



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

**Távérzékelés alapú aszály monitoring és
hatásának vizsgálata búza kultúrában**

**OE-AMK
2021.**

**KIS-SZABÓ GERGŐ
T000646/FI12904/A-G**



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kis-Szabó Gergő

Szakdolgozat száma: SZD21040616221029

Törzskönyvi száma: T000646/FI12904/A-G

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: precíziós gazdálkodási szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Távérzékelés alapú aszály monitoring és hatásának vizsgálata búza kultúrában

A dolgozat címe angolul: Drought monitoring by using remote sensing and its impacts on wheat yield

A feladat részletezése:

1. Irodalom alapján foglalja össze a távérzékelés alapú talajnedvesség mérési lehetőségeket!
2. Ismertesse a jelenleg működő aszály megfigyelésére szolgáló rendszereket!
3. Mutassa be a mintaterületet és a felhasznált adatokat: műholdas felvételeket, meteorológiai méréseket, talajnedvesség méréseket stb.!
4. Mutassa be az adatok kiértékeléshez használt szoftvereket és az alkalmazott elemzési eljárásokat! Részletesen ismertesse a vízhiány hatás kimutatásához használt indexeket, számítási módszereket!
5. Végezze el az eredmények kritikus elemzését a gyakorlati alkalmazás szempontjából!

Intézményi konzulens neve: Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata

Külső konzulens neve: Fodor István

Munkahelye:

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. december 15.

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2021. 11. 11.

P.H

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai Intézet

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: VECKERT, 2021. 12. 11.

Székelyi Gergő

hallgató aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

1	BEVEZETÉS	6
2	A víz szerepe a növények életében	7
2.1	Víz a növény fejlődési stádiumaiban	7
3	Talajnedvesség mérési módszerek	8
3.1	Terepen történő adatgyűjtési módszerek.....	9
3.1.1	Gravimetrikus módszer.....	9
3.1.2	Elektromos ellenállást mérőmódszer	9
3.1.3	Neutron szondás mérőmódszer	9
3.2	Távérzékelésen alapuló eljárások.....	10
3.2.1	Index alapú vizsgálatok	10
3.2.2	Talajnedvesség detektálására használt modellek	11
4	Aszály monitoring rendszerek.....	12
4.1	Aszály monitoring az USA-ban	12
4.2	Aszály megfigyelés az Európai Unióban	13
4.3	Magyarországi aszálymegfigyelés	14
5	Mintaterület bemutatása.....	16
5.1	Terület talajtani jellemzői	17
5.2	A terület éghajlata	19
5.2.1	2018-ban a területre jellemző csapadék viszonyok	19
5.2.2	2021-ben a területre jellemző csapadék viszonyok	20
5.2.3	Aszályindex jellemzése a vizsgált időszakban	21
5.3	A terepi mérés adatai.....	22
5.3.1	A területen mért csapadék.....	23
5.3.2	TDR 350-nel végrehajtott mérés eredménye	25
6	A felhasznált adatok	27
6.1	Műholdképek.....	27
6.2	Hozam adatok.....	28
7	Adatelemzés.....	29
7.1	Az OPTRAM módszer	30
7.2	A talaj nedvességtartalom meghatározása	31

7.2.1	A tábla azonosítása	32
7.2.2	Talajnedvesség becslés az OPTRAM modellel	33
7.2.3	A talaj nedvességtartalmának becslése	35
8	Végrehajtott módszer értékelése	37
9	Összegzés	40
10	Summary	41
11	Irodalomjegyzék	43
	Ábrajegyzék.....	45
	Képletek jegyzéke	46
	Táblázatok jegyzéke	46
	Köszönet nyilvánítás.....	47

1 BEVEZETÉS

A Földön élő emberek élelmezése napjainkban egyre nagyobb kihívást jelent, de a jövőben várhatóan ez a probléma tovább súlyosbodik. Az emberiség élelemmel történő ellátásához elengedhetetlen a különböző növényi kultúrák hatékonyabb termesztése, amely az antropogén hatások következtében kialakult klímaváltozás tükrében növekvő nehézségekbe ütközik.

A növények fejlődését és termőképességét befolyásoló tényezők közül az egyik legjelentősebb a termőterületek vízellátottsága. E tekintetben mind a túlzott mértékű rendelkezésre állása mind pedig annak hiánya hátrányosan érinti az adott területen termesztett növény egészségi állapotát, amelynek hozama így elmarad a potenciálisan elérhetőtől. A gyakoriság, a kiterjedés és az okozott gazdasági kár tekintetében a vízhiány súlyosabb következményekkel jár a mezőgazdasági termelés volumenét tekintve, tehát a szárazság, az aszály nagyobb problémát jelent évente, mint a bel- és árvizek együttesen.

A szakirodalom tanulmányozása során látható, hogy az aszály által okozott problémák már a XX. század közepétől foglalkoztatták a mezőgazdasági szereplőket, bár egyértelműen magát a fogalmat nem sikerült meghatározni, hiszen annak kialakulása, hatása nem egyenértékű a Föld különböző adottságú területein. Számomra a legmegfelelőbb megfogalmazás "az aszály egy adott szántóföldi, illetve erdőterületen levő növényállomány tartós és jelentős mértékű vízhiánya, ami nagymértékben behatárolja a növény életfolyamatait"^[1]

A dolgozatomban az előbb említett vízhiánynak a vizsgálatával kívánok foglalkozni egy általam lehatárolt mintaterületen, szabadon elérhető műholdfelvételek illetve a területen végzett terepi mérések felhasználásával. A céлом bemutatni, hogy napjainkban a rendelkezésre álló távérzékelési adatok elemzésével kimutatható a területen előforduló nedvesség deficit, valamint annak negatív hatása az adott növénykultúra tekintetében. Ezt bizonyítandó az általam végrehajtott elemzés eredményét össze szeretném hasonlítani kombájn által mért hozam adatokkal is, amelyek 2018-ban kerültek rögzítésre őszi búza, valamint 2020-ban őszi árpa kultúrában.

Egyben be szeretném mutatni, hogy az általam lefolytatandó módszer alkalmas a

¹ Forrás: Pálfai, I. (2004): Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok.

vízhiány időben történő detektálására, így alkalmas lehet precíziós öntözés előkészítésének támogatására is.

2 A víz szerepe a növények életében

Mind a legtöbb élőlény, a növények életében is létfontosságú szerepe van a víznek, hiszen a különböző fajok víztartalma 75-95%^[2] közöttire tehető. Ugyan ennek a közegnek köszönhető szilárdságuk is, amelyet a turgor nyomás biztosít, sőt hűtésükről, tápanyag felvételükhöz és a fotoszintézishez is hozzájárul.

A szántóföldi növények a létfenntartásukhoz szükséges víz mennyiségének nagy részét a gyökérzetükön, tehát a talajon keresztül veszik fel, bár megfelelő páratartalom mellett a levél felülete is bekapcsolódik ebbe a folyamatban. A növényen belül a nedvesség a gyökérzet irányából a levelek felé áramlik a száron keresztül, ahol a párologtatás, a transzspiráció során egy nap alatt akár a felvett teljes víztartalmát elveszítheti.

2.1 Víz a növény fejlődési stádiumaiban

A víz létfontosságú a növények fejlődésének egyes stádiumaiban, illetve hiánya károsan befolyásolhatja az élettani, de módosíthatja a biokémiai folyamatokat is, ami a termésmennyiség csökkenéséhez és minőségének romlásához vezethet.

A növények életét 4 szakaszra bonthatjuk úgymint:

- nyugalmi állapot mag formájában;
- csírázás;
- vegetatív fejlődés;
- generatív fejlődés.

Amíg a mag a nyugalmi állapotban relatív kevés vizet tartalmaz, addig a csírázási folyamat elindulásához már nélkülözhetetlen az, hiszen a nedvesség hatására, megfelelő egyéb körülmények –például hőmérséklet– esetén, a magon belüli életfolyamatok megélnéknélnek, az megduzzad, kinyílik a csira kapu és megkezdődik a csírázás. A csírázás folyamatában kialakuló szárazság megnehezíti, gátolja a kelési folyamatokat, akár olyan mértékben is, hogy szükséges a terület egészén vagy egy részén az újra történő vetés, ültetés.

² Forrás: Dr. Brateki Zoltán (2013.) Növényi anyagszere élettan Eötvös Loránd Tudományi Egyetem

A vegetatív szakaszban a sejtek felépítéséhez használdik fel a legnagyobb mennyiségben a víz, kialakul a szár, létrejönnek a levelek. Ebben a periódusban a nedvesség hiánya befolyásolhatja a bokrosodást, illetve a megfelelő szerkezeti felépítést, gyenge, a virág és a mag létrehozására kevésbé képes egyedek alakulhatnak ki.

A generatív vagy reprodukciós időszakban mind a virágzásra mind a mag fejlődésére káros hatással van az ekkor fellépő vízhiány. A virágzás során kialakult aszály elsősorban a megtermékenyülés eltolódásával jár, de súlyos esetben akár a bibe túlzott mértékű kiszáradásához is vezethet, amely így nem lesz képes a megtermékenyülésre és nem kezdődik el a meg képződés.

A mag fejlődésének intervallumában megjelenő vízhiány hatására annak mérete és a tömege elmaradhat a potenciálisan elérhetőtől, de akár szemvesztéd is előfordulhat.

A fiziológiai érést követően a legtöbb szántóföldi növénykultúra esetén egy vízvesztési időszak figyelhető meg, amely hozzájárul a megfelelő szemnedvességű betakarítási állapot létrejöttéhez.

3 Talajnedvesség mérési módszerek

Mint már az előzőekben említettem a növények életciklusa során a víz az egyik nélkülözhetetlen elem, amelyet a talajból a gyökérzetükön keresztül vesznek fel. A talaj víztartalma és a növények közötti kapcsolat fontosságát már az ókorban felismerték, de a vegetáció vízellátottságának mérési lehetősége csak az előző századhoz köthető. Ezzel egy időben a növények gyökérzónájában elérhető nedvesség meghatározására irányuló vizsgálatok is elkezdődtek.

Az öntözési technológiák terjedésével a mezőgazdaságban egyre nagyobb szerep jut a talajnedvességének a detektálására, hiszen ez alapján lehetséges megtervezni a szükséges mértékű, még hasznosítható mennyiségű víz pótlását. Ezt a napjainkban a mezőgazdaságban lezajló digitalizáció tovább fokozza, hiszen most már az autonóm műszerek által szolgáltatott adatokat közvetlenül be lehet táplálni az önműködő öntöző rendszerekbe.

A mezőgazdasági döntés előkészítésben is egyre nagyobb szerep jut a talaj víztartalmának a megállapítására, hiszen ezen információ alapján képesek vagyunk az

egyes termelési folyamatokba úgy beavatkozni, hogy elősegítsük annak hatékonyságát. Ezen a téren már komoly szerepet kapnak a távérzékelési adatok illetve módszerek, amelyek lehet, hogy nem érik el a terepen végrehajtott mérések pontosságát, viszont átfogóbb képet adnak a területen bekövetkező nedvesség változásokról, amelyeket idősorosan is vizsgálhatunk és hozzájárulnak az összefüggések megértéséhez.

3.1 Terepen történő adatgyűjtési módszerek

A terepen történő adatgyűjtési módszerekről általánosságban elmondható, hogy pontszerűek, időigényesek, viszont relatív pontos információt szolgáltatnak a területről. A következőekben ezen módszerek közül említénék meg néhányat a teljesség igénye nélkül.

3.1.1 Gravimetrikus módszer

Ez tekinthető az egyik legpontosabb információt biztosító módszernek, amelyet a területen begyűjtött talajmintán végeznek el laboratóriumi körülmények között, hiszen a mintát mérést követően 105°C szárítanak, ami után újabb súlymérés segítségével határozzák meg annak víztartalmát. Az eljárás időigényes, viszont univerzális, mivel minden talajtípusnál használható, valamint nagy pontosságának köszönhetően kiválóan alkalmas a többi módszer kalibrációjára.

3.1.2 Elektromos ellenállást mérőmódszer

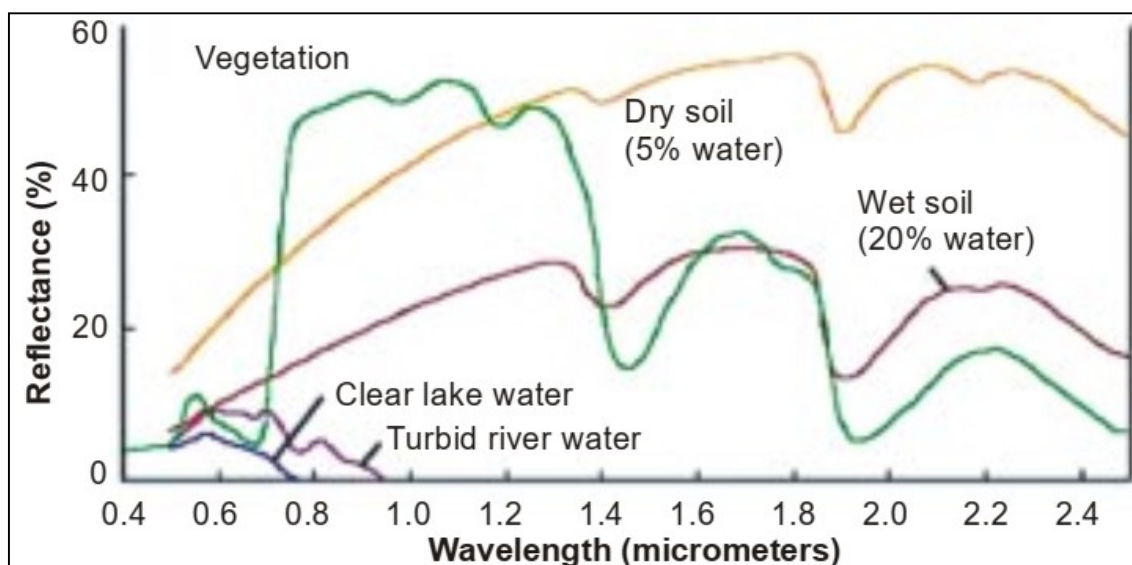
Ez a metódus a talaj elektromos ellenállás változásából kalkulálja a nedvesség tömegét. Előnye a mérés gyorsaságában és annak kedvező költségeiben van, míg hátránya, hogy a hőmérséklet változására érzékeny, nem használható homokos talaj típusokon és nem képes a gyors változások követésére.

3.1.3 Neutron szondás mérőmódszer

Ennél a mérési eljárásnál a neutron azon tulajdonságát használják fel, hogy a hidrogén atommal történő érintkezés során fellépő kölcsönhatás következtében mozgása lelassul. Előnye, hogy gyors és nehéz terep viszonyok között is kivitelezhető, alkalmas a gyorsan lezajló változások detektálására, valamint kalibrálása egyszerű. Legnagyobb hátrány, hogy a mérés egy bizony területen belül történik, amelynek átlagát adja meg.

