

A NAPRAFORGÓ ÉS A REPCE VIRÁGZÁSÁNAK MŰHOLDAS DETEKTÁLÁSA

Vincze Csilla ^(1, 2) , Birinyi Edina ^(1, 3) , Leelőssy Ádám ⁽²⁾ , Kristóf Dániel ⁽³⁾ ,
Mészáros Róbert ⁽²⁾ , Kern Anikó ⁽⁴⁾ 

⁽¹⁾ ELTE, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földtudományi Doktori Iskola, Budapest

⁽²⁾ ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet,
Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

⁽³⁾ Lechner Tudásközpont Űrtávérzékelési Osztály, 1111 Budapest, Budafoki út 59.

⁽⁴⁾ ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

e-mail: vecsicsi@student.elte.hu, bedina@student.elte.hu, adam.leelossy@ttk.elte.hu,
daniel.kristof@lechnertudaskozpont.hu, meszaros.robert@ttk.elte.hu, aniko.kern@ttk.elte.hu

Bevezetés

A virágzás detektálása és dinamikájának objektív, akár parcella szintű mérése egyre elérhetőbbé és olcsóbbá vált az utóbbi évtizedben. Ezt a nagyobb tér- és időbeli lefedettséget biztosító különféle adatgyűjtési eljárások, mint például a műholdas, repülőgépes vagy drónos felvételezések tették lehetővé. A különböző hullámhossztartományban készült képek feldolgozására ma már széleskörű módszertan áll rendelkezésre, az egyszerű lineáris regresszióktól és korrelációktól az összetett gépi tanulási és mélytanulási technikákig (Centorame et al., 2024).

A repcevirágok távérzékeléses detektálására több optikai mérésen alapuló vegetációs indexet alkalmaztak, mint például az NDYI (Normalized Difference Yellowness Index) (Sulik & Long, 2016), NRFI (Normalized Rapeseed Flowering Index) (Han et al., 2021), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Veloso et al., 2017; d'Andrimont et al., 2020) és az EVI (Enhanced Vegetation Index) (Shen et al., 2009; Misra et al., 2020). Ezzel szemben a napraforgó virágzását eddig csak kevés műholdas tanulmány vizsgálta (l. pl. Amankulova et al., 2023a, 2023b), bár a genotípusok elkülönítése, a gyomazonosítás, a fenológia nyomon követése, valamint a hő-, tápanyag- és vízhiány, illetve a betegségek okozta stressz mérése már lehetséges (Killi et al., 2017; Narin & Abdikan, 2022; Abdikan et al., 2023; Centorame et al., 2024). A fenológia időbeli változása radaros technológiával, a SAR (Synthetic Aperture Radar) műholdakkal, az átlagos megfigyelési szöggel, különböző frekvenciákkal is elemezhető. A SAR technológia előnye az optikai megoldásokkal szemben az, hogy napszaktól és meteorológiai viszonyoktól függetlenül képes információt szolgáltatni a talaj, a növényzet és a vízkészlet állapotáról. A radar estében HH (Horizontal transmitted and Horizontal received), VV (Vertical transmitted and Vertical received) csatornák HH+HV és VV+VH visszaverési arányai és polarizációs együtthatói mérhetők, amelyek szorosan összefüggenek a felszínnel és a rajta élő biomasszával, valamint annak változásaival (Veloso et al., 2017; d'Andrimont et al., 2020; Mercier et al., 2020; Han et al., 2021; Meroni et al., 2021; Qadir et al., 2023).

