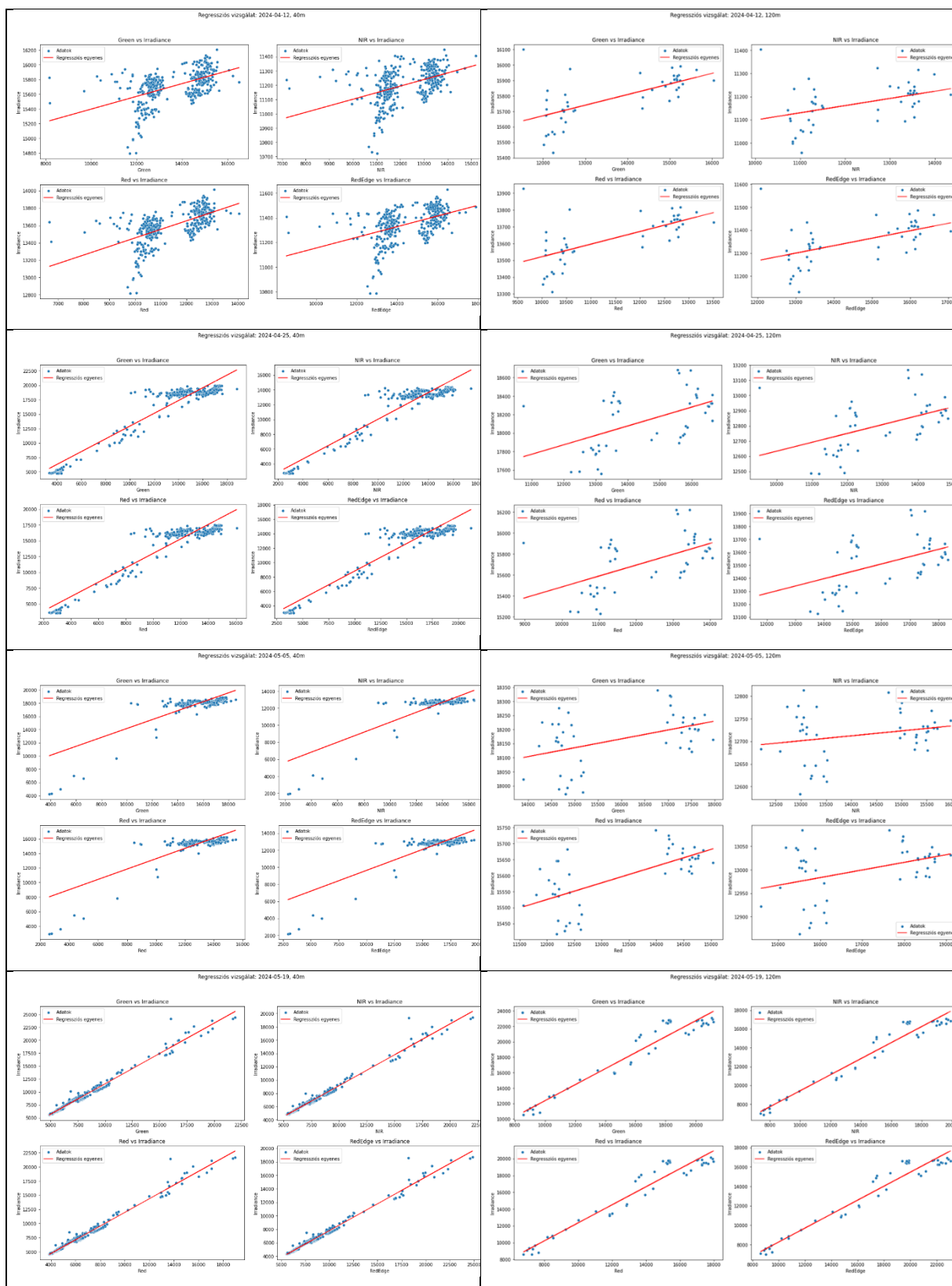
Regressziós eloszlás vizsgálatot is végeztem a fenti eredmények láttán, hiszen az IMU szerző nyers adatai és a belső algoritmus által generált Irradiance értékek jelentősen eltértek a vizsgálati időszak közepén a SensorGain adatokkal összhangban.

