

SZAKDOLGOZAT

Simon Dávid István

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Műszaki Intézet

**Adattechnológus-adatelemző szakmérnök szakirányú
továbbképzési szak**

**Fenyő állományok felmérése drón felvételek alapján, spektrális
vegetációs indexek használatával**

Belső konzulens: Busznyák János
egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Mérnökinformatika Tanszék

Külső konzulens: Szabó Ádám
műszaki vezető

Készítette: Simon Dávid István (MN205D)

Gödöllő

2024

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	2
1.1	Fenyőállományok Magyarországon.....	2
1.1.1	Történeti áttekintés.....	2
1.1.2	Fenyőállományok aktuális helyzete	2
1.1.3	Fenyvesek lombos erdővé alakítása.....	2
2	Szakirodalmi áttekintés	4
2.1	A vizsgált terület fenyőféléi.....	4
2.1.1	Erdeifenyő (<i>Pinus sylvestris</i>).....	4
2.1.2	Feketefenyő (<i>Pinus nigra</i>).....	6
2.2	Sentinel-2 műhold felvételek alkalmazási lehetőségei vegetációs indexek létrehozásához ..	7
2.2.1	Multispektrális indexek	8
2.2.2	RGB indexek.....	8
2.3	PYTHON programozási nyelv	10
2.4	Lineáris regresszió	10
3	Alkalmazott módszerek	11
3.1	Gödöllő 142 G és Isaszeg 3 B erdőrészek.....	11
3.2	Adatgyűjtés pilóta nélküli légi járművel	13
3.3	Számított vegetációs indexek.....	14
3.3.1	NDVI index	15
3.3.2	GNDVI index	16
3.3.3	VARI index.....	17
3.3.4	TGI index.....	18
4	Eredmények.....	19
4.1	Indexek összehasonlítása a két minta erdőrészen:.....	19
4.1.1	Isaszeg 3 B.....	21
4.1.2	Gödöllő 142 G.....	23
4.2	NDVI index származtatása RGB indexek felhasználásával.....	25
4.2.1	NDVI index készítése TGI index felhasználásával	25
4.3	Nagy felbontású NDVI index származtatása a drón felvételekből az indexek összehasonlításából nyert adatok felhasználásával	26
5	Következtetések és javaslatok.....	28
6	Összefoglalás	30
7	Irodalomjegyzék	32

1 Bevezetés

1.1 Fenyőállományok Magyarországon

1.1.1 Történeti áttekintés

Magyarország erdőállománya a 20. század első harmadában hatalmas változásokon ment keresztül. Az Osztrák-Magyar Monarchia idejében, a mai Magyarország területén található erdők javarészt a lakosság tűzifa igényét szolgálták ki, azokat 30-50 éves vágásfordulóval hasznosították. Az erdők felújítása nagyrészt sarjztatással történt. Ebből kifolyólag azok minőségi állapota alacsony szinten volt, ipari faanyag termelésére nem volt alkalmas. Az ország ipari faanyag igénye, a mai Románia és Szlovákia területéről, Erdély és a Felvidék lucfenyveseiből került kielégítésre. Ezt a kialakult állapotot a trianoni békediktátum teljes mértékben felforgatta. Az I. világháborút követően Magyarország erdőállománya 1.175.202 hektárra csökkent, az erdeink 84%, az ipari faanyagot szolgáltató fenyvesek 97% került határainkon túlra (Mayer, 1936). Ebből kifolyólag egyre erősebbé vált az igény az ország területén maradó erdők minőségi állapotának javítására, fenyőerdők állománynövelésére. Ennek folyamán kezdődtek el a 20. század nagy fásításai, főként az Alföld homokvidékein, különös mértékben a Duna-Tisza közén. A fenyőfélék közül az alkalmazott fajok feketefenyő, illetve erdeifenyő voltak (Magyar, 1961).

1.1.2 Fenyőállományok aktuális helyzete

Az erdei és a feketefenyő az ökológiai környezeti igényeiket tekintve az Alföld homokvidékein nincsenek optimális helyzetben. A 20. század utolsó évtizedeitől kezdve, az amúgy is peremtermőhelyen álló, az előző 50 évben telepített fenyveseket a változó klíma egyre kiszolgáltatottabbá tette. Az egészségügyi leromlásuk a 2000-es évek elejére egyre inkább felgyorsult. Az erdész szakmát hatalmas kihívás elé állította a fenyő állományok leromlásának lassítása, azok átalakítása lombos erdővé.

1.1.3 Fenyvesek lombos erdővé alakítása

A jövőben a klímaviszonyok további romlásával várható, hogy Magyarország fenyő állományai lombos állományokká alakulnak. Erre utaló jel, a fenyves állományok második szintjében sok helyen-főleg az Alföldön-megjelenő lombos szint. Ebben a passzív átalakulásban nem az őshonos fajok játszanak szerepet, hanem többnyire az invazív fajok, mint például a kései

meggy. Az őshonos fajokkal történő átalakuláshoz emberi segítségre van szükség. Egyes erdőgazdálkodóknál nagy mennyiségben vannak jelen ilyen, összeomló fenyő állományok, amik egyidejű kezelése nem megoldható a gazdálkodók átlagos erőforrásaival. A leromlás mértékét a kedvező mikroklimatikus viszonyok lassíthatják. Egy megfelelő monitoring rendszer használatával elkülöníthetők azok az állományok, amelyek azonnali beavatkozást igényelnek és azok is, amelyek relatív egészséges állapotban vannak. Egy felmérésen alapuló, előre megtervezett átalakítási menetrend elviselhetővé teheti a kényszerátalakítások által okozott éves plusz költségeket. Erre a feladatra alkalmasak lehetnek az olcsón beszerezhető pilóta nélküli járművek, a drónok. Az utóbbi években a pilóta nélküli légi járművek használati előírásai tisztázódni látszanak, hazai térhódításukat elősegítve (EU-Bizottság, 2019).

2 Szakirodalmi áttekintés

2.1 A vizsgált terület fenyőféléi

2.1.1 Erdeifenyő (*Pinus sylvestris*)

Eurázsiai, főként montán és síkvidéki elterjedésű faj. Gazdaságilag értékes, Az Európai Unióban a kiterjedése meghaladja a 28 millió hektárt, ami a gazdasági erdőterület legalább 20%-át teszi ki (Lust et al., 2001), emellett széles körű elterjedése miatt is jelentős faj. Eurázsia északi részén, az Amúr folyótól, Nyugat-Európáig megtalálható. Termőhelyi viszonyai változatosak. Hazánkban található állományai javarészt kultúreredetűek.

Kompetíciós képessége alacsony, ezért általában gyenge termőhelyű területeken találkozhatunk vele (Brichta et al., 2023).

20-40 m magasra növő fa. Koronájának alakja termőhelyétől függ, míg északon és hegyvidéki területeken keskeny, síkvidékeken élő típusok szétterülő ernyő alakú koronával rendelkeznek. Törzse egyenes, hengeres, szabad állásban viszont görbe, elágazó. Kérge a törzs felső részén vöröses, alul erősen repedezett, sötétbarna színű.

Az erdei fenyőnek 6-12 mm hosszú, vörösbarna, gyantás vagy gyanta nélküli rügyei vannak. A tűi párosával helyezkednek el, 5-12 cm hosszúak, szürkés vagy kékeszöld színűek, enyhén csavarodottak, akár 2-5 évig is a fán maradnak. A tobozai tojásdad-kúp alakúak, 1-3-as csoportokban, rövid száron ülnek, és a harmadik év tavaszán nyílnak. 3-7 cm hosszúak, szürkésbarnák és mattak. A tobozpikkelyek laposak, a köldök nem szúrós, fényes, barna. A magok hosszúkásak, kissé laposak, világosbarna és feketés árnyalatúak lehetnek, változatos mintázattal. A mag és a szárny színének és mintázatának egyedisége az azonosítás legmegbízhatóbb jellemzője.

A fajon belüli változatosság nagy mértékű az elterjedési területén belül, ami különböző termőhelyi körülmények miatt alakul ki. Sokféle rendszert fejlesztettek ki az alapfaj és az az alatti egységek megkülönböztetésére. Az erdeifenyő kihívást jelent a faj alatti egységek elkülönítésében, mivel az elterjedési területe viszonylag fiatal, a jégkorszak utáni időszakban alakult ki, és nem lehet egyértelmű határvonalat vonni az egyes klímátípusok között.

A boreális, északi övezetben a keskeny koronás típusok jellemzőek az erdeifenyőre, de nem dominánsan. Az erdeifenyő lassú növekedésű a boreális övezetben, és fája egyenletes és sűrű szerkezetű, kiváló műszaki tulajdonságokkal rendelkezik. A kérge vékony, a tobozok és magja

apróbbak (súlyban alig kétharmaduk a hazai erdeifenyőének). A tűik rövidek, télen elsárgulnak. Ez az elterjedés hosszú nappalos növény, növekedése egy hónappal korábban befejeződik, mint a magyarországi erdeifenyőké. Gyakran "lapp erdeifenyőként" említik. A Balti-tenger partjainál és a Oroszország mérsékelt kontinentális európai területein élő erdeifenyő gyorsabban növekszik, és rendkívül jó törzsalakú. Az ültetvényes magtermesztése viszont kevésbé eredményes. Magyarországon csak elvétve találhatók állományai, például Jávorkúton. Ezt az erdeifenyő-típust általában "porosz" vagy "rigai" erdeifenyőként említik az irodalomban.

Az észak-eurázsiai elterjedési területtel ellentétben a Földközi-tenger körzetében található erdeifenyő előfordulásai főként magas hegyvidékekre korlátozódnak, elszigeteltek és reliktum jellegűek. Külső megjelenésükben különböznek az északi síkvidékek erdeifenyőitől. Különösen a kaukázusi előfordulások eltérőek, és sokan külön fajként, „*Pinus kochiana klotsch*” néven emlegetik azt. Tobozukon a pikkelyek visszahajlóak, szúrós köldökűek, koronájuk terülő, néha bokorszerű növekedésű. A törzs felső része nem sárgászöld, hanem szürke színű. A tűk élénkzöld színűek.

Nyugat-Európában régóta foglalkoznak erdeifenyő termesztéssel, és több kultúrváltozat is kifejlődött itt. A belga erdeifenyő óceáni éghajlaton gyorsan növekszik, és jó törzsalakot mutat. A Rajna mentén található változat jó növekedést mutat, de törzsalakja rossz, és koronája szabálytalan. Ezt a durva ágazatú típust, melyet a darmstadti magkereskedők Közép-Európában terjesztettek el, "darmstadti erdeifenyőként" emlegetik. A hazai, vegyes származású erdeifenyőink erre a típusra hasonlítanak leginkább.

Általánosságban elmondható, hogy délről észak felé haladva a növekedési erély fokozatosan csökken. Az északi határról származó egyedek már csak bokorszerűek. Az egyik jellegzetes különbség a tűk téli elszíneződése: míg délen a fenyők télen is élénken zöldek maradnak, észak felé haladva egyre erőteljesebb téli elsárgulást (klorózist) lehet megfigyelni, amely tavasszal eltűnik. A lappföldi és észak-szibériai erdeifenyők télen aranyzöldek. Az északi erdeifenyőkre jellemző a kúpos korona, vékony oldalágak és egyenes törzs. Dél felé haladva az oldalágak növekedése fokozódik, ami szélesebb koronát és vastagabb oldalágakat eredményez. Emellett a törzs görbülése is erőteljesebb. A déli, elszigetelt előfordulások növekedése gyengébb, de alakjuk inkább hasonlít az északira. A tűk rövidebbek, de télen is zöldek (Solymos-Keresztesi, 1978).