Az elemzésekhez használt két különböző szenzoron és mérési tartományon alapuló adatbázis az európai Copernicus Program Sentinel missziójának köszönhetően, globálisan és ingyenesen elérhető. Az S1 (Sentinel-1 SAR) esetében 2–5 napos, az S2 (Sentinel-2) esetében 1–6 napos visszatérési idő biztosított két műhold konstelláció esetén. A virágzás dinamikája, valamint kezdete, csúcsa és vége az egyes hullámhossz-tartományokból számított indexek és aránypárok segítségével meghatározható. Jelen kutatás során a repce és a napraforgó virágzásának detektálhatóságát vizsgáltuk egy kiválasztott magyarországi település, Pásztó példáján, Vincze et al. (2024) alapján. E két növény – amellett, hogy fontos ipari olaj- és

gazdasági takarmánynövények – kiváló méhlegelő, így a legnépszerűbb hazai fajtamézeinket adják (Halmágyi & Keresztesi, 1991; Zajácz, 2011).

Adatok és módszerek

A műholdas adatok közül a Sentinel-1 (S1) és a Sentinel-2 (S2) műholdcsalád felvételeit használtuk fel 20 m-es felbontáson a 2020-as és a 2021-es évből Magyarország területére. A vizsgált régiót az elérhető kaptártömegadatsorok és a legtöbb elérhető adatmennyiség, lefedettség függvényében választottuk ki. A napraforgó virágzásának detektálására összesen 18 méhcsalád kaptártömeg adatát gyűjtöttük össze 15 településről a 2021-es évre, ezek közül az elegendő parcella- és műholdfelvétel-sűrűség miatt jelen cikkben 1 települést és 2 méhcsaládot választottunk ki. A repce esetében 9 településről 12 méhcsalád adatát gyűjtöttük össze, majd a leválogatás után 1 település és 2 méhcsalád adatát használtuk fel. A kaptártömeg adatokból meghatároztuk a virágzás kezdetét és végét, valamint a fővirágzás napját, azaz a dandár napot. A dandár nap a maximum kaptártömeg-növekmény napja volt. Az órás kaptártömeg adatsorokhoz begyűjtöttük a méhészek jegyzeteit, hogy milyen méhlegelőn, melyik településen, mikor tartózkodtak. A kaptártömeg-adatokat tisztítottuk az emberi beavatkozásoktól, valamint a virágzási időszakot a napi 1 kg növekményhez, illetve a detektálható utazás, vagy pergetés napjához igazítottuk. Az elemzéshez a 2021-es évre a Lechner Tudásközpont által gépi tanulás módszertannal előállított vetésszerkezeti térképet használtunk fel (Kristóf et al., 2019), amelyről a napraforgó és a repce parcellákat leválogattuk, valamint kiszűrtük az inhomogén gyomos, vagy nehezen azonosítható kis területeket.

A számításokat a Google Earth Engine (GEE) (Gorelick et al., 2017) és az RStudio segítségével végeztük el. A műholdas adatok feldolgozásakor a települések körül 4 km-es övezeteket határoztuk meg, igazodva a méhek által feltehetően leggyakrabban látogatott területekhez. Emellett egy 20 m-es negatív, parcellahatárt definiáltunk, hogy kizárjuk a kevert szélpixeleket. A kiválasztott települések és a leválogatott parcellák adatait, valamint az elérhető műholdfeltételek mennyiségét és minőségét az 1. és a 2. táblázatban foglaltuk össze. Az S1 esetén a felszálló (ascending) és a leszálló (descending) pályairányokat is elkülönítettük. A felszálló pályán haladó a méréseket a műholdak 04 UTC-kor, míg a leszálló pályán haladót 16 UTC-kor végezték.

1. táblázat: A repce virágzásának detektálására felhasznált Sentinel-1 (S1) és Sentinel-2 (S2) adatok 2020. augusztus 1. és 2021. július 31. között.

