



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

**Precíziós gazdálkodás fejlesztési lehetőségei a
zóna kialakítás irányába**

OE-AMK

2022

Hallgató neve: Freiszmuth Endre József

Hallgató törzskönyvi száma: T000683/FI12904/A-G



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Freiszmuth Endre József

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T000683/F112904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: precíziós gazdálkodási szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Precíziós gazdálkodás fejlesztési lehetőségei a zóna kialakítás irányába

A dolgozat címe angolul: Development opportunities for precision farming towards zoning

A feladat részletezése:

1. Szakirodalom alapján ismertesse a zónatérképezés módszereit!
2. Mutassa be a vizsgálat tárgyát képező gazdaságot, mintaterületet!
3. Jellemezze a precíziós gazdálkodás résztechnológia bevezetésével járó fejlesztéseket!
4. Mutassa be egy kiválasztott mintaterületen, hogy mi a jelentősége, és hol van haszna a gazdaságban a zónák kialakításának!
5. Tapasztalatok alapján vizsgálja meg a további fejlesztési lehetőségeket!

Intézményi konzulens neve: Verőné Dr. Wojtaszek Małgorzata Mária

Külső konzulens neve: Csornai Gábor

Munkahelye: COSIMA Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 12. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2022. 10. 17.



[Signature]
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2022. 12. 15.

[Signature]
belső konzulens

[Signature]
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozat/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Mór, 2022. november 25.

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
2.	Szakirodalmi áttekintés.....	2
2.1	A zóna fogalma	2
2.2	A zónatérképezés módszerei	2
2.2.1	Topográfia, domborzat modellek.....	4
2.2.2	Hagyományos talajvizsgálatok	4
2.2.3	Talaj elektromos vezetőképessége.....	5
2.2.4	Műholdfelvételek, mint adatforrás.....	8
2.2.5	Hozamtérképek	10
3.	Anyag és módszer.....	13
3.1	Az Isztiméri Bakony Kft. bemutatása	13
3.2	A Te-1 mintaterület bemutatása	13
3.2.1	A Te-1 mintaterület talajtani jellemzői	13
3.2.2	A Te-1 mintaterület domborzata.....	14
3.3	A precíziós gazdálkodás bevezetésével járó fejlesztések.....	15
3.4	A vizsgálathoz felhasznált műholdképek.....	20
3.5	A Te-1 jelű mintatábla hozamtérképe	21
3.6	A vizsgálathoz használt szoftverek	22
3.7	A vizsgálati módszerek bemutatása	23
4.	Vizsgálati eredmények.....	26
4.1	Az NDVI, NDMI indexek és a Te-1 tábla terméshezama közötti kapcsolat ...	26
4.2	Az NDVI, NDMI indexek és a Mu-2 tábla terméshezama közötti kapcsolat..	28
4.3	A Te-1 tábla automatikus osztályozása (klaszterezése) IDRISI környezetben	33

4.4	A Te-1 tábla szegmentálása QGIS környezetben.....	36
4.5	A zónatérképezés továbbfejlesztési lehetőségei.....	39
5.	Összefoglaló.....	41
6.	Summary.....	42
7.	Irodalomjegyzék	43
8.	Ábrajegyzék	45

1. BEVEZETÉS

A mezőgazdaság digitális átállása a hagyományos gazdálkodási formáról a precíziós gazdálkodás irányába megkerülhetetlen folyamat. Az újonnan forgalomba helyezett erő- illetve munkagépek szinte alapfelszerelésként tartalmazzák a pontos helymeghatározáshoz szükséges technológiát, robotpilótát, illetve az automatikusan vezérelhető táblán belüli differenciált dózisu input kijuttatást lehetővé tevő eszközöket. Ezeknek üzemeltetéséhez újfajta szemlélet és speciális tudás szükséges.

A mezőgazdaság digitális átállása sürgető feladat. Klíma- és környezetvédelmi célok érdekében az Európai Unió célkitűzése a műtrágyák és növényvédő szerek felhasználásának drasztikus csökkentése, korlátozása, az előírások szigorítása mára társadalmi elvárás.

A mezőgazdaság digitális átállása egyben gazdasági érdek is. A precíziós gazdálkodás egyes elemeinek bevezetése a gazdálkodásba, mint például a GNSS technológia és a robotpilóta, már önmagában is jelentős üzemanyag, üzemidő megtakarítással jár a munkagépek ráfedésének minimalizálásával a pontos csatlakozások által. Mindez kisebb környezeti terhelést, talaj taposást eredményez. Az utóbbi másfél évben drasztikusan megemelkedett energia árak, műtrágya és növényvédő szer költségek mellett létkérdés lett a rendelkezésre álló inputok okszerű felhasználása a táblán belüli heterogenitást, eltérő termőképességi potenciált figyelembe vevő gazdálkodás által.

Szakdolgozatomban egy Fejér megyei gazdaságon, az Isztiméri Bakony Kft.-n keresztül mutatom be a precíziós gazdálkodás bevezetésének és fejlesztésének folyamatát az első helymeghatározást lehetővé tevő technológia és robotpilóta beszerzésén át a helyspecifikus, táblán belüli okszerű input kijuttatás alapját jelentő zónatérképezésig. Egy kiválasztott mintaterület segítségével bemutatom a tábla heterogenitásának feltérképezését és a 2022-es hozamtérkép és különböző időpontokban, műholdfelvételekből számolt indexek segítségével kialakítom a viszonylag homogén zónák határait. A termőképességi potenciál lehatárolásánál nélkülözhetetlenek a terület hozam adatai. Mivel csak egy évre rendelkezik a gazdaság hozamtérképpel, a zónák meghatározása nem lehet pontos, a megbízható zónák kialakításához több (3-5) évből származó adatok elemzése szükséges.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A zóna fogalma

A táblán belüli kezelési, művelési egységeket menedzsment zónáknak nevezzük. A zóna a termést meghatározó tényezők viszonylag homogén kombinációját fejezi ki, meghatározásában leginkább hasznos információk közvetlenül kapcsolódnak a terméshez. A növénytermesztési inputok pontos és jövedelmező kijuttatásának alapja. [1] A zóna az azonos terméspotenciálú táblarészek együttese, amelynek alap adottságai az idő múlásával nem vagy nehezen változnak. [2] A zónák legfontosabb tulajdonsága tehát, hogy a lehatárolt táblarészen belül a termőképesség, termőképességi potenciál bizonyos határok között azonos. Ha a zónák kijelölése pontos, akkor a zóna viszonylag homogén termőképességű. A zónázás pontossága lényegében meghatározza az egész helyspecifikus gazdálkodás eredményességét. Rosszul elvégzett zónázással tulajdonképpen azt a hibát követjük el, amit a táblán végzett átlagos, egy dózisú input kijuttatásnál, a gyenge termőképességű táblarészekre indokolatlanul többlet fordítunk, a jobb részek potenciálját pedig nem használjuk ki megfelelően. [3]

2.2 A zónatérképezés módszerei

A táblák élőhelyek mozaikjai, amelyek mindegyike egyedi biofizikai jellemzőkkel rendelkeznek, amelyek befolyásolják a talaj tulajdonságait és a termés hozamokat. A menedzsment zónák azonosítása során a következő térbeli adatok összegyűjtésére és értelmezésére lehet szükség: termés hozam, domborzat, műhold felvételek, a talaj elektromos vezetőképessége, talajvizsgálati és tápanyag térképek. Ezekből az adatokból a menedzsment zónák levezetéséhez globális helymeghatározó (GNSS) és térinformatikai (GIS) rendszerekkel kapcsolatos ismeretek is szükségesek. Az intenzíven gyűjtött termés/talaj adatok (elektromos vezetőképesség, hozamtérképek és távérzékelt adatok) számítógépes osztályozását (klaszterezés) használhatjuk menedzsment zónák azonosítására megfelelő szoftverek segítségével (IDRISI Selva, eCognition, QGIS). Ez egy ígéretes statisztikai megközelítés a viszonylag homogén régiók azonosítására a különböző, eltérő forrásokból származó adatokból. A klaszterezés célja, hogy azonosítsa azokat a területeket, amelyek

hasznos talaj- és növényparaméterekkel rendelkeznek. A megfelelő megoldások hatékonysága a problémák azonosításának képességén, a termőhelyek jellemzésén és a megoldások fejlesztésén múlik. [4]

Ahhoz, hogy sikeres legyen, a táblán belüli zónák lehatárolási módszerében valódi ok-okozati összefüggéseken kell alapulnia a termőhelyi jellemzők és a termés hozam között. Minél több releváns tényezőt tartalmaz egy menedzsment zóna stratégia, annál jobb a változó dózisz kijuttatási térkép pontossága. A legjelentősebb tényezők, amelyeket a menedzsment zónastratégiában figyelembe kell venni azok, amelyek a legközvetlenebbül befolyásolják a termés hozamot. Ironikus módon a hozamtérképekből nyert termés hozam-minták nem biztos, hogy évjáratonként elég stabilak ahhoz, hogy pontosan meghatározzák a menedzsment zónákat kiegészítő információk nélkül. Helyettesítő adatok, mint például a talaj EC értékei is téves lehatároláshoz vezethetnek, kivéve, ha jól korrelálnak a termés hozamot közvetlenül befolyásoló tényezőkkel. A térbeli adatok néhány forrása ingyenesen vagy alacsony költséggel állnak rendelkezésre. Ezek közé tartozik a termelő helyi ismeretei, topográfiai térképek, valamint a műholdfelvételek, amelyek az interneten elérhetőek. Néhány helyi jellemző közvetlenül mérhető, és nem változik jelentősen az idő múlásával, beleértve a tenger szint feletti magasságot, topográfiát, elektromos vezetőképesség értékeket és egyéb talaj fizikai tulajdonságokat. Ha ezek a tulajdonságok a termés hozammal összefüggésben vannak, akkor megbízható módon használhatóak a menedzsment zónák meghatározására. Az ilyen típusú információknak előnye, hogy időben stabilak és csak egyszer kell mérni. A sűrű mintavételezéssel létrejött adat állományok sokkal hasznosabbak, mint a ritkán mintavételezett adatok állománya, nem lesznek kitéve az interpolációs problémáknak. A kisebb menedzsment zónákat reálisabban lehet meghatározni ezekből a sűrű adat rétegekből. Hozamtérképek, digitális domborzatmodellek (DEM), digitalizált légi felvételek és más szenzor alapú adathalmazok mind-mind sűrűnek tekinthetők. [1]

Menedzsment zónák különböző eszközök segítségével alakíthatók ki, beleértve a topográfiát, domborzat modelleket, talajvizsgálatokat, a talaj elektromos vezetőképességének mérését, a légi felvételeket, a műholdképeket és a hozamtérképeket. [5]

2.2.1 Topográfia, domborzat modellek

A nitrogén (N) szintek a talajban nagymértékben összefüggenek a domborzattal, ami a víz talajfelszíni és talajon belüli mozgásán alapul. A nitrát-N mozgékony a talajban, és úgy tűnik, hogy a talajban évről évre ugyanazokra a helyekre mozog. A N-kezelési egységek topográfiára alapozása azért vonzó, mert az ezekből a zónákból gyűjtött adatok a szükséges információkat tartalmazzák a rácshálós talajmintavételezés költségének töredékéért. Azonban annak meghatározása, hogy pontosan hova illeszkednek a N-szintek határait, nem feltétlenül egyértelműek. Egyéb mérések és megfigyelések is segíthetnek a határok meghatározásában. A lejtő fekvése és a domborzati formák olyan topográfiai jellemzők, amelyeket szintén felhasználhatóak a víz és a növény termőképessége közti összefüggések megértéséhez. Általában a lejtő alatti fekvés jobb, mint a lejtő feletti fekvés, kivéve, ha a rossz vízelvezetés belvizet okoz. [5]

2.2.2 Hagyományos talajvizsgálatok

A hagyományos talajvizsgálatok felbontása gyakran nem biztosítja a különböző termőképességű gazdálkodási zónák hatékony meghatározásához szükséges részletességet. [5] Az 1990-es évek elején dolgoztak ki először P- és K-műtrágyázáshoz felhasználható kijuttatási térképeket ritkásan elhelyezett rácshálós talajmintavételezés eredményei alapján. Mivel a talajmintavételezés pontjai ritkán helyezkednek el, a mintavételi pontok közötti talajvizsgálati értékeket interpolálni vagy becsülni kell. [1] Hagyományosan alkalmazott rácsháló alapú, 5 hektáros mintavételezés ezért nem alkalmas precíziós, helyspecifikus input kijuttatás tervezésére. Az öt hektáros táblarészekből vett egy darab átlagmintából nem lehet következtetni a táblarészen belül meglévő különbségekre, a rácsháló által lefedett zónán belül egymástól nagyban eltérő tulajdonságú részek kerülhetnek, amiket egy átlagos értékkel jellemezzük. [6] Ezért a megfelelő pontosság érdekében a mintavételi sűrűség általában nem lehetne 1 hektárnál nagyobb. Rácshálós talajmintavételezés mindazonáltal több szempontból is javította kezdetben a műtrágyakijuttatás pontosságát. Nagymértékben növelte ugyanis a térbeli információt a teljes táblára kiterjedően a mintavételezés hiányához képest. [1]

2.2.3 Talaj elektromos vezetőképessége

Talajaink tulajdonságairól fontos információkat nyerhetünk ún. talajszkennerek segítségével, amelyek a talaj elektromos vezetőképességét (EC), illetve ellenállását (R) mérik. [7] A talaj elektromos vezetőképességének feltérképezése egy egyszerű, viszonylag olcsó eszköz, amellyel a precíziós gazdálkodók gyorsan és pontosan jellemezhetik a talajkülönbségeket a táblán belül. A talaj EC értékei korrelálnak a termőképességet befolyásoló talajtulajdonságokkal, többek között a talajszerkezettel, a kation cserekapacitással, a víz-elvezetési viszonyokkal, a szervesanyag-, sótartalommal és az altalaj jellemzőivel. Terepi ellenőrzéssel, a talaj EC értéke összefüggésbe hozható a terméshozamot befolyásoló konkrét talajtulajdonságokkal, például a felső termőréteg vastagságával, pH-, sókoncentrációval és víztartó képességgel. A talaj EC-térképek gyakran vizuálisan megfelelnek a terméshozam-térképek mintáinak, és segíthetnek a terméshozam-változások magyarázatában. A talaj EC-térképek egyéb felhasználási területei közé tartozik a talajmintavételezés megtervezése, irányítása, a növénytermesztési inputok változó dózisainak meghatározása, a sótartalom diagnosztizálása és a táblán belüli belvízelvezetés megtervezése. A talaj EC értéke számos talaj tulajdonságot integrál, ami a termőképességet befolyásolja. Ezek közé tartozik talaj víztartalma, talajszerkezet, talaj szerves anyag tartalma, agyagbemosódások mélysége, a kationok cserekapacitása, sótartalom, valamint a cserélhető kalcium (Ca) és magnézium (Mg). A talaj EC-mérések hozzáadott értéket jelenthetnek a gazdálkodáshoz, ha azok segítségével megmagyarázható a terméshozam változások. Ennek azután jobb gazdálkodási lehetőségekhez kell vezetnie, amelyek vagy növelik terméshozamot, csökkentik a ráfordítási költségeket, vagy pontosan megjósolják a meszezés, öntözés, szélvédő sávok vagy más típusú szántóföldi fejlesztések előnyeit. Az elektromos vezetőképesség egy anyag azon képessége, hogy elektromos áramot továbbít (vezet), és általában miliSiemens/méterben (mS/m) fejezik ki. A talaj EC mérésére kétféle módszert alkalmaznak: az egyik kontakt elektródok alkalmazásán, a másik elektromágneses indukción (EM) alapul. A talaj EC mérése a kontakt és az EM-módszerrel hasonló eredményeket ad. Az EM-vizsgálatokat úgy végzik, hogy elektromágneses energiát juttatnak a talajba áramforrás segítségével, amely áthalad a talaj felszínén, de a készülék

nem érintkezik a talajjal. A készülékben lévő érzékelő méri a keletkező elektromágneses mezőt, amelyet ez az áram indukál. Ennek a másodlagos elektromágneses mezőnek az erőssége egyenesen arányos a talaj EC-értékével. [8] A Geoprospectors Topsoil Mapper (TSM) például egy ilyen szkennert, esetében nincs közvetlen talaj kapcsolat, elektromágneses indukció révén állít elő EC adatokat. Nagy előnye, hogy a talajban lévő tömörödött réteg elhelyezkedését is feltérképezi, ezzel lehetőség van változó mélységű talajművelés megvalósítására. [7]

A kontakt elven működő technológia segítségével nyert mintázat jobban illeszkedik a hozamtérkép által feltérképezett táblán belüli eltérésekre, azonban nagy hátránya, hogy a termésre gyakorolt jelentős tényezőket nem mér. [6] A kontaktelektrodos módszer olyan eszközöket tartalmaz, amelyek elektromos áramot vezetnek a talajba szigetelt fémlektrodákon keresztül, amelyek behatolnak a talajfelszínbe. Ezek az eszközök közvetlenül mérik a feszültségesést a forrás és az érzékelő elektróda között. [8] A piacon megtalálható készülékek a talaj 0,3 m - 0,9 m rétegeiben gyűjti az adatokat. A Geonics EM38 típusú talajszkennert működéséhez kontakt talajkapcsolat szükséges, működési elve az elektromágneses indukción alapul. A Veris MSP3 szkennert szintén kontakt kapcsolat révén elektromos ellenállást mér, amelyből számítással jön létre az EC adat. Felszerelhető rá a talaj kémhatását és szervesanyag tartalmát mérő szenzorok is. [7]

A felszíni- és az altalajrétegek értékelésének képessége EC-térképezéssel nagyon hasznos lehet, ha a talajréteg tulajdonságai szorosan összefüggenek a hozam változásokkal. Például a felső talajrétegek mélységének EC-térképezéssel történő mérése hasznos lehet a termőképességi potenciál előrejelzésében, és így reális iránymutatást adhat a változó dózisu növénytermesztési inputok értékének meghatározásához. A talajban az elektromosság vezetése a nedvességgel teli pórusokon keresztül történik, amelyek az egyes talajrézetszecskek között találhatók. Ezért a talaj EC értékét a következő, talajrészek közötti kölcsönhatások befolyásolják:

- Pórusfolytonosság. A vízzel teli pórusokkal rendelkező talajok, amelyek közvetlenül kapcsolódnak a szomszédos pórusokkal, könnyebben vezetik az elektromosságot. A ma-

gas agyagtartalmú talajok számos, apró vízzel telt pórust tartalmaznak, amelyek meglehetősen folytonosak és általában jobban vezetik az elektromosságot, mint a homokosabb talajok. A tömörítés általában növeli a talaj EC-t.