2.1.2 Feketefenyő (*Pinus nigra*)

Dél- és Kelet-Európa hegyvidékein és a mediterrán-balkáni régióban őshonos faj. Elterjedési területe széttöredezett, de széles, 3,5 millió hektáron találhatóak állományai Európa szerte (Isajev et al., 2003), ebből kifolyólag több változata is előfordul. Hazánkban gyakran telepítették homokos és kopár területekre.

20-40 méteres magasságra növő faj. Koronája fiatalon kúpos-tojásdad, idősebb korára laposan szétterülő, esernyő alakú. Törzse erősen repedezett, egyenes, szürkésfekete színű. Hajtásai sárgászöldek vagy sárgásbarnák, fénylőek, csupaszok, és 2-4 évig pikkelyekkel fedettek. Rügyei hirtelen kihegyesednek, rojtos szélűek, fehér pikkelyekkel fedettek, barnák és gyantásak. Tűi hosszúak, 4-5 évig élnek, merevek, egyenesek vagy kócosak, általában csavarodottak és sötétzöldek. Tobozai többnyire többesével helyezkednek el az ágon, 5-8 cm hosszúak, fényesek, érett állapotukban sárgásbarnák, rövid kocsányúak. Az ágtól derékszögben elállóak vagy kissé hátra hajlóak. A tobozpikkelyek pajzsa szabálytalan, fényes, domború, a köldök erősen fejlett, töviszerű nyúlvánnyal. Magja 5-7 mm, hosszúkas formájú, kissé lapított, általában egyenletesen barnás és matt.

A feketefenyő elterjedése erősen feldarabolódott, ami különböző ökotípusok kialakulásához vezetett. Általában két nagy alakkörre és négy alfajra osztják a fajt. A nyugati alakkörbe tartozik a Spanyolországban és Franciaországban előforduló *Pinus nigra ssp. Salzmannii*, valamint a Korzikán és Dél-Olaszországban található *Pinus nigra ssp. laricio* alfajok. A keleti alakkör az Ausztriában és a Balkánon élő *Pinus nigra ssp. nigra*-t és a kisázsiai - krimi alfajokat foglalja magában.

A mediterráneum északnyugati részén elterjedt alfaj tűi rendkívül hosszúak (15 cm), egyenesek, hajtásai narancssárga színűek, koronája sűrű. Toboza 5-6 cm hosszú. Francia-Középhegységben, a Pireneusok keleti lejtőin és Katalóniában elterjedt fény- és melegigényes alfaj állományai hazai körülmények között nem fejlődnek kielégítően, de dekoratív megjelenésűek.

A Kalábria és Korzika hegyvidékein található korzikai feketefenyőt sokan külön fajként kezelik, a többi alfajtól jelentősen eltérő megjelenése és viselkedése miatt. Gyors növekedésű, 30-45

méteres magasságot elérő állományai leginkább savanyú talajokon találhatók. Fiatal korában koronája rendszerint szabályos kúp alakú, ágai rövidek és felfelé hajlók, a tűk világos zöldek és hosszúak (10-14 cm), enyhén kócosak. Toboza 5-7 cm hosszú, kevésbé igényes a fény tekintetében, de törzsének alakja kiváló. Néhány állománya Magyarországon is ígéretesnek bizonyul. Sajnos fiatal korában érzékeny a fagykárokra, és csemetenevelése nehézségekbe ütközik. Mivel jellegzetesen eltér a hazai feketefenyőktől, telepítései gyakran szenvednek a vad hatásától.

Az osztrák feketefenyő legnagyobb összefüggő elterjedési területei a Bécs környéki erőkben és a Drina folyó alsó szakaszánál találhatók. Néhány, kevésbé jellemző előfordulása a Karavankák és a Balkán-hegységben is találhatóak. Meszes alapkőzeten, váztalajokon jelennek meg állományai. Magyarország területén is ez az alfaj található meg jellemzően. Ismérvei közé tartozik a viszonylag egyenes törzs és a jó növekedés. Hajtása szürkés vagy barnás árnyalatú, a tűk merevek és viszonylag rövidek (8–14 cm). Az oldalágak széles növéssűek, tojásdad koronát alkotnak. Toboza 4-7 cm hosszú. Az alapfajon belül igen nagy a változatosság, melyet morfológiai jegyek alapján lehet elkülöníteni (Solymos-Keresztesi, 1978).

2.2 Sentinel-2 műhold felvételek alkalmazási lehetőségei vegetációs indexek létrehozásához

A Sentinel-2A műholdat 2015. június 23-án, az európai Copernicus program részeként bocsátották fel. A Sentinel-2 egy innovatív, 13 spektrális sávot tartalmazó, nagy felbontású, széles látószögű, multispektrális képalkotót (MSI) rendszerrel van felszerelve, ami új lehetőségek tárházát nyitotta meg a környezetünk feltérképezésében. A nagy felbontás, akár 10 m-es, az újszerű spektrális képességek (pl. három sáv a vörös tartományban és két sáv a közeli infravörösben), a széles lefedettség (290 km-es sáv szélesség) és a maximum ötnapos globális ismétlődési idő kombinációja rendkívül hasznos információkat nyújt a szárazföldi felhasználások széles skálájához ([http1](#)). A sűrű, 5 napos ismétlődési idő fenológiai vizsgálatokra is alkalmassá teszi a műhold által szolgáltatott adatokat (Misra et al., 2020). A 13 spektrális sáv széles körben alkalmazhatóvá teszi a felvételeket a földfelszín vizsgálatára, számos vegetációs index készíthető azok felhasználásával ([http2](#)). Az adatfeldolgozás során több, a Sentinel-2 műhold által készített felvételeken alapuló vegetációs indexeket választottam összehasonlítási alapnak.

2.2.1 Multispektrális indexek

2.2.1.1 NDVI index

Az NDVI index egy széleskörűen alkalmazott index az erdőgazdálkodásban, a vizsgált terület zöld színével áll kapcsolatban. A növények zöld színe a klorofilltartalmuktól függ, ami a vegetációs időszak periódusaitól és egészségi állapotuktól függően változhat. Számítása a következő képlettel történik:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}),$$

ahol a NIR a közeli infravörös, a RED a vörös sáv (Jiang et al., 2006, Glenn et al., 2018, Gitelson et al., 1996). -1 és 1 közötti eredményt (Huang et al, 2020). Az egyik leggyakrabban használt vegetációs index. Az eredményül szolgáltatott értékei normalizáltak, így könnyen értelmezhetőek (Solymosi, 2019).

2.2.1.2 GNDVI index

A GNDVI index nagyon hasonló az NDVI indexhez, a különbséget az adja, hogy a számítása során nem vesszük figyelembe a vörös tartományt. Az index alapján lehet következtetni a növényzet fotoszintetikus aktivitására (Lazaro et al., 2022), számítása a következő képlet segítségével történik:

$$\text{GNDVI} = (\text{NIR} - \text{GREEN}) / (\text{NIR} + \text{GREEN}),$$

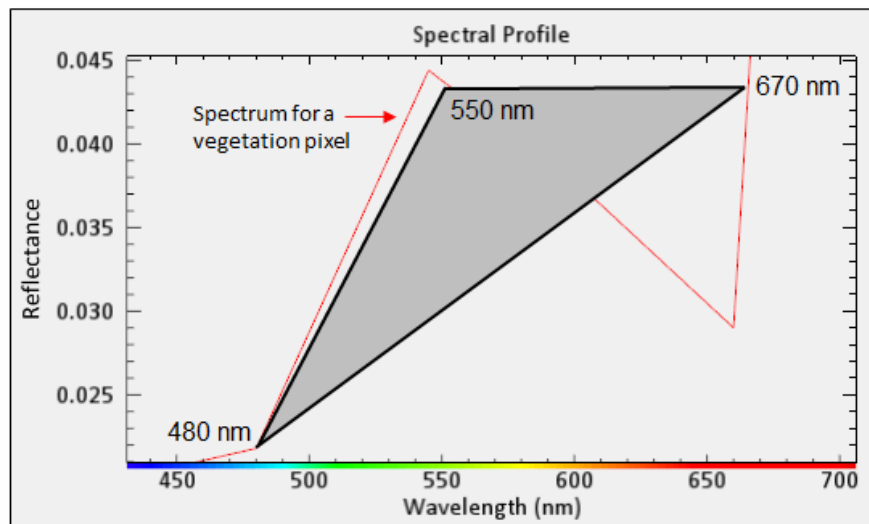
ahol a NIR a közeli infravörös, a GREEN a zöld sávokat jelöli (Basso et al., 2019, Barati et al., 2011).

2.2.2 RGB indexek

A nagy felbontású multispektrális adatok előállítása sok esetben költséges lehet. A növényzet állapotától és a felvételek felhasználási céljától függően hasznos információkhoz juthatunk RGB tartományban készült felvételekből is. Az RGB tartomány nem más, mint az elektromágneses spektrum látható tartománya.

2.2.2.1 TGI index

Háromszög zöldességi index (TGI) a levelek és a lombkoronák klorofillkoncentrációját a visszavert fény hullámhossz görbéje alapján becsüli meg. A 480 és 670 nm hullámhossz közötti kiugrást egy háromszöggel közelíti (1. ábra). A háromszög három sarokpontja a következő hullámhosszoknál található: 480 nm, 550 nm és 670 nm (Hunt et al., 2013).



1. ábra TGI index alapját képező háromszög
(Forrás: Ocampo et al.)

Számítás a következő:

$$\text{TGI} = -0.5[(670 - 480) (R_{670} - R_{550}) - (670 - 550) (R_{670} - R_{480})],$$

normalizált alakja:

$$\text{TGI} = (\text{GREEN} - (0.39 * \text{RED}) - (0.61 * \text{BLUE}))$$

ahol GREEN a zöld, RED a vörös, a BLUE pedig a kék sáv (Hunt et al., 2011).

2.2.2.2 VARI index

A VARI index előállításához csak a látható fény, a vörös, a zöld és a kék színsávok tartományára van szükségünk. A kék sáv felhasználásával a légkör zavaró hatásaira kevésbé érzékeny (Eng et al., 2019), jól vizsgálható vele a növényzet egészségügyi állapota. Számításnak módja:

$$\text{VARI} = (\text{GREEN} - \text{RED}) / (\text{GREEN} + \text{RED} - \text{BLUE})$$

(Gitelson et al., 2002).

2.3 PYTHON programozási nyelv

A Python egy interpreteres, interaktív, objektumorientált programozási nyelv. Magas szintű adatszerkezeteket, például listákat és asszociatív tömböket (úgynevezett szótárak), dinamikus tipizálást és dinamikus kötetést, modulokat, osztályokat, kivételeket, automatikus memóriakezelést biztosít. Rendkívül egyszerű és elegáns szintaxissal rendelkezik, és mégis sokat használt és általános felhasználású programozási nyelv. Guido van Rossum tervezte 1990-ben. Sok más szkriptnyelvhez hasonlóan ingyenes, még kereskedelmi célokra is. Használhatóságához hozzájárul, hogy gyakorlatilag bármilyen modern számítógépen futtatható. A python kódot az interpreter automatikusan fordítja le platformfüggetlen bájt-kóddá, amelyet aztán értelmez.

A Python moduláris természetű. A kernel nagyon kicsi, az kiegészítő modulok importálásával bővíthető. A Python disztribúció a szabványos bővítmények változatos könyvtárát tartalmazza (egyesek Pythonban íródtak, mások C-ben vagy C++-ban) a karakterlánc-kezeléstől és a Perl-szerű reguláris kifejezésektől kezdve a grafikus programokig, felhasználói felület (GUI) generátorokig, beleértve a webes segédprogramokat, operációs rendszer szolgáltatásokat, hibakeresést és hibaelhárítást, valamint profilkészítő eszközöket.

Új bővítőmodulok hozhatók létre a nyelv új vagy régi kóddal való bővítéséhez. Jelentős számú olyan bővítőmodul létezik, amelyek a Python felhasználói közösség tagjai fejlesztettek ki és bocsátottak szabad használatra (Sanner, 1999).

