

SZAKDOLGOZAT

MÜLLER CSONGOR
Mezőgazdasági mérnök

MATE Szent István Campus Gödöllő
2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Mezőgazdasági- mérnök alapképzési szak

**TERMÉSZADATOK ÉS MŰHOLFOTÓ ALAPÚ
VEGETÁCIÓS ADATOK KÖZÖTTI KAPCSOLATOK
CIROK ÁLLOMÁNYOKBAN**

Belső konzulens:

Dr. Balogh János
egyetemi tanár

Készítette:

Müller Csongor

hom5wd

nappali

Mezőgazdasági és

Környezettudományi Intézet

Gödöllő

2024

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	3
2.	Irodalmi áttekintés	4
2.1.	Cirok	4
2.1.1.	Jelentősége	4
2.1.2.	Felhasználása	6
2.1.3.	C4-es fotoszintézis	7
2.2.	Cirokkal kapcsolatos kutatások	7
2.3.	Távérzékelés	9
2.4.	Távérzékelésre alapuló kutatások a témában	11
3.	Anyag és módszer	13
3.1.	Indexek	13
3.2.	Területek talajtani jellemzői	14
3.3.	Módszertan	15
4.	Eredmények és értékelésük	17
4.1.	Eredmények bemutatása állományonként	17
4.2.	Összefüggések vizsgálata NDVI esetében	28
4.3.	Összefüggések vizsgálata EVI esetében	32
4.4.	Modell illesztés eredményeinek vizsgálata	35
5.	Következtetések és javaslatok	37
6.	Összefoglalás	39
	Köszönetnyilvánítás	40
	Irodalomjegyzék	41
	Ábrajegyzék	43

1. Bevezetés

Az adott évi hozam előrejelzésének vagy becslésének régóta fontos szerepe van a gazdálkodók életében. Ha képesek vagyunk előre megmondani, hogy mennyit termeltünk, még jóval az előtt, hogy ténylegesen betakarítottuk volna a termést, azzal előnyösebb helyzetbe hozhatjuk magunkat vagy gazdaságunkat. Kedvező pozíciót jelenthet az értékesítésnél, felelősebb döntéseket tudunk hozni a következő, vagy akár még az adott évre vonatkozóan is. Ezek a szempontok pedig különös fontossággal bírnak a jelenlegi éghajlati, illetve demográfiai viszonyokat figyelembe véve.

Már a 60-as években is jelent meg olyan magyar nyelvű könyv, ami a témával foglalkozik (Kovács, K., 1968). Az idő előrehaladtával rengeteg új módszertant és lehetőséget is megvizsgáltak a magyar, illetve külföldi kutatók, különböző gazdaságilag jelentős növényfajokhoz. Manapság a leggyakrabban a levélfelület indexet (LAI), a normalizált vegetációs indexet (NDVI) használják elsősorban, de megemlíthető még az elnyelt fotoszintetikusán aktív sugárzás frakciója, azaz a fAPAR is. Ebben az értekezésben a szemescirkot fogom vizsgálni, amelynek súlya az utóbbi néhány évben erősen növekedésnek indult hazánkban az éghajlatváltozás kegyetlen velejárói okán. Az egyre gyakrabban fellépő aszályok lassan ellehetetlenítik a kukorica termesztését egyes hazai régiókban, így a gazdáknak alternatívákat kell keresniük a problémára. Erre lehet egy megoldás a cirok, aminek tenyészidőszaka egybeesik a kukoricáéval, így problémamentesen beilleszthető a vetésforgóba. Az időszakos szárazságot is tovább tűri, valamint egyes támogatási fajtáknál is hasznos lehet, például a diverzifikáció növelésénél, vagy az Agrár Környezetgazdálkodási Programban termesztethető a 12%-nál nagyobb lejtőkön is, ellenben a kukoricával és napraforgóval.

Kutatásomban arra keresem a választ, hogy van-e összefüggés a térben egymástól távol eső cirok állományokhoz kapcsolódó hozamok, valamint a Sentinel-2 műhold felhasználásával, májustól augusztus közepéig terjedő időszakban készített NDVI és EVI felvételek között, illetve, hogy lehetséges-e ezeknek a felvételeknek a segítségével a hozambecslés, akár különböző években is. Ezeket a képeket adatokká konvertálom az R Studio nevezetű program segítségével. Megvizsgálom a kinyert adatokból képzett görbék lefutását, meredekségét, az egyes táblákhoz tartozó minimum és maximum értékeket, ezen értékek tartományát, időbeni változásait, összevetettem az egyes időpontokban készült fotók értékeit.

2. Irodalmi áttekintés

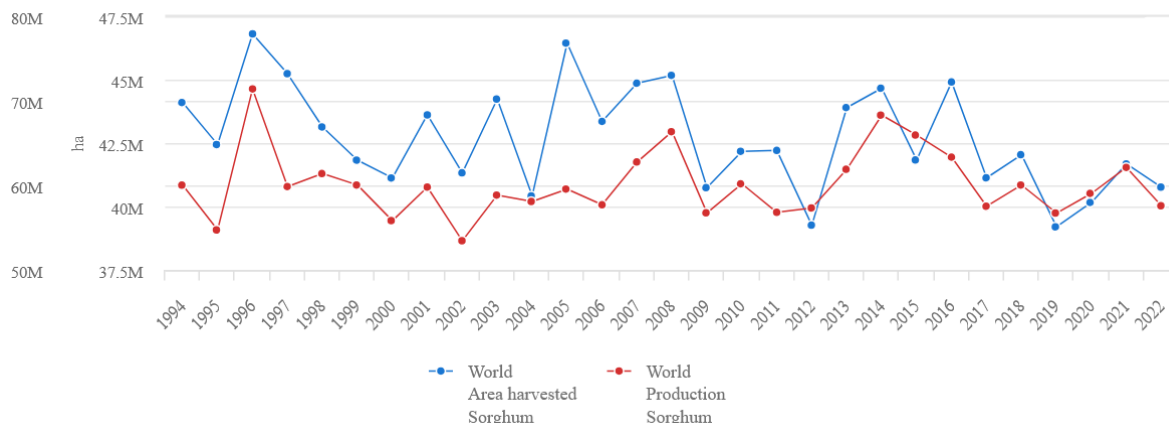
2.1. Cirok

2.1.1. Jelentősége

A tarka cirok (*Sorghum bicolor*) egy Afrikában őshonos növény, azon belül is Etiópia és a Szudán szavannák növénye ([http1](#)). Ebből adódóan a cirok kiválóan alkalmazkodott az olyan területekhez, ahol korlátozott a csapadék ellátás. Őshazájában meglehetősen kedvelt növénynek számít, hiszen a forró éghajlati övben kevés olyan növény van, ami nagy mennyiségben is termesztethető. Technológiáját tekintve jellemzően minimális ráfordítással, gyenge genetikai potenciállal bíró hagyományos fajtákat alkalmaznak. Ezeknek a hozama természetesen messze elmarad a ma, Európában használt cirok fajtákétól. Mindössze 0.7-1 t/ha az átlagos termés mennyisége (Rai et al. 1999). Nyilvánvalóan az ekkora különbséghez hozzájárulnak az ott fellelhető gyenge termőképességű talajok, a gyenge infrastruktúra, a gépesítés hiánya, a fellépő betegségek, illetve kártevők elleni védekezés hiánya, valamint a tápanyagutánpótlás nemléte is (House 1985). Az afrikai országokban elsődlegesen állati takarmányként termesztik a világ többi részén viszont jelentős emberi táplálékként is szolgál.

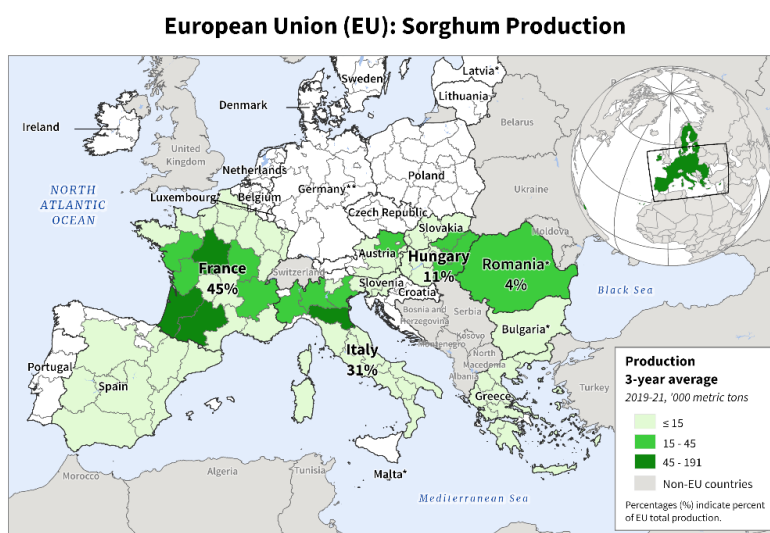
Mára a cirkot a világ több mint 100 országban termesztik, ezek közül a 10 legnagyobb termelő: Amerikai Egyesült Államok, Mexikó, Szudán, Ausztrália, Kína, Argentína, Nigéria, Etiópia, Brazília és India. Ez a tíz ország biztosítja a világ ciroktermelésének a több mint 70%-át. 2022-ben a globális termelés 57.5 millió tonna volt, 40 millió hektáron. Ez azt jelenti, hogy a globális átlagtermés megközelítőleg 1.4 t/ha volt (1.ábra). 2016 óta a cirok termésterülete globális szinten visszaesett, azonban az utóbbi években ismét enyhe növekedésnek indult. Az utóbbi

évek sajátossága, hogy több éven keresztül a hektáronkénti átlagtermés 1.4-1.5 t/ha körül alakul.



1. ábra: Globális cirok termelés 1994-2022, (Forrás: FAOSTAT, 2024)

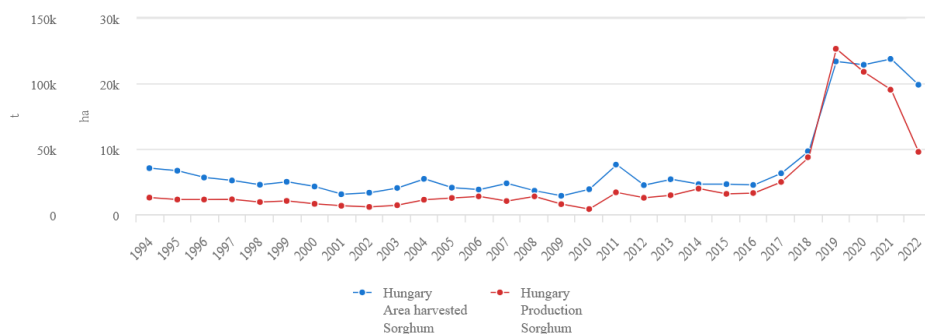
Meglepő lehet, hogy az Európai Unió nincs a 10 legnagyobb termelő között. Ennek egyszerű oka, hogy a Sorghum gazdaságos termesztéséhez kedvező éghajlat megközelítőleg Magyarország vonaláig húzódik. Ettől északra már túl alacsony számára az átlaghőmérséklet, az éves hőösszeg, valamint a napsütéses órák száma. Az utóbbi években megnőtt az érdeklődés iránta a délen fekvő országokban, mint például Olaszország, Spanyolország, de Franciaországban és még hazánkban is. Amíg 2010-ben mindössze 160 ezer hektáron vetettek cirkot az EU-ban, ez a szám 2016-ban már 400 ezer hektár felett volt (FAOSTAT). Ahogy azt a 2. ábra mutatja, az Unióban Franciaország számít a legnagyobb előállítónak, az összes produktum 45%-át biztosítják. Utána következik Olaszország, 31%-val, majd Magyarország, 11%-val.



2. ábra: Cirok termesztés megoszlása az EU-ban 2019-2021. (Forrás: IPAD 2024,

<https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/default.aspx?id=E4>)

Ez a 11% 2022-ben 50 ezer tonnát jelentett, amit 20 ezer hektáron termeltek meg a magyar a gazdák. Így az átlagos termésmennyiség 2.5 tonna volt, ami az utóbbi évek átlagához képest nagyon alacsony. 2021-ben ugyanis 4.5 t/ha volt, míg 2020-ban 4.8 t/ha (3. ábra).



3. ábra: Magyarország cirok hozama és termőterülete 1994 és 2022 között (Forrás: FAOSTAT, 2024)

Ezt a visszaesést nagy valószínűséggel a 2022-ben bekövetkezett súlyos aszály okozhatta. Igaz, hogy a cirok jobban és tovább bírja a víz nélküli vagy csekély vízellátottságú időszakokat, azonban a tapasztalat azt mutatja, hogy ha olyan fenológiai fázisban éri az aszály amikor a termése kialakuló félben van, az mindenképpen drasztikus terméseszkökenéshez vezet.

2.1.2. Felhasználása

A cirok felhasználását tekintve a világ ketté osztható azokra a nemzetekre, akik emberi táplálékként hasznosítják elsősorban, illetve azokra az országokra, amik állati takarmányként, vagy ipari felhasználásból termesztik főképp. A megtermelt cirok mennyiségének több mint felét étkezési célokra használják fel (Chandel & Paroda 2000). Elsősorban a Közel-Keleten, Afrikában és Indiában zabkását, kenyeret készítenek belőle, de ezentúl alkoholokhoz is használják, akár sört is készítenek belőle (Magyarországon is létesült már ciroksör előállító üzem). Az élelmiszer fogyasztási trendek változásai miatt is fontos szerep hárulhat a cirok élelmiszerekben való felhasználására, hiszen gluténmentes termékeket tudnak belőle előállítani. Amerikában, Európában és Ausztráliában ezzel ellentétben megtermelt termény nagyrészt állati takarmányként hasznosítják. Nem csak a magját, de a szárát is előszeretettel etetik az állatokkal a szárazabb időszakokban. Silótakarmányként is fontos szerepet tölt be, ugyanis nagy zöldtömeget biztosít (Chandel & Paroda 2000). Ipari célokra is előszeretettel használják. Az édes cirokból bioüzemanyagot tudnak előállítani. De a benne található

keményítőt is feldolgozzák, daráját csomagolóanyagként alkalmazzák. Elmaradott országokban ezen felül építő és tüzelőanyagként is hasznosítják (Niranjan T. 2024).

2.1.3. C4-es fotoszintézis

A Sorghum egy C4-es növény, ami azt jelenti, hogy a színtestekben a szén-dioxid fixációja térben a Calvin cikluson kívül megy végbe. Ez a fotoszintézis út mindössze a növények megközelítőleg 5%-ára jellemző. A C4-es út sokkal hatékonyabb a C3-as fotoszintézisnél (amit a növények túlnyomó többsége használ). Ennek köszönhetően az ilyen utat használó növények termesztése megoldást nyújthat a globális demográfiai változásokra. Azonban, hogy ez a folyamat hatékonyan végbe menjen egy bizonyos hőmérséklet, illetve CO₂ koncentráció szükséges. Ez természetesen leszűkíti azon régiók számát, ami lehetővé teszi az effektív termelést. A cirkon kívül ilyen növény még a cukornád, kukorica és a köles. Ha az emberiség idővel ki tudna alakítani C4-es fotoszintetikus utat használó változatokat, olyan élelmezésben jelentős növényekben, mint a rizs, az óriási áttörést jelenthet a globális élelmiszer állatásban (Kellogg, E. A., 2013).