- Víztartalom. A száraz talajok sokkal alacsonyabb vezetőképességűek, mint a nedves talajok.

- Sótartalom. Az elektrolitok (sók) koncentrációjának növekedése a talajvízben drámaian megnöveli a talaj vezetőképességét.

- Kationcsere-kapacitás. Azok a talajok, amelyek magas szerves anyag tartalmúak és/vagy magas agyag ásvány tartalmúak, mint például montmorillonit, illit vagy vermikulit, sokkal nagyobb mértékben képesek megtartani a pozitív töltésű ionokat, a kationokat, mint például a Ca, Mg, K, nátrium (Na), ammónium (NH_4), vagy hidrogén (H), mint azok a talajok, amelyekben kevesebbek ezek az összetevők. A kationok jelenléte a talajnedvességgel teli pórusaiban ugyanúgy növeli a talaj EC-értékét, mint a só-tartalom.

- Mélység. Az EC-mérések jelerőssége a talaj mélységével csökken. Ezért a felszín alatti jellemző nem jelenik meg olyan intenzíven az EC térképezéssel, mint ugyanez a jellemző, ha a talajfelszínhez közelebb helyezkedne el.

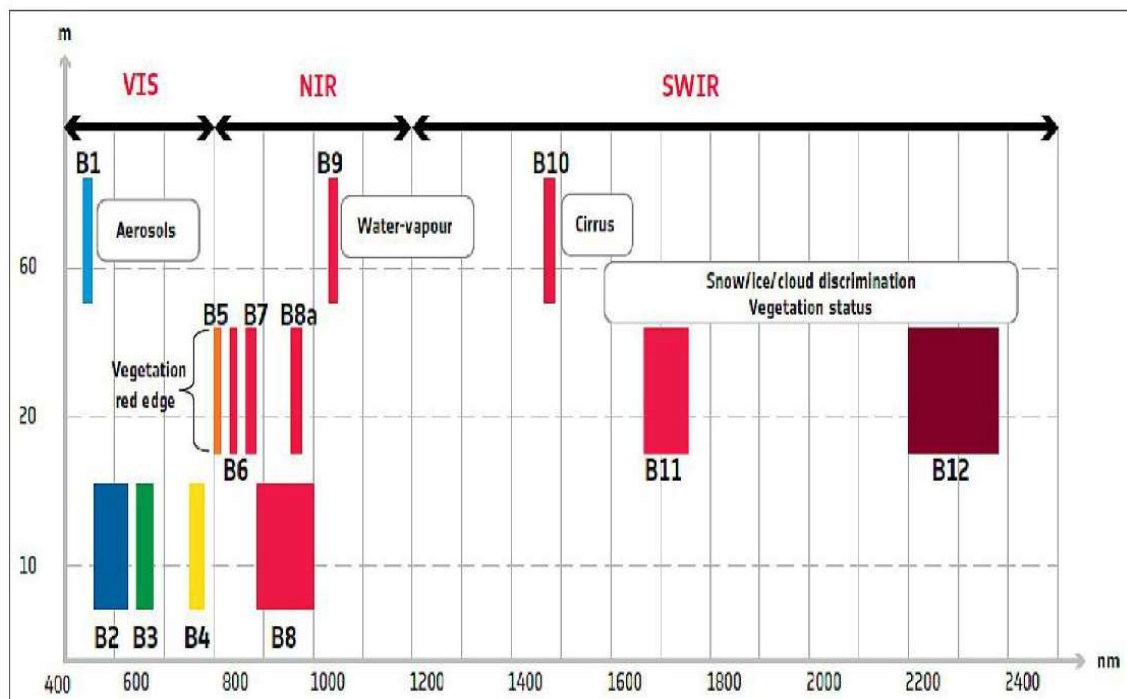
- Hőmérséklet. Ahogy a hőmérséklet csökken a víz fagyáspontja felé, a talaj EC értéke kissé csökken. Fagyponthoz alul a talaj pórusai egyre jobban elszigetelődnek egymástól, és a talaj EC gyorsan csökken.

A talaj EC-értékének feltérképezéséhez olyan szántóföldi járműre van szükség, amely GPS-vevővel és EC-mérő készülékkel is fel van szerelve. Ajánlott a GPS-vevőt úgy beállítani, hogy az adatokat egy másodperces időközönként vegye fel. A talajsebesség 16 km/h. Ez sokkal sűrűbben felvételezett adatokat eredményez, mint ami a rácsos talajmintavételezéssel megvalósítható, egy olyan talajtérképet, amely sokkal jobb felbontású. Az EC-térképezés hasznossága az olyan összefüggésekből ered, amelyek gyakran fennállnak az EC értékek és számos, a termőképességgel nagymértékben összefüggő más talajtulajdonságok között. Ezek közé tartoznak az olyan tulajdonságok, mint a talaj víztartó képessége, a felső talajrétegek vastagság, kation cserekapacitás, a talaj vízelvezetése, szerves

anyag tartalom, a sótartalom és az altalaj jellemzői. Általában a talaj EC-értéke és a termés hozam közötti korreláció akkor a legnagyobb, ha a termés hozamot elsősorban a talajban rendelkezésre álló szántóföldi vízkapacitás befolyásolja. A talaj EC mintázatai egy táblán belül nem hajlamosak arra, hogy idővel jelentősen változzanak. Ha az EC térkép elkészült, az viszonylag pontos marad, hacsak nem történik jelentős talajmozgás, mint például a föld szintezése, teraszépítés, vagy valamilyen természetes talajmozgás. Az EC-értékek szezonális ingadozásai előfordulhatnak olyan jelenségek miatt, mint például a hőmérséklet változása, a talaj víztartalma, vagy a talajban lévő sók függőleges mozgása. [8]

2.2.4 Műholdfelvételek, mint adatforrás

Tekintettel arra, hogy a dolgozat során csak Sentinel-2 felvételeket használtam, ebben a fejezetben ennek adatnyerése kerül ismertetésre. Az Európai Unió Föld-megfigyelési programja, a Kopernikusz ingyenesen hozzáférhető információkat nyújt a felhasználók széles köre számára. A mezőgazdaság szempontjából az Európai Űrügynökség (ESA) ál-



2.1. ábra: Sentinel-2 műhold 13 spektrális sávja és azok térbeli felbontása [<https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicus-sentinel-2#msi-multispectral-imager>]

tal működtetett Sentinel-2 műholdak nagy felbontású multi spektrális felvételei a legfontosabbak. A Sentinel-2A és Sentinel-2B műholdakat 2015. június 22.-én, illetve 2017. március 7.-én lőtték fel az űrbe. Az ikerműholdak multispektrális vevője 13 sávban (hullámhossz tartományban), R10, R20 és R60, azaz 10x10 m, 20x20 m és 60x60 m pixel méretben, 290 km-es szélességben készít felvételeket a Föld felszínéről viszonylag nagy visszatérési gyakorisággal (5 nap). [9] A különböző hullámhossz tartományban rögzített felvételek értékeiből számítjuk a különféle vegetációs, illetve nedvességi indexeket (2.1 ábra).

A leggyakrabban használt vegetációs index az NDVI (Normalizált Differenciál Vegetációs Index), amellyel a közeli infravörös (NIR/B8) és a vörös (RED/B4) hullámhossztartományban mért reflektancia értékek arányát fejezzük ki ($NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$). Általa következtetni lehet a növényi kultúra vegetációs aktivitására a táblán belül, ami képet ad a táblán belüli heterogenitásról is. Ezek hasznos információ források lehetnek, azonban nem teszi lehetővé, hogy a zónák lehatárolását szakszerűen elvégezzük csak erre az információra alapozva. Az NDVI értékek és a hozam közötti korreláció nem kellőképpen szoros, az összefüggés szorossága pedig nem állandó a vegetáció különböző hónapjaiban. [3] Mindamellet a műholdképek elemzésén alapuló vegetációs indexek, például az NDVI értékei (egy v. több év átlaga) alapján létrehozott kezelési zónák szorosabb összefüggést adnak a hozamtérképpel, mint a rácshálós 5 hektáronkénti talajmintavétel, emellett jól kivehetően el lehet különíteni az egymástól eltérő talajtípusokat. [6]

Másik ígéretes index egy nedvesség index, a Normalized Difference Moisture Index (NDMI) a közeli infravörös (NIR) és a rövidhullámhosszú infravörös (SWIR) spektrális sávok kombinációjának felhasználásával érzékeli a növényzet nedvességtartalmát. Ez megbízható mutatója a növények vízhiányának. A súlyos aszályos időjárás nem csak megterheli a növényeket, hanem a teljes termést is tönkre teheti. Az NDMI képes a vízhiányt korai szakaszban észlelni, még mielőtt a probléma elfajulna. Mindez az NDMI-t kiváló mezőgazdasági eszközzé teszi. $NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$, Sentinel-2 műhold sávjaival: $NDMI = \frac{B08 - B11}{B08 + B11}$. A legtöbb indexhez hasonlóan az

NDMI is csak -1 és 1 közötti értékeket vehet fel, ami nagyon egyszerűvé teszi az értelmezését. A vízhiányt a -1-hez közelítő negatív értékek jelzik, míg a +1 a átnedvesedésre utalhat. [10]

2.2.5 Hozamtérképek

A betakarításkori termésadatok azonnali rögzítésének lehetősége széles körben elérhető a mezőgazdasági termelők számára az 1990-es évek közepe óta. A terméshozam a táj és az éghajlati változékonyságnak végső integrátora, ezért hasznos adatokat kell szolgáltatnia a menedzsment zónák azonosításához. Az évenkénti éghajlati változékonyság miatt azonban a használható menedzsment zónák azonosítása egyetlen év terméshozam-térképének alapján nehéz. A zónák meghatározásához használt évek számának növelése megoldást jelenthet erre a problémára. Egy módszer a termőképeségi zónák meghatározására több éves, a hozammérő monitor adataiból készült közös rács-cellákból számolt átlag hozam és szórás térképeken alapul. A több év adataiból létrehozott "átlag hozam" térképek felhasználhatók a hozamcélok és a műtrágya adag ajánlások meghatározására, míg a szórás térképek azon területek azonosítására használhatók, amelyek korrekciós kezelést igényelnek. A hozammérő adatai exportálhatók, amelyek a betakarító gép működésének számos jellemzőjét tartalmazza (átlaghozam, tengerszint feletti magasság, termés nedvesség, betakarító gép sebessége, termés áteresztőképesség (m³/sec), üzemanyag hatékonyság stb.). Ezek a tényezők felhasználhatók a hibás adatok eltávolítására. A hozammérő monitor adathalmazai ugyanis általában hibás értékeket is tartalmaznak. Hibás adatok például akkor gyűjthetők, ha a betakarítási sávok nem teljes vágóasztal szélességűek, ha a kombájn sebesség gyorsan változik, vagy létrejöhet a sorok végének közelében lévő területeken. A hozam adatok pontossága a hibás pontok eltávolításával, az adatok megtisztításával javítható. Vizuális szemszögből nézve, a hibás adatpontok eltávolítása kis hatással lehet a hozamtérkép megjelenésére. Analitikai szempontból a hibás adatok eltávolítása jelentősen befolyásolhatja a hozam adatok összehasonlíthatóságát a döntéstámogató rendszer más információival. Számos precíziós mezőgazdasági szoftvercsomag létezik, amelyek automatikusan megtisztítják vagy kiszűrik a termés adatokat, amikor azo-

kat betöltik a programba elemzésre. A termésadatok tisztítása után az adatokat közös koordináta-rendszerbe kell konvertálni, hogy több év azonos tábláinak összehasonlítása lehetővé váljon. Egy adott rácscellára vonatkozó szórás kiszámításához szükség lehet a különböző kultúrák hozamértékeinek átváltására vagy normalizálására egy közös skálára. A normalizálás lehetővé teszi, hogy a kukorica, búza vagy bármely más növény terméshozamai közvetlenül összehasonlíthatók legyenek. A normalizálási folyamat nem szükséges minden típusú elemzéshez. Ha ugyanazon termény több éves adatát hasonlítjuk össze, a normalizálásra általában nincs szükség. Alapvető statisztikák, mint például a többéves átlaghozamok, standard szórás és a variációs együtthatók táblázatkezelő szoftverrel kiszámíthatók. Az átlagos hozamok vagy átlagok az adathalmaz központi tendenciájának leírására szolgálnak. Az átlaghozam-térképek hozamcéllok meghatározására használhatók. Az átlagot az adatsoron belüli összes érték összegzésével határozzuk meg, majd ezt az értéket elosztjuk a megfigyelések számával. A variancia az adathalmazban szereplő egyedi mintaértékek közötti szóródást vagy különbségek mértékét adja meg. [11]

A hozamtérképek egyesek számára vonzóak a zónák meghatározásához, mert sok termelő számára könnyen hozzáférhetőek. Potenciális hibaforrások, valamint számos hozam változást okozó tényező is megzavarhatja a terméshozam-térképek felhasználását. Hozamtérképek több éves átlagolása javasolt, hogy megállapítsuk a stabil termőképességű zónákat. Azonban, egyes régiókban egy tábla "száraz" években magas terméshozamú területei lehetnek ugyanakkor "nedves" években alacsony terméshozamúak. A hozamtérképek átlagolása megtisztíthatja az információkat, amik a talaj/domborzat tulajdonságai és az éghajlat közötti összefüggések jobb megértéséhez szükségesek. Egyes kutatásokban a terméshozam-térképek csak ott voltak hasznosak a zónák meghatározására, ahol minden évben alacsony terméshozamúak. [5]

A hozam adatok, vagy a hozammal szorosan összefüggő több éves adatállományok az egyik legfontosabb információk a zóna kialakítás szempontjából. Minél több évről van megbízható adatunk az adott zóna termőképességéről, annál pontosabban tudjuk a zóna határait és potenciálját kijelölni. Ha nem rendelkezünk több éves hozam adatokkal, akkor szolgáltatásképpen elérhető Landsat és Sentinel műholdfelvételek feldolgozására épülő

Power Zone módszer (Trimble). [3] Ez a módszer első körben egy speciális algoritmussal vegetációs index térképet állít elő a növényi kultúráról. Az vegetációban készült térképeket összegezve minden évben egy darab termőképességi index (CPI - Crop Productivity Index) térkép áll rendelkezésre. Ezek a térképek a táblán belüli termőképességi különbségeket ábrázolja akár 15 évvel visszamenőleg is. Vadkáros, belvízzel terhelt évjáratok a termelővel konzultálva kimaradhatnak az elemzésből, a releváns évek termőképességi térképeire alapozva a szoftverben elkészíthető a tábla zónatérképe a zónákhoz tartozó termőképességi indexekkel. [12] A technológia mintegy 15 év adatbázisából akár 400 db műhold felvételt elemez, egy normál NDVI térképeken alapuló zóna lehatárolásnál pontosabb eredményre vezet. [3]

Ha a precíziós gazdálkodás elején a gazdaság nem rendelkezik több évre visszamenőleg hozamtérképekkel, műholdas hozamtérképezéssel műholdfelvételekből hozamtérképet lehet előállítani egy egyedülálló távérzékelési megoldás segítségével kukorica, árpa, őszi-búza, tritikálé, napraforgó és repce kultúráknál (Cosima Kft.). [13] A módszer az egyes cellákra t/ha hozamot mér +/- 5 % pontossággal a magágyelőkészítéstől a betakarításig rögzített 12 – 20 db műholdfelvétel elemzése alapján. [2] A műhold felvételek több évre visszamenőleg rendelkezésre állnak az adatbázisokban. A kiszámolt hozam pontossága felveszi a versenyt a jól kalibrált betakarító gépek hozamadataival (tábla szinten 5% a hiba). Az eljárás kb. 60.000 hektár mintegy 2.000 táblájának valós hozamadataival lett kalibrálva 2010 és 2014 között. Az ezzel a módszerrel kialakított és a táblán belüli potenciális terméshozamokkal számszerűen jellemzett zónák hosszú ideig szolgálhatnak alapul a táblán belüli differenciált kijuttatás megvalósításához. [14]

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 Az Isztiméri Bakony Kft. bemutatása

Az Isztiméri Bakony Kft. Székesfehérvártól mintegy 20 km-re, Isztimértől 1 km-re a 8203 számú út mellett, a 0281-es helyrajzi számon található. Telephelye 1992 óta működik a kft, illetve annak jogelődje, a Bakony Mezőgazdasági Szövetkezet kezelésében. A Szövetkezet 2007-ben alakult át gazdasági társasággá, előtte 1975-től 1992-ig a Jóreménység MGTSZ Fehérvárcsurgó tulajdona volt. A telephely területe 112 330 m², a kft mintegy 1100 ha-on szántóföldi növénytermesztéssel foglalkozik. A szántóföldön termesztett árnövények a következők: őszi árpa, őszi búza, őszi káposztarepce, napraforgó, kukorica, lucerna.

