



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

**Táblán belüli növény monitoring
helyspecifikus gazdálkodásban**

**OE-AMK
2021**

Hallgató neve: Szabó Dániel
Hallgató törzskönyvi száma: T000424/FI12904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Szabó Dániel

Szakedolgozat száma: SZD20120110309635

Törzskönyvi száma: T000424/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: földmérő és földrendező mérnök

Specializáció: Geoinformatika specializáció

A dolgozat címe: Táblán belüli növény monitoring helyspecifikus gazdálkodásban

A dolgozat címe angolul: Intra-field crop monitoring in site-specific farming

A feladat részletezése:

1. Szakirodalom alapján foglalja össze a precíziós gazdálkodás lényegét!
2. Mutassa be a precíziós gazdálkodásban használt adatforrásokat különös tekintettel a távérzékelési módszerekre!
3. Ismertesse táblán belüli növény monitoring szerepét a hely-specifikus gazdálkodásban!
4. Mutassa be a kiválasztott mintaterületet és a vizsgálatokhoz felhasznált adatokat, adatelemzési módszereket!
5. Az eredményeket értékelje ki és tegyen javaslatot a bemutatott módszer gyakorlati alkalmazására!
6. Végezzen el egy kritikus elemzést arra vonatkozóan, hogy a jelenleg elérhető szabadforrású műholdas adatok minősége, pontossága elegendő-e ilyen jellegű felmérésekhez!

Intézményi konzulens neve: Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. december 15.

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2021. 10. 28.



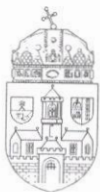
P.H

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom.

belső konzulens

külső konzulens



HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem.

Egyéb jelentős segítséget nem vettem igénybe.

Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: 2021. 12. 20.

.....
hallgató aláírása

Tartalom

1.	Bevezetés	2
2.	A precíziós mezőgazdaság alapjai.....	3
2.1	A precíziós mezőgazdaság alapjai	3
2.2.	A hagyományos és precíziós gazdálkodás főbb különbségei.....	4
3.	Adatforrások.....	6
3.1	Talajmintavételezés.....	6
3.2	Hozamtérképezés	7
3.3	Távérzékelés.....	11
3.3.1	A távérzékelés fizikai alapjai.	11
3.3.2	A távérzékelés felvevőrendszerei.....	13
3.3.3	Műholdas felvevőrendszerek	14
3.3.4	Sentinel-2	16
4.	Mintaterület bemutatása	18
5.	Felhasznált-adatok, módszerek.....	20
5.1	SRTM.....	20
5.2	Copernicus Access Hub	20
5.3	NDVI.....	21
5.4	IDRISI Selva	22
5.5	QGIS 3.18.2	23
6.	Előkészítés	24
7.	Műholdas felvételek osztályozása.....	26
8.	Több időpontú adatok osztályozása	35
	Május.....	35
	Június	38
	Július	40
	Augusztus.....	42
9.	Összegzés	44
10.	Summary	45
11.	Irodalomjegyzék.....	46

1. Bevezetés

A témaválasztásom nagyban befolyásolta, hogy egy vidéki kisvárosban az Alföldön nőttem fel. Egészen kiskorom óta közel áll hozzám a mezőgazdaság és mindig is érdekelt, hogy milyen technológiai háttér bújik meg mögötte. Távérzékelés előadásokon hallhattunk a precíziós mezőgazdaságról, természetesen a tárgyhoz való kapcsolata miatt. Láthattuk, hogy a távérzékelés rengeteg tulajdonsága miatt rendkívül jól használható mezőgazdaság számára. Könnyedén juthatunk nagy mennyiségű adathoz, így elősegítve a döntések meghozatalát. Az adatot képesek vagyunk számunkra megfelelő paraméterek alapján gyűjteni, így az adatbázisunk sokkal gazdaságosabban bővíthető csak olyan információkkal, amelyek maximálisan hasznosíthatóak. Emellett nagy előny, hogy az adatgyűjtés közben a növényzettel és a felszínnel nincs fizikai kapcsolat, ezáltal a vegetációs időszakban is könnyedén nyomon követhetők a változások. Továbbá mivelhogy nem szükséges kimennünk az adott helyre ahhoz, hogy megállapítsuk a szükséges teendőket, időt és pénzt spórolhatunk azáltal, hogy a terepre már felkészülten érkezünk meg a szükséges felszereléssel, beavatkozásra készen. Látható tehát, hogy a távérzékelés kedvező jellemzőkkel bír az ilyesfajta felhasználásra és érthető miért is hódít teret a precíziós mezőgazdaság a távérzékeléssel karöltve, hiszen egy rendkívül hatékony, megbízható ágazatról beszélünk.

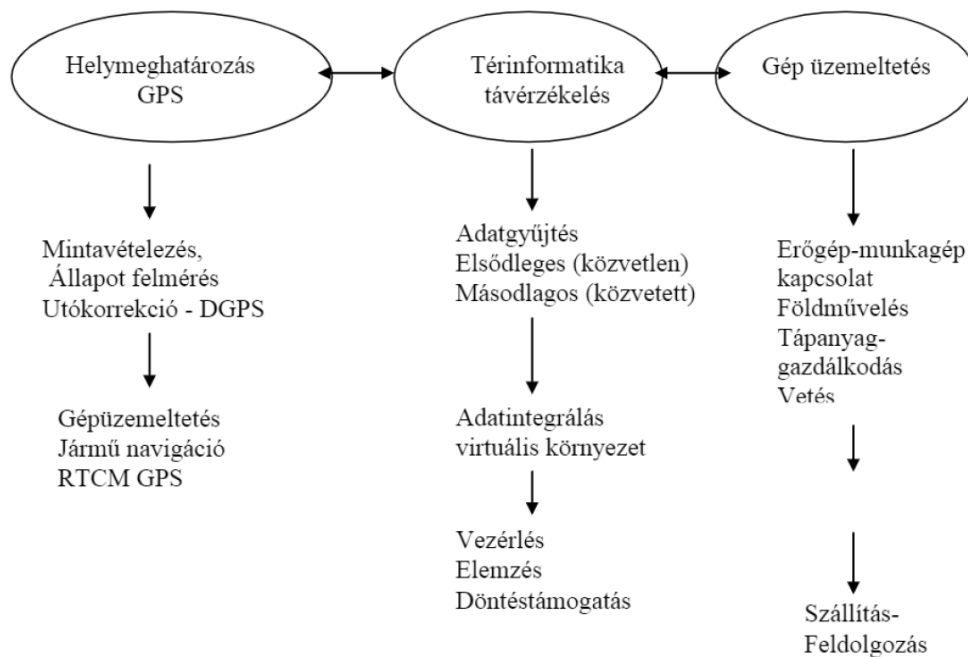
A szakdolgozatom témája a távérzékelés és a precíziós mezőgazdaság kapcsolatának bemutatása. Ennek végrehajtása céljából elsőként a szakirodalom bemutatásával kezdek, tisztázom a dolgozattal kapcsolatosan később felmerülő alapfogalmakat. Kitérek az adatgyűjtési eljárásokra, nagy figyelmet fordítva a távérzékelési módszerek szerepére a precíziós mezőgazdaságban. Ismertetni fogom, milyen szerepe van a táblán belüli növénymonitoringnak a hely-specifikus gazdálkodásban. Ismertetem a felhasznált adatokat valamint adatelemzési módszereket, programokat. Egy kiválasztott mintaterületen végzem el a vizsgálatokat, amit előtte be is mutatok. Végezetül összegzem a vizsgálatok eredményét, valamint megállapítást teszek arról, hogy a jelenleg elérhető szabadforrású műholdas adatok megfelelő pontossággal, minőséggel rendelkeznek az ilyesfajta felmérésekhez.

2. A precíziós mezőgazdaság alapjai

2.1 A precíziós mezőgazdaság alapjai

A precíziós mezőgazdaság a jelen napokban a korszerű gazdálkodás egyik alapfogalmaként jelenik meg a köztudatban. Ennek háttérében az áll, hogy a versenyképesség fenntartásához, javításához szinte nélkülözhetetlenné vált a precíziós technológiák alkalmazása. A tisztánlátás érdekében fontos meghatároznunk, hogy mi is az a precíziós mezőgazdaság. A Nemzetközi Precíziós Gazdálkodási Egyesület (ISPA) tagjainak konzultációján az elnökség az alábbi definíciót fogadta el, amelyet 2019. júliusában közzé is tettek. „A precíziós mezőgazdaság olyan irányítási stratégia, ami összegyűjti, feldolgozza és elemzi az időbeli, térbeli és egyedi adatokat, és más információkkal kombinálja, hogy a becsült változékonyság alapján támogassa a gazdálkodói döntéseket a mezőgazdasági termelés hatékonyabb erőforrás-felhasználása, termelékenysége, minősége, jövedelmezősége és fenntarthatósága érdekében.”^[1]

A meghatározás jól szemlélteti, mit is jelent a fogalom a gyakorlati felhasználásban. Ahhoz, hogy mint irányítási stratégia működhessen, rendkívül fontosak az adatok és azok kiértékelése. Ezen adatok szolgáltatására és feldolgozására a távérzékelés és térinformatika adhat választ számunkra. Szükséges emellett a folyamatos nagy pontosságú helymeghatározás, valamint a terepen történő magas szinten automatizált munkavégzés. Ezeket az összetevőket együttesen a precíziós mezőgazdaság feltételrendszerének nevezzük. (1. ábra) Jól látható az ábrán, hogy ezek az alkotó elemek szoros összefüggésben vannak egymással és ez nagymértékben megkülönbözteti az általános gazdálkodási módszerektől. A helymeghatározás az automatizálás egyik alappillére, általa képesek vagyunk a munkagépet akár emberi befolyásolás nélkül is működtetni. Szintén a helymeghatározás és távérzékelés együttes alkalmazásával tudjuk akár termőföldön belül a beavatkozás mértékét változtatni, például a kijuttatott növényvédő szerek mennyiségét. Ez szintén arra vezethető vissza, hogy az elterjedt gazdálkodással szemben a precíziós mezőgazdaságban a termőföldeket nem homogén, hanem heterogén területként kezeljük.^{[1][2]}



2.1. ábra A precíziós mezőgazdaság feltételrendszere. [2]

2.2. A hagyományos és precíziós gazdálkodás főbb különbségei

Mint már említettem a hagyományos gazdálkodással ellentétben a precíziós gazdálkodás esetében egy adott termőhelyet tábla szinten heterogénnek fogadunk el. Ez ahhoz vezet, hogy míg hagyományos esetben egy táblát átlagolt mintavételezés alapján kezelünk a tápanyagokkal, addig a mi esetünkben egy adott táblán belül homogénként lehatárolt blokkokat létesítünk és ezeken különböző mértékben kezeljük a területet. Ennek eredménye az, hogy a termésátlagunk növekedni fog, hiszen a hiányzó anyagokat ott tudjuk pótolni, ahol arra ténylegesen nagy szüksége van a talajnak, növényzetnek. [1] [2]

Nagy különbséget képvisel ezen felül a mezőgazdasági gépek automatizálása, ez a precíziós gazdálkodásra való rátérés első szintje. A műholdas helymeghatározás alapján működő irányítási rendszer segítségével az erőgép előre meghatározott úton tud haladni kormányautomatika, sorkövető vagy robotpilóta használatával. Ezek segítségével csökken a megtett út a táblán belül, valamint ha mindig ugyan azon a nyomvonalon közlekedik a munkagép, így a taposásból származó kiesés is csökkenthető. Ebből

fakadóan csökken az üzemanyagfelhasználás, valamint a feleslegesen elhasznált inputanyagok mennyisége. Erre épül a precíziós technológiai elemek nagy része, ráadásul ez a legegyszerűbben bevezethető elem. Fontos megemlíteni, hogy vannak olyan szakértők, akik az automata kormányzást nem tekintik a precíziós gazdálkodás elemének. [2]

A precíziós növényvédelem valamint a helyspecifikus tápanyag utánpótlás is mind ide tartoznak, ez szintén a pontos helymeghatározással kapcsolódik szorosan. Általuk csökkenthető az üzemanyag felhasználás, az átfedések minimalizálásával pedig a kijuttatott vegyszerek mennyisége. Korszerű műtrágyaszóró gép esetén változtatható a kijuttatott tápanyag dózisa, ami szintén csökkenti a felhasznált szerek mennyiségét, emellett a későbbiekben növeli a területünk hozamát is. [2] [3]

A helyspecifikus talajmintavétel által lehetünk képesek a fent említett feladatok pontos elvégzésére. A talajminták segítségével megállapíthatjuk a beavatkozás szükségességét, illetve mértékét, későbbiekben szintén megállapíthatjuk belőle, hogy a beavatkozás milyen eredményt hozott. Mivel a mintavételezéshez speciális eszközállomány szükséges, sokan mint szolgáltatás veszik igénybe Magyarországon. [3]

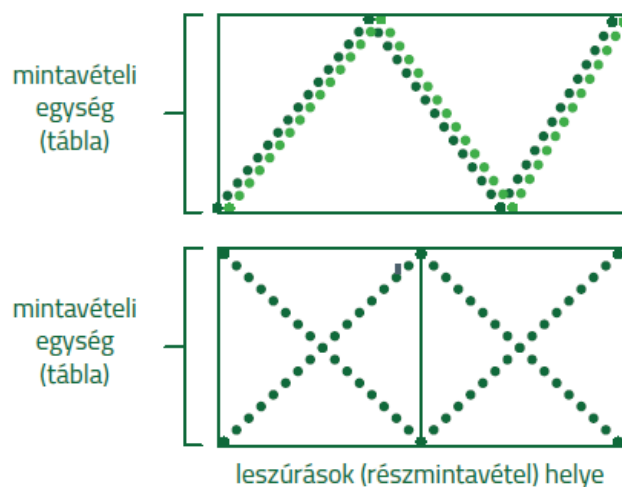
Hasonlóan a növényvédelemhez és a tápanyag pótláshoz, a technológiát a vetés folyamán is alkalmazhatjuk. Befolyásolható a táblán belül az eltérő tulajdonságokkal rendelkező területeken a tőszám, kedvezőbb adottságú területeken több, kevésbé jó adottságú területeken kevesebb magot juttatunk a termőföldre. Ezt főként a nagyobb térigényű növények esetén lehet nagy mértékben kihasználni, tehát a tőtávolság meghatározása a területen adott körülményekhez igazítható. A szakaszvezérlés segítségével megoldhatjuk azt is, hogy az igazán rossz adottságú területeken, mint például belvizes vagy szikes területeken egyáltalán nem szórunk ki vetőmagot. Mindemellett lehetőségünk van elkerülni a felülvetést, amit az tesz lehetővé, hogy a fedélzeti számítógép a GPS segítségével tárolja a már bevetett sorok helyzetét és automatikusan kikapcsolja az érintett vetőelemeket. Ezáltal végeredményben vetőmagot spórolunk, ám ennek mértékéről különböző vélemények születtek az elmúlt évek alatt. Általánosságban elmondható, hogy nagyjából 5% körüli a megtakarítás mértéke a szakértők szerint. [1] [2] [3] [4]

3. Adatforrások

3.1 Talajmintavételezés

Mint már említettem, a talajmintavétel a precíziós mezőgazdaság egyik alkalmazott technológiája. Olyan fontos tényezőket tudhatunk meg földterületeinkről, amiket sok egyéb eljárással nem lennénk képesek. Egy szakszerűen elvégzett talajmintavétel alapja lehet a szaktanácsadási munkáknak, így végsősoron a döntéstámogatás fontos eleme.

