

# **SZAKDOLGOZAT**

**Csiza Márk**

**2023.**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**

**Kaposvári Campus**

**Növénytermesztési-tudományok Intézet**

**Mezőgazdasági mérnöki alapképzési szak**

**KUKORICA TERMÉSBECSLÉSE TÁVÉRZÉKELÉSI ÉS**

**METEOROLÓGIAI ADATOK ALAPJÁN**

**Belső konzulens:** Dr. Somfalvi-Tóth Katalin  
egyetemi adjunktus

**Belső konzulens**

**intézete/tanszéke:** Növénytermesztési-tudományok  
Intézet, Agronómia Tanszék

**Belső konzulens:** Dr. Lukács Aurél István  
egyetemi docens

**Belső konzulens**

**intézete/tanszéke:** Műszaki Intézet, Mezőgazdasági és  
Élelmiszeripari Gépek Tanszék

**Készítette:** Csiza Márk

**Kaposvár**

**2023.**

# Tartalom

<b>1. Bevezetés</b> .....	<b>5</b>
1.1. Célkitűzés .....	5
<b>2. Szakirodalmi kitekintés</b> .....	<b>6</b>
2.1 A kukorica származása, jelenlegi helyzete a mezőgazdaságban.....	6
2.2 A kukorica éghajlati és környezeti igénye .....	8
2.3. A kukorica fenológiája.....	10
2.4. A kukorica agrotechnikája .....	12
2.5. Hibridek.....	13
2.6. Műholdak a mezőgazdaságban.....	14
2.8. Normalizált Vegetációs Index jellemzése.....	16
2.9. Alternatív technológia megjelenése, a drónok.....	17
2.10. Termésbecslő eljárások áttekintése.....	19
<b>3. Anyag és módszertan</b> .....	<b>20</b>
3.1. Vizsgált területek és időszakok.....	20
3.2. Vizsgálati időszak hosszának megállapítása.....	22
3.3 Meteorológiai adatok kinyerése .....	23
3.4. Alkalmazható vegetációs indexek .....	23
3.5. Műholdas adatok kinyerése .....	24
3.6. Adatok kinyeréséhez használt programok:.....	26
3.7. Alkalmazott statisztikai módszerek .....	27
<b>4. Eredmények és értékelésük</b> .....	<b>29</b>
4.1. A 2022-es aszály elemzése Sombereken .....	29
4.2. Összefüggések keresése az NDVI értékének alakulása, és a meteorológiai tényezők közt .....	30
4.3. Főkomponens-analízis eredménye .....	36
4.4. Terméshozam becslése .....	39
5. Következtetések és javaslatok .....	40
6. Összegzés .....	41
7. Köszönetnyilvánítás .....	43
8. Irodalom jegyzék.....	44
9. Internetes források:.....	50
10. Ábrajegyzék és táblázat jegyzék .....	51

## 1. Bevezetés

Napjaink nagy kérdése a globális felmelegedés és annak negatív hatásaira adott hatékony válaszlépések az agrárium részéről, hiszen az extrém időjárási hatások, mint a szélsőséges hőmérséklet- és csapadékeloszlás, a fenológiai fázisok eltolódása és rövidülése, vagy a megváltozott klíma következményeként fellépő inváziós nyomás új kártevők megjelenése nyomán már jelenleg is óriási károkat és veszteségeket okoz a mezőgazdaságban. Mindezek eredményeként főleg a tavaszi vetésű kultúrák termésbiztonsága veszélybe került. (FU et al. 2015.). Szerencsére napjaink modern technológiája lehetővé teszi a precíziós gazdálkodás integrálását a termesztési gyakorlatba és ennek a következményeként fellépő egyedi és az igényeknek megfelelő agrotechnikát, legyen az tápanyagutánpótlás, öntözés vagy növényvédelmi eljárások. Ehhez földbázisú (pl. drónok, meteorológiai állomások) és űrbázisú (pl. műholdak) mérőműszerek is a rendelkezésre állnak. Dolgozatomban a növények állapotfelmérésére is alkalmas űrbázisú távérzékelési adatokat használok fel a várható terméshozam becslésére. Sokféle vegetációs index (továbbiakban VI) alkalmazható, a legszélesebb körben ismert és alkalmazott mégis a Normalizált Vegetációs Index (NDVI). Bár az NDVI már 50 éves múltra tekinthet vissza (Rouse et al., 1973), hétköznapi mezőgazdasági felhasználása még nem nyert magának nagy teret, pedig számos kérdésben és problémában tudná segíteni a gazdálkodók munkáját. Ilyen felmerülő kérdések például a víznyomás, vagy betegségek felderítése, ami hagyományos eszközöket igénybe véve rengeteg befektetett energiát, anyagi forrást és időt igényel. A legelterjedtebb és legkönnyebben elérhető forma a műholdképek elemzése. A világ űrügynökségei ingyenes, bárki számára elérhető adatokat biztosítanak. Én az Európai Űrügynökség (ESA), valamint a Sentinel-2 műhold adatait SNAP és QGIS programokkal dolgoztam fel, és készítettem el vizsgálataimat.

### 1.1. Célkitűzés

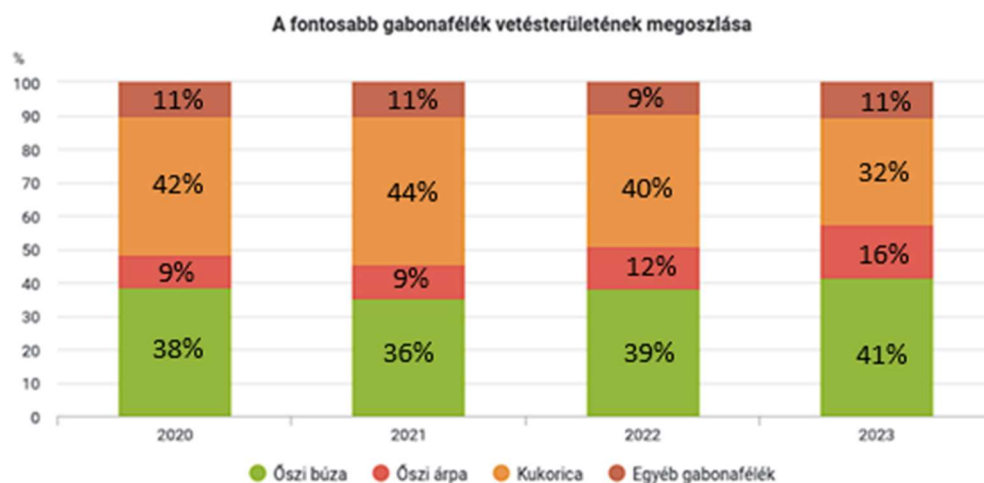
Célul tűztem ki, hogy (1) kapcsolatot keressek különböző meteorológiai tényezők és az NDVI értékei között, (2) kimutassam, hogy mely paraméterek hordozzák a legtöbb információt statisztikailag egy esetleges termésbecslés elkészítése során, illetve (3) Termésbecslést készítsék a kiválasztott paraméterek segítségével

## 2. Szakirodalmi kitekintés

### 2.1 A kukorica származása, jelenlegi helyzete a mezőgazdaságban

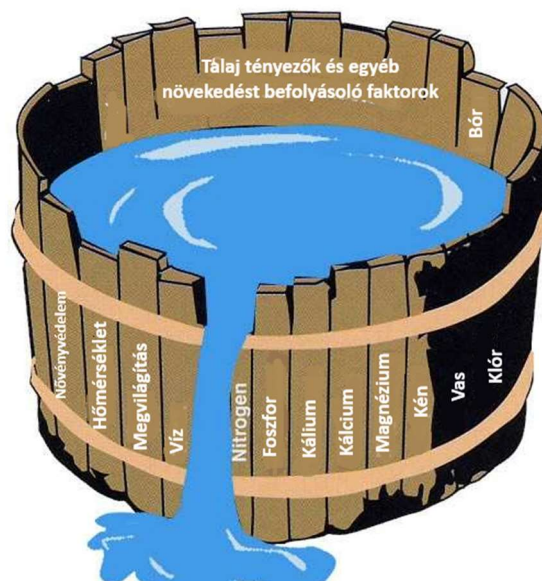
A kukorica (*Zea mays* L.) származását, őseit teljes bizonyossággal a mai napig nem tudtuk megállapítani. Európába a spanyol konkvisztádorok hozták be. Először csak kerti dísznövényként tartották Európában, termesztése a XVII. században kezdődött. Közép-Európában délkeletről terjedt el, innen származik a népies törökbúza elnevezés is. Hazánkban a XVIII. század elejétől termesztik (NAGY, 2021). Őshazájából Európába kerülését követő gyors elterjedéséhez hozzájárult, hogy nem volt ismert betegsége, kártevője, e mellett kiemelkedő termőképességgel rendelkezett és a tárolása is viszonylag egyszerűen megoldható volt (ANTAL, 2005). A világ mezőgazdaságában a kukorica termesztése meghatározó szerepet tölt be. Hasznosítása széleskörű, takarmányként, ipari alapanyagként és élelmiszerként is jelentős. Azon kevés növények közé tartozik, melyek monokultúrában is termesztethetők (NAGY, 2012). A kukorica élelmiszeripari felhasználása kiterjed például az izocukor előállításra, kukoricacsíraolajra, keményítő, szeszipari és sütőipari felhasználásra, konzervgyárakra, pattogatni- és főzniláló kukoricatermelésben, kukorica pehely előállításban. Jelentős szerepe van a humán élelmezésen kívül mind takarmányozásban, mind a bioüzemanyag gyártásban és kenőanyagok előállításában. Utóbbi iparágak a melléktermékeiket takarmányozás céljára tovább értékesítik például corn cob mix formájában. A takarmányozási felhasználása lehet szemes, szálás vagy tartósított formában. (<https://www.britannica.com>).

Hazánkban, a szemes kukorica a második legnagyobb területen termesztett növény lett a 2022-es aszály hatására (KSH 2023).



1. ábra: Kukorica vetésterületének alakulása Magyarországon (KSH 2023)

A gazdáknak számtalan hibrid áll a rendelkezésére, hogy megtalálják az ökológiai és ökonómiai adottságoknak leginkább megfelelőt. A széles hibrid kínálatnak köszönhetően a gazdák számára segítség kell a megfelelő típus kiválasztásánál. Ezt a célt szolgálja az ország 12 helyszínén beállított, NÉBIH teljesítménykísérlet, mely során olyan fajtasort állítanak össze, ami segít a gazdálkodóknak objektív képet alkotni és kiválasztani a számukra legoptimálisabb fajtákat (JOSZT-TAKÁCS, 2015). Az 1960-as évektől a 80-as évekig hazánk a legjobb 5 ország között foglalt helyet kukoricatermesztés tekintetében. A kimagasló terméseredmények mellett a nagyfokú termésstabilitás is megfigyelhető volt, ami azt jelentette, hogy az éveket összevetve a termésingadozás nem haladta meg a 10-20%-ot (PEPÓ, 2006). 1970-től a növekvő kemikália felhasználás, a műszaki és technikai háttér növekedése mellett a termesztésbe bekerülő hibrid fajták és a szakértelem növekedése együttesen fokozta a termelés hatékonyságát, így a magyar kukoricatermesztés a világ élvonalába került. Ebben az időszakban az egy hektáron elért termésátlag szempontjából az Amerikai Egyesült Államok és Franciaország mögött a harmadik helyet foglaltuk el a világban. (ANTAL, 2005). A jelentős mértékű termésingadozás leginkább az 1980-as évek után jelentkezett itthon. Az Európai Unió tagországaiban, ebben az időben is folyamatosan nőtt a kukoricatermesztés színvonala, addig hazánkban a rendszerváltást követően fellépő gazdasági és társadalmi nehézségek hatására 4-5 tonna/hektár körüli szintre estek vissza. Ez részben köszönhető a TSZ-ek működésének és megszűnésének, és az egyoldalú tápanyag utánpótlásnak, amire a Liebig-minimum törvénye is irányul (2. ábra). Justus von Liebig fogalmazta meg azt, hogy hiába áll egy tápanyag nagy mennyiségben rendelkezésre, ha egy másik, mely nincs jelen elegendő mennyiségben, a maximális teljesítmény korlátozódik. Ezek által a termésingadozás a 30-50%-os mértéket is elérte (NAGY ÉS MEGYES, 2009).



2. ábra: Liebig-minimum törvénye (LANTOS 2016)

## 2.2 A kukorica éghajlati és környezeti igénye

A kukorica tavaszi vetésű, kapás kultúra, tenyészideje nagy átlagban Magyarország déli részein 150-170 nap. Hidegre érzékeny növény, a biológiai nullpontja 8°C. A talaj hőmérsékletére érzékenyebb, a csírázás 10-12°C között indul meg, de ha kihajtás után a talaj hőmérséklete 15°C-ra vagy az alá csökken, a fejlődés leáll (WAGAS et al. 2021). A fejlődést negatívan befolyásolja a hűvös május vagy a kései fagyok, a száraz július és augusztus, de a napfényes meleg ősz pozitívan befolyásolja a termést (WAGAS et al. 2021). Bár fenológiai stádiumonként eltérő a növény hőigénye, a hőmérsékleti optimuma 25°C. A kukorica fejlődése során 3 időszak van, amikor az optimális fejlődéshez szükséges hőmérséklet és csapadék a legfontosabb. Vetés előtt a talajhőmérséklet 10°C és 30°C között kell legyen (minél magasabb a hőmérséklet, annál jobb a csírázás) (WAGAS et al. 2021). A magasabb hőmérsékleti érték például a másodvetésű, rövid tenyészidejű, általában 200-as FAO számú kukorica esetében fontos tényező, ugyanis, ha már csíra vagy fiatal növény állapotban túlzott hőstressz éri a növényt, súlyosan károsodhat, vagy akár ki is pusztulhat. (WAGAS et al. 2021). Ezt követi a vegetatív növekedési szakasz, ekkor 20°C és 30°C közötti hőmérséklet az, ami a növények számára ideális. Ha ettől magasabb vagy alacsonyabb, a növényeket stresszhatás éri, aminek következtében fejlődésük, életfunkcióik lassulnak, vagy szélsőséges esetben leállnak. A harmadik a termékenyítési és csőképzési szakasz: a kukorica termékenyítési szakaszában az optimális hőmérsékleti tartomány általában 24°C és 32°C között van (WAGAS et al. 2021). Ez a szakasz kritikus a csőrészek kialakulásához és a megtermékenyüléshez. Ha ebben az időszakban kevés a



csapadék, vagy hűvös az idő, a termékenyülés lelassul, vagy gátlódik, a szem-csutka arány alacsony marad, és kitöltetlen szemek alakulnak ki (WAGAS et al. 2021).