3.2 A Te-1 mintaterület bemutatása

A vizsgált terület neve Temető dűlő, továbbiakban rövidítve Te-1 jelű tábla a Bakony hegység észak-keleti részén helyezkedik el, a 2025020, 5988850 és a 2026700, 5988375 EOVS koordinátákkal határolt területen. A tábla területe 42,9 ha, kerülete 3545,6 méter.

3.2.1 A Te-1 mintaterület talajtani jellemzői

Magyarország genetikai talajtérképe szerint az adott terület főtípusa: barna erdőtalaj, ezen belül Ramann-féle barna erdőtalaj fordul elő a területen. Talajképző kőzet tekintetében a területre a mészkő, dolomit a jellemző. A talajképződés nyersanyagát ez a kőzet szolgáltatja. Ennek fizikai tulajdonságai és kémiai, ásványtani összetétele nagymértékben befolyásolja a rajta kialakult talaj tulajdonságait. A talajtextúra, a talaj fizikai félesége alapján homokos vályog (KA=35) talajról beszélünk. A terület vízgazdálkodási tulajdonsága alapján jó víznyelésű és vízvezető-képességű, közepes vízraktározó-képességű és víztartó talaj. [15]

A talaj kémhatása és mészállapota szintén fontos jellemző. Az adott területen felszíntől karbonátos talajok találhatók. A talajok mészállapota alatt a talaj kalcium tartalmát értjük, általában kalciumkarbonát formájában. A Te-1 jelű tábla talaja átlagosan 1,24 % CaCO₃ tartalmú. A talaj szerves anyagait humusznak nevezzük. A humusz a talajba kerülő holt

szerves anyagból fizikai és kémiai folyamatok következtében jön létre, melyet nagy fajlagos felület, nagy ionmegkötő és ioncserélő kapacitás jellemez. A kijelölt terület humusztartalma 2,24 – 2,88 %, átlagosan jónak mondható. A terület átlagos foszfor és kálium ellátottsága azonban csak közepes. A talajvizsgálati eredményeket a 1. táblázatban foglaltam össze. Megállapítható, hogy az adott területet – figyelembe véve, hogy az közepesen aszályos zónába esik – célszerű szántóföldi növénytermesztéssel hasznosítani, melyek közül valamennyi fontosabb szántóföldi növényünk közepes eredménnyel termelhető.

1. táblázat: Te-1 mintaterület talajvizsgálati eredménye (2017/18) [Isztiméri Bakony Kft.]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	átlag
pH (KCl)	6,1	6,43	6,74	6,77	7	6,99	7,02	7,06	7,09	6,8
Kötöttség (KA)	36	33	38	39	34	33	34	36	34	35
CaCO₃ (%)	0,1	0,9	1,49	1,16	1,08	1,16	1,33	0,66	3,32	1,24
Humusz (%)	2,64	2,24	2,88	2,77	2,38	2,46	2,31	2,65	2,52	2,54
P₂O₅ (ppm)	142	153	85	93	108	113	100	108	43	105
K₂O (ppm)	217	193	165	181	168	183	151	170	178	178

3.2.2 A Te-1 mintaterület domborzata

A precíziós gazdálkodás fejlesztése során beszerzett John Deere W650 kombájn monitorja az üzemeltetés során számos adatot rögzít és továbbít felhőn keresztül a MyJohnDeere alkalmazásba, többek között a gép magassági adatait is, amelyeket utólag letölthetünk.

A 3.1 ábra a Te-1 mintaterület domborzatát ábrázolja. Látható, hogy a terület nyugati irányból kelet felé viszonylag egyenletesen lejt. A legmagasabban és a legalacsonyabban elhelyezkedő pont közötti szintkülönbség 26,1 méter, a két pont közötti távolság 1190 méter, az átlagos lejtés cca. 2,2%.



3.1. ábra: Te-1 mintaterület domborzata [<https://myjohndeere.deere.com>]

3.3 A precíziós gazdálkodás bevezetésével járó fejlesztések

A precíziós gazdálkodás első, nélkülözhetetlen elemének, a GNSS technológiának bevezetése a gazdálkodásba 2015. 03. 24.-én történt, amikor az Isztiméri Bakony Kft. által üzemeltetett kettő John Deere traktorhoz (JD 5090M és JD 6330) megvásárolta a cég az Agromatic Kft. által forgalmazott amerikai Trimble eszközöket. Mindkét traktor kormányhidraulika rendszerébe utólag került felszerelésre a robotpilóta. A megvásárolt 1 db antenna és 1 db CFX-750 monitor könnyedén átszerelhető volt a két erőgép között, mindegyik erőgéphez tartozott egy mentett konfiguráció, átszerelés után a megfelelő traktort kellett csak a monitoron beállítani. A rendszerhez kb. 15 cm pontosságot biztosító helymeghatározás, a Trimble fizetős korrekciós szolgáltatásai közül a RangePoint RTX került alkalmazásra. Az RTX (RTk eXtended) egy precíz abszolút helymeghatározáson alapuló (PPP) technológia. A JD 6330 traktoron főleg az alaplútrágya kijuttatásnál használták sorvezetésre, a munkaszélesség csatlakozási pontosságának javítására. A JD 5090M trak-

torral üzemeltetett Amazon UG 2200 Special permetezőgép esetében is ez rendszer működött, amelyet a vetés után kelés előtti permetezésnél sorvezetésre használtak, majd a 2015. 04. 23.-án beüzemelt Trimble Field-IQ szakaszvezérlő segítségével a permetező 18 méteres szórókeretét, 5 szakaszra osztva, már automatikusan tudta vezérelni a rendszer (3.2 ábra).



3.2. ábra: Az első GNSS technológia

A talajművelésre használt erőgépek közül a 2014.-ben vásárolt John Deere 8270R típusú traktor már rendelkezett alapfelszereltségben AutoTrac automata kormányzás előkészítéssel és egy 4600 Gen4 CommandCenter monitorral, azonban StarFire antennával még nem. A következő GNSS technológia 2018. 09. 18.-án egy újonnan vásárolt ugyanezen típusú traktorral érkezett a gazdaságba, amely a fenti alapfelszereltségek mellett már rendelkezett SF1 jel vételére alkalmas StarFire6000 antennával is. Az SF1 a John Deere saját helymeghatározásra alkalmas ingyenesen elérhető szolgáltatása, amely kb. 30 cm pontosságot biztosít. Ezt a technológiát a talajművelés során sorvezetésre a csatlakozások pontosságának javítására használták.

A talajművelés, őszi vetés pontosságának javítására érkezett a gazdaságba 2019. decemberében egy 1db használt StarFire6000 antenna egy JD 2630 típusú monitorral, amelyre kétéves előfizetéssel vásárolt a kft egy SF3 jelszolgáltatást, amelynek csatlakozási pontossága kb. 2-3 cm. A talajművelésnél és az őszi vetésnél a munkaszélesség átfedése ezután már a legkedvezőbben beállíthatóvá vált (5 cm). Ezzel az utólagosan felszerelt StarFire6000 antennával és a JD 2630 típusú monitorral együtt a 2014.-ben vásárolt John Deere 8270R traktor is alkalmas lett az ingyenesen elérhető SF1 jel használatára. A John Deere saját StarFire rendszere is precíz abszolút helymeghatározáson alapuló (PPP) technológia.

2021-ben a mezőgazdaság digitális átállását segítő állami támogatásra az Isztiméri Bakony Kft. is pályázatot nyújtott be erre alkalmas eszközökkel felszerelt traktor, kombájn és munkagép beszerzésére. Ezzel a precíziós gazdálkodás fejlesztése és a helyspecifikus, változó dózissal input kijuttatás megvalósítása elérhető közelségbe került. A régebbi JD 5090M és JD 6330 típusú erőgépeket 2021 augusztusában 3 db új beszerzésű JD 6145R



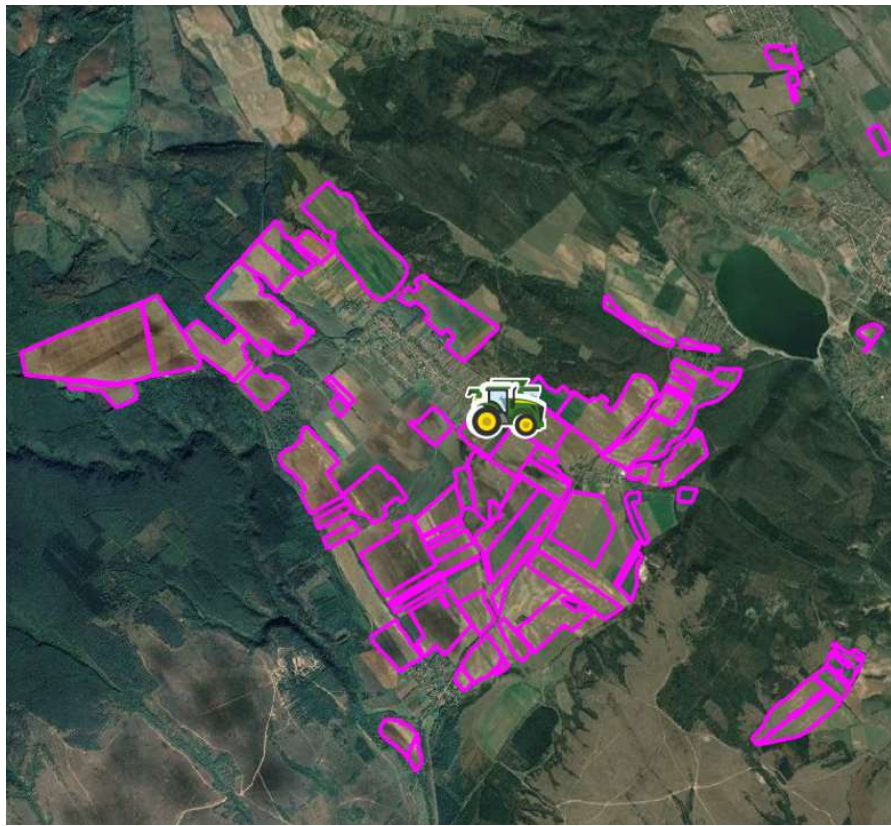
3.3. ábra: RTK pontossággal felszerelt erőgépek

traktorok váltották, amelyek automatikus kormányzás mellett 4200 Gen4 CommandCenter monitorral és RTK jel vételére alkalmas StarFire6000 antennával szereltek (3.3 ábra).

A Trimble RangePoint RTX korrekciós szolgáltatását az új traktorokra már nem használják, ehelyett a KITE által a gazdaság központjában található nagy serleges terményfelhordó tetejére 2021 októberében telepített bázisállomásról URH-n kapja a 2 cm pontosságú korrekciós jeleket a traktorra szerelt vevőkészülék. Majdnem hagyományos, egybázisos RTK technológia a KITE által forgalmazott megoldás a John Deere erőgépekre, amely egy fázisméréses, relatív helymeghatározáson alapuló technológia. Az SF3 előfizetés lejártával ezeket az URH jelek vételére is alkalmas antennákat szerelik át a nagyobb traktorokra, ezáltal az összes szántóföldi műveletnél 2 cm pontosságot tudnak biztosítani.

Az új erőgépek üzembe helyezése után a gazdaság által művelt táblák határainak digitalizálása is megtörtént 2021 őszén és 2022 elején. Erre egy kézi GPS készüléket (Spectra Precision SP20) használtak, amely mind a négy GNSS alaprendszerre is tudott támaszkodni, és 4G mobilhálózaton RTK pontosságot biztosított. A keletkezett EOV/HD72 vetületű shape file-okat először QGIS szoftver segítségével WGS84 vetületre kellett transzformálni, majd feltölteni a MyJohnDeere alkalmazásba (3.4 ábra). Az online elérhető alkalmazásban lehetőség van a feltöltött táblákhoz irányvonalat felvenni, a traktorokhoz munkagépeket, műveleteket hozzárendelni és ezeket online, internet segítségével a monitorokra kiküldeni.

A gazdaság következő nagy beruházása egy 620R vágóasztallal szerelt John Deere W650 típusú kombájn beszerzése volt 2022. 06. 17.-én. A betakarító gép szintén RTK antennával felszerelt és hozam- illetve szemnedvesség mérésére alkalmas technikával rendelkezik (3.5 ábra). A gazdaság 2022-ben betakarított őszi árpa, őszi búza és napraforgó tábláiról már hozamtérképek készültek, amelyeket bővítve a következő évek hozam adataival lehetőséget teremt a táblán belüli zónatérképezés továbbfejlesztésére.



3.4. ábra: Digitalizált táblahatárok [<https://myjohndeere.deere.com>]



3.5. ábra: RTK pontossággal és hozammérővel felszerelt kombájn

A precíziós gazdálkodás bevezetésénél a georeferált talajmintavétel és talajvizsgálat hasznos információkat szolgáltat a terület táblán belüli változékonyságáról. 2022 júliusától novemberig az Isztiméri Bakony Kft részére ezt a gazdaság teljes területén elvégezte a KITE Zrt.

2022 júliusában a 2014.-ben vásárolt John Deere 8270R típusú traktor fejlesztése a saját 4600 Gen4 CommandCenter monitorára vásárolt AutoTrac feloldó kulccsal befejeződött. Míg a 2018-as évjáratú 8270R típusú erőgép megkapta a SectionControl (szakaszvezérlés) feloldó kulcsot a vezérlő egységének processzorának egy új típusú processzorra cseréjével egyidejűleg. Ezáltal a monitor automatikusan szakaszolja, kapcsolja a munkagépet a ráfedések, rávetések elkerülése érdekében kevesebb felhasznált input (műtrágya, vetőmag, növényvédő szer) és kisebb környezeti terhelés mellett. A 2023 év elején munkába álló, újonnan beszerezett Amazon ZG-TS műtrágyaszóró, Vaderstad Tempo L 12 soros szemenkénti vetőgép és az Amazon UX 4200 Special (fúvókánként, 50 cm-enként szakaszolható) munkagépekkel a táblán belüli differenciált dózisz helyspecifikus input kijuttatás immár technikailag megvalósítható. Az ehhez szükséges kijuttatási térképek alapjául szolgáló táblán belüli heterogenitás, termőképességi potenciál lehatárolása, a zónatérképezés a precíziós gazdálkodás fejlesztésének következő lépése.