3.2 Távérzékelésen alapuló eljárások

A távérzékelésen alapuló mérési módszerek az utóbbi évtizedekben terjedtek el és leginkább a döntések előkészítéséhez illetve azoknak a kiértékeléséhez használják fel. Nagy előnyük, hogy az információk létrehozásához szükséges forrásadatok utólag is elérhetőek és manapság ingyenesen beszerezhetőek viszonylag nagy felbontásban. Ezen metódusok végrehajtásához a multi- és hiperspektrális felvételek felelnek meg a leginkább, amelyek alapján az elektromágneses energia visszaverődésének törvényszerűségeit vizsgálva el lehet különíteni, a reflektancia görbék ismeretében a földfelszínen található objektumokat és azok tulajdonságait. (1. ábra)



1. ábra: A vegetáció, a talaj és a víz reflektancia görbéje^[3]

3.2.1 Index alapú vizsgálatok

A multi- illetve hiperspektrális szenzorok elterjedésének és a szabadforrású adatok elérhetőségének köszönhetően manapság már a Föld szántóföldi termelés céljából felhasznált területének 100 %-ról rendelkezünk felvételekkel, amelyekből a különféle indexek által szolgáltatott eredmények biztosítják a talaj nedvességtartalmának kimutatására és vizsgálatára használható legegyszerűbb módszert. Előnyük abban rejlik, hogy levezetésük nem okoz problémát, hiszen a meglévő különböző optikai és termális sávok aritmetikai összefüggésein alapulnak, amelyek küszöbértékek vizsgálatával alkalmasak az adott terület vízellátottságának meghatározására. Hátrányuk főleg az

³ Forrás: M.V.K. Sivakumar (2003) Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, WMO, India

egyes sávok pixeleinek a méretéből adódik, hiszen a termális sávok relatív kis felbontással rendelkeznek.

A különféle indexek eredményeinek kombinálásával további összefüggések realizálhatóak a szárazság és annak a növényekre történő hatása között. Ezek közül az egyik legismertebb a NDDI – Normalized Difference Drought Index – normalizált differenciált aszály index, amely a normalizált differenciált vegetációs (NDVI) és normalizált differenciált vízindex (NDWI) eredményei közötti kölcsönhatásokat vizsgálja. (1. képlet)

$$NDDI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI}$$

1. képlet: A normalizált differenciált aszályindex képlete

Mind az Amerikai Egyesült Államok mind az Európai Unió felhasználja a különböző vegetációs és vízindexeket az általuk biztosított aszály monitoring rendszerükben, de még a WMO –World Meteorological Organization– által kiadott útmutató is tartalmaz távérzékelési adatokon alapuló indexeket, mint például az EVI –Enhanced Vegetation Index, ESI –Evaporative Stress Index, NDVI – Normalized Difference Vegetation Index, LSWI – Land Surface Water Index^[4] stb. (2. képlet)

$EVI = 2,5 \frac{NIR-RED}{(NIR+6RED-7,5BLUE)+1}$	$ESI = \frac{r_{ET} - \overline{r_{ET}}}{\sigma(r_{ET})}$
$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$	$LSWI = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR}$

2. képlet: WMO által ajánlott indexek képletei

3.2.2 Talajnedvesség detektálására használt modellek

Az indexek segítségével végrehajtott elemzések mellett a távérzékelési adatokat különféle modellek előállításához is felhasználják. Ezek közül a leggyakrabban alkalmazott a TOTRAM – Thermal-Optical Trapezoid Model –Hő-optikai Trapéz Modell, és az OPTRAM – Optikai Trapezoid Model –Optikai Trapéz Modell.

⁴ Forrás: M. Svoboda and B.A. Fuchs (2016): Handbook of Drought Indicators and Indices, WMO

A TOTRAM, ahogyan az elnevezése is utal rá, az optikai és termikus sávok biztosította információk értelmezésén alapszik. Ténylegesen a földfelszín hőmérsékletét és a vegetációs indexek közötti összefüggéseket vizsgálja, amelyek alkalmasak a talajnedvesség vagy a növényzet párologtatásának elemzésére. Ennek a módszernek a nagy hátránya, hogy a termikus sávok alacsony felbontása nem alkalmas nagy részletességű elemzés lefolytatására.

Az OPTRAM input adatként már csak az optikai sávokat veszi alapul, így felbontás tekintetében részletesebb eredményt ad, mint az előbb említett TOTRAM módszer, valamint az Európai Űrügynökség által üzemeltetett Sentinel-2 műholdcsalád által készített felvételek egymagukban megfelelnek az elemzés lefolytatásához. „Ez a modell a talajvíztartalom és a rövidhullámú infravörös transzformált visszaverődése közötti lineáris kapcsolatot használja fel”^[5]. Részletes leírás a 8.1. fejezetben.

4 Aszály monitoring rendszerek

A mezőgazdasági termelés szempontjából az egyik legfontosabb természeti erőforrás a víz megfelelő mennyiségének rendelkezésre állása ezért a kutatók, illetve a fejlett országok kormányai törekedtek ennek detektálására, előrejelzésére. Ezen túlmenően az Egyesült Nemzetek szervezetet is rendelkezik a szárazság észlelésére és előzetes figyelmeztetésre alkalmas programmal, igaz ennek felbontása relatív alacsony, de segítséget nyújthat azon országok számára, ahol még nem hoztak létre megfelelő megfigyelési és riasztási rendszert.

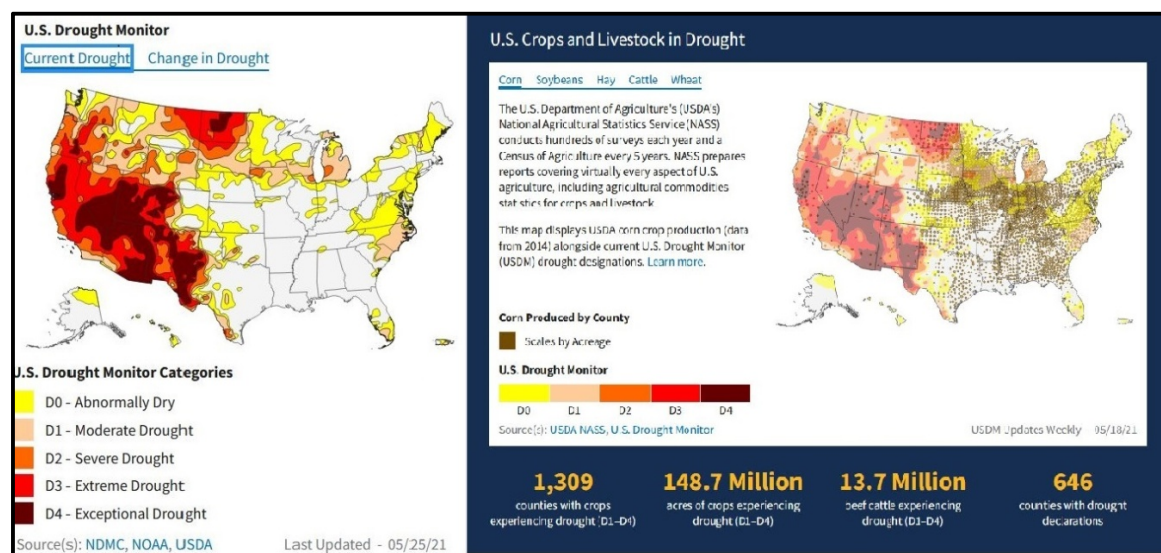
4.1 Aszály monitoring az USA-ban

Nemzetközi viszonylatban az Amerikai Egyesült Államok által üzemeltetett rendszert emelném ki, hiszen a létrehozott infrastruktúra az egyik legjobbnak tekinthető és ingyenes hozzáférést nyújt a saját állampolgárainak az elkészült termékekhez.

Az USA-ban a szárazság detektálására és előrejelzésére a NOAA –National Oceanic and Atmospheric Administration, Nemzeti Óceán- és Légkörkutatói Hivatal– működtetésében lévő NIDIS – National Integrated Drought Information System, Nemzeti Integrált Szárazság Információs Rendszer–, amely alapvetően heti és havi

⁵ Veroné Dr. Wojtaszek Malgorzata, (2020.): A talaj és a növény vízellátottságának mérési lehetőségei távérzékelési módszerekkel

bontásban szolgáltat információkat a szárazsággal kapcsolatban illetve előrejelzést is biztosít. Az adatszolgáltatás során a szárazságot 5 kategóriába sorolják úgymint rendellenesen száraz időszak, mérsékelt, súlyos, extrém és rendkívüli aszály (2. ábra). Ezen kívül még a csapadékról, a hőmérsékletről és különböző indexek által szerteágazó információkat szolgáltat Észak-Amerika viszonylatában.



2. ábra: 2021.05.19.-05.25. aszály állapotok az USA-ban.^[6]

A NIDIS-ben elérhető indexképek:

- Palmer Drought Severity Index (PDSI)
- Crop Moisture Index (CMI)
- Evaporative Stress Index (ESI)
- Vegetation Drought Response Index (VegDRI)
- Standardized Precipitation Index (SPI)^[7]

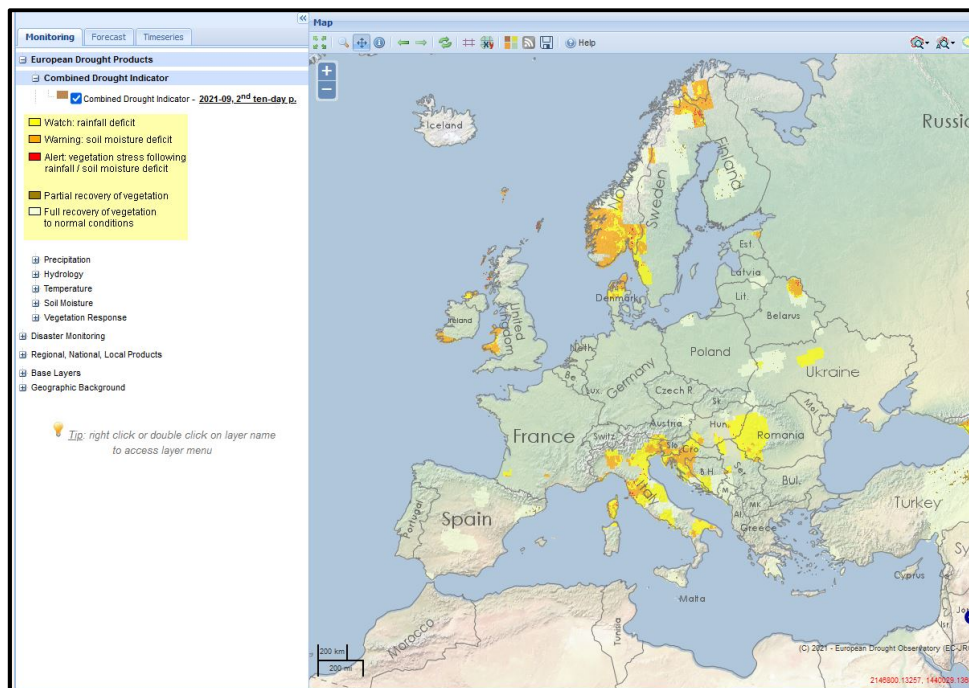
4.2 Aszály megfigyelés az Európai Unióban

A 2000-es években az Európai Unión belül is megnövekedett figyelemmel kísérték az egyre sűrűbben előforduló csapadékhiányos, száraz időszakokat, amelyek hátrányosan érintették az európai mezőgazdaságot, illetve annak termelési kapacitását. Az Európai Bizottság 2007-ben már megfogalmazta, hogy a vízháztartással kapcsolatban felmerülő problémákra megfelelő észlelő és előrejelző rendszert kell létrehozni és üzemeltetni, ezáltal elősegítve az egyes országokban történő döntéshozatalt. Ennek következtében alakult meg az Európai Szárazság Megfigyelő központ – European Drought

⁶Forrás: <https://www.drought.gov/current-conditions>

⁷Forrás: <https://www.drought.gov/>

Observatory, amely a különböző adatok, úgymint csapadék mennyiség, hőmérséklet, különböző növény és víz indexek, talaj nedvességtartalom, felhasználásával állít elő térképeket, jelentéseket, előrejelzéseket a kontinens tekintetében. (3. ábra)



3. ábra: 2021.09.10-20 közötti aszály állapotok az EU-ban.^[8]

Az EDO által szolgáltatott információk:

- kombinált szárazság térkép, amely alapja a Combined Drought Indicator (CDI),
- havi csapadék mennyisége, Standardized Precipitation Index (SPI) előállított indexképek,
- hidrológiai elemzések,
- hőmérsékleti adatok, meleg-, hideg hullámok
- talajnedvesség adatok úgymint Soil Moisture Index (SMI) és annak anomáliái
- vegetációra vonatkoztatott mérések, amelyek a Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (fAPAR) index illetve annak eltéréseit jeleneti meg,
- előrejelzések, amelyek a csapadéokra és a talajnedvesség tartalmára irányulnak.

4.3 Magyarországi aszálymegfigyelés

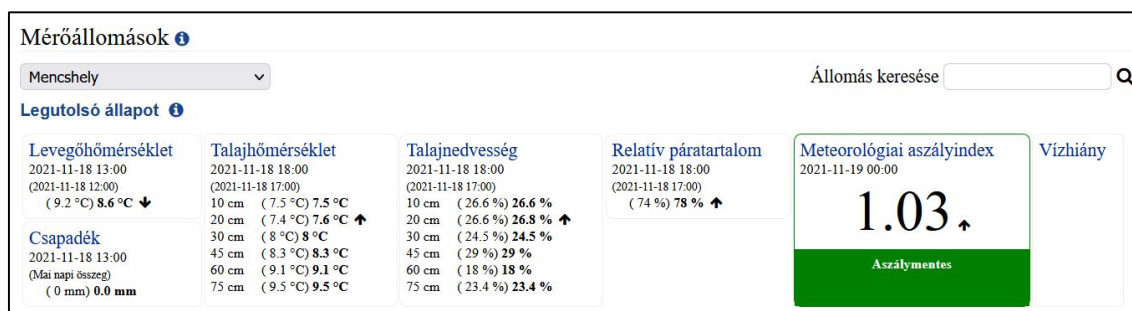
Magyarországon az aszály megfigyelése a XX. század végéig nem távérzékelési

⁸ Forrás: <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1111>

adatokon alapult, hanem a csapadékösszeg és a hőmérséklet viszonyából indultak ki. Az aszály kutatásának területén ki kell emelnünk Pálfa Imrét, aki már 1988-ban megalkotta indexét, amely éves szinten határozta meg az aszály mértékét.^[9] Emellett megemlíthető még a vízügy által megalkotott gördülő vízháztartási mutatót (GVM), amely az adott terület talajának víztartalmát fejezi ki havi felbontásban.

Hazánk vonatkozásában kiemelhető még az Európai Unió által a Délkelet Európai Aszálykezelési Központ kialakítására létrehozott –DMCSEE –Drought monitoring of Central South East Europa– projekt, amely már az SPI – Standardized Precipitation Index és a PDSI – Palmer Drought Severity Index eredményeit használta fel.