2.2. Cirokkal kapcsolatos kutatások

Egy Tanzániában végzett tanulmány azt vizsgálta, hogy a klímaváltozás milyen hatással van a cirok termésátlagára félszáraz éghajlati körülmények között. Erre két fajta szimulációs programot használtak, egy APSIM és egy DSSAT nevezetűt. Egy olyan szimulációt is lefuttattak, ami az éghajlatváltozás mértékét hivatott megjósolni. Arra jutottak, hogy 2050-re 2-4 °C közötti hőmérséklet növekedés várható az ilyen félszáraz régiókban. A csapadékot illetően a program azonban egyszer növekedést jósolt, egyszer pedig csökkenést. Ezekkel az éghajlati változásokkal kalkulálva azt jósolják, hogy a csapadékeloszlás és a hőmérséklet növekedése okán 5%, egyes szimulációk esetében akár 20%-os hozamnövekedés is lehetséges. Ezen felül még arra a következtetésre jutottak, hogy a hosszabb tenyészidejű fajták előnyt élvezhetnek majd (Msongaleli et al. 2014). Fontosnak és hasznosnak tartom az olyan kutatásokat, amik előrejelzőek, hiszen, ha ténylegesen bekövetkeznek ilyen mértékű változások, akkor már egyszerűbb lesz az alkalmazkodás. A megbízhatósága természetesen kérdéses az ilyen fajta szimulációknak, hiszen nem tudnak minden tényező figyelembe venni, illetve az időjárást is

rengeteg tényező befolyásolja, így akár néhány kilométeren belül is nagy különbségeket tapasztalhatunk például a csapadék mennyiségében, de a hőmérsékletet tekintve is.

A cirkot azonban nem csak a szemtermése miatt termesztik, hanem a zöld részeit is felhasználják biogáz előállításra, illetve takarmányozási célokra. Ezért a biomasszatermelés becslése is fontos szerepet játszhat a jövőben. 2019-ben Olaszországban bonyolítottak le egy kísérletsorozatot ennek kapcsán. Ők is a Sentinel-2 műholdat használták a területek vizsgálatára, azonban a fAPAR indexen keresztül. Azért ezt használták, mert közvetlen kapcsolatban áll a fotoszintézissel, és jelzi a növényi lombkorona energiaelnyelő képességét. Több algoritmust is használtak a becslésekhez, mint például a Random Forest (RF), a Support Vector Machine (SVM), a Neural Network (NN), valamint az eXtreme Gradient Boosting (XGBoost, GBT) nevű programok. Arra az eredményre jutottak, hogy a legjobb előrejelzéseket a májusi fAPAR-adatok alapján kapják, különösen a 150. és 165. nap (május közepe és vége) voltak a legjelentősebb előrejelző változók a biomassza-hozamok esetében, hiszen a mediterrán térségben ekkor éri el a cirok a gyors fejlődési szakaszát. Ezek alapján azt a következtetés vonható le, hogy az ilyen modellek lehetővé teszik, hogy a gazdák már májusban pontos képet kapjanak a várható hozamokról, ami segítheti az aratási és szállítási kapacitások optimalizálását (Habyarimana et al. 2019).

Egy másik módszert alkalmaztak a biomassza hozambecslésére 2021-ben az Illinois egyetemen. Drónokkal készítettek felvételeket az állományokról és a fejlődésüket vizsgálták, illetve a biomassza hozam előrejelzésének pontosítását igyekeztek elvégezni. Ehhez több időpontban is készítettek képeket, amikből NDVI adatokat, valamint olyan alapvető információkat gyűjtöttek, mint például az állomány magassága. Különböző görbeillesztési módszereket használtak az adatok elemzéséhez és ők is azt az eredményt kapták, hogy már a korai növekedési szakasz alapján lehet biomassza hozamot becsülni. A geometria mérések alkalmasabbak voltak a későbbi növekedési szakaszok vizsgálatához, mivel az NDVI ekkora már csaknem telítetté vált és nem mutatott további növekedést, de például a magasság ellenben még akkor is nőtt (Varela S. et al. 2021). Az NDVI-nak tulajdonított egyik általánosan elismert probléma az, hogy nem érzékeny a környezet és/vagy a biomassza változásaira, amikor a környezeti feltételek és a biomassza elér egy bizonyos magas szintet. Van Der Meer és munkatársai (2001) már korábban megállapították, hogy az NDVI-értékek magas biomasszát termelő növényzetnél (> 100 tonna/ha) telítetté válnak. Ekkora biomassza viszont jellemzően

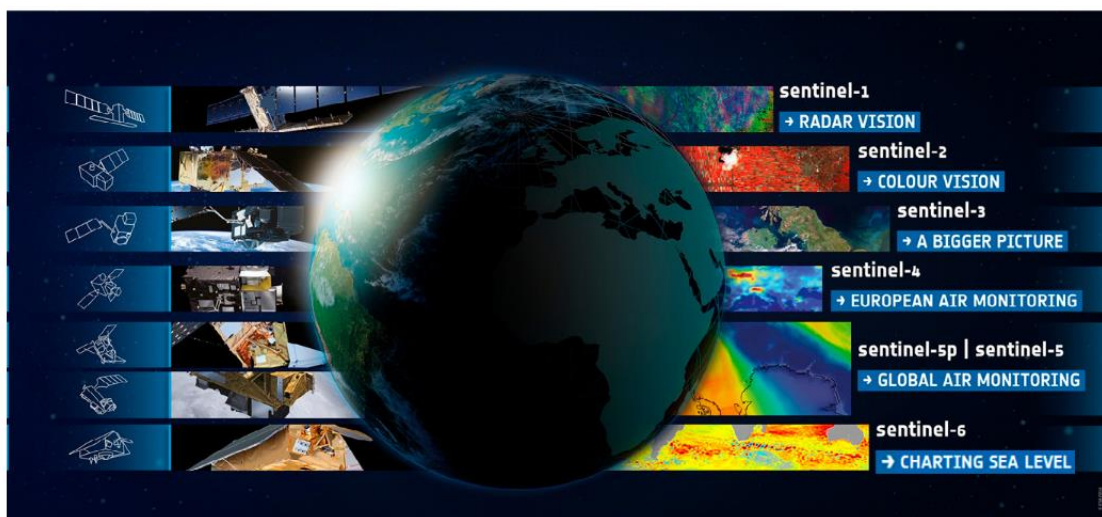
csak az erőkben fordul elő. Másrészt, ami már jelen esetben is mérvadó probléma az az, hogy az NDVI kiszámítása érzékeny a légköri, a talaj- és a pixelkomponensekre.

2.3. Távérzékelés

Távérzékelésnek nevezzük azt az adatgyűjtési formát, ahol az információt elektromágneses hullámokon keresztül nyerjük ki, leggyakrabban a Földünk felszínéről. Ez a fajta felvételezés általános jellemzője, hogy nincs közvetlen kapcsolat a megfigyelt tárgy és a mérést végző érzékelők között. Az így szerzett információ pedig az emberi szem számára nem érzékelhető tartományban lévő elektromágneses sugárzással továbbítódik (László et al. 2014).

Ebben a tanulmányban a Copernicus program keretein belül működő Sentinel-2-es műholdat fogom használni a vegetációs adatokat hordozó képek letöltésére. A Copernicus program még 1998-ban indult, azzal a céllal, hogy a kutatók pontos képeket kaphassanak a Föld éghajlati jelenségeiről, változásairól, és az időbeni megfigyelés által, ezekre akár reagálni is tudjanak.

A program hat Sentinel műholdcsaládot foglal magába, amelyek között találunk radarképalkotó rendszereket, nagy felbontású kamerákat, illetve a Föld légkörét, az óceánok szintjét megfigyelő érzékelővel ellátott műholdakat is (4.ábra).



4. ábra: a Sentinel műholdcsalád felhasználási területei. (Forrás:ESA, 2024
https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/custom-uploads/3rd-joint-training/PPT%20webinars%20pre%20course/202409_Ed_Malina.pdf)

2014-ben bocsátották fel az első Sentinel egységet, a Sentinel-1A nevű műholdat. 2013-ban pedig megalkották az adatokhoz való hozzáférés szabályzatát, ami ingyenes hozzáférést biztosít egészen legalább 2035-ig a műholdak által készített felvételekhez bárkinek, a Copernicus saját weboldalán keresztül (László et al. 2014).

A Sentinel-2 két darab, közel 800km-es magasságban keringő műholdból áll (Habyarimana et al. 2019). Erre azért van szükség, hogy gyakrabban készüljenek képek a Föld ugyan azon pontjáról, ugyanis a két műhold pontosan a Föld két ellentétes pontján helyezkedik el. Ebből a magasságból 290 kilométer széles az adott pillanatban készített kép. Az ilyen széles képek, és az, hogy egyszerre 2 műhold is pásztázza a felszínt, az egyenlítőnél öt naponta képes ugyan arról a területről képet készíteni, a magasabb szélességi körön akár két naponta is visszatér az adott pontra (Habyarimana, & Baloch 2021).

A növények távérzékelőkkel való megfigyelése elsősorban a reflektancián alapul. A reflektancia egy adott objektum (esetünkben a növények) által visszavert, valamint a beeső sugárzás hányadosa. A reflektancia felelős azért, hogy bizonyos tárgyakat milyen színűnek látunk. A zöld növényeknél a látható fénytartományon belül, a közepes hullámhosszúsnál (tehát a zöld színnél) magas a reflektancia szintje, azaz azt verik vissza a leginkább, így mi zöldnek látjuk őket.

A Sentinel-2 spektrális műszere összesen tizenháromsávban méri a felszínről visszavert sugárzást a közeli infravöröstől a rövidhullámú infravörösre. Ezekből alakul ki három féle felbontás típus, a 10 méteres, a 20 méteres és a 60 méteres. Ez azt jelenti, hogy ami a felvételeken 1 pixel, az a valóságban tíz, húsz vagy hatvan méter. Az ilyen formában készült képeket elküldi ESA földi szegmensének, ahol feldolgozzák, archiválják és közzéteszik őket.

Én a méréseim során a húsz méteres felbontást használtam. Az 5. ábrán látható, hogy a szenzorokon belül melyik csatorna, melyik hullámhossz tartományt teszi láthatóvá.

	Színtartomány neve	Csatorna száma	S2A hullámhossz középérték (nm)	S2B hullámhossz középérték (nm)
ρ_{blue}	kék (látható)	B02	492,4	492,1
ρ_{green}	zöld (látható)	B03	559,8	559,0
ρ_{red}	piros (látható)	B04	664,6	664,9
ρ_{vnir1}	közeli infravörös	B05	704,1	703,8
ρ_{vnir2}	közeli infravörös	B06	740,5	739,1
ρ_{vnir3}	közeli infravörös	B07	782,8	779,7
ρ_{vnir4}	közeli infravörös	B08	832,8	832,9
ρ_{vnir5}	közeli infravörös	B8A	864,7	864,0
ρ_{swir1}	rövid hullámhosszú infravörös	B11	1613,7	1610,4
ρ_{swir2}	rövid hullámhosszú infravörös	B12	2202,4	2185,7

5. ábra: Sentinel-2 érzékelő csatornák, és a hozzá tartozó hullámhosszok (Forrás: Vincze et al. 2023, https://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet/EMF035/PDF/15_Vincze-et-al_2023.pdf)

2.4. Távérzékelésre alapuló kutatások a témában

Egy 2022-es áttekintő cikk a távérzékelési technikák szerepét vizsgálta mezőgazdasági növények hozamának előrejelzésében. Kitértek a műholdak, radarok, drónok és egyéb, földi eszközök alkalmazására is. A műholdak nagy előnye, hogy nagy területeket képes lefedni egyetlen felvétellel, és időben is frissíthető, ami lehetővé teszi a változások folyamatos nyomon követését. Hátránya azonban, hogy nagy mértékben kitett az időjárásnak és a felhőzettségnek. Az általuk alkotott multispektrális képek viszont az egyik legtöbbször felhasznált formák, amiket termésbecsléshez használnak. A drónok szerepe egyre növekszik manapság a precíziós gazdálkodásban, hiszen alkalmasak kis területekről, nagy felbontású képeket készíteni. Hátrányuk, hogy beruházási igényesek, szaktudást igényelnek, a mérés körülményes lehet, valamint nagy területeknél nem túl praktikus. A radarok képesek felhős időben is felhasználható képeket készíteni nagy területekről, ezzel kiküszöbölve a műholdas mérések egyik negatívumát. Azonban nem képesek olyan indexekről adatokat szolgáltatni, mint az előbb

említett módszerek. A tanulmány hangsúlyozza ezen felül a kézi mérések fontosságát, bár ezek időigényesek és a nagy kiterjedésű táblák esetében nehezen kivitelezhetőek, fontosak lehetnek a hibrid megközelítések pontosság miatt. Kiemeli ezen felül még azt a jövőbeni esetleges problémát, hogy a nagy mennyiségű adat feldolgozása és tárolása, amely különösen a műholdas képek esetében jellemző, gondot okozhat (Abdelraouf et al. 2022).

2020-ban publikáltak egy tanulmányt, ami Maliban vizsgálja a műholdas és a földi alapú módszereket a cirok hozambecslésében (Lobell et al. 2020). Műholdas megfigyelésnél a Sentinel-2-t, a Planetscope-ot és a DigitalGlobe-ot használták. A tanulmány célja megvizsgálni, hogy a műholdas rendszerek megbízhatóbb hozambecsléseket tudnak-e nyújtani, különösen a cirokra összpontosítva, amely Mali egyik alapvető élelmiszerterménye. A kutatók 575 parcellán tesztelték a műholdas felvételeket. A hozam becslésére olyan indexeket használtak, mint például a Zöld Klorofill Vegetációs Indexet, a GCVI-t, valamint az NDVI-t. Arra az eredményre jutottak, hogy a műholdas becslések cirok állományban sokkal pontosabbak lehetnek, mint a földi alapúak. A tanulmány arra a következtetésre jut, hogy a műholdas adatokat és a földi alapú becsléseket kombinálva a jövőben javítható lehet a mezőgazdasági monitoring pontossága a kisgazdaságokban (Lobell et al. 2020).

3. Anyag és módszer

A következőkben bemutatom a kutatásom módszertanát, hogyan töltöttem le és alakítottam számszerű adatókká az információkat. Ezen kívül ismertetem az elemzett indexeket, a felhasznált területek talajtani adottságait és csapadékviszonyait.

3.1. Indexek

Azért választottam a vizsgálatához az NDVI indexet, mert alkalmas a zöld növényzet fejlődésének és vegetációs periódusainak nyomon követésére, a növényzet egészségi állapotának megfigyelésére, az aszály és egyéb tényezők okozta stressz nyomon követésére. Ezek a tulajdonságok lehetővé teszik, hogy esetleges összefüggéseket találjunk a kimutatott adatok és a termés hozamok között (Huang et al. 2021). Ezen felül könnyen hozzáférhető és a gazdálkodók nagyrésze tudja miről van szó, ha meghalja a nevét. Számítása a 6. ábrán látható módon történik.

$$NDVI = \frac{N_{IR} NIR - R_{ed} Red}{N_{IR} NIR + R_{ed} Red}$$

6. ábra: NDVI érték számítása (Forrás: Huang et al. 2021)

Ahol a NIR a közeli infravöröst, a Red pedig a vörös hullámhossz tartományt jelöli. Az NDVI-értékek -1 és 1 között változhatnak. Általában az értékei negatívak a vízfelületek esetében, közel nulla értékek a sziklák, homok vagy betonfelületek esetében, és pozitívak a növényzet esetében, beleértve a mezőgazdasági terményeket, fűféléket és erdőket.

A Sentinel-2 által szolgáltatott ilyen jellegű képek előnye, hogy analízisre készek az adatok, hiszen korrigáltak a légköri hatásokra, és így közvetlenül felhasználhatók az NDVI kiszámítására.