3. ábra: Hiányosan termékenyült kukoricacső (forrás: [www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov))

A kukorica fényigényes növény. Amennyiben a fény intenzitása (például tartósan borult ég nyári időben) tartósan csökken, a növényállománynak hosszabb tenyészidőre van szüksége, és fenológiai fázisai is eltolódnak. Az abból adódik, hogy a hőmérséklet csökkenés hatására a növény fejlődése lelassul, a fotoszintézis intenzitása csökken, majd az állomány elkezd sárgulni. A mérsékelt égövi termesztésben hosszúnappalos változatot használunk, ezzel szemben a trópusokon a rövidnappalos változatot termesztik. A két változatot nem szabad felcserélni, ugyanis a mérsékeltövi változat a trópusokon alacsony termetű lesz, tenyészideje lerövidül, minimális termést képes csak adni, fordított esetben a kukorica magasra nő, de virágzása kései lesz és minimális termést ad, vagy be sem érik (PEPÓ ÉS SÁRVÁRI, 2011).

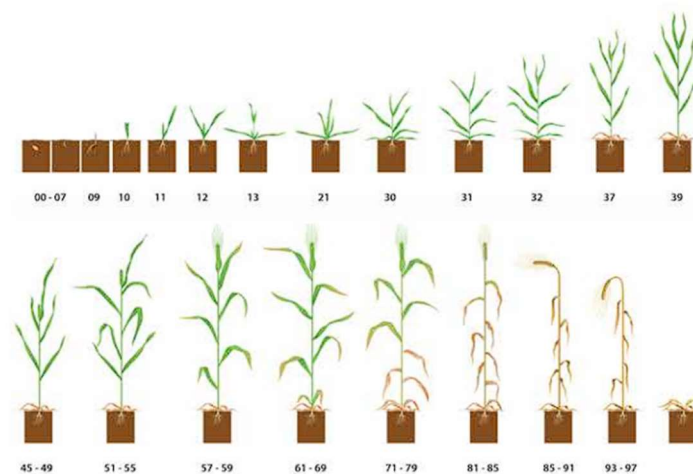
A kukorica vízszükséglete Igen magas, akár 450-550 mm vizet is jelenthet a tenyészidőben. Hektáronként napi 4,5-5,5 mm is lehet a felhasználása, ami 45-55 m<sup>3</sup> vizet jelent. A mélyre hatoló gyökérrendszerének köszönhetően a talajvizet 1,5-2 méter mélységből is képes felvenni. A legkritikusabb időszak a termesztésben július, augusztus hónap, a címerhányástól a szemtelítődésig tartó időszak. Ebben a szakaszban 100-100 mm csapadékra, annak hiányában vízpótlásra van szükség, hogy a fajtára jellemző termésmennyiséget el tudja érni (ANTAL, 2008). Hazánkban a címerhányás és a szemfejlődés időszakában jellemzően hiányzik a megfelelő csapadékmennyiség, vagy a növény túlzott mennyiségű vizet kap. Ennek következtében a növény stresszhelyzetbe kerül, melynek nagysága és tartóssága a termés mennyiségét is meghatározza (PEPÓ ÉS SÁRVÁRI, 2011). A kukorica a talaj minőségére, típusára kifejezetten igényes. Ahhoz, hogy a kukorica termesztése biztonságos legyen

humuszban gazdag, mélyrétegű, középötött vályogtalaj az ideális. A kukorica ökológiai érzékenysége a búzához viszonyítva magasabb. Ez indokolja a jobb talajokon való termesztését.

A kukorica a talaj kémhatására nem érzékeny, a 6-7,5 pH-jú talajok megfelelnek számára. A legoptimálisabb egy levegős, könnyen felmelegedő, jó vízgazdálkodású, mély termőrétegű csernozjom, réti csernozjomtalaj, barna erdőtalaj, csernozjom barna erdőtalaj, vagy kötött réti talaj (NAGY ÉS MEGYES, 2009). Egyéb területeken a termőhely specifikus talajművelési módszereivel próbálkozhatunk. Homoktalajon a kukorica termés hozama a vízellátottságtól függ. Elsődleges termés csökkentő tényező a talaj levegőssége. Tömörödött, kemény talajokon a növények nem tudnak rendesen fejlődni. A növények alacsonyok maradnak, a csövek meddők, vagy csökkentek lesznek (NAGY, 2007). A kukoricatermesztésre ökológiailag alkalmas területeken egyre inkább kifizetődik a kukoricatermesztés fokozatosan intenzívvé tétele, a nagyobb termőképességű hibridek használata, a több tápanyag kijuttatása, a talajjavítás, és az öntözés. Nagyobb hozamok elérése érdekében a kijuttatott NPK műtrágya adagok emelése szükséges. Ezzel arányosan szükségessé válhat a mikroelem trágyák mennyiségének a növelése. A jelenlegi intenzív kukoricatermesztéssel akár 10-12 tonna termésmennyiséget is elérni lehet (VARGA ÉS HOFFMANN, 2022).

### **2.3. A kukorica fenológiája**

A kukorica fejlődése alapvetően 7+1 fő szakaszból áll, BBCH skála szerint 0-10-30-40-50-60-70-80-90 csoportokból. A nulla a csírázás, ezt követi a tízes, ahol a kihajtást követően a levelek számát találjuk 10-től 19-ig (10=első kibújó levél, 11=első kinyílt levél...19=kilencedik kinyílt levél), ezt követően a 30-as számok jelölik a szárnyulás szakaszát, az 50-es a virágzat megjelenése és kifejlődése, 60-as a virágzás és beporzás szakasza, 70-es a termésképzés, ahol megtermékenyített szemek feltelítődnek, szárazanyag tartalmuk 16-ról 40%-ra növekszik, méretük eléri a közel véglegesét. Jellemzően ezen fenológiai stádium végén takarítjuk be a növényt silázs készítésre. 80-as a viasz és teljes érés szakasza, ahol a szemek 45-ről 65% szárazanyagra száradnak, végül 90-es, ahol a növény teljesen elszárad, és készen áll a betakarításra (BLEIHOLDER et al. 1991).



4. ábra: Kukorica fejlődése BBCH skála szerint (Forrás: [www.dportal.hu](http://www.dportal.hu))

A kukorica fényigényes növény, szára mereven felálló, hengeres. Gyökérrendszere bojtos, az ökológiai viszonyoktól függően akár 2 m mélyre és oldalirányban 70-100 cm távolságra is behatol a talajba. Levele a szárcsomókon fejlődik, a pázsitfűfélékhez hasonló. Levéllemeze széles, megnyúlt, hullámos szélű. Eglyaki növény, virágai egyivarúak, melyek különálló porzós és termős virágzatot alkotnak. A porzós virágzata fürtös füzér, a címer a hajtáscsúcson található. A kukoricatermés alaktanilag szemtermés. Fajtától függően alakja, hosszúsága, szélessége, vastagsága eltérő (KOLTAY, 1985). A gabonafélékkel azonos módon a szemek érésében tejes-, viasz- és teljes érést különböztetünk meg. A takarmánykukorica a tartalék szénhidrátjainak nagy részét vízben oldódó keményítő alakjában raktározza, addig a csemegekukorica endospermiuma túlnyomó részben könnyen oldódó szénhidrátokat és aránylag kevés keményítőt tartalmaz, ezért lehet az, hogy a biológiailag érett magot zsugorodottnak és áttetszőnek találjuk (DANIEL, 1954). A kukorica rendkívül meleg és a vízigényes növény. Hazánk néhány fokkal északabbra fekszik a jellemzően kukorica termőterületektől, így a legbiztonságosabban a rövid- és középhosszú tenyészidejű fajták termesztetők. Ezen fajták számára még a leghűvösebb nyarainkon is elegendő a hőösszeg (SÁRKÖZY ÉS SELÉNDY, 1994). 1 gramm szárazanyag előállításához, más növényekhez viszonyítva sokkal kevesebb vizet használ fel a kukorica. Normál években ez az érték 200-300 liter/1 kg szárazanyag. A fajták és hibridek között 30-70 liter/1 kg szárazanyag eltérések is lehetnek, ami 10-25%-os eltérés. A pontos mérés nehezen megoldható és a nagy különbségek a hagyományos szelekcióra alapozott nemesítésnek sem kedveznek (HESZKY, 2012).

## 2.4. A kukorica agrotechnikája

A nyáron betakarított elővetemény után el kell végezni a sekély tarlópántást, amennyiben lehetséges. Az így kialakított hántott tarlót őszi gyommentesen tartjuk. Egy őszi betakarítású elővetemény után, a szármaradványok és a tarló aprítását kell elvégezni első menetben, ezt követi az őszi mélyszántás vagy lazítás. A szántást azonnal el kell munkálni, ne maradjon üreges, rögös. A magágy készítésekor az őszi szántást tavasszal simítózunk, március végéig gyommentesen tartjuk. 10-12 cm mély magágyat készítünk kombinátorral áprilisban, a vetést megelőzően 5-7 nappal (ANTAL, 2005). Az elvetendő mag számára, a vetést megelőzően elvégzett műveleteknek arra kell irányulniuk, hogy a vetésre alkalmas időszakon belül a legkorábban, a legjobb feltételeket teremtsük meg a csírázáshoz, az egyöntetű keléshez és a gyors kezdeti fejlődéshez (NAGY ÉS MEGYES, 2009). A talaj művelése során elsődleges cél a nedvesség megőrzése a talajban. A művelés, a talajtípustól függő időszakra átalakítja a talajban a pórusviszonyokat. Ennek köszönhetően a talajban lévő víz és vízgőz, valamint levegő mozgása megváltozik. Régebben tavasztól őszi tartó időszakban a fő cél a víz megőrzése, ősszel és kora tavasszal pedig a víznek a talajba való levezetése volt (BOCZ, 1996), de napjainkra a csapadékeloszlás hektikusága miatt ez már egész éves feladat. Nyáron, a víz megőrzést segítő, egyik legfontosabb művelet a tarlópántás azonnali lezárással, melyet az elővetemény lekerülése után minél rövidebb időn belül célszerű elvégezni (ha lehet). Minél előbb végezzük el a tarlópántást és lezárást, annál kevesebb víz párolog el a talaj mélyebb rétegeiből. Betakarítás után árnyékolás nélkül maradt talajfelszín, a nyári jellemzően forró, száraz időben rendkívül hamar kiszárad. A tarlópántást a tarlóápolás, vagy -kezelés követ. A terület sekély művelése, vagy gyomirtóval való kezelése, ha időben van végezve, a feltörő gyomnövényeket elpusztítja. A tarlóápolást akár többször is el lehet végezni, akár különböző mélységben, ha kizöldül a tábla. Az egymás utáni műveletek 40-50 fokos szögben kövessék egymást, a gépkezelő és a talaj védelme érdekében (BOCZ, 1976).

A kukorica igényli a mélyen megművelt talajt. Ehhez az alapművelés mélységének el kell érni a 28-32 cm-t. A területen időszakonként periodikus mélyművelést is szükséges végezni, mely optimális esetben 3-4 évente, legalább 40-50 cm mély lazítást jelent. Az alapművelés történhet forgatással, vagy forgatás nélkül. A korán lekerülő elővetemény után nincs feltétlenül szükség szántásra. A nehéztárcsát lehet közép-mély lazítással, vagy nehézkultivátorral kombinálni, így érhető el a növény igényeinek megfelelő, szükséges mélységű talajművelés (MENNYHÉRT, 1979).

## 2.5. Hibridek

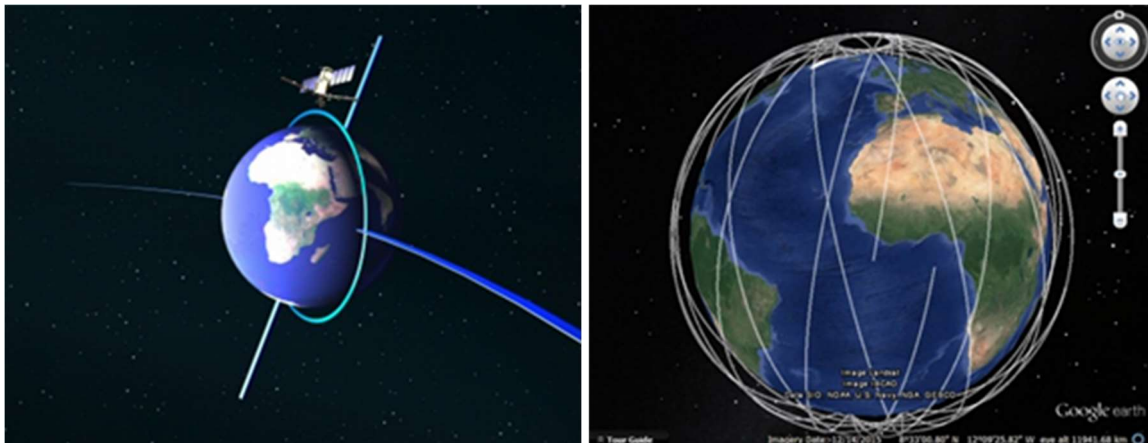
A kukoricatermesztés a globális felmelegedésnek köszönhetően hátrányos helyzetbe került hazánkban. A „corn belt” szépen fokozatosan eltolódik, és Magyarország termelőinek új megoldás után kell nézni a termésbiztonság érdekében (<https://agrarium7.hu>).

A hibrid választás szempontja az utóbbi években a termőképesség mellett legfőképp az érésidő, a termésbiztonság, a vízleadás és a szemnedvesség tartalom, az alkalmazkodóképesség, a szárszilárdság és a szárazságtűrés irányába tolódott el. Elsősorban ezek a szempontok határozzák meg a kukoricatermesztés jövedelmezőségét (NAGY ÉS MEGYES, 2009). A vetési idő optimális intervallumát a globális felmelegedés miatt újra kell gondolni. A talajhőmérséklet a kukorica csírázásához optimális 8-10°C-ot a klímaváltozás következtében már március végén, április elején eléri (PEPÓ, 2018). A korábbi vetésidőnek főképpen száraz, aszályos évjáratokban nagy a jelentősége. A vetésidő és a termés, termésbiztonság, továbbá a vetésidő és a betakarításkori szemnedvesség-tartalom között szoros összefüggést figyelhetünk meg. Ha az optimális vetésidő intervallumon belül a vetést korábban el tudjuk végezni, a hím- és nővirágzás, megtermékenyülés, a szemtelítődés kezdete hamarabb következik be, akár már júniusban. Így elkerülhetjük az utóbbi években a legaszályosabb júliusi időszak káros hatásait. A korábbi vetésidő a gyomszabályozásban is segít, hisz a kukorica hamarabb be tudja árnyékolni a talajt, ezáltal a gyomosodás mértéke kisebb lesz, hamarabb el tudja érni a fiziológiai érettséget, amikor a szem csutkafelőli részén kialakul a fekete réteg, megszűnik a további víz- és tápanyagfelvétel. (PEPÓ, 2018) Ettől a fejlődési szakasztól már nincs további terméshozadék. A tőszám és a termés közötti összefüggés hibridtól és évjáratától függően jelentős mértékben változhat. Az optimális tőszám meghatározása mellett fontos a tőszám optimum intervallum pontos meghatározása is. A termésbiztonság növelése érdekében célszerű az intervallum alsó értékét alkalmazni a termesztés során. A tőszám jelentős hatást gyakorol a kukorica termésére és termésbiztonságára is. Az optimális tőszámot alapvetően befolyásolja a hibrid genetikai tulajdonsága és a tenyésztési és hasznosítási körülményei. A termőhelyi adottság, az évjárat hatása, a víz- és tápanyag ellátás mértéke is jelentős befolyással bír. A következő korlátozó tényező a termesztésben a fény, hisz a tőszám növelésével arányosan az önárnyékolása is növekszik, ami befolyásolja az állomány teljesítményét is. Az optimálisnál magasabb tőszám növeli a vízigényt, az aszályérzékenységet, ezáltal csökkentheti a termésbiztonságot és a termést (PEPÓ, 2018).

