

Debreceni Egyetem

**Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodásai
Kar**

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet

Intézetvezető: Prof. Dr. Kakuszi-Széles Adrienn

**Az NDVI és a termés mennyiségi paraméterének összefüggés
vizsgálta multispektrális UAV felvételei alapján szántóföldi
kisparcellás tartamkísérletben**

készítette:

Lengyel Lehel

Osztatlan Agrármérnök hallgató

konzulens:

**Dr. Illés Árpád
tanársegéd**

Debrecen, 2024

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	3
1. TÉMAFELVETÉS	3
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	4
2.1 A KUKORICA JELENTŐSÉGE GLOBÁLIS SZINTEN ÉS HAZÁNKBA	4
2.2 A TARTAMKÍSÉRLETEK JELENTŐSÉGE.....	6
2.3 A NITROGÉN MŰTRÁGYÁZÁS HATÁSA A KUKORICA FIZIOLÓGIAI ÉS TERMÉSPARAMÉTEREIRE	6
2.4 PRECÍZIÓS MEZŐGAZDASÁG	8
2.5 DRÓNOK A MEZŐGAZDASÁGBAN	10
2.6 GYAKORLATBAN ALKALMAZOTT VEGETÁCIÓS INDEXEK ÉS AZ NDVI ISMERTETÉSE .	11
2.7 VEGETÁCIÓS INDEXEK MINŐSÉGI ÉS MENNYISÉGI ÖSSZEFÜGGÉSEI A TERMÉSEL	12
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	13
3.1 LÁTÓKÉPI KÍSÉRLETI TELEP BEMUTATÁSA ÉS A KÍSÉRLET HELYSZÍNE	13
3.2 A KÍSÉRLET AGROTECHNIKAI PARAMÉTEREI.....	14
3.3 A KÍSÉRLET TECHNIKAI PARAMÉTEREI	16
4. EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE.....	19
4.1 NDVI ÉRTÉKEK A TÁPANYAG SZINTEK VONATKOZÁSÁBAN HIBRIDENKÉNT	19
4.2 TERMÉS A TÁPANYAGSZINT FÜGGVÉNYÉBEN HIBRIDENKÉNT	23
4.3 TERMÉS MENNYISÉGÉNEK ÉS DINAMIKÁJÁNAK ALAKULÁSA TÁPANYAGSZINTENKÉNT A HIBRIDEK ÁTLAGÁBAN	24
4.4 A TERMÉS ÉS AZ NDVI ÉRTÉKEK ÖSSZEFÜGGÉSVIZSGÁLATA PEARSON FÉLE KORRELÁCIÓ MÁTRIX ALAPJÁN A KÜLÖNBÖZŐ REPÜLÉSI BEÁLLÍTÁS ÉS FENOLÓGIAI FÁZIS SZERINT	32
5. KÖVETKEZTETÉSEK	39
ÖSSZEFOGLALÁS.....	43
6. IRODALOMJEGYZÉK	44
6.1 KÖNYVEK:	47
6.2 INTERNETES FORRÁSOK:.....	48
3.SZ. MELLÉKLET	49

Bevezetés

A világ népessége előreláthatólag ötven-hatvan évig fog növekedni, ennek a csúcspontja 2080-ra várható, és a Föld várható maximális népessége 10,3 milliárd fő lesz, szemben a mai nagyjából 8,2 milliárdos lélekszámmal. Ezt követően a népesség valószínűleg csökkenni fog és 10,2 milliárdosra várható az évszázad végére (UNDESA 2024). A termőföldek kiterjesztésének lehetőségei korlátozottak, ezért a fenntartható élelmiszer-termelés érdekében a meglévő területek hatékonyabb kihasználása elengedhetetlen. Az élelmiszer iránti kereslet egyre inkább nő (FOLEY et al., 2011). Ezen növekvő igények kielégítésére nemcsak a termésmennyiséget szükséges növelni, hanem a termés stabilitását is biztosítani kell, miközben a környezetvédelem és a fenntarthatóság egyre inkább kulcsfontosságú tényezőkké válnak. Ennek ellenére hatalmas probléma a világban és hazánkban a termő területek csökkenése. Magyarországon 1989-ben az az a rendszerváltás időszakában 4 712 700 hektár szántóterülettel rendelkezünk ez a szám 4 154 600 hektár, amely egy elég nagy mértékű csökkenés (KSH, 2024). A csökkenés oka a nagy számú zöldmezős beruházás, amely során addig művelés alatt állt területeket, ipari és infrastrukturális célokra használnak tovább. A szántóföldi növénytermesztés nélkülözhetetlen alapja az élelmezésnek. A gabonanövények termesztése a globális élelmiszerbiztonság részét képezik (RÁTONYI et al., 2022). A kukorica, mint az egyik legjelentősebb kultúrnövény különösen nagy szerepet játszik ebben a folyamatban, hiszen széles körben termesztett, és ezáltal alapanyagot biztosít élelmiszeri, takarmányozási és ipari célokra egyaránt. A termesztése viszont egyre nagyobb kihívásokat állít a termelők elé. A mezőgazdasági termelés nehezen alkalmazkodik, az éghajlati és időjárási változásokhoz (WILSON et al., 2022). Ezáltal klímaváltozás, a talajok romlása, vízhiánya és a különböző növényi betegségek komoly problémákat jelentenek. Ezek a tényezők együttesen növelik annak szükségességét, hogy innovatív mezőgazdasági módszerekkel javítsuk a hozamot és a minőséget. A magas inputanyagárak okán, csökkenetlenni kell a termelési költséget, amelyhez gazdálkodóknak új innovatív eszközöket és módszereket kell alkalmazniuk. A távérzékelés során gyűjtött adatok fontos információt nyújtanak, a helyes és költség hatékony gazdálkodási gyakorlathoz.

1. Témafelvetés

A fenntartható mezőgazdasági termelés egyik kiemelkedően fontos kérdése a termésmennyiség, és minőség előrejelzése, valamint az optimális tápanyagellátás biztosítása. A precíziós gazdálkodásban a szenzorok és a távérzékelés, illetve a dróntechnológia gyors ütemű fejlődésének köszönhetően, rövid idő alatt nagy mennyiségű egyre pontosabb adatokat

nyerhetünk. Az NDVI (Normalizált Differenciált Vegetációs Index) széleskörűen elterjedt a növényzet egészségének és biotartalmának vizsgálatára, azonban a termésmennyiséggel való korrelációja a különböző tápanyagszinteken még további vizsgálatokat igényel.

A kutatásom célja, hogy különböző tápanyagszinteken vizsgáljam az NDVI vegetációs index és a várható termésmennyiség közötti kapcsolatot. A kutatást kukorica növényen végeztem, a Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén. A távérzékeléshez egy DJI Mavic 3 Multispektrál típusú drónt használtam. A vizsgálatokat a növény különböző fonológiai fázisaiban végeztem.

A precíziós növénytermesztés hatékonyságának javítása az egyik legjelentősebb feladat a gazdálkodásban (NEMÉNYI, 2018). A vizsgálat további célkitűzése volt, hogy hozzájáruljon a precíziós gazdálkodás hatékonyságának növeléséhez és a termésbecslési módszerek pontosításához, és új elvek kidolgozásához, mivel a gazdálkodók és kereskedők számára egyaránt fontos információ a betakarítás előtt a termés mennyiségi és minőségi paramétereinek ismerete.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 A kukorica jelentősége globális szinten és hazánkba

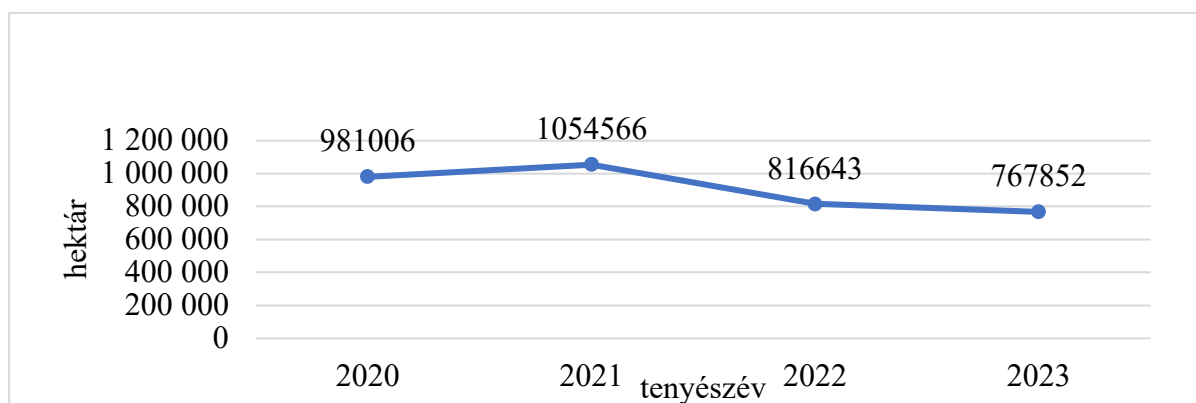
A kukorica tudományos nevén *Zea mays* L., a világ legfontosabb gabonanövénye, hiszen az éves termelése túl nő búzán és a rizsen, ezáltal a globális gabonatermelés közel 40%-t adja. Hazánkban pedig a búza után a második legnagyobb termő területtel rendelkezik. A növény eredetileg Mexikó déli részéről származik itt háziasították 9000 évvel ezelőtt. Amely során hatalmas genetikai fejlődésen ment keresztül, hiszen legközelebbi rokonával is igen nagy genetikai különbséget mutat. Ehhez a növénynek sok mutáción kellett át esnie az emberi szelekció során. A kukorica igen produktív növény, amely nagyon jól képes alkalmazkodni a környezeti viszonyokhoz, ehhez hozzájárul igen különleges morfológiája is (CHAVAS – MITCHELL, 2018).

A kukorica rövid tenésztidővel rendelkezik, amely alatt nagy mennyiségű szerves anyagot hoz létre. Igen melegigényes növény, tavasszal +10-12 Celsius fokos talajba lehet vetni. Fejlett gyökérrendszere van, az elsődleges mélyen lehatol a talajba, a másodlagos gyökerek föld alatti szárcsomókból erednek, a harmadlagos gyökerei pedig koronagyökerek, amik támasztó feladatot látnak el. Tömött vastag dudvaszára van. Egyivarú virágai vannak, porzós a növény tetején található címer, ami egy bugavirágzat, amíg a termős a szárközépi részen fekvő torzsa

virágzat (BALOGNÉ NYAKAS, 2012). Alkalmazkodását segíti, hogy C4-s növényként effektívebb a fotoszintézise a C3-s növényekhez képest (CHAVAS – MITCHELL, 2018).

A kukorica meghatározó szerepet tölt be az élet több terén is, hiszen a világ számos részén fogyasztják. Alapvető élelmiszerként a harmadik helyet tölti be a búza és a rizs után, az egyik legfontosabb takarmány növényünk, de a felhasználási területe egyre inkább szélesedik és nagyobb teret kap az ipari célú felhasználása, kiemelve itt a bioüzemanyag gyártást (GWIRTZ – GARCIA-CASAL, 2014). A világon 2022-ben több mint 203 millió hektáron termeltek kukoricát, amelyen a globális termésátlag több mint 5,7 tonna volt hektáronként (FAO, 2024). A globálisan az USA a legnagyobb kukorica termesztő ország, ami a világ termelésének 35%-t adja, ezt követi Kína és Brazília (CHAVAS – MITCHELL, 2018).

A kukoricát Kolumbusz Kristóf hozta be Amerikából Európába 1493-ban, amely a gyors terjedésének köszönhetően 1590-ben jelent meg hazánkba (PEPÓ, 2019). Magyarország történelmileg agrár-országnak tekinthető, jelenleg 4,3 millió hektárt tesz ki a szántó és az ültetvény. A mezőgazdaság 2022-ben 3,2%-kal járult hozzá a GDP-hez, mezőgazdasági kereskedelmi mérlegünk pozitív, a hazai export 9,3%-át adja az ágazat (GOLYA, 2020). A kukoricatermesztés Magyarországon hosszú múltra és kiemelkedő eredményekre tekint vissza, ami miatt az ágazat Európában és globálisan is figyelemre méltó. A kukorica alapvető fontosságú a hazai mezőgazdaság számára (NAGY, 2021). Magyarországon a kukorica termesztés a mezőgazdaság egyik legértékesebb ágazata. Hazánk az Európai Unió negyedik legjelentősebb kukoricatermő területével büszkélkedhet, melynek nagysága a vetésforgótól függően körülbelül 1-1,3 millió hektár között mozog (MARTON et al., 2020). A 2021-hez képest viszont 2022-ben és 2023-ban jelentősen csökkent a kukorica termesztésre szánt terület. Amely a kiszámíthatatlan időjárással és a gazdasági tendenciákkal is magyarázható (KSH, 2024).



1.ábra: A vetésterület változása Magyarországon 2020 és 2023 között. *Forrás: KSH, Saját szerkesztés*

2.2 A tartamkísérletek jelentősége

A tartamkísérletek alapvető fontosságúak a talajkezelési gyakorlatok hosszú távú hatásainak nyomon követésében, különösen a talaj fizikai, kémiai és biológiai változásainak értékelése szempontjából (LEHTINEN et al., 2014).

A mezőgazdasági tartamkísérletek célja a különböző termesztési módszerek hosszú távú fenntarthatóságának és az élelmiszerbiztonsághoz való hozzájárulásának vizsgálata. Ezek a kísérletek folyamatos felügyeletet és elemzést igényelnek annak érdekében, hogy azonosítani lehessen azokat a kezeléseket, amelyek nem képesek fenntartani vagy növelni a terméshozamokat. Amikor az ilyen gyakorlatok nem hoznak megfelelő eredményeket, a kezelési módszereken módosításokat kell végrehajtani annak érdekében, hogy javítsák a hozamokat és a talaj egészségét. Ha a változtatások nem vezetnek sikerhez, a kísérlet relevanciája megkérdőjeleződhet a fenntartható termesztés szempontjából, és leállítása indokolt lehet (JOHNSTON és POULTON, 2018).

Az elmúlt mintegy két évszázadban egyre növekvő igény mutatkozott a mezőgazdasági gyakorlatok elemzésére és értékelésére, különösen azok fenntarthatóságának szempontjából. A világ egyik legrégebbi, 1843 óta folyamatosan működő mezőgazdasági kísérlete a Rothamstedben indított „Park Grass Experiment”. Az Egyesült Államokban 1876-ban indult el az „Urbana-Champaign” kísérlet az Illinoisi Egyetemen, ezt követte 1888-ban a Missouri Egyetem „Sanborn Field” projektje, majd 1892-ben az Oklahoma Állami Egyetemen a „Magruder Plots” és 1896-ban az „Auburn's Old Rotation” kísérlete. Magyarországon 1959-ben Martonvásáron kezdődtek meg a tartamkísérletek, amelyeket később további egyetemek és kutatóintézetek is átvettek, létrehozva ezzel a trágyázási kísérletek országos hálózatát. A Debreceni Agrártudományi Egyetem az 1970-es években kapcsolódott be a tartamkísérletekbe, majd 1983-ban elindított egy egyedülálló, összetett növénytermesztési kísérletet, amely a talajművelési módszerek, a növényvédelem, a tápanyagellátás, az öntözés és a növényszám hatásait vizsgálja (NAGY, 2023).

2.3 A nitrogén műtrágyázás hatása a kukorica fiziológiai és termésparamétereire

A nitrogén egyedi szerepet tölt be, mivel bár nem ásványi eredetű, a növények mégis ásványi formában veszik fel. Kis molekulájú szerves vegyületek révén is bekerülhet a növények szervezetébe, de csak csekély mennyiségben. A nitrogén létfontosságú a növények életében,

mivel nincs más elem, amely hasonlóan markánsan fokozná a hajtás- és termésnövekedést, illetve amelynek hiánya ilyen mértékben gátolná a növekedést. A növények nitrogéntartalma általában a szárazanyag-tartalom 15%-át teszi ki. A nitrogén számos szerves vegyület, mint például az aminosavak, fehérjék, nukleotidok és klorofilok strukturális alkotóeleme (FÜLEKY, 1999).

A nitrogén nélkülözhetetlen a növényi növekedéshez, a fehérjeszintézishez és a klorofill képződéséhez. A klorofill alapvető a fotoszintézis folyamatában, amely során a növények napenergiát alakítanak át kémiai energiává, így a nitrogén közvetlenül befolyásolja a növények növekedési ütemét és terméshozamát. A megfelelő nitrogénellátás hozzájárul a kukorica biomasszájának növekedéséhez, míg a hiányos nitrogénellátás korlátozza a növény fejlődését és jelentős terméscsökkenést okozhat. A nitrogén műtrágya jelentős hatással van a kukorica szárazanyag-termelésére, mivel befolyásolja a levélterület kialakulását, fenntartását és a fotoszintetikus kapacitást, amelyek mind hozzájárulnak a terméshozam és a szem minőségének javulásához. A levél fotoszintetikus teljesítménye gyakran szoros kapcsolatban áll a levél nitrogéntartalmával, mert a levélben található nitrogén nagy része klorofill molekulákban van jelen, ami szoros összefüggést mutat a levél klorofill és nitrogéntartalma között. A N műtrágyázás hatására mind a biomassza, mind a termés növekszik, viszont 150 kg N/ha felett ez a tendencia csökken kevésbé releváns növekedést mutat (BISWAS és MA, 2016).

Kutatások kimutatták, hogy a növekvő nitrogénellátás javítja a vegetatív növekedést, ami magasabb növénymagasságot, nagyobb levélterületet és biomassza hozamot eredményez, megállapították, hogy a nitrogénadag növelése növeli a kukorica növekedéséhez szükséges hőegységek felhalmozódását, valamint a növény magasságát és levélterületét. Az optimális nitrogéntrágyázási stratégia kulcsfontosságú a maximális terméshozam elérése érdekében. Kimutatták, hogy 250 kg/ha nitrogénhatóanyag alkalmazása eredményezi a legmagasabb növénymagasságot, csövenkénti szemszámot és szemhozamot, míg a legnagyobb biomassza hozamot 300 kg/ha nitrogénadaggal érték el (LI et al., 2022).