Az NDVI-on kívül még az EVI indexet használtam méréseim során. Az EVI jelentése továbbfejlesztett vegetációs index. Az EVI-t módosított NDVI-nak tekintették, amely a környezeti tényezők hatásának csökkentése révén javított érzékenységgel rendelkezik, ami így lehetővé teszi a vegetációk jobb megfigyelését. Az NDVI-val ellentétben az EVI a nevezőjében tartalmaz egy állandó kifejezést, a talajkiigazítási tényezőt, az L-t (lásd 7. ábra) (Matsushita et

al. 2007). C1 és C2 pedig a kék és a vörös sávban történő aeroszolszórás korrekciójára használt együttthatók.

$$EVI = G \times \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + (C_1 \times \rho_{red} - C_2 \times \rho_{blue}) + L}$$

7. ábra: EVI egyenlete (Forrás: Sukmono 2018)

3.2. Területek talajtani jellemzői

Kutatásomhoz szükségem volt cirokkal vetett területekre, helyrajzi számmal és a hozzá kapcsolódó terméshozammal. A családi gazdaságunk 2023-ban, 25 hektáron vetette először a növényt, így egyértelmű volt, hogy ez a terület része lesz a tanulmánynak. Egy tábla azonban természetesen nem elég egy reprezentatív vizsgálat folytatásához, így felkerestünk olyan gazdákat, akik szintén foglalkoznak cirok termesztéssel. Két bátaszéki, illetve egy decsi gazda készségesen megadta nekünk a kellő adatokat, amivel dolgozni tudtunk, valamint beleegyeztek, hogy területeik szerepeljenek a dolgozatban. Ezen felül, célom volt több év hozamát és adatait is összevetni, ennek megfelelően a gazdaságunk 2024-es cirok területét, illetve a konzulensem, Balogh János tábláját is felhasználtuk a kutatáshoz. Az így meglévő adatsort az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat: Felhasznált területek adatai

Telephely	Terület nagysága (ha)	Hozam (t/ha)	Vetési év
Iregszemcse	25	8.9	2023
Iregszemcse	16.8	4	2024
Bátaszék	60	10	2023
Bátaszék	20	9	2023
Decs	17	9.7	2023
Decs	11	9.7	2023
Kartal	60	9.38	2019

A termőhelyek jellemzését illetően részletes laborvizsgálati eredmények csak a saját területinkről állnak rendelkezésre. Az a tábla (1-es), amelyikbe 2023-as évben történt a cirok vetés, Újireg nevezetű falu körzetében található. Ez egy csernozjom talaj, azaz az egyes

termőhelyi kategóriába tartozik. PH-ja 7.6-os értékkel semlegesnek-enyhén lúgosnak mondható. Az Arany-féle kötöttségi szintje átlagosan 43, a Humusz százalék pedig 2.3-2.4 között alakul. Ebből megállapítható, hogy a humuszszintje gyenge. Foszfor szintje viszont igen jó, hiszen CaCO_3 százalékos megoszlása átlagosan több mint 6, a P_2O_5 koncentráció pedig 270-től 300 mg/kg-ig terjed. A kálium ellátottság 43-as Arany-féle kötöttség és 250 mg/kg oldható foszfor koncentráció mellett jónak minősíthető.

A 2024-es cirok vetés pedig egy barna erdőtalajba történt (így a második termőhelyi kategóriába tartozik) Iregszemcse falu körzetében. Semleges, 6.8-as pH-val rendelkezik. Arany-féle kötöttségének értéke 43, humusz százaléka pedig átlagosan 1.6. Ezzel elmondható, hogy humuszban gyenge a talajunk. Magas karbonátosság mellett (1.5), a felvehető foszfor koncentrációja 110 mg/kg, tehát a foszforellátottság közepesnek bizonyul. Ez szintén elmondható a káliumról is, 43-as kötöttség, és 150 mg/kg felvehető kálium koncentráció mellett.

3.3. Módszertan

A megadott helyrajzi számok alapján beazonosítottam a termőhelyeket a Mepár portál (<http3>) felhasználásával, majd ezek után a Copernicus böngészőjében (<http4>) kikerestem azokat és kijelöltem őket figyelve arra, hogy ne kerüljön a kijelölésbe olyan rész, ahol nem a céltermés van (erdősávok, szegések). Ezt követően egyesével, minden táblánál átnéztem a május hónaptól augusztus közepéig készült képeket. Erre azért volt szükség, mert a műholdfelvételek egyik nagy hátránya az, hogy felhős időben nem tud felhasználható képeket készíteni. A Copernicus ezért alkalmaz egy állítható felhőszűrőt, ami megmutatja, hogy az egyes napokon a területről készült képek hány százalékát borítja esetlegesen felhő. Azonban, ha valamelyik képnél például 30%-a felhőborítás, lehetséges, hogy az általunk megfigyelni kívánt területet ez nem érinti, így felhasználható lesz az adott napi kép. Ezzel ellentétben arra is van példa, hogy az a 30% pont kitakarja, vagy csak éppen belelóg a kijelölt táblánkba, így értékelhetetlenné téve azt. Valamint, ha vékony a felhőréteg, azon még átlát a műhold képalkotó rendszere, de hamis adatokat fog tartalmazni az elkészült anyag, és a rendszer sem jelez felhőborítottságot. Az ilyenkor készült felvétel sokkal sötétebb tónusú, mint a többi, így könnyen észrevehető és szelektálható átnézés közben.

Ahhoz, hogy NDVI, illetve EVI adatokat tudjunk kinyerni a képekből, egyéni scriptekre volt szükségünk a letöltések előtt, mert az Rstudio nevezetű feldolgozó szoftver így jobban kezelte az adatokat.

Azokat a képeket, amiket ezek után megfelelőnek találtam, letöltöttem és külön mappába gyűjtöttem a területek szerint. Az Rstudio-ban megírtuk a szükséges kódot, ami név szerint beolvassa a mappákat és kiolvassa belőle a képeket dátum szerint. A felismert képeken minden pixelből kiolvas egy értéket (NDVI képből az NDVI indexet, EVI képből az EVI indexet), majd ezeket az értékeket összesíti és átlagolja. Tehát minden táblánál, minden időponthoz hozzárendel egy átlag indexet. Az így kapott adatokat pedig egy Excel táblázatba menti el.

Ezeket az adatsorokat egy táblázatban összesítettem az Excel segítségével, majd egy újabb Rstudio kódon futtattuk őket végig. Ebben a kódban először beolvastattuk a fájl címét, majd megadtuk, hogy a táblázat melyik oszlopaiban helyezkednek el a dátumok. Így a szoftver már tudta, hogy ezeket dátumokként kezelje, a további oszlopokat pedig az indexekként. Ez után ábrázoltattuk ezeket az értékeket egy grafikonon, ahol az x tengely a dátumokat, az y tengely pedig az értékeket jelöli nullától egyig.

Majd egy modell illesztési kódsort futtattunk le rajtuk az Rstudio segítségével, ami megadja az egyes grafikonok meredekségét. Ezeket az adatokat is összesítettük és rendeztük táblák szerint. Az illesztett modell egy szigmoid görbe volt, amit gyakran használnak a növényi növekedés leírására (Khacim et al. 2022). Az illesztett modell a következő volt: $f(x) = a / (1 + e^{-c_1 * (x - c_2)})$

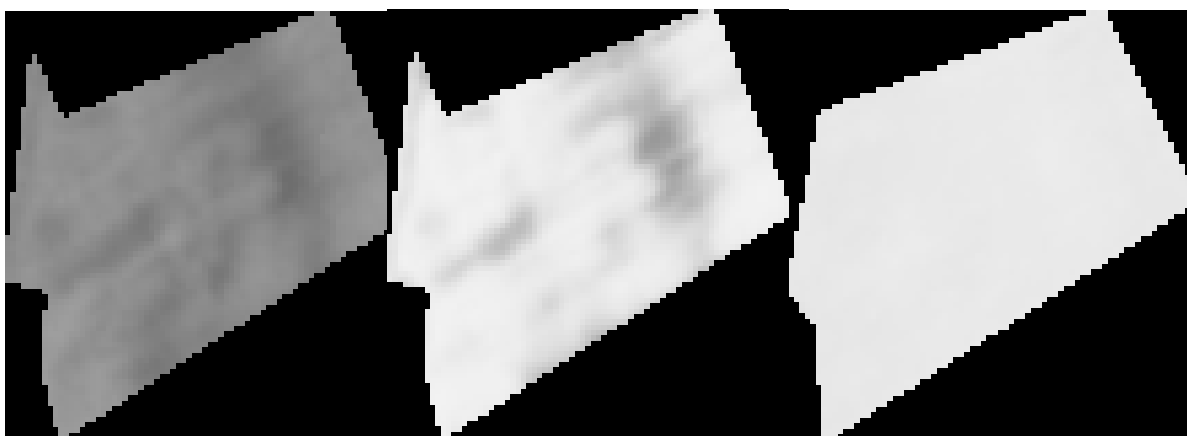
ahol a paraméter a növekedés (vagy az azt jellemző vegetációs index) maximuma, c_1 a modell meredeksége, c_2 pedig az inflexiós pont helyzete.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Eredmények bemutatása állományonként

A korábban részletezett módon kiválogatott Sentinel-2 képekről készült index adatsorokat először táblákként szeretném elemzi, majd ez után egymással összevetésben.

Az első elemzett tábla Tolna vármegye, Újireg nevű falu határában található, és 2023-ban történt a növények vetése. Az OMSZ adatbázisa szerint a növény vetésétől az aratásig (május 5. – szeptember 20.) az átlaghőmérséklet $20.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, valamint ez idő alatt összesen 290 mm csapadék esett. A műholdfotók változásait az idő előrehaladtával a 8. illetve 9. ábra szemlélteti.



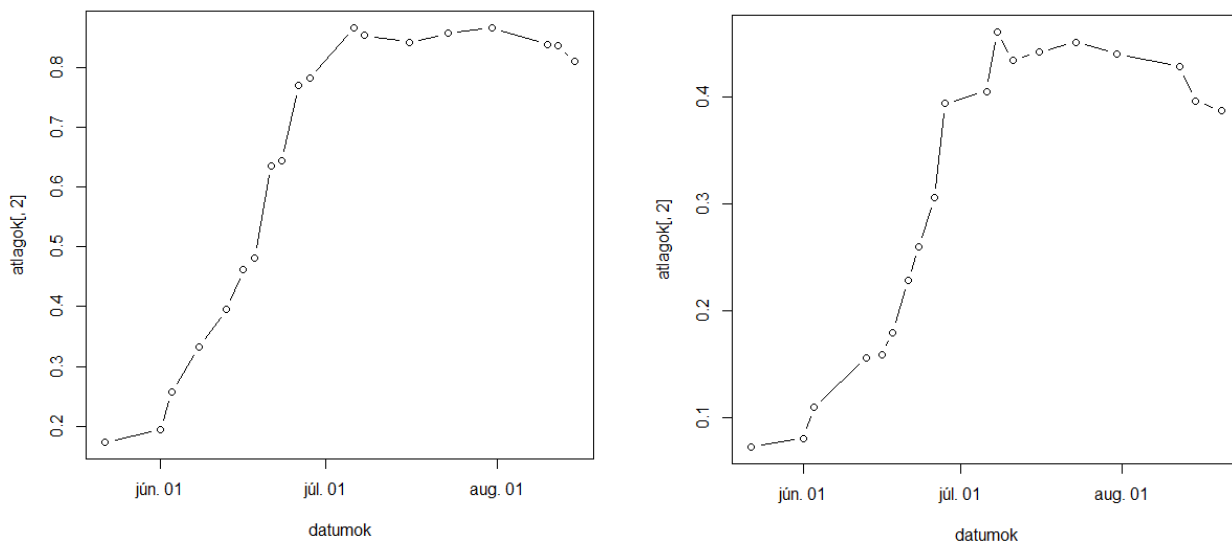
8. ábra NDVI képek időbeni változása (06.03. – 07.16 – 08.15.)



9. ábra EVI képek időbeni változása (06.03 – 07.16 – 08.15)

Ennek a területnek a hozama 2023-ban 8.9 t/ha volt. A minimum átlag NDVI érték, amit itt mértünk a május 22-től augusztus 15-ig terjedő időszakban 0.173 volt, 0.017 mértékű szórással. Természetesen ezt a legkorábbi időpontban mértük, május 22-én. A legnagyobb kapott adat

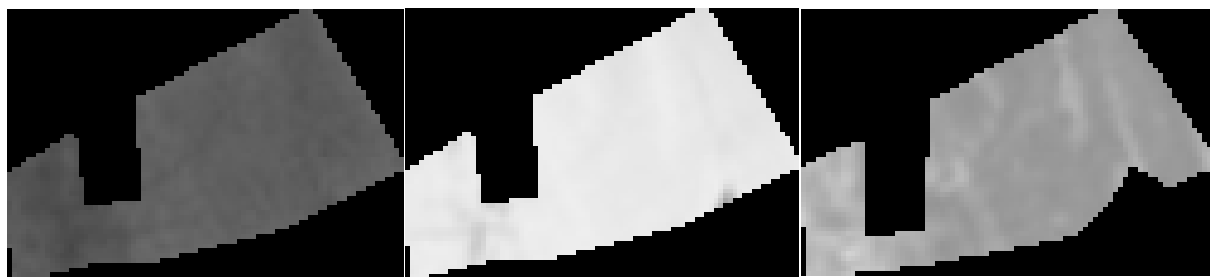
0.865 volt, 0.005 mértékű szórással, ami meglehetősen alacsony. Ez július 31-éhez tartozott. Ebből adódóan az adatsor tartománya 0.692. Az EVI-t illetően a legalacsonyabb 0.073 volt, szintén a legkorábbi, május 22-es időpontban. A legmagasabb viszont egy másik napra esett, július 7-re, 0.460. Az így kialakult tartomány pedig 0.387 lett. Az adatokon felül minden tábláról készült egy grafikon, ami bemutatja az indexek időbeni változásait. (10. ábra)



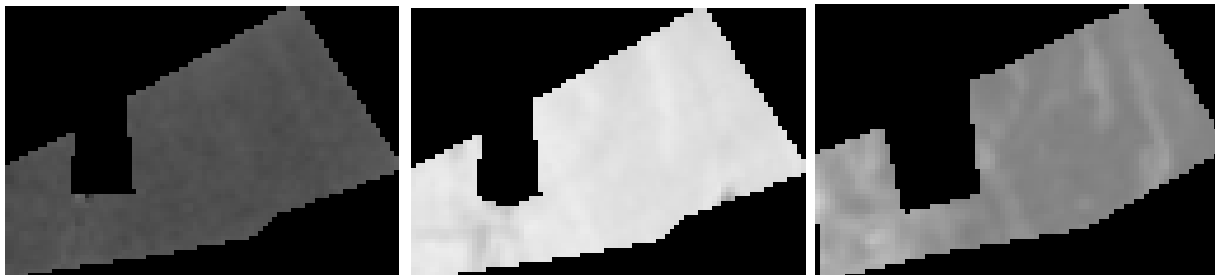
10. ábra: 1-es tábla NDVI grafikonja (bal) és EVI grafikonja (jobb)

Az grafikonokon jól látható, hogy az első kép kezdetétől folyamatosan emelkednek az indexek értékei július elejéig. Az NDVI esetében július 6-án azonban ez megállt és innentől enyhe csökkenés indult el. Az EVI görbe lefutását tekintve megegyezik az NDVI-val, viszont itt a csökkenő szakasz sokkal meredekebb.