2.4 Lineáris regresszió

A lineáris regresszió egy statisztikai módszer, amelyet az adatok közötti kapcsolatok elemzésére használnak. Az alapötlet az, hogy meghatározzuk, hogy egy vagy több független változó (bemenetek) hogyan befolyásolja egy függő változó (kimenet) értékét. Ezáltal a lineáris regresszió segít megérteni és modellezni a változók közötti összefüggéseket.

A lineáris regresszió azt feltételezi, hogy a változók közötti kapcsolat lineáris. Ez azt jelenti, hogy a függő változó értéke lineárisan változik a független változók értékeivel.

A lineáris regresszió eredményeként kapunk egy regressziós egyenletet, ami leírja a függő változó (kimenet) becslését a független változók (bemenetek) alapján. Például, ha csak egy független változót használunk, a regressziós egyenlet egyszerűen egy egyenes egyenlete lesz:

$$y = mx + b,$$

ahol y a függő változó, x a független változó, m a meredekségi együttható és b a tengelymetszet.

Ez egy olyan statisztikai mutató, amely azt méri, hogy mennyire illeszkedik a regressziós egyenes az adatokhoz. Az R^2 értéke 0 és 1 között változik, és minél közelebb van az 1-hez, annál jobban magyarázza az modell a változók közötti kapcsolatot (http 3).

3 Alkalmazott módszerek

3.1 Gödöllő 142 G és Isaszeg 3 B erdőrészek

A két vizsgált terület Gödöllő Szárítópuszta közelében található. Míg az Isaszeg 3 B erdőrészlet egy jobb állapotban lévő, fiatalabb, de már a leromlás jegeit magán viselő állomány (2-3. ábra), addig a Gödöllő 142 G egy erősen pusztulófélben lévő (4-5. ábra).

A két erdőrészlet fontosabb adatai:

Gödöllő 142 G

Terület: 4,06 ha

Domborzat: sík

Fafajsortok adatai:

Fafaj	Szint	Kor	Záródás	Elegyarány	Magasság (m)	V (m ³ /ha)
Erdeifenyő	Felső	54	51	100	20,4	243
Kései meggy	Alsó	14	28	100	2,2	5

2. ábra Gödöllő 142 G néhány fafajsortos adata
(Forrás: saját munka)



3. ábra Gödöllő 142 G erdőrésztlet
(Forrás: saját munka)

Isaszeg 3 B

Terület: 3,51 ha

Domborzat: sík

Fafajsorok adatai:

Fafaj	Szint	Kor	Záródás	Elegyarány	Magasság (m)	V (m3/ha)
Erdeifenyő	Felső	34	100	50	13,7	143
Feketefenyő	Felső	34	100	44	12,5	119
Akác	Felső	34	100	6	9,1	4

4. ábra Gödöllő 142 G néhány fafajsoros adata
(Forrás: saját munka)



5. ábra Isaszeg 3 B erdőrésztlet
(Forrás: saját munka)

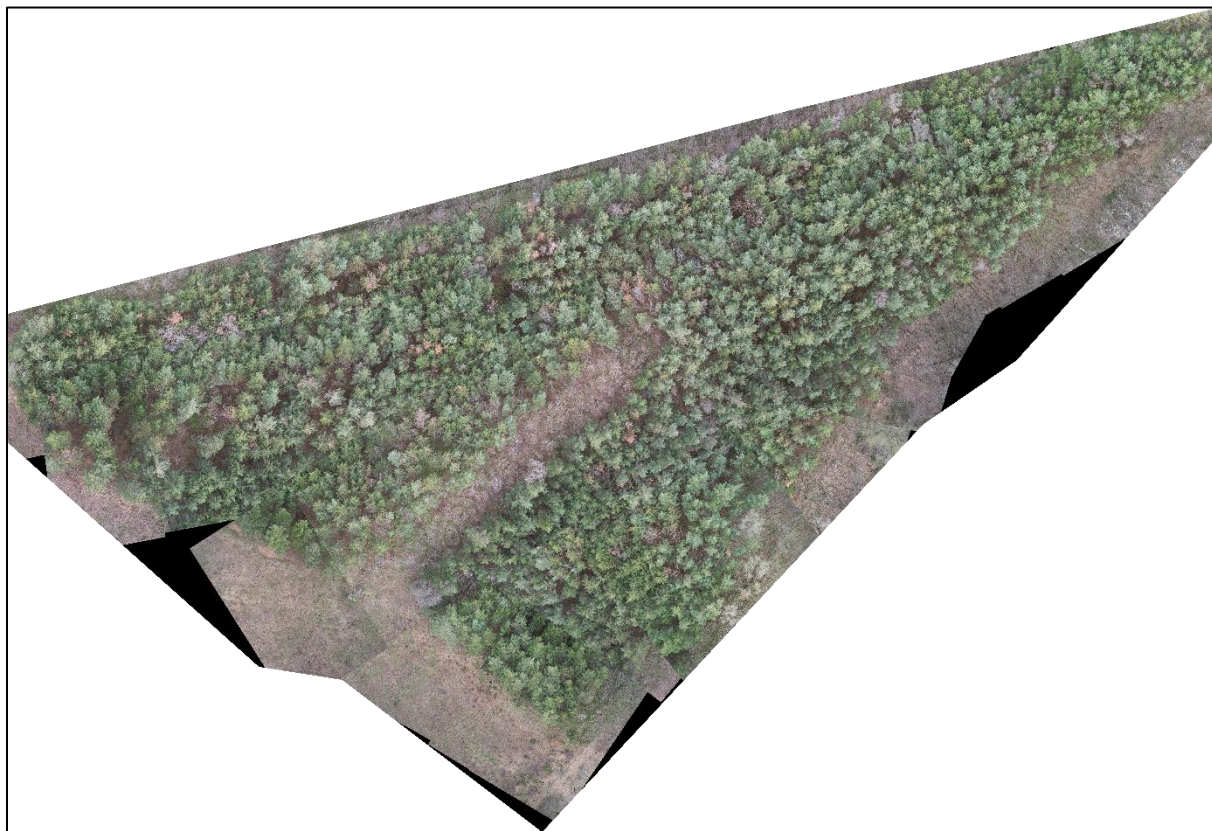
3.2 Adatgyűjtés pilóta nélküli légi járművel

A drónnal történő adatfelvételre 2023.03.14-én került sor. Az idő tiszta volt, alacsony páratartalommal, ideális viszonyokkal, ami némileg változott a mérés végére a feltámadó szél miatt. A felvételezésre használt drón egy DJI márkájú, AIR 2S modellű eszköz volt. A drón képfeldolgozó rendszerében egy 1 hüvelykes CMOS érzékelő végzi a felvételt, amiben $2,4\ \mu\text{m}$ pixelek találhatóak. A felvételezést manuális irányítással végeztük, 50 m magasságból, ami 1,37 cm-es terepi felbontást eredményezett (6. ábra).



6. ábra A drón repülési útvonala az adatgyűjtés során az Isaszeg 3 B erdőrésztlet felett
(Forrás: saját munka)

A drónnal készített fényképek összeállítását QGIS program segítségével illesztettem össze. A végeredmény egy nagyfelbontású tif fájl (7. ábra), ami alkalmas nagyfelbontású RGB vegetációs indexek számítására.



7. ábra Drónfelvétellel készített légi fotó az Isaszeg 3 B erdőrészeletről
(Forrás: saját munka)

3.3 Számított vegetációs indexek

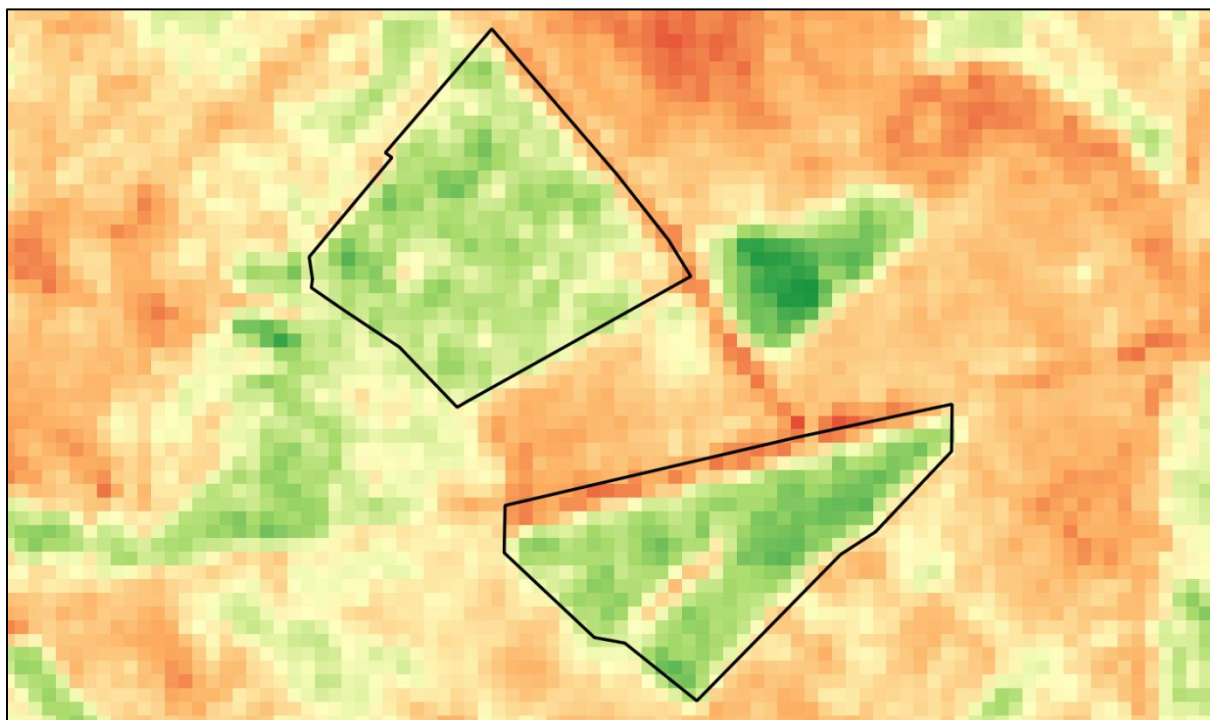
A vegetációs indexek számítása a Sntinel-2 műhold ingyenesen elérhető adataiból történt, az S2B_MSIL2A_20240317T094649_N0510_R079_T34TCT_20240317T113941 azonosítóval rendelkező állományokból 4 sáv került felhasználásra (8. ábra).

Sáv	Spektrális tartomány	Közép hullámhossz
Band 2	Blue (kék)	490 nm
Band 3	Green (zöld)	560 nm
Band 4	Red (vörös)	665 nm
Band 8	NIR (közeli-infravörös)	842 nm

8. ábra A vegetációs indexek készítéséhez felhasznált Sentinel-2 sávok
(Forrás: saját munka)

Az indexek mind a két minta erdőrésztetre elkészültek. Az indexek python programozási nyelv felhasználásával kerültek legenerálásra. Az elkészült, egysávos szürke képek QGIS térinformatikai programban egysávos álszínes vizualizálást kaptak.