Számos kísérlet vizsgálta a különböző nitrogénszintek hatását a kukorica esetében. A Debreceni Egyetemen végzett kutatások kimutatták, hogy a nitrogéntrágyázás jelentősen befolyásolja a kukorica terméshozamát. Az elvégzett kísérletek során különböző nitrogénadagokat alkalmaztak, és megfigyelték, hogy a legmagasabb terméshozamot a 120 kg/ha alaptrágyázás és a 30 kg/ha fejtrágyázás (V6 fenofázisban) kombinációja eredményezte, amely 13,3 t/ha hozamot produkált (RAGÁN et al., 2016). Az eredmények azt mutatták, hogy a nitrogénadag növelése egy bizonyos szintig növeli a terméshozamot, de az optimális szint fölött már nem eredményez további hozamnövekedést. A túlzott nitrogéntrágyázás nemcsak, hogy nem növeli

tovább a terméshozamot, de csökkentheti is azt, mivel túlzott vegetatív növekedést eredményezhet, ami megnehezíti a betakarítást és növeli a kártevőkkel szembeni érzékenységet (BISWAS és MA, 2016).

A nitrogén műtrágya alkalmazási döntéseket a szezon elején kell meghozni, hogy elegendő idő legyen a nitrogén talajoldatba való beépüléséhez, és elérhető legyen a növény kritikus periódusa alatt. A növény, a talaj és az időjárás közötti kölcsönhatások összetettsége, valamint ezek előrejelzésének képtelensége a szezon elején azt eredményezi, hogy a nitrogénkezelés egy olyan terület, ahol ökológiai szempontból hatékony stratégiákra van szükség a termesztési rendszerek fenntarthatóságának javítása érdekében. Számos módszert dolgoztak ki a nitrogénkezelés optimalizálására, beleértve a terméshozam célú módszertanokat, talaj nitrát teszteket, szenzor technológiákat, szimulációs modelleket és műhold felvételeket (MANDRINI et al., 2021).

A vetésforgó és az NPK műtrágyázás kombinált hatása jelentősen különbözik a kukorica termésstabilitására nézve, amikor trikultúrában vagy monokultúrában alkalmazzák (BOROS és SÁRVÁRI, 2010). A nitrogénszintek és alkalmazási időzítések jelentős hatással vannak a kukoricatermeszre. A nitrogén hasznosítási aránya abban az esetben a legmagasabb, ha azt öntözés előtt adjuk ki a növény számára. Ez által a megfelelő időzítés megválasztásával maximalizálhatjuk a kukorica terméshozamát, eközben pedig csökkenteni tudjuk a műtrágya költségeit és az általa okozott környezeti terhelést, amely elősegíti a fenntartható mezőgazdasági termelést (GHEITH et al., 2022).

A trágyázás kulcsszerepet játszik a kukorica terméshozamának alakításában, azonban ezzel egyenértékűen lényeges, hogy milyen hatást gyakorol a csapadék eloszlása és a hőmérséklet változása a növények fejlődésére és termésére. Az viszont egyértelmű, hogy az eltérő trágyázási módszerek között tapasztalható számottevő eltérések alátámasztják, hogy a megfelelő tápanyag-ellátás nélkülözhetetlen a magas terméshozamok biztosításához (RAGÁN et al., 2016).

2.4 Precíziós mezőgazdaság

A precíziós mezőgazdaság koncepciója már régóta ismert, mivel a növények és a talajok egy mezőn vagy régióban belül térben és időben változóak. A termelők hagyományosan intuíción alapján kezelték ezt a változékonyságot, de ez csak korlátozott sikerrel járt. Már az 1620-as években a telepések megfigyelték az indián gazdák helyspecifikus gyakorlatait, például azt, hogy halat helyeztek a növények gyökereihez.

A precíziós mezőgazdaságot egyszerűen fogalmazva holisztikus és környezetbarát stratégiaként lehet meghatározni, amelyben a gazdák a változó talaj- és növényfeltételekhez igazítják az input anyagok és művelési módszerek használatát. Ide tartozik a vetőmagok, műtrágyák, növényvédő szerek és öntözés specifikus alkalmazása, valamint a fajtakiválasztás, ültetés, talajművelés és betakarítás (SRINIVASAN, 2006).

Ez a mezőgazdasági módszer jelentős mértékben képes megfelelni az egyre növekvő környezeti, gazdasági, piaci és közösségi nyomásoknak a szántóföldi gazdálkodás terén (STAFFORD, 2000). Az utóbbi évtizedben a precíziós gazdálkodás jelentős fejlődésen ment keresztül, különösen a digitalizáció és a digitális technológiák, mint például a globális helymeghatározó rendszer (GPS), automatikus irányítás, drónok és érzékelők alkalmazása révén. Ezek a technológiák növelik a stabilitást és kiszámíthatóságot, hozzájárulva a versenyképesség és a magasabb jövedelemszint eléréséhez. A precíziós gazdálkodás elterjedése különösen fontos az egyre növekvő élelmiszerigények kielégítése érdekében (ERDEINÉ KÉSMÁRKI és GALLY, 2020).

A precíziós mezőgazdaság jelentősen összefügg a technológia és a tudomány eredményeivel, és azoknak a fizikai megvalósulásával (NAGY és BÚVÁR, 2022). A technológiai alapú precíziós mezőgazdaság lehetővé teszi a mezőgazdasági termelés változékonyságának részletes felmérését és kezelését. Ha helyesen alkalmazzák, olyan minőségi szintet érhetnek el, amely korábban nem volt tapasztalható (PIERCE és NOWAK, 1999). Magyarországon a precíziós mezőgazdaság az elmúlt 15 évben kezdett elterjedni. A technológiát alkalmazó gazdálkodók többsége 40 év alatti, magasabb végzettséggel rendelkezik, és több mint 300 hektár földterületen gazdálkodik. A felmérések szerint a magyar gazdálkodók 95,5%-a hallott már a precíziós gazdálkodásról, de csak 6,9%-k alkalmazza azt. A terjedést akadályozza a magas beruházási költség és a technológiai tudás hiánya (TAKÁCSNÉ GYÖRGY et al., 2018). A legfőbb hazai probléma az informatikai megoldások terjedésében a humánerőforrás felkészületlensége, készségei és attitűdje (POPP et al., 2018).

A precíziós mezőgazdaság technikai alapfeltétele a nagy pontosságú navigáció és a gépek automatikus kormányzása. Magyarországon a traktorok 29,6%-a rendelkezik automata kormányzással, és 45,6%-k alkalmas fedélzeti számítógép használatára. Az ilyen technológiák integrálásával a hatékonyabban és fenntarthatóbban termelést lehet folytatni. Az elemzések szerint a precíziós gazdálkodást alkalmazó gazdaságok terméshozamai meghaladják a hagyományos gazdálkodás eredményeit, bár a termelési költségek is sok esetben magasabbak. Az automatikus gépirányítás például 10-25%-os üzemanyag-megtakarítást, míg a precíziós öntözés 25%-os vízmegtakarítást eredményezhet (TAKÁCSNÉ GYÖRGY et al., 2018). A

precíziós mezőgazdaság ugyanakkor további kutatásokat és fejlesztéseket igényel, különösen az érzékelő és térképező rendszerek területén (DUHAN et al., 2017).

A precíziós gazdálkodás kialakulása óta jelentős fejlődésen ment keresztül, és elérte a jelenlegi szintet, de továbbra is számos fejlődési lehetőség rejlik benne. Az információalapú gazdálkodás, a high-tech gazdálkodás és az okos gazdálkodás egyre szélesebb körben terjed világszerte. A fejlesztések folyamatosan haladnak előre, és alakítják a jövő mezőgazdaságát (POPP et al., 2018).

2.5 Drónok a mezőgazdaságban

A mezőgazdaság automatizálásának legfejlettebb területe a precíziós mezőgazdaság. Az új robotikai megoldások jelentős támogatást nyújtanak a gazdálkodóknak, megkönnyítve és hatékonyabbá téve a munkafolyamatokat. Az intelligens gazdálkodás során alkalmazott drónok nemcsak növelik a gazdálkodás pontosságát, hanem lehetővé teszik a gazdák számára, hogy adat vezérelt döntéseket hozzanak, ezáltal javíthassák a termelés hatékonyságát és fenntarthatóságát (SHAHROOZ et al., 2020). A drónok számos felhasználási területtel rendelkeznek, a legmeghatározóbb a katonai felhasználás, használják még; szállítási feladatokra, a bűnüldözés, keresés és mentési feladatok, filmipar és a mezőgazdaság. A drónok főbb részei: váz, propellerek, motorok, elektronikus sebességszabályozó, repülésvezérlő, rádióvevő, akkumulátor, illetve a drónhoz társuló távirányító. (AHIRWAR et al., 2019) A leggyakrabban használt dróntípus a quadcopter (CHIN et al., 2023). A gazdálkodók folyamatosan keresik az olcsó és hatékony módszereket a növényeik rendszeres megfigyelésére. A drónokban található infravörös érzékelők alkalmasak a növények egészségi állapotának felmérésére, lehetővé téve a gazdák számára, hogy gyorsan reagáljanak. (AHIRWAR et al., 2019) A mezőgazdaságban alkalmazott drónok két nagy csoportra bonthatók, permetező-kijuttató és feltérképező-megfigyelő drónokra.

A mezőgazdaságban használt feltérképező drónok, olyan érzékelőkkel vannak felszerelve, amelyek valós idejű adatokat szolgáltatnak a növények állapotáról és az állatállomány mozgásáról, így segítik a pontos és hatékony döntések meghozatalát. Ezeket a drónokat vezeték nélküli kommunikációval távolról lehet irányítani, vagy előre programozott útvonalakon repülnek. A különböző kamerák és érzékelők lehetővé teszik, hogy a drónok felméréseket, növénymegfigyeléseket végezzenek, valamint az állattenyésztésben és halászatban is hasznos megfigyeléseket nyújtsanak (PATHAK et al., 2020). A spektrális képalkotással végzett kiváló minőségű távérzékelés drónokkal különösen izgalmas lehetőségeket nyújt a precíziós

mezőgazdaság számára (KULBACKI et al., 2018). A távérzékelés a fizikai jellemzők észlelésének és megfigyelésének folyamata anélkül, hogy közvetlen érintkezésre lenne szükség. A mezőgazdaságban ez azt jelenti, hogy a szántóföldek vagy a növények által visszavert és kibocsátott sugárzást távolról mérik, különböző távérzékelési platformok segítségével. Ezek a platformok lehetővé teszik a mezőgazdasági területek részletes megfigyelését. A földi érzékelőplatformokkal szemben a távérzékelő platformok, például a drónok, könnyűek és kompaktak, így nagy területeket képesek lefedni anélkül, hogy kárt okoznának. Ezek hatékonyan gyűjtenek adatokat nagy területekről, ezzel biztosítják a mezőgazdasági a folyamatos és pontos monitorozását (REJEB et al., 2022).

A mezőgazdasági drónok közül a permetező drónok terület teljesítménye különösen lenyűgöző és megbízható. Ezek a drónok gyorsak, víztakarékosak, és számos egyéb előnyt is kínálnak, amelyek hozzájárulnak a hatékonyabb növényvédelmi gyakorlatokhoz (SHAHROOZ et al., 2020). A mezőgazdaságban alkalmazott fejlett technológiák, mint például a drónok, számos jelentős és kisebb kihívás kezelésére nyújtanak megoldást. A drónok főbb mezőgazdasági alkalmazási területei közé tartozik a növények megfigyelése, a talaj és a mezők elemzése, valamint a madarak elriasztása (AHIRWAR et al., 2019).

2.6 Gyakorlatban alkalmazott vegetációs indexek és az NDVI ismertetése

A mezőgazdasági területek és növények állapotának távoli megfigyelése egy dinamikusan fejlődő terület, amely lehetővé teszi a hatékony és pontos döntéshozatalhoz szükséges információk megszerzését. Ez a technológia lehetővé teszi, hogy a légi eszközök használatával, méréseket végezzünk a talaj, a növényzet és a víz jellemzőiről és paraméteriéről, ilyen eszközök lehetnek, a pilóta nélküli légi járművek (UAV), repülőgépek és műholdak. A növények állapotának megfigyelése és fejlődésük előrejelzésére légi felvételező eszközök multispektrális kamerákat alkalmaznak. Az ilyen jellegű megfigyelések során a növényzet indexeket empirikus módon választják ki és számítják ki különböző spektrális hullámhosszok értékei alapján. A tudományos irodalomban több mint 150 db vegetációs indexet említene, amelyek széles és szűk spektrális csatornák adataiból számíthatóak. A szélessávú spektrális indexek egyenletei jellemzően a vörös vagy infravörös (NIR) csatornákat veszik alapul. A növényzet indexek nagy részét a két legstabilabb, külső tényezőktől kevésbé befolyásolt spektrális tartomány, nevezetesen a vörös és az infravörös (NIR) csatornák adatai alapján számítják ki. A vörös csatorna a napenergia klorofill általi maximális elnyelését tükrözi, míg az infravörös csatorna a növényi energia legnagyobb mértékű visszaverődését mutatja. Magas fotoszintetikus aktivitás

esetén, amely gyakran nagy fitomasszával rendelkező növényzettel társul, a vörös csatorna visszaverődése csökken, miközben a közeli infravörös csatornán magasabb visszaverődési értékek figyelhetők meg (KURBANOV és ZAKHAROVA, 2020). Empirikus vizsgálatok szerint a vegetációs indexek, amelyek a spektrális visszaverődés változásait mérik, szorosan összefüggnek a növények levélfelületének, biomasszájának és élettani működésének jellemzőivel. Ezek az indexek, különösen a széles sávú és közeli infravörös tartományban alkalmazottak, megbízhatóan jelzik a növényekben található klorofill mennyiségét és az energiaelnyelést (MYNENI et al., 1995). A vegetációs indexek olyan mérőszámok, amelyek a föld feletti fitomassza (növényi tömeg) mennyiségének becslésére, valamint a növényzet egészségi állapotának megfigyelésére alkalmazhatók. Ezeket az indexeket a növényzetről visszaverődő, és a szenzorok által érzékelt fény alapján számítjuk ki. Az alkalmazási területük igen széleskörű, a primer produkció becslésétől kezdve a természetvédelmi gyepterületeken át egészen a növényzet klímaváltozásra adott válaszainak kutatásáig terjedhet (PRISZCILLA és PÉTER, 2017).

A normalizált differencia vegetációs index (NDVI) az egyik legelterjedtebb és leggyakrabban alkalmazott vegetációs index (JIANG et al., 2006). ROUSE et al., (1974) vizsgálata több vegetációs indexet határoztak meg, és kidolgozták az NDVI-t, amit a zöld biomassza növekedésének becslésére használtak. Ez egy spektrális mutató, amely a vörös és a közeli infravörös (NIR) tartományban mért visszavert sugárzás különbségén alapul. A különbséget úgy normalizálták, hogy elosztották a vörös és a NIR tartományban visszavert sugárzás összegével (ZHANG, 2015). A népszerűsége annak köszönhető, hogy bármely olyan multispektrális szenzorral kiszámítható, amely rendelkezik látható és közeli infravörös (NIR) sávval. Matematikailag az NDVI a következőképpen írható le: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$, ahol az NDVI a normalizált vegetációs indexet jelöli. A Red (vörös) és NIR (közeli infravörös) értékek a spektrális sugárzási (vagy visszaverődési) méréseket jelentik, amelyeket az érzékelők a vörös (látható) és NIR tartományban rögzítenek. A visszaverődés egy mértékegység nélküli arányszám, amely meg mutatja, hogy az objektum mennyi sugárzást ver vissza az őt érő sugárzáshoz képest. Az NDVI értékei -1 és 1 között mozognak: negatív értékeket mutat víz, közel nullához esik kövek, homok vagy beton felületek, pozitív értékeket a vegetációban lévő növényzet ad (HUANG et al., 2021).

2.7 Vegetációs indexek minőségi és mennyiségi összefüggései a terméssel

A termesztett növények várható hozamának előzetes becslése kulcsfontosságú a betakarításkor hozott döntések megalapozásához, ezért ez az agronómiai kutatások egyik lényeges területe

(SPITKÓ et al., 2022). Az NDVI kiválóan alkalmas a növények zöld biomasszájának mérésére, mivel a közeli infravörös (NIR) és a vörös fény visszaverődésének különbségén alapul. Amikor az NDVI értéke emelkedik, az általában a növény egészséges állapotának javulását és a hozam növekedését jelzi. A kutatások szerint a kukoricahozam a legmegbízhatóbban a szemtelítődés (az az a grain filling) szakaszában becsülhető, mivel ekkor a növények a fotoszintézis során előállított tápanyagokat a szemekbe juttatják. Ebben a növekedési szakaszban a vegetációs indexek, különösen az NDVI, erős korrelációt mutatnak a tényleges hozammal (FEI et al., 2021).

A kukorica szemtermésének előrejelzéséhez több vegetációs indexet, nitrogén kezelést és kezelési dátumot vizsgáltak, illetve felvételezési dátumot, amely alapján elmondható, hogy a legnagyobb korrelációt a virágzás kezdetén és a tejesérés kezdetén végzett felvételezések hozták, amikor az NDVI és az EVI2 indexeket hozták ki a legmegbízhatóbbnak (SUNOJ et al., 2021). Egy másik kutatás során különböző vegetációs indexeket alkalmaztak a kukoricahozam előrejelzésére, kiemelten a GARI (Green Atmospherically Resistant Vegetation Index) és az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) szerepét vizsgálva. Eredmények alapján a GARI index mutatkozott a legmegbízhatóbbnak, mivel 0,888-es korrelációs együtthatót mutatott a becsült és tényleges hozam adatok között. A GARI index előnye, hogy a közeli infravörös (NIR) adatokat a látható spektrum három csatornájával (kék, zöld, vörös) kombinálja, így pontosabb becsléseket tesz lehetővé a zöld biomassza és a klorofill koncentráció tekintetében. Ez jelentős javulást jelentett az NDVI-hoz képest, amely alacsonyabb korrelációt mutatott a kukoricahozamokkal. A hozambecslések pontosságának további növelése érdekében a kutatásban meteorológiai korrekciókat is alkalmaztak, amelyek figyelembe vették a hőmérsékletet, csapadékmennyiséget, sugárzást és talajnedvességet. Ezek a változók jelentős hatással vannak a növények növekedésére, és integrálásuk révén a hozambecslési modellek pontossága tovább növekedett. A meteorológiai adatok figyelembevétele után a korrelációs együttható 0,968-ra emelkedett, míg a becsült és a valós hozam adatok közötti átlagos eltérés 3,9%-ra csökkent. A kutatás alapján elmondható, hogy a vegetációs indexeknek nagyon magas korrelációja van a terméssel (BOGNÁR et al., 2022).