Elsőként szükség van egy mintavételi tervre, amely alapján a mintákat vesszük, így a terepen egyszerűbben és gyorsabban hajtuk végre a kitűzött feladatot. Ezt általában a távérzékelés segítségével tervezik meg még az irodában. A mintavételezés történhet kézi vagy gépi módszerrel is, ez főként felszereltség kérdése. Hagyományos esetben a mintavétel során maximum 5 hektáros területről veszünk egy mintát, amit nagyból 20 részminta alkot. Tehát egy minta maximum egy 5 hektáros területet jellemez. A precíziós gazdálkodás esetében azonban elterjedtebb, hogy a mintákat 3-1 hektáros területről veszik, így pontosabb képet kapnak a gazdálkodók a földterületükről. A részmintákat érdemes átló vagy cikk-cakk vonalban venni, így a részminták jól eloszlanak az adott területen, ezáltal jobban szemléltetik a terület adottságait. [5] [6] [7]



3.1. ábra Talajmintavételezési megoldások [6]

Fontos továbbá, hogy a részmintáink azonos tömegűek legyenek, majd ezeket a részmintákat alaposan össze kell keverni és nagyjából másfél kilogrammos tömegű mintát kell a laboratóriumba vizsgálatra juttatni. A mintát vízhatlan csomagolásban kell eljuttatni a laborba, valamint a tasakba talajminta azonosító címkét is kell tenni. A címke alapján lehet azonosítani a mintát, így az alapvető fontosságúnak tekinthető. Tartalmazza a földterület adatait, a földhasználó adatait, valamint a mintavételező nevét és a mintavétel paramétereit, például a mintavétel mélysége és az időpontja.

A mintavétel időpontja kritikus lehet, ezért törekedni kell arra, hogy a termés betakarítás után, de még a trágyázás előtt végezzük el, lehetőleg akkor mikor a talaj nedvességtartalma is optimális. Ha a mintavételre nem volt lehetőség megfelelő időben, akkor fontos, hogy műtrágyázás után legalább száz napot, szerves trágyázás esetén pedig hat hónapot várjunk mintavételezés előtt. Emellett tilos mintát venni a táblák szélén 20 méteres sávban, forgókban, olyan helyen, ahol szalmakazalt, műtrágyát, szervestrágyát vagy egyéb talajjavító anyagot depóztak.

Körültekintően kell tehát elvégezni mind a mintavételezést, mind pedig a címkézést a fent említett szabályok betartásával, hiszen minden hiba nagy kihatással lehet a laboratóriumi vizsgálatok eredményére. [5] [6] [7]

3.2 Hozamtérképezés

A helyspecifikus hozamtérképezéshez szükséges technológia tulajdonképpen bármely gabonafélét betakarító kombájnra felszerelhető. A hozamtérképek alapján a hozzáértők teljesebb képet kapnak a mezőgazdasági terület heterogenitásáról, ezen felül hasznos többlet információt nyújt a precíz tápanyag-gazdálkodás elérésében.

A hozammérő szenzorok segítségével határozzuk meg a hozam adatok mértékét, valamint ezt kiegészítendő, hely adatokat csatolunk az értékekhez a kombájnra szerelt GPS segítségével. Mivel rengeteg gyártó foglalkozik hozamszenzorok előállításával, valamint hozamtérképek előállításával, így minden rendszerben sajátos formátumban kerül eltárolásra a koordináta, valamint a hozam adat. A nyers adatokat még terhelhetik hibák, ezért érdemesebb a feldolgozást egy szakértőre bízni annak ellenére is, hogy az adatok beolvasása nem kíván különösebb szakértelmet. A piacon található rengeteg típusú

hozammérő, ezek rengeteg eljárással képesek elvégezni a szükséges méréseket. Találkozhatunk infravörös adóval, cellás adagoló kerékkel, amely a kerék fordulatszámát figyeli, van olyan technológia, ami sugárforrást és intenzitás érzékelőt használ, létezik a mag útjába épített elmozdulás mérés alapján történő hozamszámítás, valamint fotocellás módszer, ami a gabona felhordólapán átmenő mennyiségét méri. Ez utóbbinak hátránya, hogy hibákat okozhat, ha a kombájn lejtős területen végez betakarítást, mert a gabona ilyenkor a felhordólapát egyik oldalára siklik. Fontos emellett mérni a felhordó sebességét is, amit a tengelyre szerelhető érzékelő segítségével oldanak meg. Amerikában a legelterjedtebbek az ütközőlapos érzékelők, ezt kialakításuk miatt az elevátor felső fordulási pontjának közelébe vannak beszerelve. Elvárás, hogy illeszkedjenek az adott gép elevátorához, tehát az ilyen szenzorok gépspecifikusak. A hozamtérkép előállításához eltárolják még a betakarított területet is, ami egyszerűen kiszámolható az effektív vágóasztal szélesség és a megtett távolság szorzataként. Kiemelendő az effektív vágóasztal szélesség, hiszen van mikor a betakarítás során nem a teljes vágóasztal szélességet használja ki a kombájn, így a betakarított terület is kisebb. A megtett út a sebesség és a betakarítás időtartamának szorzataként számítható. A sebesség mérése a kombájn váltóján található mágneses érzékelővel mérhető. Alkalmaznak emellett sebességmérő radart is, amelynek eredményeit összehasonlítják az imént említett sebességmérési módszer eredményeivel. Ennek az előnye, hogy ebből kifolyólag a kerék csúszásából eredő hibák könnyedén kiküszöbölhetőek. [2] [8] [9] [10]

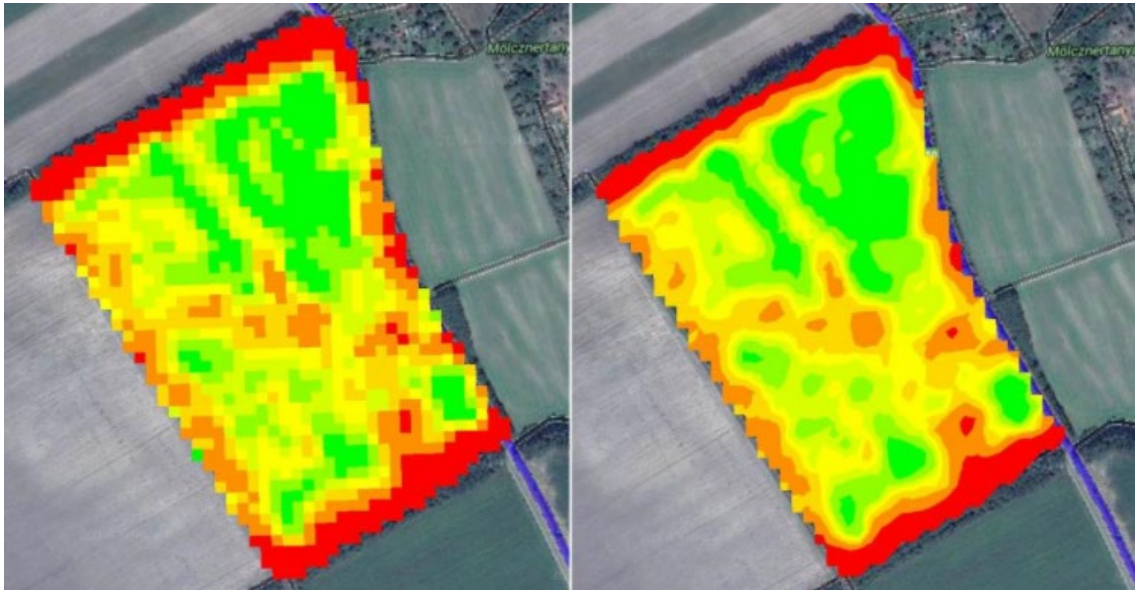
A nedvességtartalom mérése szintén a hozamtérképezés fontos részét képezi. Erre van kézi és gépi nedvességmérő is. A hozamtérképezéshez gépi nedvességmérőt használnak, de ezt általában egy kézi nedvességmérő segítségével még a betakarítás előtt kalibrálni szokták. A hozzávetőlegesen valós idejű nedvesség mérés segítségével lehet a gépkezelőnek, hiszen ebből az értékből meg tudja állapítani az érettség mértékét, valamint a későbbiekben a szállítás és tárolás szervezése során szintén segítségükre lehet. A nedvességtartalom meghatározásához a legelterjedtebb módszer a gabona elektromos vezetőképességének meghatározása. Minél nagyobb a nedvességtartalma egy szemnek, a vezetőképessége azzal arányosan növekszik. A nedvességérzékelőt általában a magfelhordó csiga végére erősítik, valamint egy monitor kerül a vezetőfülkébe a folyamatos megfigyelhetőség érdekében. [2] [8] [9] [10]

A hozamtérképezés során továbbá a kombájn rögzíti a tengerszint feletti magasságot, valamint a gép dőlését is. Ezen értékek segítségével lehetőség nyílik domborzati térkép előállítására is. A dőléskompenzáció emellett a pontos pozíció meghatározásához is szükséges, hiszen egy igen lejtős terepen a GPS hibás adatokat rögzít.

Mivel a hozamtérkép előállításában rengeteg rögzített adatot vesznek figyelembe fokozottan ügyelni kell a téves adatok kiküszöbölésére. Említettem már, hogy hibát okozhat, ha nem a teljes vágóasztal szélességével dolgoztak például a táblák szélénél vagy hurokfordulók esetében és ezt később figyelmen kívül hagyták. Az ilyen problémák felmerülését a gyakorlott gépkezelő el tudja kerülni, de igen nagy koncentráció kell egy nagyterületű tábla aratásához, ezért fontos hogy amennyiben hasonló eset fordul elő, a hibát minden esetben figyelembe kell venni. Szintén hibás adatrögzítéshez vezet, ha a vágóasztalt túl korán engedik le, vagy esetlegesen nem emelik elég magasra, így a forduló helyén hamisan alacsony termésátlag kerül rögzítésre. A sebesség hirtelen csökkenése kiugróan magas termésátlagot eredményez ezért az egyenletes haladásra is fokozottan ügyelnek a betakarítás során. Lehetőség van továbbá késleltetésre is, ami hasznos, hiszen a gabonának 10-15 másodpercre is szüksége lehet mire a szenzorokhoz ér. Ezt figyelembe véve képesek vagyunk az adott mennyiséget ahhoz a koordináta-hoz kapcsolva tárolni, amely helyén a tényleges mennyiséget betakarítottuk. [2] [3] [8] [9] [10]

A begyűjtött adatokból irodai munkával lehet hozamtérképet előállítani, amit mindig érdemes egy szakértőre bízni. Ő tudja kezelni a szoftvert, ami az előállított adatokat képes kezelni, továbbá a fent említett hibás méréseket képes a térkép előállításából kiszűrni, így a hozamtérképünk megbízhatóbb. Hozamtérképen felül elő tud állítani domborzati térképet, ami a magassági viszonyokat ábrázolja az adott mezőgazdasági egységen belül valamint lehetséges szemnedvesség térképet is előállítani. A szemnedvesség térkép alapján például megtudhatjuk, hogy milyen mértékben érett a táblán belül az adott gabona. Látható, ha egyes területeken lassabban fejlődött, ott a szemnedvesség magasabb, hiszen később nőtt meg a növény. A szemnedvesség térképet a domborzati térképpel összehasonlítva következtetéseket vonhatunk le, milyen összefüggésben van a szemnedvesség azzal, hogy az adott táblának víznyomásos területén, vagy éppen magaslaton volt a növény betakarítva. [2] [8] [9] [10]

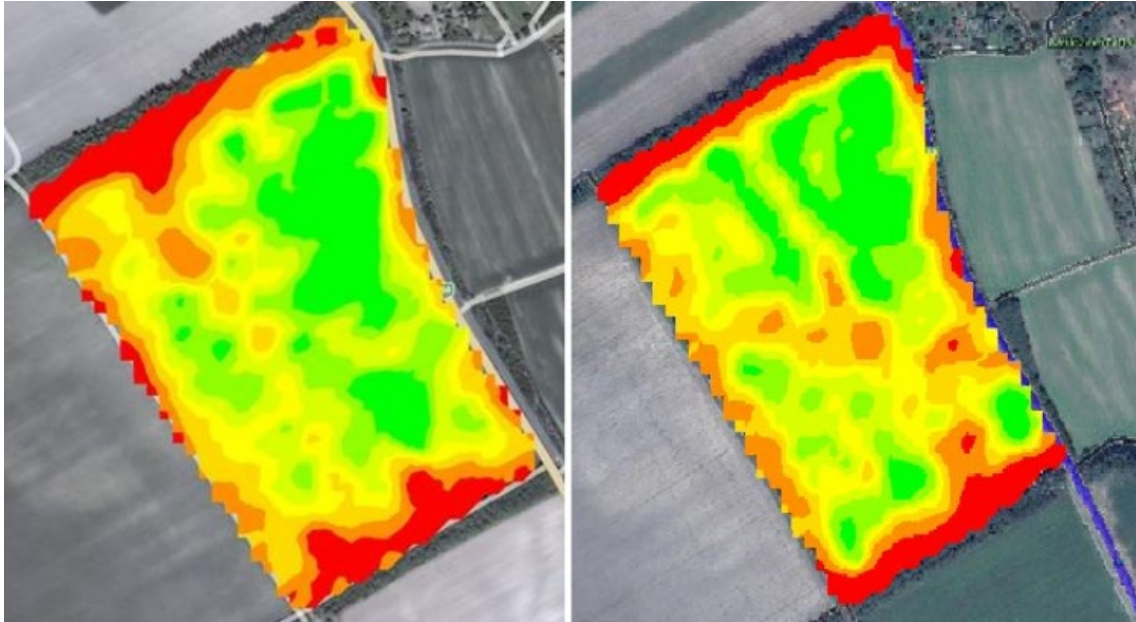
Az elkészült hozamtérkép az adatszűrést követően rengeteg módon megjeleníthető, de a raszteres és izovonalas hozamtérképek már megfelelően szemléltetik a táblán belül fellépő terméskülönbségeket. A 3. ábrán látható jobb és bal oldali kép ugyanannak a feldolgozásnak az eredménye. Mindkét képen jól láthatóak a különbségek az aktuális év hozamában. [2] [8]