## 2.6. Műholdak a mezőgazdaságban

Az első műholdat, a Szputnyik-1-et 1957. október 4-én lőtték fel, ám azóta több ezer mesterséges égitest kering egyrészt a Föld körül, valamint most már más bolygók és égitestek körül is. Energiájukat a Napból származó elektromágneses sugárzással biztosítják napelemek segítségével. A műholdaknak számos típusát különböztetjük meg feladatuk szerint: csillagászati műholdak, távközlési műholdak, navigációs műholdak, felderítő műholdak, és nem utolsósorban meteorológiai műholdak. Ez utóbbiaknak fontos szerepe van a mezőgazdasági megfigyelések terén.

A Föld körül keringő műholdak pályájukat tekintve nagyon sokfélék lehetnek, ezek közül legismertebbek a geostacionárius pálya és a kvázipoláris pálya. A dolgozatomban tárgyalt Sentinel műholdak kvázipoláris pályán mozognak (5. ábra).



5. ábra: kvázipoláris műhold pályája (forrás: [www.esa.hu](http://www.esa.hu)) (balra), és területi lefedettsége (forrás: Google Earth) (jobbra). Látószöge ritkábban halad át ugyanazon terület fölött, ezáltal néhány naponta érkeznek friss mérési adatok

## 2.7. SENTINEL műholdak

Az Európai Űrügynökség (későbbiekben ESA) aktívan jelen van a műholdas bolygóelemzésben. Az erre a célra szolgáló programjuk a Copernicus (<https://sentinels.copernicus.eu>). Alapvetően hat műholdtípusról beszélhetünk. Van olyan küldetés, ami egy, és van olyan, ami két műholdból áll. Bár iker műholdként hivatkozunk rájuk, adataik nem egy értéket adnak, hanem megfigyeléseik külön-külön értelmezhetők.

1. Sentinel-1: A teljes földfelszín monitorozására készült, mint például a jég-tenger arány mérése, hajózási útvonalak megfigyelése, tengerhullámvizsgálat, tengerpartok megfigyelése a feladata. Kéthetente kerüli meg a földet.

2. Sentinel-2A/B: Multispektrális képeket készít a föld felszínéről, ezek a képek 290\*290km méretű területet fognak be a látószögükkel. Öt naponta készítenek új képeket, két napos eltolással. Ez a valóságban azt jelenti, hogy először két, majd három nap szünet van a felvételek közt. Példának okán: 2023. 09. 1-4-6-9 A műholdak 12 hullámhossz sávot vizsgálnak rövid hullámú ultravöröstől az ultra kékig. Ez azt jelenti, hogy a 443nm-2190nm közötti fényvisszaverési tartományt.

3. Sentinel-3-6: Főleg meteorológiai feladatokat látnak el. ([www.sentinel.esa.int](http://www.sentinel.esa.int))

A multispektrális kamerákkal ellátott műholdcsaládok használhatóak a mezőgazdasági kontroll feladatok (NAGY et al. 2020) mellett a földfelszín változásának monitorozására is. Ilyen például a deforesztáció és a városiasodás miatt változó területek nyomon követése. Ezen feladatok ellátására úgy találták, hogy a Sentinel-2 műholdcsalád a legalkalmasabb. (PHIRI et al. 2020). Ez annak köszönhető, hogy a Landsat-8 műhoddal ellentétben nem csak 30, hanem 10-60m-es felbontású képeket is képes készíteni a Sentinel. Ebből következik, hogy az általa rögzített információ részletessége az egészen aprólékostól a durváig terjedhet, a feladat ellátására szolgáló hullámhossztól függően (NOVELLI et al. 2016). E felvételek mezőgazdasági alkalmazhatósága könnyen belátható. Megfelelő tájékozottsággal és tudással gyors és a mezőgazdasági területekre vonatkozó kvantitatív mérésekhez jutunk a növényállomány állapotáról. Ebből eredően a XXI. század mezőgazdaságának, főleg a napjainkban tapasztalható energiaárak mellett elengedhetetlen, hogy ezen segítséget igénybe vegyék. Végző soron a multispektrális kamerákkal felszerelt műholdak által szolgáltatott adatok és információk segítik az észszerűséget és a jövedelmezőséget (GAO et al. 2018)

A legtöbb kísérlet, ami a mezőgazdaság egyik leggyakoribb vegetációs indexét, az NDVI-t érinti aközött keres kapcsolatot, hogy a vegetációs index milyen korrelációban áll a realizált hozamokkal (FERENCZ et al. 2004). Alapvetően a kísérleteket két nagy csoportra lehet osztani. Egyrészt azok, akik az agrometeorológia felől közelítik meg a kérdést (BADHWAR és HENDERSON, 1981; BRAKKE és KANEMASU 1981; ASRAR et al. 1984; WIEGAND és RICHARDSON 1990; REYNOLDS et al. 2000), illetve vannak azok, akik közvetlen matematikai kapcsolatot keresnek a műholdas adatok értéke, és a hozamok közt. Néhány esetben csak és kizárólag a műhold adatokat használják fel, és a terméseredményre vetítve határozzák meg a képletet. (IDSO et al. 1977; AASE és SIDDOWAY 1981; GALLO és DAUGHTRY 1981; TUCKER et al. 1981; HATFIELD 1983; RUDORFF és BARISTA 1991; HAMAR et al. 1996; DEL FRATE és WANG 2001; SHAO et al. 2001; DEMPEWOLF et al. 2014). Ezen kutatások azt feltételezik, hogy a növények NDVI hányadosa, melyeket műholdas

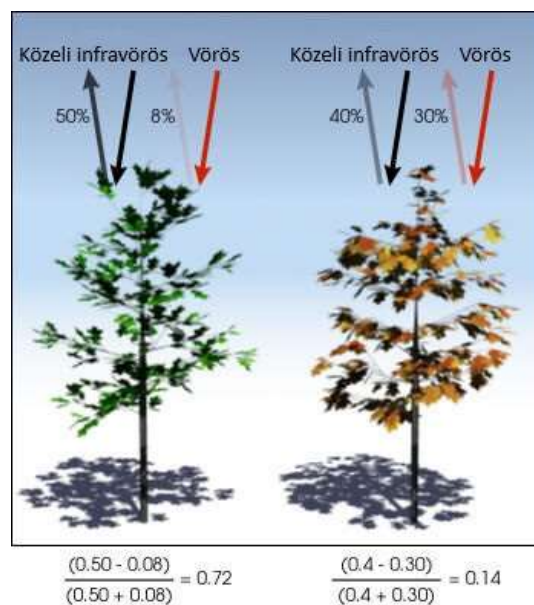
felvételek rögzítenek, közvetlen kapcsolatban áll az adott növény terméseredményével. (NAGY et al. 2018)

## 2.8. Normalizált Vegetációs Index jellemzése

A Normalizált (Differenciált) Vegetációs Index (NDVI) definíció szerint: Az NDVI az egyik leggyakrabban használt vegetációs index a mezőgazdaságban, amelynek értéke a felszínen lévő növényzet által visszavert (RED) és közeli infravörös (NIR) hullámhosszú sugárzás arányát jelenti. Abban az esetben, ha a területünkön a növényzet egészséges, a visszavert piros fény sokkal alacsonyabb a közeli infravöröshöz képest, szemben a károsodott vagy száradó növényzettel, ahol e két hullámhossz visszaverődő aránya közel azonos. Az NDVI adatok értékei -1.0-tól +1.0-ig terjedhetnek, kiszámolni a következő módon tudjuk (HUANG et al. 2014).:

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$$

Tucker et al. (1980) voltak az elsők, akik egyértelmű kapcsolatot tudtak hozni az NDVI és a tenyész évben várható hozam közt. Munkájuk során abból az irányból közelítették meg a témát, hogy minél zöldebb a növényi állomány, az NDVI értéke annál magasabb, ebből következik az állomány sokkal aktívabb és egészségesebb (WALL et al. 2008). Szárazföldön normál körülmények között negatív érték nem léphet fel, de vannak olyan extrém körülmények is, amikor a domborzat adottságai miatt mégis előfordul. Ebből következik, hogy negatív értéket leggyakrabban vízfelületek adnak. Beszélhetünk tavakról, vagy belvízről, az érték negatív lesz.



6. ábra: NDVI értéket adó reflektancia  
(forrás: <https://gisgeography.com>)



## 2.9. Alternatív technológia megjelenése, a drónok

Napjainkban a műholdak mellett vagy kiegészítéseként kell tekintenünk egy másik távérzékelési, de földbázisú műszerre, a drónokra. A mezőgazdasági felhasználásban alkalmazott drónok többsége 20-30m magasságban repül, legyen az permetező vagy felmérő drón. Hatalmas előnyük a Föld körül keringő műholdakkal szemben, hogy külső tényezőktől nem függ a mérési hely és időpont, illetve jelentős előnye még, hogy az időjárási körülményektől nem függ a mérés sikere (DUTTA és GUSWAMI 2014). Borult időben ugyanis nem számíthatunk a műhold méréseire. További nagy előnyük a felbontás, mely akár 6000x4000 pixel, azaz centiméter pontosságú is lehet. Ezen felül nem csak multispektrális, hanem RGB kamerával is jellemzően fel vannak szerelve, így az anomáliákat a felvételek alapján is szemügyre vehetjük. (WAN et al. 2020) Ennek köszönhetően hatalmas segítséget nyújtanak a döntéshozatalban, mert a műholdak 10x10m-es rácsfelbontással dolgoznak, és ha példának okán 4 db rács sarkán egyenlő hányadban helyezkedik el egy 5x5m-es terület, amelyen problémát észlelünk (1. táblázat), akkor kisimul az anomália, és nem tudjuk felmérni a probléma méretét (2. táblázat). Mert bár az adott négyzet értéke alacsonyabb lesz, mégis arányaiban nézve a 100-ból 93,75m<sup>2</sup> egészséges, és csak 6,25m<sup>2</sup>, ami problémás, egy például atka fertőzés kezdetén szója táblában nagy eséllyel elkerülné a figyelmünket, késői beavatkozás esetén pedig rendkívüli zöldfelület veszteség léphet és lép is fel, ez által csökken a fotoszintetizáló felület.

1. táblázat: NDVI értékek méterre bontva, ahol a sárga terület jelöl egy sárguló foltot

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
2	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
4	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
10	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
11	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
12	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
13	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
14	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
15	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
16	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
17	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
18	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
19	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
20	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

2. táblázat: NDVI értékek Sentinel-2 műholdas megjelenítése, területi átlagban, ahol a sárga folt okozta NDVI értékcsökkenés belesimul a nagyobb felbontás miatti átlagolásba

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.664										0.676									
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11	0.676										0.684									
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				

Természetesen ezek nem akkora hibák, ami miatt a műholdakat ne lehetne használni termésbecslésre. Ilyen például a BASF Xarvio gazdálkodási naplója, mely meteorológiai, talaj szerkezeti és NDVI adatok alapján képes arra, hogy a várható termést megbecsülje. A műholdképek elemzésének, így az NDVI számításának is vannak bizonyos korlátai. Leggyakoribb ilyen hibaforrás, ami adathiányhoz vezet a felhőborítottság. Minél nagyobb területet borít felhőzet, annál nehezebb és robusztusabb becslést tudunk készíteni adott terület NDVI értékeiről.

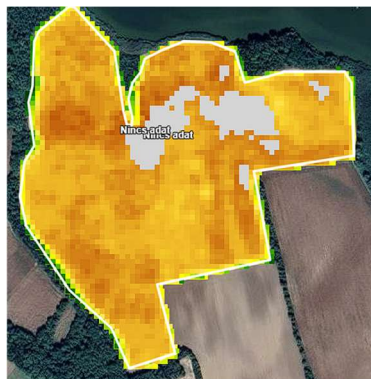
## 2.10. Termésbecslő eljárások áttekintése

A kukorica hagyományos termésbecslése úgy működik, hogy megszámloljuk  $1\text{m}^2$ -en hány csőhozó szár található, megszámloljuk, hogy hány cső van rajta, véletlenszerűen letörünk pár csövet, majd meghatározzuk a szem-csutka arányát, és a cső hosszát, ameddig szemek találhatóak rajta, mindezt a tejesérés végétől kezdődően. Ezt követően az így kapott eredményt beszorozzuk 10.000-rel. A feladat precíz elvégzéséhez legalább három mintavételi pontot kell kiválasztani szántóföldenként. Kicsit modernebb módszer az, amikor ismételten megszámloljuk  $1\text{m}^2$ -en hány csőhozó szár található, megszámloljuk, hogy hány cső van rajta, véletlenszerűen letörünk pár csövet, azt lemorzsoljuk, lemérik a tömegét, megméri a nedvességtartalmát, a kapott súlyt visszavetítik 14%-os nedvességtartalomra és a vizsgált területet visszaszorozzák egy hektárra. Az amerikai mezőgazdaság más analóg módszereket használ. Ők nem tonnában vagy mázsában, hanem bushelben, azaz vékában számolnak. Egy véka 35,24 liternek felel meg. A hozam vékában = csövek száma \* átlagos tőszám \* átlag mag szám / 89,605 (vagy \* 0,01116). Ebből a számból miután megmérték a szemnedvességet, fontban (0,45 kg) meg tudják adni, hogy hány milyen terméshozamra számíthatnak súlyban (<http://corn.agronomy.wisc.edu/>). Azonban a XXI. század technológiai előrehaladása lehetőséget nyújt a digitális termésbecslésre is. Az erre alkalmas programoknak nincs másra szüksége, mint bemenő adatként a talajtípusra, a meteorológiai adatokra és a hektáronkénti tőszámra, majd ezeket általában NDVI értékekkel is összeegyeztetve egy algoritmus segítségével becslést nyújt a várható terméshozamot illetően. Létezik olyan gazdálkodási napló, mely képes erre, hiszen így rendkívül nagy az adatbázis, sok év és terület termésadatai elérhetőek, és az agrotechnikai sajátosságokat is figyelembe tudja venni.