3. Anyag és Módszer

3.1 Látóképi kísérleti telep bemutatása és a kísérlet helyszíne

A kutatást Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén végeztem, azon belül az 1983-ban Prof. Dr. Nagy János által alapított komplex trágyázási tartamkísérletben, ahol több mint 40 éve folynak kukorica tápanyag és hibrid kísérletek. A telep a 33-s főút mentén

a 95-ös kilométer szelvényénél található, Debrecentől 11 kilométerre, a hajdúsági löszháton. A kísérleti terület hagyományos, forgatásos alpművelésre alapuló talajművelési rendszert alkalmaznak.

3.2 A kísérlet agrotechnikai paraméterei

1.táblázat: A szántóföldi kisparcellás kísérlet kivitelezéséhez szükséges agrotechnikai műveletke és az időpontja

Időpont	Agrotechnikai művelet
2023.10.06.	Műtrágyaszórás
2023.10.11.-17.	Szántás
2024.02.22.	Szántás elmunkálás
2024.04.11.	Vetés
2024.05.10.	Permetezés (Laudis 2l/ha)
2024.05.16.	Sorközművelés
2024.05.30.	Lombtrágya
2024.06.18.	Öntözés 25 mm
2024.07.07.-12.	Öntözés 25 mm
2024.07.15.-19.	Öntözés 25 mm
2024.08.01.	Öntözés 25 mm
2024.09.23.	Betakarítás

Forrás: Saját szerkesztés

A kísérletben az alpművelés szántáson alapszik. Az alpművelés elmunkálása és a magágy előkészítése egy menetben történt. A vetés április 11.-én 73 400-as tőszámmal történt, az aratás pedig augusztus 20.-án történt. A rendkívül száraz júliusnak és augusztusnak köszönhetően összesen 100 mm öntözővíz került kijuttatásra lineár segítségével (1. táblázat).

A kutatás során három különböző FAO számú hibridnél végeztem a felméréseket, a hibridek kiválasztásánál ügyeltem arra, hogy érésben eltérjenek egymástól. Ezáltal az egyes számú hibrid egy korai érésű 470 FAO számú, a kettes számú hibrid egy késői érésű 520 FAO számú, a harmadik hibrid pedig egy 420 FAO számú közép-korai érésű.

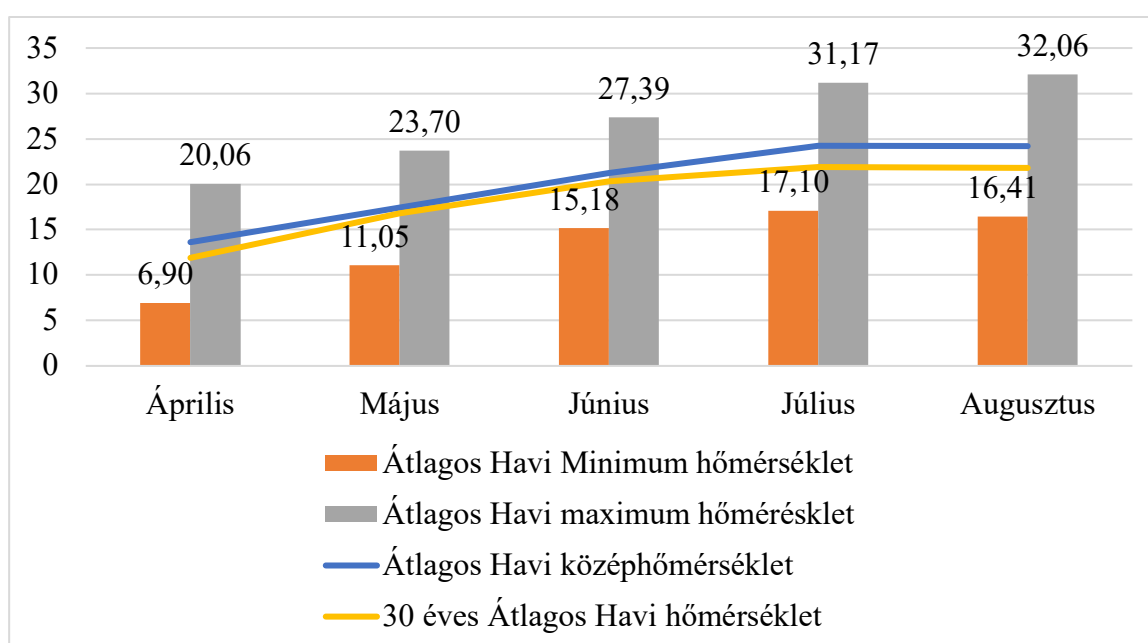
2.táblázat: A tartamkísérletben alkalmazott makroelemek öt eltérő tápanyagszintben

	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	Összes kg/ha
Kontroll	-	-	-	-
Szint 1	30	23	27	80

Szint 2	60	46	54	160
Szint 3	90	69	81	240
Szint 4	120	92	108	320
Szint 5	150	115	135	400

Forrás: Saját szerkesztés

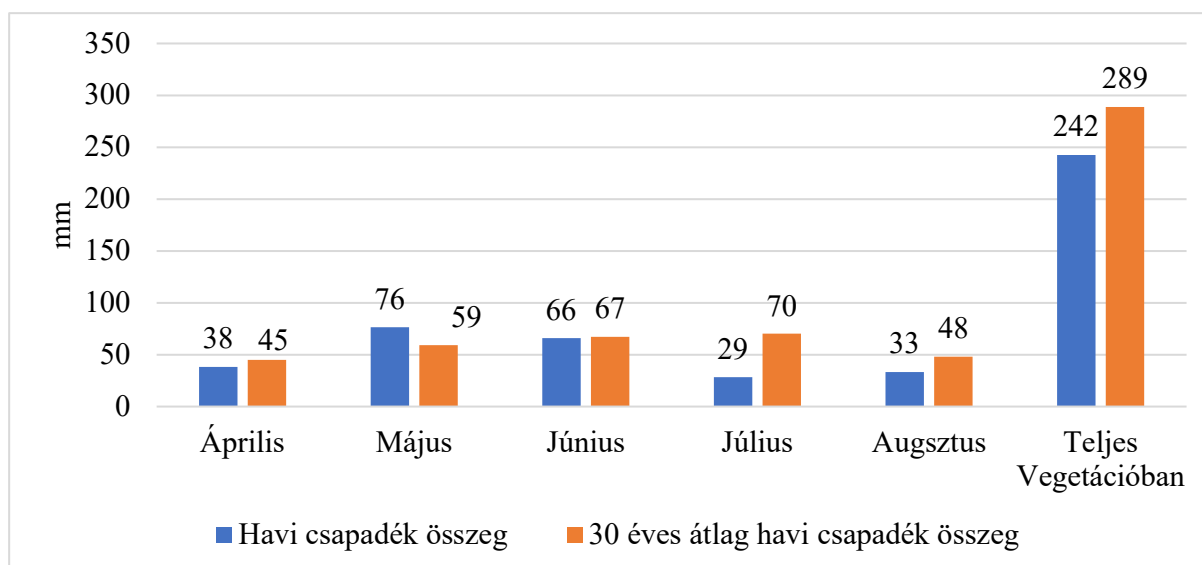
A kísérleti területen foszfor és kálium trágyázása ősszel, az egyes kezeléseknek megfelelő nitrogén trágya kijuttatása pedig tavasszal vetés előtt történik, precíziós, parcellaszintű kijuttatási technológia mentén, kontroll, valamint öt növekvő nitrogén dózis kialakításával (2. táblázat).



2. ábra: A 2024-es kukorica tenyészidőszak hőmérséklet adatainak alakulása Látóképen

Forrás: HungaroMet és Saját adatok, saját szerkesztés

Az ábrán a havi hőmérsékletek mért paraméterei, illetve az 1991-2020 közötti havi átlag hőmérséklet paraméterei találhatók. A vizsgált időszakban, a hőmérséklet jelentősen melegebb volt a megszokottnál, különösen elmondható ez az áprilisi és az augusztusi hónapokra. Az augusztus 2,42 Celsius fokkal haladta meg az átlagot, az április hónap pedig 1,72 Celsius fokkal. A hőség napok száma 51 volt. A nagy tavaszi átlag feletti hőösszeg hatására, az egész vegetáció nagyjából 10 napot közeledett a vetéshez (HUNGAROMET) (2. ábra).



3. ábra: A 2024-es kukorica tenyészidőszak csapadék adatainak alakulása Látóképen
 Forrás: HungaroMet és Saját adatok, sajátszerkesztés

A tenyészidőszakban 242,4 mm csapadék hullott, ami elmaradt a megszokottól, hiszen a harminc éves átlag alapján 289 mm. A csapadék eloszlásában is jelentős változásokat lehet tapasztalni. A június-július csapadék maximum helyett, május-június csapadék maximum volt tapasztalható. A májusi csapadék jelentősen meg haladta a sok éves átlagot, mivel az 59 mm viszonylatában 76 mm hullott. A júliusi viszont jelentősen elmaradt, hiszen a megszokott 70 helyett csak 29 mm esett, ami negatívan érintette a növényt (3. ábra).

3.3 A kísérlet technikai paraméterei

3.táblázat: Felvételezések paraméterei

Mérés	Fenológiai fázis	Dátum	Időpont GNSS	Időpont RTK	Időpont RTK + magasság követés
1. alkalom	V4-V5	2024.05.10	11:15	11:20	11:32
2. alkalom	V10-V12	2024.06.07	10:37	10:46	10:55
3. alkalom	R1	2024.06.28	10:21	10:25	10:32
4. alkalom	R3	2024.07.25	10:02	10:12	10:22

Forrás: Saját szerkesztés

A vizsgálatok során törekedtem a napos tiszta időre, a felvételek minőségének javítása érdekében, illetve arra, hogy a nap nagyjából azonos időszakában készítsem el, így a felvételek 10-12 óra között készültek. A felvételezés dátumait a növény növekedésének különböző fenológiai fázisaihoz igazítottam V4 és R3 fenológiai fázis között (3. táblázat).

A kutatásomhoz egy DJI MAVIC 3M típusú drónt használtam, amely egy négyrotoros, kistermetű UAV. A drón egy 20 megapixeles RGB kamerával és 4db 5 megapixeles multispektrális kamerával (GREEN, RED, RED EDGE és NEAR-INFRARED). A kamerák jellemzői: A Green hullámhossza 560nm +/- 15nm, a Red 650nm +/- 16nm, a Red Edge 730nm +/- 16nm, a Near-Infrared 860nm +/- 26nm. A beépített napsugárzás-érzékelő rögzíti a nap sugárzását, amit eltárol, ezáltal lehetővé teszi a fényviszonyok korrekcióját a képadatok 2D-s feldolgozása során. Ennek köszönhetően pontosabb NDVI eredmények érhetők el. Az RTK modulnak köszönhetően centiméteres pontossággal tud felvételt készíteni, amely akár egy 45 perces repülés során 200 hektáros területet is magába foglalhat (DJI, 2024).

A nyers felvételeket szétválogattam RGB és multispektrális felvételekre, a multispektrális felvételekből WEOBDM szoftver segítségével ortofotókat készítettem. A QGIS szoftverben raszterkalkulátor segítségével mono-csatornákból NDVI-t készítettem. Ezek után a nyers GEOTIFF fület a QGIS szoftverben szűrtem NDVI érték alapján. A nulla alatti értékeket; talaj, víz, árnyék és vegetáció nélküli részeket eltávolítottam, majd a felső két százalékba tartozó kiugró értékeket szintén eltávolítottam. Ezután a parcella méretének megfelelő poligonokat képeztem, és elvégeztem az attribútum tábla kódolását a hibrid, tápanyagszint és az ismétlés szám alapján. Ezt követően zónastatisztikát végeztem a poligon területére vonatkozóan, a pixelek átlag értékei alapján. Az adatokat excel formátumba exportáltam, időpontonként, tápanyagszintenként, hibridként, és repülési beállításonként.

Ezután Jamovi statisztikai program segítségével elkészítettem az ábrákat, majd Pearson féle korreláció analízist végeztem az egyes faktorok és beállítások figyelembevételével, hogy megtudjam a tenyésztéskorban a változók közötti összefüggés mértékét és irányát.

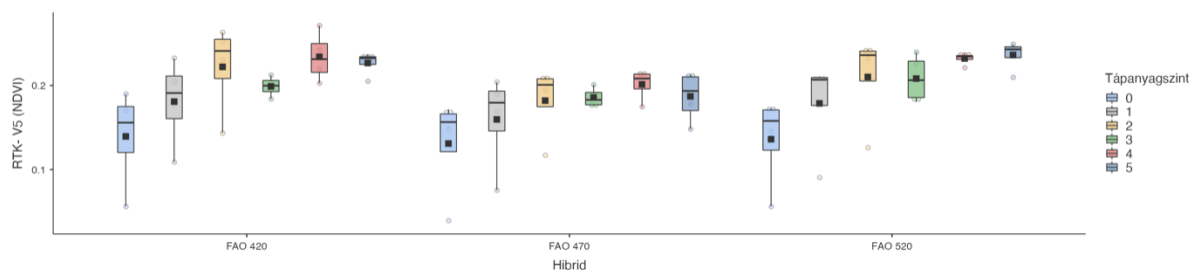


4.ábra: DJI Mavic 3 Multispectral. *Forrás: Saját kép*

Az első beállításnál nem használtam RTK-t csak GNSS műholdas helymeghatározást. A második beállításnál RTK jel korrekciót használtam. A harmadik beállításnál az RTK mellett magasság követést is alkalmaztam. Mind három beállításnál a többi repülési paraméter egység volt, amelyek a következők.: A repülési magasság 90 méter, az elülső és oldalsó átfedés mértéke 80%. A repülés során a kamera szöge 90 fok volt, a repülés sebessége pedig 4,1 m/s. A repülés előre meghatározott útvonalon történt.

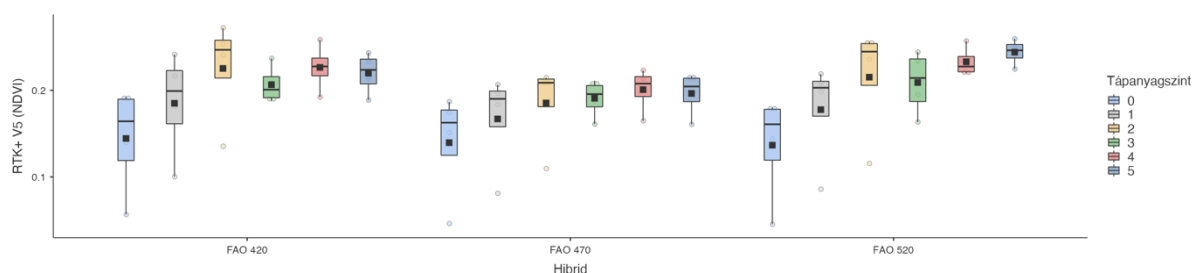
4. Eredmények és azok értékelése

4.1 NDVI értékek a tápanyag szintek vonatkozásában hibridenként



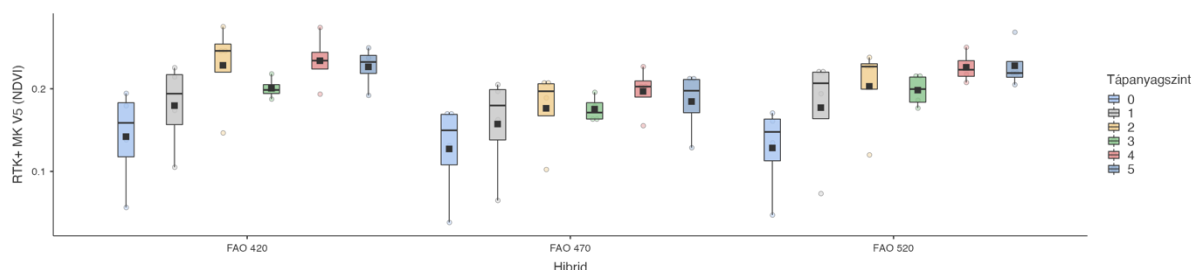
5. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben, hibridenként csoportosítva, RTK nélküli repülésnél V5 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

Az RTK nélküli V5 fázisban, a mérések alapján elmondható, hogy az NDVI vegetációs index értéke, jelentősen eltért a különböző tápanyagszintekben. Megfigyelhető, hogy az NDVI értékek jelentősnek növekednek a kontrollhoz képest a második tápanyagszintig. A 3., 4., 5., tápanyagszintekben mért NDVI értékek között jelentős eltérés nem tapasztalható. Az R5, mint korai fenológiai fázisban a legkorábbi vizsgált fajtánk, kicsit magasabb NDVI értékeket mutat, ez a rövidebb tenyészidővel és a fajta sajátosságokkal magyarázható (5. ábra).



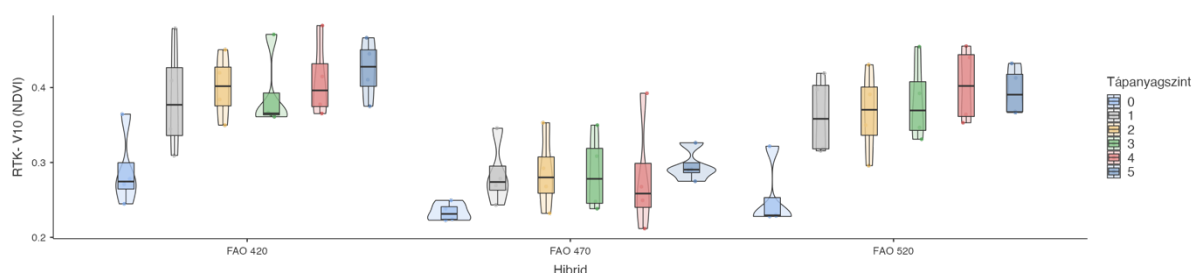
6. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben, hibridenként csoportosítva RTK-val való repülésnél V5 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

Az RTK használatával a V5 fenológiai fázisban a mérések alapján elmondható, hogy a hibridek nagyobb különbséget mutatnak, mint az RTK nélküli adatokban. A FAO 470 hibridnél nagyon gyenge növekedés tapasztalható a tápanyagszintenként való NDVI érték növekedésében. A kettes tápanyagszinten mért index érték minden hibridnél az első-második legmagasabb érték helyén állt. Az NDVI értékének növekedése nem arányosan nő a tápanyagszint emelésével (6. ábra).