A 2010-es évek végén a talajnedvesség kutatásával foglalkozó szakemberek a Vízüggyel együttműködve létrehoztak egy Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszert, amelynek végső eredménye a napi időléptékű vízhiány index (HDI –Hungarian Drought Index) lett. A rendszer alapját az országszerte telepítendő 150 állomás adja, amelyből jelenleg már 100-nak elérhetőek az adatai. Az egyes állomásokon csapadék- és hőmérsékletmérő, légnedvesség, talajnedvesség és talajhőmérséklet, illetve az újabb telepítésűeken levélfelület nedvességmérő szenzorok is el lettek helyezve. (4. ábra)



4. ábra: Mészahelyi állomáson 2021.11.18-án rögzített adatok

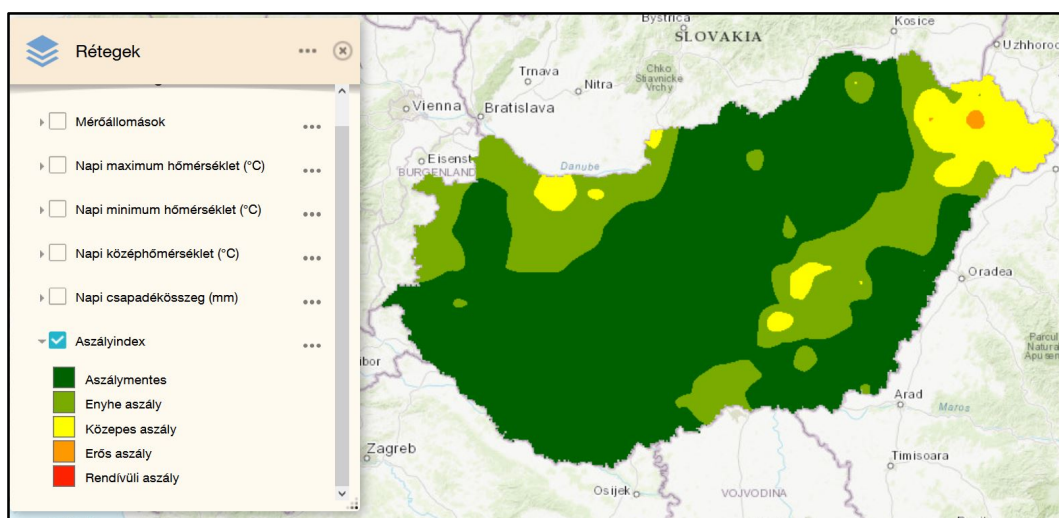
A létrehozott aszályindex a fent nevezett eszközök által mért adatokból adja meg a vízhiány súlyosságát, amelyet 5 osztályba soroltak a kapott érték függvényében (5. ábra), ami egyben a védekezési fokozatok alapjául is szolgál.

⁹Forrás: Fiala Károly 2018., Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer, Hidrológiai Közöny

Védekezési fokozat	Minősítés	Kritérium
(0.) nincs fokozat	nincs vízhiány	$HDI_s < 1,333$
1. fok	enyhe vízhiány	$1,333 \leq HDI_s < 1,5$
2. fok	közepes vízhiány	$1,5 \leq HDI_s < 2,0$
3. fok	erős vízhiány	$2,0 \leq HDI_s < 3,0$
4. fok	rendkívüli vízhiány (aszály)	$3,0 \leq HDI_s$

5. ábra: Aszály védelmi fokozatok a napi időléptékű vízhiány index alapján¹⁰⁾

A mért adatokat illetve a kiértékelésükből kapott információkat térképes formában is képes a rendszer megjeleníteni. (6. ábra)



6. ábra: Magyarország aszályindex térképe 2021.11.18-án

Emellett az Országos Vízügyi Igazgatóság havonta kiadja az Integrált vízháztartási tájékoztató, operatív aszály- és vízhiány értékelés című kivonatát is, amely szöveges formában nyújt tájékoztatást a kialakult helyzetről e témával kapcsolatban.

5 Mintaterület bemutatása

Az általam végrehajtani kívánt elemzés levezetésére egy 16,966 ha területű, Veszprém megyében található, Tótvázsony 027/5 külterület helyrajzi számon azonosítható szántó minősítésű táblát választottam. (7. ábra)

¹⁰⁾Forrás: Fiala Károly 2018., Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer, Hidrológiai Közlöny



7. ábra: Mintaterület elhelyezkedése

A vizsgálandó tábla Tótvázsonytól nyugatra, Hidegkúttól északra helyezkedik el a Balaton-felvidéken. A területen talajszenzor egység került letelepítésre, amely képes a talaj nedvességtartalmának rögzítésére, illetve délnyugatra 750 méterre található egy Davis Vantage Pro Plus 6163 EU típusú meteorológiai állomás, amely rendelkezik csapadékgyűjtővel, hőmérséklet, páratartalom és szélmérővel. Részletesebben lásd az 5.2.2 fejezetben.

5.1 Terület talajtani jellemzői

Első lépésként az általam elemezni kívánt szántó talajtani tulajdonságait vizsgálva a Magyar Tudományos Akadémia által létrehozott AGROTOPO adatbázis biztosította adatokat néztem meg, amely kis méretarányban –1:100 000– szolgáltat információkat, így leginkább csak az adott térség tulajdonságainak megállapítására használható. Az adatbázis szerint a mintaterületre az alábbiak jellemzőek:

- genetikai talajtípus: Ramann-féle barna erdőtalaj
- termőréteg vastagsága > 100cm
- talajképző kőzet: löszös üledék
- fizikai tulajdonság/textura: agyagos vályog
- vízháztartása: közepes víznyelésű és vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok ^[11]

¹¹Forrás: <https://maps.rissac.hu:3344/webappbuilder/apps/2/>

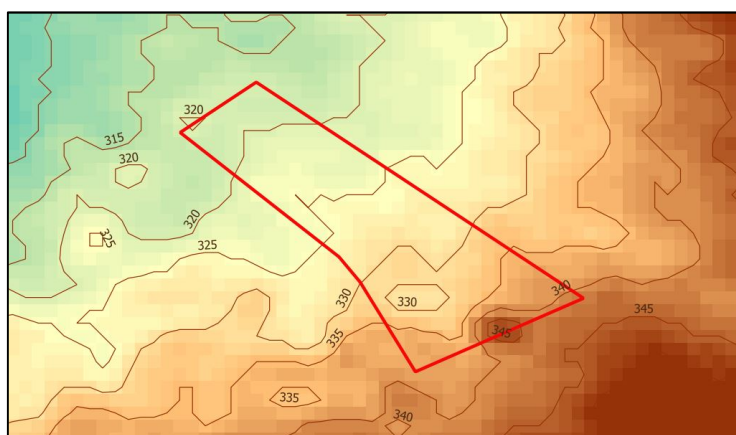
Ezt követően az IKR Agrár Kft. által 2016.09.08-án 5 ha-ként végrehajtott pontszerű talajvizsgálat által szolgáltatott adatokat vizsgálva az alábbiak állapíthatók meg.

- A talaj típusa: csernozjom.
- A fizikai tulajdonság/textura tekintetében: agyagos vályog.
- A humusz tekintetében a terület nagy része gyenge, míg a déli 1/3-a közepes/jó minősítést kapott.
- Kémhatása semleges, a déli részen gyengén savanyú.
- A továbbiakban még jellemző a területre, hogy közepesen meszes, meszes, alacsony sótartalom jellemzi, a nitrát tartalmat leszámítva jó a makró- és mikroelem ellátottsága.

Ezen információkat felhasználva a Stefanovits Pál és társai által írt Talajtan című tanulmányt használtam fel, ami alapján a területet vízgazdálkodása jónak mondható, hiszen ezekre a talajokra a közepes vízáteresztő, valamint a jó víztartó képesség a jellemző.

A textura tekintetében az agyagos vályog talaj jó vízmegtartó képességgel rendelkezik, de az agyagosabb részekben már merülhetnek fel problémák, hiszen ezekből a növények nehezebben képesek a vizet felszívni.

A területről SRTM-1 misszióból származó adatok felhasználásával készített magassági modellt vizsgálva kijelenthető, hogy megfigyelhető egy DK-ÉNY-i irányú enyhe lejtés. (8. ábra)



8. ábra: A terület domborzata

Tovább elemezve a területet a MEPAR böngészőben elérhető erodáltsági térképet használtam (9. ábra), amely alapján megállapítható, hogy csak a tábla kis részén jelenik meg ez a probléma, még hozzá éppen annak déli részén ahol egy dolomitos pad

helyezkedik el.



9. ábra: Erodált területek MEPAR alapján

5.2 A terület éghajlata

A vizsgálandó terület a Balaton-felvidéken helyezkedik el, amely a mérsékelt meleg - mérsékelt száraz éghajlati típushoz tartozik, ahol lokálisan megjelennek a hegyvidékre jellemző tulajdonságok is. Az évi középhőmérséklete 10°C körül, a csapadék mennyiség 600-800 mm, míg a napsütéses órák száma 1900-2000 tehető évente. A térség uralkodó széliránya északnyugati.^[12]

5.2.1 2018-ban a területre jellemző csapadék viszonyok

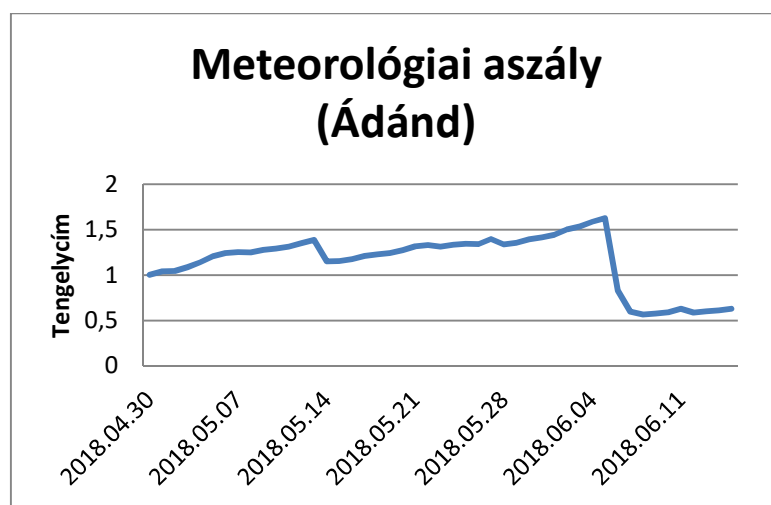
A 2018-as év időjárását csak röviden ismertetem, mivel a területen ekkor még nem voltak letelepítve a következő fejezetben ismertetett szenzorok, illetve az általam elemzendő módszer tényleges vizsgálatához a 2021-es év adatait használtam fel. Ezen év adatai azért szükségesek, mert be szeretném mutatni, hogy az általam választott távérzékelési módszer által történő nedvességbecslés összefüggésben van az adott területen termesztett növény hozamával.

Általánosságban elmondható, hogy 2018-as év tavaszán a termőterületeket nedvességtöbblet jellemezte inkább, mint vízhiány. Egészen áprilisig az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai alapján a havi csapadék összegnek megfelelő vagy annál magasabb mennyiségű csapadék hullott. Ezt követően április már szárazabb –40%-kal kevesebb csapadék esett, mint a sokévi átlag–, és rendkívül meleg –1901 óta a

¹² Forrás: Mersich Iván, 2001: Magyarország éghajlati atlasza, Országos Meteorológiai Szolgálat

legmelegebb– volt.^[13] Májusban tovább folytatódott az átlagosnál melegebb időjárás és csak hónap végén esett jelentősebb mennyiségű csapadék. Ezek a körülmények hozzájárultak a talajok gyors száradásához és a hónap végén, június elején az országban már vízhiányos területek is előfordultak.

Az aszálymonitoring rendszer adatait megnézve Ádándon csak június elején –2-től 5-ig– jeleztek enyhe meteorológiai aszályt (10. ábra), bár ez, mint a 2021-es évnél megfigyelhetjük (lásd 5.2.3. fejezet), nem jelenti azt, hogy Tótvázsony térségében is hasonló volt a helyzet.

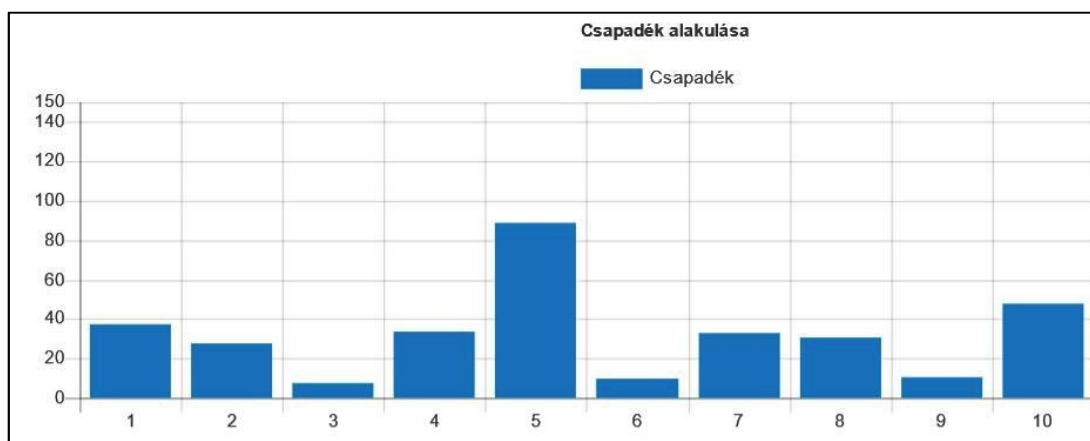


10. ábra: Meteorológiai aszály Ádándon 2018.04.30.-06.15-ig

5.2.2 2021-ben a területre jellemző csapadék viszonyok

A 2021-es esztendő időjárási viszonyainak általános ismertetéséhez a Veszprémi Amatőr Meteorológusok Egyesülete által üzemeltetett Vmeteo honlap adataira támaszkodtam, hiszen Veszprém 15 km-rel nyugatra helyezkedik el a vizsgálandó területtől. Hőmérséklet viszonylatában az év első 3 hónapja átlagosnak mondható, míg áprilistól kezdődően egész nyáron kicsit az átlag feletti értékeket rögzítettek. Október végéig jellemzően enyhe ősziről beszélhetünk. Csapadék tekintetében az éves csapadék mennyisége október 30-ig Veszprémbe 325,4 mm lett, ami az átlagosnál kevesebbnek számít. Az idei évre jellemzően 40 mm alatt maradt a csapadék havi mennyisége, ami alól egyedül a május kivétel, amikor is a csapadék mennyisége megközelítette a 90 mm-t. (11. ábra)