A második termőterület Iregszemcse határában helyezkedik el, a vetés pedig 2024-ben történt. A terület domborzati adottságai miatt, itt az öntözés nem kivitelezhető, így a nyáron fellépő aszályos időszak rányomta a bélyegét a termés hozamra, ami 4 t/ha lett. Ez a műholdfotókon és az indexek változásain is erőteljesen meglátszik. (11.-12. ábra)

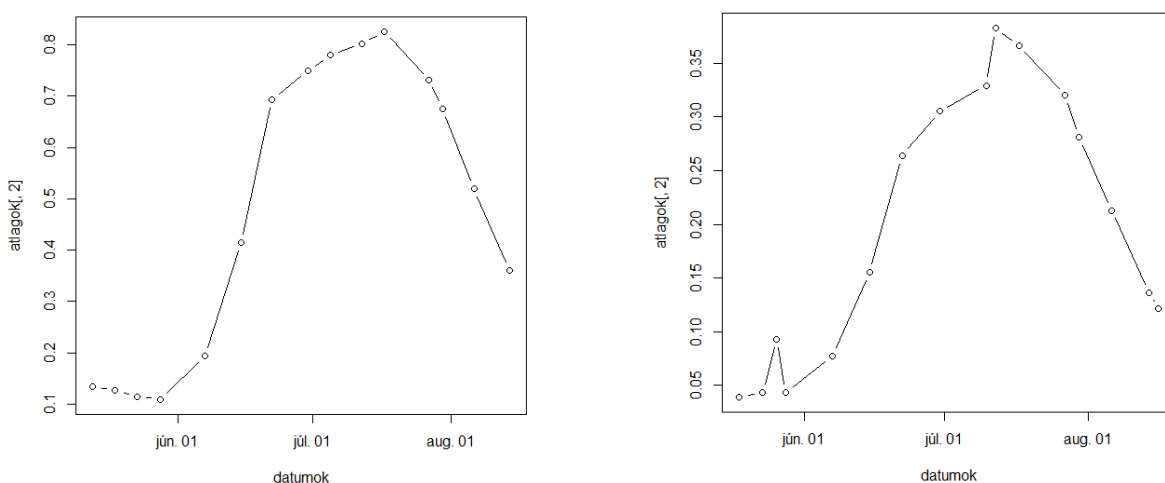


11. ábra: NDVI képek időbeni változása (05.23. – 07.12. – 08.14)



12. ábra: EVI felvételek időbeni változása (05.23. – 07.12. – 08.14.)

Az itt mért legalacsonyabb NDVI érték 0.109 volt, 0.014-es szórással. Ezt azonban nem a mérés kezdetekor, hanem május 28-án jelentkezett. A legmagasabb index pedig július 17-én volt észlelhető, 0.805-del, aminek szórása 0.034. Ebből adódóan az adatok tartománya 0.696. Az EVI- t illetően a legalacsonyabb átlag érték a mérés első napjához kapcsolódik, 0.039-cel és 0.038-as szórással. A legnagyobb index 0.382 volt, aminek a szórása 0.373 lett. Ezek alapján a táblához tartozó EVI mérések tartománya 0.343. A terület grafikonjain szembevetően észlelhető a közel két hónapos nyári csapadék mentes időszak. (13. ábra)



13. ábra: 2-es tábla NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonja

Mindkét ábrán jól látszik, hogy az NDVI esetében július 15. után, míg az EVI-nál július 12. után drasztikus visszaesés megy végbe. Egy hónapnyi idő alatt az értékek közel a harmadukra csökkentek. Ezt egyik másik esetben sem figyeltük meg. Oka mindenképpen a nyáron bekövetkező szárazság volt, amit mindkét index kitűnően szemléltet. A gyakorlatban is érződött ez a szintű visszaesés, hiszen már augusztus utolsó hetében, deszikkálás után biztonságosan betakarítható nedvességi szintre száradtak a szemek. Ehhez képest a 2023-as

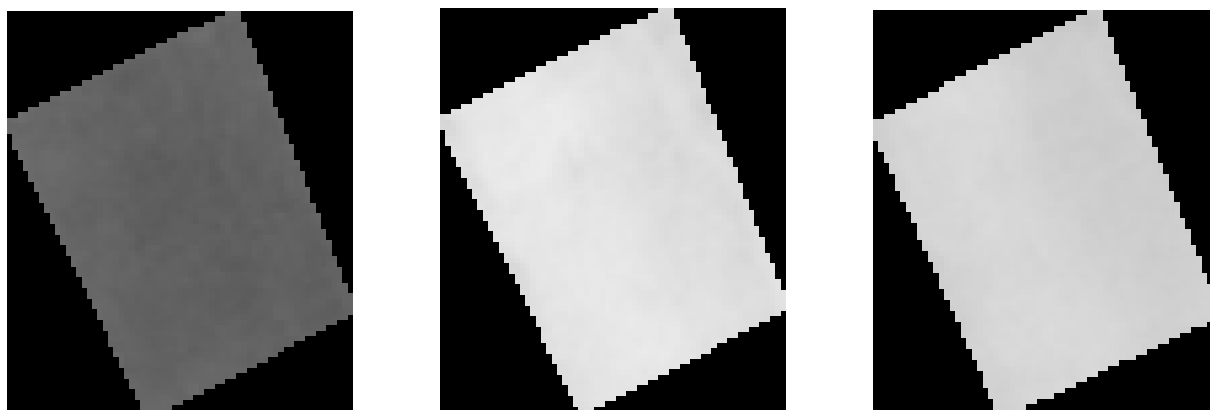
vetésű cirok aratása szeptember végén történt, és utólagos terményszárításra is szükség volt a tárolhatóság végett.

Egyiknél sem figyelhető meg stagnáló szakasz. Az EVI grafikonjának első mérései között van egy kiugró érték, aminek okára nincs konkrét magyarázat. Feltehetően a kép készítése közben merült fel valamilyen anomália. Ezen kívül a felfutó szakasz utolsó harmadában az EVI index erősebb növekedést mutat.

A harmadik terület Bátaszék határában helyezkedik el. Az ebben a térségben található talajok nagy része lösz talaj, aminek kedvező vízgazdálkodása révén pozitív hatása van a mezőgazdasági termelésre. A borászatáról híres a térség alapvetően, de a szántóföldi növénytermesztés is magas színvonalú. A növény tenyész időszakában az átlaghőmérséklet $21.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, valamint összesen 287 mm csapadék hullott. A 14. és 15. ábrán megfigyelhető a területről 2023-ban készült képek folytonos változása.



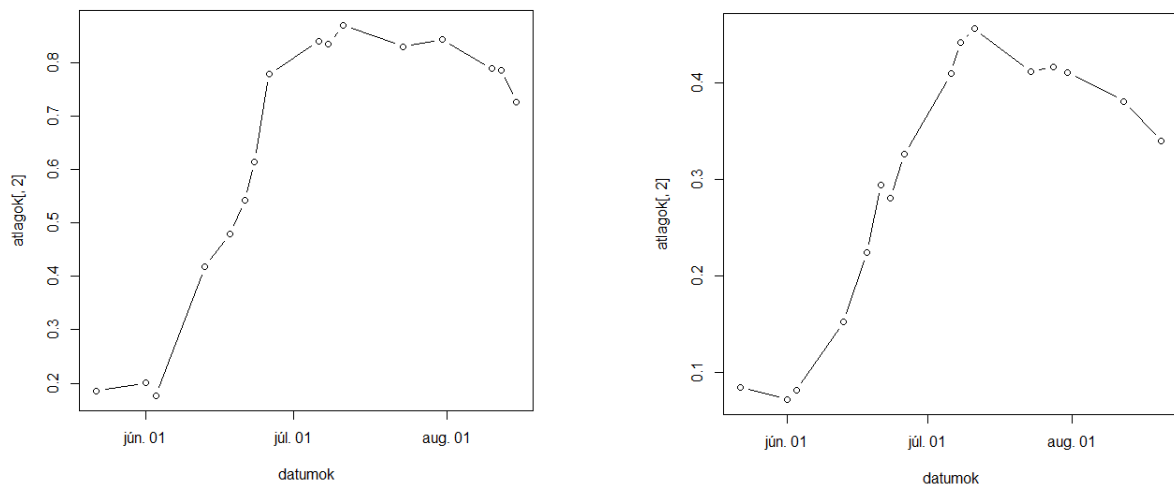
14. ábra 3T-ről készült NDVI időszakos változása (06.01. – 07.08. – 08.12.)



15. ábra 3T-ről készült EVI időszakos változása (06.01. – 07.08. – 08.12.)

A terület közel 60 hektáros és 10 t/ha volt az átlagos hozama. Az itt mért legkisebb átlagos NDVI index 0.176 volt június 3-án. Ezzel szemben a legmagasabb érték pedig 0.870 körül

alakult július 11-én. Ebből kiszámítható, hogy az időszak alatt az index tartománya 0.694. Az EVI adatok azt mutatták, hogy a minimális indexet, 0.072-t június 1-én lehetett mérni, ami 2 nappal eltér az NDVI által mért legalacsonyabb érték napjától. Az index tetőzésének időpontja viszont megegyezik az NDVI tetőzésével, hiszen itt is július 11-én mértük a szám szerinti 0.456-os adatot. A területhez tartozó index tartomány 0.384. Az adatokat bemutató grafikonokat a 16. ábra tartalmazza.

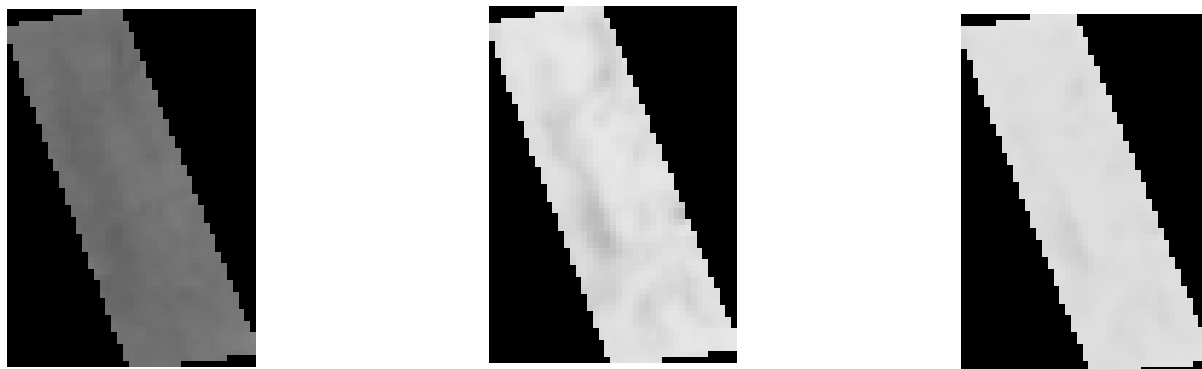


16. ábra: 3T NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonok

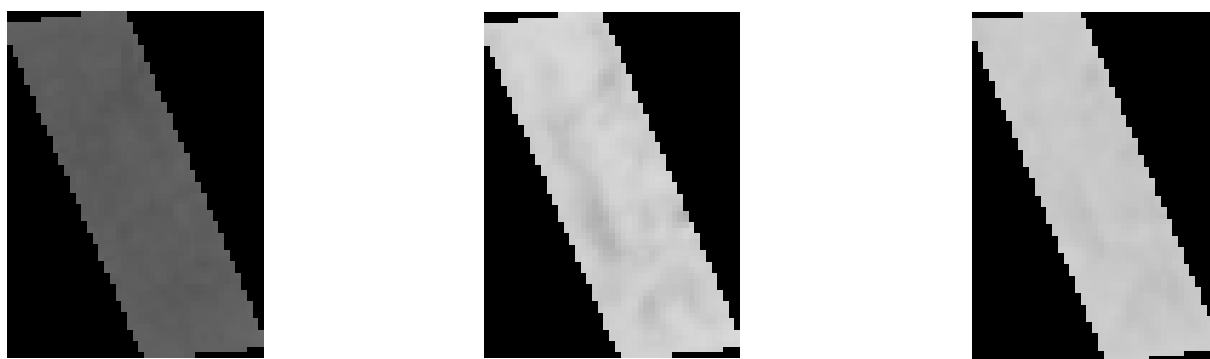
Látható, hogy az EVI grafikonján két nappal előbb kezdődik meg a felfutó szakasz, mint az NDVI-nál, valamint nem figyelhető meg stagnáló szakasz. Az NDVI értékek között minimális az eltérés a júliusi hónapban, és csak augusztus bekövetkeztével indul meg a csökkenés. Az EVI viszont amint eléri a maximumát, visszaesik és folyamatosan redukálódik. Ezen kívül a visszaesés mértéke is arányaiban nagyobb az EVI indexnél.

A negyedik vizsgált állomány szintén Bátaszékhez tartozik. Ez egy 20 hektáros tábla, aminek a cirok hozama 2023-ban 9 t/ha volt. A harmadik és a negyedik vizsgált tábla viszonylag egymáshoz közel helyezkedik el, így megközelítőleg azonos környezeti hatások érték őket, a talaj típusa, de a felhasznált cirok fajta is megegyezik. Egyedül a termesztés technológiában

feltételezhetőek különbségek, hiszen két különböző gazda tulajdonolja a területeket. Az állományról készült felvételeket a 17.-18. ábra mutatja be.



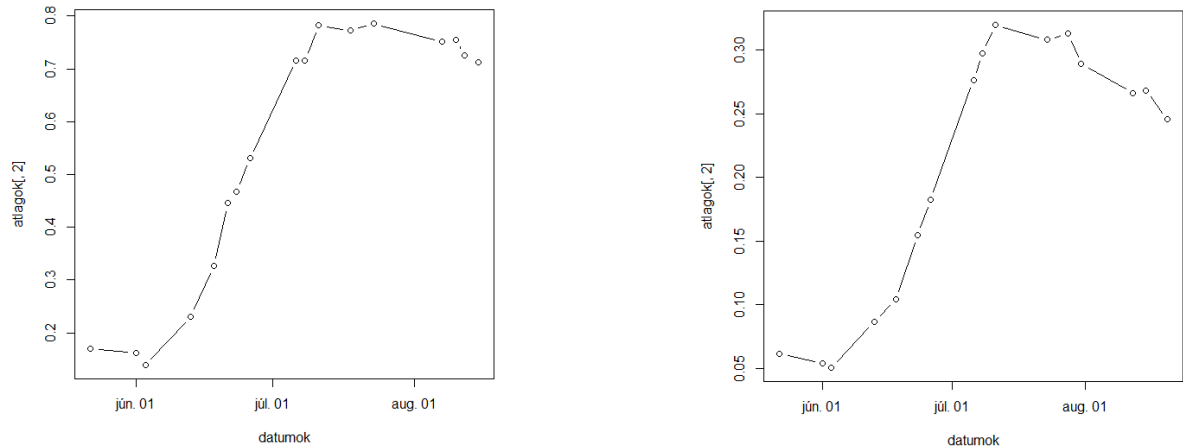
17. ábra: 4T-ről készült NDVI felvételek (06.01. – 07.08. – 08.15.)



18. ábra: 4T-ről készült EVI felvételek (06.01. – 07.08. – 08.15.)