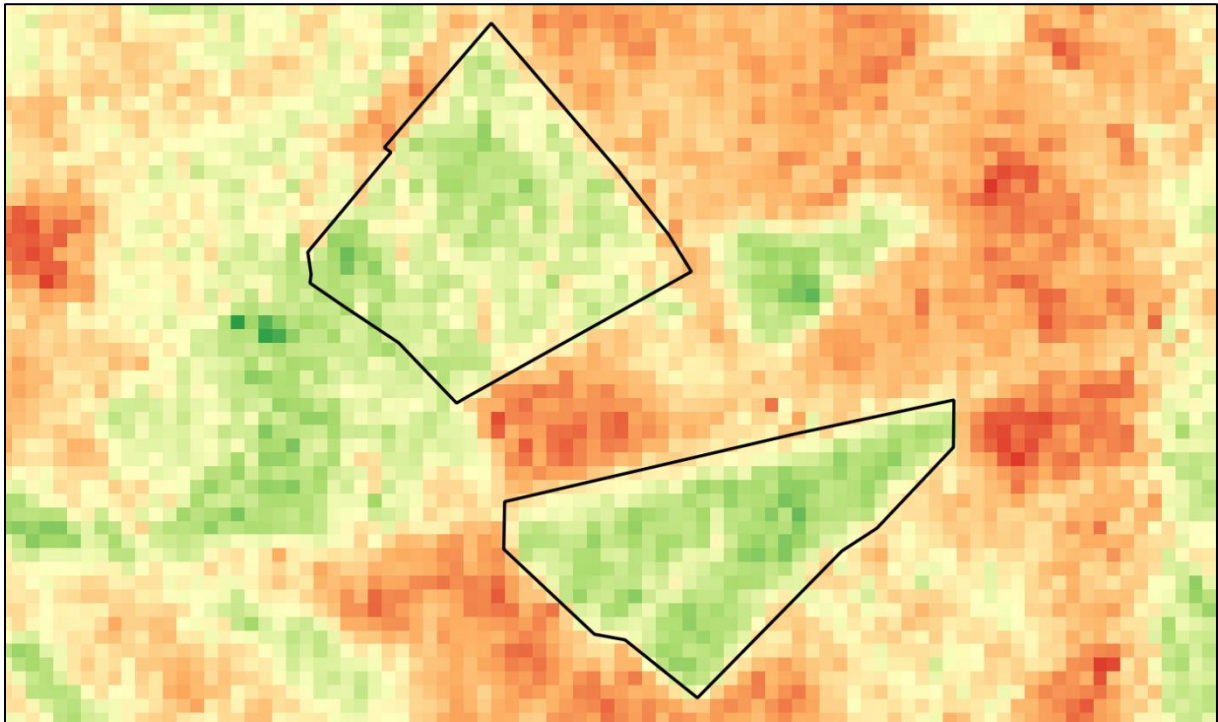
3.3.1 NDVI index



9. ábra NDVI index a két mintaterületre
(Forrás: saját munka)

Az NDVI index a mező és erdőgazdálkodásban leggyakrabban használt index, etalonnak tekinthető. Jól tárja fel az erdőállományok általános viszonyait. Az elkészült indexen (9. ábra) jól látszanak azok a foltok, ahol alacsonyabb a zöld felület, hol alacsonyabb az erdő záródása.

3.3.2 GNDVI index

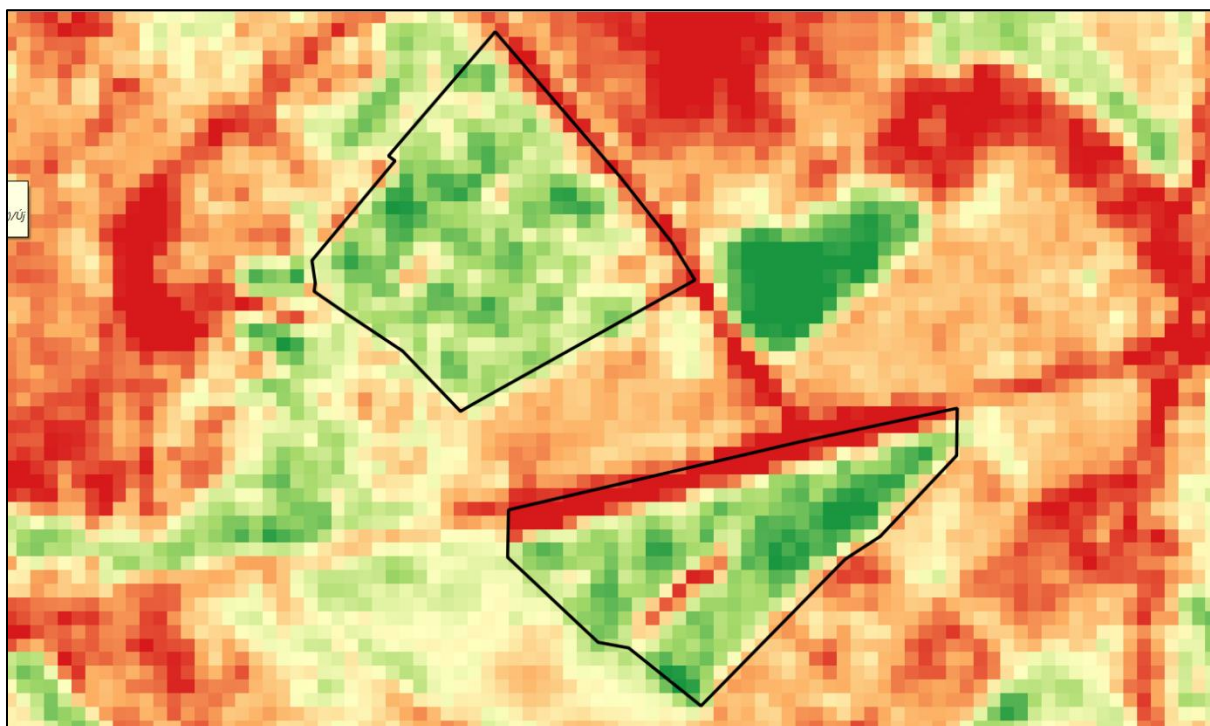


10. ábra GNDVI index a két mintaterületre
Forrás: saját munka

A GNDVI index az NDVI indexhez hasonló, a különbség az, hogy zöld sávot használja a piros helyett. Főként olyan területen lehet hasznosabb az NDVI-nál, ahol a zöld növényzet nagyobb részarányban fordul elő. A GNDVI-t gyakran alkalmazzák olyan területeken, ahol a vegetációs időben a növények nagy zöld felülettel rendelkeznek, mivel a zöld sáv bevonása pontosabb eredményeket szolgáltat a növényzetet nézve.

A dolgozat elkészítése során március 17-ei műholdfelvételek kerültek feldolgozásra. Ebben az időpontban még nem indult meg a fák lombosodása, így csak fenyőfajok és a fűvel borított területek jelentek meg zöld színben (10. ábra). A zöld felület alacsony aránya miatt a két multispektrális, az NDVI (9. ábra) és GNDVI (10. ábra) indexek nagy különbséget nem mutattak. Mind a két index jól mutatja az erdőrészlet lapon leírt fafajсорokból következtethető egészségügyi állapotokat. Míg az Isaszeg 3 B egészségügyi állapota a leíró lap szerint relatíve jobbnak mondható, ennek megfelelően nagyobb arányban tartalmaz sötétzöld pixeleket, addig a Gödöllő 142 G alacsonyabb záródású erdőrészlet több foltban halványabb zöld és sárga csoportokat tartalmaz.

3.3.3 VARI index

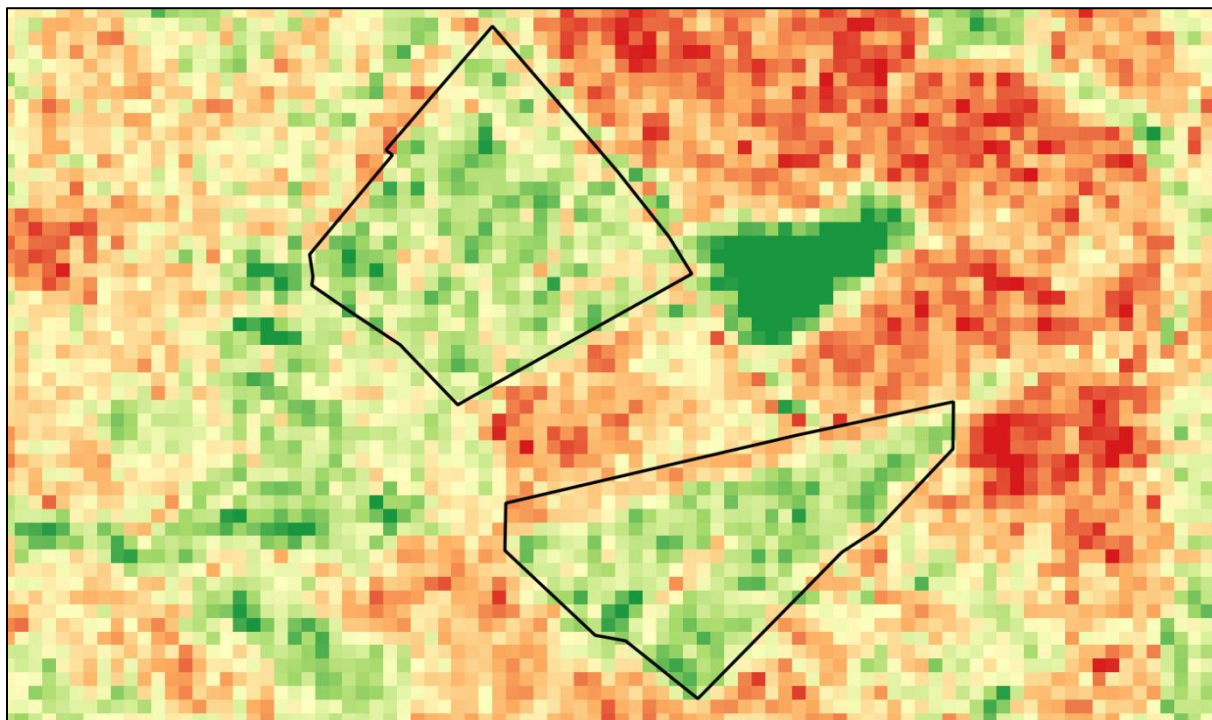


11. ábra VARI index a két mintaterületre
(Forrás: saját munka)

A VARI indexet kifejezetten a zöld növényzet vizsgálatára alkották meg, annak zöld levélfelületének megjelenítésére. Alkalmas fenológiai változások követésére idősoros adatokban, vagy egészségügyi állapotfelmérésre olyan erdőállományokban, ahol alacsony a záródás mértéke és az állomány nem többszintes. Jól nyomon követhetőek a segítségével vágásos formában kezelt erdőkben bekövetkező biotikus vagy abiotikus károk, ahol a lomb nélküli fák alatt nincs számottevő újulat vagy cserjeszint.

Vegetációs időszakon kívül a fenyőállományok felszakadozó szerkezete is jól vizsgálható. A két mintaterület VARI indexén (11. ábra) nagyon jól megjelennek azok a foltok, ahol beteg az állomány. Az ábrán sötétzöld pixelértéket vesznek fel az egészséges fenyő egyedek, a száradó, leromlott állapotú fák világosabb zöld, míg a felszakadozó felső szint miatt láthatóvá váló cserje és avarszint sárgától pirosig tartó értékekkel jelenik meg.

3.3.4 TGI index



12. ábra TGI index a két mintaterületre
(Forrás: saját munka)

A TGI index egy bonyolultabb képlet segítségével számolható, mint a VARI index. Hasonlóan a VARI indexhez a TGI is kifejezetten a növényzet zöld színét vizsgálja, arra némileg érzékenyebb. A TGI index érzékenyebb a levelek zöld színére, klorofill tartalmára. A klorofill alacsonyabb szintje utal a zöld, de száradó ágak jelenlétére, vagy lombos állományok sárguló leveleire.