3.2. ábra Raszteres (bal) és izovonalas (jobb) hozamtérképek [8]

A hozamtérkép végső soron a későbbiekben a döntéstámogatás hasznos elemeként vesz részt a precíziós gazdálkodásban. A későbbiekben nagymértékben segíthet a megfelelő tápanyagpótlás megtervezésében. Ezen felül a gazdálkodó a hozamtérkép alapján képes lehet eldönteni, hogy szükséges-e számára további precíziós technológiákba befektetnie. Amennyiben a tábláján belül a hozamtérkép alapján nem fedezhető fel nagy heterogenitás, nem lesz számára indokolt a helyspecifikus tápanyagpótlásra alkalmas eszközök megvásárlása. Mindemellett ha a hozamtérkép kellő heterogenitást jelez az adott területen, akkor így ismereteket kaphatunk a talajtulajdonságok diverzitásáról. Ennek következményeként a különböző adottságú területek kiterjedését és elhelyezkedését is megismerhetjük. A mezőgazdasági tábláról egymást követő években elkészített hozamtérkép az ilyen különböző tulajdonsággal rendelkező területek nyomon követését is lehetővé teszi. (4. ábra) Ezen felül jól megfigyelhető, hogy amennyiben a hozamtérkép alapján helyspecifikus tápanyagpótlást hajtottunk végre, akkor könnyedén

leolvashatjuk a következő évi hozamtérképről, milyen sikerrel hajtottuk azt végre. ^{[2][8][9]}
^[10]



3.3. ábra Két egymást követő év hozamtérképe izovonalas formátumban ^[8]

3.3 Távérzékelés

„A távérzékelés egy sajátos adatnyerési eljárás, amelynek során a földfelszín vagy földfelszíni objektumok bizonyos sajátosságairól (pl. méret, anyagi összetétel, stb.) anélkül jutunk adatokhoz, hogy a vizsgált tárggyal közvetlen kapcsolatba kerülnénk.” ^[11]

Az adatnyerés az esetek túlnyomó többségében elektromágneses energia közvetítésével történik. Az adat rögzítését követően azokat értelmezzük, feldolgozzuk, kiértékeljük. Ez a két folyamat az alapja a távérzékelés tudományának. ^[11]

3.3.1 A távérzékelés fizikai alapjai.

A távérzékelés folyamatának első alapeleme az energiaforrás, amiből a különböző hullámhosszú elektromágnes energia indul. Ez lehet természetes, mint például maga a Nap, vagy mestereges. Ez utóbbi csoportba tartozik a radar és a lézer is. Az energiaforrás

által kibocsátott elektromágneses energia három tulajdonsággal írható le. Ezek a sebesség, a frekvencia és a hullámhossz.

$$c = v * \lambda$$

„Két szomszédos hullám csúcsa közötti távolságot hullámhossznak (λ), az időegység alatt egy ponton áthaladó csúcsok számát frekvenciának (v) nevezzük. A fény sebessége állandó érték, így a hullámhossz és a frekvencia fordítottan arányosak.” A távérzékelésben leginkább a hullámhossz és az elektromágneses spektrumon elfoglalt hely alapján jellemezzük az elektromágneseshullámokat. ^[11]

Az elektromágneses spektrumtartomány egészéből viszont csak egy bizonyos részt használunk a távérzékelésre, amit egyes légköri jelenségek, mint a szóródás vagy elnyelés (abszorpció) tovább szűkítenek. Az eltérő hullámhossz tartományokban különböző fizikai törvények lépnek fel, amelyeket figyelembe kell venni az érzékelő rendszerek installációjakor. Leginkább a látható fény és az infravörös tartomány valamint a mikrohullámok amik számunkra érdekesek. Ezek tulajdonságát táblázat formájában szemléltetem. ^[11]

1. Táblázat A távérzékelés tartományai

Tartomány		Hullámhossz (λ)
Látható (VIS)		0.38-0.72 μm
Infravörös	Közeli (NIR)	0.72-1.3 μm
	Középső (MIR)	1.3-3.0 μm
	Távoli (TIR)	3.0-15 μm
Mikrohullámú		1mm-1m

Miután az energia megtette útját a légkörben, kölcsönhatásba kerül a Föld felszínén fellelhető tárgyakkal. Ennek az energiának egy része elnyelődik, míg a többi visszaverődik. A visszavert módosult energia a légkörön keresztül eljut az érzékelőig. Az érzékelő megméri a beérkező energiamennyiség mértékét, rögzíti azt majd ezt egy a Földön található vevőállomásra továbbítja. Ezt követően a kapott adatok elemezhetőek,

feldolgozhatóak, és ebben nagy segítséget nyújtanak a referencia adatok korábbi, ehhez hasonló mérésekből.

A számos forrásból származó nagymennyiségű adat elemzését valamint ezen adatok, a felhasználók részére történő megjelenítését a modern térinformatikai rendszerek teszik lehetővé számunkra. ^[11]

3.3.2 A távérzékelés felvevőrendszerei

A távérzékelés során a megvizsgálni kívánt tárgyra kibocsátott különböző hullámhosszú energiát több módszerrel is lehetséges észlelnünk. Mivel az eltérő hullámhossz tartományokban mások a fellépő törvényszerűségek, ezért is célszerű az adatok begyűjtésére eltérő érzékelőket és műszereket alkalmazni. Fontos az is, hogy miről is akarunk adatot gyűjteni, hiszen a módszer és a precizitás mind igazítható az elvárt eredményhez. ^[12]

A felvevőrendszereket sokféleképp csoportosíthatjuk. Az optikai sávban a két fő típust különböztetünk meg, ezek a fényképező típusú rendszerek, valamint a digitális pásztázó letapogató rendszerek. ^[12]

A fényképező típusú rendszerekről elmondható, hogy a felvételt egy pillanatban készítik el a teljes területi egységről. Ebbe a csoportba tartoznak a fényképező kamerák és a digitális képkészítők is. A régi filmes rendszerű fényképezők esetében a fény az optikán keresztül a fókuszsíkra vetül és a filmen a zárszerkezet nyitása után rögzül. Ezeket a filmeket laboratóriumi úton lehet később előhívni. Amíg ez nem történik meg a filmet meg kell védeni mindenféle külső hatástól, mert az a film sérüléséhez vezethet. Ezzel szemben az elektronikus kamerák esetében az energia egy fényérzékeny felületen elektromos töltéseket generál. A töltéskülönbségeket érzékelve létrehozható a kép, ami elektronikus úton tovább juttatható és eltárolható. Ezeket a kamerákat repülőgépre vagy akár helikopterre is felszerelhetik. Mivel a hordozó jármű mozgása befolyásolja az elkészülő felvétel minőségét, a repülőgép alkalmazása a jellemzőbb. ^[12]

A légi fényképezés során elkészített felvételeknek két típusát különböztetjük meg a felhasználási cél alapján. Ezek a mérőkamerás valamint a nem mérőkamerás légi

felvételek. Az utóbbiak interpretációs céllal készülnek, az előbbi azonban már geodéziai és térképészeti alkalmazásra is alkalmasak. A mérőkamerával készített képek fotogrammetriai műszerek segítségével akár szabatos mérésre is felhasználhatóak. [12]

A pásztázó letapogató rendszerek a fényképező típusú rendszerektől eltérően a repülés irányára merőleges sávokból visszaverődött elektromágneses energiát rögzítik. Ezekkel a rendszerekkel keresztsávós, köríves, soros és oldalra tekintő üzemmódú adatgyűjtés lehetséges. A keresztsávós módszert használ például az amerikai LANDSAT rendszer is. Ennek esetén a forgótükör a területet a repülés irányára merőlegesen pásztáz, tengelye azonban párhuzamos a repülés irányával. A köríves pásztázó esetében a forgótükör tengelye függőleges, így a földön egy ív alakú területet pásztáz. A soros pásztázó rendszer esetén a nem forgótükörrel történik a pásztázás, hanem egy detektor sorral. Ez a érzékelősor a műhold repülési irányára merőlegesen van felsorakoztatva, ellenben a pásztázás a repülési iránnyal párhuzamosan történik. Az oldalra tekintő üzemmód során egy antenna a repülési irányra merőlegesen oldalra nézve bocsátja ki és érzékeli a jeleket. [12]

A többsávós, digitális technológiák már az 1960-as évekre nyúlnak vissza, ám az űrtechnika nyújtotta lehetőségek a hetvenes évektől egészen újszerű lehetőségeket nyújtottak a Föld megfigyelésében. [12]

3.3.3 Műholdas felvevőrendszerek

Ebben a fejezetben a műholdas rendszerekről fogok beszámolni, azon belül is főként az egyes nemzetek, ügynökségek műholdas rendszereiről.

Az amerikai LANDSAT rendszer, eredeti nevén ERTS (Earth Resources Technology Satellites) első műholdját 1972-ben állították pályára, a célból, hogy a földfelszíni folyamatokról adatot gyűjtsenek, valamint nyomon kövessék ezeket. Máig összesen kilenc műholdat készítettek és indítottak el, ám a LANDSAT 6 a hordozórakéta meghibásodása miatt nem tudott pályára állni. Az egyes műholdakra különböző fajta szenzorokat szereltek fel, ezek nagyrészt különböző alkalmazási területet is jelentenek a felvételek esetében. [12] [23]

A Francia SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) műholdak 1986 óta látnak el szolgálatot, azonban az eddig fellőtt hét műhold közül már csak kettő üzemel. Ebből az utóbbit, a SPOT 7-et megvette az Azerbajdzsáni űr ügynökség, még a pályára állítás évében. A SPOT 6 és 7 igen nagy felbontású műholdak, 1,5 méter terepi felbontású színes és 6 méter terepi felbontású multispektrális felvételek elkészítésére képesek. ^[22]

Az ENVISAT Az Európai Űrügynökség (ESA) által 2002-ben felbocsátott műhold, Földünk állapotának alakulását hivatott figyelemmel kísérni. Tíz különböző műszert szereltek fel rá, valamint elsőként kapott helyet ezen a műholdon olyan eszköz, amely a légkör széndioxid szintjét méri. A program másodlagos célja, hogy Európa is nagyobb mértékben képviseltesse magát a Föld megfigyelés terén. ^[12]

Fontos említést tenni a szupernagy felbontású műholdas rendszerekről, mint például az IKONOS vagy a QuickBird műholdak. A két műholdon azonos szenzorok találhatóak meg, azonban mivel a QuickBird 450 km-es magasságban kering, szemben az IKONOS 681 km-es keringési magasságával, a pankromatikus képek felbontása eléri a 61 centimétert, a multispektrális képeké pedig a 244 centimétert. Az IKONOS kissé lemaradva 1 méteres pankromatikus és 4 méteres multispektrális felbontású felvételek elkészítésére képes. ^[12]

A hiperspektrális szenzorok is megjelentek a távérzékelés területén, bár ezek alkalmazása főként más szenzorokkal párhuzamosan történik. Ezek legfőbb tulajdonsága az, hogy képesek több tíz, vagy akár pár száz sávban is érzékelni az adott területet. Ebből kifolyólag rendkívül pontos vizsgálatok is elvégezhetők a felvételeiken. „A jelenleg működő sokcsatornás rendszerek közül a legismertebbek az ASTER, a MODIS és a MERIS”. ^[12]

A továbbiakban a Sentinel-2 műhold részletes bemutatásra kerül, mert ennek az adatait használtam fel a területre jellemző adatok megvizsgálására.

3.3.4 Sentinel-2

A SENTINEL-2 európai műholdak küldetése, hogy széles sávú, nagy felbontású, multispektrális felvételekkel lásson el bennünket. Az ugyanazon a pályán, de 180° -ban fázisra állított ikerműholdak teljes küldetési specifikációja úgy van kialakítva, hogy öt napos újralátogatási gyakoriságot biztosítson. A műholdak napszinkron pályán keringenek. Az első felbocsátott műhold a Sentinel-2A 2015. június 23-án ált pályára, a Sentinel-2B pedig majd két évvel később, 2017. március 7-én. A Sentinel-2 hasznos terhe egy optikai műszer amely 13 spektrális sávot képes érzékelni, négy sávot tíz méteres, hat sávot húsz méteres és három sávot pedig hatvan méteres térbeli felbontással. ^{[13][14]}

A négy tízméteres felbontású sáv klasszikus RGB sávok. A kék ($\sim 493\text{nm}$), a zöld ($\sim 560\text{nm}$), a vörös ($\sim 665\text{nm}$) és az infravörös ($\sim 833\text{nm}$). A hat húszméteres felbontású sávból négy látható és közeli infravörös (VNIR $\sim 704\text{nm}$, $\sim 740\text{nm}$, $\sim 783\text{nm}$ és $\sim 865\text{nm}$), a növényzet vizsgálatára, valamint kettő közepes infravörös sáv (SWIR $\sim 1610\text{nm}$ és $\sim 2190\text{nm}$). Ezeket főként hó, jég, felhő észlelésre valamint a növényzet nedvességterhelésének felmérésére használják. A három hatvan méter felbontású sáv főként felhőtérképezésre és légköri korrekciók megismerésére használható ($\sim 443\text{nm}$, $\sim 945\text{nm}$, $\sim 1374\text{nm}$). ^{[13][14]}

A SENTINEL-2 ikerműholdjai a SPOT és LANDSAT típusú képadatok folytonosságát biztosítják, hozzájárulnak a folyamatos multispektrális megfigyelésekhez, segítik a Kopernikusz szolgáltatásait. Ezen felül alkalmazható, például a földgazdálkodás, mezőgazdaság, erdészet, katasztrófavédelem, humanitárius segélyműveletek támogatására, valamint kockázati elemzés elvégzésére. ^{[13][14]}

Az általam használt sávokat egy táblázatba rendezve mutatom be. Látható, hogy az ikerműholdak nem pontosan ugyan azt a hullámhosszú jelet használják, ám ennek a különbségnek a mértéke nem akkora, ami miatt a feladat végrehajtása során figyelembe kell vegyem, hogy a felvétel melyik műhoddal készült. A felbontás mindegyik általam használt sáv esetében tíz méteres, ez azt jelenti, hogy ami a felvételen egy pixel mérete a valóságban egy tízméterszer tízméteres négyzetnek felel meg.