Ebben az állományban a legalacsonyabb NDVI értéket június 3-án figyeltük meg, 0.139-et. Valamint a legmagasabbat, 0.782-t július 11-én, ami megegyezik a 3T időpontjával. Ebből adódóan feltehetőleg nem volt szignifikáns különbség a vetés idejét tekintve, azonban az index nagysága jóval elmarad az előző táblán megfigyelhetőhöz képest. Ennek több oka is lehet, amire egyértelmű választ nem tudunk adni, hiszen a gazdák a felhasznált technológiát nem osztották meg velünk. De következtethetünk esetleg kisebb állomány sűrűsége, kevesebb nitrogén kijuttatásra, esetleg a terület domborzati adottságaiból adódó okokra. Az értékek tartománya ebben az esetben 0.643. Az EVI-t illetően a minimum érték 0.050 volt június 3-án (ugyan úgy, mint az NDVI esetében), a maximum pedig 0.312, július 11-én (szintén megegyező

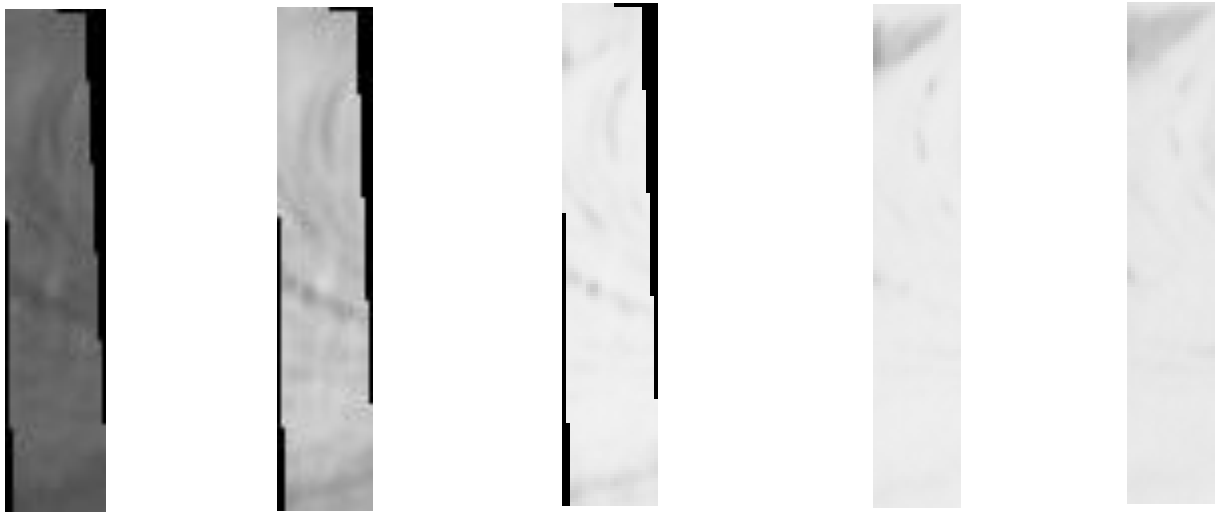
időpontban). Az így kialakult tartomány pedig 0.262. Az eredményeket ábrázoló grafikonokat a 19. ábra szemlélteti.



19. ábra: 4T NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonjai

Az ábráról leolvasható, hogy a növekvő szakasz szinte teljesen megegyezik a két esetben, azonban a stagnálás utáni csökkenés sokkal markánsabb az EVI index esetében és hamarabb is kezdődik el.

Az ötödik terület a Tolna vármegyei Decs nevű településhez tartozik. Decs mindössze 15km-re található Bátaszéktől északra. A jellemző talajtípus ebben a térségben a csernozjom talajok, ez alól az általunk vizsgált tábla sem kivétel. Méretét tekintve 17 hektáron terül el, a hozama pedig 9.7 t/ha volt 2023-ban. A területen a tenyészidőszak alatt az átlaghőmérséklet 20.7 C° körül alakult, ezen felül pedig 272 mm csapadék esett. Erről a területről készült felvételeket a 20-21. ábra mutatja be.

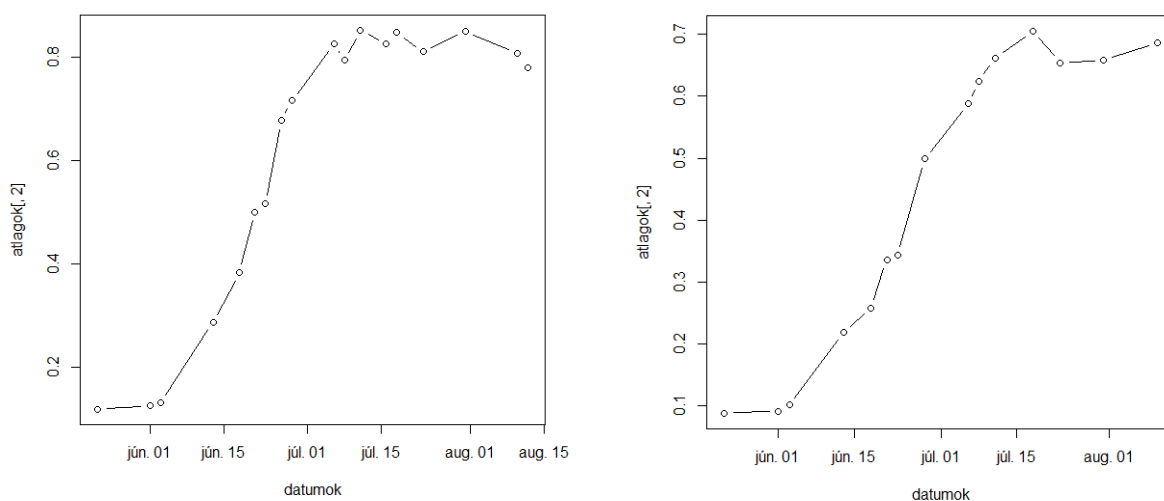


20. ábra: 5T NDVI felvételek (06.03. – 06.23. – 07.08. – 07.23. – 08.12.)



21. ábra 5T EVI felvételek (06.03. – 06.23. – 07.08. – 07.23. – 08.12.)

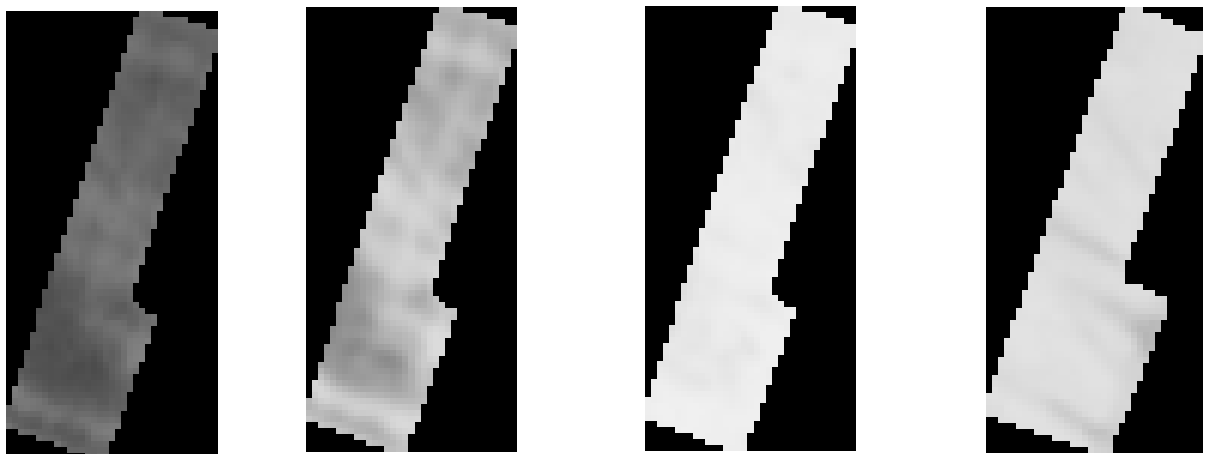
Az itt készült képekből kinyert legkisebb NDVI érték 0.117, amit az első mérés alkalmával mutattunk ki, május 22-én. A legnagyobbat pedig 0.851-gyel július 11-én mértük. Így az időszak alatt mért index tartománya 0.734 lett, ami a hét vizsgált terület között a legnagyobb. A minimális EVI indexet szintén az első napon mértük, 0.088 május 22-én, szórása pedig 0.021. A maximális érték pedig 0.704, július 18-án, ami a legmagasabb EVI érték, amit kutatásom alatt mértem. Ennek a szórása 0.166. A kiemelkedően magas maximális érték végett a táblához tartozó index tartománya is a legmagasabb lett 0.616-tal. Az adatokat bemutató grafikont a 22. ábra mutatja be.



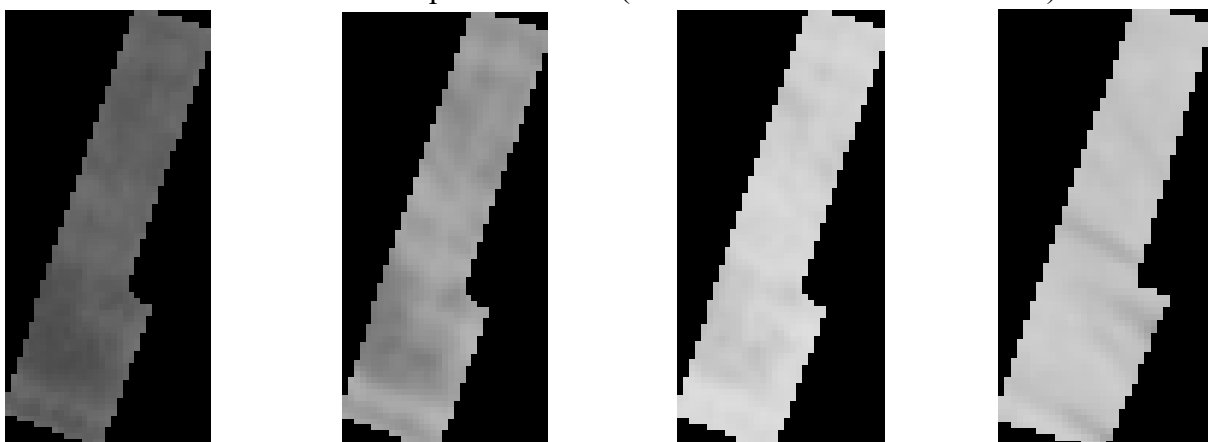
22. ábra: 5T NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonja

Az ötödik tábla sok szempontból érdekes mintázatokat mutat. Az eddigi állományok esetében a markánsan növekvő szakaszt általában egy stagnáló rész követte, majd egy süllyedés. Ebben az esetben viszont a felfutó szakasz után egy hullámmást láthatunk az indexeket tekintve. Az NDVI-nál augusztusban megindul a redukálódás, ezzel szemben az EVI eddig nem látott módon stagnálás helyett először egy visszaesés, majd egy enyhe növekedés figyelhető meg az értékekben. A növekedés kezdeti időpontja a két esetben megegyezik, a tetőzés viszont 2 nap eltéréssel történt.

A hatodik megfigyelt állomány szinte szomszédos az ötödikkel, területre valamivel kisebb, 11 hektáros. Ugyan úgy Decsen található, ugyan az a földhasználó, a talaj típusa, feltételezhetően a technológia is, valamint a termésátlag is megegyező 9.7 t/ha. Emiatt ez egy kiváló lehetőség volt arra, hogy összehasonlítsuk a két táblán mért adatokat, hiszen, ha alkalmasak ezek az indexek önmagukban a terméshozam előrejelzésére, akkor nagyon hasonló számokra kell számítani a két állomány esetében. Először azonban a felvételek változását mutatom be a 23-24. ábra segítségével.

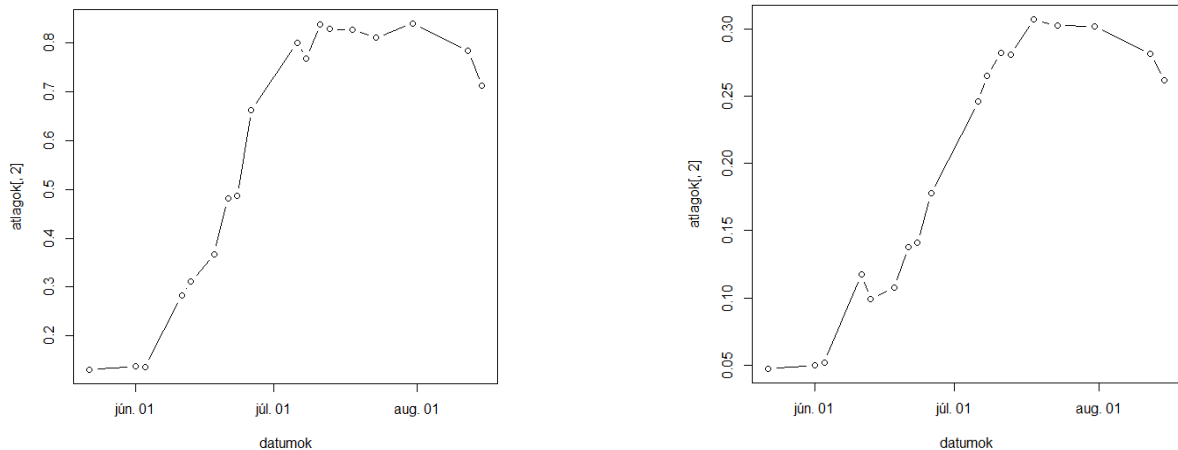


23. ábra: 6T NDVI képek változásai (06.03. – 06.23. – 07.13. – 08.15.)



24. ábra: 6T EVI képek változásai (06.03. – 06.23. – 07.13. – 08.15)

Az NDVI-t nézve a legalacsonyabb adat május 22-höz tartozik, 0.131-gyel és 0.013-as szórással. A legmagasabb pedig július 11-én volt az átlag érték 0.839-cel és 0.037-es szórással. Ebből adódóan az NDVI index tartománya itt 0.708. A minimális EVI az időszak alatt 0.047 volt, 0.053-as szórással, az NDVI-val megegyezően az első napon, május 22-én. A maximális érték pedig 0.307-tel július 18-ához tartozik, aminek szórása 0.346. Az itt mért adatokat is grafikonokon ábrázoltam, amik a 25. ábrán láthatóak.



25. ábra: 6T NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonjai

A két ábrán látható, hogy a felfutó szakasz az EVI-nál valamivel hosszabb, hiszen a minimumtól a maximumig az NDVI-nál július 11-ére jutott el, ezzel szemben az EVI július 18-ára. Ezt mindkét esetben stagnáló szakasz követi, az NDVI-nál hosszabb, az EVI-nál rövidebb. Majd egy visszaesés figyelhető meg, ugyan abban az időpontban és nagyjából megegyező mértékben.

Az hetedik és egyben utolsó vizsgált állomány Kartalon található, az eddigi területektől igencsak nagy távolságra, valamint időben is eltér, hiszen 2019-es vetésről készültek a felvételek. A térségre jellemző talajtípus a vörösayag. Ez a tábla jó lehetőséget biztosít arra, hogy megvizsgáljuk az esetleges összefüggések vonatkoztathatóak-e korábbi évjáratokra és merőben eltérő talaj adottságokkal rendelkező területekre is. Az OMSZ adatai szerint a tenyészidőszakban 350 mm csapadék hullott, illetve az átlaghőmérséklet 19.8 C körül alakult. A felvételek változásait a 26. és 27. ábra mutatja be.

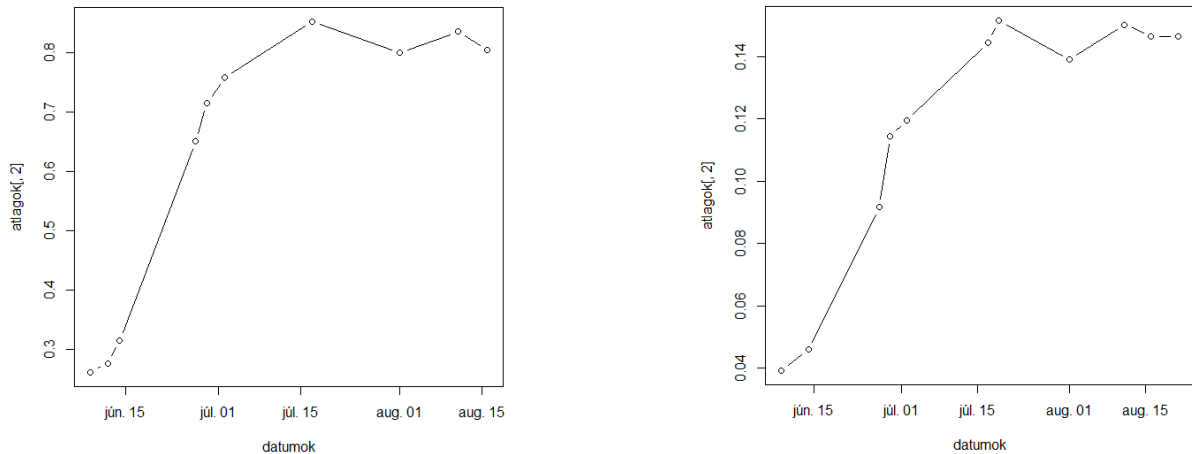


26. ábra: 7T NDVI képek változásai (06.09. – 07.17. – 08.16.)