3.4 A vizsgálatához felhasznált műholdképek

A felvételek a Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), valamint a Földmegfigyelési Információs Rendszer (FIR) (<https://fir.gov.hu/>) oldaláról töltöttem le. Figyelembe véve, hogy a Te-1 jelű mintaterület 2022-ben őszi búza kultúrával volt hasznosítva, a Sentinel-2 műhold által készített felvételek idejét a vegetációhoz igazítottan választottam ki. A vizsgált hét időpontban: 2022.03.28, 2022.04.12, 2022.05.12, 2022.05.19., 2022.06.03., 2022.06.11., 2022.06.18. a terület gyakorlatilag 0%-os felhőborítottság mellett látható. A letöltött termékek a következők:

S2B_MSIL2A_20220328T095029_N0400_R079_T33TYN_20220328T125103

S2A_MSIL2A_20220412T095031_N0400_R079_T33TYN_20220412T121625

S2A_MSIL2A_20220512T095031_N0400_R079_T33TYN_20220512T143915

S2A_MSIL2A_20220519T094041_N0400_R036_T33TYN_20220519T140711

S2B_MSIL2A_20220603T094029_N0400_R036_T33TYN_20220603T113602

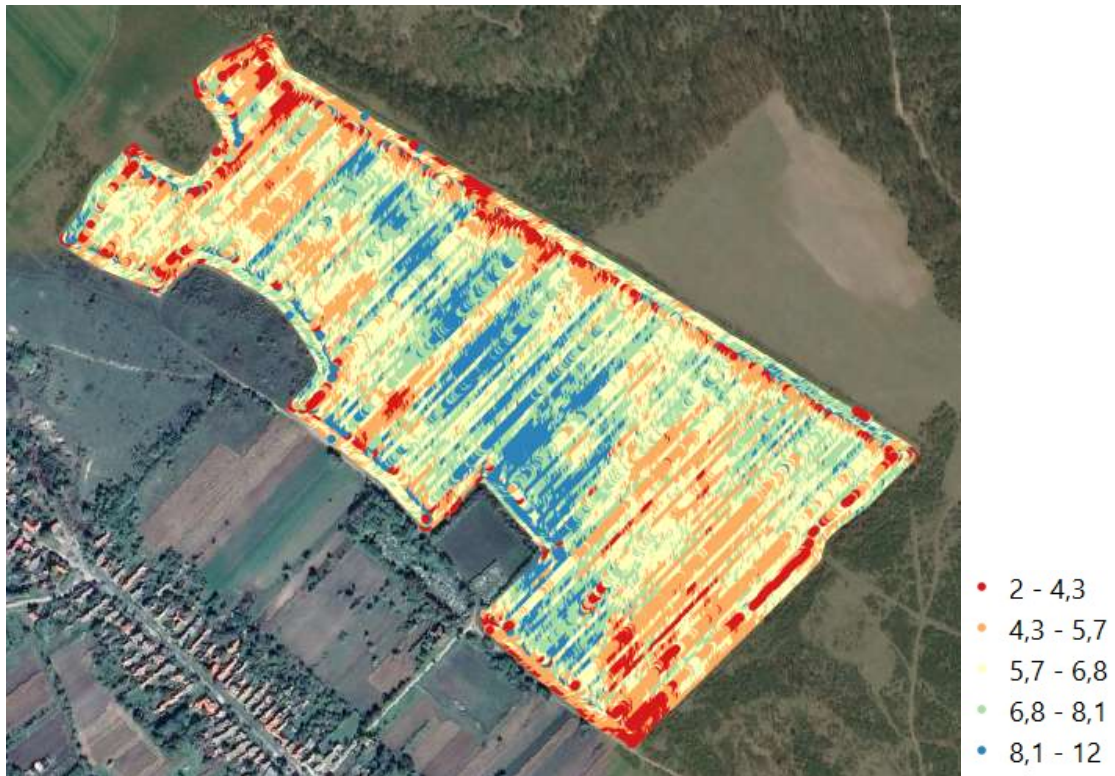
S2A_MSIL2A_20220611T095041_N0400_R079_T33TYN_20220611T143810

S2A_MSIL2A_20220618T094041_N0400_R036_T33TYN_20220618T141713

Az elemzésekhez a felvételek Level-2A szintű, azaz az atmoszféra zavaró hatásaival szemben korrigált típusát használtan, ezekből 4 különböző sávot: a B4 és B8-t 10m-es, valamint a B8A és B11-t 20m-es geometriai felbontásban.

3.5 A Te-1 jelű mintatábla hozamtérképe

A mintatábla 2022-ben őszi búzával volt hasznosítva. A betakarítás július 11.-én történt 12,3 %-os szemnedvesség mellett 6 t/ha átlaghozammal. Az Isztiméri Bakony Kft. által üzemeltetett új beszerzésű John Deere W650 típusú kombájnnal első ízben van lehetőség hozamtérképezésre. A hozam adatok gyűjtése az anyagáramlás érzékelő (John Deere Mass Flow Sensor Module) segítségével történik, amely a magtartályba érkező mag mennyiségét érzékeli. Ahogy a tisztamag-felhordó bedobja a magot a magtartály feltöltőcsigájába, az anyag először nekiütözik az anyagáram érzékelő ütközőlapjának. Az ütközőlap a mag erejét elektromos jellé alakítja, amit elküld a nedvesség-érzékelőre. Az anyagáram- és nedvesség adatok megjelennek, és tárolódnak a kijelzőegységben. Az anyagáram érzékelő aktív, ha a vágóasztal a beállított területszámlálási magassághatár alatt van. A betakarítás során gyűjtött adatokat a gép monitorja a munka végeztével felhívva keresztül továbbítja a MyJohnDeere alkalmazásba, ahonnan utólag exportálhatóak. A kombájn által mért átlaghozam (6,5 t/ha) 8-9 %-kal meghaladja a mérlegen visszamért hozamot kalibráció mellett, ami a tapasztalatok szerint egy átlagos eltérés a hozammérő működési elvét figyelembe véve. A MyJohnDeere-ből shp formátumban töltöttem le a hozamtérképet, poligon, valamint pontokból álló térkép formájában. Megjelenítve QGIS program segítségével a 3.6 ábrán látható.



3.6. ábra: Te-1 mintaterület hozamtérképe

3.6 A vizsgálathoz használt szoftverek

A dolgozat elkészítéséhez a QGIS (3.16 Hannover) és az IDRISI Selva szoftvereket használtam. A Quantum GIS egy professzionális szintű térinformatikai rendszer (Geographic Information System), egy felhasználóbarát nyílt forráskódú szoftver, számos vektoros, raszteres adatbázis-formátumot és funkciót támogat. 2002-ben jött létre egy közösségi kezdeményezés által, bárki hozzájárulhat a fejlesztéséhez. A szoftver felhasználási lehetőségei folyamatosan növekszik a beépített modulok időben gyarapodó számának. A program alkalmas különféle térképek megjelenítésére, szerkesztésére, adatok elemzésére. A QGIS alkalmas különböző vetületű vektor és raszter formátumban lévő fájlokból fedvényeket összeállítására, támogatja a legtöbb vektoros formátumot, beleértve az ESRI shapefile-t, az összes raszter formátumot, digitális terepmodelleket, légifényképeket és műholdfalvételeket megjeleníti és kezeli. [16]

1987-ben megjelent IDRISI térinformatikai és képelemző szoftver, egy földrajzi információs megjelenítő rendszer, amely mára ez egyik legjelentősebb programmá vált. Az Amerikai Clark egyetem kutatói fejlesztették ki. Jelenleg egy nonprofit szervezet fejleszti, mára közel 300 modult foglal magába. Az IDRISI-ben megtalálható térinformatikai programcsomagok a következők: képelemző rendszer, statisztikai elemző rendszer, adatbázis kezelő rendszer, térképi megjelenítő rendszer, földrajzi elemző rendszer és térkép digitalizáló rendszer. [17]

3.7 A vizsgálati módszerek bemutatása

Az elemzésekhez hét különböző időpontban készült műholdfelvétel B4 (piros: RED), B8 (közeli infravörös: NIR), B8A (szűkebb sávú közeli infravörös: NIR) és B11 (rövid hullámhosszú infravörös: SWIR) sávját használtam. Előfeldolgozásként a letöltött jp2 formátumú képekből QGIS programban a vizsgálni kívánt táblát tartalmazó kisebb kivágatokat készítettem, amelyeket azután tif formátumban exportáltam.

A MyJohnDeere alkalmazásból letöltött hozamtérképet is QGIS szoftver segítségével készítettem elő. Az shp file megjelenítése után a hozam adatokban hibákat fedeztem fel. Számos mérési pont tartalmazott 0 t/ha hozamot, illetve irreálisan magas értéket. A mezőkalkulátor modulban a 2 t/ha alatti értékeket 2, míg a 12 t/ha feletti értékeket 12 t/ha értéknek adtam meg, ezzel valamennyire megtisztítottam az adatokat. Az elemzésekhez szükség volt a különböző tartalmú file-okat azonos vetületi rendszerbe konvertálni. Ezért a hozamtérképet tartalmazó vektoros állományt a műholdfelvételek vetületére, azaz az EPSG:32633-WGS 84/UTM zone 33N vetületre konvertáltam. Ugyanígy konvertáltam a vizsgált táblához tartozó táblahatárt tartalmazó shp file-t is, amelyet korábban digitalizáltam.

A műholdképek kiválasztott sávjait és a hozamtérkép, illetve a táblahatár vektoros állományait az IDRISI szoftverbe importáltam. A hozamtérképből először készítettem egy raszteres állományt (10x10 m felbontásút) a Database Workshop modul segítségével a VRYIELDMAS, azaz a hozam tömeg adataival. Ehhez szükség volt egy a táblahatárt tartalmazó háttérképre, un. „mask” -ra, amelyet ezt megelőzően elkészítettem. A rétegek

közötti számításokhoz a raszteres képeknek megegyező sor és oszlop számmal kell rendelkezniük. Egyező méretre való igazítást elvégeztem a Reformat-Window modul segítségével. A számításokhoz szükség volt még a 10x10 m-es hozamtérképből 20x20 m-es geometriai felbontásút készíteni a Reformat-CONTRACT modul segítségével, illetve a 20 m-es B11 sávból 10 m-es felbontásút a Reformat-EXPAND alkalmazásával.

Az előfeldolgozás után az IDRISI programban elkészítettem a hét különböző időpontra a terület NDVI térképét az Image Processing–Transformation–VEGINDEX alkalmazással a B4 illetve a B8 sávok felhasználásával az $NDVI = \frac{NIR(B8) - RED(B4)}{NIR(B8) + RED(B4)}$ képlet alapján. Kiszámítottam ezután a területre az NDMI nedvesség index értékeket 10, illetve 20 m-es felbontásra is a GIS Analysis-Mathematical Operators-Image Calculator segítségével az $NDMI_{10m} = \frac{NIR(B8) - SWIR(B11_{10m})}{NIR(B8) + SWIR(B11_{10m})}$, illetve az $NDMI_{20m} = \frac{NIR(B8A) - SWIR(B11)}{NIR(B8A) + SWIR(B11)}$ képlettel.

A létrehozott vegetációs és nedvességi indexeket tartalmazó térképek és a hozamtérkép megfelelő felbontású állománya között elvégeztem a lineáris regresszió számítást az IDRISI GIS Analysis-Statistics-REGRESS modul segítségével. A kapott korrelációs együtthatók (r-érték) alapján kiválasztottam azt az index térképet, ami a legjobb összefüggést mutatta a terméshozammal. A hozam, illetve a június 11.-i NDMI index térképeken a táblahatáron belül elvégeztem a klaszterezést Image Processing-Hard Classifiers-Cluster alkalmazásával, mely során az osztályok számát maximum 4-re állítottam be. A pixeles eltérések javítását, szűrését az Image Processing-Enhancement-FILTER modulban median típus, 5x5 méretben állítottam be, majd a Reformat-RASTERVECTOR alkalmazásával létrehoztam a különböző osztályok szegmenseinek vektoros állományát.

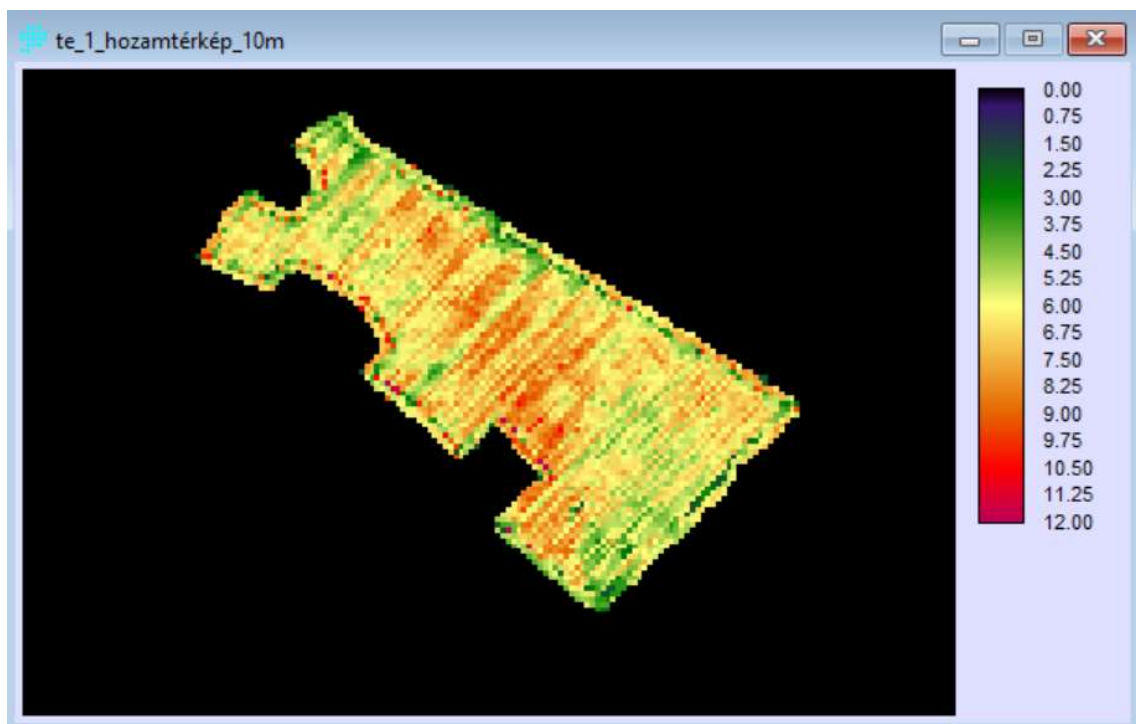
A hozamtérképre és az ezzel leginkább korrelációban lévő index térképre elvégeztem a szegmentálást QGIS környezetben is. Először a hozamtérkép vektoros állományát raszteresre konvertáltam, majd ezen és az index raszteres térképén a GRASS eszközökből az i.segment segítségével elvégeztem a számítást. A szegmensek számát úgy befolyásoltam, hogy a legkisebb szegmens méretét minimum 100 pixellel állítottam be. A kapott szegmenseket egy vektor réteggé konvertáltam a további elemzésekhez. A rétegen lévő zónák

(szegmensek) által határolt területre az adatokat tartalmazó raszter felhasználásával a GRASS övezet statisztika eszközével kiszámoltam a következő statisztikai mutatókat: átlag (mean), medián, szórás (stdev), minimum és maximum értékeket.

4. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

4.1 Az NDVI, NDMI indexek és a Te-1 tábla terméshozama közötti kapcsolat

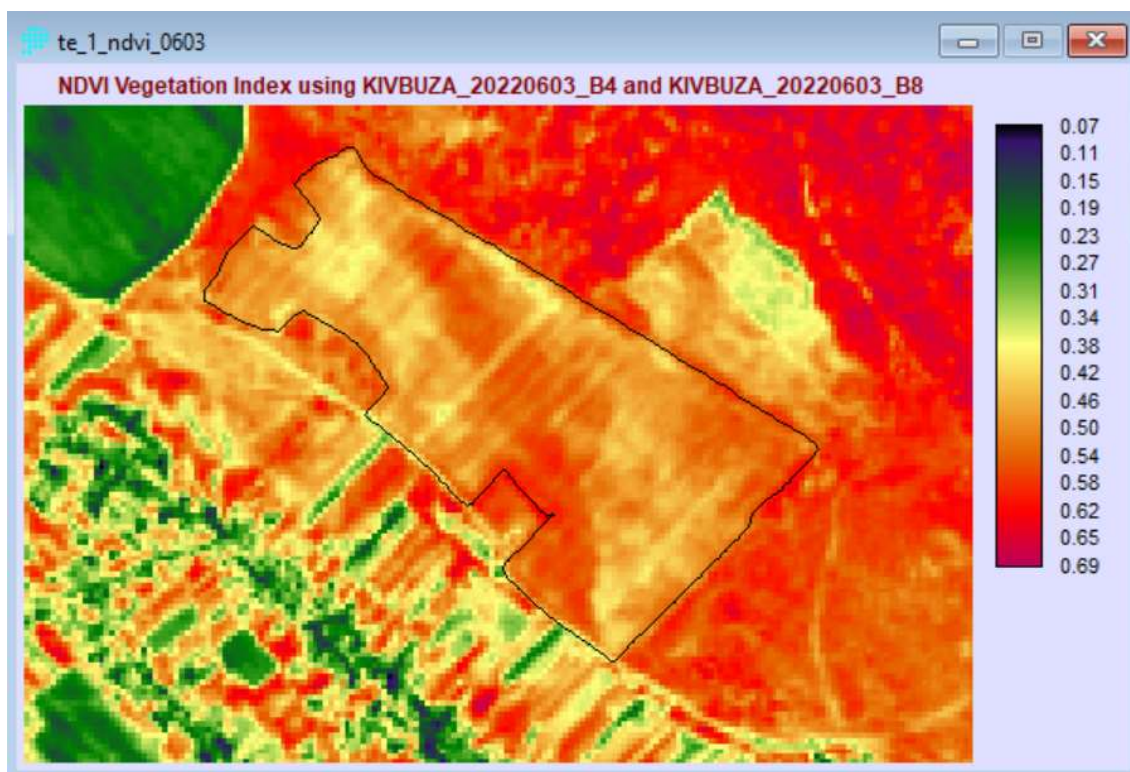
A zónatérképezés minden precíziós gazdálkodás bevezetésének egyik meghatározó eleme. A táblán belüli heterogenitás feltérképezése, és a viszonylag homogén, táblán belüli azonos terméspotenciálú zónák lehatárolásának pontossága jelentősen befolyásolja a felhasználó inputok hatékonyságát, végső soron a gazdálkodás jövedelmezőségét. Az Isztiméri Bakony Kft. Te-1 jelű, 2022-ben őszi búzával hasznosított tábláján a szabadon rendelkezésre álló műholdfelvételek és a tábla 2022-es hozamtérképe (4.1 ábra) által nyújtott adatok alapján elvégeztem először az NDVI értékek és a hozam adatok közötti összefüggés vizsgálatát. A 2. táblázatban látható, hogy mind a hét különböző időpontban a korreláció alacsony vagy igen alacsony. A legmagasabb értéket ($r=0,351$) június 03.-án mértem. A június 03.-i NDVI értékek (4.2 ábra) és a hozam közötti lineáris regressziót a