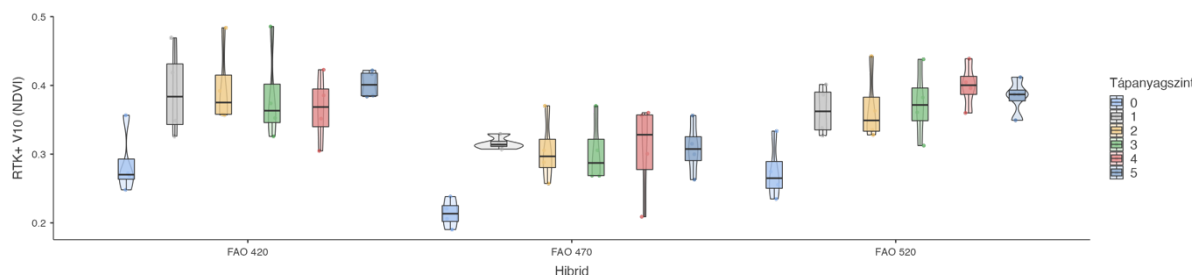
7. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben, hibridenként csoportosítva magasságvizsgálással való repülés során V5 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

A magasságvizsgálással végzett R5 fázisban történt mérések hasonló adatokat mutatnak, mint a magasságvizsgálás nélküli RTK-val való mérések (7. ábra).



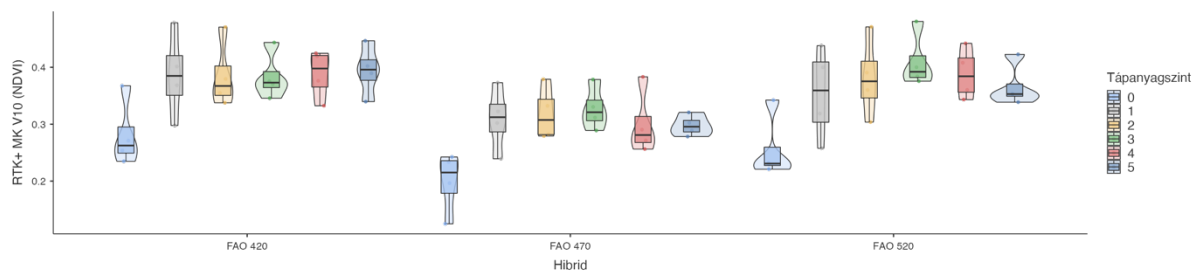
8. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben, hibridenként csoportosítva RTK nélküli repülésnél V10 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

A V10 fenológiai fázisban az RTK nélküli mérések hibridenként igen változó eredményt hoztak. A FAO 470 hibrid eredményezte a legalacsonyabb értéket. Ebben növekedési fázisban az a kontroll index értéke minden hibridnél jelentősen alul maradt, a kezelt parcellákhoz képest. A trágyázott parcellák nem mutatnak akkora eltérést, mint a V5 fenológiai fázisban (8. ábra).



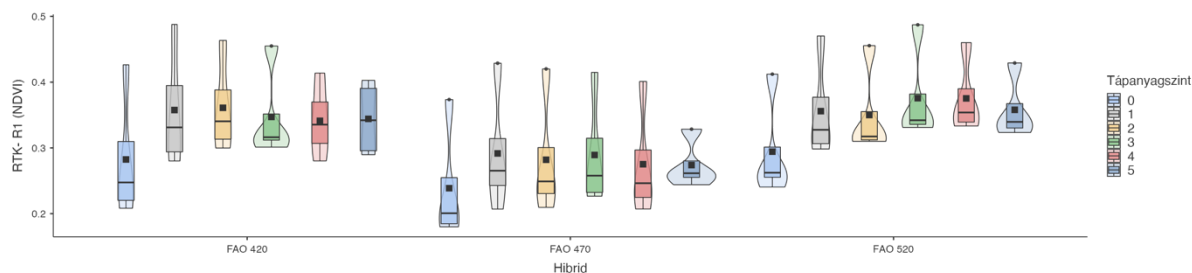
9. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben, hibridenként csoportosítva RTK-val való repülésnél V10 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

Az RTK-val repülés a V10 fenológiai fázisban nem mutat nagy eltérést az RTK nélkülihez képest ebben a vonatkozásban. A legnagyobb különbség a FAO 470 hibridnél van, hogy ennél a beállításnál a kontroll index értékei nagyobb mértékben elmaradnak a kezelt parcelláktól (9. ábra).



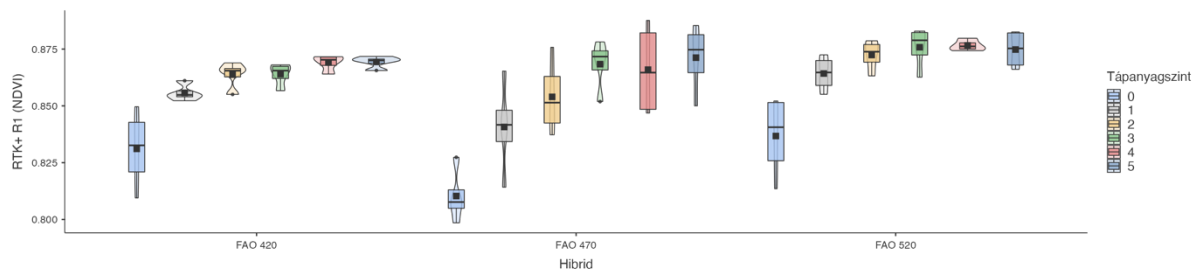
10. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva magasságvizsgálás során V10 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

A magasságvizsgálással végzett felmérések, eltérnek az előző kettő beállítás eredményétől. Ennél az NDVI értékek növekedése, nagyobb hasonlóságot mutat a V5 fenológiai fázisban mért eredményekhez, a növekedési ütemet tekintve. A teljes V10 fázisban mért eredményekre elmondható, hogy a FAO 470 hibrid értékei minden beállítás mellett elmaradnak, a FAO 520 és FAO 420 hibridektől (10. ábra).



11. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva RTK nélküli repülés során R1 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

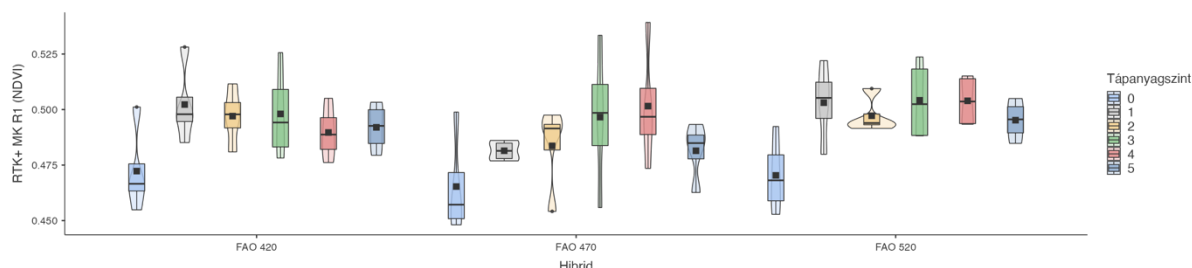
Az R1 fenofázisban végzett RTK nélküli repülés során mért eredmények alapján a FAO 470-s hibrid értékei ismét elmaradnak, és az érték növekedésük is igen gyenge, a kontroll kivételével, hasonló értékeket mutatnak. A FAO 420 értékei magasabbak, viszont itt is csak a kontroll tér el jelentősen a többitől. Egyfajta növekedés csak FAO 520 hibridnél volt tapasztalható, viszont az egyes kezelés értékei meghaladták a kettős tápanyagszintét (11. ábra).



12. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva RTK-val való repülés során R1 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

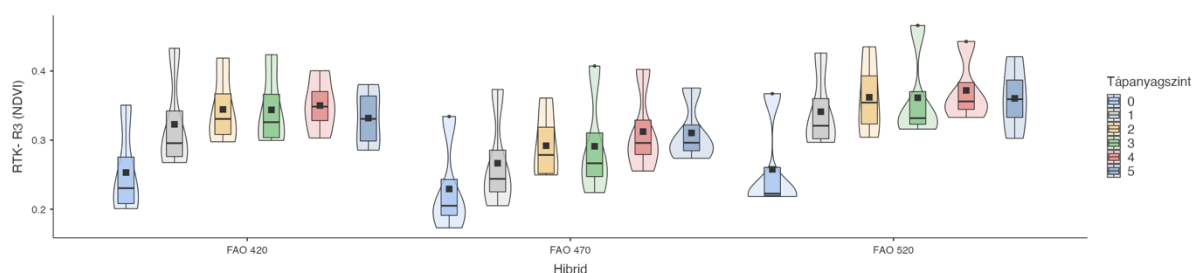
A V10 fenológiai fázisban az RTK használatával történt felmérések az NDVI érték nagyságában jelentős eltérést mutatnak a többi méréstől és beállítástól, mivel itt az NDVI átlagértékek 0,8

felett voltak. A felmérést megelőzően mindent ugyan úgy tettem, mint a többi felvételezés során nem utalt semmi hibára. A szűrést és az ortofotó összefűzését is kétszer végeztem el, itt is minden megfelelően működött, ezért az adatokat mérvadónak tekintem. Az eredmények növekedési üteme hasonló a három eltérő FAO számú hibridnél (12. ábra).



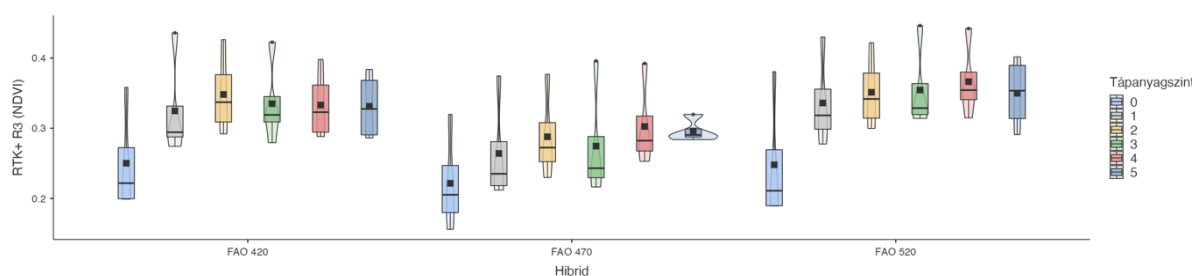
13. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva magasságkövetéssel való repülés során R1 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

A magasságkövetéssel végzett R1 fenofázisban végzett felmérések magasabb értékeket mutatnak, mint az RTK nélkülinél, viszont jelentősen elmaradt az RTK-val való repülés során. Az értékek a hibridek között csak abban mutat hasonlóságot, hogy a kontroll értékek minden esetben elmaradnak. A legmagasabb tápanyag dózisban mért eredmények hasonló vagy alacsonyabb értéket mutatnak, mint a legkisebb kezelt parcella értékei (13. ábra).



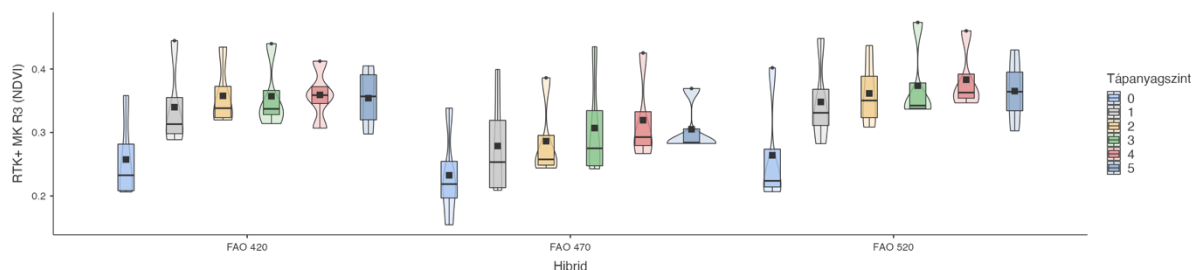
14. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva RTK nélküli repülés során R3 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

Az RTK nélküli felmérések az R3 fenológiai fázisban alacsonyabb értékeket mutatnak, mint az R1 fázisban mért indexek. Az NDVI index érték növekedése a második tápanyagszintig tart, a 2, 3, 4 és 5-s tápanyagszintek megközelítőleg azonos értéket eredményeztek (14. ábra)



15. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva RTK-val való repülés során R3 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

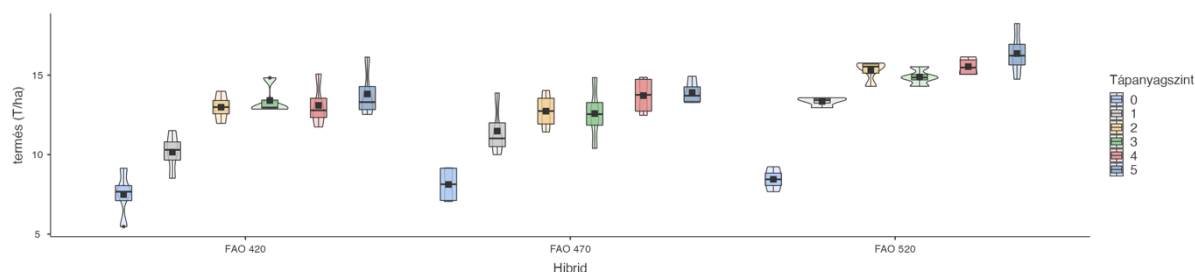
Az RTK-val való R3 fenofázisban történt felvételezés során mért NDVI értékek alapján a FAO 470 hibrid eredményezte a legkisebb index értékeket. Az eredmények alapján a 3-as tápanyagszinteken mért index értékek alacsonyabb számokat adnak, mint a 2-s tápanyagszinten (15. ábra).



16. ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva magasságvételes repülés során R3 fenológiai fázisban. *Forrás: Saját szerkesztés*

A magasságvételes végzett R3 fenofázisban történt mérések, nagy hasonlóságot mutatnak az RTK-val való mérésekkel. A különbség a harmadik tápanyagszint értékeiben tapasztalható, mivel itt magasabb értékeket mutatnak a második tápanyagszinthez képest, mint az RTK-val való felmérések eredményi alapján (16. ábra).

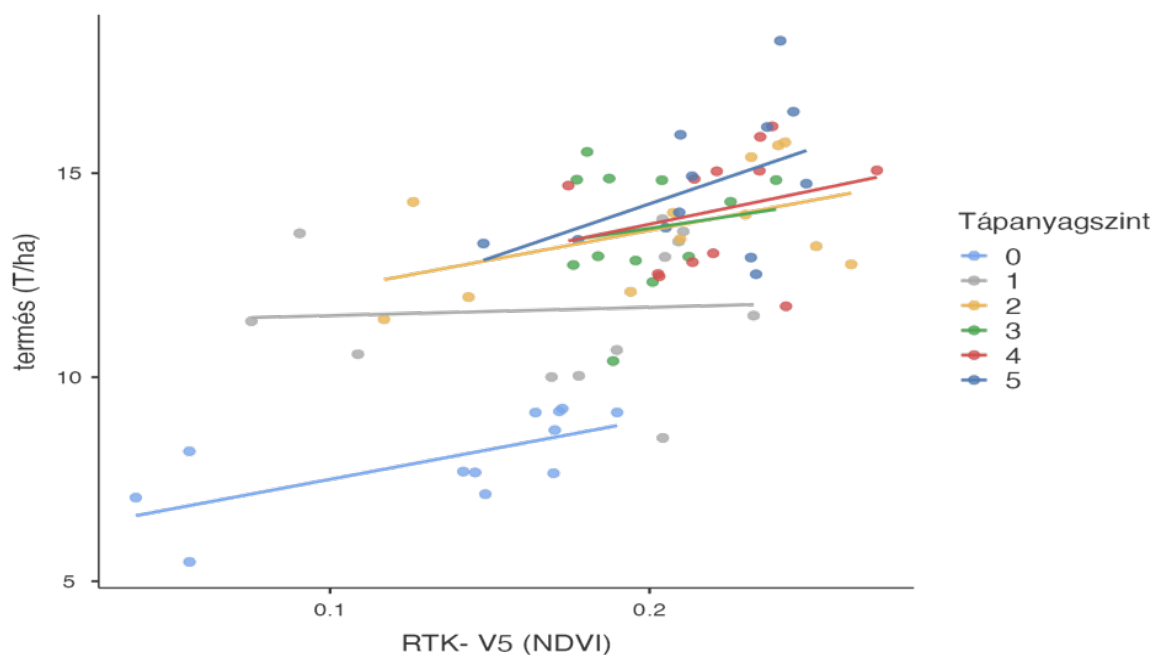
4.2 Termés a tápanyagszint függvényében hibridenként



17. ábra: A termés mennyiségének alakulása tápanyagszintenként, az alkalmazott hibridek alapján. *Forrás: Saját szerkesztés*

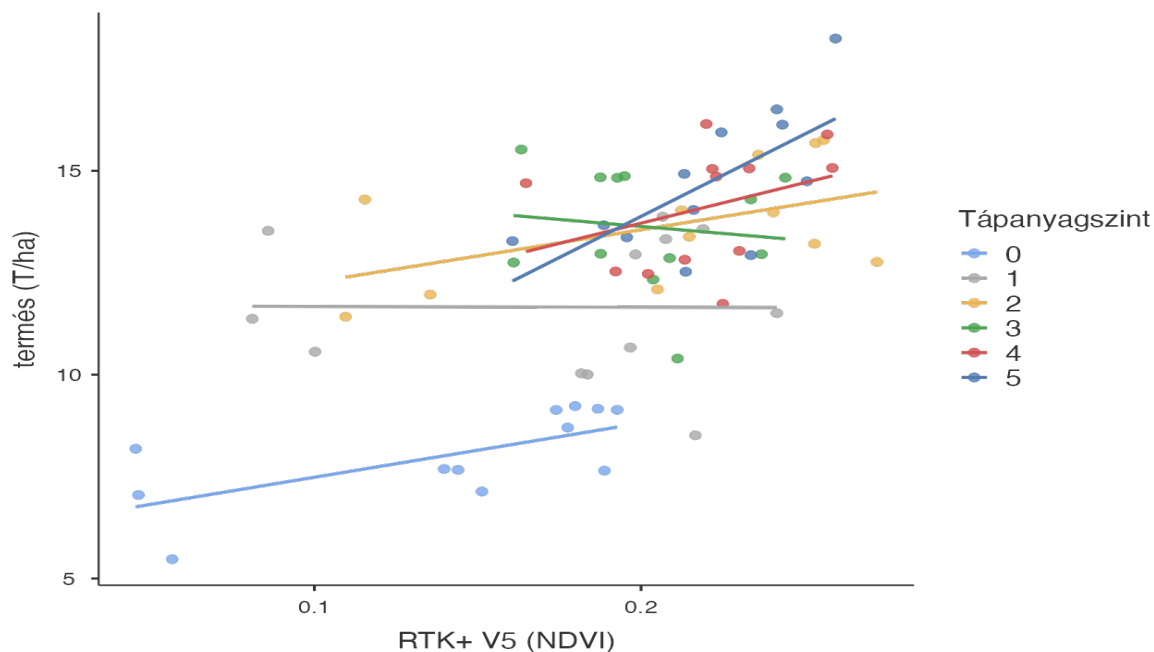
A termés mennyiségének alakulása a tápanyagszintek függvényében egyes hibridek esetében eltérő volt. A FAO 520-as hibridnél a 2-es tápanyagszint termésmennyisége meghaladta a 3-as tápanyagszint termésmennyiségét. A többi hibridnél a tápanyagszintek többségénél növekedett a termés, viszont a 4-es és 5-ös tápanyagszint között nagyon kismértékű növekedés volt (17. ábra).