27. ábra: 7T EVI képek változásai (06.09. – 07.17. – 08.16.)

Ennél az állománynál sajnos az első használható felvételek június 9-éhez kötődnek. Ez annak köszönhető, hogy az adott évben a május hónap meglehetősen felhősnek bizonyult, így korábbról nem készülhetett értékelhető kép. Ettől függetlenül a legkisebb észlelt NDVI érték 0.262, 0.028-as szórással, természetesen június 9-én mérve. A legnagyobbat pedig július 17-én mértem 0.852-vel és 0.026-os szórással. Az így kialakult index tartománya 0.590, ezzel ez a legkisebb ilyen érték, ez azonban betudható annak, hogy májusi adat nem állt rendelkezésre. A minimális EVI érték június 9-én 0.039 volt, amelynek szórása 0.077. A maximális érték július 19-éhez fűződik, 0.151-gyel és 0.297-es szórással. Ez a maximális érték meglepően alacsony és nagyban eltér az eddig tapasztalt számoktól. Ez feltehetőleg az évjárat, vagy az ilyen korai képek nem megfelelő minőségének az oka, de egyértelműen egyik variáció sem jelenthető ki. A kinyert adatokat a 28. ábra szemlélteti.



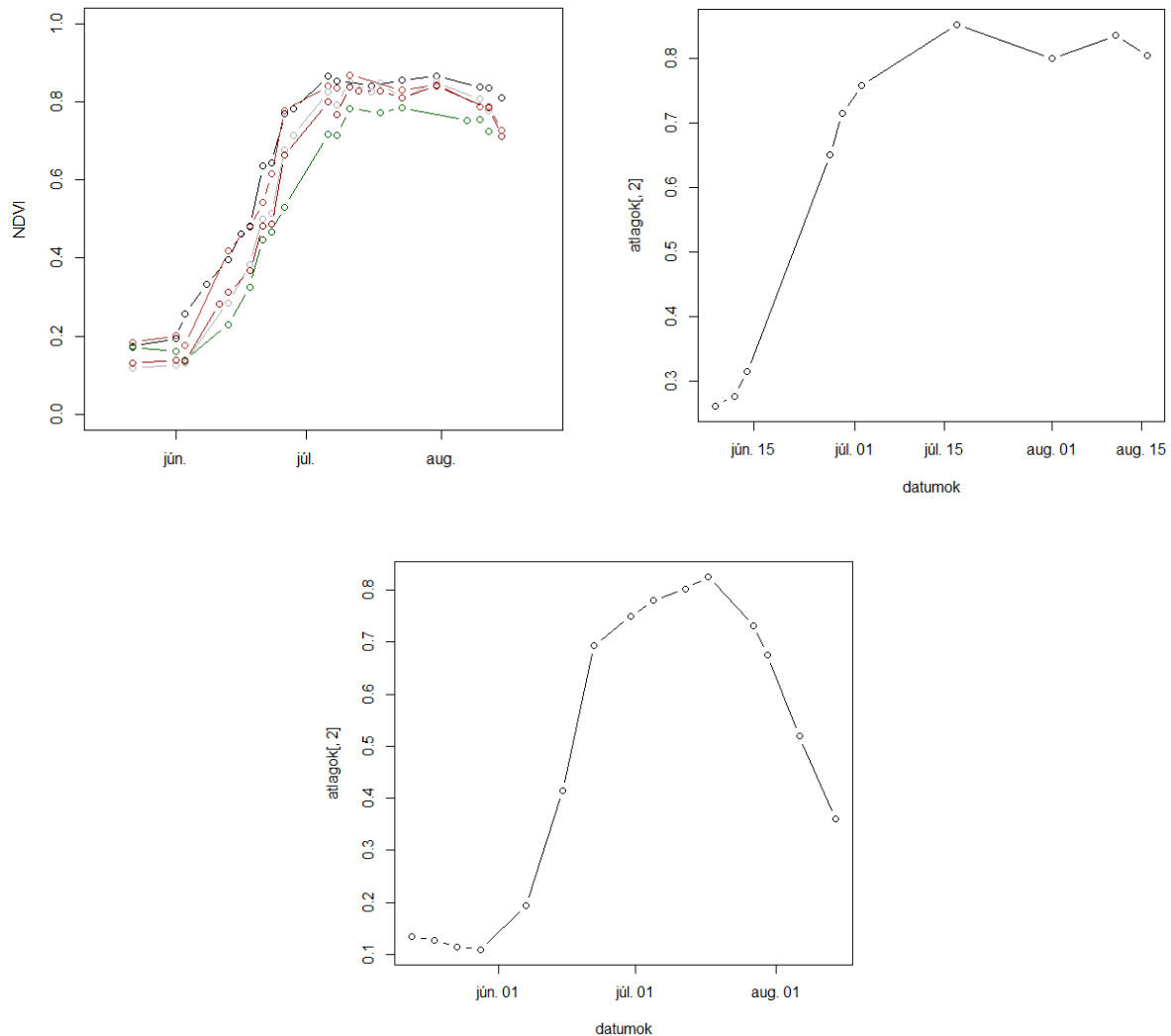
28. ábra: 7T NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonjai

A korábbiakhoz képest valamivel kevesebb képet lehetett feldolgozni erről a területről, de a folyamatok így is megfelelően látszanak. A két felfutó szakasz igen hasonló, a tetőzések között 2 nap eltérés van. A maximális értéket mindkét esetben egy stagnálás követi, valamint az eddigi tapasztalatokkal ellentétben augusztus 15-ig nem indul meg egyértelműen az indexek visszaesése.

4.2. **Összefüggések vizsgálata NDVI esetében**

A következőkben évekre lebontva és összegezve szeretném bemutatni a mérések után kapott eredményeket. Egy 2024-es magyar tanulmány búza terméshozamát próbálta megbecsülni NDVI segítségével, különböző fenológiai fázisokban. Ehhez két különböző érzékelőt használtak, a GreenSeeker kézi optikai növény szenzort és a MicaSense multispektrális kamerát. A GreenSeeker közvetlenül a terepről végzett méréseket, míg a MicaSense kamera egy drón segítségével gyűjtött adatokat. A búza növekedését hat különböző időpontban mérték április és június között, különböző mennyiségű trágyával ellátott parcellákon. Arra a megfigyelésre jutottak, hogy a drónnal használt kamera magasabb értékeket mért és egy pontot már elérte azt a pontot, hogy nem mutatott ki további növekedést. Ennek ellenére mindkét mérési módszert, illetve az NDVI-t is alkalmasnak ítélték a hozambecslésre, különösen 170 és 226 nappal a vetés után. Ebben az időszakban volt a legszorosabb a korreláció a hozamokkal. Egy, a környezeti hatások korrigálására szolgáló szoftvert is alkalmaztak, ami után a GreenSeeker eredményei pontosabbnak bizonyultak (Zsebő S. et al. 2024). Ennek alapján bíztam benne, hogy hasonló eredményre jutok én is az általam alkalmazott módszertannal. Először a grafikonok képét hasonlítottam össze, valamint a minimum-maximum, és a tartomány értékek korrelációját vizsgáltam meg a hozamokkal. Ez után a június közepétől augusztus közepéig tartó időszak értékeiben végbemenő átlagos visszaesést számoltam ki és hoztam összefüggésbe a termésátlagokkal.

A 2023-as vetésű cirok állományok NDVI eredményeit összesítve a következő (29./1. ábra) ábra mutatja be, amelyen fekete színnel van jelölve az első tábla (1T), barnával a harmadik tábla (3T), zölddel a negyedik tábla (4T), szürkével az ötödik tábla (5T) és pirossal a hatodik tábla (6T). Ezen kívül még látható a 2019-es és a 2024-es grafikon is.



29. ábra: NDVI értékek grafikonjai (1. 2023-as összesített; 2. 2019; 3. 2024)

Az ábráról leolvasható, hogy a 4T a többi görbéhez képest végig alacsonyabb értékeket vesz fel, az 1T és a 6T ezzel szemben szinte teljesen megegyező pályát írnak le. Előzetesen azt feltételeztem, hogy az 5T és a 6T grafikonjai szinte megegyeznek majd, hiszen majdnem szomszédosak egymással, megegyezik az alkalmazott technológia, valamint a hozamuk is ugyan az. Ezzel szemben azt tapasztaljuk, hogy a felfutó szakaszban igen távol helyezkednek el egymáshoz. Az 5T értékei magasabb szintről is indulnak, és meredekebb a kezdeti növekedés, mint a 6T esetében. A tetőzést követően azonban a csökkenésük nagyon hasonló képet mutat és több időpontban mért értékeik is közel azonosak. Arra számítottam, hogy a legnagyobb

hozamot produkáló terület, 3T grafikonja, ha csak minimálisan is, de ki fog tűnni a többi közül. Ez azonban nem így történt, hiszen az 1T görbéje emelkedik valamivel a többi fölé, annak ellenére, hogy ott volt 2023-ban a legkisebb terméshozam. Ha a 7T NDVI grafikonjára tekintünk, akkor azt látjuk, hogy teljesen passzol a többi görbe mintázatába, nincs benne kiemelkedően nagy eltérés egyik irányban sem, annak ellenére, hogy teljesen más évben történt a vetés. Igaz, hogy a hozama sem tér el a 2023-as vetésűektől. Ezzel szemben a 2T grafikonja már merőben más, mint a többi. A kezdeti növekedés megegyezik a másik táblánál látottakkal, azonban a görbe második felén végbemenő esés máshol nem volt tapasztalható. Ennek nyilvánvaló oka a nyári szárazság által előidézett stressz a növényben, aminek a kimutatására az NDVI leginkább alkalmas. Azonban az is egyértelmű, hogy egy ilyen mértékű stressz fellépése kihatással van a termésre, tehát van összefüggés. Ezek alapján az mindenképp megállapítható, hogy kizárólag a grafikonok képéből nem lehet következtetni a hozamok közti minimális eltérésekre, a markánsabbakra azonban már igen.

A következő részben bizonyos adatokat vettem össze a hozamokkal és kiszámoltam a köztük lévő lineáris regresszió determinációs együtthatóját (R^2). Az ehhez felhasznált adatokat a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: az állományokhoz kapcsolódó értékek

Tábla	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T
Min.	0.163	0.156	0.167	0.170	0.118	0.130	0.263
Max.	0.865	0.805	0.870	0.785	0.850	0.841	0.853
Tartomány	0.702	0.648	0.703	0.615	0.731	0.710	0.590
Visszaesés mértéke	-0.027	-0.513	-0.102	-0.063	-0.048	-0.081	-0.033
Tartomány+Visszaesés	0.675	0.135	0.601	0.552	0.683	0.629	0.557
Hozam	8.9	4	10	9	9.7	9.7	9.38

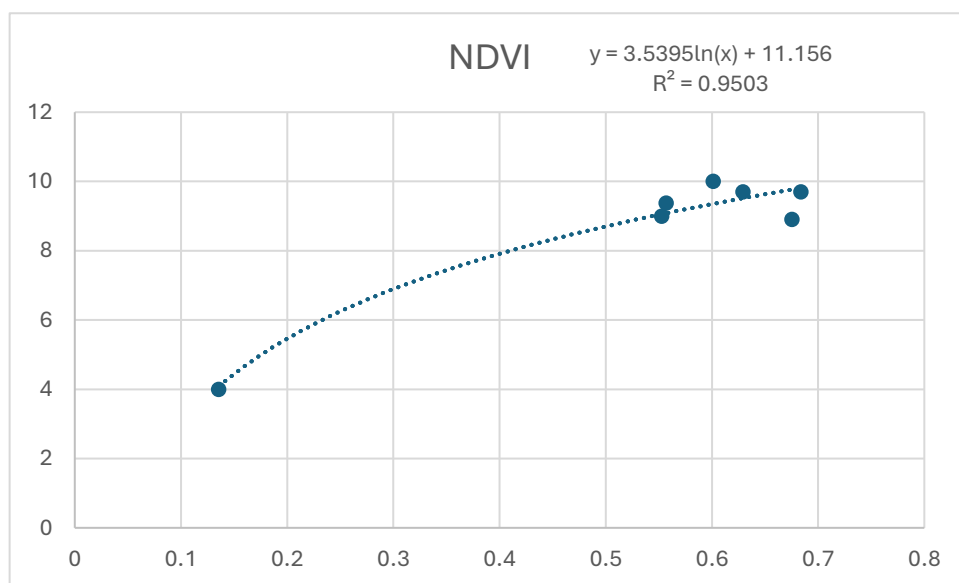
Ha az összes minimum adatot figyelembe vesszük, akkor a hozamokkal való összefüggés mértéke közel nulla, tehát csak ezeket figyelembe véve nincs a két adatsor között kapcsolat. A 2023-as évre lebontva azt az eredményt kapjuk, hogy az R^2 értéke 0.176, azaz így sem állapítható meg szignifikáns összefüggés.

Következésként a maximum értékeket vettem össze ugyan ezzel a módszerrel. Az összes értéket figyelembe véve az R^2 értéke 0.285, ami valamivel magasabb, mint a minimum érték esetében, de még mindig nem jelent összefüggést. Csak a 2023-as táblákra szűrve ugyan ez az érték 0.207, tehát erre is igazak az előbb leírtak.

Utoljára pedig a tartományokat (=maximum-minimum) hasonlítottam össze, szintén ezzel a módszerrel. Ha minden táblán mért tartományt figyelembe vesszük, akkor az R^2 értéke 0.07, tehát nincs kapcsolat általánosságban az index tartományok és a hozamok között. Csak egy évet figyelembe véve pedig a korreláció mértéke 0.327, ez a legmagasabb, amit eddig kiszámoltam, de ez sem jelent erős összefüggést.

A következő vizsgálat, amit elvégeztem, az a július közepétől augusztus közepéig tartó időszakra vonatkozó adatok elemzése. Azért nem határoztam meg konkrét időpontokat, mert nem minden táblánál egyeznek meg a mérési napok. Mindegyik táblánál az utolsó mérés napjától visszaszámoltam 30 napot, Excelben az egyenes egyenletének segítségével kiszámoltam az egy napra jutó index csökkenést, majd felszoroztam 30-cal. Az összes adatot figyelembe véve az R^2 értéke 0.903, ami azt jelenti, hogy erős összefüggés van a két adatsor között. Csak egy évre szűrve a korreláció mértéke 0.561. Ez kisebb kapcsolatot feltételez, de valamilyen szintű összefüggés így is megfigyelhető. Az összes adatnál a 2T alacsony termésátlaga és nagy arányú visszaesése pozitív irányba tolja el a korrelációt, de ha azt nem vesszük figyelembe, bizonyos mértékű összefüggés akkor is fellelhető.

Ezen felül megvizsgáltam az előzőekben taglalt visszaesés mértékét a tartomány értékek vonatkozásában is (tartomány + átlagos visszaesés). Hiszen így arányaiban vizsgálható a visszaesés mértéke, mert lehet, hogy kisebb volt a csökkenés mértéke egy adott táblán, de ha a tartománya is kisebb volt a többihez viszonyítva, akkor így meglehet, hogy nem lesz eltérés köztük. Ezek alapján ábrázoltam a kialakult értékeket a 30. ábrán az Excel segítségével. Ahol az x tengely az index változását, az y tengely pedig a hozamokat tünteti fel.