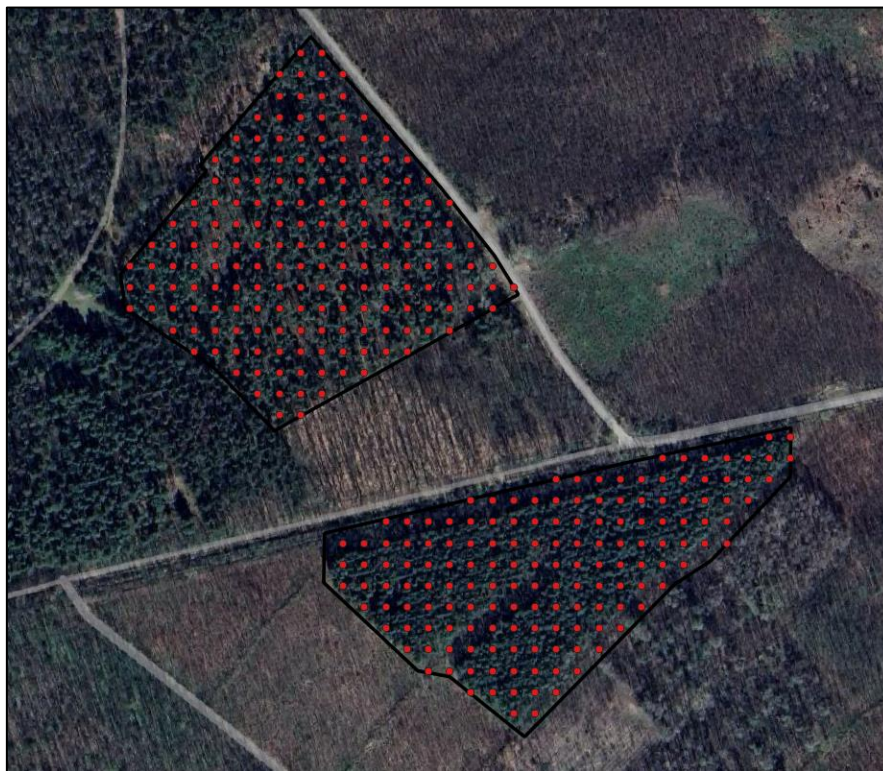
A TGI index (12. ábra), a VARI (11. ábra) és multispektrális indexekhez képest rosszabb állapotot mutat mind a két állomány esetében. A drónnal készített felvételek szintén arra utalnak, hogy a fenyők jelentős részén vannak száraz ágak, amik azok állomány további romlását vetítik előre.

4 Eredmények

Az erdő és mezőgazdálkodásban az egyik legelterjedtebben és legsokoldalúbban használt vegetációs index az NDVI index. Az előállításához azonban multispektrális adatokra van szükség, ami nem minden esetben elérhető nagy felbontásban. Ingyenesen elérhető Sentinel-2 adatok maximális felbontása 10 m, ami egy erdőrészletet érintő részletes felmérés elkészítéséhez nem minden esetben elégséges. Emellett problémát jelenthet idősoros összehasonlításoknál a légkör állapota. A felhők jelenléte nagy mértékben ronthatja az adatok használhatóságát, extrém esetben azokat használhatatlanná téve. A széleskörűen elérhető, olcsó RGB kamerával felszerelt drónok jó alternatívát jelenthetnek vegetációs indexek létrehozásához. Az RGB drónok alkalmazási lehetőségeit tágíthatja a vegetációs indexek közötti kapcsolatok feltárása.

4.1 Indexek összehasonlítása a két minta erdőrészleten:

Az indexek közötti kapcsolat erősségének vizsgálatát varianciaanalízissel tártam fel. A két mintaterület mindegyikén egy 15m*15m-es hálóban vettem mintát az indexeket reprezentáló kép fájlokból (13. ábra).



13. ábra A mintapontok elhelyezkedése a két minta erdőrészletben
(Forrás: saját munka)

Az indexek közötti korreláció a következő eredményeket szolgáltatta (14-15. ábra).

	NDVI	GNDVI	TGI	VARI
NDVI	1			
GNDVI	0,989784	1		
TGI	0,819433	0,7889	1	
VARI	0,837798	0,751607	0,77234	1

14. ábra Isaszeg 3 B erdőrésztlet indexeinek variancia analízise
(Forrás: saját munka)

	NDVI	GNDVI	TGI	VARI
NDVI	1			
GNDVI	0,944371	1		
TGI	0,668695	0,484089	1	
VARI	0,691494	0,415805	0,792658	1

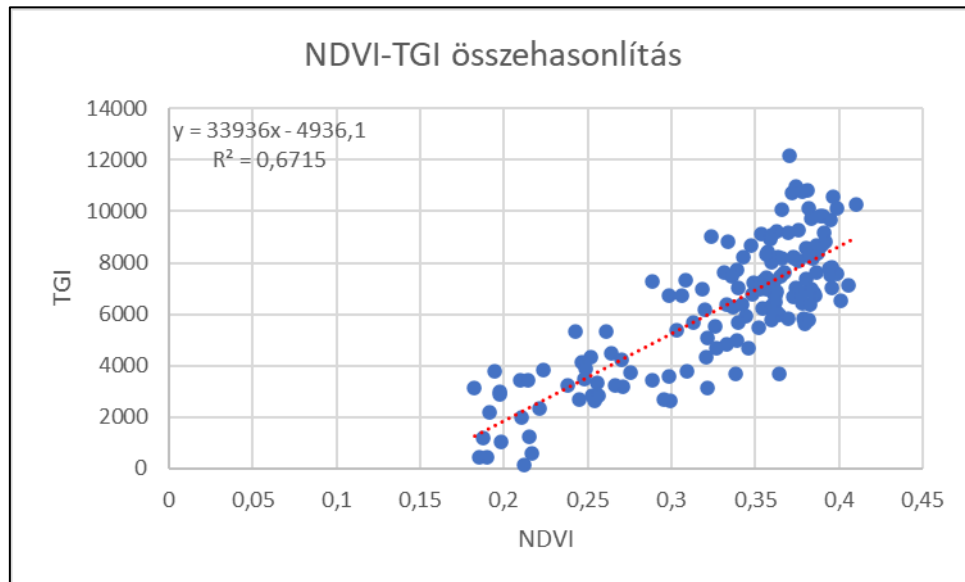
15. ábra Gödöllő 142 G erdőrésztlet indexeinek variancia analízise
(Forrás: saját munka)

Az eredmények azt mutatják, hogy a Gödöllő 142 G, vagyis a gyengébb egészségügyi állapotban lévő erdőrésztlet értékei kisebb korrelációt mutatnak. Míg a VARI és TGI indexnél jobban jellemzi a zöld felület minőségét, addig az NDVI és GNDVI indexnél annak mennyiség jelent nagyobb súlyt.

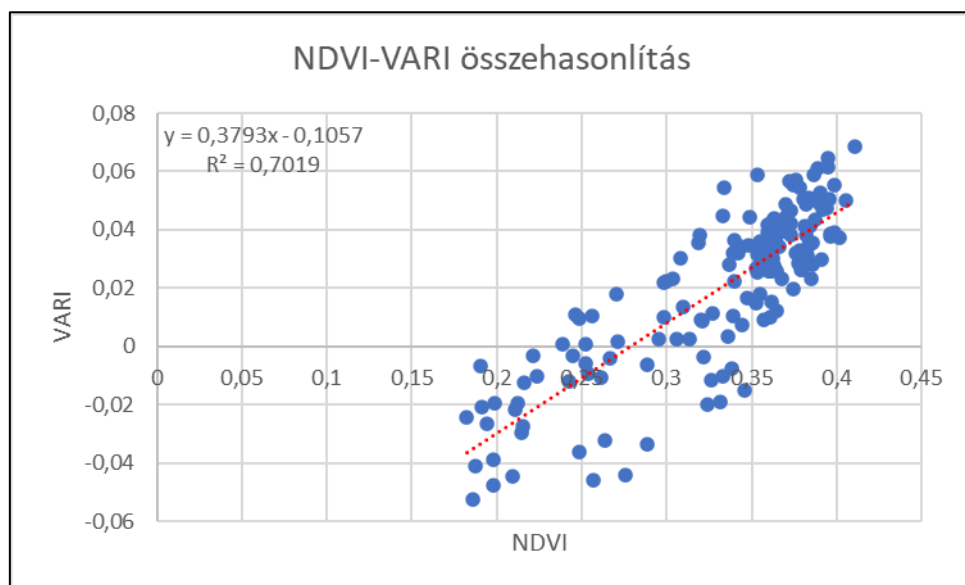
A korrelációs együttható az Isaszeg 3 B erdőrésztlet esetében mindegyik index-index összehasonlítás esetében 0,75 fölött van, tehát igen erős kapcsolatot feltételezhetünk. A determinációs együtthatók 0,5649 és 0,7019 között változtak (16-19. ábra).

Gödöllő 142 G részlet esetében a korrelációs némileg alacsonyabb, az RGB és multispektrális indexek között 0,42-0,69 értékeket vesz fel. A legnagyobb korrelációs együttható érték az NDVI és VARI indexek között van, 0,69-es értékkel mérsékeltén erős kapcsolatot feltételezhetünk. A determinációs együttható 0,1729 és 0,4782 között értékeket vett fel (20-23. ábra).

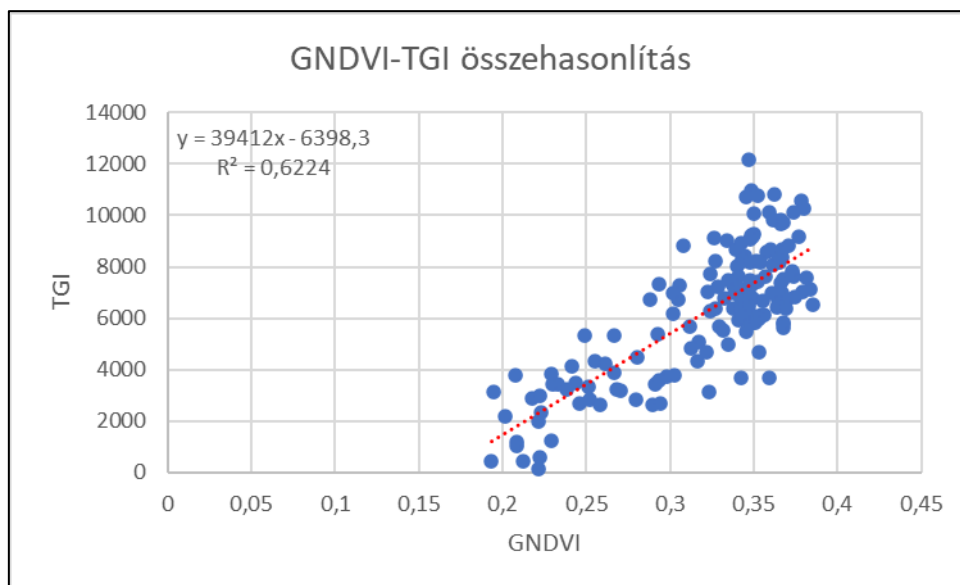
4.1.1 Isaszeg 3 B



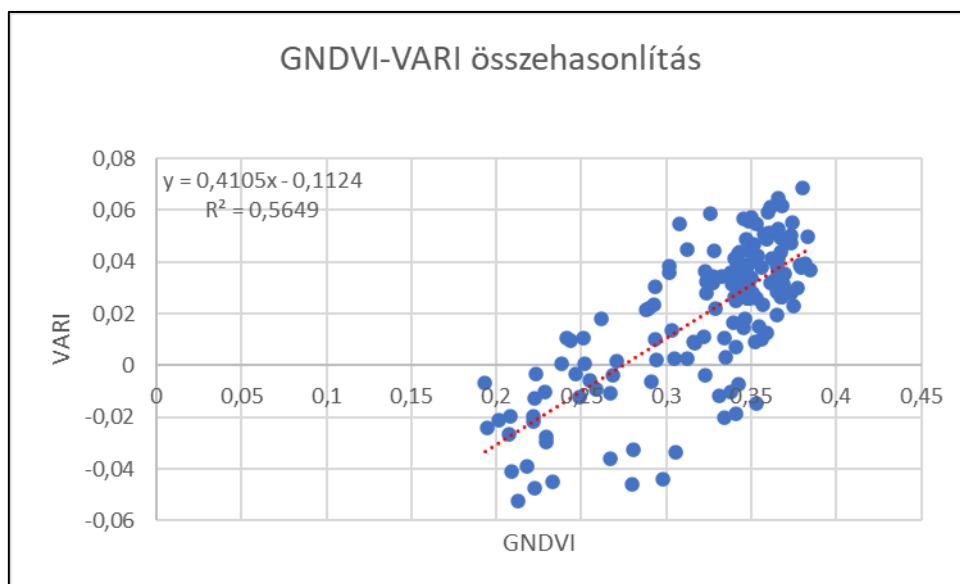
16. ábra NDVI-TGI index összehasonlítása Isaszeg 3 B erdőrézlet adatain
(Forrás: saját munka)