4.3 Termés mennyiségének és dinamikájának alakulása tápanyagszintenként a hibridek átlagában

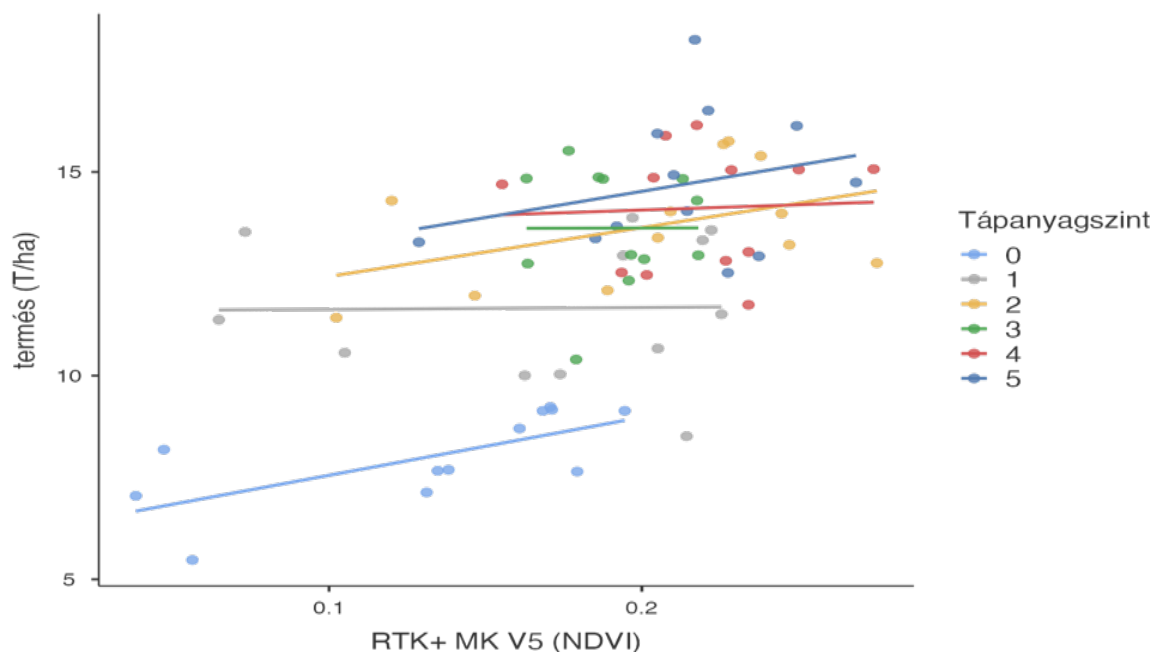


18. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V5 fenológiai fázisban RTK nélkül az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.

Forrás: Saját szerkesztés



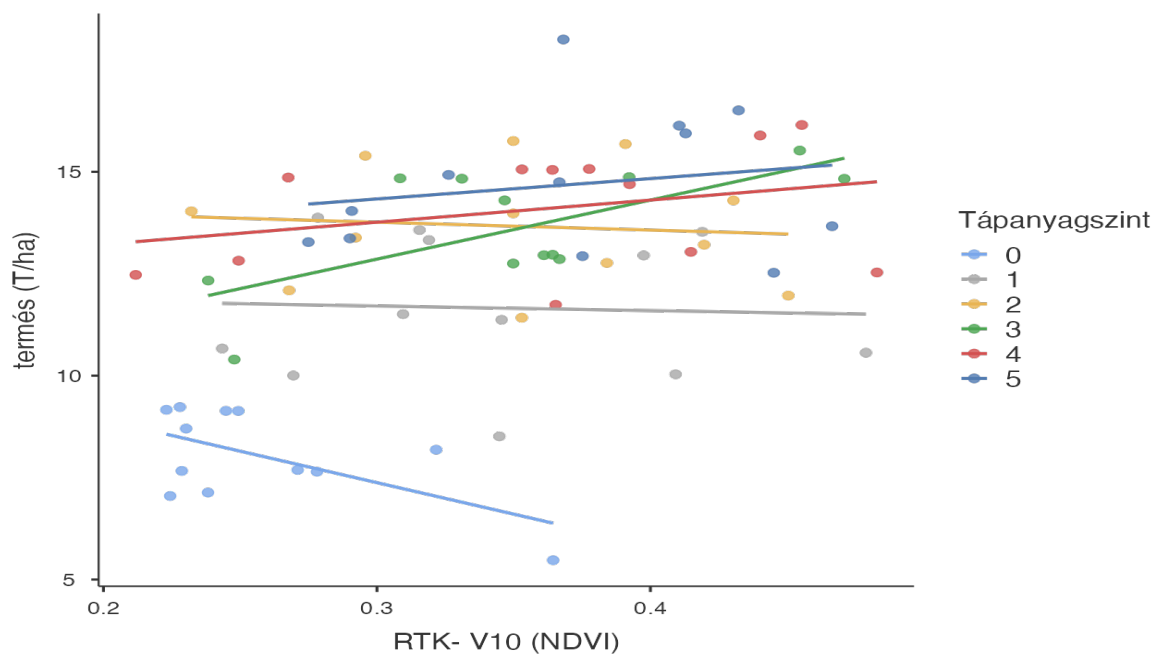
19. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V5 fenológiai fázisban RTK-val az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.



20. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V5 fenológiai fázisban magasságkövetéssel az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.

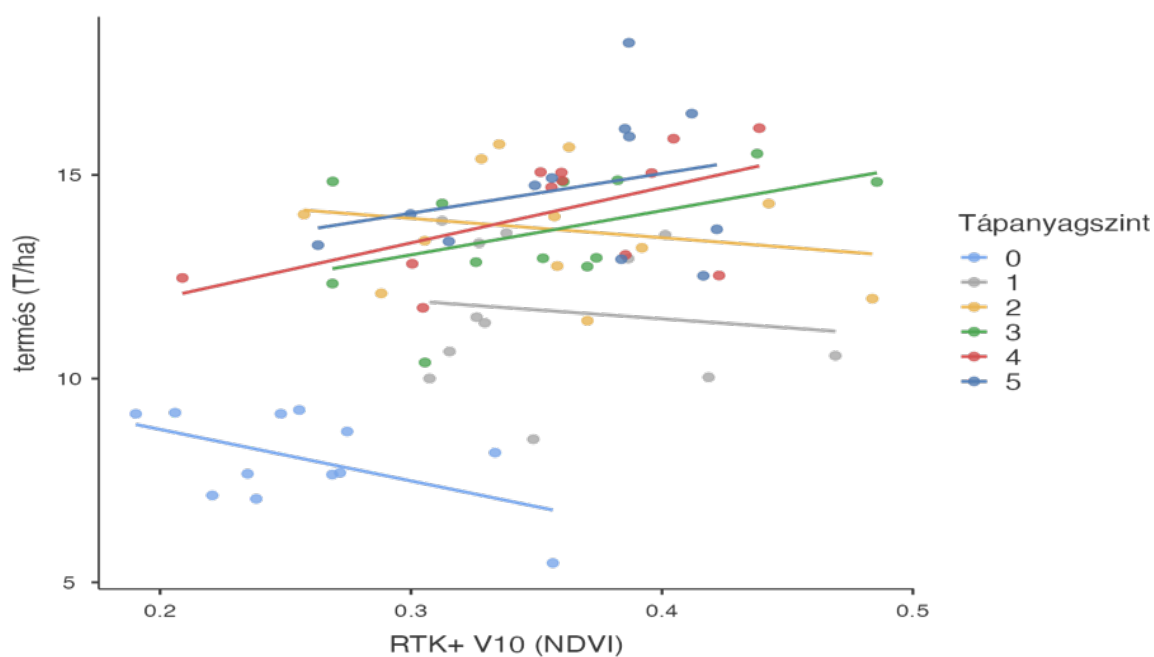
Forrás: Saját szerkesztés

A V5 fenológiai fázisban az NDVI értékek és a termés mennyiségének növekedése lineáris tendencia alapján az alábbiak szerint alakultak. A kontroll esetében voltak a legalacsonyabbak az NDVI értékek, illetve az NDVI értékek növekedésével arányosan növekedett a termés mennyisége. A legnagyobb termést a hibridek átlagában az 5. tápanyagszinten mértem. A tápanyagszinten belül az egyes parcellákhoz tartozó NDVI érték növekedésével nőtt a termés mennyisége. Továbbá az 1-es tápanyagszinten az NDVI értékek összefüggése a lineáris függvény meredekségére vonatkozóan a legkisebb, tehát az 1-es tápanyagszinten az NDVI érték növekedés eredményezte a tápanyagszintek között a legkisebb termésnövekedést (18-20. ábra).



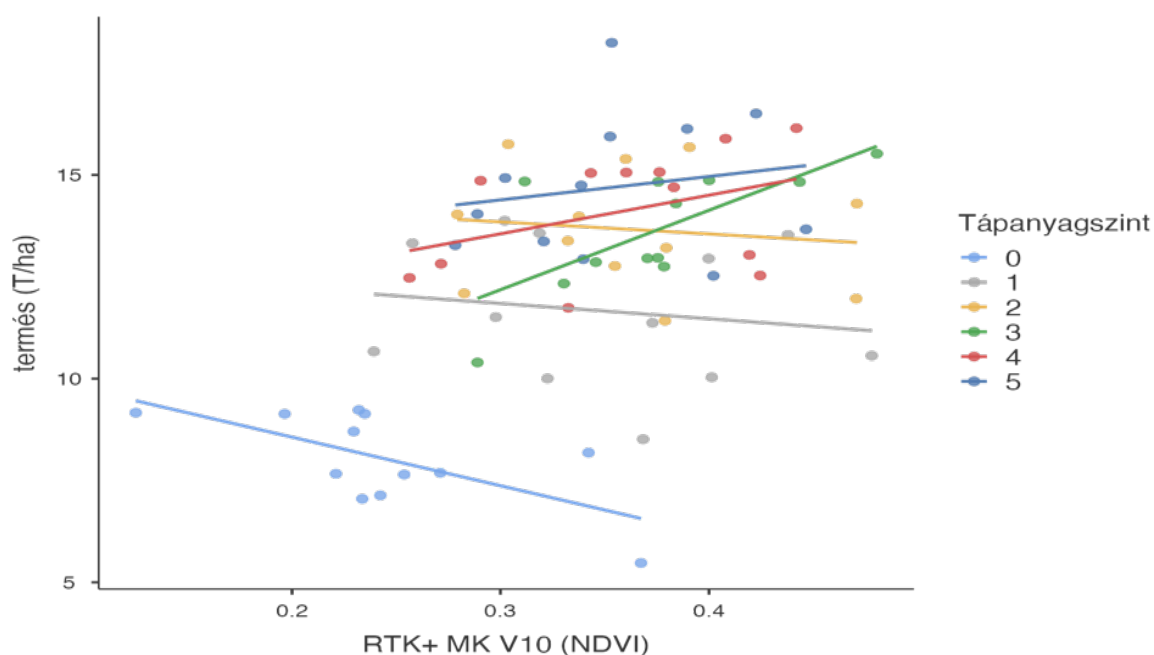
21. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V10 fenológiai fázisban RTK nélkül az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.

Forrás: Saját szerkesztés



22. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V10 fenológiai fázisban RTK-val az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.

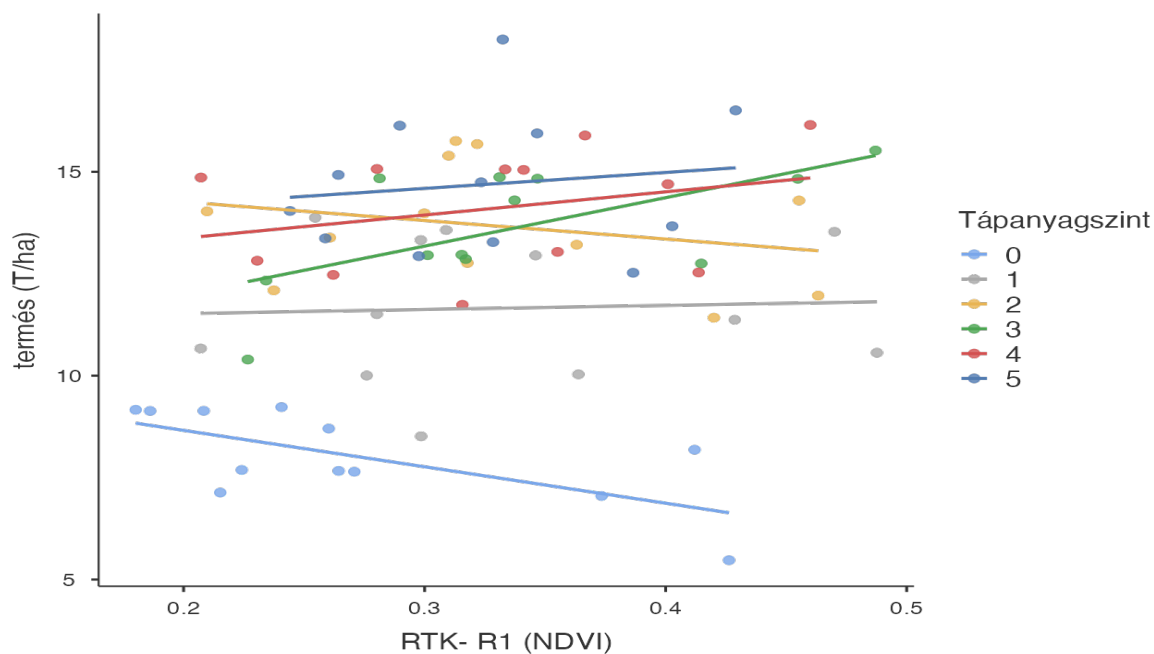
Forrás: Saját szerkesztés



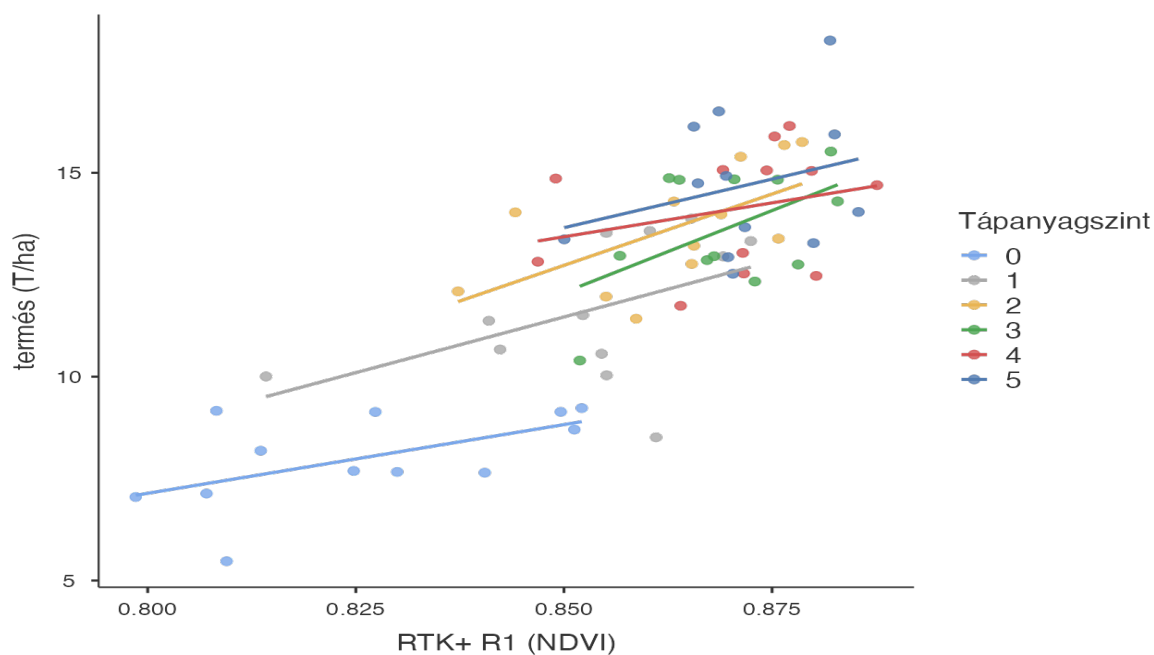
23. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V10 fenológiai fázisban magassággövetéssel az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.