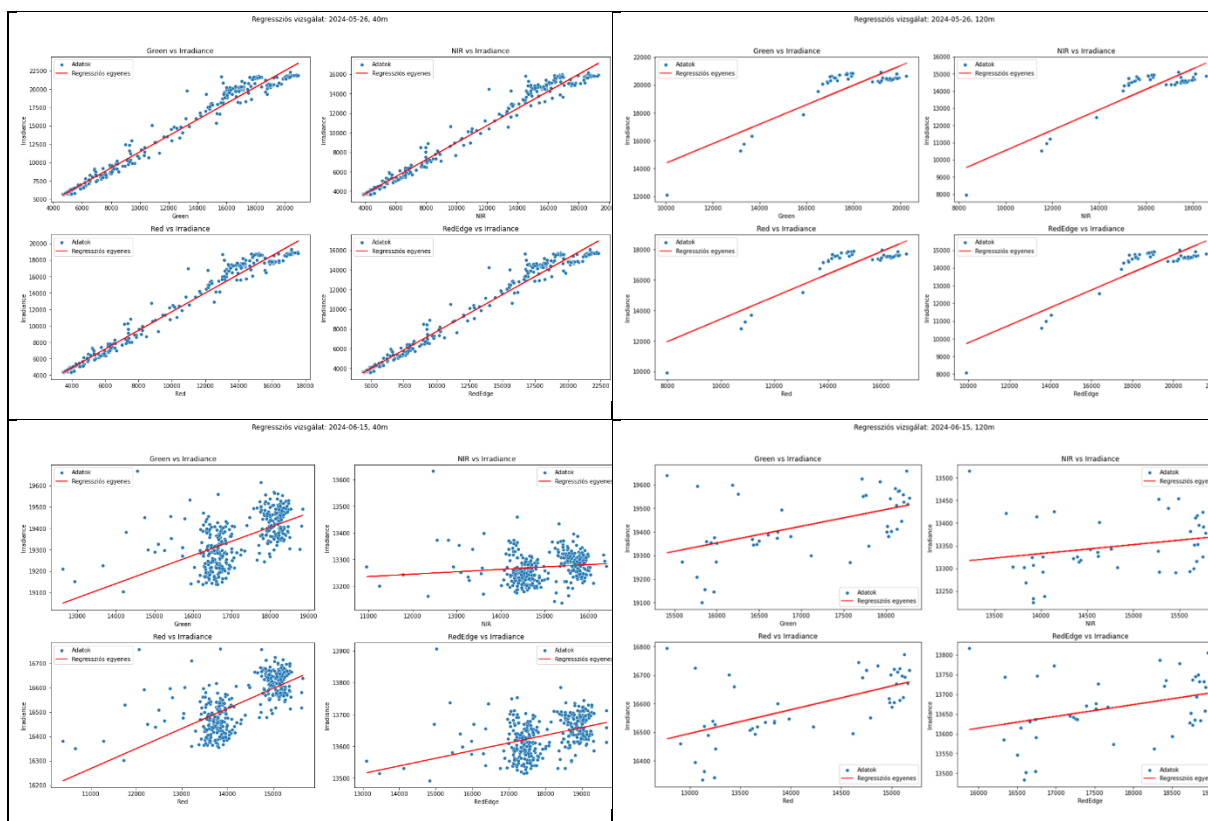
Az adatok regressziós elemzéséhez saját Python kódot használtam (27.ábra), melyben 10.238 db felvétel nyersadatait dolgoztam fel.

```
1 import pandas as pd
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import seaborn as sns
4 from sklearn.linear_model import LinearRegression
5 import numpy as np
6
7 # .csv fájl betöltése
8 df = pd.read_csv('E:\TDK2\irradiance_szurt.csv')
9
10 # Dátumok és magasságok kinyerése a SourceFile oszlopból
11 df['Date'] = df['SourceFile'].str.extract(r'(\d{4}_\d{2}_\d{2})')
12 df['Date'] = pd.to_datetime(df['Date'], format='%Y_%m_%d')
13 df['Altitude'] = df['SourceFile'].str.extract(r'_(\d{2},3)m_')
14
15 # Csak azokat a sorokat használjuk, ahol a magasság értékek nem hiányoznak
16 df = df.dropna(subset=['Altitude'])
17 df['Altitude'] = df['Altitude'].astype(int)
18
19 # Csatornák és Irradiance kiválasztása
20 channels = ['Green', 'NIR', 'Red', 'RedEdge']
21
22 # Regressziós modellek létrehozása és ábrázolása minden dátumra és magasságra
23 for date in df['Date'].unique():
24     for altitude in df['Altitude'].unique():
25         df_filtered = df[(df['Date'] == date) & (df['Altitude'] == altitude)]
26         irradiance = df_filtered['Irradiance']
27
28         plt.figure(figsize=(15, 10))
29
30         for i, channel in enumerate(channels, 1):
31             valid_data = df_filtered[['Irradiance', channel]].dropna()
32             if not valid_data.empty:
33                 X = valid_data[channel].values.reshape(-1, 1)
34                 y = valid_data['Irradiance'].values
35
36                 # Lineáris regresszió
37                 model = LinearRegression()
38                 model.fit(X, y)
39                 y_pred = model.predict(X)
40
41                 # Ábrázolás
42                 plt.subplot(2, 2, i)
43                 sns.scatterplot(x=valid_data[channel], y=valid_data['Irradiance'], label='Adatok')
44                 plt.plot(valid_data[channel], y_pred, color='red', label='Regressziós egyenes')
45                 plt.xlabel(channel)
46                 plt.ylabel('Irradiance')
47                 plt.title(f'{channel} vs Irradiance')
48                 plt.legend()
49
50         plt.suptitle(f'Regressziós vizsgálat: {date.date()}, {altitude}m')
51         plt.tight_layout(rect=[0, 0.03, 1, 0.95])
52         plt.show()
53
```