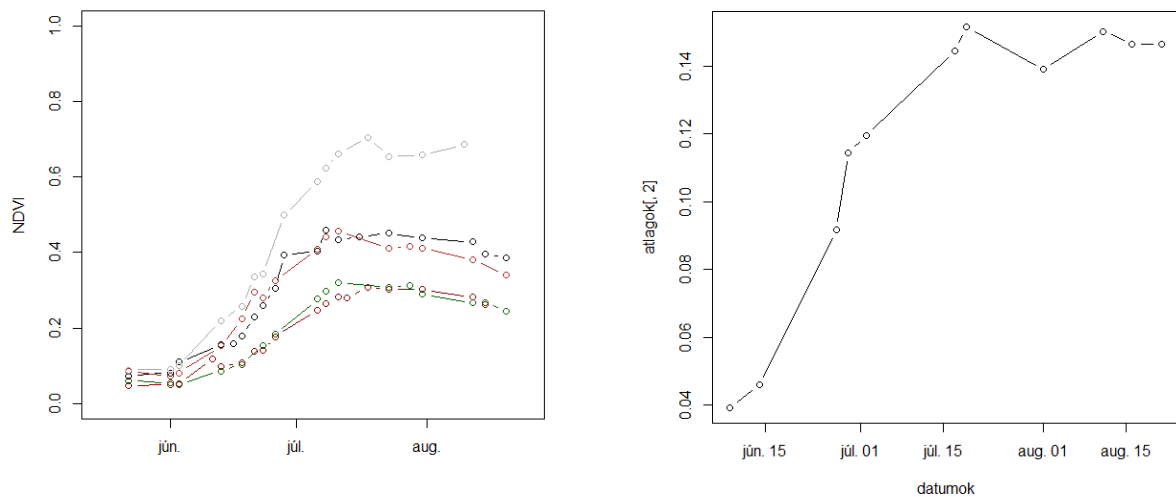
30. ábra: NDVI tartomány+visszaesés értékei ábrázolva

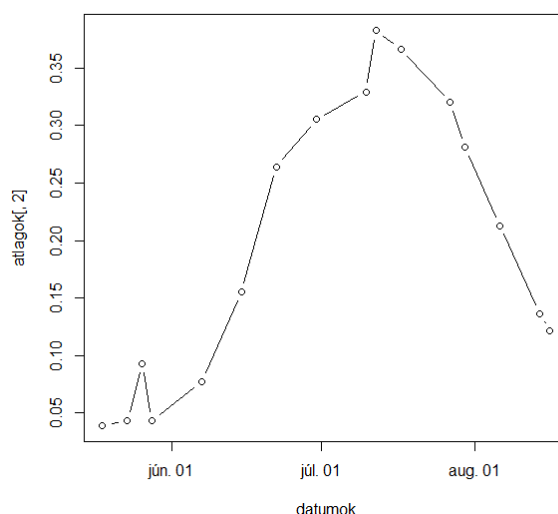
A kapott adatokra egy logaritmus trendvonalat illesztettem, aminek R^2 értéke 0.950 lett. Ez alapján egyértelmű, hogy a modell igen jól illeszkedik az adatokra. Mivel logaritmikus kapcsolatot vizsgáltam, az mondható el a kapcsolatról, hogy ha nagyon alacsony az így kapott értékünk, akkor az drasztikus hozamesökkenést fog eredményezni. Viszont minél magasabb lesz ez a szám, annál kevésbé van hatással rá. Egy, az Usa-ban készült tanulmány is többféle képpen vetette össze a búza, kukorica, szója és gyapot állományokról készült NDVI képekből kinyert adatokat. Ők is vizsgálták az adott év maximum NDVI értékét a hozam vonatkozásában, illetve ezen kívül még egy halmozott NDVI-t számoltak, azaz az évben mért összes adatot összeadták, így az indexbeli változásokat kívánták mérhetővé tenni és összevetni a hozamokkal. Ők is arra az eredményre jutottak, hogy a lineáris trendvonallal nem mindig mérhető megfelelően az adatok közti kapcsolat mértéke (Johnson et al. 2021).

4.3. Összefüggések vizsgálata EVI esetében

A következő fejezetben az EVI eredményeket szeretném megvizsgálni olyan formában, mint azt tettem az NDVI esetében is. Először a grafikonok képét fogom összehasonlítani, ez után az átlagos visszaesésnél számolom ki az R^2 értékét.

A 2023-ban vetett állományokról készült EVI görbéket a 31/1. ábra mutatja be, amelyen továbbra is fekete szín jeleli az első táblát (1T), barna a harmadik táblát (3T), zöld a negyedik táblát (4T), szürke az ötödik táblát (5T) és piros a hatodik táblát (6T).





31. ábra: EVI értékek grafikonjai (1. 2023-as összesített; 2. 2019; 3. 2024)

Azt látjuk, hogy a görbék jobban elválnak, mint az NDVI esetében (29. ábra). Az 5T grafikonja magasan kiemelkedik a többi közül, ezzel szemben, ha a 7T ábrájára tekintünk, annak olyan alacsony a maximuma, hogy ezen az ábrán alig látszana. Az ilyen mértékű változatosság akár utalhatna a hozamokra is, ez azonban nem így van. Nem az 5T-hez tartozik a legnagyobb termésátlag és nem is a 7T-nél volt a legalacsonyabb. A 3T és a 4T lefutása nagyon hasonló, szinte megegyezik, amit magyarázhat az, hogy egymáshoz nagyon közel helyezkedik el a két terület, de a hozamuk között 1 t/ha eltérés van. Az 1T és a 6T görbájének alakulása is hasonlít egymásra, mindazok ellenére, hogy egymástól messze találhatóak és más volt a termésátlaguk. A 2T ábráját ha beillesztjük ebbe az ábrába, a maximumát figyelve a 3T és a 4T szintjén helyezkedne el a tetőzésig. Az időszak végére pedig visszaesne a 7T értékeinek szintjére. Az ilyen szintű változatosság alkalmatlanná teszi a grafikonokat arra, hogy a konkrét adatokból következtessünk a hozamokra.

Így nincs értelme elvégezni azokat a számításokat, amiket az NDVI-nál elvégeztünk a maximum és tartomány értékeknél, hiszen egyértelműen nem lenne kapcsolat az adatsorok között. Egyedül a minimumokat lehet érdemes így önmagában megvizsgálni, illetve a visszaesés mértékét. Ettől függetlenül 3. táblázat minden olyan adatot tartalmaz, amit az NDVI-nál is figyelembe vettem tartalmaz.

3. táblázat: állományokhoz tartozó EVI értékek

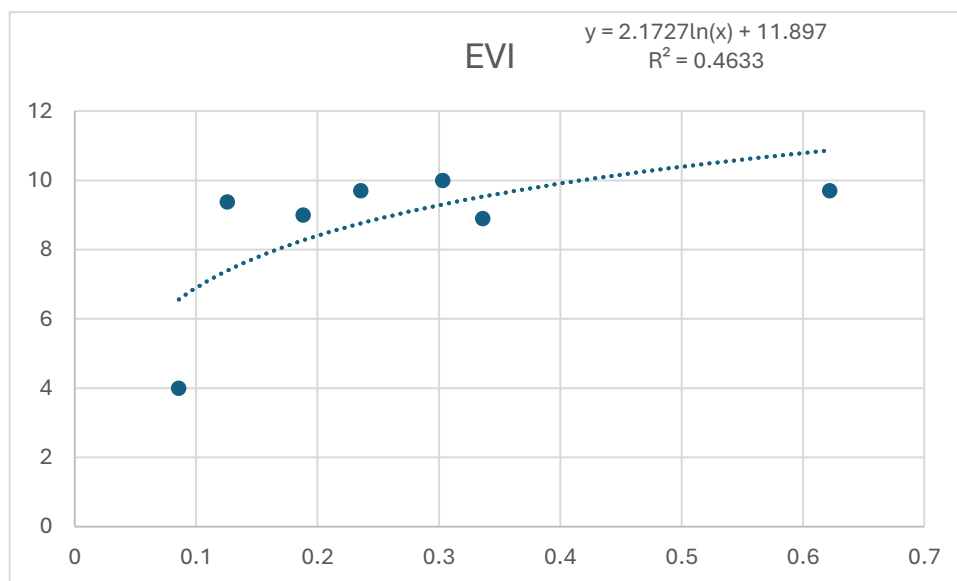
Tábla	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T
Min.	0.073	0.072	0.050	0.088	0.047	0.025	0.039

Max.	0.460	0.382	0.456	0.307	0.704	0.307	0.151
Visszaesés mértéke	-0.051	-0.258	-0.081	-0.069	0.006	-0.024	0
Tartomány + visszaesés	0.336	0.085	0.303	0.188	0.622	0.235	0.125

Az összes területet figyelembe véve az R^2 értéke 0.143 a minimum adatok esetében, így itt sincs kapcsolat az adatsorok között. Csak a 2023-as évvel számolva az R^2 0.048, tehát egy évre vetítve sincs összefüggés.

A visszaesés mértékét érintő számolásokat azonban érdemes lehet vizsgálni. A számolás menetét teljes egészében megegyezik azzal, ahogy az NDVI-nál elvégeztem. Az összes évet figyelembevétele után kapott R^2 0.849, ami arra enged következtetni, hogy szoros összefüggés figyelhető meg. Azonban, ha csak a 2023-as adatokat vizsgáljuk akkor drasztikusan lecsökken az R^2 0.032-re. Ezek alapján kétségekkel kell kezelni azt, hogy ténylegesen kapcsolat lenne az EVI visszaesése, és a hozamok között. A 2T és feltehetőleg a 7T eredménye is túlságosan torzítanak az adatok közötti korreláción, ezért ebben az esetben inkább az jelenthető ki, hogy még sincs kapcsolat közöttük, vagy csak nagyon speciális esetekben van.

Ebben az esetben is megvizsgáltam a visszaesések mértékét a tartományok vonatkozásában, amiről a kapott regressziót a 32. ábra mutatja be.



32. ábra: EVI tartomány+visszaesés értékei ábrázolva

Azt láthatjuk, hogy a logaritmus görbe közepesen jól illeszkedik az adatainkra, így igaz, hogy nem olyan erős a kapcsolat, mint az NDVI esetében volt, de itt is megfigyelhető. Egyedül a 7T-hez tartozó érték tér el nagy mértékben a görbétől. Ugyan azt az összefüggést állapíthatjuk meg, mint az NDVI-nál, hogy egy bizonyos szint alatt a visszaesés mértéke nagy arányban befolyásolja a termésátlagot, azonban a csökkenés mérséklődésével már egyre kisebb arányban van rá hatással.

Ausztráliában 2017-ben folyt egy kutatás, ami az NDVI-t és az EVI-t használta fel, hogy cirok állományoknak monitorozzák a növekedési dinamikáját és hogy ezek az indexek képesek-e nyomon követni a levélfelület (LAI) változásait. A kísérlet kivitelezésére 10 cirokfajtát használtak fel és a parcellákról drónnal készítették felvételeket több fejlődési szakaszban is. Az NDVI és EVI indexek jól korreláltak a hagyományos, földi mérésekkel, amelyek a levélterületet és a biomassa növekedését vizsgálták. Ezen felül segítettek a különböző cirokfajták növekedési különbségeinek azonosításában, ami a későbbiekben hasznos lehet a nemesítési programokban. A kutatók azonosítani tudták azokat a fajtákat, amelyek jobban alkalmazkodnak az aszályos körülményekhez, mivel ezek a fajták jelentős eltérést mutattak az NDVI és EVI adatokban (Potgieter et al. 2017).

4.4. Modell illesztés eredményeinek vizsgálata

Elvégeztem az Rstudio szoftver segítségével egy modell illesztést a kialakult grafikonokon, mind az NDVI, mind az EVI esetében, aminek az „a” értéke a grafikonok meredekségét adja meg. Ezt a számot fogom a következőkben összefüggésbe hozni a hozamokkal. Az NDVI-ről kialakult „a” adatokat a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: NDVI „a” értékek táblákra bontva

Tábla	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T
Meredekség	0.866	0.687	0.829	0.773	0.842	0.826	0.829

Minden adatot beleszámítva az R^2 0.772. Ha egy évre szűrjük az eredményeket, akkor viszont lecsökken 0.011-re. Így azt a következtetést vonhatjuk le, hogy ebben az esetben is pozitív irányba torzít a kiugróan alacsony hozamú 2T és az összes értékkel számolva is közepesen erős

kapcsolat figyelhető meg. Ez a módszer sem tud a kis különbségű hozamok között különbséget tenni, ha viszont nagyobb tartományon belül mozognak a termésátlagok, akkor ez alapján akár előre következtetni is lehet, hasonló képpen, mint NDVI-nál az átlagos visszaesés esetében. Nagyobb minta alapján valószínűleg jobban érzékelhetőek lennének ezek az összefüggések, hiszen a jelenlegi adataink tartomány a hozamokat tekintve viszonylag tág, de az eloszlása nem a legmegfelelőbb ahhoz, hogy pontos képet kapjunk egyes esetekben. Több terület átlagát, illetve több évet figyelembe véve egyértelműbb eredmények születhetnének.

Az EVI vonatkozásában is lefuttattam a modell illesztést, így az erről kapott információkat a 5. táblázat tartalmazza.

5.táblázat: EVI „a” értékei összesítve

Tábla	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T
Meredekség	0.43946	0.27415	0.41335	0.29301	0.70222	0.30289	0.149043

Sajnos az NDVI-jal ellentétben, itt semmilyen fajta összefüggés nem lelhető fel az adatsorok között, hiszen mindent beleszámítva az R^2 0.076, ha pedig csak a 2023-as évet nézzük, akkor pedig 0.068. Még a 2T alacsony meredeksége sem tudja kompenzálni a korrelációt, mivel a magas hozammal rendelkező 7T és 4T is valamilyen oknál fogva alacsony meredekséggel bír. De a legnagyobb termésátlagú 3T sem emelkedik ki, mert az 5T (ahogy már a grafikonokat feltüntető ábrán is látszott) minden más érték fölé magasodik.

5. Következtetések és javaslatok

A következőkben le szeretném vonni a következtetéseket a vizsgálataim során kapott eredmények alapján. A vizsgálati módszerek szerint fogok haladni, külön foglalkozva az NDVI-jal és az EVI-jal. Ezek után a javaslataimat fogom prezentálni, hogy az eredményeket miként lehetne felhasználni, illetve, hogy hogyan lehetne javítani a módszertanon.

Az NDVI képekből kinyert adatokat először grafikonok formájában elemeztem. Arra a következtetésre jutottam, hogy már csak a grafikonok képéből is le lehet vonni bizonyos következtetéseket. Ezek a következtetések nem lesznek pontosak, de bizonyos extrém változásokat észre lehet rajtuk venni. Az általam vizsgált, közel azonos termésátlaggal bíró táblák görbéi nagyon hasonlóak voltak, függetlenül attól, hogy közvetlenül egymás mellett helyezkedtek el vagy több 10 km-re egymástól. Ha bárminemű stressz éri a növényt (jelen esetben elsősorban a szemképződés szakaszában), akkor annak a kimutatására is tökéletesen alkalmas ez a módszer. Egyértelműen azonban nem lehet pusztán a grafikonok képéből következtetni a hozamra.

Ezt követően összefüggést kerestem az NDVI grafikonok bizonyos értékei és a hozamok között. Ezek alapján arra jutottam, hogy alapvető esetben sem közvetlenül a kelés után mérhető minimum értékeket, sem a tenyészidőszak alatt mért maximum adatokat nem lehet a hozammal párhuzamba állítani. Szintúgy a két érték közötti tartomány esetében sem tudtunk korrelációt kimutatni a termésadatokkal. Az Rstudio segítségével lefuttatott modell illesztés eredményeként kapott meredekségeket is összevettem a hozamokkal, ahol arra jutottam, hogy fellelhető bizonyos szintű kapcsolat az adatokban, abban az esetben, ha a hozamok között nagyobb különbségek vannak. A kis eltéréseket ez a módszer sem képes kimutatni. A legnagyobb korrelációt a július közepétől augusztus közepéig tartó időszak indexeit illető visszaesés vizsgálata során mértem. Ezzel a módszerrel arra lehet rámutatni, hogy a termésképzés szempontjából legfontosabb időszak alatt mennyire stressz a növényt. Minél nagyobb mértékű stressz éri, tehát minél nagyobb a visszaesés mértéke, annál kevesebb lesz a hozam.