Forrás: Saját szerkesztés

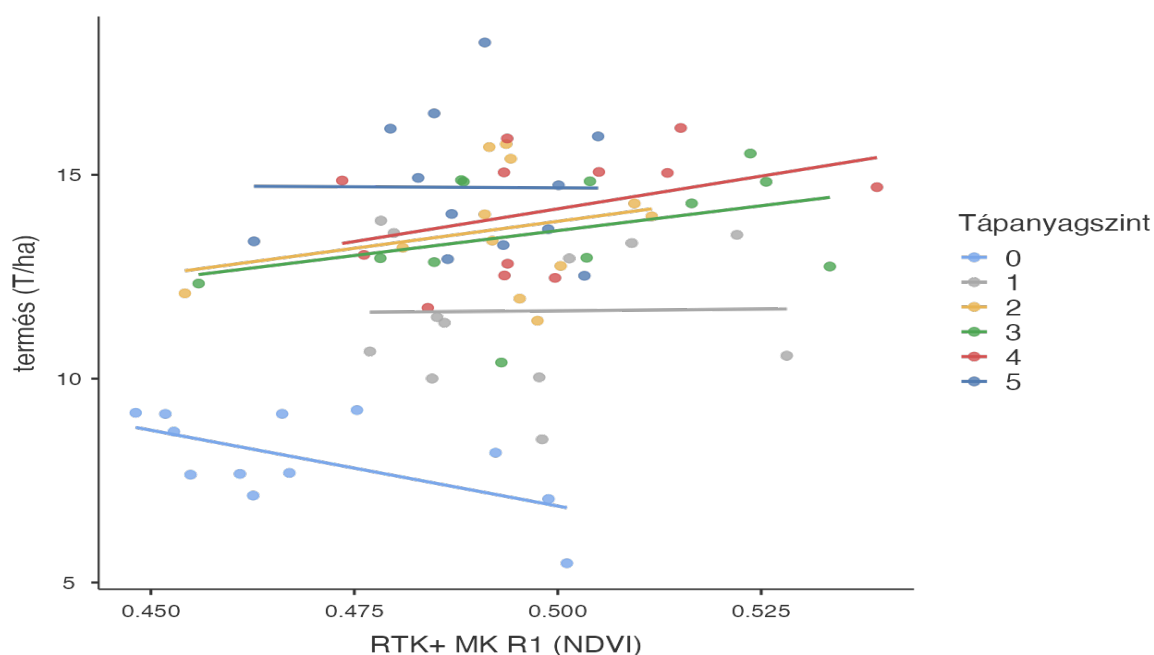
A V10 fenológiai fázisban az NDVI értékek és a termés mennyiségének növekedése lineáris tendencia alapján az alábbiak szerint alakultak. A kontroll parcellákban mértem a legalacsonyabb NDVI értékeket. A 3., 4. és az 5. tápanyagszinteken az NDVI index növekedésével arányosan nőtt a terméshozam. Ezzel szemben a kontroll, valamint az 1. és 2. tápanyagszinteken az ellenkező irányú tendencia volt megfigyelhető, így az NDVI értékek növekedésével a terméshozam folyamatosan csökkent. A lineáris növekedés és csökkenés meredeksége az RTK nélküli mérések esetében volt a leglaposabb, míg a magassággövetéssel végzett felvételezések mutatták a legmeredekebb kapcsolatot. Minden esetben a 3. tápanyagszint eredményezte a legnagyobb növekedési meredekséget, amely a magasabb NDVI értékeknél, a hibridek átlagában nagyobb terméshozamot mutatott, mint az 5. tápanyagszint (21-23. ábra).



24. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R1 fenológiai fázisban RTK nélkül az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.
Forrás: Saját szerkesztés



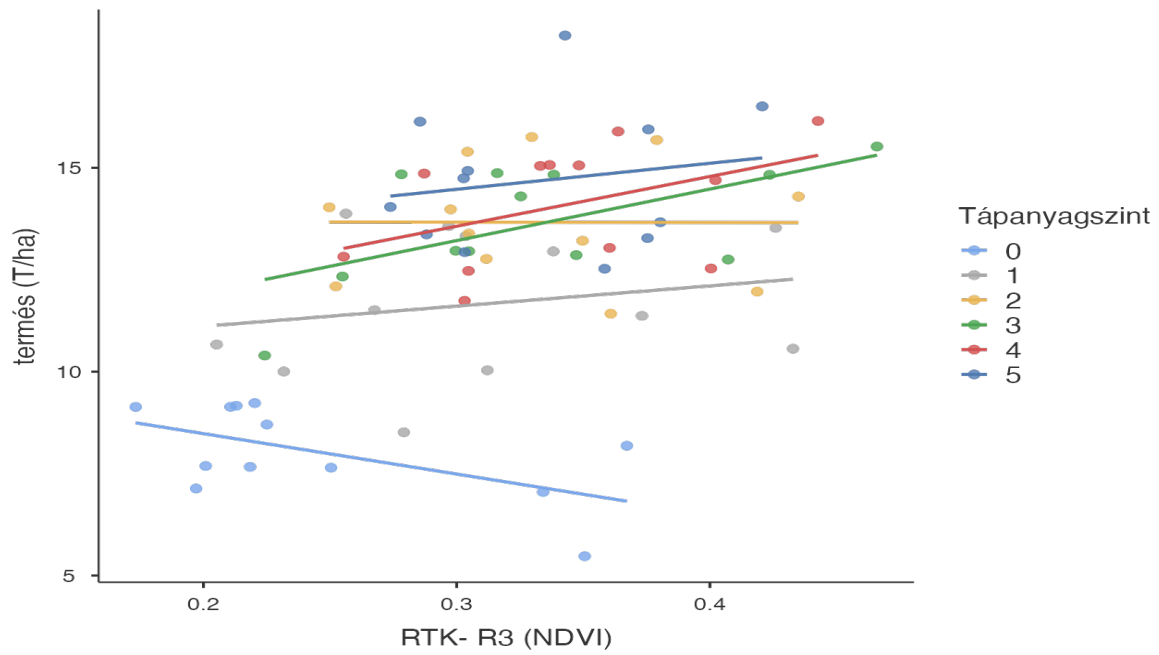
25. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R1 fenológiai fázisban RTK-val az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.
Forrás: Saját szerkesztés



26. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R1 fenológiai fázisban magasságvizsgálással az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.

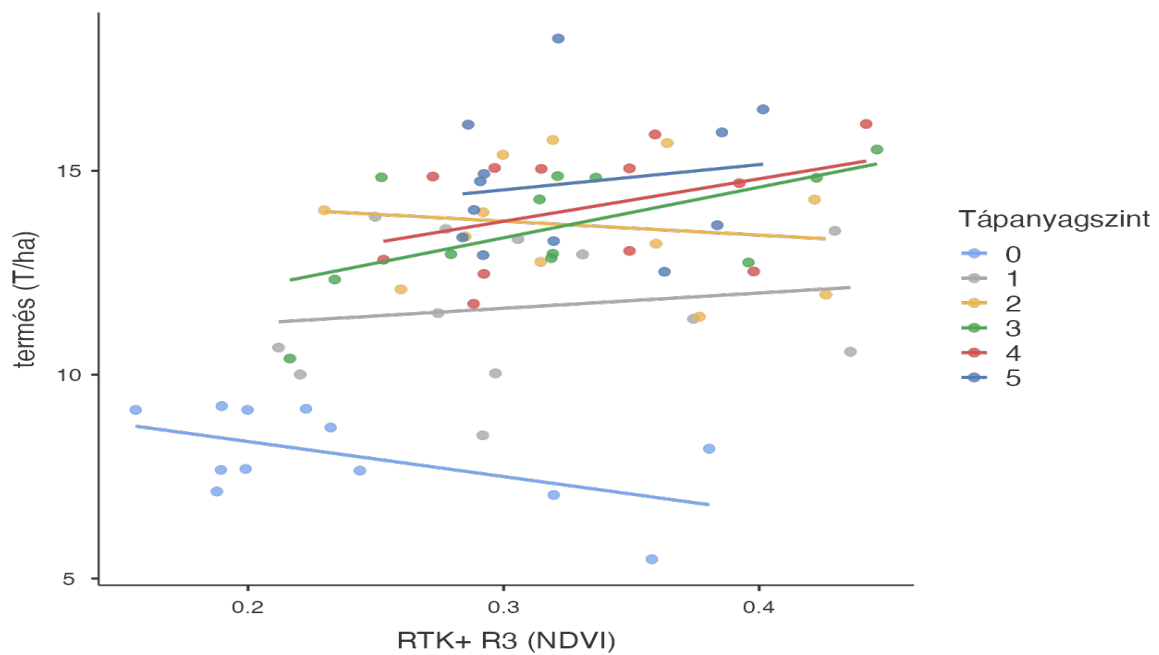
Forrás: Saját szerkesztés

Az R1 fenológiai fázisban az NDVI értékek és a termés mennyiségének növekedése lineáris tendencia alapján az alábbiak szerint alakultak. Az RTK nélküli mérések esetében a kontroll és a 2. tápanyagszintnél az NDVI értékek növekedése sekély csökkenést eredményezett a terméshozamban a hibridek átlagában, míg az 1. tápanyagszinten az összefüggés közel vízszintes volt. Ezzel szemben a 3., 4. és 5. tápanyagszinteken az NDVI növekedésével párhuzamosan a terméshozam is növekedett a hibridek átlagában. Mind három beállítási módnál, hasonlóan a V10 fenofázishoz. A 3. tápanyagszint mutatta a legmeredekebb növekedést a termés mennyiségében az NDVI érték emelkedésével. Az RTK-val végzett felvételezések ebben a növekedési fázisban jelentős eltérést mutattak a többi mérési módszerhez képest, azonban az adatok többszöri ellenőrzése során nem találtam hibát. Ennél a beállításnál minden tápanyagszinten az NDVI növekedésével arányosan nőtt a terméshozam. A magasságvizsgálással végzett mérések alapján, az RTK nélküli felvételezéssel összehasonlítva, annyi különbség volt megfigyelhető, hogy a kontroll mellett nem a 3. tápanyagszint mutatott csökkenést, hanem az 5. tápanyagszintnél figyeltünk meg csökkenést a terméshozamban az NDVI értékek növekedésével (24-26. ábra).

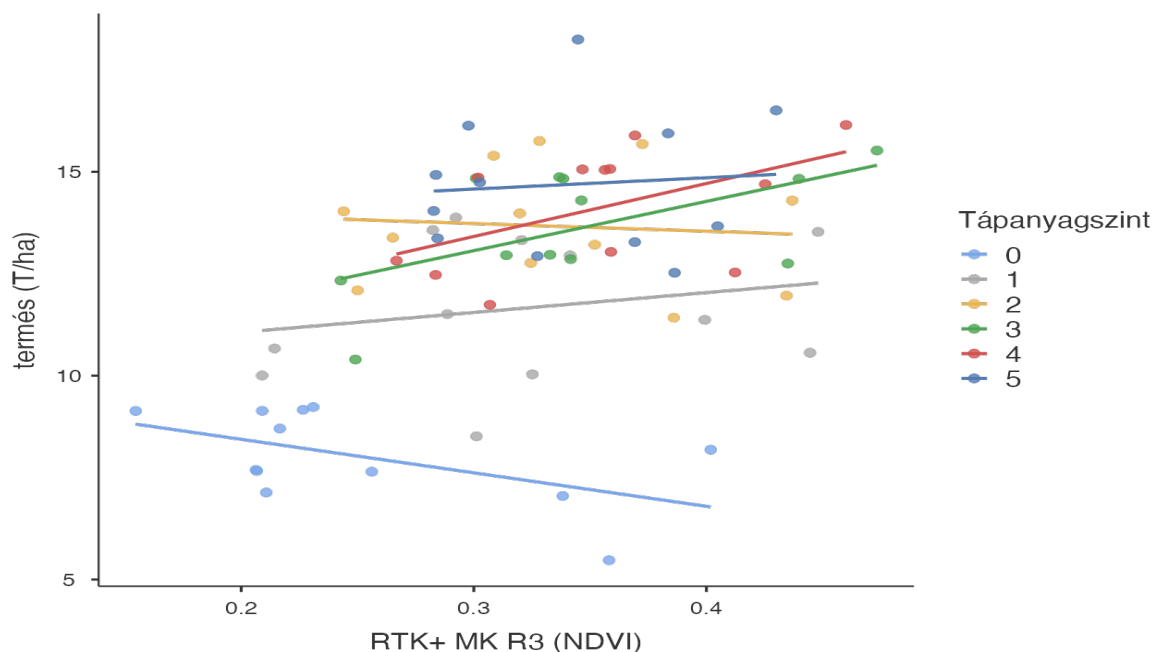


27. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R3 fenológiai fázisban RTK nélkül az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.

Forrás: Saját szerkesztés



28. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R3 fenológiai fázisban RTK-val az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.



29. ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R3 fenológiai fázisban magasságkövetéssel az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.

Forrás: Saját szerkesztés

Az R3 fenológiai fázisban az NDVI értékek és a termés mennyiségének növekedése lineáris tendencia alapján a következők mondhatók el. A kontroll esetében az NDVI érték növekedésével a terméshozam meredeken csökkent a hibridek átlagában. A 2. tápanyagszinten enyhe csökkenő tendenciát figyeltem meg, míg az 1. és 5. tápanyagszinteken enyhe növekedés volt tapasztalható a termés mennyiségében. Ezzel szemben a 3. és 4. tápanyagszinteken az NDVI érték növekedésével arányosan erőteljes növekedést mutatott a terméshozamban. A felvételezési beállítások megközelítőleg azonos eredményeket hoztak az R3 fenofázisban ebben a diagramm típusban (27-29. ábra).

4.4 A termés és az NDVI értékek összefüggésvizsgálata Pearson féle korreláció mátrix alapján a különböző repülési beállítás és fenológiai fázis szerint

4. táblázat: V5 fenológiai fázisban mért különböző beállítású NDVI értékek összefüggése a termés mennyiségével Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

		termés (T/ha)	RTK- V5 (NDVI)	RTK+ V5 (NDVI)
RTK- V5 (NDVI)	Pearson's r	0.638 ***	—	
	df	70	—	
	p-value	< .001	—	
	N	72	—	
RTK+ V5 (NDVI)	Pearson's r	0.601 ***	0.979 ***	—
	df	70	70	—
	p-value	< .001	< .001	—
	N	72	72	—
RTK+ MK V5 (NDVI)	Pearson's r	0.572 ***	0.977 ***	0.963 ***
	df	70	70	70
	p-value	< .001	< .001	< .001
	N	72	72	72

Forrás: Saját szerkesztés

A V5 fenológiai fázisban az összefüggés mértéke közel azonos volt az egyes beállítások esetében a termés mennyiségével. Az RTK nélküli repülésnél $r=0,638^{***}$, az RTK-val történő repülésnél $r=0,601^{***}$ és az RTK és magasságkövetés együttes alkalmazása során $r=0,572^{***}$ volt az összefüggés erőssége. Ezek alapján a legnagyobb összefüggés a termés mennyiségével korai V5 fenológiai fázisban az RTK- felvételezési beállításnál volt, ettől függetlenül a tápanyagszintek átlagában minden repülési beállítás szignifikáns ($p < .001$) összefüggést mutatott. A felvételezési beállítások közötti összefüggés mértéke $R>0,960^{***}$ (4. táblázat).

5. táblázat: V10 fenológiai fázisban mért különböző beállítású NDVI értékek összefüggése a termés mennyiségével Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

		termés (T/ha)	RTK- V10 (NDVI)	RTK+ V10 (NDVI)
RTK- V10 (NDVI)	Pearson's r	0.474 ***	—	
	df	70	—	
	p-value	< .001	—	
	N	72	—	
RTK+ V10 (NDVI)	Pearson's r	0.494 ***	0.917 ***	—
	df	70	70	—
	p-value	< .001	< .001	—
	N	72	72	—
RTK+ MK V10 (NDVI)	Pearson's r	0.478 ***	0.906 ***	0.902 ***
	df	70	70	70
	p-value	< .001	< .001	< .001
	N	72	72	72

Forrás: Saját szerkesztés

A V10 fenológiai fázisban az összesfüggés mértéke nagy hasonlóságot mutat, a különböző repülési beállítások között. RTK nélkülinél (RTK-) $r=0,474***$, RTK-val való felvételezésnél $r=0,494***$ RTK magasságkövetéssel (RTK+ MK) való alkalmazása során pedig, $r=0,478$. V10 fenológiai fázisban az összefüggés mértéke $p<0,001$ szinten szignifikáns volt. Az adatok alapján a legnagyobb összefüggést a növekedés ezen fázisában az RTK-val való felvételezés szolgált. A különböző beállítások közötti összefüggés itt alacsonyabb volt, viszont, így is $r>0,9***$. Az eredmények minden esetben szignifikánsak $p<0,001$. A V10 fenofázisban kisebb korreláció tapasztalható, mint a V5 fenofázisban, mivel a V5-ben mért legalacsonyabb érték $r=0,572***$, a V10-ben mért legmagasabb pedig $r=0,494***$ (5. táblázat).

6. táblázat: R1 fenológiai fázisban mért különböző beállítású NDVI értékek összefüggése a termés mennyiségével Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

		termés (T/ha)	RTK- R1 (NDVI)	RTK+ R1 (NDVI)
RTK- R1 (NDVI)	Pearson's r	0.232 *	—	
	df	70	—	
	p-value	0.050	—	
	N	72	—	
RTK+ R1 (NDVI)	Pearson's r	0.795 ***	0.260 *	—
	df	70	70	—
	p-value	< .001	0.027	—
	N	72	72	—
RTK+ MK R1 (NDVI)	Pearson's r	0.406 ***	0.691 ***	0.467 ***
	df	70	70	70
	p-value	< .001	< .001	< .001
	N	72	72	72

Forrás: Saját szerkesztés

Az R1 fázisban a különböző beállításoknál számolt összefüggés nagy különbséget mutat. Az RTK nélkülinél (RTK-) $r=0,232^*$ és a szignifikancia szint is alacsonyabb $p<0,05$. Az RTK-val végzett felvételezés során $r=0,795^{***}$ volt az összefüggés mértéke $p<0,001$ szignifikancia szinten. Az RTK és magasságkövetés együttes használata során (RTK+ MK) $r=0,406^{***}$, amely az előző fenológiai fázisokhoz a leghasonlóbb magas szignifikancia mellett $p<0.001$. Az RTK nélküli adatai nagyon elmaradtak. Az RTK-val való felvételezés esetében magasabbak voltak az adatok az eddigi tapasztalatokhoz képest. Ennek okán a felmérések közötti összefüggés is változó. Az RTK nélküli és az RTK-val végzett felvételezés esetén $r=0,260^*$, az RTK nélküli és magasságkövetést alkalmazó feltételezések között $r=0,406^{***}$, az RTK-val végezte és az RTK-t és magasság követést is alkalmazó feltételezések közötti korreláció $r=0,467^{***}$. Más kutatás szerint az NDVI legerősebb összefüggése a termessel a vetés utáni 79.napra esik, amely az R1 fenofázisra tehető (GARCÍA-MARTÍNEZ et al., 2020). KAYAHAN et al., 2020 mérései alapján virágzáskor $r=0,972$ korrelációt mértek a termés és az NDVI között. Régebbi kutatások az én mérésimmal, az RTK-val történt felvételezéssel mutatnak a legnagyobb hasonlóságot (6. táblázat).