27. ábra Irradiance és IMU RawData adatainak lineáris regresszió vizsgálata Python kóddal

A Python által generált eredmény a 28- ábrán látható, 40 és 120 méterre sávonként (zöld, vörös, vörös-él és közeliinfravörös):





28. ábra Irradiance és IMU RawData adatainak lineális regresszió Pythonban megjelenített eredményei

Ezen vizsgálat is visszaigazolta, hogy az első és az utolsó időpontban 40 méteren alacsony SensorGain (Gain coefficient of the multispectral image sensor) mellett az értékek nagy mértékben szóródtak, míg a 04.25 és 05.26 közötti időszakban a többszörös faktor milyen mértékben komprimálta az adathalmazt, közelítve egy egyenletes eloszláshoz. Viszont nem lehet fel az IMU szerzor adataiból generált kompenzáció a zöld és vörös csatornákra.

5.Összefoglalás

A dolgozatomban négy vegetációs indexet, két repülési magasságon elemeztem, azzal a céllal, hogy megvizsgáljam van-e különbség a kapott értékek között.

Összefoglalva az indexek hasonló tartományban mozogtak és jellegükben nem tértek el egymástól, kivételt képezett a NDRE nem koherens lefutása, ezért ezen indexet nem vizsgáltam tovább, egy külön vizsgálat célja lehet ezen sáv anomáliájának vizsgálata.

Mivel a nem-diszkrét sáv indexe nagyon hasonló értékeket mutatott, így kijelenthetjük, hogy korlátait ismerve, használható, nem mutatott szignifikáns eltérést a különböző magasságokban.

Továbbá elmondható, hogy mélyebb ismereteket sikerült szerezni a végrehajtott vizsgálatokból, megismerve a drón által rögzített adatokat és elemezve azokat.

Megállapítható volt, hogy az IMU szenzor aktív volt, nem csak az adatokból, hanem azok változásaiból is.

Az entrópia vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy az alacsonyabban végrehajtott repülések esetén az adattartalom magasabb volt és a nap besugárzási szöge és sugárzási energiája az nap-éj egyenlőség felé haladva arányosan javította ezen értékeket.

Az összehasonlított 40 és 120 méteres magasságon megállapítható volt, hogy a nap sugárzás intenzitás mérő (IMU) szenzor által szolgáltatott adatok alapján a beépített algoritmus 40 méteren a vegetációs időszak közepén komoly kompenzációt hajtott végre az összes spektrális sávon, különösen a zöld és vörös sávokon, mely akár meghaladta a 300%-t is, minden esetben megfigyelhető, hogy a vörös-él sáv esetében jóval elmarad a többi sávhoz képest. 120 méteren ezen értékek jóval alacsonyabbak voltak.

Mindezen vizsgálatok során, eddig nem sikerült a vegetációs időszak elején és végén jelentkező eltéréseket feltárni, ezt továbbiakban még vizsgálni kívánom.

Kijelenthető, hogy a diszkrét indexek esetében a nagyobb zöldtömeg megjelenésével a különböző magasságokon végzett felmérések 3-5% hibahatáron belüli értékeket biztosítanak az eltérő magasságokon. Így a vegetációs időszak közepén, közel azonos eredményeket kaphatunk, mellyel optimalizálni tudjuk a felmérés folyamatát, így elegendő a nagyobb magasságon végrehajtott adatgyűjtés, amellyel időt és költséget takaríthatunk meg.