Az NDVI-on kívül az EVI esetében is lefuttattam ugyan ezeket a méréseket. A kapott görbéket tekintve sokkal nagyobbak voltak a különbségek az NDVI-hoz képest. Volt olyan állomány, ahol 0.7 feletti adatokat is mértem, illetve olyan is, ami a 0.2-t sem érte el annak ellenére, hogy a hozamok közötti eltérés ezt nem indokolta. Ezen okból kifolyólag a maximum és tartomány

értékek további vizsgálata értelmetlenné vált, hiszen egyértelmű volt, hogy nem lehet belőlük következtetéseket levonni. További vizsgálatokat igényelne az eltérő tartományok okainak elemzése, hiszen az NDVI esetében ilyennel nem találkoztam. A minimum értékek esetében is arra jutottam, hogy nincs összefüggés a termésátlagokkal. Ugyan ez igaznak bizonyult a modell illesztés eredményeit tekintve.

A 2024-es aszályos időszakot az EVI is látványosan szemléltette, ezért a július- augusztusi index csökkenést úgy tűnt, hogy érdemes lehet vizsgálni. Az EVI esetében itt volt a legnagyobb korreláció a hozam és a kapott adatok között. Minden évet beleszámítva erős összefüggést állapítottam meg, ehhez viszont kellett a 2T torzítása is, tehát szintén elmondható, hogy a kisebb különbségeket nem lehet ezzel az indexszel sem kimutatni.

A kutatás pontosságát azzal lehetne növelni, ha nem csak a 2023-as évből vizsgálnánk több területet, hanem más évek esetében is nagyobb mintával dolgoznánk. Ezen kívül akár egyéb indexeket is fel lehet használni és hasonló képpen elemezni őket. Az a módszertan is fejlődést jelenthet, ha esetleg a kijuttatott tápanyagok vagy a gyomirtószer mennyiségét is figyelembe vesszük a hozamokon felül. A vizsgált időszak kiterjesztése a vetés időpontjától az aratás időpontjáig is hasznos lehet, mert így teljes képet kapunk az indexet érintő változásokról. Bár ebben az esetben a deszikkálás kérdése gondot okozhat.

6. Összefoglalás

Kutatásomban arra kerestem a választ, hogy van-e összefüggés a térben egymástól távol eső cirok állományokhoz kapcsolódó hozamok, valamint a Sentinel-2 műhold felhasználásával, májustól augusztus közepéig terjedő időszakban készített NDVI és EVI felvételek között, illetve, hogy lehetséges-e ezeknek a felvételeknek a segítségével a hozambecslés, akár különböző években is.

Az adott évi hozam előrejelzésének vagy becslésének régóta fontos szerepe van a gazdálkodók életében. Ha képesek vagyunk előre megmondani, hogy mennyit termeltünk, még jóval az előtt, hogy ténylegesen betakarítottuk volna a termést, azzal előnyösebb helyzetbe hozhatjuk magunkat vagy gazdaságunkat. Kedvező pozíciót jelenthet az értékesítésnél, felelősebb döntéseket tudunk hozni a következő, vagy akár még az adott évre vonatkozóan is. Ezek a szempontok pedig különös fontossággal bírnak a jelenlegi éghajlati, illetve demográfiai viszonyokat figyelembe véve.

A vizsgálatomhoz a Copernicus böngészőn keresztül töltöttem le Sentinel-2 műhold által készített képeket. Ezeket először adatokká konvertáltam az R Studio nevezetű program segítségével. Megvizsgáltam a kinyert adatokból képzett görbék lefutását, meredekségét, az egyes táblákhoz tartozó minimum és maximum értékeket, ezen értékek tartományát, időbeni változásait, összevetettem az egyes időpontokban készült fotók értékeit.

Sajnos nem minden mérés esetében tudtam egyértelmű összefüggést találni az adatsorok között, egyes esetekben azonban igen. Önmagukban az indexek minimum vagy maximum értékeiből nem lehet egyértelműen következtetni a termésátlagokra, sokkal inkább a trendeket, a grafikonok lefutását kell figyelnünk. Ha azt tapasztaljuk a területünkről készült NDVI vagy EVI görbe esetében, hogy alacsony a meredeksége vagy július-augusztus hónapokban drasztikusan csökken az index értéke, főképp a tartományhoz viszonyítva, akkor nagy valószínűséggel nagymértékű hozamcsökkenésre számíthatunk. Úgy vélem, hogy ez a módszertan elvégezhető egy átlagos gazda esetében is, hiszen kizárólag ingyenes szoftvereket használtam fel és csak egy számítógépre van szüksége az illetőnek, illetve pár regisztrációra. Az Rstudio használata gondot okozhat, azonban, ha csak egy táblát vizsgálnánk meg, akkor az akár csak az Excel használatával is elvégezhető. Meglátásom szerint már az is nagy előnyt jelenthet egy gazdálkodó számára, ha legalább megközelítőleg tisztában van a betakarítás előtt, hogy az évben mekkora mennyiségű termést fog lehozni a területről.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Dr. Balogh Jánosnak a programok kezelésében nyújtott segítségéért, a tanácsaiért és ötleteiért, a folyamatos elérhetőségéért és nem utolsósorban az idejéért. Ezek a tényezők nagyban hozzájárultak a dolgozat létrejöttéhez. Ezen felül szeretném megköszönni a gazdaságunk növényorvosának, Sebestyén Andrásnak amiért segített a téma alapját kitalálni, valamint a felhasznált területek adatait is neki köszönhetem.

Végül pedig a szüleimnek köszönöm, hogy minden lehetőséget megteremtettek a dolgozatom írásához és készségesen segítettek, ha szükségem volt rá.

Irodalomjegyzék

- Abdelraouf M. Ali, Mohamed Abouelghar, A.A. Belal, Nasser Saleh, Mona Yones, Adel I. Selim, Mohamed E.S. Amin, Amany Elwesemy, Dmitry E. Kucher, Schubert Maginan, Igor Savin, (2022): Crop Yield Prediction Using Multi Sensors Remote Sensing (Review Article)., The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 711-716 p.
- Chandel, K.P.S., Paroda, R.S., (2000). –Bangkok, Thailand, Regional synthesis report Asia-Pacific Association of Agricultural Research Institutions. FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Status of plant genetic resources conservation and utilization in Asia-Pacific region. 158 p.
- Habyarimana, E., Piccard, I., Catellani, M., De Franceschi, P., & Dall’Agata, M. (2019). Towards predictive modeling of sorghum biomass yields using fraction of absorbed photosynthetically active radiation derived from sentinel-2 satellite imagery and supervised machine learning techniques. *Agronomy*, 9(4). 203 p.
- Habyarimana, E., & Baloch, F. S. (2021). Machine learning models based on remote and proximal sensing as potential methods for in-season biomass yields prediction in commercial sorghum fields. *Plos one*, 16(3), 23 p.
- House, L.R., (1985). Patancheru, India. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. A Guide to Sorghum Breeding, second ed. 220 p.
- http 1 Cirok <https://hu.wikipedia.org/wiki/Cirok> (2024)
- http2 EVI <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index> (2024)
- http3 Mepár Portál <https://mepar.mvh.allamkincstar.gov.hu/#/viewer> (2024)
- http4 Copernicus böngésző <https://browser.dataspace.copernicus.eu> (2024)
- http5 FAOSTAT <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> (2024)
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6 p.
- Johnson, D. M., Rosales, A., Mueller, R., Reynolds, C., Frantz, R., Anyamba, A., Tucker, C. (2021). USA crop yield estimation with MODIS NDVI: Are remotely sensed models better than simple trend analyses? *Remote Sensing*, 13(21), 16 p.
- Kellogg, E. A. (2013). C4 photosynthesis. *Current Biology*, 23(14), 594-599 p.
- Khaeim, H., Kende, Z., Jolánkai, M., Kovács, G. P., Gyuricza, C., & Tarnawa, Á. (2022). Impact of temperature and water on seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, 12(2), 21 p.
- Kovács, K. (1968)., Szakirodalom Termésbecslés kárbecslés. *GAZDÁLKODÁS: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 59-61 p.
- László I., Csornai G., Fekete I., Giachetta R. (2014), Budapest, Távértékelt felvételek elemzése ELTE jegyzet, 130 p.
- Lobell, David B., Stefania Di Tommaso, Calum You, Ismael Yacoubou Djima, Marshall Burke, and Talip Kilic. (2020). Sight for Sorghums: Comparisons of Satellite- and Ground-Based Sorghum Yield Estimates in Mali. *Remote Sensing* 12, no. 1, 100 p.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. (2007). Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7(11), 2636-2651 p.

- Msongaleli, B., Rwehumbiza, F., Tumbo, S.D. and Kihupi, N. (2014) Sorghum Yield Response to Changing Climatic Conditions in Semi-Arid Central Tanzania: Evaluating Crop Simulation Model Applicability. *822-Agricultural Sciences*, 5, 833 p.
- Niranjan Thakur, Sorghum plant: Characteristics, Importance, Distribution and Uses (2024 november) <https://wikifarmer.com/sorghum-plant-characteristics-importance-distribution-and-uses/>
- Potgieter, A. B., George-Jaeggli, B., Chapman, S. C., Laws, K., Suárez Cadavid, L. A., Wixted, J., Watson, J., Eldridge, M., Jordan, D. R., Hammer, G. L. (2017). Multi-spectral imaging from an unmanned aerial vehicle enables the assessment of seasonal leaf area dynamics of sorghum breeding lines. *Frontiers in Plant Science*, 8, 11 p.
- Rai, K.N., Murty, D.S., Andrews, D.J., Bramel-Cox, P.J., (1999). Genetic enhancement of pearl millet and sorghum for the semi-arid tropics of Asia and Africa. *Genome*, 42(4), 617-628.
- Sukmono, A. (2018). Identifikasi Kekeringan Lahan Sawah Menggunakan Kombinasi Leaf Water Content Index Dan Vegetation Index Dengan Citra Landsat-8. *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 1(02), 44-50 p.
- Van Der Meer, F., Bakker, W., Scholte, K., Skidmore, A., De Jong, S., Clevers, J. G. P. W., Epema, G. (2001). Spatial scale variations in vegetation indices and above-ground biomass estimates: implications for MERIS. *International Journal of Remote Sensing*, 22(17), 3381-3396.
- Varela, S., Pederson, T., Bernacchi, C. J., & Leahey, A. D. (2021). Understanding growth dynamics and yield prediction of sorghum using high temporal resolution UAV imagery time series and machine learning. *Remote Sensing*, 13(9), 17 p.
- Vincze Cs., Leelőssy Á., Kökényesi T., & Mészáros R. (2023). SZÁNTÓFÖLDI VIRÁGZÓ NÖVÉNYEK MONITOROZÁSA SENTINEL-2 MŰHOLDKÉPEKKEL., 7 p.
- Zsebő, S., Bede, L., Kukorelli, G., Kulmány, I. M., Milics, G., Stencinger, D., Kovács A. J., Teschner G., Varga Z., Vona V. (2024). Yield Prediction Using NDVI Values from GreenSeeker and MicaSense Cameras at Different Stages of Winter Wheat Phenology. *Drones*, 8(3), 20 p.

Ábrajegyzék

1. ábra: Globális cirok termelés 1994-2022	5
2. ábra: Cirok termesztés megoszlása az EU-ban 2019-2021.	5
3. ábra: Magyarország cirok hozama és termőterülete 1994 és 2022 között	6
4. ábra: a Sentinel műholdcsalád felhasználási területei	9
5. ábra: Sentinel-2 érzékelő csatornák, és a hozzá tartozó hullámhosszok	11
6. ábra: NDVI érték számítása	13
7. ábra: EVI egyenlete	14
8. ábra NDVI képek időbeni változása	17
9. ábra EVI képek időbeni változása	17
10. ábra: 1-es tábla NDVI grafikonja (bal) és EVI grafikonja (jobb)	18
11. ábra: NDVI képek időbeni változása (05.23. – 07.12. – 08.14.)	18
12. ábra: EVI felvételek időbeni változása (05.23. – 07.12. – 08.14.)	19
13. ábra: 2-es tábla NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonja	19
14. ábra 3T-ről készült NDVI időszakos változása (06.01. – 07.08. – 08.12.)	20
15. ábra 3T-ről készült EVI időszakos változása (06.01. – 07.08. – 08.12.)	20
16. ábra: 3T NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonok	21
17. ábra: 4T-ről készült NDVI felvételek (06.01. – 07.08. – 08.15.)	22
18. ábra: 4T-ről készült EVI felvételek (06.01. – 07.08. – 08.15.)	22
19. ábra: 4T NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonjai	23
20. ábra: 5T NDVI felvételek (06.03. – 06.23. – 07.08. – 07.23. – 08.12.)	23
21. ábra 5T EVI felvételek (06.03. – 06.23. – 07.08. – 07.23. – 08.12.)	24
22. ábra: 5T NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonja	24
23. ábra: 6T NDVI képek változásai (06.03. – 06.23. – 07.13. – 08.15.)	25
24. ábra: 6T EVI képek változásai (06.03. – 06.23. – 07.13. – 08.15.)	25
25. ábra: 6T NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonjai	26
26. ábra: 7T NDVI képek változásai (06.09. – 07.17. – 08.16.)	26
27. ábra: 7T EVI képek változásai (06.09. – 07.17. – 08.16.)	27
28. ábra: 7T NDVI (bal) és EVI (jobb) grafikonjai	27

29. ábra: NDVI értékek grafikonjai (1. 2023-as összesített; 2. 2019; 3. 2024)	29
30. ábra: NDVI tartomány+visszaesés értékei ábrázolva	31
31. ábra: EVI értékek grafikonjai (1. 2023-as összesített; 2. 2019; 3. 2024)	33
32. ábra: EVI tartomány+visszaesés értékei ábrázolva	34

1. táblázat: Felhasznált területek adatai	14
2. táblázat: az állományokhoz kapcsolódó értékek	30
3. táblázat: állományokhoz tartozó EVI értékek	33
4. táblázat: NDVI „a” értékek táblákra bontva	35
5. táblázat: EVI „a” értékei összesítve	36

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

NYILATKOZAT

a ~~záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió~~¹ nyilvános hozzáféréséről és
eredetiségéről

A hallgató neve:

MÜLLER CSOUFOR

A Hallgató Neptun kódja:

HOM5WD

A dolgozat címe:

Jermésadatok és műholdfoto alapú vegetációs adatok

A megjelenés éve:

2024

közötti kapcsolatok cross állományokban

A konzulens intézetének neve:

Környezetismereti - tudományok

A konzulens tanszékének a neve:

Környezetlettan és Környezetekológia

Kijelentem, hogy az általam benyújtott ~~záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió~~² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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

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

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

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

- nem titkosított dolgozat a védelmet követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024 év 10 hó 30 nap



Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

**6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója**

4.1. sz. melléklete: Konzulensi nyilatkozat

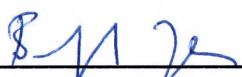
NYILATKOZAT

MÜLLER CSONGOR (név) (hallgató Neptun azonosítója: HOM5WD)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A ~~záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót~~ a záróvizsgán történő
védelemre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: 2024. év 10. hó 30. nap


belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendó.

³ A megfelelő aláhúzendó.