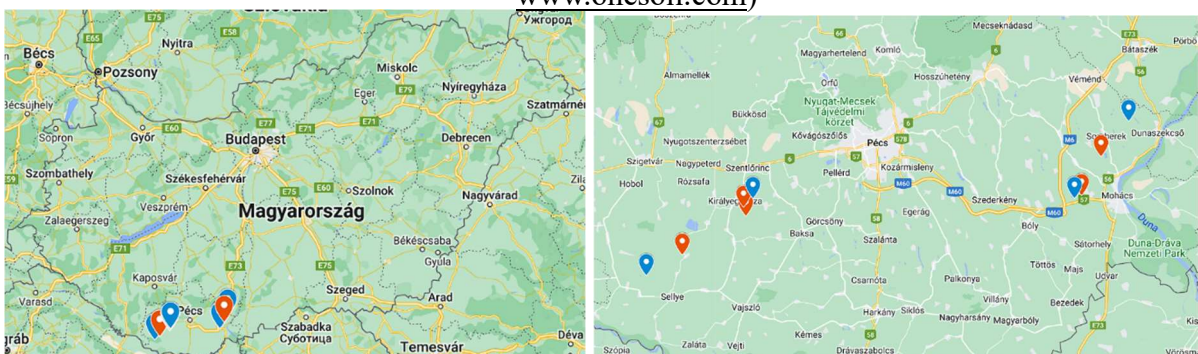
### 3. Anyag és módszertan

#### 3.1. Vizsgált területek és időszakok

A kutatás Dél-Magyarországon, az Alföld és a Dunántúli-Dombság peremén Baranyavármegye területén foglal helyet. Legfontosabb szempont a táblák kiválasztásánál az volt, hogy legalább két év termés adata ismert legyen, hogy a kutatásban használt képletek megerősítést nyerjenek. Az összesen vizsgált terület megközelítőleg 180 Hektár, 60km-es elterüléssel. Ezek az információk azért lényegesek, mert különböző domborzati viszonyok és mikroklímák jellemzik a szóban forgó területeket. A műholdak látószögét és a területre való pontos rálátását és a mérést jelentősen befolyásolhatják a domborzati viszonyok, és ez okozhat érzékelési hibát korai NDVI felmérések során (7. ábra). Vannak területek, melyekben a maximum szintkülönbség 3 m, míg van terület, ahol a legmagasabb és legmélyebb pont között 60 m szintkülönbség található, míg a legnagyobb lejtő meredeksége 50% felett van (4. táblázat). Ezeket az információkat a BASF Xarvio növényvédelmi program és gazdálkodási napló biztosította.

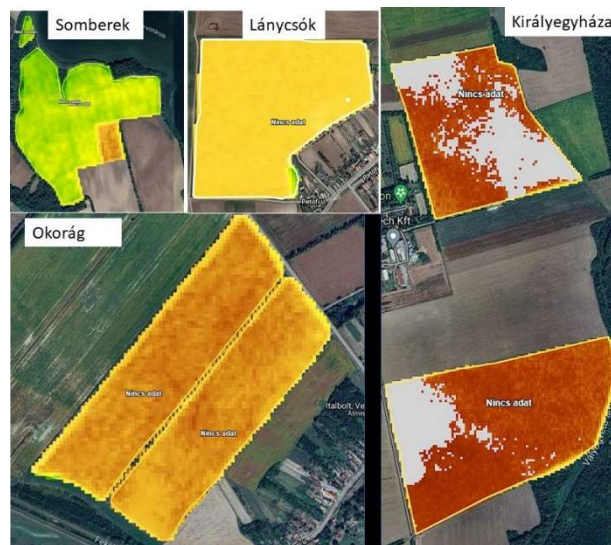


7. ábra: Domborzat miatt a látószögből kieső vagy gyengén látott területek (Forrás: [www.onesoil.com](http://www.onesoil.com))



8. ábra: Vizsgált parcellák elhelyezkedése magyarországi kivágaton (balra), és ráközelítve a Dél-Dunántúlon (jobbra). Kék: Meteorológiai adatok rácspontjai, Piros: vizsgált területek

A négy vizsgált terület a következő négy település közigazgatási területéhez tartozik: Somberek, Lánycsók, Okorág és Királyegyháza (9. ábra). A Királyegyháza parcellán megfigyelhető foltok belvizet jelentenek. A színbeli eltérést az adja, hogy a képek rögzítésének időpontjában eltérő állapotban voltak a területek. A területek pontos GPS koordinátáit, nagyságát, talajféleségét és a területen található szintkülönbségeket a 3. táblázat tartalmazza.



9. ábra: A négy kísérleti helyszín táblái a műholdképek felvételén az NDVI értékeket feltüntetve (Forrás: [www.onesoil.com](http://www.onesoil.com))

3. táblázat: Területek talajfélesége, mérete, és domborzati sajátosságok, koordinátáik

	Vizsgált terület nagysága	Talajféleség	Szintkülönbségek	GPS koordináta
Okorág	36.1	agyagos vályog	3m	45.926118, 17.868508
Királyegyháza	101.9	agyagos vályog	6m	45.988766, 17.982303
Lánycsók	18.5	agyagos vályog	15m	46.003683, 18.612494
Somberek	26.5	agyagos vályog	60m	46.103389, 18.673837

A vizsgálat során feltétel volt, hogy olyan területeket válasszunk, ahol legalább két évben volt természetve kukorica, és az szemes állapotban legyen betakarítva, hogy minimalizáljuk a hibák lehetőségét. A 4. táblázatban részletesen megtaláljuk azokat az éveket és területeket, amelyeket

a vizsgálatba bevontunk. Királyegyházán és Lánycsókon három év (rendre 2019, 2020, 2021 és 2017, 2019, 2021), Okorág és Sombereken két-két évben volt kukorica (2019, 2021 és 2016, 2022).

4. táblázat: Területek tenyész évei

	Királyegyháza	Okorág	Lánycsók	Somberek
2016				
2017				
2018				
2019				
2020				
2021				
2022				

Vizsgálatunkat egyszerűsítette az, hogy a vizsgált területek talajainak felső rétege agyagos vályog, ennek következtében a talajt, mint befolyásoló tényezőt nem kellett számba venni.

### 3.2. Vizsgálati időszak hosszának megállapítása

Korábbi tanulmányok azt állapították meg, hogy június 29 és szeptember 7 között lehet a legpontosabban termésbecslésre használni a távérzékelés során kinyert adatokat. (NAGY et al. 2018). Mi azonban nem elégedtünk meg ezzel, tudni akartuk, hogy a tavaszi időjárás befolyásolja-e a termést és a növény fejlődését, ha igen, mennyire. Ebből az okból május elejétől szeptember elejéig nyertünk ki adatokat a Sentinel-2 képekből, hogy egyrészt megfigyeljük hány nap alatt kellett ahhoz, hogy a levélzet összezárjon, hány nap, hogy elérjék a területek a 0,6-os értéket, illetve hány napig képes magát ezen az értéken megtartani. A 0,6-os értéket terepszemle során állapítottam meg, itt figyelhető meg először teljesen összezárt levélzet.

Ebben a lépésben további cél az volt, hogy meghatározzuk azokat a napokat, melyek valamilyen jelentőséggel bírtak úgy fenológiai, mint meteorológiai adatok alapján. Az adatok elemzése közben azt figyeltük meg, hogy 10-15 naponként történt olyan meteorológiai esemény (gondolok a hőmérséklet vagy csapadék mennyiségre), ami alapján kiválaszthattuk a műholdkép adatokat. Chebyshev-tétel szerint (AMIDAN, FERRYMAN és COOLEY 2005) a

kiugró értékeket gyakran eltávolítják, hogy megtisztítsák az adathalmazt a szélsőséges értékektől. Mi sem tettünk másképp, ugyanis a Sentinel-2 képfelbontása 10\*10m, így például egy erdősáv mellett bizonyos időszakokban a vizsgált terület átlaga 0,3, de a legmagasabb érték az erdősávból 0,8 volt.

### 3.3 Meteorológiai adatok kinyerése

Azt követően, hogy a parcelláink koordinátái ismertté váltak, a következő lépés a releváns meteorológiai rácsponatok meghatározása volt. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (későbbiekben OMSZ) Meteorológiai Adattárában (<https://odp.met.hu/>) elérhetőek, az 1971 január 1. és 2022 december 31. között eltelt napok minimum, maximum és átlag hőmérséklete, átlagos páratartalom, illetve a napi csapadék és globálsugárzás összege 1233 rácspontra vetítve. A vizsgálat szempontjából csak az 5. táblázatban látható állomások adataira volt szükségünk, és ezeket is szűkítettük úgy, hogy csak a vizsgálat időszakának adatait tartalmazza az adatbázisunk (2016-2022).

5. táblázat: Meteorológiai mérőpontok sorszama, koordinátái

	Mérőpont sorszama	Mérőpont koordinátái
Okorág	277	45.9, 17.8
Királyegyháza	298	46.0, 18.0
Lánycsók	425	46.0, 18.6
Somberek	446	46.1, 18.7

Az előkészítés másik jelentős lépése az OMSZ Meteorológiai Adattár (<https://odp.met.hu/>) adathalmazának szűkítése, és lehetőségektől függően 15(+/-5nap, ahol a felhőborítottság akadályozta a kép rögzítését) a meteorológiai jellemző megfelelő műveletét elvégezni. A legfontosabb vizsgálati időszak a betakarítást megelőző 4-6 hét volt (NAGY et al. 2021). Jellemzően július közepétől kora szeptemberig.

### 3.4. Alkalmazható vegetációs indexek

Bár az NDVI hasznos formula, de vannak hátrányai. Ilyen például az, amikor a tág térállású kultúrákban a növények levele még nem zárt össze. Kukoricában megfigyelhető, hogy BBCH 14 és 19 fenológiai stádium közt ugrásszerű értéknövekedés lép fel, ugyanis a levelek összezárnak és a talajról már minimális reflektancia érzékelhető. Ez az állapot előtt a SAVI, azaz a soil adjusted vegetation index (talajra korrigált VI)

$$SAVI = ((NIR - R) / (NIR + R + L)) * (1 + L),$$

ahol  $L=0,5$  előre meghatározott konstans, a legtöbb talajra értelmezhető reflektancia érték. Ezzel azonban nem fogunk foglalkozni, mert termésbecslés szempontjából a betakarítást megelőző 4-6 hét az, amivel releváns információt nyerhetünk (NAGY et al. 2018).

### 3.5. Műholdas adatok kinyerése

Miután a meteorológiai adatokat leszűkítettük, a területekre standardizált időintervallumonként igényeltünk Sentinel-2 képeket. A kiválasztásnál lényeges szempont volt a felhőborítottság, ugyanis azokon a napokon, amikor felhőzet takarta el a műhold látószögéből a vizsgált területet, nem tudtunk információhoz jutni (6.-8. táblázat). Ezekben az esetekben a legközelebbi elérhető napot választottuk ki. Később az eltérő időlépcsőnek jelentősége lesz, hiszen az egyes paraméterek esetében a két mérés között eltelt idő szerint súlyoztuk a számításainkat, mert nem mindegy például, hogy hány napra összegezzük a sugárzási vagy hőmérsékleti adatokat. A 6. táblázatok első sorában lévő Időtartam sokkal hosszabb, mint a későbbi időlépcsők. Ennek oka, hogy a vetés után nem rögtön, hanem a nemzetközi szakirodalomnak megfelelően május közepétől kezdtük vizsgálni az NDVI-t és a meteorológiai változókat.

6. táblázat: A különböző vizsgálati helyszíneken elérhető és a számítások során felhasznált műholdmérések időpontjai, és a két időpont között eltelt időtartam napokban kifejezve

Parcella	Év	Hónap	Nap	Időtartam	Parcella	Év	Hónap	Nap	Időtartam
Somberek	2016	05	20	42	Lánycsók	2017	05	18	27
Somberek	2016	05	30	10	Lánycsók	2017	05	28	10
Somberek	2016	06	09	10	Lánycsók	2017	06	14	17
Somberek	2016	06	29	20	Lánycsók	2017	06	24	10
Somberek	2016	07	09	10	Lánycsók	2017	07	04	10
Somberek	2016	07	19	10	Lánycsók	2017	07	14	10
Somberek	2016	08	08	20	Lánycsók	2017	07	24	10
Somberek	2016	08	28	20	Lánycsók	2017	08	03	10
Somberek	2016	09	10	13	Lánycsók	2017	08	13	10
					Lánycsók	2017	08	26	13
					Lánycsók	2017	09	05	10



7. táblázat: A különböző vizsgálati helyszíneken elérhető és a számítások során felhasznált műholdmérések időpontjai, és a két időpont között eltelt időtartam napokban kifejezve

Parcella	Év	Hónap	Nap	Időtartam	Parcella	Év	Hónap	Nap	Időtartam
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2019	05	08	18	Királyegyháza	2020	05	04	16
Lánycsók,	2019	05	25	17	Királyegyháza	2020	05	22	18
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2019	06	12	18	Királyegyháza	2020	06	03	12
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2019	06	29	17	Királyegyháza	2020	06	21	18
Királyegyháza, Okorág	2019	07	17	18	Királyegyháza	2020	07	06	15
Királyegyháza, Okorág	2019	07	29	12	Királyegyháza	2020	07	23	17
Lánycsók	2019	07	12	13	Királyegyháza	2020	08	07	15
Lánycsók	2019	07	24	12	Királyegyháza	2020	08	27	20
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2019	08	11	18	Királyegyháza	2020	09	09	18
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2019	08	26	15					
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2019	09	07	12					

8. táblázat: A különböző vizsgálati helyszíneken elérhető és a számítások során felhasznált műholdmérések időpontjai, és a két időpont között eltelt időtartam napokban kifejezve

Parcella	Év	Hónap	Nap	Időtartam	Parcella	Év	Hónap	Nap	Időtartam
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2021	05	07	34	Somberek	2022	05	09	27
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2021	05	17	10	Somberek	2022	05	24	15
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2021	06	11	24	Somberek	2022	06	08	15
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2021	06	26	15	Somberek	2022	06	26	18
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2021	07	08	12	Somberek	2022	07	16	20
Lánycsók	2021	07	21	13	Somberek	2022	07	26	10
Királyegyháza, Okorág	2021	07	23	15	Somberek	2022	08	12	17
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2021	08	07	18	Somberek	2022	08	27	15
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2021	08	22	15	Somberek	2022	09	09	13
Lánycsók, Királyegyháza, Okorág	2021	09	6	15					

### 3.6. Adatok kinyeréséhez használt programok:

A Google Earth adta a területek ábrázolásának a lehetőségét, és létrehozott .KMZ (Keyhole Markup Language Zipped Google Earth saját fájl típusa) fájlokat, melyeket a QGIS program átalakított ESRI shape fájlá, mely alapján a szűkíteni tudtuk SNAP (SeNtinel Application Platform) -ben a Sentinel-2 képeket, hogy csak a kérdéses területekre nyerjen ki visszaverődő RGB és NIR fénysávokat. A megfelelő időpontok kiválasztásában a One Soil nevezetű ingyenesen hozzáférhető program nyújtott segítséget, mely naptárban jelzi azt, hogy

a műholdak mikor haladtak el, illetve, hogy a képkészítés sikeresen történt-e vagy sem a felhőborítottság mértékétől függően. A hullámhosszok értékeit színenként és sávonként a 9. táblázat tartalmazza.

9. táblázat: a Sentinel-2 műholdak különböző színekhez tartozó hullámhossz értékei.