2. Táblázat Az általam használt spektrális sávok jellemzői.

Sáv	Hullámhossz Sentinel-2A	Hullámhossz Sentinel-2B	Felbontás
B02 (B)	492.4 nm	492.1 nm	10 méter
B03 (G)	559.8 nm	559 nm	10 méter
B04 (R)	664.6 nm	665 nm	10 méter
B08 (NIR)	832.8 nm	833 nm	10 méter

4. Mintaterület bemutatása

A munkaterület Székesfehérvártól Dél-Keletre található a hatvankettes út mellett, a szabadegyházi Hungarna Kft.-től északra. A terület könnyedén megközelíthető mind munkagéppel, mind pedig személygépjárművel. Az Alföld nyugati részén helyezkedik el, így nem meglepő, talajtani besorolása alföldi mészlepedékes csernozjom.



4.1 Ábra A mintaterület műholdas felvételen.

(Forrás: saját kép)

A csernozjom talajokról általánosságban elmondható, hogy kedvező, morzsalékos szerkezet jellemző rájuk, valamint a humuszanyagok nagymértékben halmozódnak fel bennük. Régebben ezeknek a talajoknak a neve mezőségi talaj volt, ami utal a hajdan a füves területek alatt végbemenő lassú talajképződésre. Főként löszön vagy ahhoz hasonló üledékes kőzeten képződnek. Az alföldi mészlepedékes csernozjom keletkezése a Kárpát-medence sajátos nedvességgazdálkodásához kapcsolható. ^[15]

Termőtalaj vastagsága meghaladja a száz centimétert. Vízgazdálkodás szempontjából jó víznyelésű és vízvezetőképességű, valamint jó vízraktározó-képességű és víztartó talaj.

[16]

A terület domborzati adottságai teljesen megfelelőek a mezőgazdasági műveléshez. Legmélyebb pontja nagyjából 109 méter a tengerszint felett, a legmagasabb pontja pedig megközelíti a 106 méteres tengerszint feletti magasságot. A magasságokat topográfiai térképekről valamint SRTM adatok alapján állapítottam meg.

A területen 2021-ben termesztett növény kukorica.

5. Felhasznált-adatok, módszerek

5.1 SRTM

Az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ahogy az elnevezéséből is megtudhatjuk egy küldetés, amely során a NASA (National Aeronautics and Space Administration) és az NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) működtek együtt. Ezt 2000 februárjában hajtották végre. A program során az Endeavour űrsikló fedélzetén telepített radarrendszerrel kevesebb, mint két hét alatt a Föld felszínének nagyjából 80%-ról készítettek digitális domborzati modellt (DDM). Ezeket a domborzatmodelleket két felbontásban készítették el, amelyből a pontatlanabb 3 szögmásodperc felbontású már 2003 óta mindenki számára elérhető. A másik, részletesebb domborzatmodell, amelyet elkészítettek 1 szögmásodperc felbontású. ^[17]

A felmérés 5.6 cm hullámhosszúságú radarjelekkel folyt, két antenna felhasználásával, amelyből az egyik, a fő antenna a sikló rakterében helyezkedett el, a másik, a külső antenna pedig egy 60 méter bázishosszúságú tartószerkezet végén. A fő antenna volt felelős a radarjelek kibocsátásáért, valamint a visszaérkező jelek detektálásáért, amíg a külső antenna csak a visszavert jelet detektálta. A kibocsátott jel indulási és visszaérkezési idejének mérésével megtudható a pontos fáziskülönbség, ami által pontosan meghatározhatták a felszín távolságát. Emellett a siklóban el volt helyezve egy mérő berendezés amely rögzítette a fő antenna pozícióját. A jeladó helyzetének és a már említett felszín távolságának ismeretében elkészíthető a domborzatmodell. ^[17]

5.2 Copernicus Access Hub

A Copernicus az Európai Unió Föld-megfigyelési programja, amely bolygónkat és annak környezetét vizsgálja. A program az európai emberek érdekeit és javát szolgálja. Információs szolgáltatásokat kínál, amelyek műholdas Föld-megfigyelési adatokkal támogatnak. A programot az Európai Bizottság irányítja. Megvalósítása a tagállamokkal, az Európai Űrügynökséggel (ESA), a Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai

Szervezetével (EUMETSAT), a Középtávú Időjárás Előrejelzések Európai Központjával (ECMWF), az EU Agencies szerezzel és a Mercator Océannal együttműködve történik.

A műholdakról és a földi, légi és tengeri mérőrendszerekről származó hatalmas mennyiségű globális adat olyan információt nyújt, amely segít a szolgáltatóknak, a hatóságoknak és más nemzetközi szervezeteknek az európai polgárok életminőségének javításában. A nyújtott információs szolgáltatások ingyenesek és a felhasználók számára nyíltan elérhetőek. A Copernicus emellett nagy figyelmet fordít az általuk kialakított szolgáltatásokra, amelyeket egy hat tényezős tematikus folyamattá állítottak össze. Ezek a légkörmonitoring, a tengerikörnyezet-monitoring, a szárazföld-monitoring, az éghajlat változással kapcsolatos szolgáltatások, a biztonsági alkalmazásokhoz kapcsolódó szolgáltatások, valamint a vészhelyzet kezelési szolgáltatás. ^[20]

5.3 NDVI

Az Angol normalized difference vegetation index elnevezésből született az NDVI rövidítés. Magyarul normalizált vegetációs indexnek nevezzük. Egy grafikus indikátor amelyet arra hoztak létre, hogy a távérzékeléssel nyert adatok feldolgozása során megtudjuk, van-e zöld növényzet az adott területen. Erre abból kifolyólag lehetünk képesek, hogy a növényben fellelhető klorofill csak kis mértékben veri vissza a látható tartomány elektromágneses sugarait, azonban a közeli infravörös tartomány visszaverődése jóval erősebb. Mivel az egészséges növénynek nagyobb a klorofill tartalma képesek lehetünk a növényzet minőségére is következtetéseket tenni az NDVI használatával.

Az NDVI számítása igazán egyszerű, egy kis képlettel jól leírható.

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

A NIR természetesen a közeli infravörös tartományra, a RED pedig a látható tartomány vörös sávjára utal. Minél magasabb értéket ér el egy adott terület, annál erősebb, egészségesebb a növényzete. Általánosságban elmondható hogy 0.6-os érték fölött a növényzet fejlődőképes, sűrű növényzetre utal, ezek az értékek zölddel jelenek meg a

térképen. Az értékek csökkenése utalhat a növényzet megbetegedésére, vagy esetlegesen a talaj tápanyagszegénységéből fakadó gyenge növényre is. A csökkenő értékek mellé világosabb zöld, sárga és barna színek társulnak. Természetesen a színezés beállítás kérdése is lehet. ^[21]

5.4 IDRISI Selva

Az IDRISI elnevezését Abu Abd Allah Mohammed al-Idrisi nevű térképész és botanikusról kapta, aki a tizenkettedik században tevékenykedett és korának egyik legfontosabb térképésze.

A program elsőként 1987-ben volt kiadva, raszter alapú GIS és képfeldolgozó modulokkal. A verzió, amit használtam az IDRISI Selva egy későbbi bővített 32 bites változat a Windowsra tervezve.

Az IDRISI a GIS teljes spektrumát lefedő analitikai funkciókra specializálódott program. Emellett a távérzékelési adatok elemzésére, adatbázis lekérdezésre, térbeli modellezésre, valamint képek osztályozásra is alkalmas. Bár eredetileg csak raszteres alapú adatok használatára fejlesztették, már könnyedén használhatók, vagy létrehozhatók benne a vektoros adatok is. Alkalmazhatjuk még természeti erőforrás menedzsmentre, változás- és idősorelemzésre, valamint alkalmas többszemponútú és többcélú döntéstámogatásra is. A térbeli műveletek közül alkalmazható például interpolációra és krigelésre is. Igen széles körű az osztályozási algoritmusok skálája, például „hard” és „soft” osztályozások. ^[18]

Ezekon kívül az IDRISI hiperspektrális képosztályozási eljárásokat is kínál, akár több száz spektrális sávot tartalmazó képek osztályozására. Számomra ez a tulajdonság igen fontos volt, hiszen én is 4 sávot használtam a képek vizsgálatához. Ezek a sávok a kék, zöld, vörös és infravörös. ^[18]

A program igazán jól felépített, rengeteg lehetőséggel azoknak, akik ilyen célú feladatokat akarnak elvégezni. A gyártók harminc napos ingyenes próbaidőszakot is biztosítanak a felhasználók számára. Annak ellenére, hogy a program igen kifinomult eljárásokra képes, mégis rendkívül felhasználóbarát és könnyen használható. ^[18]

5.5 QGIS 3.18.2

A QGIS (régebben Quantum GIS) egy ingyenesen letölthető nyílt-forráskódú platformközi program. Főként térinformatikai adatok szerkesztésére, elemzésére vagy akár csak megjelenítésére alkalmas. A szoftver lehetővé teszi továbbá, hogy grafikus térképeket hozzunk létre, valamint exportáljunk. Támogatja a raszteres és vektoros rétegeket is, az utóbbi esetében a vektoradatok tárolása történhet pont, vonal, és sokszög formában is. A raszteres képek közül rengeteg formátumot támogat a program, valamint képes georeferálni is őket. A Sentinel-2 műhold által készített, Copernicus oldalról letöltött .fp2 formátumú felvételek konvertálásához használtam, amire nagyon is jól és könnyen használható a program. A folyamatot részletesen is ismertetem a feladat végrehajtásának leírásában. ^[19]

6. Előkészítés

A célom az, hogy a kiválasztott mintaterületen szemléltessem a növényzet fejlődését, valamint a műholdas felvételek alapján megállapítsam, hogy ez milyen összefüggésben van a hamis színes kompoziton észlelhető talaj heterogenitással. Ennek segítségére NDVI-t is fogok használni, ami az egyik leggyakrabban használt vegetációs index.

A feladat végrehajtásának első lépése a minta terület kiválasztása volt, ennek ismertetését a fentiekben már megtettem. A Copernicus internetes oldalról letöltöttem négy műholdas felvételt. Ügyelnem kellett, hogy jól válasszak, mert sok műholdfelvételt a felhőzet miatt nem lehetett felhasználni a célom elérésére. További nehézség volt ezen felül, hogy a felvételezés dátumát is a lehető legközelebb kellett tartanom az egy hónaphoz, hogy egyenlő időközönként tudjam a vizsgálatokat elvégezni. Az érzékelés időintervallumát 2021. május 1.-től 2021. augusztus 15.-ig adtam meg. Kizárólag a Sentinel-2 műhold által készített felvételeket hagytam a keresésben megjelenni, a műholdat már a korábbiakban bemutatam.

A kiválasztottam a lehető legkisebb időingadozással a felvételezés időpontja szerinti négy képet. Miután kiválasztottam a négy felvételt letöltöttem a csomagot, amiben ezek megtalálhatóak. A csomag .zip formátumban került letöltésre, valamint tartalmazta mind a 13 sáv felvételeit amit a Sentinel-2 műholdak elkészítettek. A általam használt felvételeket az alábbi táblázatban mutatom be.

3. Táblázat A felhasznált felvételek jellemzői

Felvétel időpontja	Sávok	Felbontás
2021.05.09	B02, B03, B04, B08	10 méter
2021.06.16	B02, B03, B04, B08	10 méter
2021.07.13	B02, B03, B04, B08	10 méter
2021.08.10	B02, B03, B04, B08	10 méter

A sávoknál a B betű az angol „band” szóra utal, ami jelen helyzetben sávot jelent. A számok a B betű után azonosítják, hogy melyik sávról is van szó. A Sentiál weboldalán pár kattintással elérhető, hogy melyek a rövidítéshez tartozó hullámhosszok.

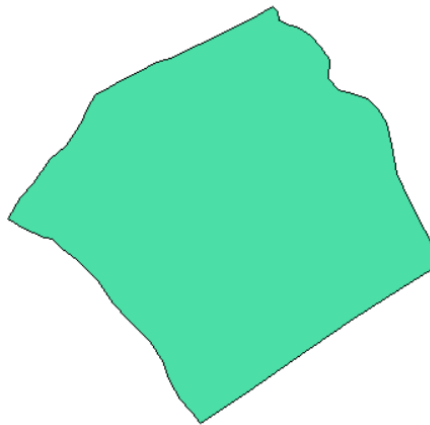
A tömörített csomagot a WinRAR segítségével kicsomagoltam majd kiválasztottam minden hónap felvételei közül a számomra szükséges sávokat.

A letöltött állományok .jp2 formátumban voltak, amit az Idrisi programban nem tudtam kezelni. Elsőként ezért a QGIS felhasználásával ezeket át kellett konvertálnom. Ezt a menüsorban található Raszter parancs lenyitásával azon belül a konverzió fület lenyitva az Átalakítás (formátum konverzió) paranccsal tettem meg. Ott csak be kellett állítanom inputnak a konverzióra szánt fájlokat, amik az én esetemben a tíz méteres felbontású műholdfelvételek voltak. Output fájl névnek meghagytam az eredetit, hiszen a kiterjesztés egyértelműen megkülönbözteti az eredetitől.

Miután elvégeztem az átalakítást minden állományon, ki kellett vágnom belőle azt a területet, amin az én mintaterületem megtalálható. Ezt szintén a QGIS segítségével hajtottam végre. Az iméntihez hasonlóan a fő parancssor Raszter parancsának lenyitásával azon belül a Kivonat parancson belül a Raszter vágása terjedelemmel... parancsot alkalmaztam erre a feladatra. A terjedelem vágása beállításnál az első alkalommal kiválasztottam a „megjelenítés a vásznon” opciót majd kijelöltem a terület méretét, amiben benne volt a saját mintaterületem. A program kiírta a vágó keret négy sarkának koordinátáit, amit kimásoltam, hogy a későbbiekben is meglegyen. A következő fájl vágásakor már csak ki kellett választanom ugyan azt a beállítást és bemásolnom a korábban kimentett koordinátákat. Így az összes kivágat ugyan azokat a sarokpontokat kapta.