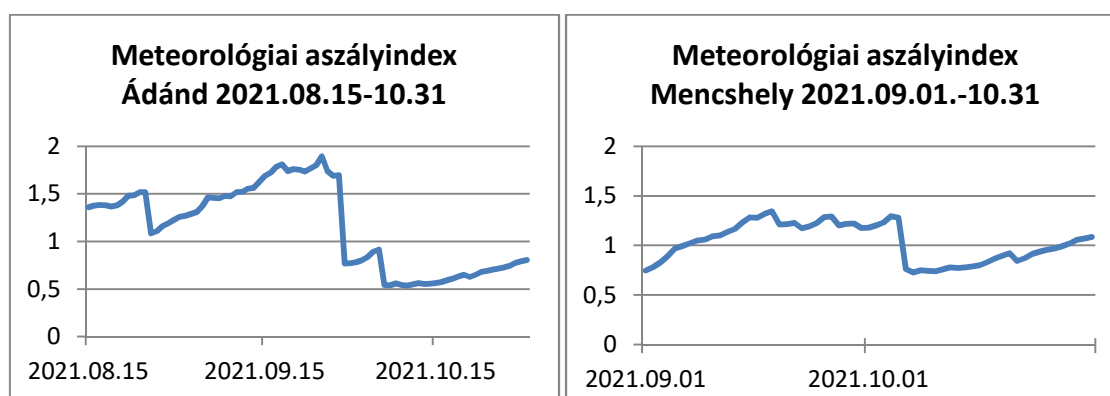
¹³ Forrás: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idojarasa



11. ábra: 2021-ben Veszprém-ben mért csapadék mennyisége havonkénti bontásban^[14]

5.2.3 Aszályindex jellemzése a vizsgált időszakban

Annak megállapítására, hogy a területen volt-e vízhiányos időszak tölem független, az Operatív Vízhiány Értékelő és Előrejelző Rendszer biztosította információkat használtam fel. A mintaterülethez legközelebb Mencshelyen telepített mérőállomás található, ami viszont nem szolgáltatott még adatokat a teljes időszakban, hiszen ezt az állomást 2021 őszén üzemeltették be. Ebből kifolyólag megvizsgáltam az ezt követő legközelebbi mérőpontra –Ádándon– rögzített adatokat, amelyek alapján a térséget közepes vízhiány sújtotta az adott időszakban. A két mérőpontra megadott aszályindexeket összehasonlítva, viszont látható, hogy habár légvonalban 40 km-en belül helyezkednek el egymástól mégsem azonos mértékű nedvesség hiányt detektáltak, hiszen a mencshelyi adatokat nézve csak enyhe vízhiány alakult ki, az ádándi közepes mértékű jelzésével szemben. (12. ábra)



12. ábra: Operatív Vízhiány Értékelő és Előrejelző Rendszer által számított aszályindex alakulása

Tehát látható, hogy habár közel helyezkedik el egymáshoz a két állomás mégsem

¹⁴ Forrás: <https://www.metnet.hu/napi-adatok?sub=5&pid=670&date=2021-01-02>

ugyanazt az információt szolgáltatották, így a precíziós gazdálkodásban a helyi záporok, zivatarok, egyéb lokális esőzések hatásának kimutatására szükségesek a terepi mérések vagy a távérzékelés alapú becslések eredménye.

5.3 A terepi mérés adatai

A kiválasztott szántóföldtől 1 km-en belül 2019-ben telepítve lett egy Davis Vantage Pro Plus 6163 EU típusú meteorológiai állomás (13. ábra), amely különböző egyéb szenzorokkal egészíthető ki, annak függvényében, hogy milyen adatokat szeretnénk mérni.



13. ábra: Davis Vantage Pro meteorológiai állomás

A meteorológiai állomás állandó jelleggel került telepítésre és az alábbi szenzorokkal van felszerelve:

- szél irány- és sebességmérő;
- csapadékgyűjtő;
- hőmérséklet szenzor;
- relatív páratartalom mérő.

Az állomás adatainak kiegészítésére a területen kihelyezésre került levél nedvesség mérő szenzor (14. ábra), amely a felszínen detektálható nedvesség mértékét rögzít és továbbítja azt, illetve a Watermark Model 200SS talaj nedvességszenzor is, amely 3 mélységben –30, 60, 90 cm– méri a talaj víztartalmát. A mérőegység a talajnedvességéből adódó nyomásváltozást rögzíti 0-200 centi bár között, akár 90 másodpercenként. (15. ábra)



14. ábra: Davis levélnedvesség mérő



15. ábra: Watermark M200SS talajnedvesség mérő

Az eddig említett eszközökön kívül 2021-ben beszerzésre került még egy kézi Fieldscout TDR 350 típusú talaj nedvességmérő is. Ez egy mobil mérőeszköz, amely négy mélységben –3,8 cm, 7,6 cm, 12 cm, 20 cm– képes mérni, a talaj víztérfogatát, valamint annak elektromos vezető képességét. Az eszköz (16. ábra) nagy előnye, hogy kalibrálás nélkül, többféle talajtípuson is lehet használni, illetve sok mérés adatait képes tárolni.

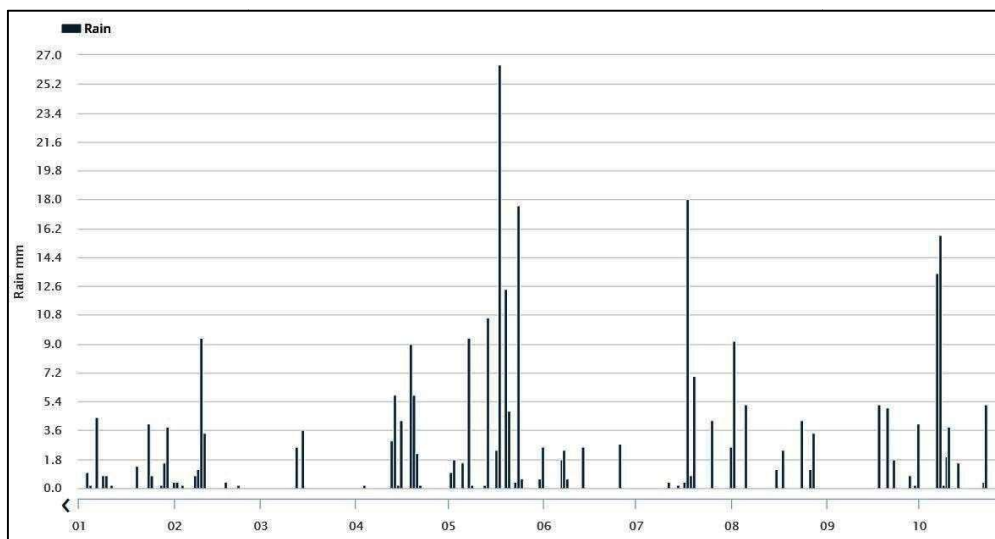


16. ábra: FieldScout TDR350 kézi talajnedvesség mérő

5.3.1 A területen mért csapadék

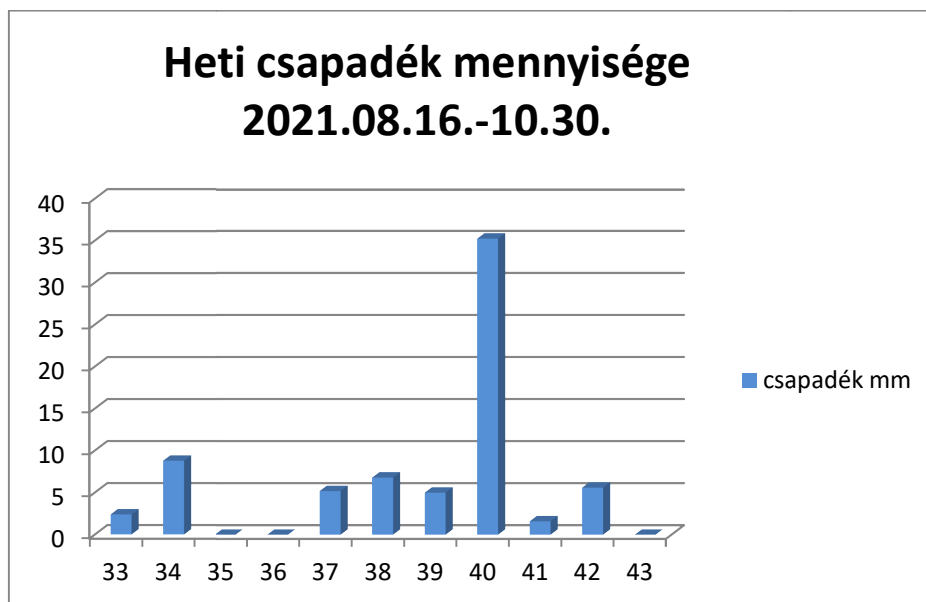
Az előbbieken felsorolt érzékelők biztosította mérések alapján megállapítható, hogy 2021-ben október 31-ig 296 mm^[15] csapadék hullott a területre és annak eloszlása egyenetlen volt. Főleg február közepe és április közepe között esett igen kevés eső, de augusztustól október elejéig tartó időszak is száraznak mondható. (17. ábra)

¹⁵ Forrás: <https://www.weatherlink.com/bulletin/498f2576-bf92-4d3d-bf7b-1f0c11d80a73>



17. ábra: Davis Vantage Pro meteorológiai állomás által mért csapadék 2021. január 1. - október 31-ig^[16]

Az őszi időszakot vizsgálva a 33. és a 43. hét között megállapítható, hogy egészen a 40. hétig nem esett jelentősebb mennyiségű csapadék (18. ábra) mindezt úgy, hogy azon növénytakaró sem volt, mivel ebben az évben őszi búza lett vetve a táblán, amelynek vetési ideje októberre tehető.



18. ábra: Vantage Pro Plus 6163 EU meteorológiai állomás által rögzített csapadék mennyiség hetii bontásban 2021.08.16.-10.30.

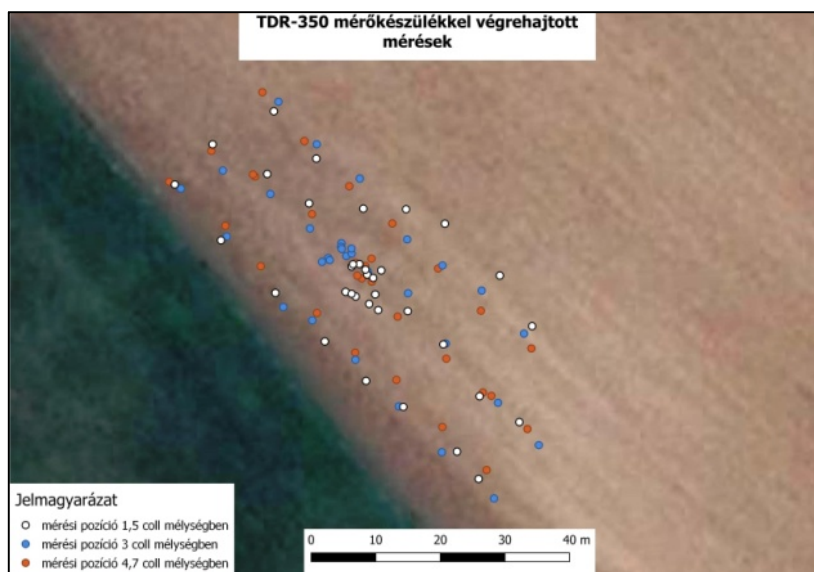
Ezt az előbb említett időperiódust választottam az általam lefolytatandó elemzés elsődleges intervallumának, hiszen a növényzet nem befolyásolja jelentősen a vízháztartást, elérhetőek egyéb letelepített eszközök által biztosított nedvesség adatok,

¹⁶ Forrás: <https://www.weatherlink.com/stripchart/plot/498f2576-bf92-4d3d-bf7b-1f0c11d80a73#>

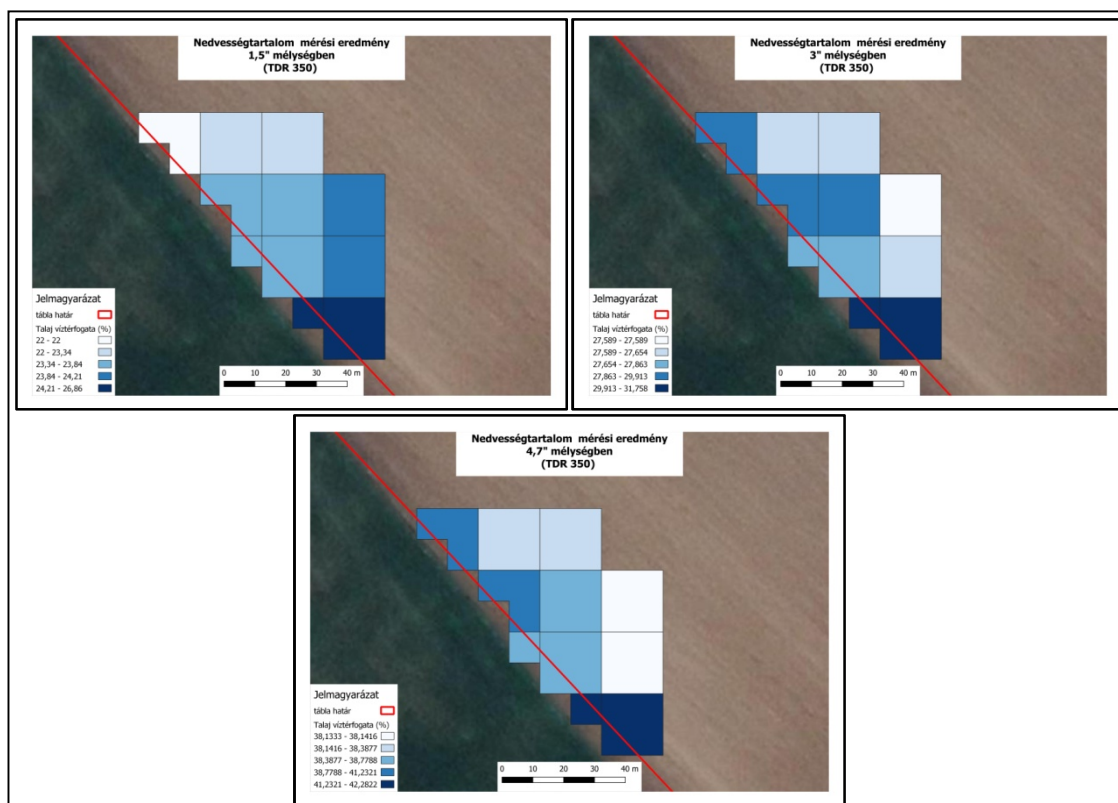
illetve szintén őszi búza került a területre, ugyanúgy ahogy a 2018-as évben is, valamint 2021.10.09-én a FieldScout TDR 350 kézi mérőkészülékkel történt egy teszt jellegű manuális talajnedvesség mérés a tábla bizonyos részén.