6.Irodalomjegyzék

- [1] Barnes, E. M., Clarke, T. R., Richards, S. E., Colaizzi, P. D., Haberland, J., Kostrzewski, M., Lascano, R. J. ,2000. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. In Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN, USA (Vol. 1619). Letöltve: 2024.11.19.
https://www.researchgate.net/profile/Peter-Waller/publication/43256762_Coincident_detection_of_crop_water_stress_nitrogen_status_and_canopy_density_using_ground_based_multispectral_data/links/55ac358c08ae481aa7ff4da7/Coincident-detection-of-crop-water-stress-nitrogen-status-and-canopy-density-using-ground-based-multispectral-data.pdf
- [2] Berke J. , Báldoghi T. , Major K. , Kozma-Bognár V. ,2017, Képalkotó algoritmusok NDVI indexre gyakorolt hatása. VIII. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Debrecen, Volume 8., pp. 51-56. Letöltve 2024.09.17.
https://www.researchgate.net/publication/317265086_Kepalkoto_algoritmusok_NDVI_indexre_gyakorolt_hatasa
- [3] Berke J. , Enyedi A. , Vastag V. , Óbermayer T. , Kozma-Bognár V. ,2018, Képalkotó algoritmusok vizsgálata idősoros NDVI felvételeken. IX. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Debrecen, Volume 9., pp. 37-44. Letöltve 2024.09.17.
https://www.researchgate.net/publication/327035047_Kepalkoto_algoritmusok_vizsgalata_idosoros_NDVI_legifelveleteken
- [4] Boris Boiarskii, Hideo Hasegawa , 2019 , Comparison of NDVI and NDRE Indices to Detect Differences in Vegetation and Chlorophyll Content. International Conference on Applied Science, Technology and Engineering J. Mech. Cont.& Math. Sci., Special Issue, No.-4, November (2019) pp 20-29. Letöltve 2023.10.13.

https://www.researchgate.net/publication/337193427_Comparison_of_NDVI_and_NDRE_Indices_to_Detect_Differences_in_Vegetation_and_Chlorophyll_Content/link/5ebbcdf299bf1c09ab98110/download

- [5] Vyt'oria Piscitelli Cavalcanti Willian C'esar Terra, Ad' Felipe dos Santos, Ronilson Carlos Araújo, Filipe Almendagna Rodrigues, Clerio Rodrigues Ribeiro Vicente Paulo Campos, Everlon Cid Rigobelo, Fl' avio Henrique Vasconcelos Medeiros Joyce D'oria, 2022. Use of RGB images from unmanned aerial vehicle to estimate lettuce growth in root-knot nematode infested soil, Smart Agricultural Technology, Volume 3, February 2023, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100100> , Letöltve : 2024.11.28.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277237552200065X>

- [6] Haiyan Cen, Liang Wan, Jiangpeng Zhu, Yijian Li, Xiaoran Li, Yueming Zhu, Haiyong Weng, Weikang Wu, Wenxin Yin, Chi Xu, Yidan Bao, Lei Feng, Jianyao Shou & Yong He, 2019. Dynamic monitoring of biomass of rice under different nitrogen treatments using a lightweight UAV with dual image-frame snapshot cameras , Cen et al. Plant Methods, <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0418-8>, Letöltve : 2024.11.28.

<https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-019-0418-8>

- [7] Gitelson, A., et al., 2002. Vegetation and Soil Lines in Visible Spectral Space: A Concept and Technique for Remote Estimation of Vegetation Fraction. International Journal of Remote Sensing 23 (2002), 2537–2562. Letöltve 2024.10.15.

https://calmit.unl.edu/people/agitelson2/pdf/07_IJRS-2002_23-2002.pdf

- [8] Huete, A. R., 1988, A soil-adjusted vegetation index (SAVI), Remote Sensing of Environment, Vol 25, pp. 295–309. Letöltve 2024.11.19.

https://www.academia.edu/1484731/A_soil_adjusted_vegetation_index_SAVI

- [9] Théau J, Lauzier-Hudon É, Aubé L, Devillers N. 2021. Estimation of forage biomass and vegetation cover in grasslands using UAV imagery. PLoS ONE 16(1): e0245784.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245784> , Letöltve : 2024.11.28.