7. Műholdas felvételek osztályozása

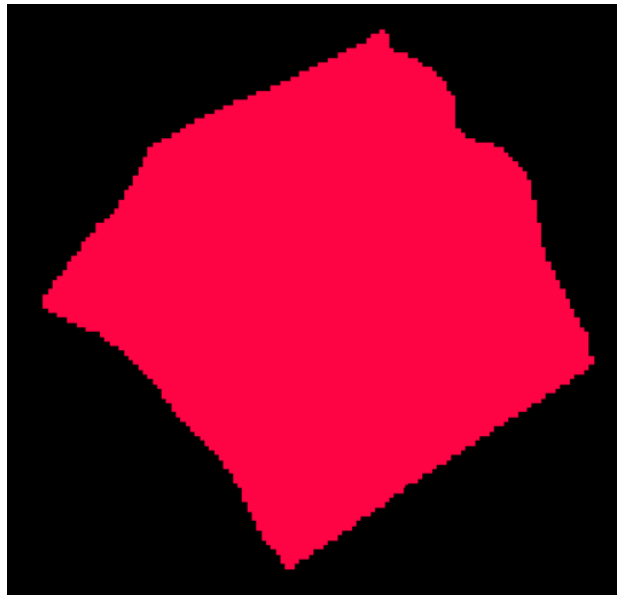
Az feldolgozás során Idrisi programba elsőként beállítottam a forrás mappát, amelyben az bemeneti állományokat összekészítettem. Hamis színes kompozitot készítettem 3-4-8-as sávok felhasználásával. A kompozit egy olyan kép, amelynek az előállításához több réteget használtunk fel. Beállítottam a lehető legnagyobb nagyítást és ezt követően a „Digitize” parancs segítségével elkezdtem a táblahatár digitalizálását. Elneveztem a keletkező réteget táblahatárnak és beállítottam, hogy poligonként mentse majd el. Értéknek egyest állítottam be. A táblahatáron, a hamisszínes kompoziton követve a művelés határát pontokat helyeztem el, amelyeket az Idrisi automatikusan összekötött. Miután körbeértem, a „Digitize” parancs mellett található „Save Digitized Data” paranccsal elmentettem a táblahatár réteget. Az új réteg vektoros adatként lett elmentve.



7.1 ábra A digitalizált táblahatár (Forrás: saját kép)

Készítenem kellett egy maszkot, mert nem az egész képen szerettem volna elvégezni az osztályozást, csak a kijelölt területen. Első lépésben ehhez létre kellett hoznom egy úgynevezett referenciaképet. Ennek segítségével tudom a terület méretét, pixel méretét, valamint a földrajzi koordinátákat vektorból raszterre alakítás során megőrizni. Ezt a „Reclass” parancs segítségével hajtottam végre. Bemenetnek beállítottam egy kivágatot a mintaterületemről. Az kimenet fájlt már maszknak neveztem el. Beállítottam az űrfelvétel intenzitási intervallumát nullára. Ehhez csak be kellett állítanom, hogy minden

érték, ami kisebb, mint tízezer kapja meg a nulla értéket. Elmentettem a maszk réteget. A bal oldali fájl menüsört lefrissítve megjelent a vektoros maszk állomány. Annak érdekében, hogy raszteres állományt kapjak a „Reformat” menü „RASTERVEKTOR” parancsát használtam. Itt beállítottam, hogy vektorból szeretnék raszterre alakítani, valamint azt, hogy poligont szeretnék raszterre alakítani. Vektoros állománynak kiválasztottam a táblahatár nevű állományomat a felülírássra szánt fájlra pedig a maszk réteget adtam meg. Az OK gomb lenyomásával a program elkészítette a raszteres maszk állományt, ami alapján már képes voltam a maszkon belüli területen osztályozni.

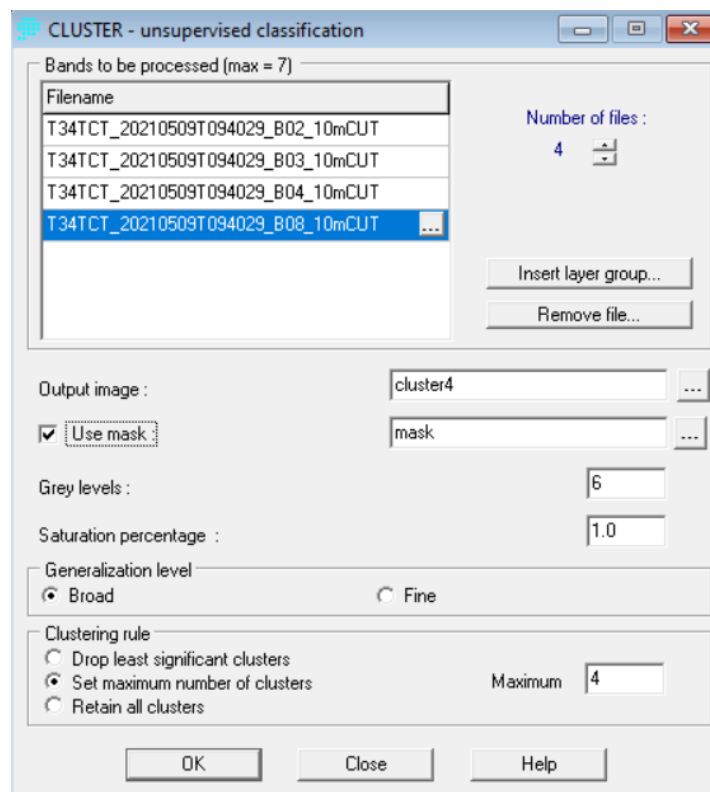


7.2 ábra: A maszk réteg (Forrás: saját kép)

Az első, májusi felvételen még nem jelent meg számottevő vegetáció, ezért a vegetációs indexet nem vettem figyelembe ennél az osztályozásnál. Az osztályozást a négy sáv alapján próbáltam elvégezni.

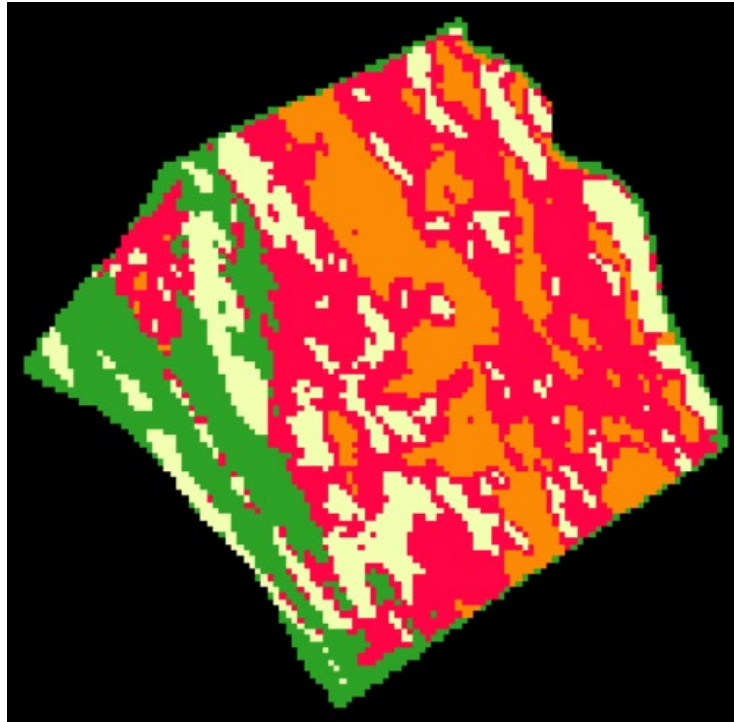
Az „Image Processing” menüpontot lenyitva kiválasztottam a „Hard Classifiers” parancson belül a „CLUSTER” parancsot. A jobb oldalon az állományok számát négyre állítottam és beinvertáltam mind a négy sávot, ami a májusi felvételt alkotta. Természetesen itt már csak a QGIS-el elkészített kivágatokat használtam. Ezt végrehajthattam volna úgy is, hogy elkészíték a négy állományból egy réteg csoportot, amit az „Insert layer group” paranccsal tudtam volna behívni. Kimeneti állománynak

„cluster” nevet adtam valamint ezt kiegészítettem egy számmal annak függvényében, hogy éppen hány osztályt akartam kialakítani az osztályozás során. Kipipáltam a maszk használata lehetőségét, így az osztályozást a táblahatáron belül hajtottam csak végre. Ide a már elkészített maszk állományt töltöttem be. A határon kívül eső pixelek értéke mind nulla volt, így az egy külön osztályban került megjelenítésre. Következőként beállítottam a „Generalization level” értéket „Broad-ra”. A feladat végrehajtása során kipróbáltam a „Fine” beállítást is, de az előbb említett beállítás jobb eredményekhez vezetett. A különbség a kettő között az, hogy a kiugró intenzitások esetén máshogy veszi figyelembe a program az értékeket. Az utolsó beállításnál az osztályok maximum számát használtam, valamint beírtam az értéket, amit a kimeneti fájl nevében már megadtam.



7.3 ábra A CLUSTER beállításai (Forrás: saját kép)

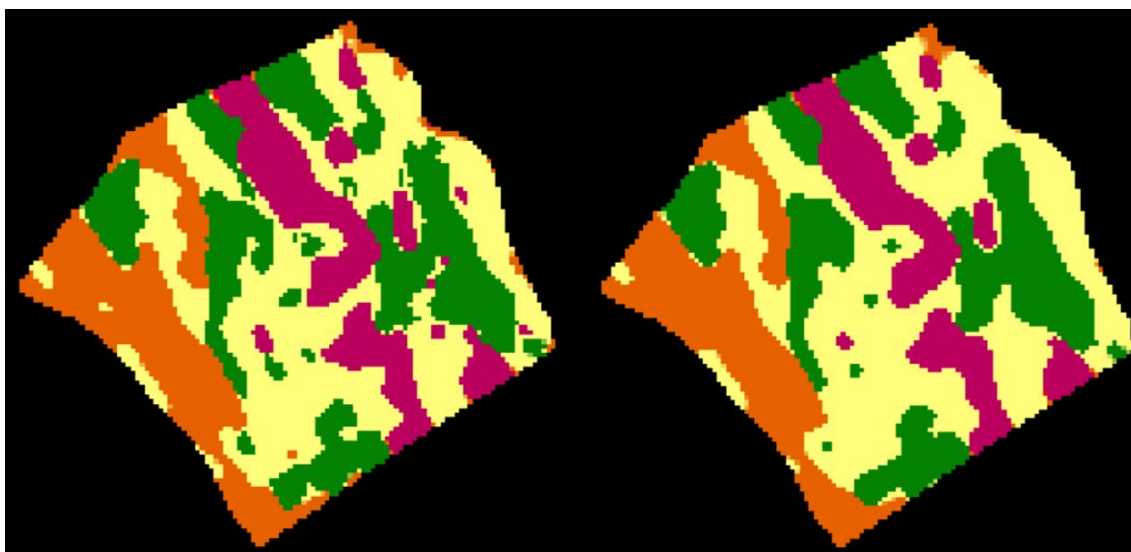
Az OK gomb lenyomása után a program generálta számomra az alább látható osztályozást.



7.4 ábra Osztályozott terület filterezés előtt (Forrás: saját kép)

Látható, hogy a területen egyes pixelek elszórtan helyezkednek el. Ezeket a pixeleket mivel a megállapítások letételében nem segítenek, valamint akár téves feltételezéseket is szülhetnek eltávolítottam a felvételtől. Erre az „Image Processing” menü „Enhancement” fül alatt található „FILTER” parancsot használtam fel. Rengeteg filterezési módszer létezik, ezek ismerete igen fontos, hiszen egy jól megválasztott filter a kép minőségének jelentős javulását hozhatja magával. Számomra a medián szűrő bizonyult a legpraktikusabbnak, ennek is az ötször ötös változatát választottam ki. Ez a filter úgy működik, hogy a kiválasztott pixel környezetének az intenzitásértékeit veszi figyelembe és az alapján fog új értéket adni a pixelnek. Jelen szűrő esetében azt a huszonöt pixelt vizsgálja, amelynek a központjában a változtatandó pixel van.

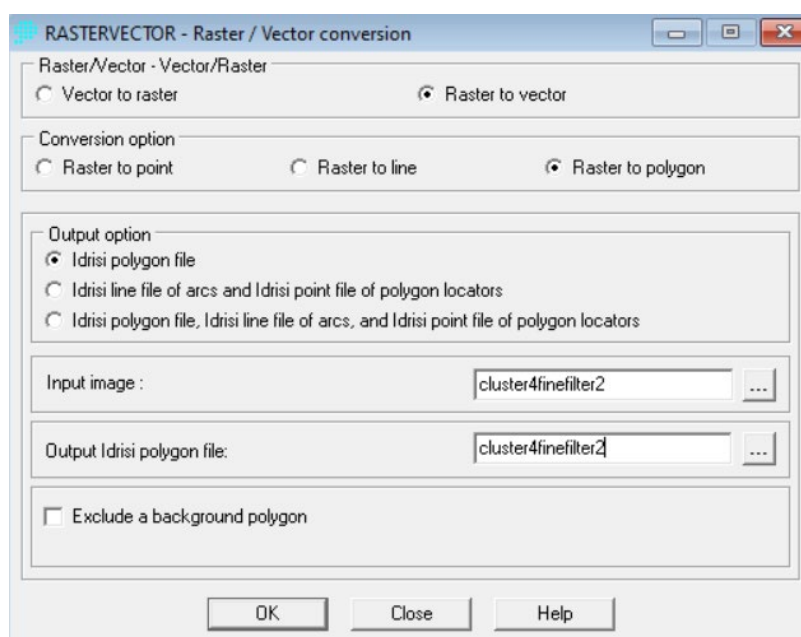
Miután a szűrőt lefuttattam a képen még mindig voltak nem kívánatos pixelek, ezért jobbnak láttam ezt a folyamatot megismételni. Az alábbi ábra bal oldalán látható az első filterezett állapot, ami a fentebb bemutatott kép filterezésének eredménye. A jobboldali kép pedig a baloldali képen lefuttatott ötször ötös medián szűrő eredménye.