5.3.2 TDR 350-nel végrehajtott mérés eredménye

A rendelkezésre álló TDR 350 kézi mérőkészülékkel történő mérésből származó pontszerű adatokat, amelyek 1,5, 3, 4,7 coll –3,8 cm, 7,6 cm, 12 cm– mélységben teszt jelleggel kerültek rögzítésre a terület 3600m²-es részén a telepített talaj nedvességmérő középpontjával. A kapott adatok megjelenítéséhez a QGIS szoftvert használtam fel. Mivel a különböző mélységekben végrehajtott mérések nem azonos pontokban helyezkednek el, (19. ábra) illetve szabályos hálót sem alkotnak ezért az adatok megjelenítéséhez és összehasonlításához a letöltött Sentinel-2 műholdfelvételek 20*20 méteres celláit használtam fel. Az egyes cellákba eső mérések eredményeinek az átlagértékét használtam fel a további vizsgálódáshoz. (20. ábra)



19. ábra: TDR 350 mérőkészülék mérési helyei



20. ábra: 2020.10.09-én TDR 350 készülék által mért talaj nedvességtartalma

1. táblázat: A talaj víztérfogata TDR-350 mérőkészülékkel végzett mérés, valamint a 2021.10.09-ei műholdkép alapján

Cella ID												Átlag
Mélység	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1,5 coll	22,0	23,3	23,3	23,7	23,7	24,1	23,8	23,8	24,2	26,8	26,8	24,1
3 coll	29,9	27,6	27,6	28,1	28,0	27,5	27,8	27,8	27,6	31,7	31,7	28,7
4,7 coll	41,2	38,3	38,35	38,82	38,78	38,13	38,75	38,75	38,14	42,28	42,28	39,45
W	0,72	0,78	0,73	0,8	0,74	0,72	0,6	0,75	0,7	0,7	0,74	0,73

Cella ID	Átlagtól való eltérés (%)										
Mélység	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,5 coll	-8,9	-3,4	-3,5	-1,9	-1,9	-0,2	-1,4	-1,3	0,2	11,2	11,2
3 coll	4,2	-3,7	-3,8	-2,1	-2,2	-3,9	-2,9	-2,9	-3,9	10,6	10,6
4,7 coll	4,5	-2,7	-2,8	-1,6	-1,7	-3,3	-1,8	-1,8	-3,3	7,2	7,2
W	-0,75	7,52	0,63	10,28	2,01	-0,75	-17,29	3,38	-3,51	-3,51	2,01

Az adatokat táblázatba rendezve (1. táblázat) megfigyelhető, hogy minden cellánál a mérés mélységének a növekedésével a talaj víztérfogata is emelkedik. A továbbiakban megállapítható az is, hogy a nedvességtartalom vertikális változásának mértéke nem

ugyanakkora, amely a talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak a különbségéből adódhat. Az általam a 2021.10.09-én készült Sentinel-2 műholdfelvételen végzett elemzés eredményeként kapott talajnedvesség becsléshez –W– (lásd: 7.2.3. fejezet) viszonyítva összefüggés nem állapítható meg, de ennek oka lehet, hogy a távérzékelési módszer során a használt modell paraméterei az egész táblára lett megállapítva nem pedig csak a tesztelt területre, így az átlagtól való eltérés eredménye hibával terhelt. A jövőben szükséges és tervezett is a terület egészének bejárása és a kézi mérőkészülékkel történő nedvesség adatok rögzítés.

6 A felhasznált adatok

6.1 Műholdképek

Az lefolytatni kívánt analízishez az adott területről az ESA –European Space Agency, Európai Űrügynökség– által üzemeltetett Sentinel-2 műhold által 2021.09.14-én, 10.09-én 10.14-én és 10.24-én készített multispektrális felvételeket használtam fel, azoknak is a B02 (kék), a B03 (zöld), a B04 (piros), a B08 (közel infravörös) és a B12 (rövidhullámú infravörös) sávjait. A kiválasztás elsődleges szempontja volt, hogy felhőzet ne takarja ki, illetve annak árnyéka ne vetüljön a mintaterületre ezzel befolyásolva az elemzés eredményét. Továbbiakban csapadék előtti, tehát száraz, a kézi méréshez közel eső, jelentősebb esőzést követő, valamint egy a vetett növénykultúra kihajtása után készült műholdképet választottam annak érdekében, hogy szemléltetni tudjam az általam végrehajtani kívánt elemzés alkalmas a nedvesség változásának kimutatására a talajban.

A feldolgozási szintet nézve a 2021-ben készült adatok tekintetében Level-2-es termékeket töltöttem le a sentinel.copernicus.eu honlapról, mivel ezen felvételeken már olyan mértékű korrekciók kerültek végrehajtásra, hogy azok alkalmasak az azonnali elemzés végrehajtására.

Az általam kiválasztott műholdfelvételek jellemző tulajdonságai a Sentinel-2 felhasználói kézikönyv^[17] szerint:

1. 5 naponta új felvétel érhető e.
2. Térbeli felbontásukat 10*10 méter a B02, B03, B04, B08 valamint 20*20 méter

¹⁷ Forrás: Sentinel-2 User Handbook 2015, ESA Standard Document

a B12-es sávot nézve.

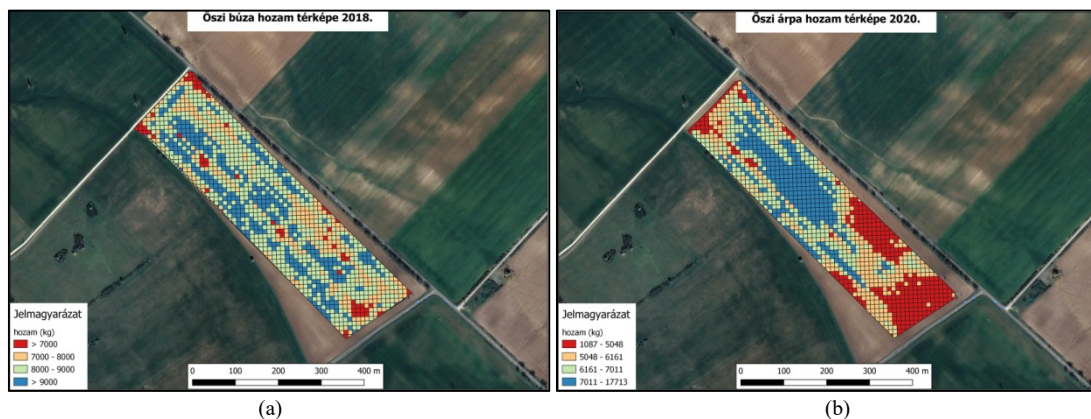
3. Radiometriai felbontásuk 12 bit, amelynek előfeldolgozása során korrigálják a fekete pixeleket, illetve végrehajtják a szükséges egyéb korrekciókat.
4. Ezeken a felvételeken végrehajtják az atmoszférikus korrekciókat, így a légkör összetételéből adódó eltérések is ellensúlyozásra kerülnek nem úgy, mint az 1. szintű termékeknél.

Mint már említettem az elemzésemet 2018-ban készült adatokon is lefuttattam, annak érdekében, hogy a kapott eredményt a rendelkezésemre álló hozamadattal össze tudjam hasonlítani. Ehhez az időszakhoz a Sentinel-2 műholdak által készített termékek csak Level-1 szinten érhetők el. Ebből adódóan az előzőekben leírtaktól annyiban tértem el, hogy a magas légköri atmoszférikus korrekciót saját magam hajtottam végre a QGIS program megfelelő moduljával.

Az analízisem lefolytatásához mind a két időpontban a Landsat műholdak által készített felvételek is felhasználhatóak lettek volna, bár azoknak időbeli visszatérésük és a térbeli felbontásuk rosszabb, ellenben rendelkeznek termális sávval is.

6.2 Hozam adatok

2018-as őszi búza illetve a 2020-as őszi árpa termésmennyiségéről rendelkezem kombájn hozam adatokkal, amelyeket térfogat mérésen alapuló szenzorral rögzítettek. A mérések pont típusú vektor rétegbe mentődnek el, amiből 10*10 méteres cellákat alkottam, amelyek a hozam adatok átlagértékét jelenítették meg. (21. ábra)



21. ábra: Hozam térképek; (a) őszi búza 2018; (b) őszi árpa 2020.

A két hozam térkép összehasonlítása során megfigyelhető, hogy hasonló a betakarított termény mennyiségének az eloszlása, bár némi eltérés azért adódik a különböző

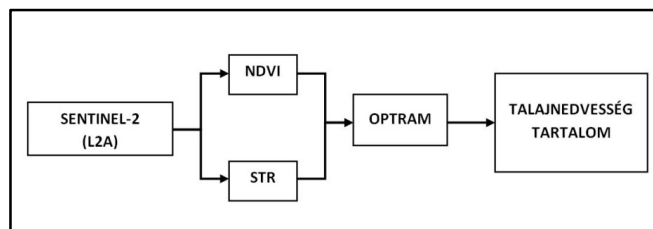
időszakok időjárásának és a termesztett kultúrnövény fajtájának különbözőségéből.

A 2018-as hozam térképet az abban az évben készített, míg a 2020-as terménymennyiségi információkat a 2021-es műholdfelvételeken végrehajtott nedvességbecslés eredményeivel hasonlítottam össze a kiértékelés során.

7 Adatelemzés

A távérzékelési adatokból történő talaj nedvességtartalmának kimutatásához az egyszerűbben aszály és nedvesség indexek helyett az Optikai trapéz modellt módszerét használtam fel. Bár ez a metódus bonyolultabb és nagyobb szakértelmet követel, viszont pontosabb információt biztosít a talaj relatív víztartalmáról.

Az adatkiértékelési folyamatot a 2021-es műholdfelvételek kiválasztásával és letöltésével kezdtem, amelyeket a mintaterület méretének megfelelő kiterjedésűre vágtam, majd ezt követte az analízis végrehajtásához szükséges vegetációs index és STR kiszámolása, ami alapján meghatároztam az OPTRAM modell paramétereit, amely a nedvességtartalom becsléséhez szükséges. (22. ábra)



22. ábra: Az adat kiértékelés folyamatábrája

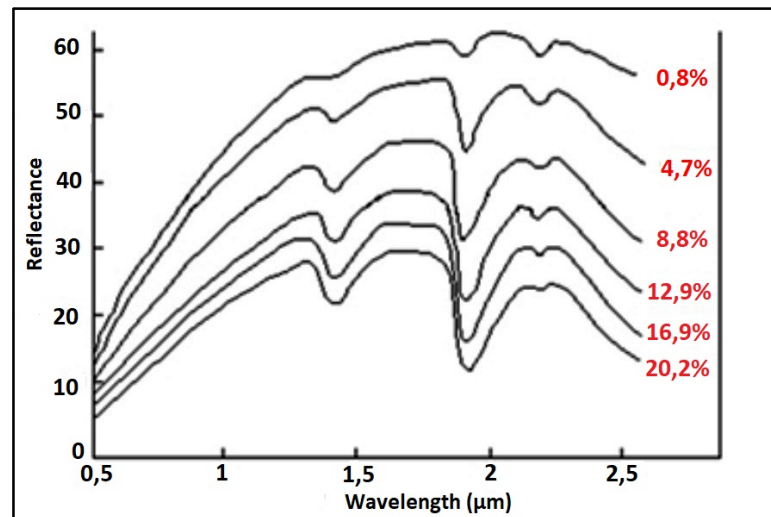
Az elemzésem lefolytatása során az adatok előkészítéséhez, úgymint a letöltött felvételek méretének csökkentéséhez, a mintaterület határainak a meghatározásához, illetve a végeredmény megjelenítéséhez a QGIS szoftvert használtam.

Az analízis lefolytatásához a Trimble cég által programozott eCognition Developer 9 térinformatikai szoftvert választottam. Ez a program alkalmas az objektum alapú elemzések lefolytatására a megfelelő paraméterek beállításával, a parancsok lefuttatásával automatikus osztályozás végrehajtására.

A 2021. év időszakán végrehajtott elemzési folyamatot az alábbiakban leírt formában a 2018-as év általam választott adatain is lefuttattam.

7.1 Az OPTRAM módszer

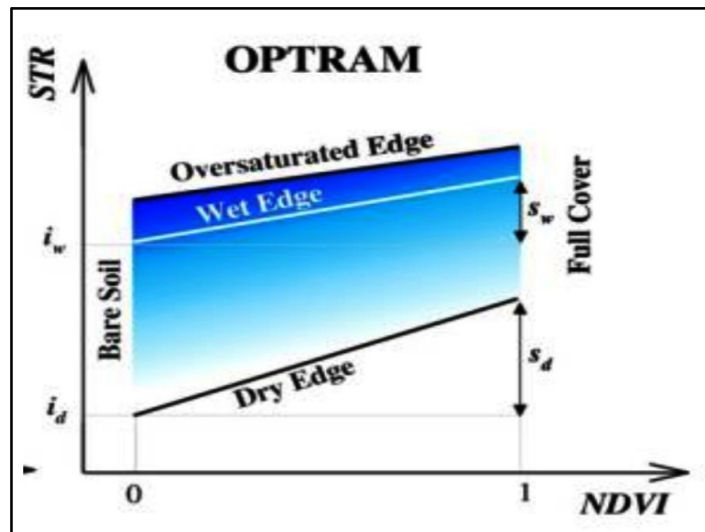
A talaj nedvességtartalmának távérzékelési módszerekkel történő megállapításának az alapja, hogy a talajok reflektancia görbéje (23. ábra) a víztartalom növekedésének függvényében az optikai érzékelés hullámtartományában egyre alacsonyabb értéket vesznek fel. A görbék további részletesebb megfigyelésével megállapítható, hogy azokat egyes értékeknél – rövidhullámú infravörös tartományban– jellegzetes depresszió jellemzi, amely további segítséget jelent a talajok nedvességének meghatározásához.



23. ábra: Különböző nedvesség tartalmú talajok reflectancia görbéi[18]

Az OPTRAM modell szintén az előbb említett tulajdonságot vizsgálja, hiszen annak alaptézise, hogy lineáris kapcsolat mutatható ki a talajnedvesség és a rövidhullámú infravörös transzformált visszaverődése –STR-Shortwave infrared transformed reflectance– között, amely paramétereinek meghatározás a STR és a vegetációs index által határolt térben lévő pixeleloszláson alapul. (24. ábra) Ez a módszer alkalmas a talaj nedvességtartalmának becslésére akár 20cm mélységben is.

¹⁸ Forrás: Lingli Wang, 2007.: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture, Geophysical Research Letters, VOL. 34



24. ábra: OPTRAM modell[19]

Vegetációs indexek közül a legtöbb esetben az NDVI-t –Normalized Difference Vegetation Index– szokták alkalmazni, bár növényzetmentes időszakban a SAVI –Soil Adjusted Vegetation Index– is előfordulhat. A módszer segítségével meghatározzuk a nedves éleket, amely az adott körülményekre vonatkozó jó, míg a száraz él a korlátozott víz ellátottság jellemzőit adja meg. Az élek kijelölése a pixeleknek az STR-VI térben történő eloszlásának vizuális elemzésével történik, amely szubjektív mivel függ az elemzést végző személy szaktudásától. A víztartalom becsléséhez az előbb említett élek paramétereit használjuk fel az alábbi képlet alapján. (27. ábra)

$$W = \frac{i_d + s_d NDVI - STR}{(i_d - i_w) + (s_d - s_w) NDVI}$$

3. képlet: A talaj víztartalmának meghatározásához[20] használt képlet

A vizsgálandó terület egyes pixeleinek relatív nedvességtartalmának megállapításához a fentiek alapján meg kell határoznunk az adott terület átlag, illetve az egyes pixelekhez tartozó víztartalmat, és azoknak a hányadosának az eredménye szolgáltatja a kívánt információt.