17. ábra NDVI-VARI index összehasonlítása Isaszeg 3 B erdőrézlet adatain
(Forrás: saját munka)

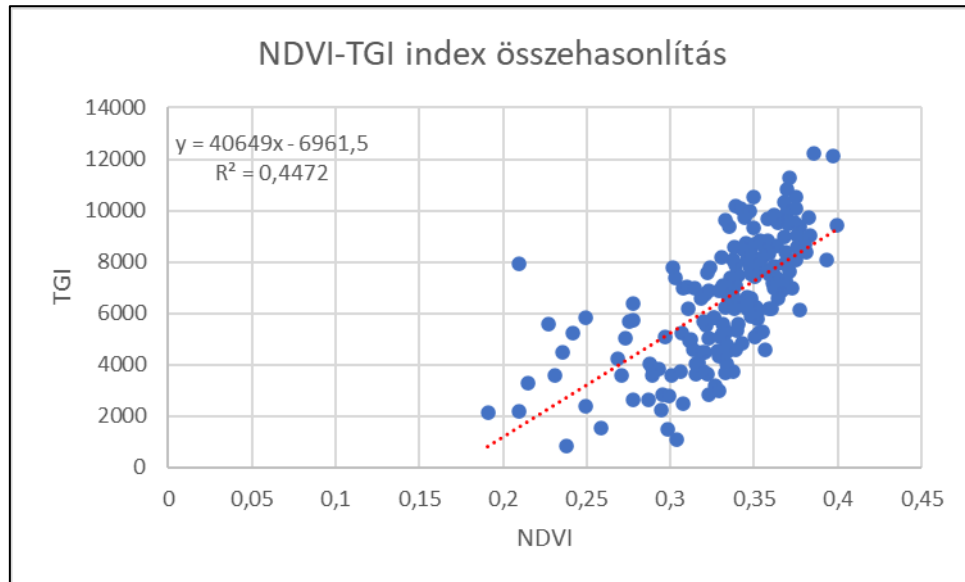


18. ábra GNDVI-TGI index összehasonlítása Isaszeg 3 B erdőrésztlet adatain
(Forrás: saját munka)

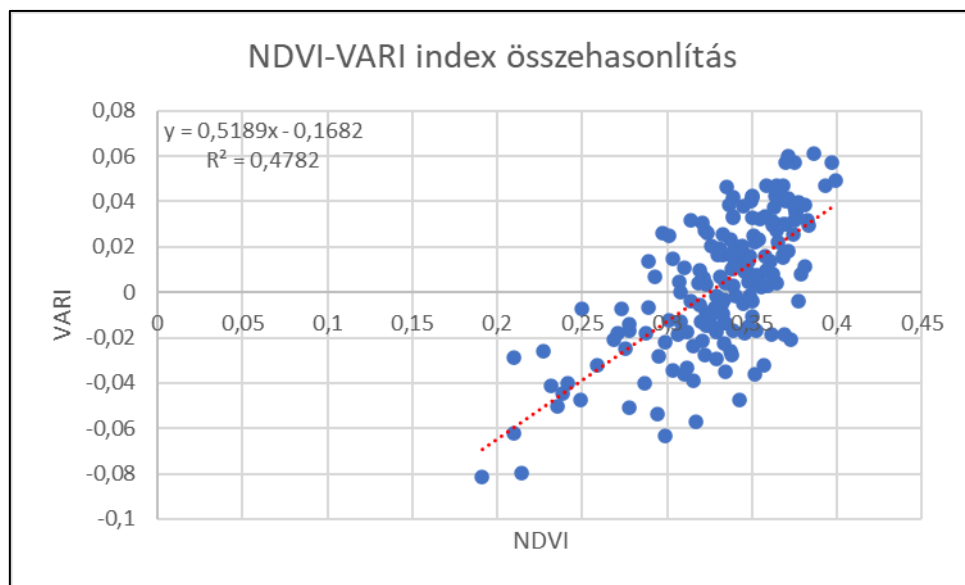


19. ábra GNDVI-VARI index összehasonlítása Isaszeg 3 B erdőrésztlet adatain
(Forrás: saját munka)

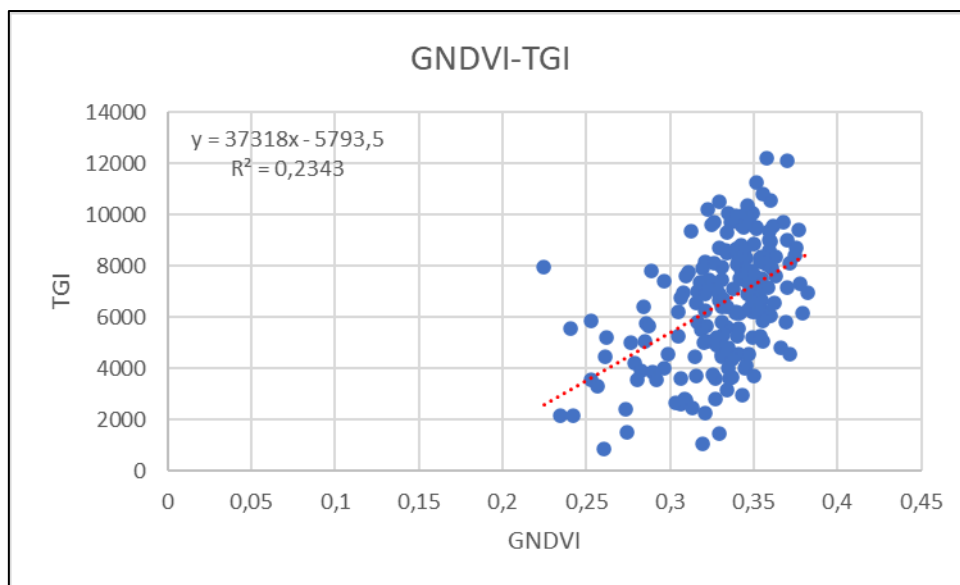
4.1.2 Gödöllő 142 G



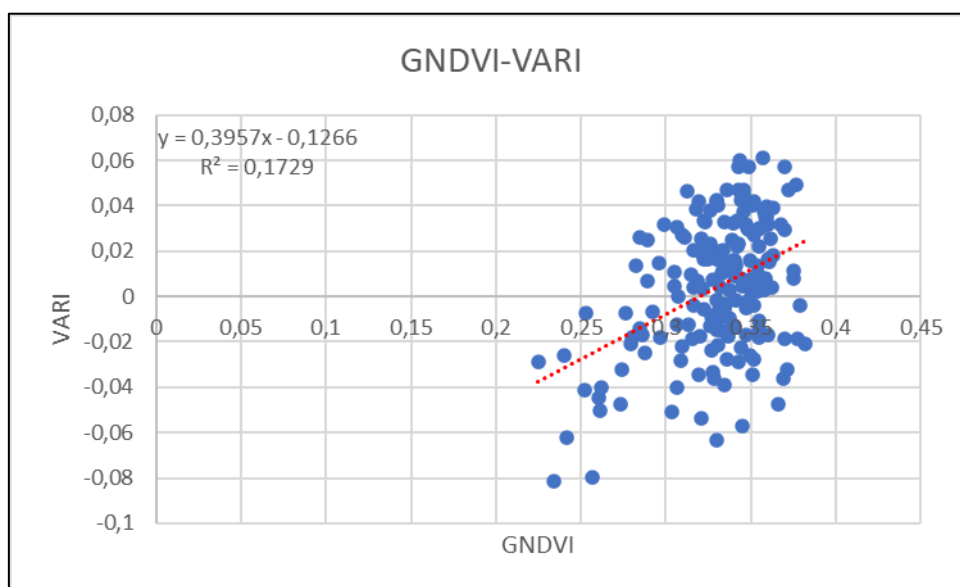
20. ábra NDVI-TGI index összehasonlítása Gödöllő 142 G erdőrézlet adatain
(Forrás: saját munka)



21. ábra NDVI-VARI index összehasonlítása Gödöllő 142 G erdőrézlet adatain
(Forrás: saját munka)



22. ábra GNDVI-TGI index összehasonlítása Gödöllő 142 G erdőrézlet adatain
(Forrás: saját munka)



23. ábra GNDVI-VARI index összehasonlítása Gödöllő 142 G erdőrézlet adatain
(Forrás: saját munka)

4.2 NDVI index származtatása RGB indexek felhasználásával

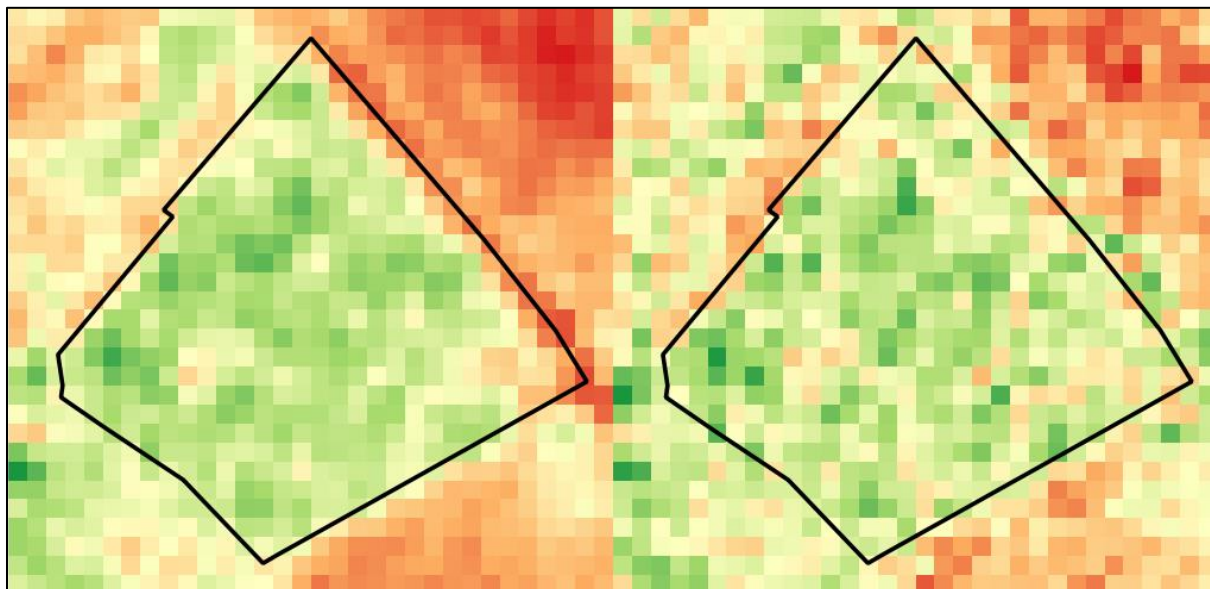
Az Isaszeg 3 B részlet különböző indexei igen erős összefüggést mutatnak, így azokból kiindulva matematikai eszközökkel következtethetünk az NDVI index értékeire.