7.5 ábra Az első (balra) medián szűrő valamint a második (jobbra) mediánszűrő utáni állapot (Forrás: saját kép)

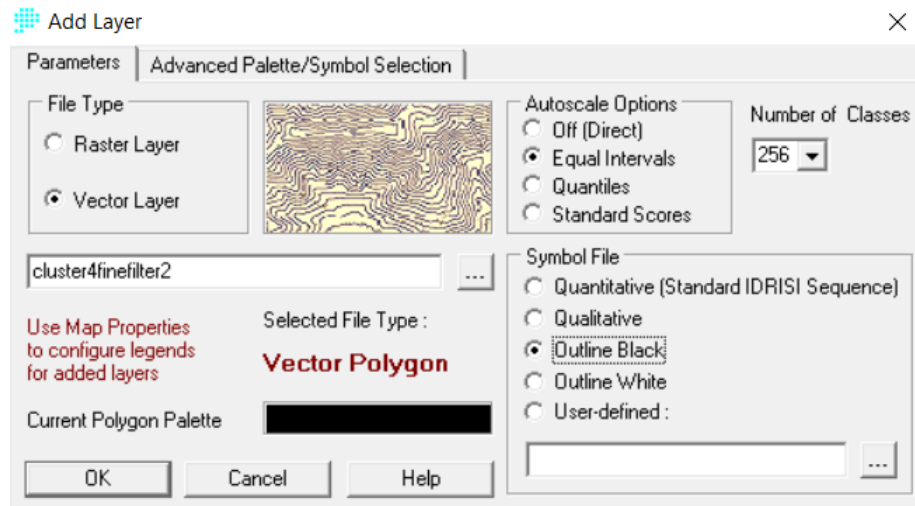
A jobb oldali kép már megfelelőnek mutatkozott, ezért erről készítettem egy vektoros állományt is, hogy megtekinthető legyen az eredeti hamis színes kompoziton az osztályozás eredménye.

Ismét a „RASTERVEKTOR” parancsot használva elkészítettem ezt a vektoros állományt. Az alábbi ábrán ennek a végrehajtásához szükséges beállítások láthatóak.



7.6 ábra A RASTERVEKTOR átalakítás menü (Forrás: saját kép)

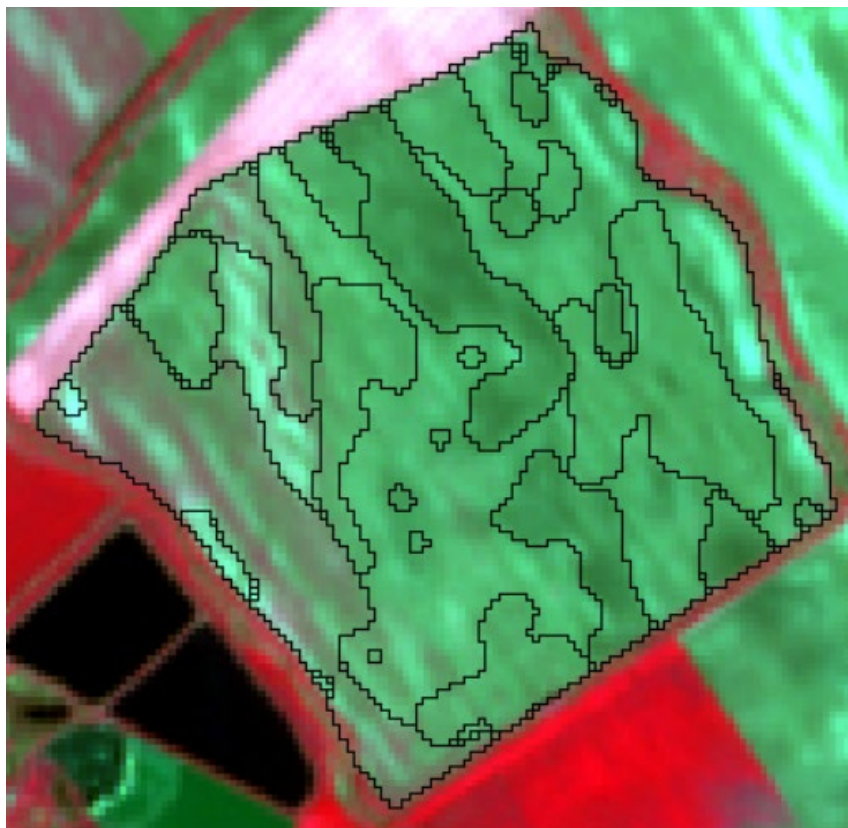
A keletkező vektoros állományt már csak egyszerűen a kompozit megjelenítési ablakához kellett adnom. Erre a folyamatra az Idrisi programban van egy felugró ablak minden megnyitott fájlhoz, az úgynevezett „Composer”. Erre egy jobb klikk után lehetőségünk nyílik az „Add Layer” parancs használatára, amely egy felugró ablak segítségével nyújt lehetőséget a hozzáadni kívánt réteg beállításainak formázására.



7.7 ábra Add Layer beállítások menü (Forrás: saját kép)

Itt nagyon egyszerűen beállítható, hogy raszteres vagy vektoros réteget szeretnénk hozzáadni az alap réteghez. Ezt kiválasztva a három pontra kattintva behívhatjuk a réteget és a program már csak azt a formátumú réteget engedélyezi kiválasztani, amit bejelöltünk.

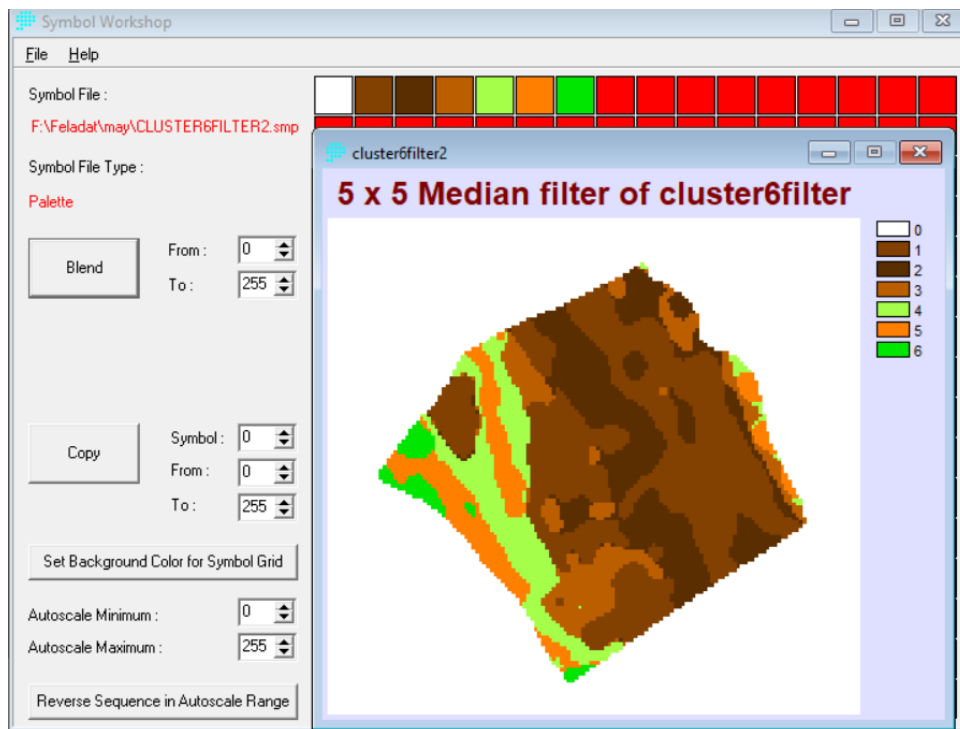
Az fekete körvonalas beállítás lehetővé teszi, hogy a vektoros állománynak csak a körvonalait jelenítse meg a program feketével. Az eredmény így néz ki:



7.8 ábra A kompoziton megjelenített klaszter vektor (Forrás: saját kép)

Az ábrát szándékosan hagytam nagynak megjelenni a dolgozatomban. Jól megfigyelhető hogy a klaszter határai nem esnek egybe a tábla heterogenitásával. Ebből levontam a következtetést, hogy a 4 klaszter nem elegendő a tábla ezen állapotának az osztályozására.

Az feldolgozás során rengeteg beállítást kipróbáltam mind a klaszterezés mind a filterezés során. A filterezés minden esetben az ötször ötös medián szűrővel történt. A klaszterezés esetén ismertetni fogom a továbbiakban a változtatásokat.



7.9 ábra A klaszterek színbeállítása (Forrás: saját kép)

Az elkészült klaszteres réteget a „Symbol Workshop” parancs segítségével átszíneztem, hogy jobban láthatóak legyenek az egyes klaszterek határai.

Készítettem továbbá a klaszterek területéről is táblázatot. A területeket a jelmagyarázatra jobb egérgombbal klikkelve nyílt lehetőségem kiszámítani a „Calculate Area” parancs segítségével. A kiszámított területet könnyedén ki lehetett exportálni .txt formátumban.

Az egyes hónapokról készítettem NDVI-t is, amin a növényzet fejlődése igen pontosan követhető. Az NDVI szerepét a távérzékelésben már korábban ismertettem.

Annak érdekében, hogy a jelmagyarázat a 7.9 ábrán látható kerek számokként jelenjenek meg, a „REFORMAT” menü „CONVERT” parancsával át kell konvertálni az elkészült állományt az alábbi beállítások segítségével. Az így átkonvertált fájlt megnyitva a jelmagyarázatom csak egész számokat tartalmazott.

Output data type	Output file type
☐ Integer	☐ ASCII
☐ Real	☒ Binary
☒ Byte	☐ Packed binary

7.10 ábra A CONVERT parancs beállítása (Forrás: saját kép)

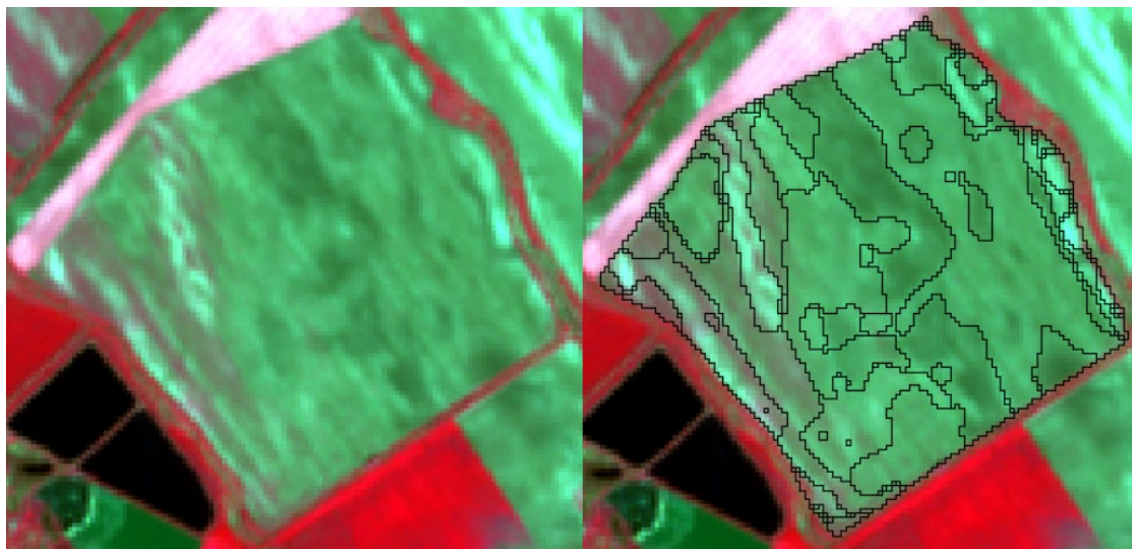
8. Több időpontú adatok osztályozása

A felvételek bemutatását és elemzését fogom bemutatni ebben a fejezetben. Hónapokra bontva ismertetem a fontos információkat, amiket a felvételekről az feldolgozás során meg lehet tudni.

Május

Mint már említettem a választott mintaterületemen a 2021-es évben kukorica volt vetve. Ebből az következik, hogy májusban a vegetáció igen csekély mértékben jelenik csak meg. A hamis színes kompoziton nagyon halvány, pirosas árnyalatot vesz fel az a terület, ahol a növényzet elkezdett növekedni. Ez a felvétel bal oldalán észrevehető. Mindebből kifolyólag a májusi felvétel főként a talajról visszavert jeleket tudtam vizsgálni.

A májusi felvételen hat klasztert alkalmaztam az osztályozás során, mert így találtam a legjobb egyezést a klaszterek határai és a tábla heterogenitása közt.

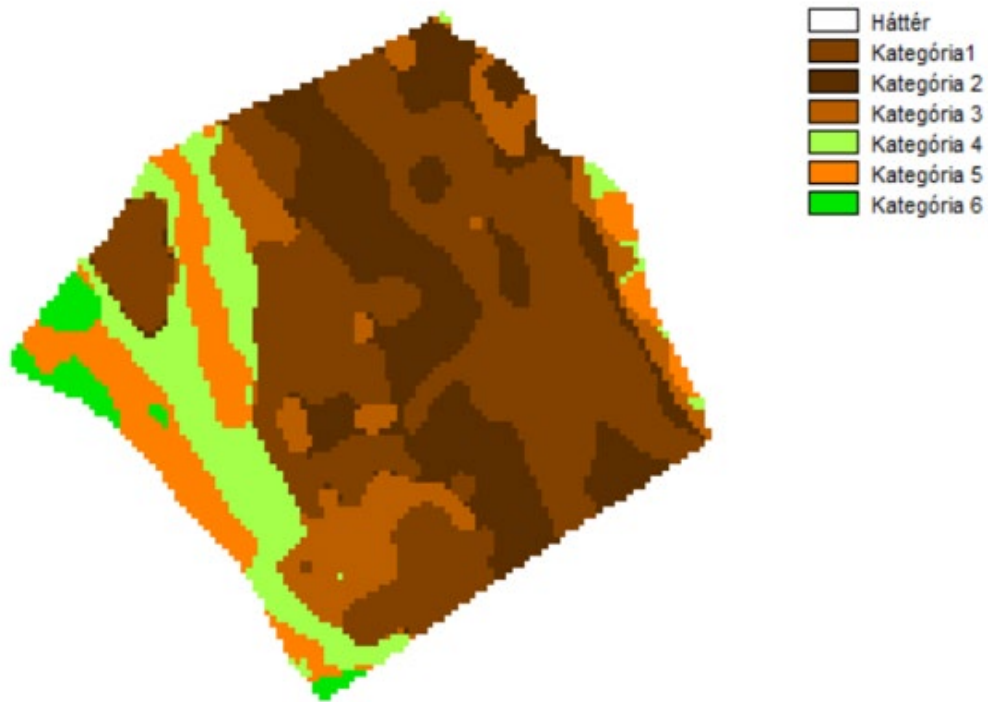


8.1 ábra Hamisszínes kompozit klaszter nélkül (balra) és klaszterrel (jobbra)

(Forrás: saját kép)

Megfigyelhető hogy a hat klaszter sokkal jobban idomul az egyes zónák határaihoz, mint a négy klaszter, amivel eredetileg próbálkoztam. A klasztereket színesen is elkészítettem,

hiszen az által sokkal könnyebb felismerni melyik részek is esnek ugyan abba a kategóriába.