<b>Színek és a hozzájuk tartozó sáv neve</b>	<b>Hullámhossz</b>
Piros R-(B4)	665nm
Zöld G-(B3)	560nm
Kék B-(B2)	490nm
Közeli Infravörös NIR-(B8)	842nm

A statisztikai vizsgálatokhoz mind a meteorológiai, mind az NDVI adatokat elő kellett készíteni. A meteorológiai adatok esetében a két mérési nap között eltelt időszakra kiszámítottuk az effektív hőmérsékleti összeget, ami kukorica esetében a kukorica bázishőmérséklete ( $t_0=8^{\circ}\text{C}$ ) feletti napi átlaghőmérsékleti értékek összege, a csapadékösszeget, a globálsugárzás összegét, valamint erre az időszakra kiszámítottuk az átlagos relatív páratartalmat. Ezt követően az NDVI értékeket súlyoztuk a két mérés közötti eltelt napok számával, hiszen így kaptunk összehasonlítható eredményeket a meteorológiai adatokkal. Ekkor az eltelt időszak napjainak számával megszoroztuk a mérési napon mért területre átlagolt NDVI értéket. Ha ezt grafikusán ábrázolnánk, akkor egy lépcsősfüggvényt kapnánk, és a feltételezés szerint a két időszak között konstansnak tekintettük az NDVI értékét. Ezt követően kumulált NDVI értékeket számítottunk ki a teljes időszakra, azaz a súlyozott NDVI értékeket összeadtuk.

### **3.7. Alkalmazott statisztikai módszerek**

A vizsgálataink során korreláció-számítást, illetve többtenyezős variancia-analízist (ANOVA) végeztünk annak érdekében, hogy összefüggést találjunk a meteorológiai változók és a vizsgálati helyszíneken műholdadatokból nyert NDVI adatok között. Ezt követően főkomponens-analízist (PCA) csináltunk azzal a céllal, hogy kimutassuk, mely változók alkalmasak leginkább a többváltozós lineáris regresszió elvégzéséhez, amivel a terméshozam becslést végezzük el.

A PCA egyfajta “machine learning” folyamat, ami arra szolgál, hogy nagy adatbázisok egyszerűsítését végre tudjuk hajtani. Ez alapvetően egy dimenziócsökkentő eljárás – azaz a változók közül ki akarjuk választani azokat, amelyek a legjelentősebbek. Ennek általában két oka van: vagy ábrázolni és könnyebben érthetővé szeretnénk tenni az adatainkat, vagy olyan statisztikai, gépi tanulási módszert szeretnénk alkalmazni, ami megbízhatóbbá és/vagy gyorsabbá teszi a modellezési eljárást. Esetünkben egyszerűen ki akartuk mutatni, hogy melyek a legnagyobb információtartalommal rendelkező változóink, amelyek a legnagyobb hatással voltak a vizsgálat kimenetelére.

A korreláció-számítást és a többváltozós lineáris regressziót MS Excelben, míg a többszintű ANOVA-t és a PCA az R statisztikai program segítségével hajtottuk végre.

## 4. Eredmények és értékelésük

### 4.1. A 2022-es aszály elemzése Sombereken

Első körben szeretnénk röviden szemléltetni a 2022-es aszály megjelenését az NDVI értékekben. 2022-ben az általunk vizsgált 4 helyszín közül csak Sombereken volt kukorica, ezért ezen az egy helyszínen tudunk vizsgálatot végezni. A referencia év a 2016-os év, ami csapadék szempontjából nem volt szélsőséges.

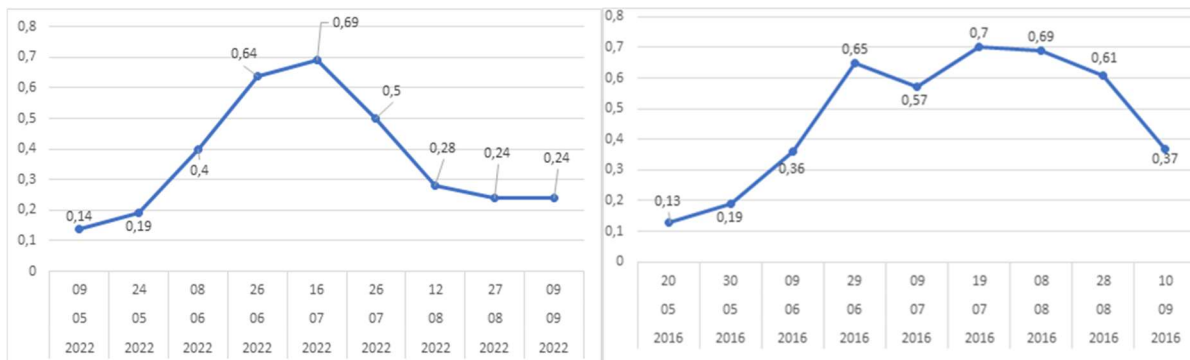
Az egészséges vegetáció a vörös fény kis százalékát veri vissza, így az a műholdképeken zöld színeként jelenik meg. Minél több piros fényt nyel el a növény, annál magasabb az NDVI érték, és annál erősebb a fotoszintézis is. Alapvetően az egészséges kultúra NDVI értékei fenológiai fázistól függően 0,6-0,8 között alakulnak, ha ettől negatív irányban eltérést tapasztalunk, akkor valamilyen okból kifolyólag a növény stresszhatásnak van kitéve. Sok éves átlag alapján a fent említett NDVI intervallum június közepétől augusztus végéig, szeptember elejéig tart, azonban 2022-ben már július közepén megfigyelhető volt 0,5-tel kezdődő érték. Ez azért érdekes, mert a szemtelítődés időszakában nem volt jellemző egyik vizsgált évben sem az ilyen korai száradás, és ez a terméseredményeken is meglátszik. Az év rendkívül száraz tavasszal indult, és nagyjából így is folytatódott. A vizsgálatunkba eső 150 nap alatt 186,9 mm csapadék hullott, az egész tenyészidőszakban pedig 268,7 mm. Ebből származik, hogy 27 nap alatt a betakarításig érkezett közel 82 mm csapadék, azaz az áprilistól szeptemberig hulló csapadék 44%-a. 2016-ban ugyanezen a területen 155 nap alatt 375 mm, míg a teljes tenyész év alatt 434 mm csapadék hullott (10. táblázat). Ez a vegetáció állapotán, és a terméseredményeken is meglátszik.

10. Táblázat: Csapadékmennyiség alakulása a tenyészidőszak különböző időszakaiban 2016-ban és 2022-ben Sombereken

2016	mm	2022	mm
április 8.-július 9.	193.03	április 14.-július 16	142.85
július 10.-szeptember 10.	182.29	július 17.-szeptember 9	44.05
szeptember 11.-október 17.	59.25	szeptember 10-október 17	81.81

A növényállományon mért NDVI értékek is hűen tükrözik a 2022-es év szélsőségeségét (10.ábra). A 10. ábrán (balra) egy majdnem ideális trendvonalat járnak be az NDVI értékei a kukorica állomány állapotának megfelelően, jobbra azonban a 2022. év okozta anomáliát látjuk. Jól látszik az NDVI értékekből következtetve, hogy a májustól július derekáig tartó időszakban

átlagosnak mondható a fejlődés menete, ami annak köszönhető, hogy a lehulló csapadék összege nem volt kirívóan alacsony.



10. Ábra: az NDVI alakulása a megfelelő csapadékelátottságú évben, 2016-ban (jobbra), és a rendkívüli aszályal sújtott 2022-es évben (balra)

#### 4.2. Összefüggések keresése az NDVI értékének alakulása, és a meteorológiai tényezők közt

A kukorica tenyészideje alatt számos időjárási helyzettel és akár szélsőségekkel is találkozunk. Vizsgálatunkban a 4 vizsgálati helyszín és a hozzájuk legközelebb eső rácspontok meteorológiai adatait vetettük össze az NDVI értékekkel. A vizsgálatba bevont meteorológiai paraméterek a két műholdmérés közötti időszakban fellépő effektív hőösszeg, globálsugárzás összege, csapadékösszeg és átlagos relatív páratartalom voltak. Súlyozott NDVI értékeket számítottunk ki, azaz nem csak az adott időszakra vonatkozó átlagos NDVI értékkel számoltunk, hanem súlyként figyelembe vettük a két műholdmérés között eltelt idő hosszát is. Az esetlegesen felmerülő felhőborítottság miatt nem mindenhol egységes a két mérés között eltelt intervallum. A kapcsolat kimutatásához először korreláció-számítást végeztünk, majd hattényezős variancia-analízist készítettünk. A korreláció számítás eredményeit az 11. táblázat szemlélteti. A meteorológiai paraméterek közül szoros kapcsolatot találtunk az NDVI és az effektív hőösszeg között ( $R^2=0,77$ ), közepesen erős kapcsolatot a globálsugárzás ( $R^2=0,37$ ) és a lehullott csapadék mennyisége ( $R^2=0,25$ ) között. A relatív páratartalom nem játszott szerepet az NDVI alakulásában ( $R^2=0,08$ ).

11. táblázat: Egyes elemek közötti korreláció

	Súlyozott kumulált NDVI
Súlyozott kumulált NDVI	1
Effektív hő	0.77
Sugárzás	0.37
Csapadék	0.25
Nedvesség	0.07

A 12. táblázatban szerepelnek a hattényezős variancia-analízis releváns eredményei, ahol különböző szignifikancia-szintek mellett kimutatható kapcsolatot találtunk. A hat-tényező együttesen nem mutatott szignifikáns kapcsolatot az NDVI értékkel, ezért ez az eredmény nem szerepel a táblázatban. Értelemszerűen a legszorosabb kapcsolat a hónap és az NDVI között volt, hiszen a fenológiai fázisok változásával a klorofill tartalom is változik a növényekben, így a fényelnyelése is dinamikusan változik a tenyészidő alatt. Ugyanakkor érdekes módon az évjáráthatás nem érvényesült, ez a későbbiekben más matematikai módszerrel is bizonyítást nyert. A meteorológiai változók közül az effektív hő és a sugárzás mutatta a legszorosabb kapcsolatot az NDVI értékeivel. Ha két tényezőt veszünk figyelembe, akkor a Hónap:Sugárzás és az Effektív-hő:Sugárzás mutatott együttesen szignifikáns kapcsolatot az NDVI értékekkel. Az évjáráthatás önállóan ugyan nem, de a paraméterek kombinációiban már megjelenik. Az Év:Hónap, az Év:Sugárzás, valamint négytényezős variancia-analízis esetében az Év:Effektív-hő:Sugárzás:Csapadék, valamint az Év:Hónap:Sugárzás:Nedvesség kombinációi mutattak együttes hatást.

12. Táblázat: az egy- és többtenyezős ANOVA szignifikáns eredményeit tartalmazó táblázat feltüntetve a szignifikancia fokát is

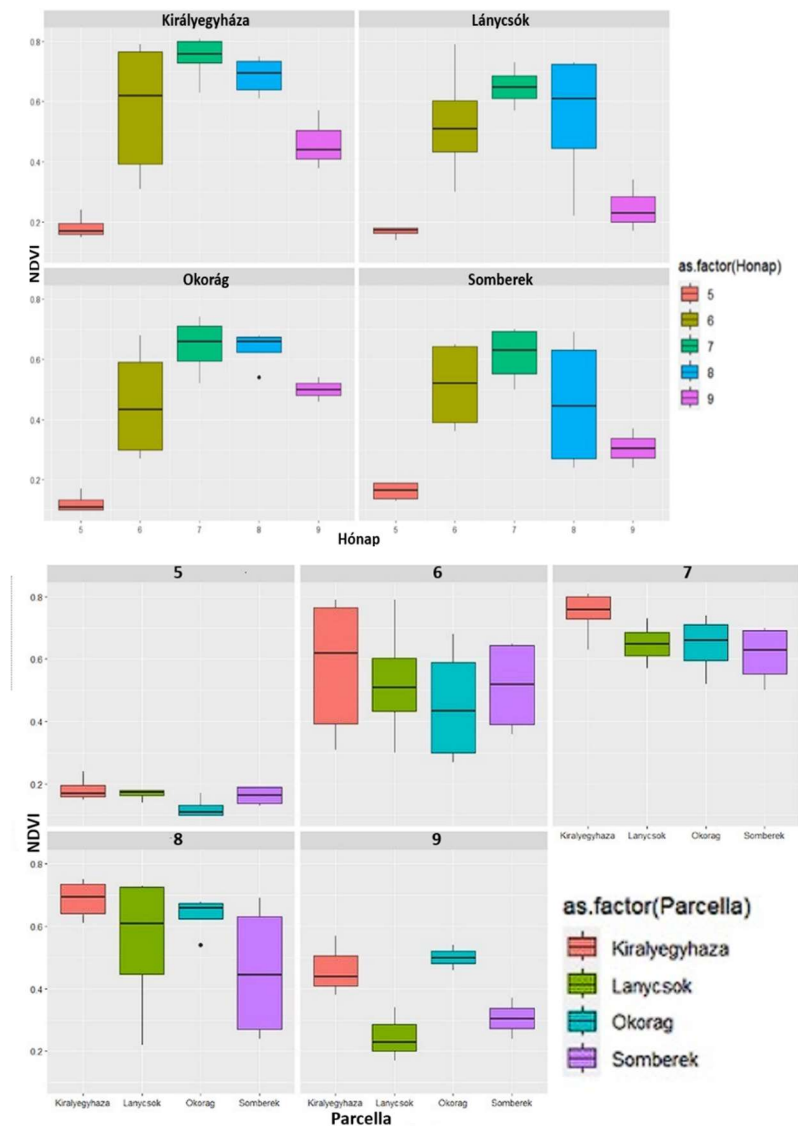
	<b>F-érték</b>	<b>p-érték</b>	<b>Szignifikancia szint</b>
Év	2.22	0.1470	
Hónap	69.45	<0.001	***
Effektív hő	93.42	<0.001	***
Sugárzás	15.59	<0.001	***
Év:Hónap	7.27	0.0117	*
Év:Effektív hő	1.01	0.3240	
Hónap:Effektív hő	4.08	0.0529	.
Év:Sugárzás	11.6	0.0020	**
Hónap:Sugárzás	20.7	<0.001	***
Effektív hő:Sugárzás	18.08	<0.001	***
Effektív hő:Csapadék	5.84	0.0223	*
Csapadék:Relatív páratartalom	5.54	0.0258	*
Év:Effektív hő:Sugárzás:Csapadék	13.38	0.0010	**
Év:Hónap:Sugárzás:Relatív páratartalom	9.47	0.0046	**
Év:Effektív hő:Sugárzás:Relatív páratartalom	3.68	0.0653	.
Év:Hónap:Effektív hő:Sugárzás:Csapadék	4.02	0.0546	.
Signif.ikancia szint: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '*' 0.05			

A 11. ábrán szerettük volna grafikusan is bemutatni az NDVI index alakulását egyrészt vizsgálati helyszínenként csoportosítva (11.ábra, fent), illetve havonként csoportosítva, amellyel az egyes vizsgálati helyszínek közötti NDVI eltéréseket tudjuk vizsgálni.