4.2.1 NDVI index készítése TGI index felhasználásával

Az Isaszeg 3 B erdőrészlet NDVI-TGI lineáris korrelációs összehasonlításából származó lineáris függvény egyenlete a következő:

$$y = 33936x - 4936,1$$

Ezt az egyenletet felhasználva a TGI indexekből számíthatóvá váltak az NDVI értékek a TGI értékeken alapulva (24. ábra). A multispektrális adatokból és a TGI indexből származtatott index közötti korreláció 0,668694924-es értéket mutat, tehát mérsékelten erős kapcsolatot feltételezhetünk közöttük (25. ábra)

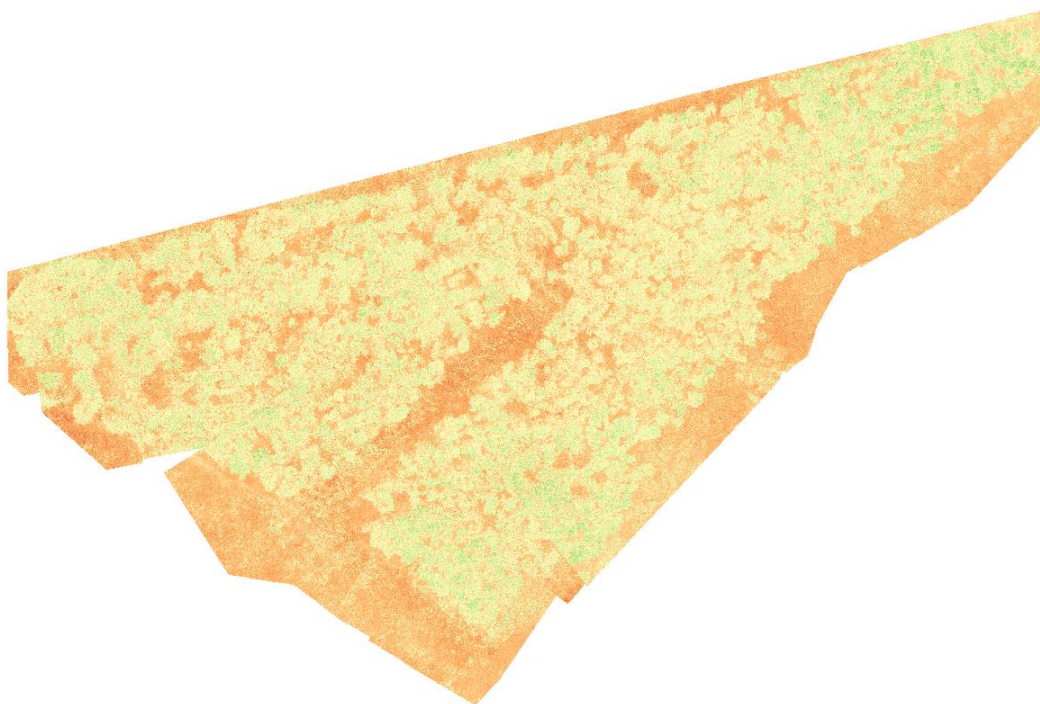


24. ábra Bal oldalon a multispektrális Sentinel-2 adatokat felhasználásával készült NDVI index, míg jobb oldalon a TGI indexből számolt, kizárólag RGB adatokon nyugvó NDVI index
(Forrás: saját munka)

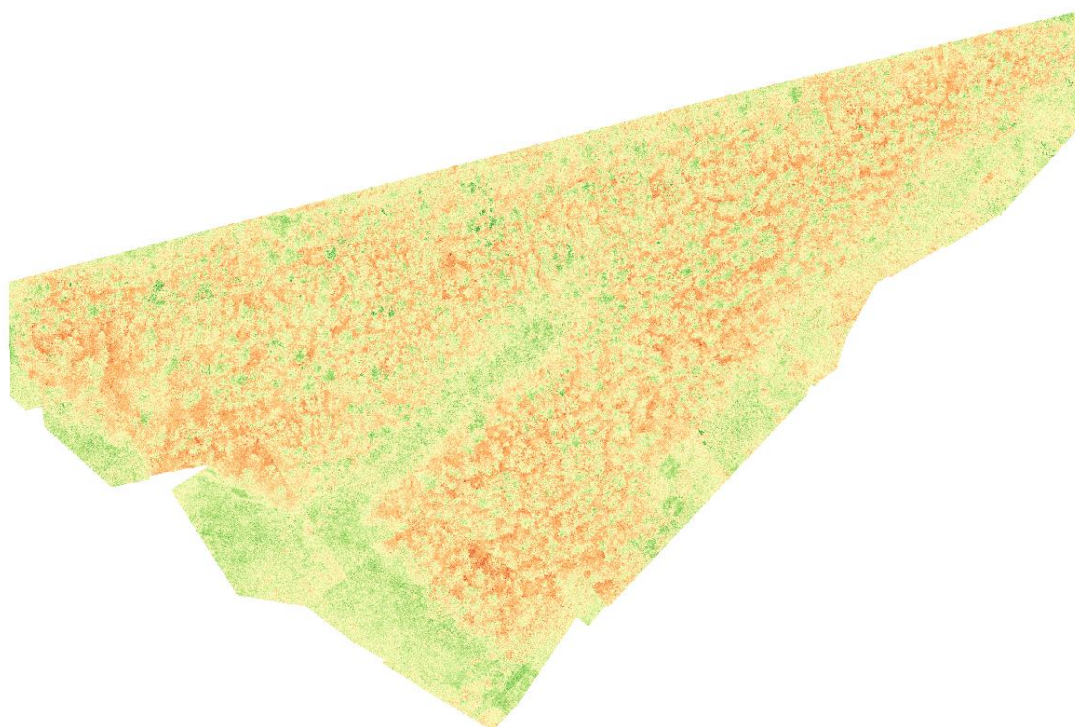
	<i>származtatott NDVI</i>	<i>NDVI</i>
származtatott NDVI	1	
NDVI	0,668694924	1

25. ábra A TGI indexből származtatott és a multispektrális NDVI közötti korreláció
(Forrás: saját munka)

4.3 Nagy felbontású NDVI index származtatása a drón felvételekből az indexek összehasonlításából nyert adatok felhasználásával



26. ábra Drón felvételekből készült TGI index
(Forrás: saját munka)



27. ábra Drón felvételezésen alapuló TGI indexből származtatott NDVI index
(Forrás: saját munka)

Az RGB kamerával rendelkező drónok felvételeiből számítható TGI index. A terepi felvételezés során a drónnak készült képek között nem volt meg a megfelelő átfedés, túl nagy sebességet repülési sebességet választottunk meg. Ebből kifolyólag a képeket összeillesztő szoftverek nem tudták összeilleszteni a képeket egy nagy mozaikká, azokat kézzel, QGIS szoftverben kellett összeállítani. Sajnos, hogy vegetációs indexeket tudjunk számolni az összeállított mozaikból, szükségünk van azok radiometriai korrekciójára. Mivel ezt a képeket összeállító szoftver végezte volna, így az Isaszeg 3 B-re vonatkozó összeállított állománynál elmaradt, így a kapott vegetációs indexek torz eredményt adnak a TGI indexre, ebből kifolyólag az abból származtatott NDVI indexre is (26-27. ábra).

5 Következtetések és javaslatok

A kapott eredményekből arra következtethetünk, hogy használható eredményt kaphatunk a származtatott NDVI indexek használatával.

A statisztikai vizsgálatok azt mutatják, 0,66869492 értékű korrelációs együtthatóval erős kapcsolat van a különböző vegetáció indexek között, azok ugyanazt a vegetációs állapotot vagy aktivitást méri, és hasonló módon reagálnak a növényzet változásaira.

A kapcsolat általánosítása előtt érdemes további, nagyobb területű vizsgálatokat lefolytatni., nagyobb számú mintát vizsgálva. Az indexek közötti kapcsolat további feltárása céljából célszerű lehet kiterjeszteni a mintavételeket nem erdős területekre, mint például mezőgazdasági kezelésben lévőekre. Emellett azt sem szabad elfelejteni, hogy a vizsgált területek évszakos változásai tovább árnyalhatják a konverzió alkalmazhatóságát. Az adatok feldolgozása és átalakítása során minimalizálni kell a feldolgozási és átalakítási eljárások által az adatokba vitt pontatlanságot és torzításokat. Fontos, hogy megfelelő legyen az adatok radiometriai korrekciója. Mint a dolgozat elkészítése során is kiderült, ha ez a lépés elmarad, az gyakorlatilag vegetációs indexek előállítására használhatatlanná tudja tenni a felvett adatokat.

Ha nagy felbontású képekkel dolgozunk, azt sem szabad elfelejteni, hogy a felbontás növekedésével exponenciálisan növekszik a pixelek mennyisége. A származtatott NDVI index előállításához minden pixel esetében ki kell számolni az összefüggés egyenlete szerinti pixelértéket, ami nagyon erőforrásigényes feladat lehet átlagos számítógépek esetében. Mindezek mellett az RGB adatokból származó NDVI előállításának képessége számos előnnyel járhat. Például lehetővé teszi az NDVI térképek előállítását olyan területeken, ahol nincs elérhető Sentinel-2 adat vagy nem áll rendelkezésünkre multispektrális kamerával felszerelt drón és ahol a drónok gyorsan és hatékonyan tudnak információt szolgáltatni. Ez nagy előny lehet mezőgazdasági vagy ökológiai alkalmazásokban, ahol fontos a gyors és pontos információ begyűjtése a vegetációról.

Megfelelő mennyiségű begyűjtött információ segítségével lehet optimalizálni a folyamatot, azt mesterséges intelligenciát vagy gépi tanulási módszereket használva automatizálni is. Az utóbbi években hatalmas fejlődésen mentek át a különböző képfeldolgozási eljárások, amik

gépi vagy akár mélytanulással szélesítheti mind a vegetációs indexek használatát, mind az azok közötti kapcsolat kiaknázását.

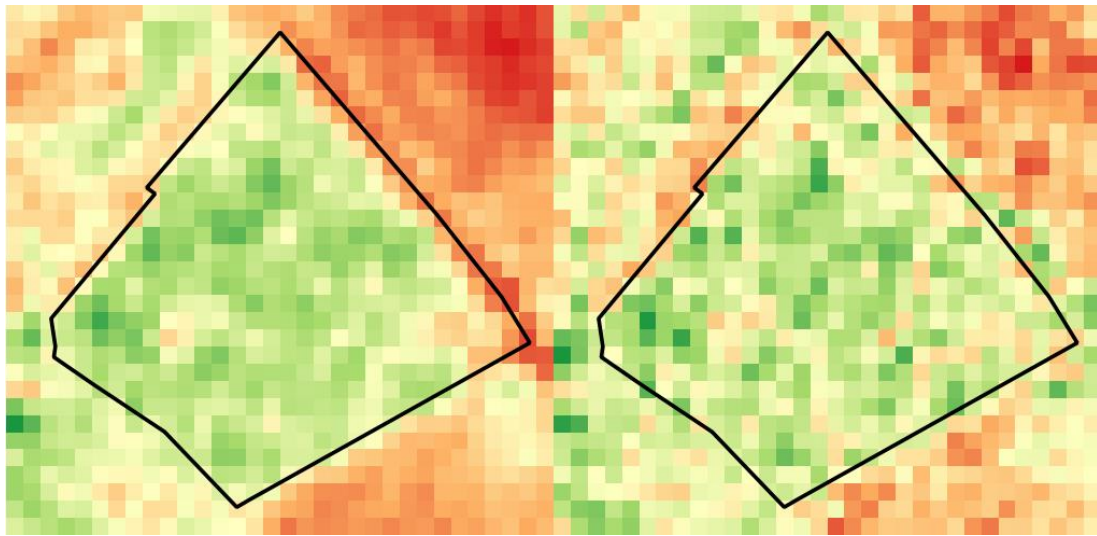
6 Összefoglalás

A dolgozat a Magyarországon egyre romló egészségügyi állapotú erdők felmérésének lehetőségeit vizsgálja vegetációs indexek segítségével. A Gödöllői Arborétum területén, az Isaszeg 3 B és a Gödöllő 143 G állomány szolgáltak mintaterületül. Ezek az állományok az alföldfásítások idején telepített erdei-és feketefenyvesek. A két erdőrészlet különböző egészségügyi képet mutat, az Isaszeg 3 B jobb, míg a Gödöllő 143 G kevésbé jó állapotban van. A dolgozat során Sentinel-2 műholdas adatok kerültek felhasználásra. A Sentinel-2 egy 2015-ben, az Európai Űrügynökség (European Space Agency), által felbocsátott műholdpár, ami nagyfelbontású multispektrális és RGB adatokat szolgáltat. A két műhold maximum 5 napos időközönként készít felvételt a Föld felszínéről. 13 spektrális sávban szolgáltat adatot, a kék hullámhossztól a rövid hullámhosszú infravörösig.