7. táblázat: R3 fenológiai fázisban mért különböző beállítású NDVI értékek összefüggése a termés mennyiségével Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

		termés (T/ha)	RTK- R3 (NDVI)	RTK+ R3 (NDVI)
RTK- R3 (NDVI)	Pearson's r	0.480 ***	—	
	df	70	—	
	p-value	< .001	—	
	N	72	—	
RTK+ R3 (NDVI)	Pearson's r	0.436 ***	0.981 ***	—
	df	70	70	—
	p-value	< .001	< .001	—
	N	72	72	—
RTK+ MK R3 (NDVI)	Pearson's r	0.453 ***	0.980 ***	0.976 ***
	df	70	70	70
	p-value	< .001	< .001	< .001
	N	72	72	72

Forrás: Saját szerkesztés

Az R3 fenofázisban mért összefüggések közel azonos értékeket mutatnak a különböző beállítások mellett. RTK nélkülinél (RTK-) $r=0,480***$, RTK val $r=0,436***$, Az RTK és magasságmeghatározás (RTK+ MK) pedig $r=0,453***$. Ebben az esetben az RTK nélküli adatok szolgáltattak a legnagyobb összefüggéssel. Minden esetben magas volt a szignifikancia $p < 0,001$. A vizsgálati beállítások között magas összefüggés tapasztalható az $r > 0,976$. Minden esetben magas szignifikanciával $p < 0,001$. Az R3-ban korrelációs együttható más kutatásoktól alacsonyabb érték mutatott $r=0,92$ (LYKHOVYD, 2020). Az adatok elmaradása régebbi kutatásoktól, a rendkívül száraz és meleg augusztus hónappal magyarázható (7. táblázat).

8. táblázat: V5 fenológiai fázisban mért különböző NDVI értékek összefüggése a tápanyagszintekkel Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

		NPK	RTK- V5 (NDVI)	RTK+ V5 (NDVI)
RTK- V5 (NDVI)	Pearson's r	0.545 ***	—	
	df	70	—	
	p-value	< .001	—	
RTK+ V5 (NDVI)	Pearson's r	0.500 ***	0.979 ***	—
	df	70	70	—
	p-value	< .001	< .001	—
RTK+ MK V5 (NDVI)	Pearson's r	0.505 ***	0.977 ***	0.963 ***
	df	70	70	70
	p-value	< .001	< .001	< .001

Forrás: Saját szerkesztés

A V5 fenológiai fázisban az NDVI és a tápanyagszint összefüggése közel azonos értékeket mutat. Az RTK nélküli (RTK-) beállításnál $r=0,545^{***}$, RTK-val (RTK+) $r=0,500^{***}$, magasságkövetés alkalmazásával pedig $r=0,505^{***}$. Minden korreláció erős szignifikanciát mutat, mivel $p<0,001$. A legnagyobb összefüggést az RTK nélküli (RTK-) felmérés szolgáltatta. A mérési beállítások közötti összefüggés magas $R>0,960$. A szignifikancia erős $p<0,001$ (8. táblázat).

9. táblázat: V10 fenológiai fázisban mért különböző NDVI értékek összefüggése a tápanyagszintekkel Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

		NPK	RTK- V10 (NDVI)	RTK+ V10 (NDVI)
RTK- V10 (NDVI)	Pearson's r	0.409 ***	—	
	df	70	—	
	p-value	< .001	—	
RTK+ V10 (NDVI)	Pearson's r	0.393 ***	0.917 ***	—
	df	70	70	—
	p-value	< .001	< .001	—
RTK+ MK V10 (NDVI)	Pearson's r	0.386 ***	0.906 ***	0.902 ***
	df	70	70	70
	p-value	< .001	< .001	< .001

Forrás: Saját szerkesztés

A V10 fázisban a tápanyagszint és az NDVI érték közötti összefüggés hasonló értékeket mutat. RTK nélküli (RTK-) felmérés eredményei alapján $r=0,409^{***}$, RTK-val (RTK+) $r=0,393^{***}$, magasságkövetéssel (RTK+ MK) pedig $r=0,386^{***}$. A legnagyobb összefüggés itt az RTK nélküli mérésnél volt tapasztalható. A szignifikancia minden esetben hiteles adatokra utal $p<0,001$. A beállítások közötti összefüggés is magas $R>0,9$ (9. táblázat).

10. táblázat: R1 fenológiai fázisban mért különböző NDVI értékek összefüggése a tápanyagszintekkel Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

		NPK	RTK- R1 (NDVI)	RTK+ R1 (NDVI)
RTK- R1 (NDVI)	Pearson's r	0.162	—	
	df	70	—	
	p-value	0.175	—	
RTK+ R1 (NDVI)	Pearson's r	0.676 ***	0.260 *	—
	df	70	70	—
	p-value	< .001	0.027	—
RTK+ MK R1 (NDVI)	Pearson's r	0.290 *	0.691 ***	0.467 ***
	df	70	70	70
	p-value	0.013	< .001	< .001

Forrás: Saját szerkesztés

Az R1 fenológiai fázisban az NDVI és a tápanyagszint összefüggései, a különböző beállításoknál jelentős eltérés látható. Az RTK nélkülinél (RTK-) $r=0,162$, gyenge szignifikancia mellett $p=0,175$. Az RTK-val történt repülés adatai alapján $r=0,676^{***}$ és a szignifikancia erős $p<0,001$. RTK magasságkövetéssel (RTK+ MK) való alkalmazásánál pedig $r=0,290^*$, a szignifikancia itt gyenge $p<0,05$. A legerősebb összefüggés az RTK-val való felvételezésnél (RTK+) volt, és a szignifikancia is itt volt a legbiztosabb. A mérések közötti összefüggés változó (10. táblázat).

11. táblázat: R3 fenológiai fázisban mért különböző NDVI értékek összefüggése a tápanyagszintekkel Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

		NPK	RTK- R3 (NDVI)	RTK+ R3 (NDVI)
RTK- R3 (NDVI)	Pearson's r	0.389 ***	—	
	p-value	< .001	—	
RTK+ R3 (NDVI)	Pearson's r	0.349 **	0.981 ***	—
	df	70	70	—
	p-value	0.003	< .001	—
RTK+ MK R3 (NDVI)	Pearson's r	0.373 **	0.980 ***	0.976 ***
	df	70	70	70
	p-value	0.001	< .001	< .001

Forrás: Saját szerkesztés

Az R3 fenofázisban az NDVI és a tápanyagszintek közötti összefüggés hasonló értékeket adott. RTK nélküli (RTK-) repülésnél $r=0,389***$, itt a szignifikancia erős volt $p<0,001$. RTK-val $r=0,349**$, RTK és magasságkövetés (RTK+ MK) együttes használatánál $0,373**$, ezeknél a szignifikancia $p<0,1$. A legerősebb összefüggést az RTK nélküli (RTK-) felmérés adatai szolgáltatták. A mérések közötti összefüggés is magas $r>0,97$ (11. táblázat).

5. Következtetések

Az első mérési időpontban (V5) megfigyeltem, hogy minden mérési beállítás esetében azonos tápanyagszinten a FAO 420 hibrid hozta a legmagasabb NDVI értékeket, ami a hibrid rövidebb tényészidejével magyarázható. A legkisebb adatokat a FAO 470 hibrid adta. A beállítások átlagában megfigyelhető volt, hogy az NDVI értékek a kontrolltól a 2. tápanyagszintig nőttek, utána az adatok hasonló mértékűek voltak, viszont pozitív és negatív kilengések voltak megfigyelhetők. A beállítások átlagában, a termés mennyisége a kontroll, 2., 3., és az 5. tápanyagszinten az NDVI értékek emelkedésével, növekedett. Az 1. tápanyagszinten az NDVI értékek nem befolyásolták relevánsan a termés mennyiségét. A 3. tápanyagszinten a termés mennyisége az NDVI érték növekedésével beállításonként változóan alakult. Az RTK nélküli beállításnál az index növekedésével a termés is nőtt, az RTK-t és vagy magasságkövetést alkalmazó beállítások alapján viszont csökkenés volt tapasztalható a termés mennyiségében az

NDVI érték növekedésével. A Pearson féle korreláció az RTK nélküli beállításnál hozta a legmagasabb R értéket a termés és az NDVI index értéke között $r=0,638^{***}$. Az értékek viszont nem mutattak nagy eltérést a beállítások átlaga $r=0,6036$. A szignifikancia minden esetben magas $p>0,001$. A mérési időpontok közül meglepően a V5, mint legkorábbi mért fenofázis hozta a legerősebb összefüggést a termés és a vegetációs index értéke között. Ez az idei év éghajlati viszonyival magyarázható, hiszen a tavasz vége (május) kimondottan csapadékosnak mutatkozott és megvolt a megfelelő hőösszeg a növény fejlődésére számára, amíg a nyár második fele szélsőségesen aszályos volt. Ebben a növekedési fázisban a tápanyagszint és az NDVI közötti összefüggés átlagban $r=0,517$ értéket adott. Ezekből az információkból arra tudok következtetni, hogy a trágyázatlan területen a nitrogén hiányában az NDVI érték nem mutat releváns információt, a várható termésről, a kisebb tápanyagdózisról is hasonló következtetést tudok levonni hiszen az eredmények nem változtak, viszont a trágyázás emelésével az NDVI és termés közti összefüggés növekedett, viszont ez nem egy folyamatosan növekvő tendencia. A mérések alapján elmondható, hogy a kezelt parcellákon (60 kg/ha Nitrogén hatóanyagtól) a korai vegetációs fázisban is releváns összefüggést lehet ki mutatni a termés és az NDVI értéke között.

A második mérési időpontban (V10), ismét megfigyeltem, hogy a beállítások és a tápanyagszintek átlagában a FAO 470 hozta a legalacsonyabb NDVI értékeket. A FAO 420 és FAO 520 hibridek hasonló eredményt mutattak. A tápanyagszinteket tekintve a kontroll kezeletlen parcella értéke minden esetben jelentősen alacsonyabb index értéket adott. A kezelt parcellákon nem volt megfigyelhető egyértelmű növekedés a tápanyagszint emelésével az NDVI érték növekedésében. Hibridenként és beállításonként változó, hullámzó index értékeket kaptam. A beállítások és a hibridek átlagában a V10 fenológiai fázisban, a kontroll az NDVI érték emelkedésével minden esetben alacsonyabb terméseredményt produkált. Az 1-s tápanyagszint hasonlóan a V5-ben mért adatokhoz, itt se mutatott emelkedést a termés mennyiségében az NDVI érték változásában, viszont enyhe csökkenést igen. A 2. tápanyagszinten enyhe csökkenés volt tapasztalható a termés mennyiségében az NDVI érték emelkedésével. A 3., 4., és az 5. tápanyagszinten viszont a termés mennyisége erősen növekedett az vegetációs index érték emelkedésével. Elmondható, hogy a V10 fenológiai fázisban a V5-hez viszonyítva egyel magasabb tápanyagszinten (90 kg/ha Nitrogén hatóanyag) emelkedett a termés az NDVI érték növekedésével. A hibridek és a tápanyagszintek átlagában mért korreláció mérési beállításonként hasonló értéket mutatott, viszont ennek a mértéke alacsonyabb volt, mint a V5-ben mérek. Az értékek átlaga $r=0,482$, $p<0,001$. A tápanyagszintek és az NDVI között fennálló összefüggés értékekének az átlaga $R=0,396$, amelyből arra lehet

következtetni, hogy magasabb fenofázisban kevésbé befolyásolja az NDVI értékét a tápanyag-ellátottság.

R1 fenológiai fázisban az eredmények az előző mérési időponthoz képest eltérőek voltak. Ez nagyvalószínűséggel a virágzás alatti pollenszóródásnak köszönhető, amely jelentősen befolyásolta az NDVI értékek alakulását. A FAO 470-es hibridnél mértem a legkisebb NDVI értékeket. Az RTK nélküli feltételezésnél a kontroll mutatott kiugróan alacsony index értéket a kezelt parcellákon hibridenként változó érték volt megfigyelhető. Az RTK használatával készült felevételek alapján kaptam a legmagasabb NDVI értékeket a kutatás során. Itt az alacsony kontrollt követően, az 1., 2., tápanyagszinten intenzív majd visszafogottabb emelkedés volt tapasztalható az NDVI értékekben a tápanyagdózis emelésével. Az magasságkövetést is alkalmazó felvételek esetében az RTK nélkülihez hasonló tendenciát mutató eredmények születtek. A termés mennyiségében az NDVI érték függvényében az RTK nélküli beállítás során a V10-ben tapasztalt értékekhez hasonló eredményeket kaptam. A kontroll az NDVI emelkedésével alacsonyabb termést adott. Az 1-s tápanyagszint index értéktől függetlenül hasonló termést produkált. A 2. tápanyagszinten enyhe csökkenést tapasztaltam az NDVI érték emelkedésével a termés mennyiségében. A 3. tápanyagszinten erős emelkedés, a 4. és az 5. tápanyagszinteken pedig enyhébb növekedést tapasztaltam a termésmennyiségében az NDVI érték emelkedésével. Az RTK használatával végzett felvételek, a kontroll és a kezelt parcellákon is emelkedést mutattak a termésben az NDVI szint növekedésével. A magasságkövetéses felvételek az RTK nélkülihez hasonló eredményt mutatott, viszont itt a 2. tápanyagszint emelkedő termést mutatott az index érték növekedésével, az 5. tápanyagszinten viszont enyhe csökkenést tapasztaltam. A kontroll és a legkisebb kezelt dózis a második beállításban végzett felvételek kivételével itt is alacsonyabb termést adott az NDVI értékek emelésével. A termés és az NDVI érték között fennálló korreláció beállításonként változó eredményeket hozott. RTK nélkülinél $r=0,232^*$, $p<0,05$. RTK használatával $R=0,795^{***}$. A magasságkövetéssel pedig $r=0,406^{***}$. Az értékek átlaga pedig $R=0,4776$, amely átlagában alacsonyabb a V5 és V10-ben kapott adatoktól, viszont itt az átlag az eltérő szignifikancia miatt nem biztosan releváns. Az NDVI és a tápanyagszint összefüggése is hasonlóan változó eredményeket adott. RTK nélkülinél $R=0,162$ alacsony szignifikancia mellett ($p=0,175$). RTK-val $r=0,676^{***}$ $p<0,001$. Magasságkövetésnél pedig $r=0,290^*$ $p<0,05$. Az értékek átlaga $r=0,376$ viszont itt ez az adat nem egyértelmű hiszen a szignifikancia változó volt.

A negyedik felvételezés (R3) során megfigyeltem, hogy ismét FAO 470 hibrid adta a legalacsonyabb NDVI értékeket. A felvételezések és a hibridek átlagában elmondható, hogy a kontrolltól a második tápanyagszintig volt tapasztalható növekedés, a 3., 4., és az 5.,

tápanyagszinteken hasonló NDVI értékeket kaptam. Az 5. tápanyagszinten több esetben alacsonyabb értékek születtek, mint a 4. trágyázási szinten. Az R3 fenofázisba a hibridek és a beállítások átlagában a magasabb NDVI érték esetében a kontroll ismét alacsonyabb terméseredményeket generált. Az 1. tápanyagszinten alacsony emelkedést figyeltem meg az NDVI érték emelkedésével a terméseredmény növekedésében. A 2. tápanyagszinten enyhén csökkent a termés az NDVI érték emelkedésével, a 3., és a 4. tápanyagszinten, viszont dinamikusán növekedett a termés mennyisége az index érték növekedésével. Az 5. tápanyagszinten enyhe emelkedést tapasztaltam. A termés és az NDVI érték közötti korreláció a különböző beállításokban hasonló eredményt hozott, egységesen magas szignifikancia mellett, minden esetben $p < 0,001$. Az értékek átlaga $r = 0,456$, amely az eddigi legalacsonyabb átlag. Az NDVI és tápanyagszint összefüggése beállításokként közel azonos számokat adott. Mindenhol magas a szignifikancia $p < 0,001$. Az értékek átlaga $r = 0,370$.

Következtetésként elmondható, hogy az esetek nagytöbbségében a kezeletlen kisebb alacsonyabb terméseredményeket produkált magasabb index értékek mellett. Az 1. és több esetben a 2. tápanyagszinten megfigyeltem, hogy az NDVI érték változása nem befolyásolja jelentősen a termés alakulását. A 3. és 4. tápanyagszinten, viszont a legtöbb mérésnél megfigyelhető volt, hogy az NDVI érték emelkedésével a termés mennyiségében is intenzív növekedés volt tapasztalható. Az 5. tápanyagszinten általában kevésbé meredek, viszont emelkedés volt tapasztalható. Ezek alapján elmondható, hogy kis mértékű trágyázást kapott területeken, az NDVI érték nem mutat releváns összefüggést a terméssel. A legmagasabb korrelációt az elvárttól eltérően a V5 fenofázisban tapasztaltam, amely az idei év időjárási körülményivel magyarázható. A korreláció mértéke a növény fejlődésének előrehaladtával folyamatosan csökkent. Az NDVI és a tápanyagszint közötti összefüggés is a V5-ben volt a legmagasabb, amely alapján elmondható, hogy a fejlődési fázis korábbi szakaszában az NDVI értéke nagyobb mértékben függ a trágyázástól, hiszen a növekedés további szakaszaiban folyamatos csökkenést tapasztaltam.

Összefoglalás

A kutatásom során a mezőgazdaság egyik legfontosabb problémájának megoldásához kerestem válaszokat. A világ népességének a növekedése, a termőterületek csökkenése és leromlása új kihívásokat állít elénk. A gabonanövények a világ élelmezésnek alappillérei. Ezek a növények közül a kukorica kiemelkedő, amelyet a világ szinte minden részén termesztnek. Napjaink mezőgazdaságban a precíziós gazdálkodás játszik a legnagyobb szerepet, ezért a távérzékelés, illetve az adatok folyamatos gyűjtése és elemzése kulcsfontosságú tényező.