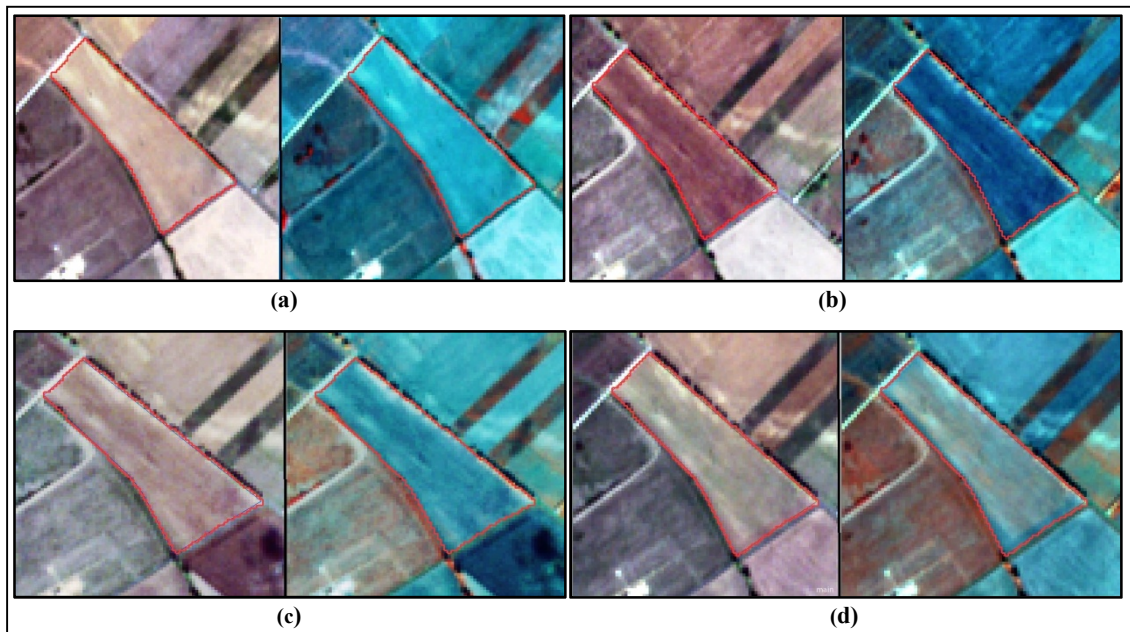
7.2 A talaj nedvességtartalom meghatározása

Az analízis végrehajtásához minden egyes időszakban a következő folyamatot hajtottam

¹⁹ Forrás: Morteza Sadeghi 2017.: The optical trapezoid model; Remote Sensing of Environment

²⁰ Forrás: Morteza Sadeghi 2017.: The optical trapezoid model: A novel approach to remote sensing of soil moisture applied to Sentinel-2 and Landsat-8 observations ; Remote Sensing of Environment

vége az eCognition programban. Első lépésként betöltöttem a Sentinel-2 műholdfelvétel szükséges sávjaiból készített kivágatott, amelyek a folyamat levezetéséhez szükségesek. Ezek a B02-es –kék, a B03-as –zöld, a B04-es –vörös, a B08-as –közel infravörös és a B12-es –rövid infravörös optikai hullámhossz tartományban készített raszter képeket, valamint az általam a QGIS programban létrehozott táblahatárt, mint tematikus réteget jelentette.

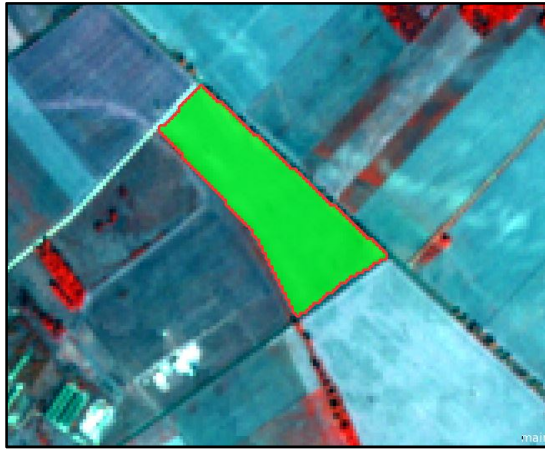


25. ábra: Mintaterület kompozit felvételei; (a) 2021.09.14.; (b) 2021.10.09.; (c) 2021.10.14., (d) 2021.10.24.

A mintaterületről kétféle, egy valós és egy hamis színes kompozitot (25. ábra) hoztam létre az elsődleges vizuális vizsgálata céljából. Ez alapján megállapítható, hogy a kiválasztott felvételek alkalmasak az elemzés lefolytatására, hiszen nem fed felhő vagy annak árnyéka a táblát, valamint látható, hogy ezen időszakban még nincs jelen, illetve a 10.24-ei felvételen még nem jelentős mértékű a vegetáció a területen.

7.2.1 A tábla azonosítása

Ahhoz, hogy a további adatkiértékelés csak a mintaterületet érintse, szükséges a tábla azonosítása a programban. Ehhez az úgy nevezett sakktábla szegmentálási eljárást használtam, amely során lehetőség van a vektoros állományok figyelembe vételére, vagyis a szegmentálási paraméterek megfelelő beállítása után a vektor tartalma szegmensekként jelenik meg. Ezt követően a vizsgálandó tábla, mint tematikus osztály a területe alapján azonosítható. (26. ábra)



26. ábra: Tábla azonosítása

7.2.2 Talajnedvesség becslés az OPTRAM modellel

Ahhoz, hogy az OPTRAM modellhez szükséges adatokat ki tudjam számolni ismét a sakktábla szegmentálási eljárást használtam, aminek segítségével 20*20 méter alapterületű, tehát 2 pixel nagyságú cellákat hoztam létre a mintaterületen belül, mivel a B12-es sávban található adatok területi felbontása ezt megköveteli.

Ezt követően az általam kialakított cellákra kiszámoltam azok vegetációs indexét, valamint a rövid infravörös sáv transzformált visszaverődési együtthatóját –STR–, mivel a nedvességtartalom becslés paramétereinek meghatározásához ezekre szükségem volt. A vegetációs indexek közül, habár növényzet nem vagy csak kismértékben található a területen, az NDVI-t (4. képlet), –Normalized Difference Vegetation Index - normalizált differenciált vegetációs indexet– választottam, mivel ezt szokták a leggyakrabban használni a növényi stressz modellezéséhez.

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$$

4. képlet: NDVI képlete

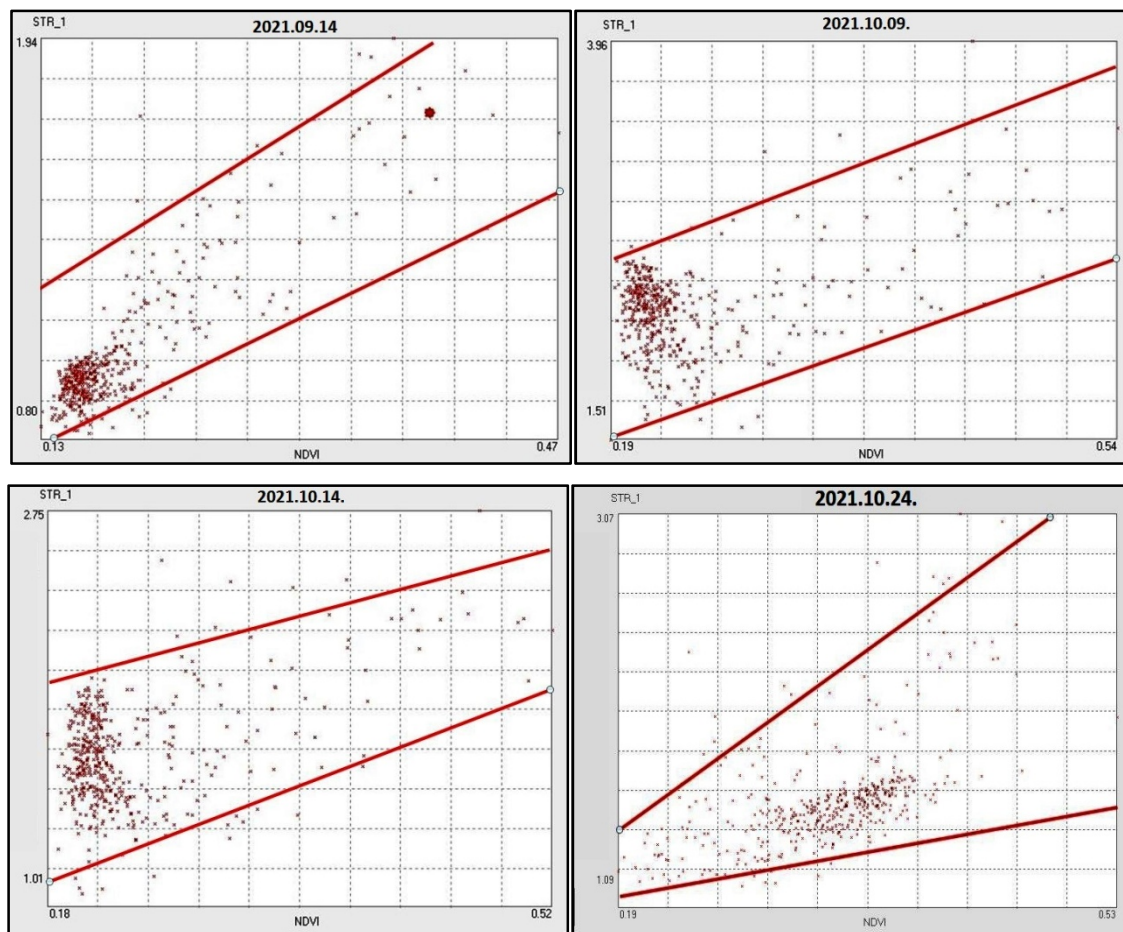
Az STR megállapításához a Sentinel-2 műholdak 12-es sávját használtam fel az alábbi képlet segítségével. (5. képlet)

$$STR = \frac{(1 - R_{SWIR})^2}{2R_{SWIR}},$$

5. képlet: STR képlete

A képletbe történő behelyettesítés előtt a SWIR értékeket 10^{-3} -onnal megszoroztam, így a STR nagyságrendjét csökkentve, hogy az egyes paraméterek megállapításakor ez ne

legyen zavaró. A kapott eredmények függvényében a NDVI-STR terek vizuális vizsgálatával meghatároztam a modell száraz (alsó) és nedves (felső) élét (27. ábra), amelyeket nélkülözhetetlenek a nedvességtartalom kimutatásához.



27. ábra: OPTRAM modellek

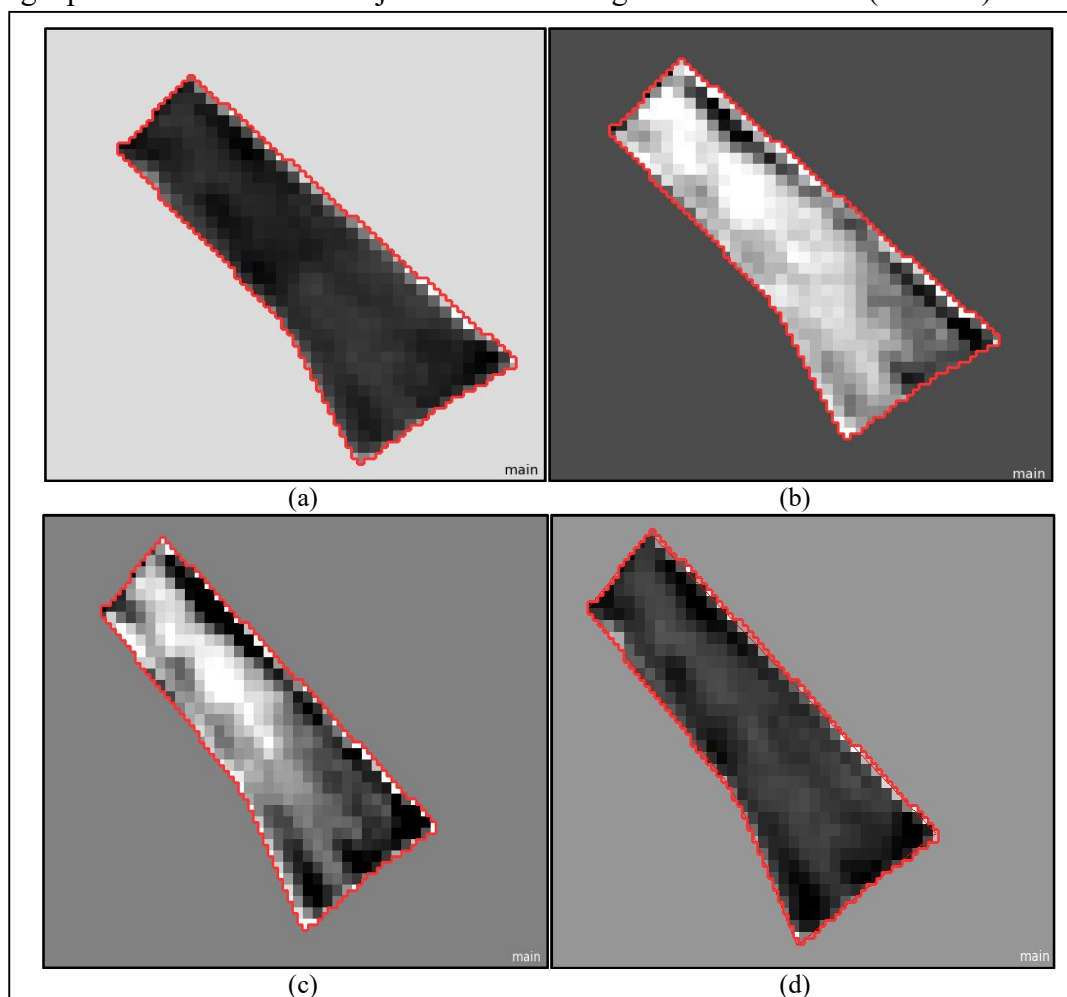
Az élek segítségével az eCognition programban a 2D Feature space plot eszköz alkalmazásával már képes voltam meghatározni azoknak a paramétereknek az értékét, amelyek a talaj víztartalmának vizsgálatához szükségesek. (2. táblázat)

2. táblázat: OPTRAM modellből származtatott a nedvességtartalom meghatározásához szükséges paraméterek az egyes időszakokra