A településeken évek szerint ugyan nem bontottuk szét az NDVI értékeit, de a szórás adatokból következtethetünk arra, hogy mely hónapokban volt nagyobb eltérés a kukorica fejlettségi állapotát tekintve. A 11. ábrán (fent) Királyegyházán volt májusban a legnagyobb szórása a NDVI-nak, ami egyrészt adódhat kelés egyenetlenségéből, másrészt az évek közötti ingadozásból. Az NDVI júniusi tetőzése, majd az állomány fokozatos száradása a tenyészidőszak végéig jól nyomon követhető mind a négy vizsgálati helyszínen. A 11. ábra



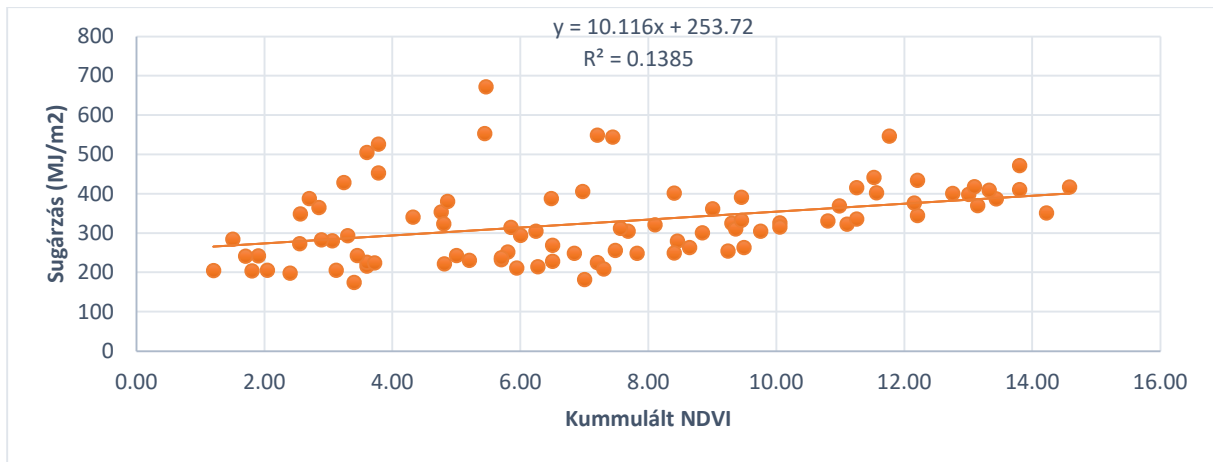
(alul) havi bontásban mutatja az NDVI értékeket összehasonlíthatóvá téve az adatsorokat. A kelés időszaka viszonylag egységes, illetve a júniusi nagy zöldtömeg is mindenütt megjelenik viszonylag kis szórási értékekkel. A kritikus időszakok a május és az augusztus, ahol jelentős szórást mutatnak az állományok. Érdekes eredményre jutottunk szeptemberben, hiszen láthatóan kis szórással, de szignifikáns különbségek vannak az egyes vizsgálati helyszínek NDVI értékei között. Ez az adott évben vetett hibridtől, agrotechnikától, de a mikroklímától és adott év szeptemberi időjárásától is függhet.



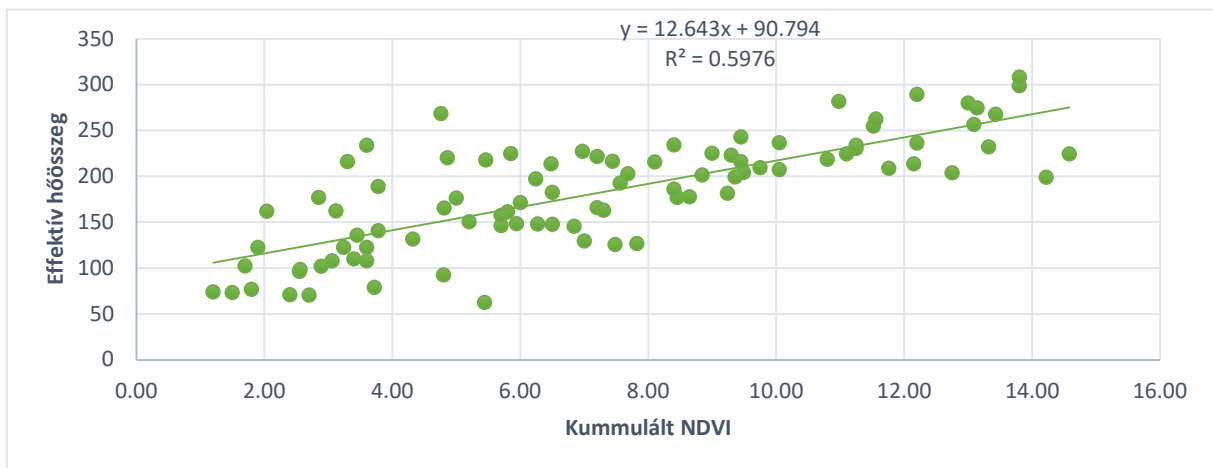
11. ábra: a kéttényezős ANOVA grafikus megjelenítése doboz-ábrával. Fent: a hónapok közötti NDVI eltérés vizsgálati helyszínenként csoportosítva. Alul: az egyes hónapokra vonatkozó NDVI értékek összehasonlítása

A következő ábrákon (12-15. ábra) a kumulált NDVI értékek és a különböző meteorológiai paraméterek közötti lineáris kapcsolat látható. Ezeket azért vizsgáltuk meg, hogy előkészítsük a többváltozós lineáris regresszió elvégzését. A 12. ábra a globálsugárzás és a kumulált NDVI értékek kapcsolatát mutatja. Értelemszerűen minél nagyobb a globálsugárzás, annál nagyobb a kumulált NDVI értéke. Másodikként az effektív hőösszeg adatokat vetettük össze az NDVI értékekkel (13. Ábra). Itt a legszorosabb a kapcsolat, ahogy a korreláció-számítás során is bebizonyosodott. míg látszólag a csapadékadatokkal nem mutatkozik szoros kapcsolat (14. Ábra). A relatív páratartalommal fennálló kapcsolatot nem ábrázoltuk, mert értékét

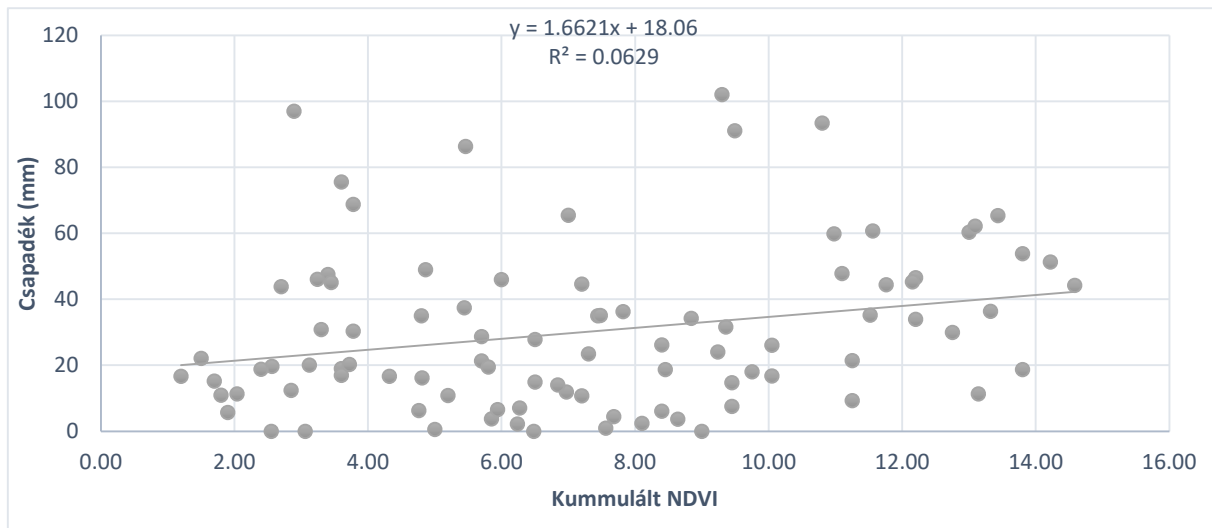
elhanyagolhatónak találtuk. Ezen eredmények miatt elvégeztük a főkomponens-analízist, ami iránymutatást ad majd arra vonatkozóan, hogy mely paramétereket kell bevonni a többváltozós lineáris regresszió egyenletébe.



12. ábra: Globálsugárzás-kumulált NDVI aránya



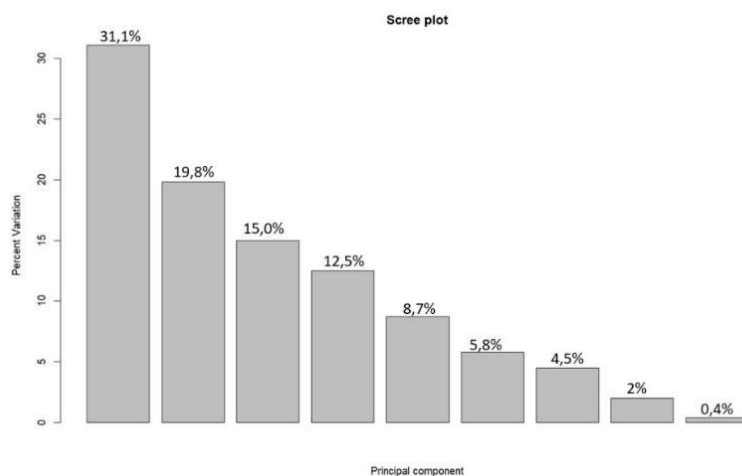
13. ábra: Effektív hősszeg-kumulált NDVI aránya



14. ábra: csapadék-kumulált NDVI aránya

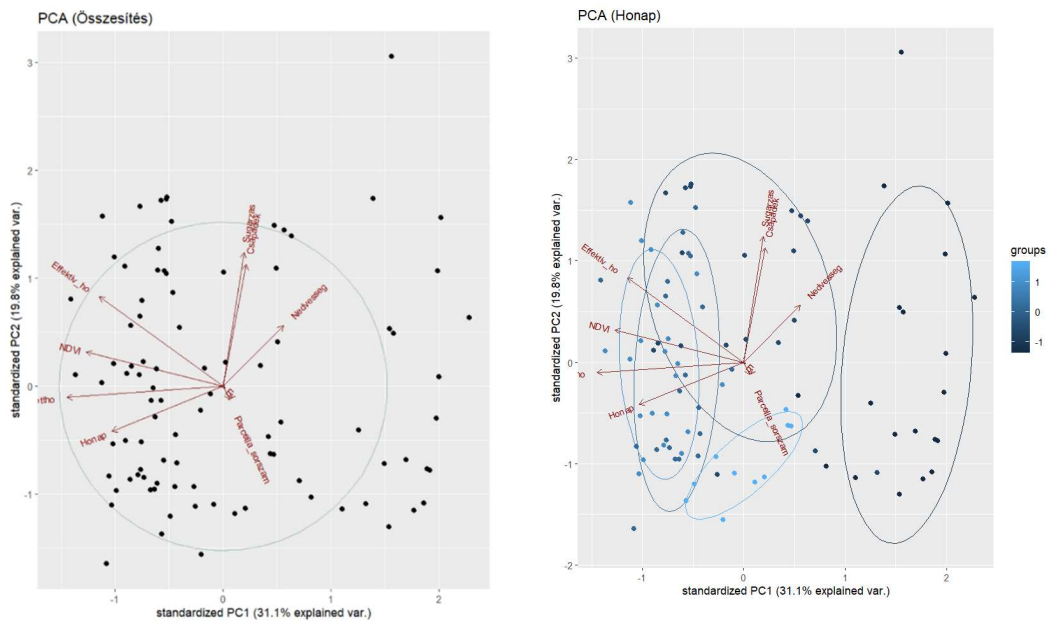
### 4.3. Főkomponens-analízis eredménye

A főkomponens-analízis módszertana szerint azok a változók rendelkeznek a legnagyobb információtartalommal, amelyek a legnagyobb variációval rendelkeznek. A variációhoz való százalékos hozzájárulás ábráját látjuk a 15. ábrán. A vizsgálatba bevont paraméterek az év, hónap, vizsgálati helyszín, sugárzás, effektív hőösszeg, NDVI értékek, csapadékmennyiség, relatív páratartalom. Az első oszlopban az első főkomponens variációjának százalékos arányát látjuk a teljes variációhoz képest. Ez jelentősen hozzájárul az adatok szórásához, tehát esetünkben jelentős információtartalommal bír. Ezt követi a második, harmadik...stb. főkomponens hozzájárulása. Erről az ábráról nem olvasható le, de grafikusan meg tudjuk határozni, hogy mely paraméterek melyik főkomponensnek felelnek meg.

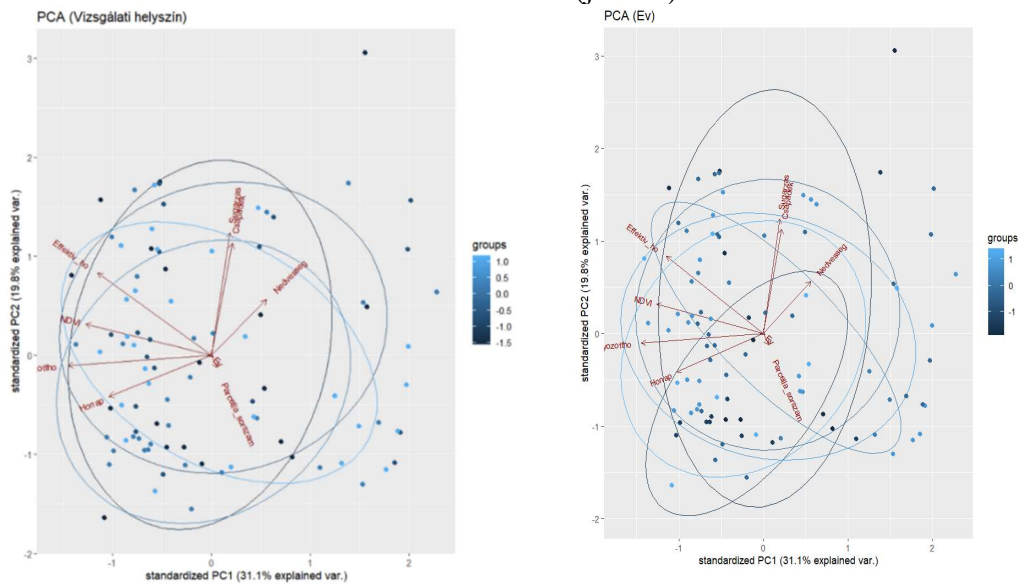


15. Ábra: az egyes főkomponensek százalékos hozzájárulása a teljes variációhoz csökkenő sorrendben

Annak érdekében, hogy megállapíthassuk az egyes tényezők szerepét a vizsgálatban, grafikus megoldást hívunk segítségül. Az első és második főkomponens megjelenítését a 17. ábrán láthatjuk. A nyilak nagysága a tényező fontosságára utal, iránya pedig arra, hogy milyen irányban okoz varianciát. Az első főkomponens az X-tengelyen látható, ezért az ezzel párhuzamos nyilakat vesszük figyelembe. Ebben az esetben az NDVI és az Effektív hőösszeg játszik fontos szerepet a variancia alakításában. Nem lehet figyelmen kívül hagynunk a hónap, a sugárzás, a csapadék és a légnedvesség hatását sem. A hónap okozta varianciát a 16. ábrán jobbra láthatjuk. Ezzel szemben sem az évjárat, sem pedig a vizsgálati helyszín nem járult hozzá szignifikánsan a varianciához, tehát nem szükséges bevonnunk őket a további vizsgálatainkba (17. ábra balra és jobbra)



16. ábra: összesített PCA eredmény a változókkal (balra), a Hónap változó szerint csoportosítva az adatokat, ahol látszik az adatok X-tengely menti jelentős szórása (jobbra)



17. Ábra: a Vizsgálati helyszín szerint csoportosított PCA eredmény. Az ellipszisek egymással fedésben vannak, ezért nem járul hozzá szignifikánsan az adatok varianciájához (balra), az Év szerint csoportosított PCA eredmény, szintén nem szignifikáns hozzájárulással (jobbra)

A többi változó, mivel folytonos változók és nem diszkrét változók (évből, helyszínből és hónaptól jól meghatározott számú kategória van), ezért azokat nem tudjuk lehatárolni ellipszisekkel. Ezekben az esetekben más matematikai módszer, például cluster analízist

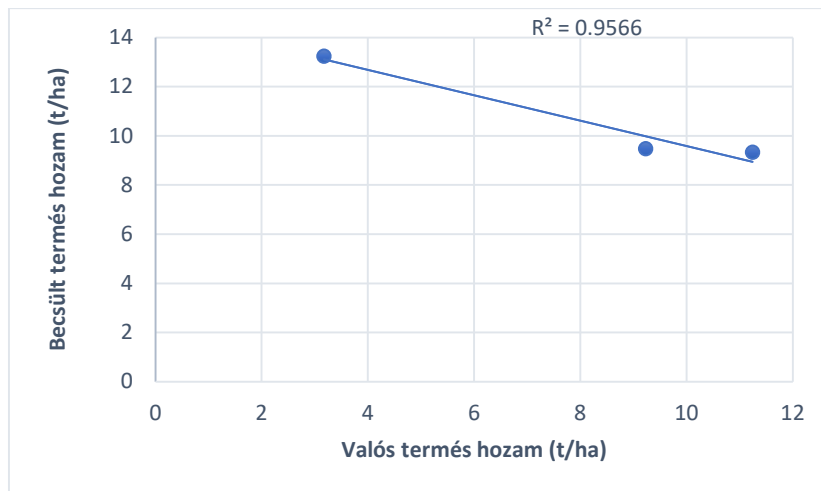
kellene alkalmazni, amit e dolgozat keretei között most mellőzünk, hiszen az eredmények részletezéséhez nem járul jelentősen hozzá.