Az idei évben a csapadék eloszlása, és a hőmérséklet eltért a megszokottól. A tavasz csapadékos és meleg volt, szinte júniusi időjárás volt tapasztalható, a nyár mind három hónapja nagyon forró, a hőségnapok számában is kimagaslott.

A kísérletet a kukorica fejlődésének 4 különböző fázisában végeztem, V5-ben, V10-ben, R1-ben és R3-ban. A vegetációs időszakon kívül három repülési beállítást, RTK nélküli repülést, RTK-t alkalmazó repülést és RTK és magasságkövetést együttesen alkalmazó repüléseket végeztem minden időpontban. Hibrideket tekintve három különböző FAO számút vizsgáltam. Az értékeket egy kontroll és öt növekvő tápanyagszinten vizsgáltam. Megfigyeltem, hogy a korábbi V5 és a V10 fenológiai fázisban magasabb összefüggést kaptam a termés és az NDVI értéke között. Ezt az idei év időjárásával tudom magyarázni, hiszen a tavasz és a nyár eleje megfelelő volt a kukorica fejlődésének, magas hőösszeg és megfelelő csapadék állt rendelkezésére. A repülési beállításokat tekintve három időpontban nagyon hasonló eredményt mutattak, illetve R1 fenológiai fázisban eltértek. A virágzáskor a nagymennyiségű pollen levélre kerülve valószínűleg befolyásolta az eredményeket. Ezen felül meg kell jegyezni, hogy az RTK és magasságkövetés során végzett felvételekből történő ortomozaik készítés időigényesebb, és néhány esetben többszöri próbálkozást igényelt az általam használt WebODM szoftverrel. A tápanyagszinteken tapasztalt NDVI érték növekedése több esetben nem hozta a termés növekedését, főképpen a kontroll és az alacsonyabb trágyázási szinteken volt ez megfigyelhető. A kontroll az esetek többségében termés béli csökkenést mutatott az NDVI emelkedésével, az 1. tápanyagszint pedig termés adatai nagytöbbségben nem változtak az NDVI érték változásától. Számomra a kísérlet fontos adatokat adott, és jó támpontot biztosít további kutatásokhoz.

6. Irodalomjegyzék

1. AHIRWAR S., SWARNKAR R., BHUKYA S., NAMWADE G. (2019): Application of drone in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(01): 2500-2505. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.264>
2. BISWAS D. K., MA B. L. (2016): Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology, yield, grain quality, and nitrogen use efficiency in corn. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(3): 392-403. <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0186>
3. BOGNÁR P., KERN A., PÁSZTOR S., STEINBACH P., LICHTENBERGER J. (2022): Testing the Robust Yield Estimation Method for Winter Wheat, Corn, Rapeseed, and Sunflower with Different Vegetation Indices and Meteorological Data. *Remote Sensing*, 14(12): 2860. <https://doi.org/10.3390/rs14122860>
4. CHAVAS J.-P., MITCHELL P. D. (2018): Corn Productivity: The Role of Management and Biotechnology. In: *Corn - Production and Human Health in Changing Climate*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77054>
5. CHIN R., CATAL C., KASSAHUN A. (2023): Plant disease detection using drones in precision agriculture. *Precision Agriculture*, 24(5): 1663-1682. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10014-y>
6. DUHAN J. S., KUMAR R., KUMAR N., KAUR P., NEHRA K., DUHAN S. (2017): Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports*, 15: 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.002>
7. ERDEINÉ KÉSMÁRKI-GALLY S. (2020): A precíziós gazdálkodás jelentősége a mezőgazdaság versenyképességében. *Multidiszciplináris kihívások, sokszínű válaszok - Gazdálkodás- és Szervezéstudományi folyóirat*, (2): 43-58. <https://doi.org/10.33565/MKSV.2020.02.03>
8. FARRELL, M., GILI, A., & NOELLEMAYER, E. (2018): Spectral indices from aerial images and their relationship with properties of a corn crop. *Precision Agriculture*, 19(6), 1127-1137. <https://doi.org/10.12911/22998993/118274>
9. FEI S., HASSAN M. A., MA Y., SHU M., CHENG Q., LI Z., ..., XIAO Y. (2021): Entropy weight ensemble framework for yield prediction of winter wheat under different water stress treatments using unmanned aerial vehicle-based multispectral and thermal data. *Frontiers in Plant Science*, 12: 730181. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.730181>
10. FOLEY, J. A., RAMANKUTTY, N., BRAUMAN, K. A., CASSIDY, E. S., GERBER, J. S., JOHNSTON, M., ... & ZAKS, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
11. GARCÍA-MARTÍNEZ, HÉCTOR, HÉCTOR FLORES-MAGDALENO, ROBERTO ASCENCIO-HERNÁNDEZ, ABDUL KHALIL-GARDEZI, LEONARDO TIJERINA-CHÁVEZ, OSCAR R. MANCILLA-VILLA, AND MARIO A. VÁZQUEZ-PEÑA. (2020): "Corn Grain Yield Estimation from Vegetation Indices, Canopy Cover, Plant Density, and a

- Neural Network Using Multispectral and RGB Images Acquired with Unmanned Aerial Vehicles" *Agriculture* 10, no. 7: 277. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070277>
12. GHEITH E. M. S., EL-BADRY O. Z., LAMLOM S. F., ALI H. M., SIDDIQUI M. H., GHAREEB R. Y., ..., KANDIL E. E. (2022): Maize (*Zea mays* L.) productivity and nitrogen use efficiency in response to nitrogen application levels and time. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.941343>
 13. GOLYA G. (2020): U.S. Embassy - U.S. Agricultural Services Hungary - Country Commercial Guide. Agricultural Specialist. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/hungary-agricultural-sectors> Letöltve: 2024. 07. 19.
 14. GWIRTZ J. A., GARCIA-CASAL M. N. (2014): Processing maize flour and corn meal food products. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1): 66-75. <https://doi.org/10.1111/nyas.12299>
 15. 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. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
 16. JIANG Z., HUETE A. R., CHEN J., CHEN Y., LI J., YAN G., ZHANG X. (2006): Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 101(3): 366-378. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.003>
 17. JOHNSTON A. E., POULTON P. R. (2018): The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued crop production and soil fertility; the Rothamsted experience. *European Journal of Soil Science*, 69(1): 113-125. <https://doi.org/10.1111/ejss.12521>
 18. KAYAHAN, N., USTUNTAŞ, T., & AYDIN, C. (2020): Determination of the Relationship between NDVI and Yield by Using Remote Sensing for Silage Corn in Konya Region. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 34(1), 84-90. doi:10.15316/SJAFS.2020.199
 19. KULBACKI M., SEGEN J., KNIEĆ W., KLEMPPOUS R., KLUWAK K., NIKODEM J., ..., SERESTER A. (2018, June): Survey of drones for agriculture automation from planting to harvest. In: 2018 IEEE 22nd International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES). pp. 000353-000358. IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/INES.2018.8523943>
 20. KURBANOV, R. K., & ZAKHAROVA, N. I. (2020): Application of vegetation indexes to assess the condition of crops. *Agricultural machinery and technologies*, 14(4), 4-11. doi:10.22314/2073-7599-2020-14-4-4-11
 21. LEHTINEN T., SCHLATTER N., BAUMGARTEN A., BECHINI L., KRÜGER J., GRIGNANI C., ..., SPIEGEL H. (2014): Effect of crop residue incorporation on soil organic carbon and greenhouse gas emissions in European agricultural soils. *Soil Use and Management*, 30: 524-538. <https://doi.org/10.1111/sum.12151>

22. LI L., ZOU Y., WANG Y., CHEN F., XING G. (2022): Effects of corn intercropping with soybean/peanut/millet on the biomass and yield of corn under fertilizer reduction. *Agriculture*, 12(2): 151. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020151>
23. LYKHOVYD, P. (2020): Sweet corn yield simulation using normalized difference vegetation index and leaf area index. *Journal of Ecological Engineering*, 21(3). <https://doi.org/10.12911/22998993/118274>
24. MANDRINI G., BULLOCK D. S., MARTIN N. F. (2021): Modeling the economic and environmental effects of corn nitrogen management strategies in Illinois. *Field Crops Research*, 261: 108000. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108000>
25. MARTON T. A., KIS A., ZUBOR-NEMES A., KERN A., FODOR N. (2020): Human Impact Promotes Sustainable Corn Production in Hungary. *Sustainability*, 12(17): 6784. <https://doi.org/10.3390/su12176784>
26. MYNENI R. B., HALL F. G., SELLERS P. J., MARSHAK A. L. (1995): The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2): 481-486. <https://doi.org/10.1109/36.377948>
27. NAGY J. (2023): Beköszöntő. *Növénytermelés*, 72(3): 6-7.
28. NAGY J.-BÚVÁR G. (2022): Precíziós Növénytermesztés Magyarországon. *Növénytermelés*. 71. 3-4. 105-118.
29. Neményi, M. (2018). Precision crop production and artificial intelligence – the future of sustainable agriculture. *Acta Agraria Debreceniensis*, 150, 47- <https://doi.org/10.34101/actaagrar/150/1701>
30. PATHAK H., KUMAR G., MOHAPATRA S. D., GAIKWAD B. B., RANE J. (2020): Use of drones in agriculture: Potentials, Problems and Policy Needs. *ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management*, 300: 4-15. <https://niasm.icar.gov.in/sites/default/files/pdfs/Use-of-Drone-in-Indian-Agriculture.pdf>
Letöltve: 2024. 07. 27.
31. PIERCE F. J., NOWAK P. (1999): Aspects of precision agriculture. *Advances in Agronomy*, 67: 1-85. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1) (Letöltve: 2024. 07. 19.)
32. POPP J., ERDEI E., OLÁH J. (2018): A precíziós gazdálkodás kilátásai Magyarországon. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 3(1): 133-147. <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2018.1.15>
33. PRISZCILLA H. V., PÉTER K. (2017): Vegetációs indexek alkalmazhatósága a fitomassza feltérképezésére. In: Hafenscher Katalin (szerk.): *Tájökológiai Tanulmánykötet*. http://earth.geo.u-szeged.hu/tajokologia/Tanulmanykotet/Hafenscher_MTOK2017.pdf
Letöltve: 2024. 07. 27.
34. RAGÁN P., NAGY J., SZÉLES A. (2016): Evaluation of the impact of crop year and fertilisation on maize yield using a novel method. https://www.researchgate.net/publication/303855252_Evaluation_of_the_impact_of_crop_year_and_fertilisation_on_maize_yield_using_a_novel_method (Letöltve: 2024. 05. 07.)

35. RÁTONYI T.-UJPÁL I.-BÁCSKAI I.-HARSÁNYI E.- RAGÁN P. (2022): Talajszkenner adatok alapján lehatárolt menedzsmet zónák NDVI és termés adatainak vizsgálata. *Növénytermelés* 71. 3-4. 183-197.
36. REJEB A., ABDOLLAHI A., REJEB K., TREIBLMAIER H. (2022): Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198: 107017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>
37. SÁRVÁRI M., BOROS B. (2010): A vetésváltás és az NPK tápanyagellátás hatása a kukorica termésére. *Növénytermelés*, 59(3): 37-52.
38. SHAHROOZ M., TALAEIZADEH A., ALASTY A. (2020, November): Agricultural spraying drones: Advantages and disadvantages. In: 2020 Virtual Symposium in Plant Omics Sciences (OMICAS). pp. 1-5. IEEE. doi: 10.1109/OMICAS52284.2020.9535527.
39. SPITKÓ T., SZŐKE CS., SIPOS Á., KOVÁCS A., CSEPREGI-HEILMANN E., PINTÉR J., BERZY T., MARTON L. CS. (2022): A kukorica eltérő fenofázisban mért NDVI értékei és terméskomponensei közötti összefüggés vizsgálata. *Növénytermelés*, 71(3-4): 211-223.
40. STAFFORD J. V. (2000): Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(3): 267-275. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0577>
41. SUNOJ S., CHO J., GUINNESS J., VAN AARDT J., CZYMMEK K. J., KETTERINGS Q. M. (2021): Corn Grain Yield Prediction and Mapping from Unmanned Aerial System (UAS) Multispectral Imagery. *Remote Sensing*, 13(19): 3948. <https://doi.org/10.3390/rs13193948>
42. TAKÁCSNÉ GYÖRGY, K., LÁMFALUSI, I., MOLNÁR, A., SÜLYÖK, D., GAÁL, M., DOMÁN, C., ... & KEMÉNY, G. (2018): Precision agriculture in Hungary: assessment of perceptions and accounting records of FADN arable farms. *Studies in Agricultural Economics*, 120(1), 47-54. doi:10.22004/ag.econ.273117
43. Wilson, A. B., Avila-Diaz, A., Oliveira, L. F., Zuluaga, C. F., & Mark, B. (2022). Climate extremes and their impacts on agriculture across the Eastern Corn Belt Region of the US. *Weather and climate extremes*, 37, 100467. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100467>

6.1 Könyvek:

1. BALOGNÉ NYAKAS A. (szerk.) (2012): Mezőgazdasági növénytan alapjai. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. 224 p.
2. FÜLEKY GY. (szerk.) (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 714 p.
3. NAGY J. (2021): Kukorica – A nemzet aranya: Élelmiszer, takarmány és bioenergia. Szaktudás Kiadó, Budapest. 516 p
4. PEPÓ P. (szerk.) (2019): Integrált növénytermesztés 2. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. 357 p.

5. SRINIVASAN A. (szerk.) (2006): Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications. 1. kiadás. CRC Press. 683 p.
6. ZHANG Q. (2015): Precision Agriculture Technology for Crop Farming. CRC Press, Boca Raton. 374 p.

6.2 Internetes források:

1. DJI (2024) <https://ag.dji.com/mavic-3-m> (Letöltve 2024.09.24.)
2. FAO (2024): FAOSTAT Database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> Letöltve: 2024. 02. 19.
3. HUNGAROMET (2024) Debrecen Éghajlati jellemző https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/varosok_jellemzoi/Debrecen/ (Letöltve 2024.10.01.)
4. KSH (2024) Magyarország mezőgazdasági területe művelési ágak szerint https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0008.html Letöltve: 2024.09.29
5. KSH (2024): Magyarország mezőgazdasági statisztikai adatai. https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0072.html Letöltve: 2024. 02. 19.
6. (UNDESA) United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2024).
7. Wold Population Prospects 2024: Summary of Results (UN DESA/POP/2024/TR/NO.9).

3.sz. melléklet

Táblázatok és ábrák jegyzéke

Ábrák

1.ábra: A vetésterület változása Magyarországon 2020 és 2023 között	6
2.ábra: A 2024-es kukorica tenyészidőszak hőmérséklet adatainak alakulása Látóképen.....	16
3.ábra: A 2024-es kukorica tenyészidőszak csapadék adatainak alakulása Látóképen.....	17
4.ábra: DJI Mavic 3 Multispectral.....	19
5.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben, hibridenként csoportosítva, RTK nélküli repülésnél V5 fenológiai fázisban.	20
6.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben, hibridenként csoportosítva RTK-val való repülésnél V5 fenológiai fázisban.	20
7.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben, hibridenként csoportosítva magasságkövetéssel való repülés során V5 fenológiai fázisban.	21
8.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva RTK nélküli repülésnél V10 fenológiai fázisban.	21
9.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva RTK-val való repülésnél V10 fenológiai fázisban.	21
10.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva magasságkövetéses repülés során V10 fenológiai fázisban.	22
11.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva RTK nélküli repülés során R1 fenológiai fázisban.	22
12.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva RTK-val való repülés során R1 fenológiai fázisban.....	22
13.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva magasságkövetéssel való repülés során R1 fenológiai fázisban.	23
14.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva RTK nélküli repülés során R3 fenológiai fázisban.	23
15.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva RTK-val való repülés során R3 fenológiai fázisban.....	24
16.ábra: Az NDVI alakulása eltérő tápanyagszintekben. hibridenként csoportosítva magasságkövetéses repülés során R3 fenológiai fázisban.	24
17.ábra: A termés mennyiségének alakulása tápanyagszintenként, az alkalmazott hibridek alapján.	24
18.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V5 fenológiai fázisban RTK nélkül az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	25
19.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V5 fenológiai fázisban RTK-val az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	26
20.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V5 fenológiai fázisban magasságkövetéssel az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	26
21.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V10 fenológiai fázisban RTK nélkül az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	27
22.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V10 fenológiai fázisban RTK-val az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	28
23.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása V10 fenológiai fázisban magasságkövetéssel az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	28
24.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R1 fenológiai fázisban RTK nélkül az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	29

25.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R1 fenológiai fázisban RTK-val az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	30
26.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R1 fenológiai fázisban magasságkövetéssel az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	30
27.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R3 fenológiai fázisban RTK nélkül az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	31
28.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R3 fenológiai fázisban RTK-val az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	32
29.ábra: A termés mennyiségének és dinamikájának alakulása R3 fenológiai fázisban magasságkövetéssel az NDVI értékek függvényében eltérő tápanyagszinten.	32

Táblázatok

1.táblázat: A szántóföldi kisparcellás kísérlet kivitelezéséhez szükséges agrotechnikai műveletke és az időpontja.	15
2.táblázat: A tartamkísérletben alkalmazott makroelemek öt eltérő tápanyagszintben.	16
3.táblázat: Felvételezések paraméterei.	18
4.táblázat: V5 fenológiai fázisban mért különböző beállítású NDVI értékek összefüggése a termés mennyiségével Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 33	33
5.táblázat: V10 fenológiai fázisban mért különböző beállítású NDVI értékek összefüggése a termés mennyiségével Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 34	34
6.táblázat: R1 fenológiai fázisban mért különböző beállítású NDVI értékek összefüggése a termés mennyiségével Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 35	35
7.táblázat: R3 fenológiai fázisban mért különböző beállítású NDVI értékek összefüggése a termés mennyiségével Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 36	36
8.táblázat: V5 fenológiai fázisban mért különböző NDVI értékek összefüggése a tápanyagszintekkel Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 37	37
9.táblázat: V10 fenológiai fázisban mért különböző NDVI értékek összefüggése a tápanyagszintekkel Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 38	38
10.táblázat: R1 fenológiai fázisban mért különböző NDVI értékek összefüggése a tápanyagszintekkel Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 39	39
11.táblázat: R3 fenológiai fázisban mért különböző NDVI értékek összefüggése a tápanyagszintekkel Pearson féle korreláció mátrix alapján * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 40	40