A drónnal történő felvételezésre 2024. március 14-én került sor. A drón repülési sebességét túl nagyra választottuk meg, így összeállításuk nehézkes volt, radiometriai korrekciójuk nem volt lehetséges a rossz adatgyűjtési beállítások miatt.

A Sentinel-2 által szolgáltatott adatokból 4 sáv került felhasználásra különböző vegetációs indexek előállítására. A három RGB sáv, a RED (vörös), a GREEN (zöld) és a BLUE (kék), illetve az NIR (közeli infravörös). Ezekből a sávokból 4 vegetációs indexet számoltam. Multispektrális indexek közül az NDVI-t és a GNDVI-t, látható tartományban TGI-t és VARI-t. A vizsgált indexek használata függhet a felvételi növényzet és légköri állapotoktól. A TGI index kifejezetten a növényzet klorofill tartalmát mutatja meg, a VARI a légkör zavaró hatásaira kevésbé érzékeny. Az elkészült multispektrális és RGB indexek ezután össze lettek hasonlítva, közöttük összefüggéseket keresve. Egy 15*15 m-es háló lett fektetve mindkét erdőrészletre, ezekben a mintapontokban lett leolvasva az egyes indexek pixelértékei, ami a statisztikai összehasonlítás adatait képezte. Varianciaanalízist végeztem az NDVI-TGI, az NDVI-VARI, a GNDVI-TGI és GNDVI-VARI indexek között mind a két erdőrészletben külön-külön. Az eredmények azt mutatták, hogy a nagyobb zöld felülettel rendelkező, egészségesebb Isaszeg 3 B erdőrészlet esetében nagyobb a korreláció az indexek között. Ezután az egyes összehasonlítások pontdiagramon lettek ábrázolva. Az NDVI-TGI index diagramját kiválasztva, arra egyenes fektetve meghatározásra került adatsor közötti függvény egyenlete.

Ezt az egyenletet felhasználva, a gyengébb állomány TGI index pixel értékeiből kiszámoltam egy NDVI indexet, ami előállításához nem volt szükség multispektrális adataira.



28. ábra Multispektrális és számított NDVI indexek
(Forrás: saját munka)

A kapott eredmények mérsékelten erős kapcsolatot feltételeznek a két NDVI index között.

A dolgozat további részében elkészült a drón által felvett RGB légifotó TGI indexe. A TGI indexből tapasztalt összefüggés alapján NDVI indexet származtattam. Mivel nem lehetett a radiometriai korrekciót végrehajtani, így a kapott eredmények is hamis információkkal szolgáltak.

A téma mélyebb elemzése érdekében célszerű lehet vizsgálni azt, hogy az évszakok változása és a vizsgálandó területek felszínborítása hogyan befolyásolja az eredményeket.

7 Irodalomjegyzék

Anton Louise De Ocampo, Argel Bandala, Elmer P. Dadios (2019): Estimation of Triangular Greenness Index for Unknown PeakWavelength Sensitivity of CMOS-acquired Crop Images. DOI:10.1109/HNICEM48295.2019.9072796

Anatoly A. Gitelson, Yoram J. Kaufman, Mark N. Merzlyak (1996): Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, Volume 58, Issue 3, 289-298. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7)

Anatoly A. Gitelson, Yoram J. Kaufman, Robert Stark, Don Rundquist (2002): Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction, *Remote Sensing of Environment* Volume 80, Issue 1, 76-87. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)

David Michael Glenn, Amy Tabb (2018): Evaluation of Five Methods to Measure Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Apple and Citrus, *International Journal of Fruit Science* Volume 19, 191-210. DOI: <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1502720>

Maik Basso, Diego Stocchero, Renato Ventura Bayan Henriques, André Luis Vian, Christian Bredemeier, Andréa Aparecida Konzen, Edison Pignaton de Freitas (2019): Proposal for an Embedded System Architecture Using a GNDVI Algorithm to Support UAV-Based Agrochemical Spraying. *Sensors*, 19(24). DOI: <https://doi.org/10.3390/s19245397>

E. Raymond Hunt Jr., Paul C. Doraiswamy, James E. McMurtrey, Craig S.T. Daughtry, Eileen M. Perry, Bakhyt Akhmedov (2013): A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Volume 21, 103-112, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.020>

E. Raymond Hunt Jr., Jan U. H. Eitel, Dan S. Long (2011): Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy Journal*, Volume 103, Issue 4, 1090-1099 DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0395>

EU – BIZOTTSÁG (2019): 2019/947 VÉGREHAJTÁSI RENDELETE (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 152/45

Gourav Misra, Fiona Cawkwell, Astrid Wingler (2020): Status of Phenological Research Using Sentinel-2 Data: A Review. *Remote sensing*, 2(17). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172760>

http1 ESA (2024): Sentinel-2 operations. European Space Agency honlapja. Letöltés dátuma: 2024.04.25. forrás: https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Sentinel-2_operations

http2 SentinelHub (2024): Sentinel-2 RS indices. Letöltés dátuma: 2024.04.26. <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/indexdb/>

http3 Andrews Iniversity honlapja (2024):. Letöltés dátuma: 2024.04.25. <https://www.andrews.edu/~calkins/math/edrm611/edrm06.htm>

Isajev V., Fady B., Semerci H., Andonovski V. (2003): European black pine (*Pinus nigra*). *Technical guidelines for genetic conservation and use*, p 6

Jakub Brichta, Stanislav Vacek, Zdeněk Vacek, Jan Cukor, Miroslav Mikeska, Lukáš Bílek, Václav Šimůnek, Josef Gallo, Pavel Brabec (2023): Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21st century. *Central European Forestry Journal*, Volume 69, 3-20. DOI: <https://doi.org/10.2478/forj-2022-0020>

Lazaro J. Mangewa, Patrick A. Ndakidemi, Richard D. Alward, Hamza K. Kija, John K. Bukombe, Emmanuel R. Nasolwa, Linus K. Munishi (2022): Comparative Assessment of UAV and Sentinel-2 NDVI and GNDVI for Preliminary Diagnosis of Habitat Conditions in Burunge Wildlife Management Area, Tanzania. *Earth*, 3(3), 769-787 DOI: <https://doi.org/10.3390/earth3030044>

Lim Soon Eng, Rozita Ismail, Wahidah Hashim, Aslina Baharum (2019): The use of VARI, GLI, and VIGREEN formulas in detecting vegetation in aerial images. *International Journal of Technology* 10(7), 1385-1394. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i7.3275>

M. F. Sanner (1999): Python: A programming language for software integration and development

Magyar P. (1961): *Alföldfásítás II. kötet*. Budapest: Akadémia Kiadó

Mayer Z. (1936): *A csonkamagyarországi erdeifenyő telepítések származástani problémái a magvizsgálat szempontjából*. Sopron: Soproni nyomda

N. Lust, G. Geudens, L. Nachtergale (2001): Aspects of biodiversity of Scots pine forests in Europe. *Silva Gandavensis*, Volume 66, 16-39. DOI: <https://doi.org/10.21825/sg.v66i0.816>

Sha Huang, Lina Tang, Joseph P. Hupy, Yang Wang & Guofan Shao (2020): A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, Volume 32, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>

Solymos R., Keresztesi B. (1978): *A fenyők termesztése és a fenyőgazdálkodás*. Budapest: Akadémia Kiadó

Solymosi K., Kövér Gy., Romvári R. (2019): The Development of Vegetation Indices: a Short Overview. *ACTA AGRARIA KAPOSVÁRIENSIS*, Vol 23 No 1, 75–90. DOI: <https://doi.org/10.31914/aak.2264>

Susan Barati, Behzad Rayegani, Mehdi Saati, Alireza Sharifi, Masoud Nasri (2011): Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, Volume 14, Issue 1, 49-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2011.06.001>

Zhangyan Jiang, Alfredo R. Huete, Jin Chen, Yunhao Chen, Jing Li, Guangjian Yan, Xiaoyu Zhang (2006): Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, Volume 101, Issue 3, 366-378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.003>

Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra TGI index alapját képező háromszög
2. ábra Gödöllő 142 G néhány fafajсорos adata
3. ábra Gödöllő 142 G erdőrészlet
4. ábra Gödöllő 142 G néhány fafajсорos adata
5. ábra Isaszeg 3 B erdőrészlet
6. ábra A drón repülési útvonala az adatgyűjtés során az Isaszeg 3 B erdőrészlet felett
7. ábra Drónfelvétellel készített légi fotó az Isaszeg 3 B erdőrészletről
8. ábra A vegetációs indexek készítéséhez felhasznált Sentinel-2 sávok
9. ábra NDVI index a két mintaterületre
10. ábra GNDVI index a két mintaterületre
11. ábra VARI index a két mintaterületre
12. ábra TGI index a két mintaterületre
13. ábra A mintapontok elhelyezkedése a két minta erdőrészletben
14. ábra Isaszeg 3 B erdőrészlet indexeinek variancia analízise
15. ábra Gödöllő 142 G erdőrészlet indexeinek variancia analízise
16. ábra NDVI-TGI index összehasonlítása Isaszeg 3 B erdőrészlet adatain
17. ábra NDVI-VARI index összehasonlítása Isaszeg 3 B erdőrészlet adatain
18. ábra GNDVI-TGI index összehasonlítása Isaszeg 3 B erdőrészlet adatain
19. ábra GNDVI-VARI index összehasonlítása Isaszeg 3 B erdőrészlet adatain
20. ábra NDVI-TGI index összehasonlítása Gödöllő 142 G erdőrészlet adatain
21. ábra NDVI-VARI index összehasonlítása Gödöllő 142 G erdőrészlet adatain
22. ábra GNDVI-TGI index összehasonlítása Gödöllő 142 G erdőrészlet adatain
23. ábra GNDVI-VARI index összehasonlítása Gödöllő 142 G erdőrészlet adatain
24. ábra Bal oldalon a multispektrális Sentinel-2 adatokat felhasználásával készült NDVI index, míg jobb oldalon a TGI indexből számolt, kizárólag RGB adatokon nyugvó NDVI index
25. ábra A TGI indexből származtatott és a multispektrális NDVI közötti korreláció
26. ábra Drón felvételekből készült TGI index
27. ábra Drón felvételezésen alapuló TGI indexből származtatott NDVI index
28. ábra Multispektrális és számított NDVI indexek

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Simon Dávid István
A Hallgató Neptun kódja: MN205D
A dolgozat címe: Fenyő állományok felmérése drón felvételek alapján, spektrális vegetációs indexek használatával
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Műszaki és Informatikai Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Mérnökinformatikai Tanszék

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

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

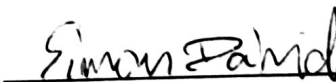
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

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

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

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

Kelt: Gödöllő, 2024. év április hó 26. nap


Hallgató aláírása

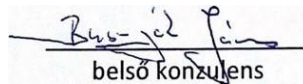
NYILATKOZAT

Simon Dávid István (hallgató Neptun azonosítója: MN205D) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Keszthely, 2024. év április hó 26. nap


belső konzulens