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0245784>

- [10] Jinru Xue, Baofeng Su, 2017. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications Hindawi. Journal of Sensors. Volume 2017, Article ID 135 3691, 17 pages . Letöltve 2024.10.09.
<https://www.hindawi.com/journals/js/2017/1353691/>
- [11] Jordan C. F.,1969. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. Ecology, vol. 50, no. 4, pp. 663–666, 1969. Letöltve 2024.10.10.
<https://sci-hub.se/10.2307/1936256>
- [12] Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Primenenie vegetatsionnykh indeksov dlya otsenki sostoyaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Application of vegetation indexes to assess the condition of crops]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2020. Vol. 14. N2. 4-11 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-4-11. Letöltve: 2024.11.01.
<https://www.vimsmit.com/jour/article/download/396/339>
- [13] Lazaro J. Mangewa, Patrick A. Ndakidemi, Richard D. Alward, Hamza K. Kija, John K. Bukombe, Emmanuel R. Nasolwa, Linus K. Munishi , 2022. Comparative Assessment of UAV and Sentinel-2 NDVI and GNDVI for Preliminary Diagnosis of Habitat Conditions in Burunge Wildlife Management Area, Tanzania , Earth 2022, 3(3), 769-787, <https://doi.org/10.3390/earth3030044>, Letöltve : 2024.11.28.
<https://www.mdpi.com/2673-4834/3/3/44>
- [14] C.L. Mallmann , A.F. Zaninni, W. Pereira Filho , 2020 : VEGETATION INDEX BASED IN UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) TO IMPROVE THE MANAGEMENT OF INVASIVE PLANTS IN PROTECTED AREAS, SOUTHERN BRAZIL. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-3/W12-2020, 2020. Letöltve 2024.10.23.
<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-3-W12-2020/521/2020/isprs-archives-XLII-3-W12-2020-521-2020.pdf>
- [15] Noh-Hun Seong, Daeseong, Jinsoo Kim, Kyung-Soo Han, 2019, Evaluation of NDVI Estimation Considering Atmospheric and BRDF Correction through Himawari-8/AHI.

- Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 265–274pages, 2020,
<https://doi.org/10.1007/s13143-019-00167-0> , Letöltve 2024.10.10.
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13143-019-00167-0.pdf>
- [16] Qi., A. Chehbouni, A. R. Huete, Y. H. Kerr, S. Sorooshian, 1994. A modified soil adjusted vegetation index, Remote Sensing of Environment, vol. 48, no. 2, pp. 119–126. Letöltve: 2024.11.19.
[https://sci-hub.se/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](https://sci-hub.se/10.1016/0034-4257(94)90134-1)
- [17] Rondeaux Genevieve, Michael Steven, Frederic Baret, 1996. Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices , Remote Sensing of Environment, February 1996, pp. 95–107. Letöltve 2024.10.20.
https://www.researchgate.net/publication/222741732_Optimization_of_Soil-Adjusted_Vegetation_Indices/link/59a567dc0f7e9b348eb00a54/download
- [18] Shefali Aggarwal „PRINCIPLES OF REMOTE SENSING”, Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology pp. 23-38. Letöltve:2024:10.23.
https://www.academia.edu/16020856/PRINCIPLES_OF_REMOTE_SENSING_by_Shefali_Aggarwal?email_work_card=view-paper
- [19] Wang, M. Wang, S. Wang, Y. Wu, 2015. Extraction of vegetation information from visible unmanned aerial vehicle images, Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, vol. 31, no. 5, pp. 152–159. Letöltve 2024.10.11.
https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NYGU201505022.htm
- [20] Tian-Zhu Xiang, Gui-Song Xia, Liangpei Zhang, Remote sensing platforms of satellite, manned aviation and low-altitude UAV, IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 2018, Letöltve 2024.11.12.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Mini-Unmanned-Aerial-Vehicle-Based-Remote-Sensing%3A-Xiang-Xia/5b7fd80aecc095f43a898290c82fe71e66f03082>
- [21] The electromagnetic spectrum , University of Bergen, Radiation and radiation protection,

<https://www.uib.no/en/hms-portalen/74149/radiation-and-radiation-protection#the-electromagnetic-spectrum>

[22] NDVI, Wu Ch-D., et al. (2014), Letöltés: 2024.10.11.

https://eo4geocourses.github.io/IGIK_Sentinel2-Data-and-Vegetation-Indices/#/11

[23] DJI Mavic 3 M műszaki specifikáció, Letöltve:2024.05.23,

<https://ag.dji.com/mavic-3-m/specs>

[24] EXIFTOOL program hivatalos weblapja,

<https://exiftool.org/>

[25] NOAA napenergia számítások, Letöltve: 2024.11.26.

https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/NOAA_Solar_Calculations_day.xls

[26] Globális napenergia Térkép,

<https://globalsolaratlas.info/detail?c=47.60107,19.34761,11>

[27] DJI Mavic 3M frissítési jegyzetek, Letöltve: 2024.11.05.

https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3_Enterprise/20240902/DJI_Mavic_3M_Release_Notes_EN.pdf ,

[28] DJI Mavic 3M képfeldolgozási útmutató, 2024.05.23.

https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mavic_3_Enterprise/20230829/Mavic_3M_Image_Processing_Guide_EN.pdf

Lezárás dátuma: 2024.