Dátum	Száraz él		Nedves él	
	id	Sd	iw	Sw
2021.09.14	0	1,4	1,2	0,7
2021.10.09	0,2	2,4	2,6	1,2
2021.10.14	1,1	0,8	2	0,5
2021.10.24	1,1	1,6	0,5	1,5

7.2.3 A talaj nedvességtartalmának becslése

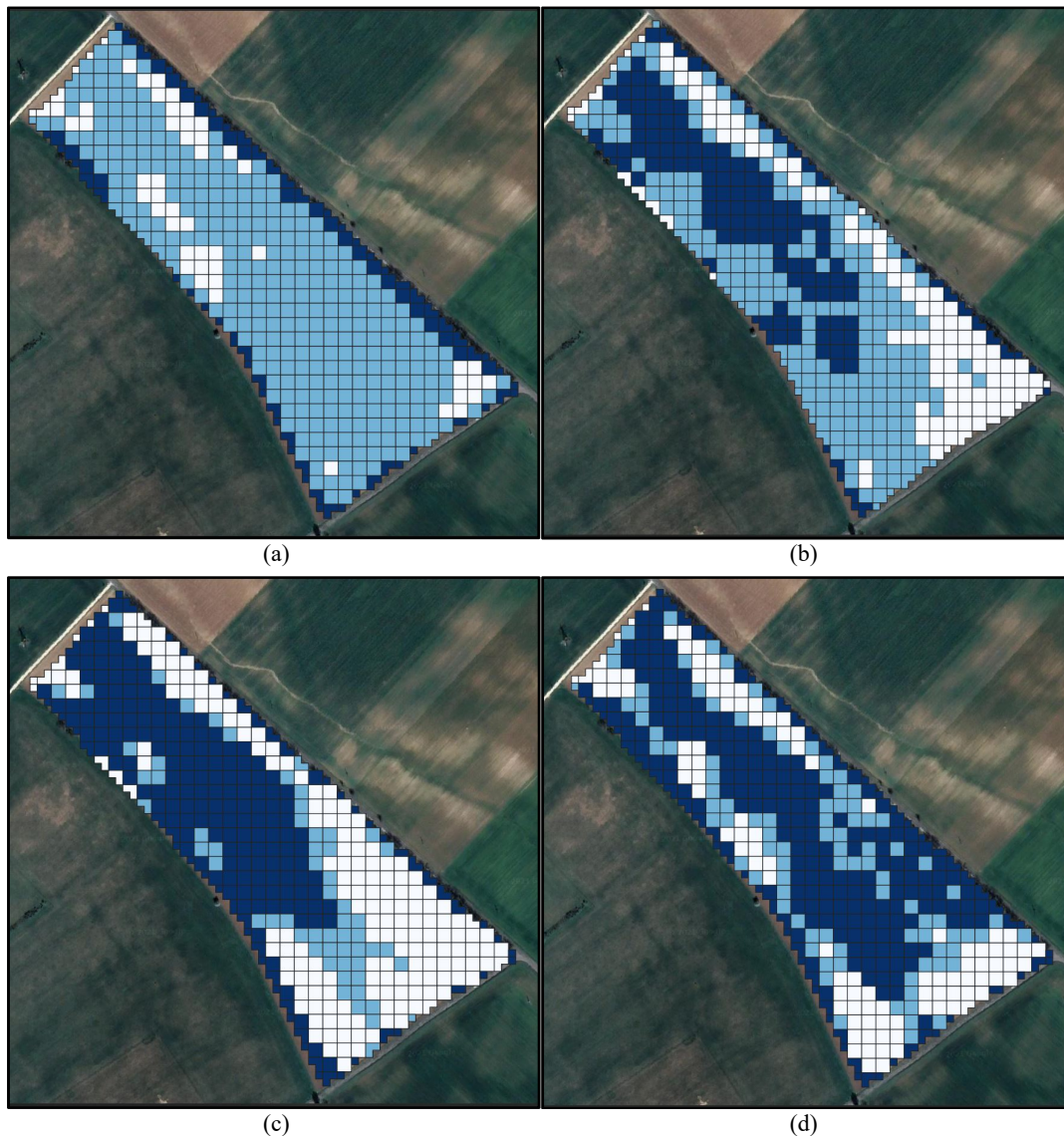
A talaj nedvességtartalmának meghatározása a mintaterületen 20*20 méteres felszíni felbontásnak megfelelően történt meg, hiszen a korábbiakban a területet ekkora méretű cellákra osztottam fel. Talajnedvesség becsléséhez szükséges paramétereket a száraz (id és az S_d) valamint a nedves (iw és az S_w) élek ismeretében határoztam meg, és behelyettesítettem a megfelelő képletbe (lásd 3. képlet), amely eredményeként megkaptam az adott időszakra jellemző nedvességtartalom értékeket (28. ábra).



28. ábra: Talaj nedvességtartalom a mintaterületen, (a) 2021.09.14.; (b) 2021.10.09.; (c) 2021.10.14.; (d) 2021.10.24.

Ezt követően a táblának az átlagos víztartalmát is kiszámoltam, ami az egyes cellák relatív nedvesség értékének meghatározásához volt szükséges. Ehhez szintén az adott időintervallumnak megfelelő víztartalom becsléséhez meghatározott paramétereket használtam fel csak most a tábla egészére számoltam ki azt nem pedig az egyes cellákra. Tehát ebben az esetben a táblára, mint tematikus osztályra becsültem meg annak nedvességét. A kapott eredménytől +/- 10%-os eltérésen belül átlagos (világoskék), –

10% és alatta alacsony (fehér), míg +10% és felette magas (sötétkék) nedvesség tartalmú osztályokba soroltam a tábla celláit. (29. ábra)



29. ábra: Relatív talaj nedvességtartalom a területen 2021-es év a különböző időpontjaiban; (a) 09.14.; (b) 10.09.; (c) 10.14.; (d) 10.24.;

A becsült relatív talaj nedvességtartalom térképeket megvizsgálva észlelhető a lehulló csapadék hatására kialakuló változás a talaj víztartalmában. Amíg a szeptember 14-én készült adatokat nézve a talaj nedvességtartalma átlagosnak illetve egyes részeken alacsony tekinthetőek addig a vizsgált időszakban előforduló csapadék hatására megjelennek a magas víztartalmú területek is. Az utolsó vizsgált időpontban, ahol már kihajtott a vettett kultúrnövény látható, hogy a tábla egyes részei újra vesztenek nedvességtartalmukból.

A továbbiakban kirajzolódik a terület topográfiájából valamint a talajának fizikai és kémiai tulajdonságaiból adódó eltérések is. A topográfiai jellemzőket vizsgálva megállapíthat, hogy a déli-északi irányú lejtés valamint a tábla közepén végig elhelyezkedő alacsonyabb részből adódóan a víz összefolyásának következtében detektálható a magasabb víztartalom. Ennek a jelenségnek köszönhetően az október 24-ei adatokat elemezve látható, hogy a közepén elhelyezkedő mélyebb rész melletti területeken már csökken a talaj nedvességének mennyisége a párolgás és a leszívargás következtében.

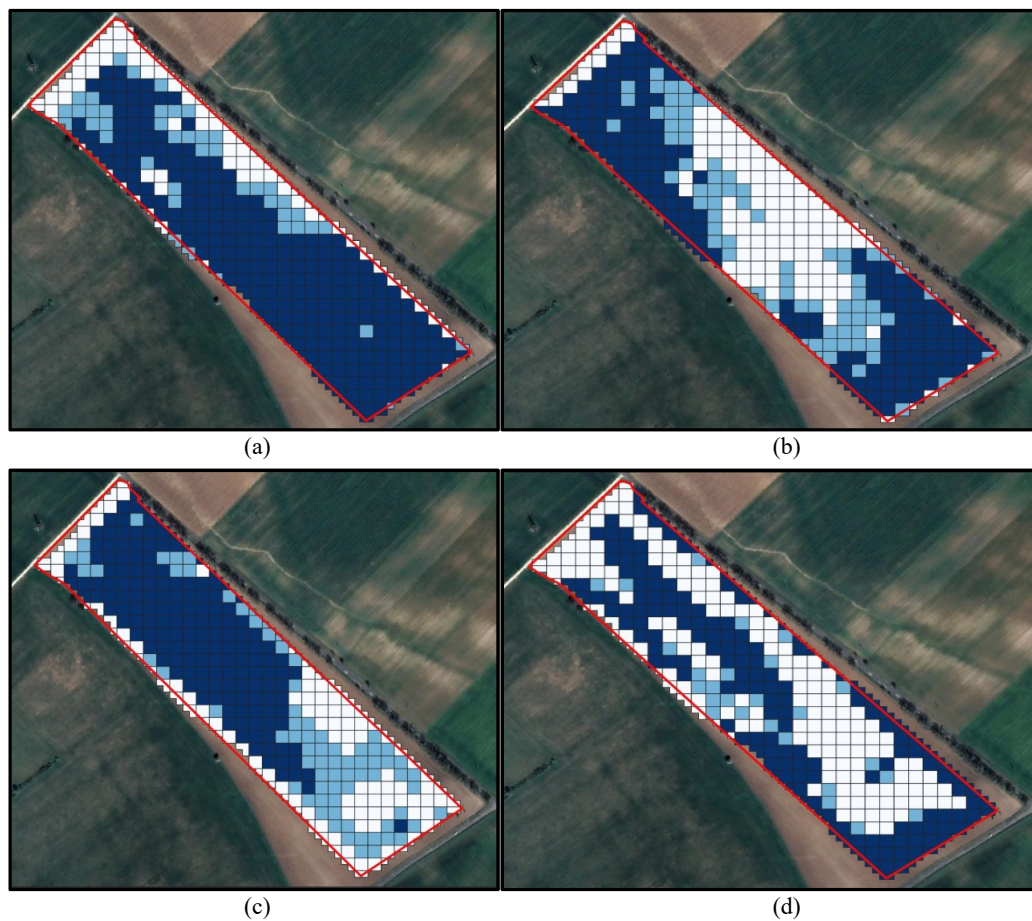
A talaj textúráját analizálva a térképeken kirajzolódik a tábla déli szegmensében lévő dolomitos terület, amelynek nedvesség befogadó és megtartó képessége gyengébb a többi részéhez képest. Ugyanebben a régióban találhatóak a MEPAR által jelzett erodált foltok is, amelyet szintén az október 24-ei térkép ad vissza a legjobban.

8 Végrehajtott módszer értékelése

A kiválasztott elemzési módszer értékelésénél meg kell említeni, hogy az adatokból az OPTRAM modell létrehozásához szükséges a szakmai hozzáértés, hiszen az egyes felvételek felhasználásával kialakított pixel térben a modell megfelelő kialakítása nagyban befolyásolja a végső eredményt. Ezt leszámítva meglátásom szerint a módszer alkalmas a talajnedvesség változásának a megjelenítésére és a tendenciák előrejelzésére. Az elemzésem elsődleges időszakának a 2021-es évet választottam, aminek fő indoka, hogy erre az évre a Sentinel-2 műholdak készítette felvételek 2. szintű előfeldolgozással érhetőek el, így azok egyből felhasználhatóak. Továbbá az időszak elejét száraz időjárás jellemezte, amelyet követően a területen nagyobb mennyiségű csapadék hullott, ami némileg feltöltötte a talajt nedvességgel, de ez a vizsgált időperiódus végére újra csökkenni kezdett, amely kiváló körülményeket biztosított a modell működésének bemutatására.

Másodsorban az előzetes elképzelés szerint a területen történt volna egy kiterjedt víztartalom mérés a TDR 350 készülékkel. Sajnos ez a mérés nem valósult meg és csak a letelepített Watermark 200SS szenzor közvetlen közelében történt egy teszt jellegű mérés 2021.10.09-én. A kézi mérőkészülékkel rögzített adatok és az általam végrehajtotta OPTRAM modellre alapozott nedvesség becslési módszer között

összefüggést nem találtam, bár ennek okát a kézi készülékkel végrehajtott korlátozott mérésben látom, hiszen míg az általam elkészített víztartalom becslés a teljes terület adatain alapult, addig a tesztmérés csak egy kis régióban történt meg. Ennek kiküszöbölésére a rendelkezésemre álló hozam adatokkal hasonlítottam össze a kapott eredményeket, aminek érdekében az analízisemet 2018. március-június közötti időszakban készült felvételeken is lefuttattam (30. ábra), annak érdekében, hogy az őszi búza betakarítás eredményével összehasonlíthassam.

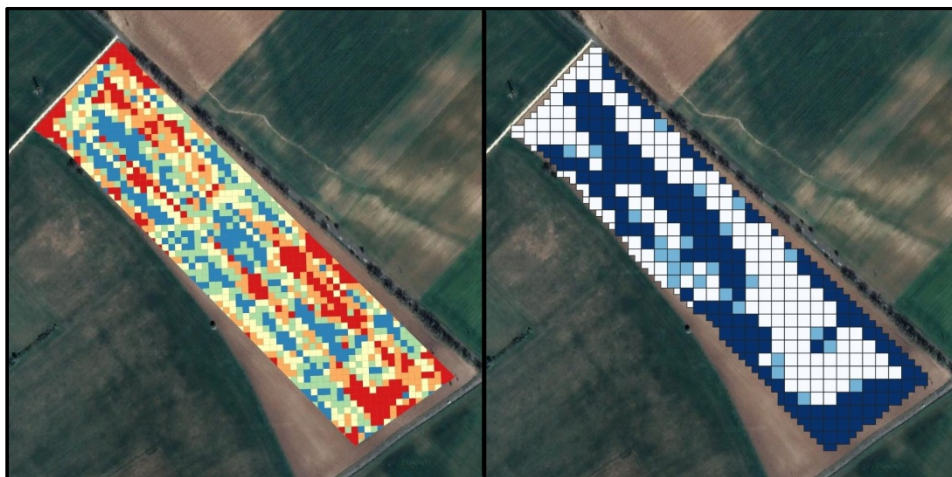


30. ábra: Relatív nedvességtartalom becslése 2018.; (a) 04.08.; (b) 05.03.; (c) 06.02., (d) 06.12.

Mint ahogy már említettem, és látható a talajnedvesség becslés osztályozott képein is, a talaj ebben az időszakban relatív magas víztartalommal rendelkezett, és bár a 2018-as év kiemelkedően meleg áprilisának és májusának hatására némi száradás megfigyelhető, de a május végén érkező újabb nagyobb mennyiségű csapadék megakadályozta a vízhiány kialakulását.