4.1. ábra: Te-1 mintatábla raszteres hozamtérképe (10 m felbontás)

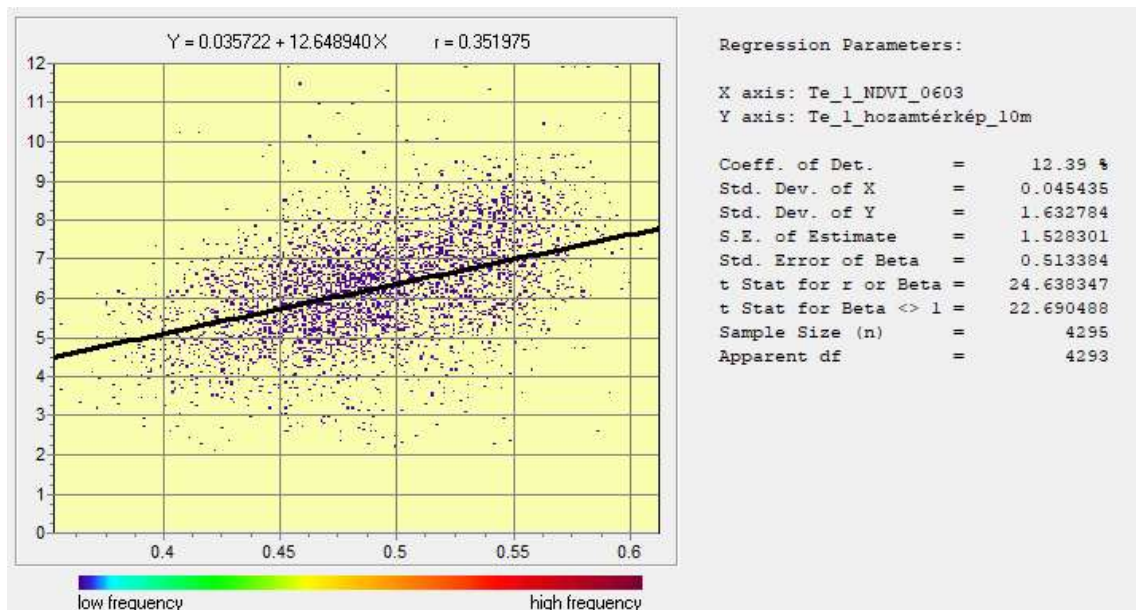
2. táblázat: Különböző indexek és a hozam korrelációs együtthatói (r-értékek)

	Te-1 tábla			Mu-2 tábla		
	NDVI	NDMI_10m	NDMI_20m	NDVI	NDMI_10m	NDMI_20m
2022.március28.	-0,049	-0,015	-0,148	0,343	0,202	0,391
2022.április12.	-0,023	-0,009	-0,155	0,324	0,307	0,506
2022.május12.	0,054	0,129	-0,008	0,307	0,336	0,536
2022.május19.	0,186	0,321	0,18	0,316	0,357	0,57
2022.június03.	0,351	0,452	0,404	0,448	0,449	0,598
2022.június11.	0,314	0,459	0,41	0,395	0,412	0,512
2022.június18.	0,229	0,358	0,395	0,294	0,335	0,377



4.2. ábra: Te-1 mintatábla NDVI térképe

4.3 ábra szemlélteti. A determinációs együttható ($R^2(\%) = r^2 * 100$) értéke mindössze 12,39 %, azaz a terméshozam összvarianciájának csupán 12,39 %-a az NDVI értékekkel való lineáris kapcsolatával magyarázható. Szakirodalmi adatok alapján tudjuk, hogy az

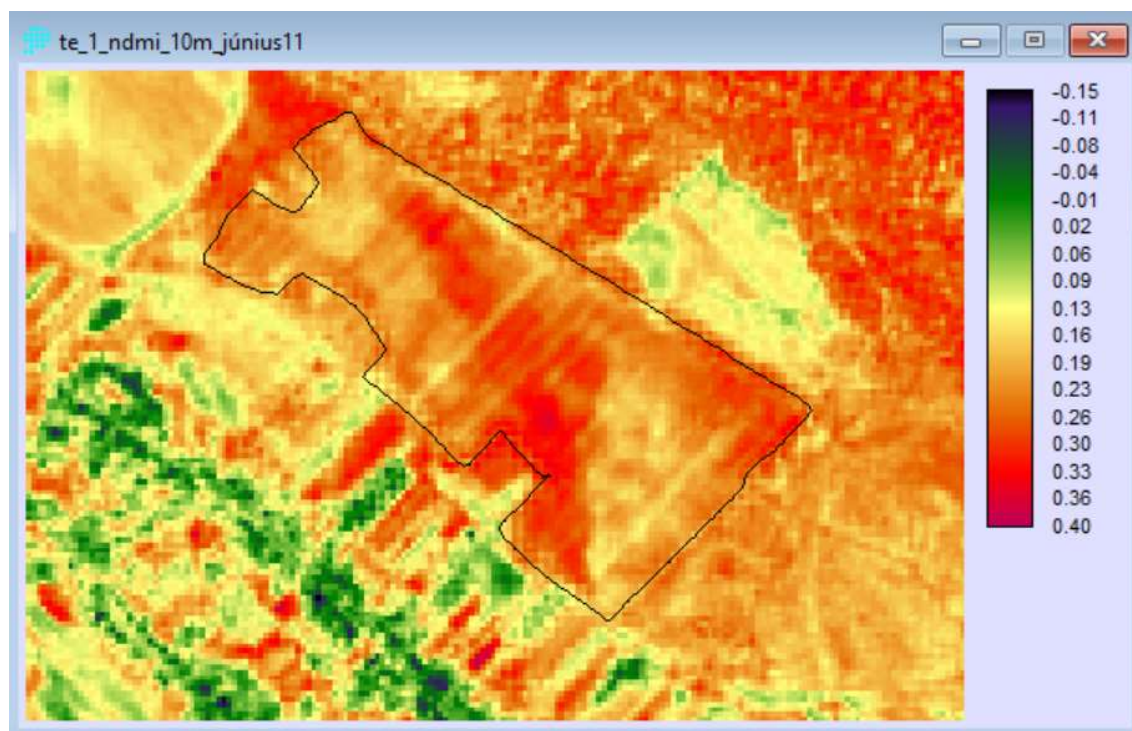


4.3. ábra: Te-1 mintatábla NDVI értékei és a hozam közötti összefüggés

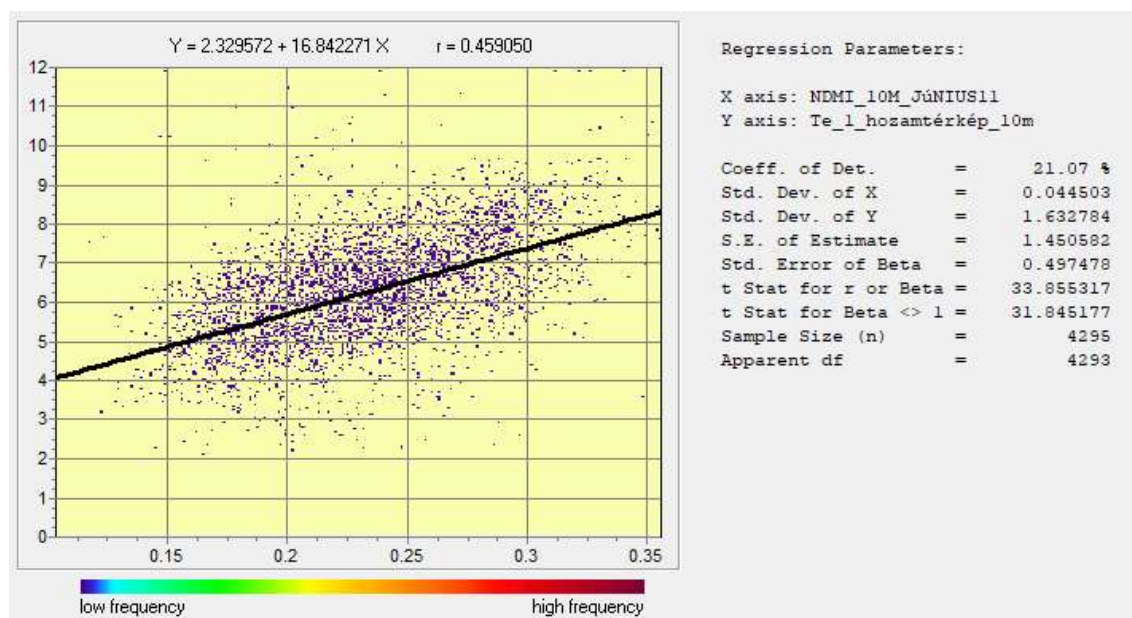
NDVI értékek és a hozam közötti kapcsolat időben változó és nem kellőképpen szoros. [3] Mivel egy előző elemzés során egy nedvesség index adta a vizsgált indexek közül a legszorosabb kapcsolatot a terméshozammal [18], kiszámoltam a Te-1 táblára az NDMI értékeket 10 és 20 méteres felbontásban is (2. táblázat). Megállapítható, hogy május és június hónapokban a nedvességi index és a hozam között szorosabb összefüggés volt, mint a vegetációs indexnél. A legszorosabb kapcsolatot a június 11.-én készült felvételtől számolt NDMI értékek (4.4 ábra) mutatják a terméssel, amelynek regressziós függvénye a 4.5 ábrán látható.

4.2 Az NDVI, NDMI indexek és a Mu-2 tábla terméshozama közötti kapcsolat

A nem várt alacsony korrelációs együttható értékek miatt ugyanezen számításokat elvégeztem kontrollként az Isztiméri Bakony Kft. egy másik, szintén őszi búzával hasznosított területén is, a Mu-2 jelű táblán. Az eredményeket a 2. táblázat tartalmazza. Márciustól május közepéig jobb r-értékeket kaptam, május közepétől június végéig is valamivel erősebb összefüggés adódott az indexek és a hozam között ezen a táblán, de a kapcsolat szintén gyengének mondható. Feltehető, hogy inkább a 2022-ben tapasztalt rendkívüli