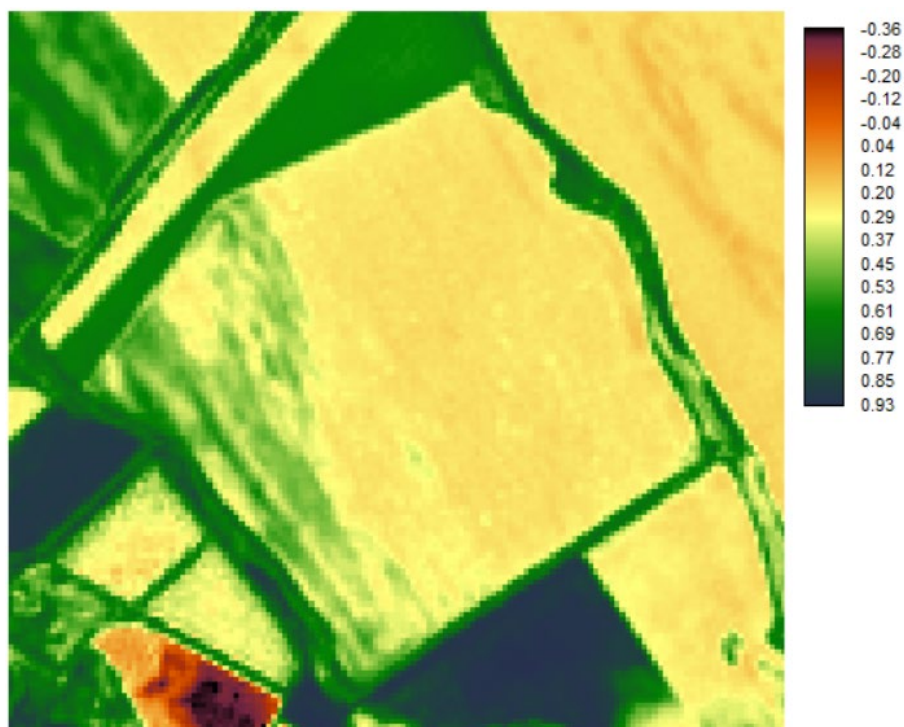


8.2 ábra Májusi klaszterek színesen (Forrás: saját kép)

A program a klaszterek mellé még egy kategóriát beillesztett, ez a maszk háttere, ezt minden esetben fehérre állítottam. A program ezen kívül létrehozta a kívánt hat osztályt.

A hamis színes képen megjelenő világos foltok, ami a színezett kép esetében a Kategória 5-nek felel meg és narancssárgával van színezve, talajerózióra utalnak. A Kategória 2, ami a hamis színes kompoziton sötétebb árnyalatú zöld színt vesz fel a talaj nedvességéből adódóan különül el. Ez a kategória tehát magába foglalja azokat a területeket ahol víznyomás kialakulhat csapadékosabb időjárás esetén. A Kategória 4, és 6 már csekély mértékben növényvel fedett területre utal. A sötétebb zölddel jelölt erősebb, míg a világosabb zöld gyengébb vegetációra utal. A fennmaradó Kategória 1, és 3 a talaj minőségére enged belátást. A sötétebb Kategória 1 jobb minőségű termőföldet jelöl, míg a Kategória 3 pedig egy kissé rosszabb minőségűt.

A növényzet jobb megfigyelhetősége érdekében NDVI-t is alkalmaztam a területen hiszen az kiválóan alkalmas a növényzet térképezésére, megfigyelésére.



8.3 ábra Májusi felvétel NDVI alkalmazása után (Forrás: saját kép)

A zöld színnel megjelenő növényzet jól összeegyeztethető a klaszteren kialakított két csoporttal. Megállapítható az is, hogy a növényzet megjelenése befolyásolja a hamis színes kép alapján elkészülő csoportokat.

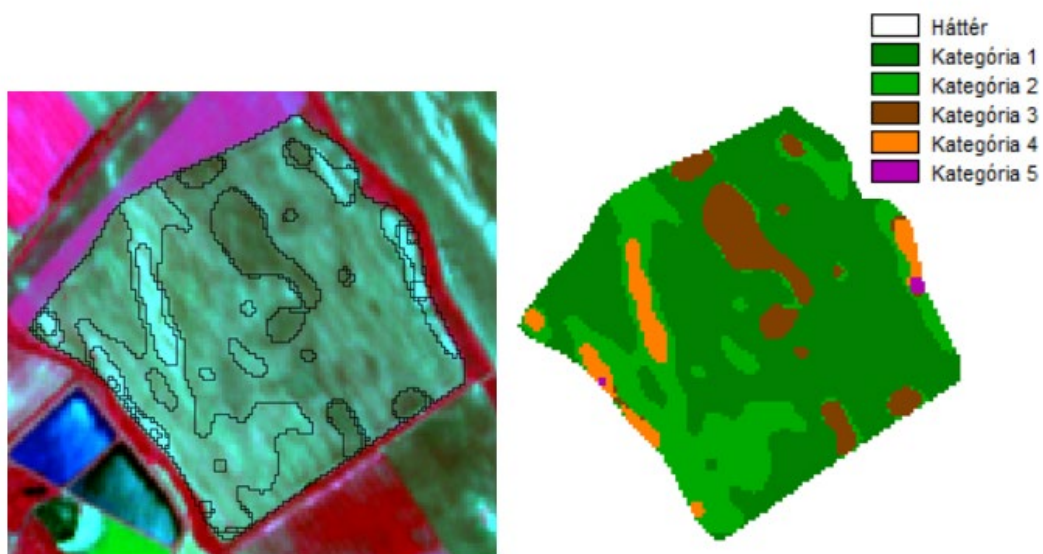
Az alábbi táblázat az egyes kategóriák területét szemlélteti hektár mértékegységben. A területek összege 73,36 hektárt ad ki, ez azt jelenti, hogy a talajeróziós területek a teljes tábla több mint tíz százalékát teszi ki.

4. Táblázat: Májusi klaszter területek

Kategória	Terület (ha)
1	30.59
2	16.61
3	8.18
4	8.61
5	7.6
6	1.77

Június

A júniusi felvételen már az egész táblát borítja vegetáció, de még nem elég erőteljes ahhoz, hogy gátolja a talajra érkező és onnan visszaverődő elektromágneses jelek útját. Az klaszterezés beállításában még itt is a maximum hat klaszter értéket állítottam be, de észrevehető hogy a program csak öt csoportot hozott létre. Ez annak köszönhető, hogy a kultúrnövények megjelenése csökkenti a terület heterogenitását.

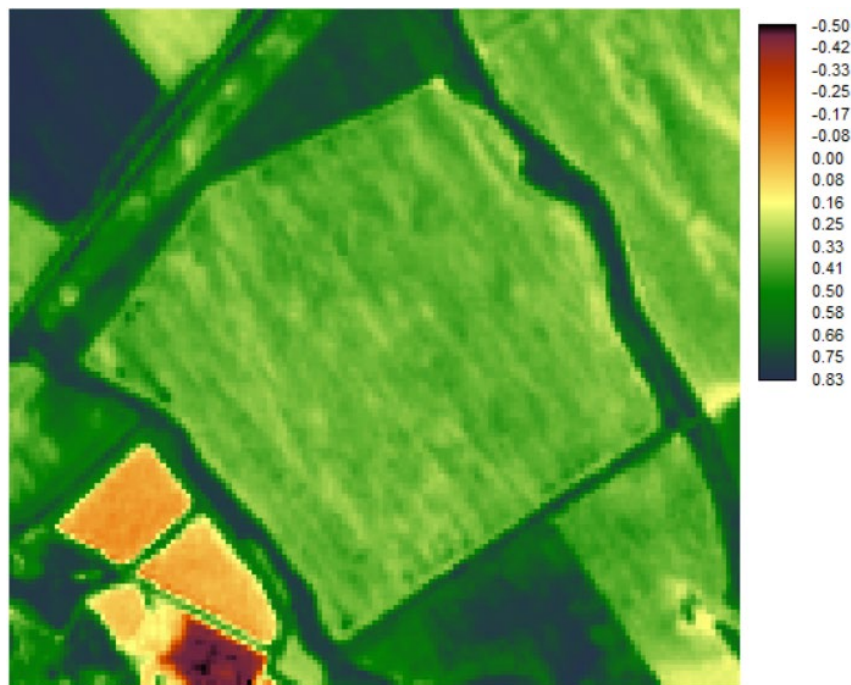


8.4 ábra Júniusi hamis színes kompozit (balra)
és a színezett osztályozás eredménye (jobbra) (Forrás: saját kép)

A Kategória 1 még ezen a felvételen is inkább a talaj minőségét jellemzi, látható, hogy itt jobb minőségű, mint a Kategória 2 csoportba eső területen. A Kategória 3, amit itt is barnára színeztem még mindig a talaj vízenyősségére utal, azonban a májusi állapothoz képest jelentősen kisebb területet foglal el. A Kategória 4, vagyis a narancssárga terület a májusihoz hasonlóan a talajeróziós terület. A Kategória 5 pedig, amit lilával ábrázoltam, olyan területek, amelyeket a program a Kategória 4 osztályon belül is kiugróan eltérőnek talált. Ezt, mivel a területe mindössze pár pixel az osztályozásból akár ki is lehetne hagyni, hiszen azok az értékek, abban az esetben, ha a klaszterezésre csak négy klasztert engedélyeznénk, a Kategória 4 osztályba kerültek volna be. Azonban amennyiben a területet művelő gazda rendelkezik precíziós tápanyag utánpótlásra alkalmas

eszközökkel, a Kategória 5 esetén nagyobb dózisban lenne képes a műtrágyát kijuttatni azon a területen. Ennek köszönhetően a növényzet nem fog olyan mértékben elmaradni a többi, jobb tulajdonságú területhez képest.

Észrevehető továbbá az is, hogy a legjobb tulajdonságú területek (Kategória 1) és a problémás területek (Kategória 4) között átmenetet képez, a kettő közé eső kevésbé jó termőterület (Kategória 2). A színezett klaszteres képen jól látszik, hogy a világoszöld terület körbe öleli a narancssárga területeket.



8.5 ábra Júniusi felvétel NDVI alkalmazása után (Forrás: saját kép)

A júniusi felvételen megjelenő növénytakaró már kezd belátást nyújtani, hogy az egyes kategóriákon belül, hogy fejlődik a növényzet. Az Észak-keleti oldalon ahol az egyik problémásabb talaj folt is található, az NDVI értékek igen alacsonynak mutatkoznak. Ezek a területek sárgán jelennek meg az indexen. Azok a területek, ahol már májusban megtalálható volt a növényzet egészen sötétzöld foltokként jelennek meg mintaterület bal oldali sarkában. Ez utalhat nagyobb elgazosodásra is azon a területen.

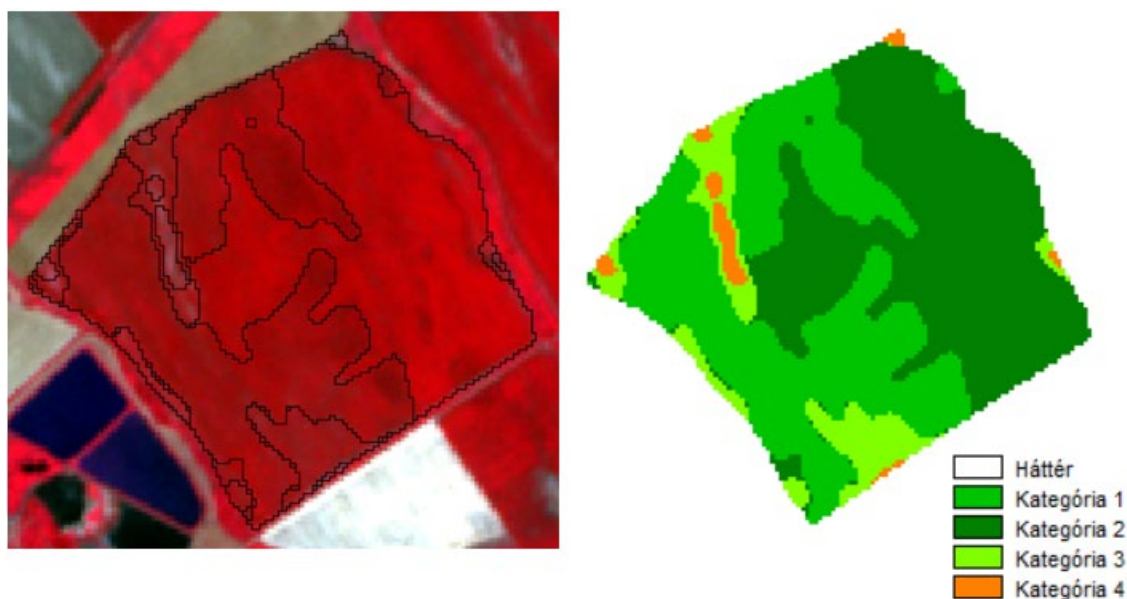
A táblázat is jól szemlélteti, hogy a növényzet megjelenése milyen módon befolyásolja az egyes csoportok alakulását. Fontos hozzátenni azt is, hogy ebben a táblázatban csak 5 kategória van szemléltetve a májusi hattal szemben.

5. Táblázat: Júiusi klaszter területek

Kategória	Terület (ha)
1	46.18
2	16.98
3	6.51
4	3.4
5	0.19

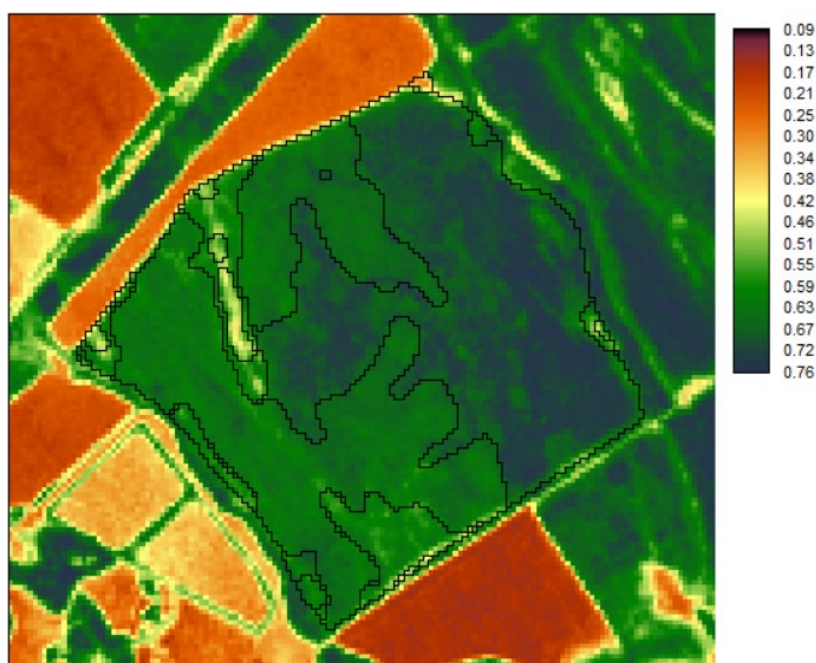
Július

Ebben a hónapban a növényzet már teljesen kitakarja a talajt, így a talaj tulajdonságait már csak a növényzet fejlődésének mértékéből következtethettem ki, valamint ezt összevetettem a korábbi két hónap megfigyelésével. Mivel a növényzetről verődik vissza a jel a növény fejlődésbéli eltérések egyértelműen kimutathatóak. Kultúrnövény állapotának osztályozásához a klaszterek számát négyre csökkentettem. Növényvédelmi kezelések esetén a klaszterek száma osztályozási paraméterek módosításával növelhető.