#### 4.4. Terméshozam becslése

Ezt követően lineáris illesztést hajtottunk végre, mellyel megkíséreltük a termésbecslést, és az alábbi képletet kaptuk:

$$y = -0.08t_{ti} - 0.06RH - 0.01P + 0.01R + 0.03T_{eff} + 0.37NDVI - 76.45$$

ahol  $y$  a becsült terméshozam, mint függő változó,  $t_{ti}$  a tenyészidő teljes hossza (nap),  $RH$  az átlagos relatív páratartalom (%),  $P$  a tenyészidőszak alatt lehulló csapadék mennyisége (mm)  $R$  az állományt ért teljes globálsugárzás a tenyészidő alatt,  $T_{eff}$  az effektív hő összege. Az így kidolgozott módszert a meglévő, ismert termés, NDVI és meteorológiai adatok 70-30%-os elosztásával termésbecslésre is felhasználtuk. Ezt követően a maradék, 30% adatsort felhasználva alkalmaztuk is a képletet, mely eredményeit a 18. ábra szemlélteti. Megállapítható, hogy a becsült terméshozam eredmények nagy pontossággal közelítették meg a realizált terméshozamot ( $R^2=0.95$ ).



18. ábra: a valós és a becsült terméshozam adatok kapcsolata a többváltozós lineáris regresszió eredményeként

## 5. Következtetések és javaslatok

A vizsgálataink 4 helyszínen zajlottak, ahol az elmúlt hét év közül legalább kettőben kukoricát termesztettek. A vizsgálati helyszínekre rendelkezésre álltak meteorológiai adatok az OMSZ rácsponti adatbázisából, illetve NDVI adatok a Sentinel-2 műholdak mérései alapján. Ez egy parcellára átlagolt érték volt. Először a meteorológiai adatok és az NDVI adatok között kerestünk matematikai kapcsolatot, majd ezt követően a paraméterek kiválogatása után lineáris regressziót végeztünk egy lehetséges termésbecslés elkészítéséhez.

A korrelációs eredmények szerint legszorosabb a kapcsolat az NDVI és az effektív hőösszeg között. Közepes erősségű a kapcsolat a globálsugárzással és a csapadékmennyiséggel. Nem találtunk szignifikáns kapcsolatot az NDVI és a relatív páratartalom között.

Az ANOVA eredményei szerint nem tudtunk kimutatni évjáráthatást és termőhely hatást. A többtényezős ANOVA eredményei szerint azonban az év több tényezővel együtt már hatással volt az NDVI értékeire, azonban a termőhely továbbra sem játszott szerepet. Ez valószínűleg annak köszönhető, hogy minden vizsgálati helyszín a Dél-Dunántúlon található, hasonló éghajlati viszonyokkal. Emellett a talajféleség is hasonló volt.

A főkomponens analízis eredménye tovább erősítette a sejtést, hogy az év és a termőhely nem hordoz jelentős információt (varianciát), ugyanakkor a legnagyobb varianciája ismét a hónapnak volt, mint változónak, ezt követően az effektív hőnek, sugárzásnak, csapadékmennyiségnek és relatív páratartalomnak volt. Ennek megfelelően a többváltozós lineáris regresszió egyenletbe az NDVI, effektív hő, sugárzási összeg, csapadékmennyiség és relatív páratartalom került változóként.

A termésbecslés elkészítése során az adatok 70%-át vontuk be az egyenlet felírásába, míg a maradék 30%-on teszteltük a becslés pontosságát. Az egyenlettel 0,95%-os megbízhatósággal becsültük meg a terméshozamot a felsorolt paraméterek segítségével.

A jövőben érdemes lenne még több helyszínt és ezáltal több műholdadatot bevonni a vizsgálatba a még pontosabb eredmények elérése miatt. A területeket mind éghajlat, mind talajadottság szempontjából lehetne tágítani.

Továbbá érdemes lenne drónokkal is elvégezni ezeket a kísérleteket, és összehasonlítani a műholdas technológiával.



## 6. Összefoglalás

Dolgozatomban célul tűztem ki, hogy a földbázisú meteorológiai megfigyeléseket és az űrbázisú műholdadatokat alapján számított NDVI értékeket összevetem, és a kettő ötvözésével egy kukoricára vonatkozó terméshozam becsülő módszert dolgozok ki. Munkám során négy baranya vármegyei helyszínt (Okorág, Lánycsók, Királyegyháza és Somberek) választottam ki vizsgálati helyszínnek. A kiválasztás feltétele volt, hogy 2016 és 2022 között legalább két évben kukoricát termesszenek a területen. Ezt követően a vetési és aratási időpontok ismerete mellett meteorológiai adatbázist hoztam létre a vizsgált tenyészidőszakokra. A műholdas információk lekérése során több problémával is szembesültem. Az egyik a domborzat okozta látószög beszűkülése főleg a kezdeti fenológiai fázisokban, valamint a felhőzet okozta adatvesztés. Ez utóbbit csak úgy tudtam kiküszöbölni, hogy azokat a műholdadatokat dolgoztam fel, ahol a terület kitakarása nem haladta meg a 10%-ot.

Ezt követően kapcsolatot kerestem a kukorica különböző fejlődési szakaszaiban mért NDVI értékek és a vizsgálat meteorológiai paraméterek között (effektív hőösszeg, globálsugárzás, csapadékmennyiség, relatív páratartalom). A korreláció számítás eredményeként kapcsolatot találtam az NDVI és az effektív hőösszeg között ( $R^2=0,77$ ), közepesen erős kapcsolatot a globálsugárzás ( $R^2=0,37$ ) és a lehullott csapadék mennyisége ( $R^2=0,25$ ) között. A relatív páratartalom nem játszott szerepet az NDVI alakulásában ( $R^2=0,08$ ). A vizsgálat során hattényezős variancia-analízist is készítettem. A hat-tényező együttesen nem mutatott szignifikáns kapcsolatot az NDVI értékkel. Legszorosabb kapcsolat a hónap és az NDVI értékek között volt, hiszen a fenológiai fázisok változásával a klorofill tartalom is változik a növényekben, így a fényelnyelése is dinamikusan változik a tenyészidő alatt. Ugyanakkor érdekes módon az évjárathatás önállóan nem érvényesült, több változóval együttes hatásként azonban már jelentkezett. Ilyen volt például az Év:Hónap, az Év:Sugárzás, valamint négytényezős variancia-analízis esetében az Év:Effektív-hő:Sugárzás:Csapadék, valamint az Év:Hónap:Sugárzás:Nedvesség.

A termésbecslés elkészítéséhez szükséges többváltozós regresszió előkészítésére készítettem el a főkomponens-analízist. Ennek eredményei tovább erősítették a korábbi matematikai eredményeket. A legnagyobb varianciával rendelkező tényezők voltak az NDVI, az effektív hőösszeg és a hónap-hatás. Kisebb súllyal, de említendő a csapadékmennyiség, a sugárzásösszeg és a relatív páratartalom. Nem hordozott információt a termőhely és az évjárat. Ezt követően Excel segítségével felírtam a többváltozós lineáris regresszió egyenletét az adatok 70%-a alapján, majd a maradék 30%-on teszteltem. A becsült terméshozam eredmények nagy

pontossággal közelítették meg a várható termés hozamot ( $R^2=0.95$ ). Az eljárás nagy hátránya az, hogy ismert meteorológiai paraméterek esetén lehet pontos termés hozam-becslést készíteni, azonban a hosszútávú meteorológiai előrejelzések csak éghajlati adatsorokon alapulnak, így egy adott területre jellemző, átlagos klímának megfelelő termés hozam becslésére alkalmasak.

Említést érdemel még a műholdak mellett a dróntechnológia. Véleményem szerint nagy bizonyossággal ez a jövő mezőgazdaságának központi és meghatározó eleme lesz, hiszen törekszünk az energiaforrások egyre hatékonyabb felhasználására ebben a válságos helyzetben. Ismeretes, hogy az NDVI egy abszolút járható út nem csak kukoricában, hanem minden termesztett kultúrában mind termésbecslésre, mind állapot felmérésre erdőktől (Právělie et al. 2022), tea ültetvényeken át (PHAN et al. 2021), szálás takarmányoktól a (TEDESCO et al. 2022) a gabonáig (NAGY et al. 2018).

## **7. Köszönetnyilvánítás**

Köszönettel tartozom témavezetőimnek, Dr. Somfalvi-Tóth Katalinnak és Dr. Lukács Aurélnak. Nélkülük nem készülhetett volna el ez a dolgozat.

Köszönettel tartozom családomnak és kedvesemnek, akik folyamatosan bíztattak és támogatásukra mindig számíthattam, valamint a gazdálkodó szervezeteknek, akik rendelkezésemre nyújtották a vizsgált területek adatait.

## 8. Irodalom jegyzék

1. Antal J. (szerk) (2008)A1:A36: Növénytermesztéstan 1. - A növénytermesztés alapjai, gabonafélék. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft, Budapest. 392 p.
2. Antal J. (szerk.) (2005): Növénytermesztéstan 1. - A növénytermesztés alapjai, gabonafélék. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 328 p.
3. Antonio Novelli, Manuel A. Aguilar, Abderrahim Nemmaoui, Fernando J. Aguilar, Eufemia Tarantino, Performance evaluation of object based greenhouse detection from Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI data: A case study from Almería (Spain), International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 52, 2016, Pages 403-411, ISSN 1569-8432, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.011>.
4. Asrar, G. & Fuchs, Marcel & Kanemasu, E. & Hatfield, Jerry. (1984). Estimating Absorbed Photosynthetic Radiation and Leaf Area Index from Spectral Reflectance in Wheat1. Agronomy Journal - AGRON J. 76. 10.2134/agronj1984.00021962007600020029x.
5. Attila Nagy, János Fehér, János Tamás, Wheat and maize yield forecasting for the Tisza river catchment using MODIS NDVI time series and reported crop statistics, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 151, 2018, Pages 41-49, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.035>.
6. Attila Nagy, János Fehér, János Tamás, Wheat and maize yield forecasting for the Tisza river catchment using MODIS NDVI time series and reported crop statistics, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 151, 2018, Pages 41-49, ISSN 0168-1699, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.035>.
7. B. G. Amidan, T. A. Ferryman and S. K. Cooley, "Data outlier detection using the Chebyshev theorem," 2005 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 2005, pp. 3814-3819, doi: 10.1109/AERO.2005.1559688.
8. Bocz E. (1976): Trágyázási útmutató. Mezőgazdasági kiadó, Budapest. 120-132 p.
9. Bocz E. (1996): Talajművelés. In: Antal J., Kismányoky T., Ragasits I., Bocz E., Kovács G.: Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 887 p.
10. C. A. Reynolds , M. Yitayew , D. C. Slack , C. F. Hutchinson , A. Huete & M. S. Petersen (2000) Estimating crop yields and production by integrating the FAO Crop Specific Water Balance model with real-time satellite data and ground-based ancillary data, International Journal of Remote Sensing, 21:18, 3487-3508, DOI: 10.1080/014311600750037516

11. Compton J. Tucker, Brent N. Holben, James H. Elgin, James E. McMurtrey, Remote sensing of total dry-matter accumulation in winter wheat, *Remote Sensing of Environment*, Volume 11, 1981, Pages 171-189, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(81\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(81)90018-3).
12. Compton J. Tucker, Remote sensing of leaf water content in the near infrared, *Remote Sensing of Environment*, Volume 10, Issue 1, 1980, Pages 23-32, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(80\)90096-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(80)90096-6).
13. Cs. Ferencz Corresponding author , P. Bognár , J. Lichtenberger , D. Hamar , Gy. Tarcsai , G. Timár , G. Molnár , SZ. Pásztor , P. Steinbach , B. Székely , O. E. Ferencz & I. Ferencz-Árkos (2004) Crop yield estimation by satellite remote sensing , *International Journal of Remote Sensing*, 25:20, 4113-4149 DOI: 10.1080/01431160410001698870
14. D. HAMAR , C. FERENCZ , J. LICHTENBERGER , G. TARCSAI & I. FERENCZ-ÁRKOS (1996) Yield estimation for corn and wheat in the Hungarian Great Plain using Landsat MSS data, *International Journal of Remote Sensing*, 17:9, 1689-1699, DOI: 10.1080/01431169608948732
15. DANIEL L. (1954): Csemegekukorica nemesítési kísérletek. *Növénytermelés*, 3 (3) 165- 180.p
16. DeFries, R., Rudel, T., Uriarte, M. et al. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geosci* 3, 178–181 (2010). <https://doi.org/10.1038/ngeo756>
17. Dempewolf, J.; Adusei, B.; Becker-Reshef, I.; Hansen, M.; Potapov, P.; Khan, A.; Barker, B. Wheat Yield Forecasting for Punjab Province from Vegetation Index Time Series and Historic Crop Statistics. *Remote Sens.* 2014, 6, 9653-9675. <https://doi.org/10.3390/rs6109653>
18. F. Del Frate & L.-F. Wang (2001) Sunflower biomass estimation using a scattering model and a neural network algorithm, *International Journal of Remote Sensing*, 22:7, 1235-1244, DOI: 10.1080/01431160151144323
19. Fu, Y., Zhao, H., Piao, S. *et al.* Declining global warming effects on the phenology of spring leaf unfolding. *Nature* **526**, 104–107 (2015). <https://doi.org/10.1038/nature15402>
20. Gallo, Kevin and Craig S. T. Daughtry. “Spectrally Derived Inputs to Crop Yield Models.” (1981).