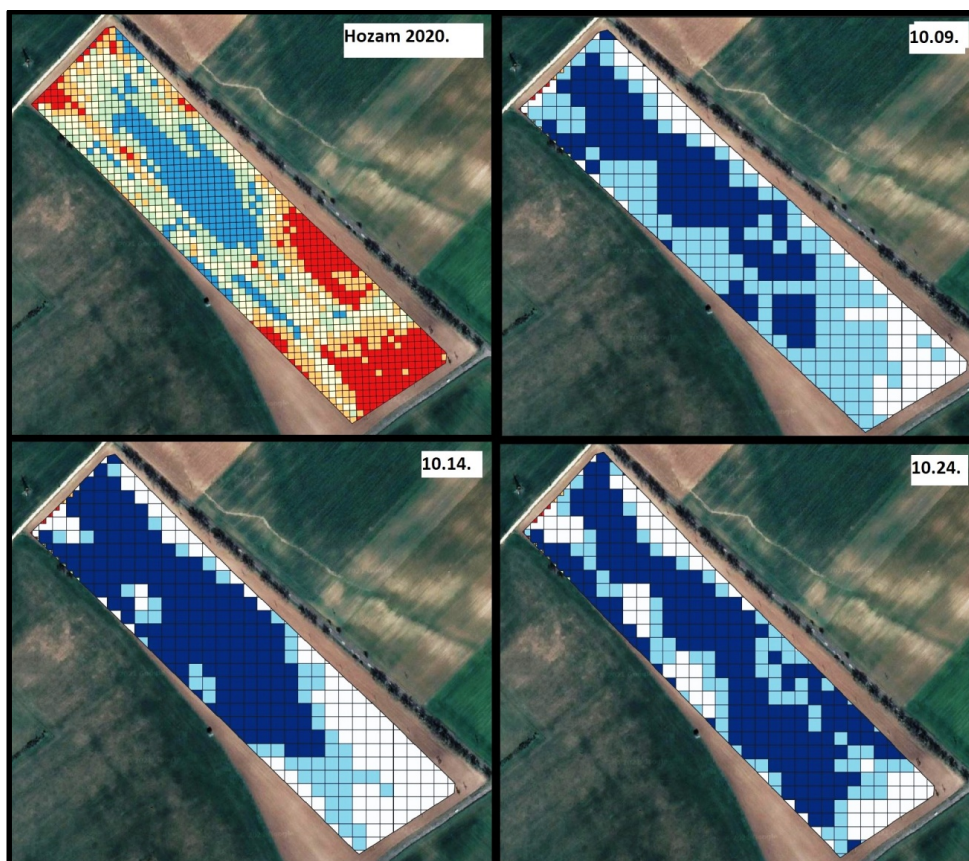
A relatív nedvesség becslés adatait összehasonlítva a 2018-as hozam térképpel (31. ábra) –ahol a legkisebb hozamokat piros, míg a legmagasabb hozamokat kék szín jelöli–

látható, hogy az leginkább a 06.12-ei eredményét adja vissza leginkább, hiszen a területen ebben az időszakban –az érés stádiumában– kezdtek el vízhiányos részek kialakulni.



31. ábra: Hozam térkép és a talaj 06.12-ei nedvességtartalma

Utólag elmondható, hogy nem volt szerencsés választás a 2018-as év, hiszen inkább víztöbblet, mint hiány jellemezte az év első felét, és a súlyos aszályos időszakok nyáron és ősszel fordultak elő.



32. ábra: Őszi árpa hozamtérképe és 2021-es talaj nedvességtartalom adatok

A 2018-as évvel ellentétben a 2021-ben választott időszak már alkalmasabb volt a vízhiány detektálására. Ezt az időszakot is összehasonlítottam a 2020-ból származó őszi árpa hozamával (32. ábra). Ezeken a nedvesség becslési adatokon már jobban kirajzolódnak azok a területek, amelyek a vízháztartás szempontjából gyengébbek és azokon a részeken a betakarított mennyiség is kevesebb volt.

A továbbiakban levonható az a következtetés is, hogy a tábla öntözése esetén hatékonyabban lehetne megtervezni annak végrehajtását, hiszen észlelhetőek azok a régiók, amelyek kevésbé képesek a nedvességet megtartani, tehát gyakoribb vízpótlásra szorulnak.

9 Összegzés

Dolgozatomban a talaj nedvességtartalom változásának észlelési lehetőségeit vizsgáltam, azon belül is az aszály által okozott vízhiány megfigyelésének és előrejelzésének módszereit. A téma fontosságát bizonyítja, hogy a klímaváltozásból eredő szárazságok következményeként évről-évre egyre nagyobb termés veszteség figyelhető meg a szántóföldi növényi kultúrákban, hiszen a növények fejlődéséhez a víz nélkülözhetetlen erőforrás.

A dolgozatomban első részében a teljesség igénye nélkül ismerttettem a szakirodalomban megtalálható talajnedvesség mérésére szolgáló módszereket. Megemlítettem a terepen végrehajtható, a laboratóriumi, valamint részletesebben kitértem a távérzékelési adatokat felhasználó módszerek bemutatására. A továbbiakban bemutattam a nemzetközi szervezetek és egyes országok által üzemeltetett aszály monitoring rendszereket, amelyeknek fő céljuk általános területi információk szolgáltatása, előrejelzések biztosítása. Külön kitértem a Magyarországon meglévő Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszerre, amely ma már több mint 100 állomás adatait felhasználva biztosít információkat a vízhiányról.

Ezt követően került sor a mintaterület talajtani, meteorológiai jellemzőinek, valamint az általam kiválasztott időszakokra elérhető csapadék és talajnedvesség adatoknak a kiértékelésére. Ebben a részben bemutatásra kerültek a táblán telepített szenzorok, rendelkezésre álló egyéb mérőeszközök.

A dolgozatomban második felében hajtottam végre a talajnedvesség meghatározásához

szükséges elemzéseket. Az általam választott módszerhez a Sentinel-2 műholdak által biztosított adatokat használtam fel. A talajnedvesség mértékének a kimutatásához a már többek által eredményesen használt OPTRAM modellt választottam, aminek nagy előnye, hogy csak az optikai hullámtartományban lévő sávokat használja fel. A vizsgálódásaimat két időszakban hajtottam végre. A 2021-es év őszén készült felvételeken mutattam be, hogy a módszer alkalmas a talaj víztartalom változásának a detektálására, míg a 2018-as adatok csak az adott évben termesztett őszi búza betakarítása során kombájn által rögzített hozam térképpel történő összehasonlításhoz használtam fel.

A dolgozatom végén kiértékeltem az általam végrehajtott elemzés eredményét. Megállapítottam, hogy az OPTRAM modell alkalmas a talaj relatív nedvességtartalmának a meghatározására, képes annak változásait jelezni. Továbbiakban összehasonlítva a kapott eredményeket a rendelkezésemre álló hozamtérképekkel kijelenthető, hogy azok alkalmasak lehetnek egyéb információkkal ötvözve az egyes régiókban rejtőző termés potenciál meghatározására.

10 Summary

In my study, I examined the possibilities of detecting changes in soil moisture content, including methods of monitoring and predicting water scarcity caused by drought. The importance of this topic is demonstrated by the fact that, as a result of the droughts resulting from climate change, there is an increasing loss of yield in arable crops every year.

In the first part, I presented the methods for measuring soil moisture in the literature, without the need for completeness. I mentioned the methods that can be carried out in the field, the laboratory, and I went into more detail about the methods used for remote sensing data. I went on to present drought monitoring systems operated by international organisations and certain countries, whose main objective is to provide general territorial information and forecasts. I specifically mentioned the Operational Drought and Water Scarcity Monitoring System in Hungary, which now provides information on water scarcity using data from more than 100 stations.

The soil and meteorological characteristics of the plot and the precipitation and soil

moisture data available for the periods I selected were then evaluated. In this section, the sensors installed on the board and other available measuring devices were presented. In the second half of my study, I carried out the necessary analyses to determine soil moisture. I used the data provided by sentinel-2 satellites for the method I chose. In order to detect the degree of soil moisture, I have chosen the OPTRAM model, which has been successfully used by many. It has the great advantage of using only the bands in the optical wavelength.

I've been conducting my investigations over two periods. In the autumn of 2021, I showed that the method is suitable for detecting changes in soil water content, while the 2018 data were only needed to compare to the yield map recorded in that year.

At the end of dissertation, I evaluated the results of my analysis. I found that the OPTRAM model is suitable for determining the relative moisture content of the soil and it is also capable to indicate its changes.

Henceforward, comparing the results of my method with the yield maps, it can be stated that they can serve as a basis for determining the yield potential of the field.

11 Irodalomjegyzék

Felhasznált irodalom

Fiala Károly, Barta Károly, Benyhe Balázs, Fehérvári István, Lábdy Jenő, Sipos György, Györffy Lajos (2018.): Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer, Hidrológiai Közlöny 98. évf. 3. sz.

Giulio Castelli, Federico Preti and Elena Bresci (2018): Remote sensing monitoring of soil water buffering in Agricultural Terraced Landscapes: an application of OPTRAM methodology in Tuscany Region, Italy, Department of Agricultural, Food and Forestry Systems (GESAAF), Università degli Studi di Firenze, Poster

Lingli Wang and John J. Qu (2007): NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing, Geophysical Research Letters, vol. 34

M. Svoboda and B.A. Fuchs (2016): Handbook of Drought Indicators and Indices, WMO

M. Wojtaszek Verőné, V. Szabó, J. Kauser, A. Kocsis, L. Lippmann, Wittmann Antal (2021): Mapping of soil moisture variability within a field by the OPTRAM model, Precision agriculture '21

M.V.K. Sivakumar , P.S. Roy, K. Harmsen, S.K. Saha (2003): Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, WMO

Morteza Sadeghi, Markus Tuller, Ebrahim Babaeian, Scott B. Jones (2017.): The optical trapezoid model: A novel approach to remote sensing of soil moisture applied to Sentinel-2 and Landsat-8 observations ; Remote Sensing of Environment 198

Pálfai, I. (2004): Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok. Közlekedési dokumentációs Kft., Budapest.

Reza Hassanpour, Davoud Zarehaghi, Mohammad Reza Neyshabouri, Bakhtiar Feizizadeh, and Mehdi Rahmati (2020): Modification on optical trapezoid model for accurate estimation of soil moisture content in a maize growing field, Journal of Applied Remote Sensing September

Stefanovits Zoltán, Filep György, Fülek György (1999): Talajtan., Mezőgazda kiadó

Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata, Dr. Szabó Virág, Kauser Jakab (2020.): A talaj és a növény vízellátottságának mérési lehetőségei távérzékelési módszerekkel (1.), Agróforum 31. évfolyam 2020/8.

Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata, Dr. Szabó Virág, Kauser Jakab (2020.): A talaj és a növény vízellátottságának mérési lehetőségei távérzékelési módszerekkel (2.), Agróforum 31. évfolyam 2020/10.

Internetes hivatkozások

<https://vmeteo.hu/statisztikak/a-vmeteo-egyesulet-havi-klima-adatai-2013-januartol>

<https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1111>

<https://www.drought.gov/>

<https://www.drought.gov/about/partners/national-drought-mitigation-center-ndmc>

<https://www.unccd.int/issues/land-and-drought>

<https://maps.rissac.hu:6443/arcgis/rest/services/agrotopo/MapServer>

<https://www.metnet.hu/napi-adatok?sub=5&pid=670&date=2021-01-02>

<https://www.weatherlink.com/>

<https://aszalymonitoring.vizugy.hu>

Ábrajegyzék

1. ábra: A vegetáció, a talaj és a víz reflektancia görbéje	10
2. ábra: 2021.05.19.-05.25. aszály állapotok az USA-ban.....	13
3. ábra: 2021.09.10-20 közötti aszály állapotok az EU-ban	14
4. ábra: Mencshelyi állomáson 2021.11.18-án rögzített adatok	15
5. ábra: Aszály védelmi fokozatok a napi időléptékű vízhiány index alapján....	16
6. ábra: Magyarország aszályindex térképe 2021.11.18-án.....	16
7. ábra: Mintaterület elhelyezkedése.....	17
8. ábra: A terület domborzata.....	18
9. ábra: Erodált területek MEPAR alapján.....	19
10. ábra: Meteorológiai aszály Ádándon 2018.04.30.-06.15-ig.....	20
11. ábra: 2021-ben Veszprémben mért csapadék mennyisége havonkénti bontásban.....	21
12. ábra: Operatív Vízhiány Értékelő és Előrejelző Rendszer által számított aszályindex alakulása	21
13. ábra: Davis Vantage Pro meteorológiai állomás.....	22
14. ábra: Davis levélnedvesség mérő.....	23
15. ábra: Watermark M200SS talajnedvesség mérő	23
16. ábra: FieldScout TDR350 kézi talajnedvesség mérő	23
17. ábra: Davis Vantage Pro meteorológiai állomás által mért csapadék 2021. január 1. - október 31-ig	24
18. ábra: Vantage Pro Plus 6163 EU meteorológiai állomás által rögzített csapadék mennyiség hetii bontásban 2021.08.16.-10.30.	24
19. ábra: TDR 350 mérőkészülék mérési helyei	25
20. ábra: 2020.10.09-én TDR 350 készülék által mért talaj nedvességtartalma....	26
21. ábra: Hozam térképek; (a) őszi búza 2018; (b) őszi árpa 2020.....	28
22. ábra: Az adat kiértékelés folyamatábrája	29
23. ábra: Különböző nedvesség tartalmú talajok reflectancia görbéi	30
24. ábra: OPTRAM modell.....	31
25. ábra: Mintaterület kompozit felvételei; (a) 2021.09.14.; (b) 2021.10.09.; (c) 2021.10.14., (d) 2021.10.24.	32

26. ábra: Tábla azonosítása	33
27. ábra: OPTRAM modellek	34
28. ábra: Talaj nedvességtartalom a mintaterületen, (a) 2021.09.14.; (b) 2021.10.09.; (c) 2021.10.14.; (d) 2021.10.24.	35
29. ábra: Relatív talaj nedvességtartalom a területen 2021-es év a különböző időpontjaiban; (a) 09.14.; (b) 10.09.; (c) 10.14.; (d) 10.24.;	36
30. ábra: Relatív nedvességtartalom becslése 2018.; (a) 04.08.; (b) 05.03.; (c) 06.02., (d) 06.12.	38
31. ábra: Hozam térkép és a talaj 06.12-ei nedvességtartalma	39
32. ábra: Őszi árpa hozamtérképe és 2021-es talaj nedvességtartalom adatok.....	39

Képletek jegyzéke

1. képlet: A normalizált differenciált aszályindex képlete.....	11
2. képlet: WMO által ajánlott indexek képletei	11
3. képlet: A talaj víztartalmának meghatározásához használt képlet.....	31
4. képlet: NDVI képlete	33
5. képlet: STR képlete.....	33

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: A talaj víztérfogata TDR-350 mérőkészülékkel végzett mérés, valamint a 2021.10.09-ei műholdkép alapján.....	26
2. táblázat: OPTRAM modellből származtatott a nedvességtartalom meghatározásához szükséges paraméterek az egyes időszakokra	34

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani, témavezetőmnek, **Verőné Dr. Wojtaszek Malgorzata**, szakmai tanácsaiért és a szakdolgozatom megírásában nyújtott segítségéért.

Fodor István külső konzulensemnek, aki a témámhoz mind a mintaterületet, mind a szükséges adatokat biztosította számomra.