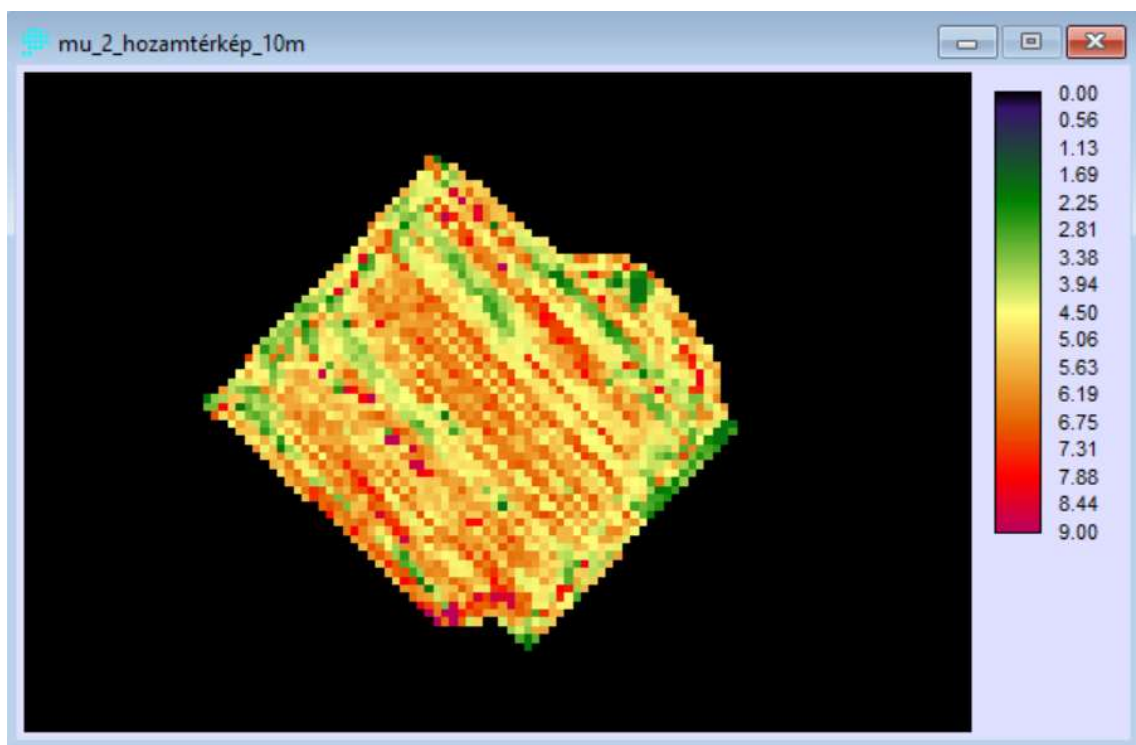


4.4. ábra: Te-1 mintatábla NDMI térképe

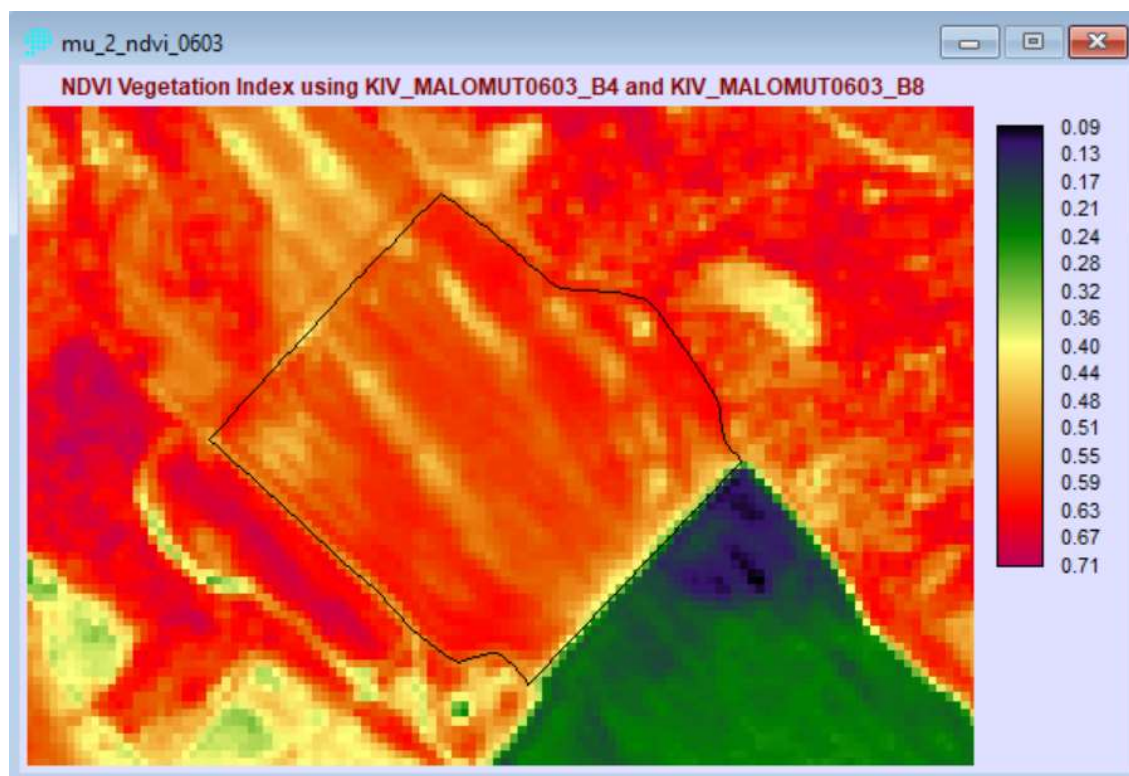


4.5. ábra: Te-1 mintatábla NDMI értékei és a hozam közötti összefüggés

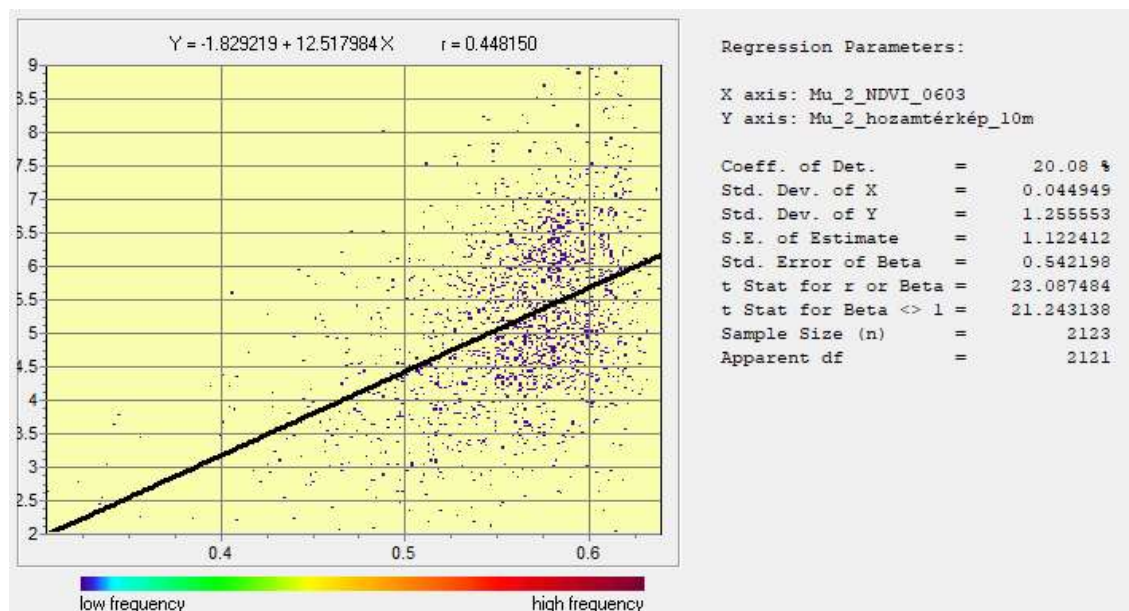
időjárásnak betudható évjáráttal magyarázható a vártnál gyengébb kapcsolat az indexek és a hozam között. A Mu-2 táblán szintén a június 03.-án felvett adatokból számított NDVI értékek mutattak szorosabb kapcsolatot a hozammal ($r=0,448$). A kontroll tábla 10 m-es felbontású hozamtérképét a 4.6 ábra, míg a június 03.-i NDVI térképet a 4.7 ábra szemlélteti. A kettő közötti lineáris regresszió a 4.8 ábrán látható, a determinációs együttható (Coefficient of Determination) értéke: $R^2 = 20,08 \%$. Az NDMI index ezen a táblán is szorosabb összefüggést mutatott a hozammal, mint a vegetációs index. A legjobb eredményt szintén a június 03.-án rögzített adatok adták, azonban itt 20 m-es geometriai felbontásban. A Mu-2 jelű tábla hozamtérképét a 4.9 ábra, az NDMI térképet a 4.10 ábra szemlélteti. A kettő közötti összefüggést a 4.11 ábra mutatja be, a felbontás miatt alacsonyabb mintaszámmal és jobb korrelációval ($R^2=35,86 \%$).



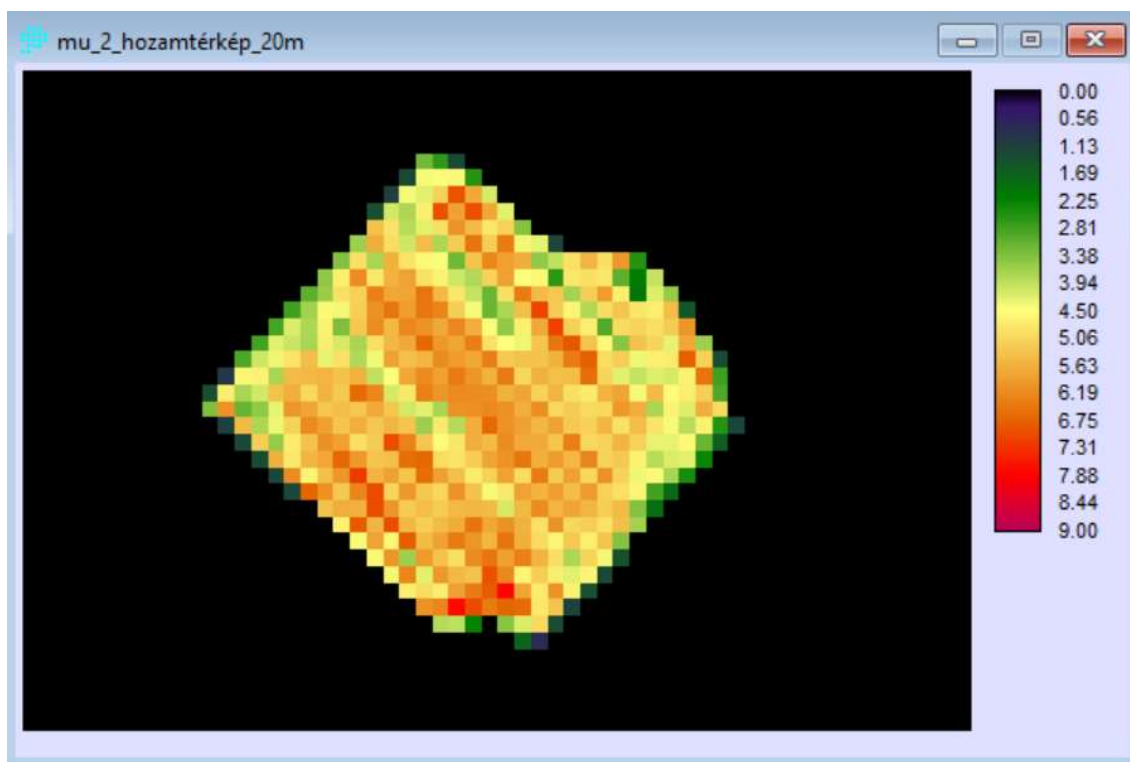
4.6. ábra: Mu-2 tábla raszteres hozamtérképe (10 m felbontás)



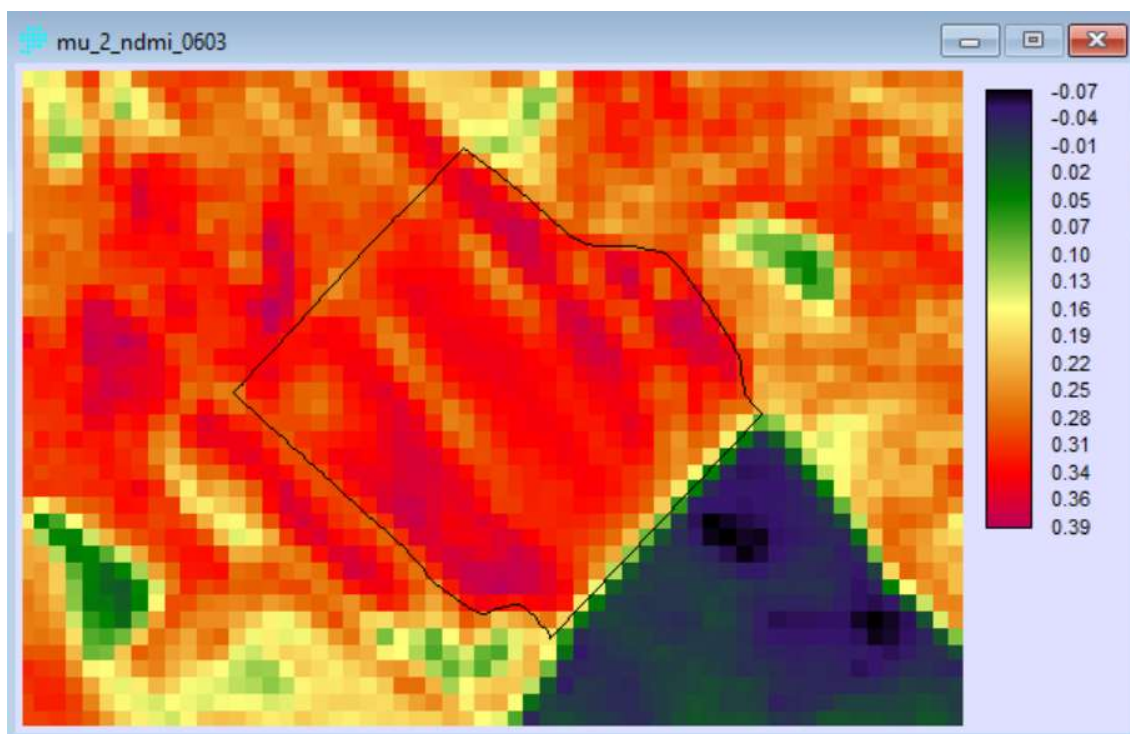
4.7. ábra: Mu-2 tábla NDVI térképe



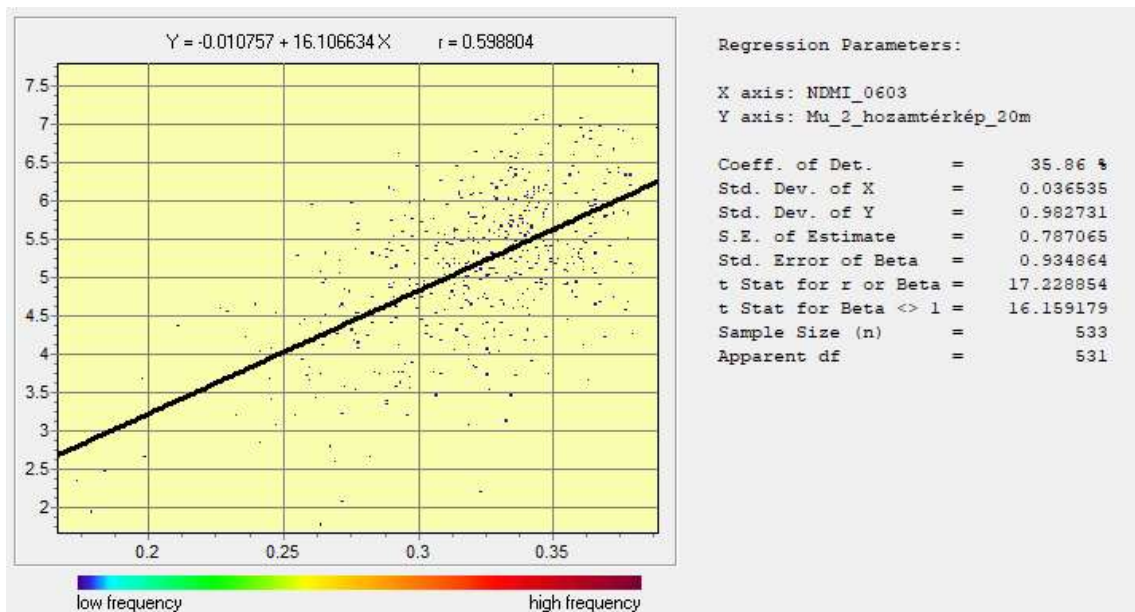
4.8. ábra: Mu-2 tábla NDVI értékei és a hozam közötti összefüggés



4.9. ábra: Mu-2 tábla raszteres hozamtérképe (20 m felbontás)



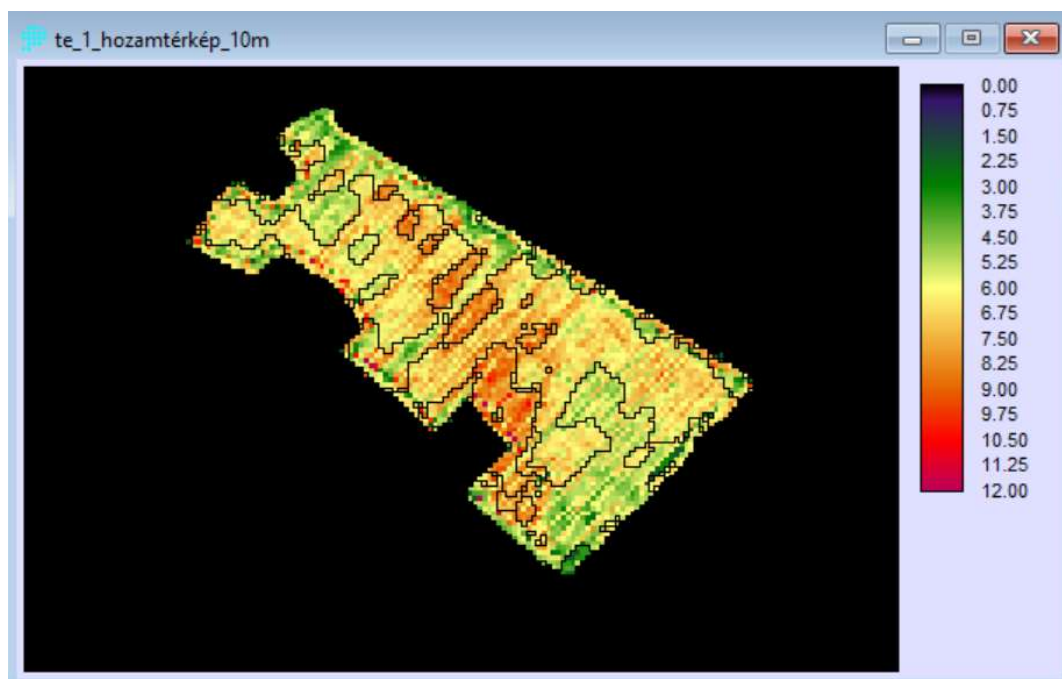
4.10. ábra: Mu-2 tábla NDMI térképe



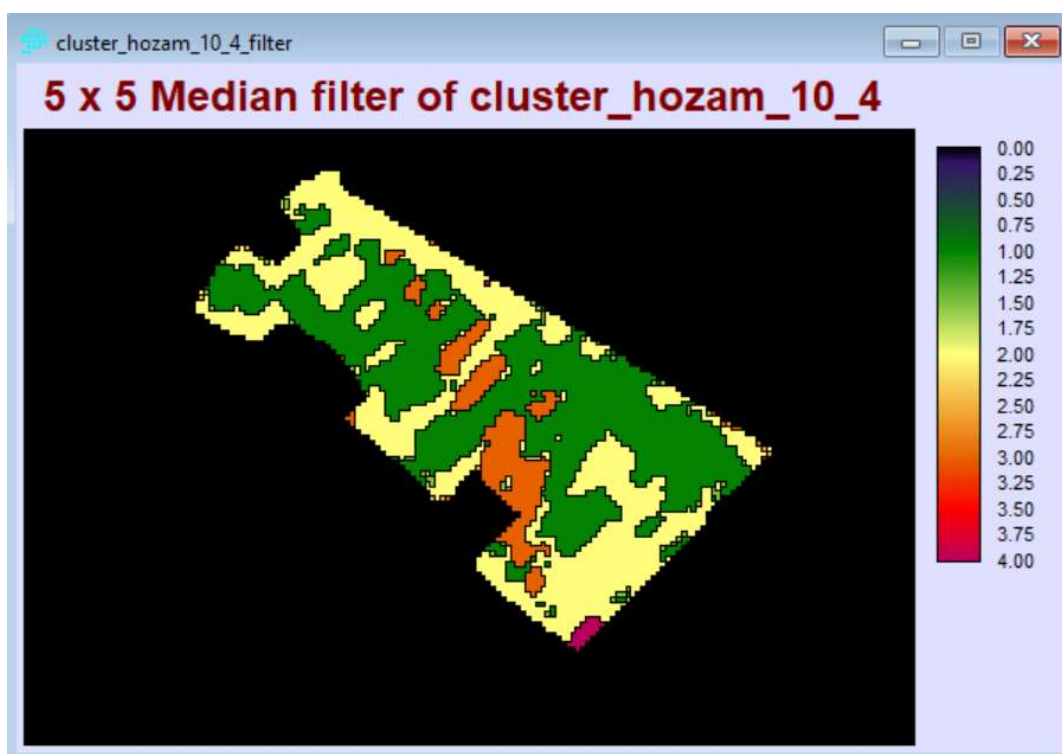
4.11. ábra: Mu-2 tábla NDMI értékei és a hozam közötti összefüggés