21. Gao, F.; Anderson, M.; Daughtry, C.; Johnson, D. Assessing the Variability of Corn and Soybean Yields in Central Iowa Using High Spatiotemporal Resolution Multi-Satellite Imagery. *Remote Sens.* 2018, 10, 1489. <https://doi.org/10.3390/rs10091489>
22. Gautam D. Badhwar, Keith E. Henderson, Application of thematic mapper data to corn and soybean development stage estimation, *Remote Sensing of Environment*, Volume 17, Issue 2, 1985, Pages 197-201, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90074-4](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90074-4).
23. G. Dutta, P. Goswami (2014). Application of drone in agriculture: A review. *International Journal of Chemical Studies.* 2020; 8(5): 181-187. DOI: [10.22271/chemi.2020.v8.i5d.10529](https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i5d.10529)
24. HESZKY L. (2012): Miért nincsenek szárazságtűrő növényfajtáink? (1.) A növény és a víz kapcsolata. *Agrofórum* 23. évf. 11. szám 6-10 p.
25. J. Huang, H. Wang, Q. Dai and D. Han, "Analysis of NDVI Data for Crop Identification and Yield Estimation," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 7, no. 11, pp. 4374-4384, Nov. 2014, doi: 10.1109/JSTARS.2014.2334332.
26. J.G.P.W. Clevers, C. Büker, H.J.C. van Leeuwen, B.A.M. Bouman, A framework for monitoring crop growth by combining directional and spectral remote sensing information, *Remote Sensing of Environment*, Volume 50, Issue 2, 1994, Pages 161-170, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90042-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90042-6).
27. J.K Aase, F.H Siddoway, Assessing winter wheat dry matter production via spectral reflectance measurements, *Remote Sensing of Environment*, Volume 11, 1981, Pages 267-277, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(81\)90025-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(81)90025-0).
28. J.L. Hatfield, Remote sensing estimators of potential and actual crop yield, *Remote Sensing of Environment*, Volume 13, Issue 4, 1983, Pages 301-311, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(83\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(83)90032-9).
29. Joszt-Takács N. (2015): Kukoricatermesztési helyzetelemzés. *Agrárágazat kukorica és napraforgó különszám*, 16. évf. pp. 12-16.
30. KOLTAY A. (1985): A kukorica morfológiája. 39-45 p. In: MENYHÉRT Z. (Szerk.) (1985): *A kukoricatermesztés kézikönyve*. Mezőgazdasági kiadó, Budapest. 559 p.
31. Lantos F. (2016) Historians don't know the date of start of fertilization in the history of mankind, but the fertility of the soil and its effective using has been interest by the ancient empires farmers. Over thousands of years had been proven that the soil has a

- renewable capacity that humans can turn their own benefit as well. SN - 978-963-306-400-9
32. Lenny Wall , Denis Larocque & Pierre-Majorique Léger (2008) The early explanatory power of NDVI in crop yield modelling, *International Journal of Remote Sensing*, 29:8, 2211-2225, DOI: 10.1080/01431160701395252
  33. Liang Wan, Haiyan Cen, Jiangpeng Zhu, Jiafei Zhang, Yueming Zhu, Dawei Sun, Xiaoyue Du, Li Zhai, Haiyong Weng, Yijian Li, Xiaoran Li, Yidan Bao, Jianyao Shou, Yong He, Grain yield prediction of rice using multi-temporal UAV-based RGB and multispectral images and model transfer – a case study of small farmlands in the South of China, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 291, 2020, 108096, ISSN 0168-1923, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108096>.
  34. Menyhért Z. (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 560 p.
  35. Nagy J. – Megyes A. (2009): A kukoricatermesztés kritikus agrotechnikai elemei. *Agrofórum extra* 32. 36-40 p.
  36. NAGY J. (2007): Kukoricatermesztés. Akadémia Kiadó, Budapest. 394 p.
  37. Nagy J. (2012): Versenyképes kukoricatermesztés: a jövedelmezőség kulcstényezői a szántóföldi gyakorlatban. Magyar Agrárkamara, Budapest. 494 p.
  38. Nagy J. (2021): Kukorica a nemzet aranya – Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó, Budapest. 516 p.
  39. Nagy, A.; Szabó, A.; Adeniyi, O.D.; Tamás, J. Wheat Yield Forecasting for the Tisza River Catchment Using Landsat 8 NDVI and SAVI Time Series and Reported Crop Statistics. *Agronomy* 2021, 11, 652. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040652>
  40. PEPÓ P. – SÁRVÁRI M. (2011): Gabonanövények termesztése, Debreceni Egyetem, Debrecen. 86 p.
  41. PEPÓ P. (2006): Fejlesztési alternatívák a magyar kukoricatermesztésben. *Agrofórum Extra* 13. 7-11 p. ISSN 1416-0927
  42. PEPÓ P. (szerk) (2018): Integrált növénytermesztéstan 2. kötet. Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Növénytudományi Intézet, Debrecen. 372 p.
  43. PETER D. LANCASHIRE, H. BLEIHOLDER, T. VAN DEN BOOM, P. LANGELÜDDEKE, R. STAUSS, ELFRIEDE WEBER, A. WITZENBERGER A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds *Annals of Applied Biology* Volume 119, Issue 3 December 1991 Pages 561-601

44. Phan, P.; Chen, N.; Xu, L.; Dao, D.M.; Dang, D. NDVI Variation and Yield Prediction in Growing Season: A Case Study with Tea in Tanuyen Vietnam. *Atmosphere* 2021, 12, 962. <https://doi.org/10.3390/atmos12080962>
45. Phiri, Darius & Mwitwa, Jacob & Ng'andwe, Phillimon & Kanja, Kennedy & Munyaka, Justin & Chileshe, Felix & Hamazakaza, Patan & Kapembwa, Sydney & Kwenye, Jane. (2023). Agricultural Expansion into Forest Reserves in Zambia: A Remote Sensing Approach. *Geocarto International*. 38. 1-17. 10.1080/10106049.2023.2213203.
46. Remus Prăvălie, Igor Sîrodoev, Ion-Andrei Nita, Cristian Patriche, Monica Dumitraşcu, Bogdan Roşca, Adrian Tişcovschi, Georgeta Bandoc, Ionut Săvulescu, Valentina Mănoiu, Marius-Victor Birsan, NDVI-based ecological dynamics of forest vegetation and its relationship to climate change in Romania during 1987–2018, *Ecological Indicators*, Volume 136, 2022, 108629, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108629>.
47. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D., Deering, W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, ERTS Third Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309-317.
48. Rudorff, B.F.T.; Adami, M.; Aguiar, D.A.; Moreira, M.A.; Mello, M.P.; Fabiani, L.; Amaral, D.F.; Pires, B.M. The Soy Moratorium in the Amazon Biome Monitored by Remote Sensing Images. *Remote Sens.* 2011, 3, 185-202. <https://doi.org/10.3390/rs3010185>
49. Sárközy P. – Seléndy Sz. (szerk.) (1994): *Biogazda 2. Szántóföldi és kertészeti növénytermesztés*. Biokultúra Egyesület, Budapest, 291 p.
50. Sherwood B. Idso et al. Remote-Sensing of Crop Yields. *Science* 196, 19-25 (1977). DOI: 10.1126/science.196.4285.19
51. Tedesco, D.; Nieto, L.; Hernández, C.; Rybecky, J.F.; Min, D.; Sharda, A.; Hamilton, K.J.; Ciampitti, I.A. Remote Sensing on Alfalfa as an Approach to Optimize Production Outcomes: A Review of Evidence and Directions for Future Assessments. *Remote Sens.* 2022, 14, 4940. <https://doi.org/10.3390/rs14194940>
52. Thomas W. Brakke, Edward T. Kanemasu, Insolation estimation from satellite measurements of reflected radiation, *Remote Sensing of Environment*, Volume 11, 1981, Pages 157-167, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(81\)90015-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(81)90015-8).
53. Timár, Gábor & Ferencz, Csaba & Lichtenberger, János & Kern, Anikó & Molnár, Gábor & Székely, Balázs & Pásztor, Szilárd. (2006). MODIS-adatvételek az ELTE



műholdvevő állomásán [MODIS data receiving at the ELTE satellite station]. *Geodézia és Kartográfia*. 58. 11-15.

54. Tucker, C.J.; Vanpraet, C.L.; Sharman, M.J.; Van Ittersum, G. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980–1984. *Remote Sens. Environ.* 1985, 17, 233–249.
55. Varga Cs. – Hoffmann R. (2022): A növényanalízis szükségessége és használata kukoricában *Agrofórum* 33. évf. 3. szám 106-108 p.
56. Waqas, Muhammad & Xiukang, Wang & Zafar, Syed & Noor, Mehmood Ali & Hussain, Hafiz & Nawaz, Muhammad & Farooq, Muhammad. (2021). Thermal Stresses in Maize: Effects and Management Strategies. *Plants*. 10. 293. [10.3390/plants10020293](https://doi.org/10.3390/plants10020293).
57. Yun Shao, Xiangtao Fan, Hao Liu, Jianhua Xiao, S Ross, B Brisco, R Brown, G Staples, Rice monitoring and production estimation using multitemporal RADARSAT, *Remote Sensing of Environment*, Volume 76, Issue 3, 2001, Pages 310-325, ISSN 0034-4257, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00212-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00212-1).

## 9. Internetes források:

1. (<https://www.britannica.com/plant/corn-plant/Uses-and-products>).
2. <https://agrarium7.hu/cikkek/746-valtozo-klima-es-valtozo-mezogazdasag>
3. [www.esa.hu](http://www.esa.hu)
4. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/sentinel-data-access>).
5. [www.sentinel.esa.int](http://www.sentinel.esa.int)
6. <https://gisgeography.com>
7. <http://corn.agronomy.wisc.edu/AA/A033.aspx>
8. [www.onesoil.ai](http://www.onesoil.ai)
9. [www.xarvio.com](http://www.xarvio.com)
10. <https://odp.met.hu/>

## 10. Ábrajegyzék és táblázat jegyzék

2. ábra: Kukorica vetésterületének alakulása Magyarországon
  2. ábra: Liebig-minimum törvénye
  3. ábra: Hiányosan termékenyült kukoricacső
  4. ábra: Kukorica fejlődése BBCH skála szerint
  5. ábra: kvázipoláris műhold pályája
  6. ábra. NDVI értéket adó reflektancia
  7. ábra: Domborzat miatt a látószögéből kieső vagy gyengén látott területek
  8. ábra: Vizsgált parcellák elhelyezkedése magyarországi kivágaton (balra), és ráközelítve a Dél-Dunántúlon (jobbra). Kék: Meteorológiai adatok rácsponjtjai, Piros: vizsgált területek
  9. ábra: A négy kísérleti helyszín táblái a műholdképek felvételén az NDVI értékeket feltüntetve
  10. Ábra: az NDVI alakulása a megfelelő csapadékelátottságú évben, 2016-ban (jobbra), és a rendkívüli aszályal sújtott 2022-es évben (balra)
  11. ábra: a kéttényezős ANOVA grafikus megjelenítése doboz-ábrával. Fent: a hónapok közötti NDVI eltérés vizsgálati helyszínenként csoportosítva. Alul: az egyes hónapokra vonatkozó NDVI értékek összehasonlítása
  12. ábra: Globálsugárzás-kumulált NDVI aránya
  13. ábra: Effektív hőösszeg-kumulált NDVI aránya
  14. ábra: csapadék-kumulált NDVI aránya
  15. Ábra: az egyes főkomponensek százalékos hozzájárulása a teljes varianciához csökkenő sorrendben
  16. ábra: összesített PCA eredmény a változókkal (balra), a Hónap változó szerint csoportosítva az adatokat, ahol látszik az adatok X-tengely menti jelentős szórása (jobbra)
  17. Ábra: a Vizsgálati helyszín szerint csoportosított PCA eredmény. Az ellipszisek egymással fedésben vannak, ezért nem járul hozzá szignifikánsan az adatok varianciájához (balra), az Év szerint csoportosított PCA eredmény, szintén nem szignifikáns hozzájárulással (jobbra)
  18. ábra: a valós és a becsült terméshozam adatok kapcsolata a többváltozós lineáris regresszió eredményeként
- 
1. táblázat: NDVI értékek méterre bontva, ahol a sárga terület jelöl egy sárguló foltot
  2. táblázat: NDVI értékek Sentinel-2 műholdas megjelenítése, területi áglatban, ahol a sárga folt okozta: NDVI értékcsökkenés belesimul a nagyobb felbontás miatti átlagolásba

3. táblázat: Területek talajfélesége, mérete, és domborzati sajátosságok, koordinátái
4. táblázat: Területek tenyész évei
5. táblázat: Meteorológiai mérőpontok sorszáma, koordinátái
6. táblázat: A különböző vizsgálati helyszíneken elérhető és a számítások során felhasznált műholdmérések időpontjai, és a két időpont között eltelt időtartam napokban kifejezve
7. táblázat: A különböző vizsgálati helyszíneken elérhető és a számítások során felhasznált műholdmérések időpontjai, és a két időpont között eltelt időtartam napokban kifejezve
8. táblázat: A különböző vizsgálati helyszíneken elérhető és a számítások során felhasznált műholdmérések időpontjai, és a két időpont között eltelt időtartam napokban kifejezve
9. táblázat: a Sentinel-2 műholdak különböző színekhez tartozó hullámhossz értékei
10. táblázat: Csapadékmennyiség alakulása a tenyészidőszak különböző időszakában 2016-ban és 2022-ben Sombereken
11. táblázat: Egyes elemek közötti korreláció
12. táblázat: az egy- és többtenyezős ANOVA szignifikáns eredményeit tartalmazó táblázat feltüntetve a szignifikancia fokát is

## NYILATKOZAT

### a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Csiza Márk  
A Hallgató Neptun kódja: SXOJ4V  
A dolgozat címe: Kukorica termésbecslése távérzékelési és meteorológiai adatok alapján  
A megjelenés éve: 2023  
Az első konzulens intézetének neve: Növénytermesztési-tudományok Intézet  
Az első konzulens tanszékének a neve: Agronómia Tanszék  
A második konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet  
A második konzulens tanszékének a neve: Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat 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 mindenkori 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 védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Mohács, 2023 év 11. hó 11. nap

Csiza Márk  
Hallgató aláírása

## NYILATKOZAT

Csiza Márk (hallgató Neptun azonosítója: SXOJ4V) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>\*2</sup>

Kelt: Kaposvár 2023 év november hó 11 nap



belső konzulens

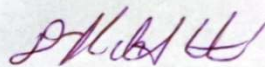
## NYILATKOZAT

Csiza Márk (hallgató Neptun azonosítója: SXOJ4V) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakedolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem\*<sup>2</sup>

Kelt:    2023    év    november    hó    10    nap



belső konzulens