8.6 ábra Júiusi hamis színes kompozit (balra)
és a színezett osztályozás eredménye (jobbra) (Forrás: saját kép)

A hamis színes kompoziton igen élesen kirajzolódnak azok a területek, amelyeket a klaszterezés a Kategória 4 csoportba sorolt. Azokon a területeken a növényzet részben vagy esetlegesen teljesen hiányzott. Ezeket a területeket már a korábbi hónapokban is jól kivehetően kimutatta az osztályozás, mint problémás terület. Ezek a területek nagyobb mértékű beavatkozást igényelnek annak érdekében, hogy a növényzet felzárkózhasson a többi területre jellemző mértékig.



8.7 ábra Júliusi felvétel NDVI alkalmazása után (Forrás: saját kép)

Az NDVI szintén jól kimutatja, hol gyenge vagy hiányos a növényzet, ami a talaj minőségi problémájára utal. A Kategória 2 osztály a legerősebb növényzetet fedi le. Az NDVI értékek ezen a területen 0.62 és 0.76 közé esnek, ami igen jó minőségű növénytakarót jelent. A Kategória 1 nagyjából 0.54 és 0.64 közötti értékeket vesz fel. A Kategória 3-at a 0.50 és 0.62 közötti értékek jellemzik, láthatóan ez a csoport öleli fel a Kategória 4-be tartozó területeket. Az utolsó csoport esetében 0.38-tól nagyjából 0.60-as értékek között ingadoztak. A csoportok közötti nagy átfedés főként a csoportok határán elhelyezkedő pixelek miatt figyelhető meg.

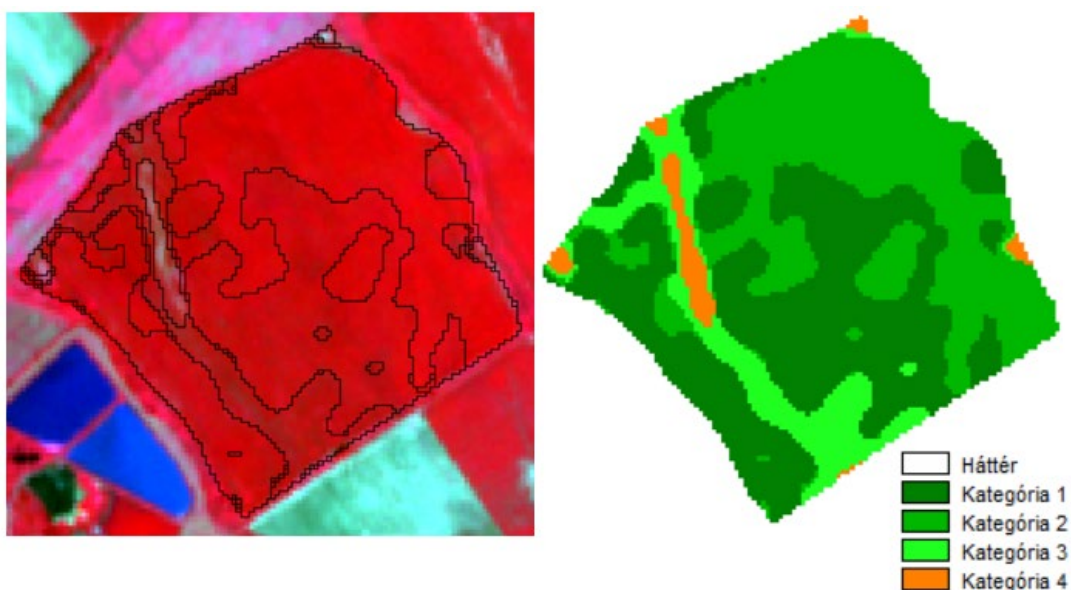
6. Táblázat: Júliusi klaszter területek

Kategória	Terület (ha)
1	31.1
2	33.58
3	7.2
4	1.28

A júliusi osztály területi táblázatból látszik, hogy milyen mértékben módosultak az egyes területi viszonyok az előző hónaphoz képest. Szem előtt kell azonban tartani azt, hogy ebben a táblázatban ismét egyel kevesebb klaszter területe található meg, valamint azt, hogy a növényzet átvette a talajfelszín szerepét, mint energia visszaverő felszín.

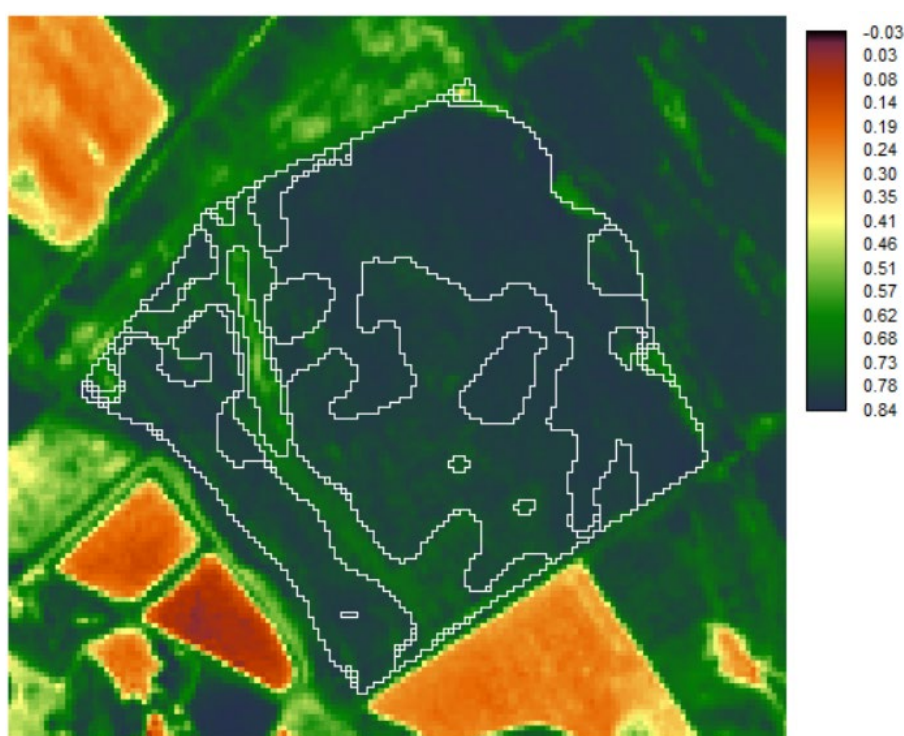
Augusztus

Az augusztusi hamis színes kompoziton jól szembetűnik, hogy az első és második kategóriák között fellépő árnyalatbeli különbség kisebb, mint a július hónapban volt megfigyelhető. Ez azt jelenti, hogy a növényzet a gyengébb talajokon is kezdi elérni azt a kifejelettséget, amit a jobb minőségű talajon. Az erodált területek nagyon jól kivehetőek a felvételekből. Itt a növényzet vagy teljesen hiányzik, vagy olyan hiányban szenved, ami miatt nem képes a fejlődésre. Az osztályok alakjai átrendeződtek, de ez a növényzet fejlődéséből következő, csökkenő heterogenitás miatt van.



8.8 ábra Augusztusi hamis színes kompozit (balra)
és a színezett osztályozás eredménye (jobbra) (Forrás: saját kép)

Az NDVI-on, hasonlóan a hamis színes kompozithoz az egyes és kettes kategóriák közötti árnyalatkülönbség szinte elenyésző. A Kategória 2 NDVI értékei 0.70 és 0.84 közé esnek, ám a 80 körüli érték a legmeghatározóbb a területen. A Kategória 1 esetén az értékek 0.70 és 0.80 közé esnek, azonban a legszámottevőbb mértékben a 0.75-0.78 közötti értékek figyelhetők meg. A Kategória 3, hasonlóan a júliusi felvételhez, körülöleli a Kategória 4 osztályt. Itt az NDVI értékek 0.60 és 0.75 közé esnek. Végül pedig a Kategória 4 értékei a 0.37-től egészen a 0.70 értékekig nyúlnak.



8.9 ábra Augusztusi felvétel NDVI alkalmazása után (Forrás: saját kép)

Az osztályok területe az augusztusi felvételen nem mutat nagy változás a júliusi állapothoz képest. A területek nagyjából azonos méretűek, a változás inkább az osztályok alakjában mutatkozott meg számottevően.

7. Táblázat: Augusztusi klaszter területek

Kategória	Terület (ha)
1	33.3
2	29.1
3	8.66
4	2.3

9. Összegzés

Szakdolgozatom témája távérzékelés, azon belül is a helyspecifikus növénymonitoring szerepe a precíziós mezőgazdaságban. Ennek bemutatására nyíltan hozzáférhető műholdas felvételeket használtam fel.

A Sentinel-2 felvételeit könnyedén letölthettem a Copernicus oldaláról, hiszen az oldal jól kezelhető és a kellő paraméterek ismeretében a felvételek keresése pillanatok alatt elvégezhető. A kapott felvételek spektrális, radiometriai és geometriai felbontása is elegendő volt az osztályozás elvégzésére. Az Idrisi Selva program egy egyszerűen kezelhető, felhasználóbarát és stabil szoftver. Az ilyesfajta célú feladatok elvégzésére alkalmas program.

A mintaterületemen négy hónap felvételeinek osztályozásával mutattam be a növényzet változását. Megfigyelésem első hónapjában a növényzet csekély jelenléte engedte a talaj vizsgálatát, amiről könnyedén megállapítottam az osztályozás segítségével, hogy hol található problémás terület a táblán.

NDVI és hamis színes kompozit segítségével nyomon követtem, hogy alakul a növényzet fejlődése az egyes területeken a talaj minőségének függvényében. Megállapítottam, hogy a narancssárgára színezett területek esetében fokozottan több tápanyagpótlásra lenne szükség, valamint az ezeket körül ölelő övezetekben is fokozni kéne a tápanyag kijuttatását.

Arról, hogy a területet kezelték e műtrágyával vagy egyéb növényvédő szerrel, amely a változásokat befolyásolná, sajnos nem volt információm.

A területen a heterogenitás csökkentése érdekében mindenképp ajánlott lenne a precíziós tápanyag-utánpótló technológiák használata, valamint érdemes lenne hozamtérképet készíteni, amely által megbizonyosodhatunk arról, hogy hozam növekszik a precíziós mezőgazdasági technológiák alkalmazásának következtében.

10. Summary

The topic of my dissertation is remote sensing, including the role of site-specific plant monitoring in precision agriculture. To illustrate this, I used openly accessible satellite imagery.

I was able to easily download the Sentinel-2 recordings from the Copernicus site, as the site is easy to use and the search for the recordings can be done in a matter of seconds with the right parameters. The spectral, radiometric and geometric resolutions of the obtained images were also sufficient to perform the classification. Idrisi Selva is an easy-to-use, user-friendly and stable software. A program suitable for performing such tasks.

I presented the change of vegetation in my sample area by classifying the four-month recordings. In the first month of my observation, the low presence of vegetation allowed the soil to be examined, which I easily determined the problematic area on the field by using classification.

Using NDVI and false color composite, I monitored the development of vegetation in each area as a function of soil quality. I found that the areas colored orange would require more nutrient replenishment, as well as increased nutrient application in the surrounding areas.

I had no information about whether the area was treated with any fertilizer or other pesticide that would affect the changes.

In order to reduce heterogeneity in the field, it would be advisable to use precision nutrient replenishment technologies, and it would be worthwhile to create a yield map to ensure that yields increase as a result of the use of precision agricultural technologies.

11. Irodalomjegyzék

- [1] Gaál M. – Humenyik N. – Illés I. – Kiss A.: A Precíziós Szántóföldi Növénytermesztés Helyzete És Ökonómiai Vizsgálata (2020)
- [2] Prof. Dr. Tamás János, Precíziós Mezőgazdaság (2002)
- [3] Gaál M. – Péter K. – Takácsné György K. – Illés I. – Kiss A. – Sulyok D. – Domán Cs. – Keményné Horváth Zs.: A precíziós szántóföldi növénytermesztés összehasonlító vizsgálata (2017)
- [4] <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2008/09/szantofold/precizios-mezogazdasag-1-resz>
- [5] <https://ikragrar.hu/precizios-talajmintavetel>
- [6] <https://www.nak.hu/szolgáltatások-letoltheto-dokumentumai/tgt/3133-tgt-utmutato/file>
- [7] <https://mezohir.hu/2020/08/19/talajmintavetel-es-kijuttatastervezes-egyszeru-modszerekkel-a-precizios-gazdalkodasban/>
- [8] <https://agroforum.hu/agrarhirek/novenytermesztes/precizios-gazdalkodas-a-hozammerestol-a-hozamterkepig/>
- [9] <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2014/05/gepesites/hozamterkepezes-muszaki-megoldasok-lehetosegek>
- [10] <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2013/05/gepesites/az-aratas-tuningolasa-tobbletinformacioval>
- [11] Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata, Fotointerpretáció és távérzékelés 1. (2010)
- [12] Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata, Földhasználati tervezés és monitoring 3.
- [13] <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/radiometric>
- [14] <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- [15] <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2018/09/szantofold/talajegytem-gyakorlo-gazdagnak-avagy-hogyan-ismerjuk-meg-a-talajainkat>
- [16] <https://maps.rissac.hu:3344/webappbuilder/apps/2/>
- [17] Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata, Fotointerpretáció és Távérzékelés (2011)
- [18] Timothy A. Warner - David J. Campagna, Remote Sensing with IDRISI® (2013)

- [19] <https://en.wikipedia.org/wiki/QGIS>
- [20] <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>
- [21] <https://talajreform.hu/tudasbazis/ndvi-kepek-hasznalata/>
- [22] [https://en.wikipedia.org/wiki/SPOT_\(satellite\)](https://en.wikipedia.org/wiki/SPOT_(satellite))
- [23] <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>