4.3 A Te-1 tábla automatikus osztályozása (klaszterezése) IDRISI környezetben

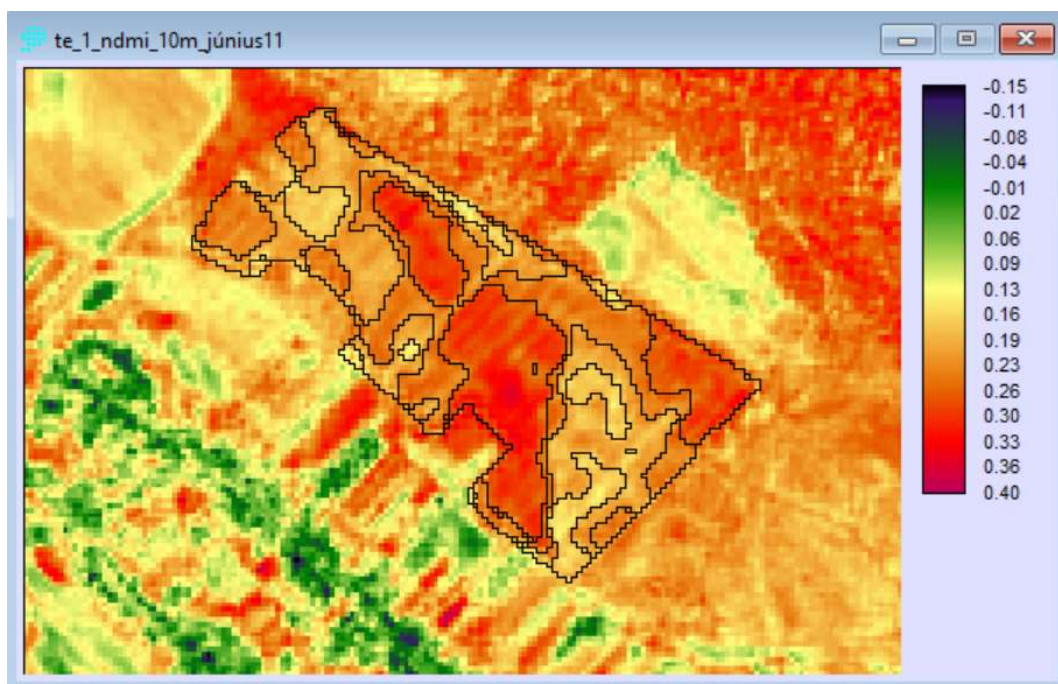
A Te-1 jelű tábla 2022-es hozamtérképének és a 2022. június 11.-én készült műholdfelvételből számított NDMI térképének a pixeleit osztályokba csoportosítottam. Az IDRISI szoftver ezt automatikusan végzi a kép pixeleinek intenzitási értéke, vagy az intenzitás alapján levezetett értékek alapján, amelynek eredményeképpen az egymáshoz hasonló adatok egy osztályba kerülnek. Az egyes klaszterek elkülönítését a hozamtérképen a 4.12 ábra szemlélteti, amelyet az osztályok raszteres képének vektorrá alakításával nyert poligon réteg segítségével készítettem el. A hozam adatok négy osztályba történő csoportosítása megjelenítve a 4.13 ábrán látható. A terméssel leginkább összefüggésben lévő NDMI térképen elvégzett osztályozással is információt kaphatunk a táblán belüli heterogenitásról. Jól elkülöníthető a nagyobb hozamot biztosító táblarészek a gyengébb adottságú területektől (4.14 és 4.15 ábra). A hozamtérképen megfigyelhető az aratási iránynak megfelelő, az egyes fogásokat elkülönítő bizonyos csíkozottság, leginkább a magas hozamú területen. Ez utalhat arra, hogy a hozamtérképezés során hibás adatfelvételzés történhetett, ami a korreláció számítás során is gyengébb összefüggés kimutatását eredményezheti.



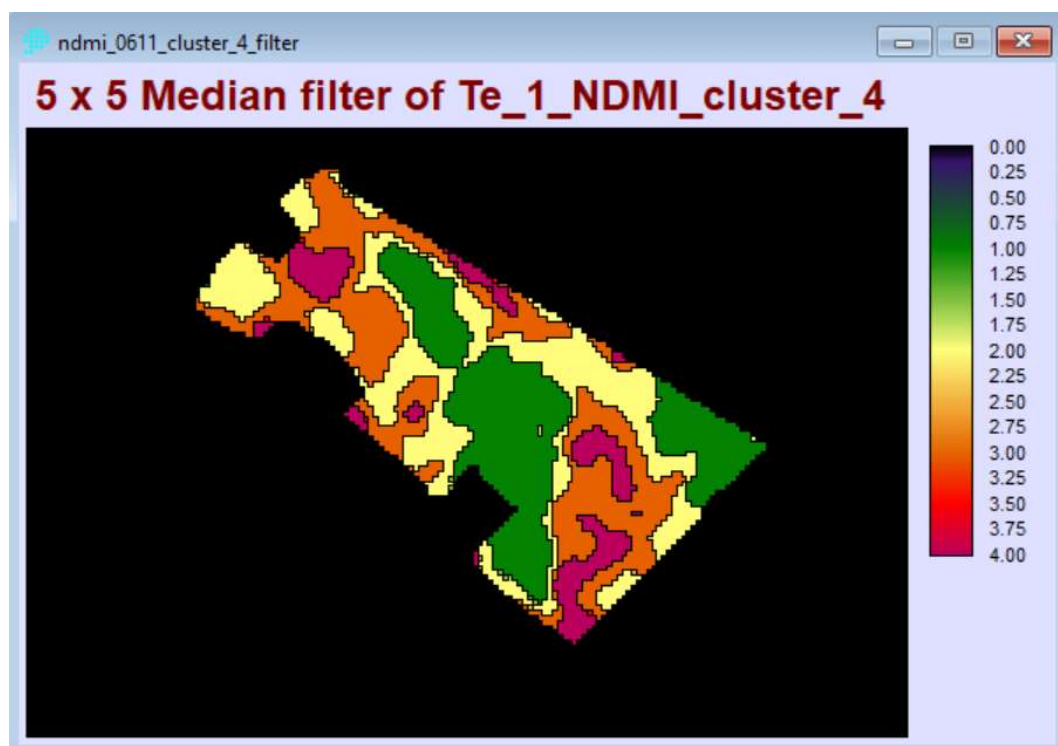
4.12. ábra: Te-1 tábla hozamtérképének klaszterezése



4.13. ábra: Te-1 tábla hozamtérképének négy klasztere



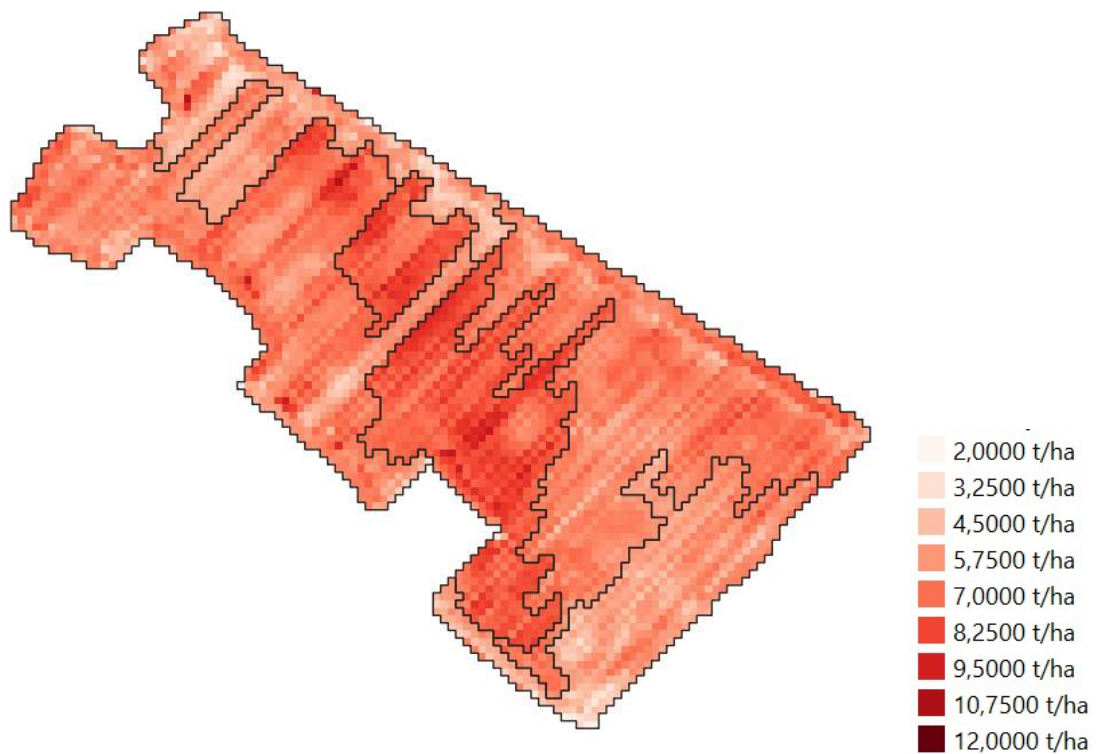
4.14. ábra: Te-1 tábla NDMI térképének klaszterezése



4.15. ábra: Te-1 tábla NDMI térképének négy klasztere

4.4 A Te-1 tábla szegmentálása QGIS környezetben

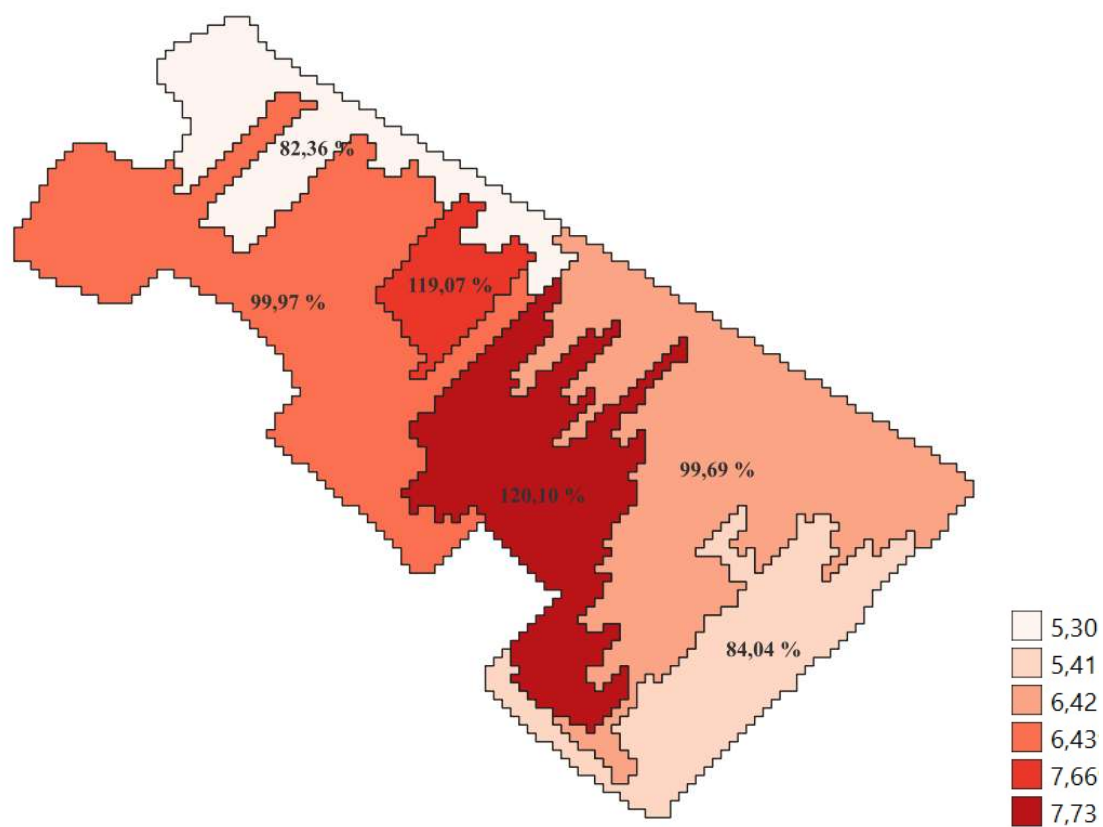
A táblán belüli heterogenitás feltérképezését és a zónák lehatárolását QGIS-ben szegmentálással végeztem el. Ennek során a hozamtérképet és az NDMI térképet egymással összefüggő, viszonylag homogén területekre különítettem el. A vizsgálat során feltételként adtam meg, hogy egy szegmens területe nem lehet kisebb 100 pixelnél, azaz nem lehet kisebb, mint egy hektár. Az elemzésekhez itt is szükség volt a szegmenseket egy vektor réteggé alakítani. A mintaterület hozamtérképének felosztása a 4.16 ábrán látható. Az aratás irányával párhuzamos csíkozottság itt is jól kivehető. A szegmensek vektoros rétegét felhasználva statisztikai elemzést végeztem a hat különböző, viszonylag homogén táblán belüli területre és a táblahatárral körülvelt teljes táblára. Az eredményeket a 3. táblázat tartalmazza. A hat szegmenst tartalmazó felosztást a táblán belüli területek átlaghozamának felhasználásával szemlélteti a 4.17 ábra. Az ábrán a különböző zónák teljesítménye is látható az egyes szegmensek átlaghozamának a teljes tábla hozamához viszo-



4.16. ábra: Te-1 tábla hozamtérképének szegmentálása

3. táblázat: Te-1 tábla hozamtérkép szegmenseinek statisztikai jellemzői

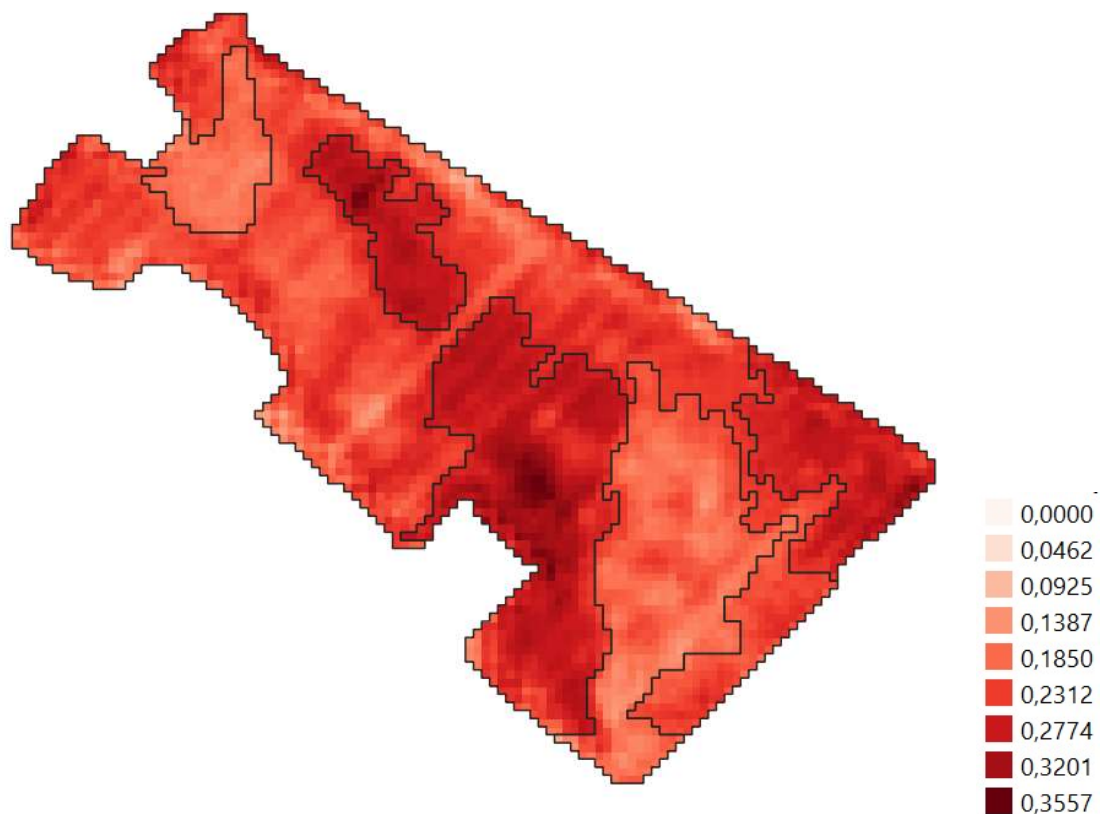
	Tábla	1	2	3	4	5	6
hozam_darabszám	4283	478	553	1199	1167	183	704
hozam_átlag	6,44	5,31	5,41	6,42	6,44	7,67	7,74
hozam_medián	6,44	5,30	5,43	6,44	6,44	7,65	7,75
hozam_szórás	1,1290	0,9285	0,8218	0,6845	0,9049	0,7379	0,7553
hozam_minimum	2,00	2,00	2,23	3,93	2,55	6,09	2,39
hozam_maximum	10,56	10,34	8,02	8,22	10,56	9,55	9,90
	100,00%	82,36%	84,04%	99,69%	99,97%	119,07%	120,10%



4.17. ábra: Te-1 tábla hozamtérképének hat szegmense a hozam átlagértékeivel

nyítva, százalékos értékben megadva. Látható, hogy a leggyengébb terület átlaghozama a táblaátlag 82,36 %-a, míg a legjobb termőképességű szegmens teljesítménye a táblaátlag 120,1 %-a. Megfigyelhető továbbá, hogy a 1-2, 3-4 illetve a 5-6 szegmensek átlaghozamai igen közel vannak egymáshoz.

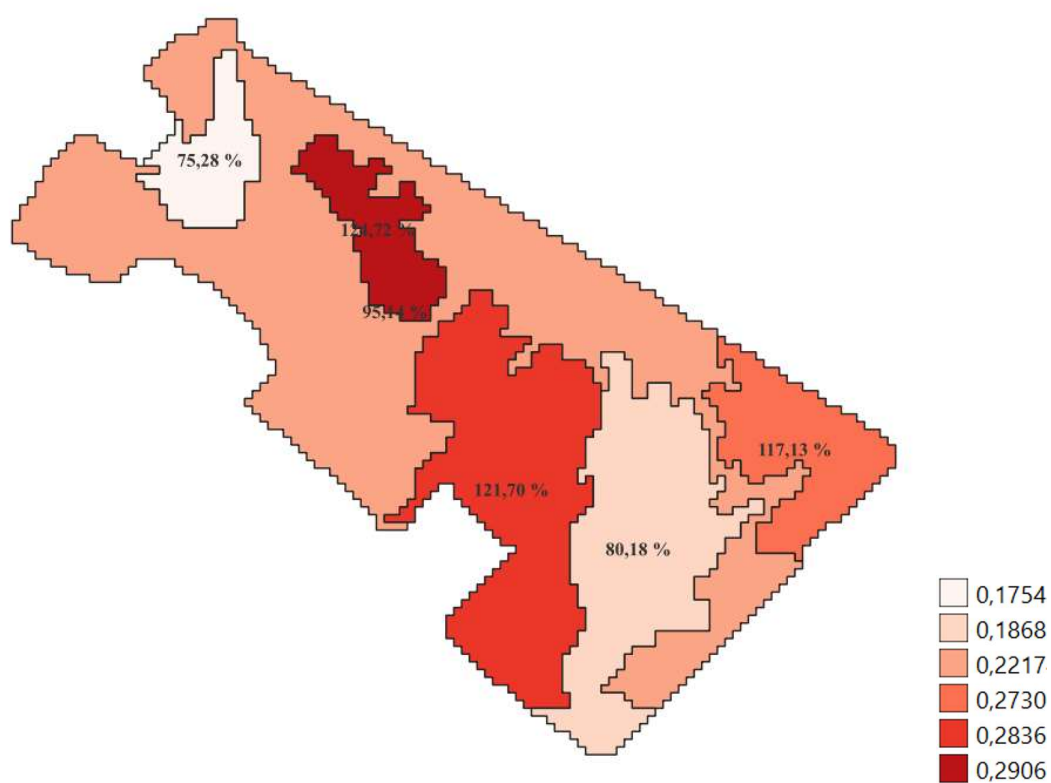
A terület NDMI térképének szegmentálását a 4.18 ábrán mutatom be. A teljes tábla, illetve a hat különböző szegmens területére is elvégeztem a statisztikai elemzést. Az eredményeket a 4. táblázatban foglaltam össze. A tábla átlag NDMI értékét itt is 100 %-nak vettem, az egyes szegmensek átlagos értékeit ehhez viszonyítottam, és megadtam a hat zóna teljesítményét a tábla átlagának százalékában. Megállapítható, hogy a legkisebb átlagos NDMI értéket mutató szegmens 75,28 %-a, míg a legnagyobb index értéket adó terület 124,72 %-a a táblaátlagnak (4.19 ábra).



4.18. ábra: Te-1 tábla NDMI térképének szegmentálása

4. táblázat: Te-1 tábla NDMI térkép szegmenseinek statisztikai jellemzői

	Tábla	1	2	3	4	5	6
NDMI_darabszám	4291	189	667	2099	333	796	207
NDMI_átlag	0,2331	0,1755	0,1869	0,2217	0,2730	0,2837	0,2907
NDMI_medián	0,2310	0,1749	0,1851	0,2242	0,2715	0,2857	0,2891
NDMI_szórás	0,0445	0,0131	0,0236	0,0272	0,0195	0,0312	0,0178
NDMI_minimum	0,1034	0,1294	0,1088	0,1034	0,2169	0,1432	0,2588
NDMI_maximum	0,3557	0,2023	0,2607	0,3007	0,3405	0,3557	0,3512
	100,00%	75,28%	80,18%	95,14%	117,13%	121,70%	124,72%



4.19. ábra: Te-1 tábla NDMI térképének hat szegmense az index átlagértékeivel

4.5 A zónatérképezés továbbfejlesztési lehetőségei

A szegmentálás során készített vektoros réteg egy shape file, amelynek attribútum táblázatába ha a különböző zónákhoz eltérő mennyiségű inputot rendelünk figyelembe véve a

táblán belüli termőképességi potenciál különbségeket, kijuttatási térképként használhatjuk. A menedzsment zónák lehatárolása azonban egy év hozamtérképe, vagy nedvességi indexe alapján nem lehet pontos, erősen torzíthat az adott év időjárásának hatása. A zónatérképezés tovább fejlesztéséhez több év, a terméssel összefüggésben lévő tényező adataival kell rendelkezni, minél több releváns adattal dolgozunk, annál pontosabb lesz a táblán belüli határok kijelölésének pontossága. A hozam adatok gyűjtésénél mindezek mellett igen fontos a kombájn megfelelő kalibrációja, illetve szakszerű üzemeltetése a mérés során, hogy használható adatbázishoz jussunk. Ha egy adott tábláról azonos kultúra több év hozamtérképével rendelkezünk, ezeket a hozam adatok átlagolásával az évjárat hatásoktól megtisztíthatjuk. Ezt egy térinformatikai szoftverben könnyen elvégezhetjük a raszteres állományok közötti számítással.

A zónatérképezés fejlesztésénél segítségünkre lehet az adott táblán kialakított zónák utólagos statisztikai elemzése. A zónákat tartalmazó vektor réteget felhasználva a hozamtérkép raszteres rétegén, amely az adatokat tartalmazza, QGIS-ben az övezet statisztika eszköz segítségével kiszámolhatunk különféle statisztikai értékeket minden egyes zónára. Minél kisebb a zónaátlaghoz viszonyítva hozam adatok szórása a zónán belül, a menedzsment zónák kijelölése annál pontosabban történt.

5. ÖSSZEFOGLALÓ

Szakdolgozatomban bemutattam egy Fejér megyei gazdaság, az Isztiméri Bakony Kft. hagyományos növénytermesztésének átállási folyamatát precíziós gazdálkodási formára. Bevezetésének első lépése a helymeghatározást lehetővé tevő technológia (Trimble RangePoint RTX), robotpilóta és egy szakaszvezérlő (Field-IQ) beszerzése volt 2015-ben. Jelentős eszközfejlesztésre került sor 2021 és 2022-ben, amelynek során 3 db új, robotpilótával és 2 cm pontosságot biztosító korrekciós jeleket vevő RTK antennával szerelt John Deere 6145R traktor, illetve egy szintén RTK antennával, valamint hozammérővel felszerelt JD W650 típusú kombájn került üzembe helyezésre. Az egyik, már meglévő John Deere 8270R erőgép monitorjára aktivált automatikus szakaszvezérlő (Section-Control) által technikailag lehetővé vált a helyspecifikus, táblán belüli változó dózisú inputok kijuttatása. A precíziós gazdálkodás alapját jelentő zónatérképezés a fejlesztési folyamat egyik legkritikusabb része. Sikere döntően meghatározza a kijuttatás hatékonyságát, gazdaságosságát. A táblán belüli viszonylag homogén, azonos termőképességű potenciállal rendelkező zónák lehatárolásánál a leghasznosabb adatok az adott terület hozamadatai, illetve az ezekkel szoros összefüggésben lévő adatok. A Te-1 mintaterületen a 2022-es őszi búza hozamtérképe és egy általánosan használt vegetációs index (NDVI), és egy nedvesség index (NDMI) térképek között elvégzett lineáris regresszió számítás alacsony korrelációt mutatott. A vizsgálat szerint az NDVI és a hozam közötti kapcsolat (r -értékek: $-0,049 - 0,351$) gyengébb, mint az NDMI esetében (r -értékek: $-0,015 - 0,459$). A táblán belüli heterogenitás feltérképezéséhez a hozam és az ezzel legjobb korrelációt mutató 2022 június 11.-én készült műholdfelvételtől számolt NDMI képen elvégeztem az automatikus osztályozást (klaszterezést), illetve QGIS szoftverrel a szegmentálást. A statisztikai elemzés után a kapott hat szegmens 2022 évi teljesítményét a táblaátlaghoz viszonyítva állapítottam meg. A leggyengébb terület átlaghozama a táblaátlag 82,36 %-a, míg a legjobb termőképességű szegmens teljesítménye a táblaátlag 120,1 %-a, a legkisebb átlagos NDVI értéket mutató szegmens 75,28 %-a, míg a legnagyobb index értéket adó terület 124,72 %-a a táblaátlagnak. Egy év adatai alapján a zónák meghatározása nem lehet pontos, ehhez több (3-5) évből származó adatok elemzése szükséges.

6. SUMMARY

In my thesis I presented the process of transition of a Fejér County farm, the Isztiméri Bakony Kft., from traditional to precision farming. The first step of the implementation was the purchase of a positioning technology (Trimble RangePoint RTX), an autopilot and a section controller (Field-IQ) in 2015. Significant equipment upgrades were made in 2021 and 2022, with the installation of 3 new John Deere 6145R tractors equipped with an RTK antenna with a 2 cm precision correction signal and a JD W650 combine equipped with an RTK antenna and a yieldmonitor. By activating an automatic section control on the monitor of an existing John Deere 8270R power machine, it is technically possible to apply site-specific variable dose inputs across the board. The zone mapping, the basis of precision farming, is one of the most critical parts of the development process. Its success is crucial to the efficiency and economy of the applications. The most useful data for determining relatively homogeneous management zones within a field with the same productivity potential, are the yield data for the area in question and closely related data. Linear regression calculations between the 2022 winter wheat yield map and a commonly used vegetation index (NDVI) and a moisture index (NDMI) maps in the Te-1 sample area showed low correlation. The study showed that the relationship between NDVI and yield (r -values: -0.049 - 0.351) is weaker than for NDMI (r -values: -0.015 - 0.459). To map the field heterogeneity, I performed automatic classification (clustering) and segmentation using QGIS software on the yield map, and with its the best correlation showing NDMI image counted from the satellite image of 11 June 2022. After the statistical analysis, the performance of the resulting six segments in 2022 was compared to the field average. The average yield of the weakest area is 82.36% of the field average, while the performance of the best performing segment is 120.1% of the field average, the segment with the lowest average NDMI is 75.28% of the table average, and the area with the highest index value is 124.72% of the field average. However, management zones cannot be defined accurately on the basis of one year's data, which requires analysis of data from several (3-5) years.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Doerge, T. A. „Management Zone Concepts (SSMG-2) - IPNI,” [Online]. Available: [http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/C0D052F04A53E0BF852579E500761AE3/\\$FILE/SSMG-02.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/C0D052F04A53E0BF852579E500761AE3/$FILE/SSMG-02.pdf). [Hozzáférés dátuma: 28 szeptember 2022].
- [2] Csornai, Gábor et al. „A precíziós zónák jóságának, hatékonyságának mérése,” [Online]. Available: <https://www.gisopen.hu/2022/ppt/E6.pdf>.
- [3] Axial, Kft. „Zónázás,” [Online]. Available: <https://www.axial.hu/gps/vantage/adat-management/zonazas>.
- [4] Clay, D. E. et al. „Determining the “Best” Approach to Identify Nutrient Management Zones,” [Online]. Available: <http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/891472/12243139/1305569429833/Clay+et+al.+2004+Determining+the+best+approach+to+identify+nutrient+management+zones+a+South+Dakota+example.pdf?token=86oUaYLD0r8PJ7b0jN0pqKMED0k%3D>.
- [5] Franzen, D. W. - Kitchen, N. R., „Developing Management Zones to Target Nitrogen Applications (SSMG-5),” [Online]. Available: <http://ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/A5CD47480DAF17D1852579E500765D7B/%24FILE/SSMG-05.pdf?OpenAgent&d=SSMG-5&f=SSMG-05.pdf>.
- [6] Veres, Zsófia et al. „Kezelésizóna-lehatárolási módszerek összehasonlítása hozamterképpel és ellenőrzése talajmintavétellel,” [Online]. Available: <https://agraragazat.hu/hir/kezelesizona-lehatarolasi-modszerek-osszehasonlitasi-hozamterkeppel-es-ellenorzese-talajmintavetellel/>.
- [7] Katona, András „Talajszkenelés? Segítünk a tisztánlátásban!” [Online]. Available: <https://www.agrofil.hu/hu/hirek/talajszkeneles-segitunk-a-tisztanlatasban>.
- [8] Doerge, T. A. et al. „Soil Electrical Conductivity Mapping (SSMG-30) - IPNI,” [Online]. Available: [http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/C1EA593A941AC78C852579E50077879D/\\$FILE/SSMG-30.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/C1EA593A941AC78C852579E50077879D/$FILE/SSMG-30.pdf).

- [9] Copernicus, „A FÖLD EURÓPA TÁVCSÖVÉN ÁT,” [Online]. Available: <https://www.copernicus.eu/hu>.
- [10] „NDMI (Normalized Difference Moisture Index),” [Online]. Available: <https://eos.com/make-an-analysis/ndmi/>.
- [11] Kleinjan, J. et al. „Developing Productivity Zones from Multiple Years of Yield Monitor Data,” [Online]. Available: [http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/37A4AF3F29B86394852579E50078024E/\\$FILE/SSMG-45.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/37A4AF3F29B86394852579E50078024E/$FILE/SSMG-45.pdf).
- [12] Okvátovity, István „Trimble Power Zone – korszerű technológiára alapozott szakszerű zónázás,” [Online]. Available: <https://www.axial.hu/cikkek/hirek/trimble-power-zone-korszeru-technologiara-alapozott-szakszeru-zonazas>.
- [13] Axiál, Kft. „mAXI-Hozam műholdas hozamtérképezés,” [Online]. Available: <https://www.axial.hu/gps/vantage/adatmanagement/maxi-hozam-muholdas-hozam-terkepezes>.
- [14] Pecze, Zsuzsanna „PRECÍZIÓS SZAKTANÁCSADÁS - FINOMRA HANGOLVA,” [Online]. Available: <https://ikragrar.hu/blog/precizios-szaktanacsadas-finomra-hangolva>.
- [15] Miskolci Egyetem, „Magyarország talajai,” [Online]. Available: https://www.unimiskolc.hu/~ecodobos/ktmcd1/bet/bet.htm#Bar-naf%C3%B6ldek__Ramann_f%C3%A9le_barna.
- [16] Szabó, Gergő „Quantum GIS Felhasználói kézikönyv,” 2010. [Online]. Available: <http://mek.oszk.hu/09200/09238/09238.pdf>.
- [17] Eastman, J. R. Térinformatika; IDRISI Tajga, Szaktudás Kiadó Ház ZRt., 2009.
- [18] Groditzki, Péter Sándor Szakdolgozat. Hozamtérképek és vegetációs indexek közötti összefüggések vizsgálata, Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar, Geoinformatikai Intézet, 2020.

8. ÁBRAJEGYZÉK

2.1. ábra Sentinel-2 műhold 13 spektrális sávja és azok térbeli felbontása [https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicus-sentinel-2#msi-multispectral-imager]	8
3.1. ábra Te-1 mintaterület domborzata [https://myjohndeere.deere.com].....	15
3.2. ábra Az első GNSS technológia	16
3.3. ábra RTK pontossággal felszerelt erőgépek	17
3.4. ábra Digitalizált táblahatárok [https://myjohndeere.deere.com]	19
3.5. ábra RTK pontossággal és hozammérővel felszerelt kombájn	19
3.6. ábra Te-1 mintaterület hozamtérképe	22
4.1. ábra Te-1 mintatábla raszteres hozamtérképe (10 m felbontás)	26
4.2. ábra Te-1 mintatábla NDVI térképe	27
4.3. ábra Te-1 mintatábla NDVI értékei és a hozam közötti összefüggés.....	28
4.4. ábra Te-1 mintatábla NDMI térképe	29
4.5. ábra: Te-1 mintatábla NDMI értékei és a hozam közötti összefüggés	29
4.6. ábra Mu-2 tábla raszteres hozamtérképe (10 m felbontás)	30
4.7. ábra Mu-2 tábla NDVI térképe	31
4.8. ábra Mu-2 tábla NDVI értékei és a hozam közötti összefüggés	31
4.9. ábra Mu-2 tábla raszteres hozamtérképe (20 m felbontás)	32
4.10. ábra Mu-2 tábla NDMI térképe	32
4.11. ábra Mu-2 tábla NDMI értékei és a hozam közötti összefüggés	33
4.12. ábra Te-1 tábla hozamtérképének klaszterezése	34
4.13. ábra Te-1 tábla hozamtérképének négy klasztere	34

4.14. ábra Te-1 tábla NDMI térképének klaszterezése	35
4.15. ábra Te-1 tábla NDMI térképének négy klasztere	35
4.16. ábra Te-1 tábla hozamtérképének szegmentálása	36
4.17. ábra Te-1 tábla hozamtérképének hat szegmense a hozam átlagértékeivel	37
4.18. ábra Te-1 tábla NDMI térképének szegmentálása	38
4.19. ábra Te-1 tábla NDMI térképének hat szegmense az index átlagértékeivel	39