Vár- megye	Település	S1					S2	Terület	
		Pálya irány *	Pálya száma	Elérhető felvételek száma	Vissza- térési idő	Meg- figyelési szög (°)	Többnyire felhőmentes napok száma**	Parcellák darab száma	Parcellák mérete (hektár)
NÓGRÁD	Pásztó	↓	51	60	~3 nap	36,15	57	4	21,65±15, 75
			153	60		45,17			
			102	61		30,93			
		↑	175	61		40,49			

* A ↑ jelölés a felszálló (ascending ~ 04 UTC) és a ↓ jelölés a leszálló (descending ~ 16 UTC) radarpályát jelöli

** Felhős pixelek aránya < 50% a méréseket magába foglaló adategységben (csempe)

2. táblázat: A napraforgó virágzásának detektálására felhasznált Sentinel-1 (S1) és Sentinel-2 (S2) adatok 2021. április 1. és 2021. október 31. között.

Vár- megye	Település	S1					S2	Terület	
		Pálya iránya *	Pálya száma	Elérhető felvételek száma	Vissza- térési idő	Meg- figyelési szög (°)	Többnyire felhőmentes napok száma**	Parcellák darab száma	Parcellák mérete (hektár)
NÓGRÁD	Pásztó	↓	153	35		45,12	57	9	33,5±28,5
			51	35	~3 nap	36,2			
			102	36		30,95			
		↑	175	36		40,51			

* A ↑ jelölés a felszálló (ascending ~ 04 UTC) és a ↓ jelölés a leszálló (descending ~ 16 UTC) radarpályát jelöli

** Felhős pixelek aránya < 50% a méréseket magába foglaló adategységben (csempé)

A virágzás meghatározása az optikai (S2), valamint a radar alapú műhold mérések (S1) alapján számított indexekkel történt. A radar esetében kétféle megközelítést alkalmaztunk (1) és (2) egyenlet. Az (1) egyenletet Qadir et al. (2023) alkalmazta napraforgóra, míg a (2) egyenlet Han et al. (2021) repcére alkalmazható képletét mutatja be. Az egyenletekben a VV, VH (visszaverődési együtthatók) és ezek arányának változása a növények fenológiai változásával állnak kapcsolatban (Han et al., 2021). Az adatok simítására a Savitzky–Golay (SG) algoritmust (Savitzky & Golay, 1964) és az R nyelven elérhető lokális regressziós függvényt (SM) alkalmaztuk. A függvény illesztésekor – ha a span érték < 1 – az adatok egy bizonyos részhalmazához rendelünk súlyokat, amely súly x_i -től való távolságtól függ, ahol x_j az x_i környezetében lévő adatpontok, és d_i az x_i és a legtávolabbi kiválasztott adatpont közti távolság ((3) egyenlet). A modell egy p -edfokú polinom, amelyet a súlyozott legkisebb négyzetek módszerével illesztünk (Cleveland et al., 1992).

$$RatioA = \sigma_{VH/VV}^0[dB] = \sigma_{VH}^0[dB] - \sigma_{VV}^0[dB] \quad (1)$$

$$RatioB = \frac{\sigma_{VV}^0[dB]}{\sigma_{VH}^0[dB]} \quad (2)$$

$$\omega_j = \left(1 - \left(\frac{|x_j - x_i|}{d_i} \right)^3 \right)^3 \quad (3)$$

Az optikai, S2 műholdfelvételek adatiból a kNDVI $\tanh\left(\frac{B8-B4}{2*0,15}\right)^2$, NDVI $\left(\frac{B8-B4}{B8+B4}\right)$, NDXI₁ $\left(\frac{B5-B12}{B5+B12}\right)$, NDXI₂ $\left(\frac{B7-B12}{B7+B12}\right)$, NDYI $\left(\frac{B3-B2}{B3+B2}\right)$, NRFIg $\left(\frac{B3-B12}{B3+B12}\right)$, NRFIr $\left(\frac{B4-B12}{B4+B12}\right)$, és a PSRI $\left(\frac{B4-B2}{B6}\right)$ indexeket számítottuk ki (Vincze et al., 2023). A virágok megtalálására a számított indexek lokális maximum, minimum, illetve inflexiók pontjainak helyeit kerestük.

Eredmények

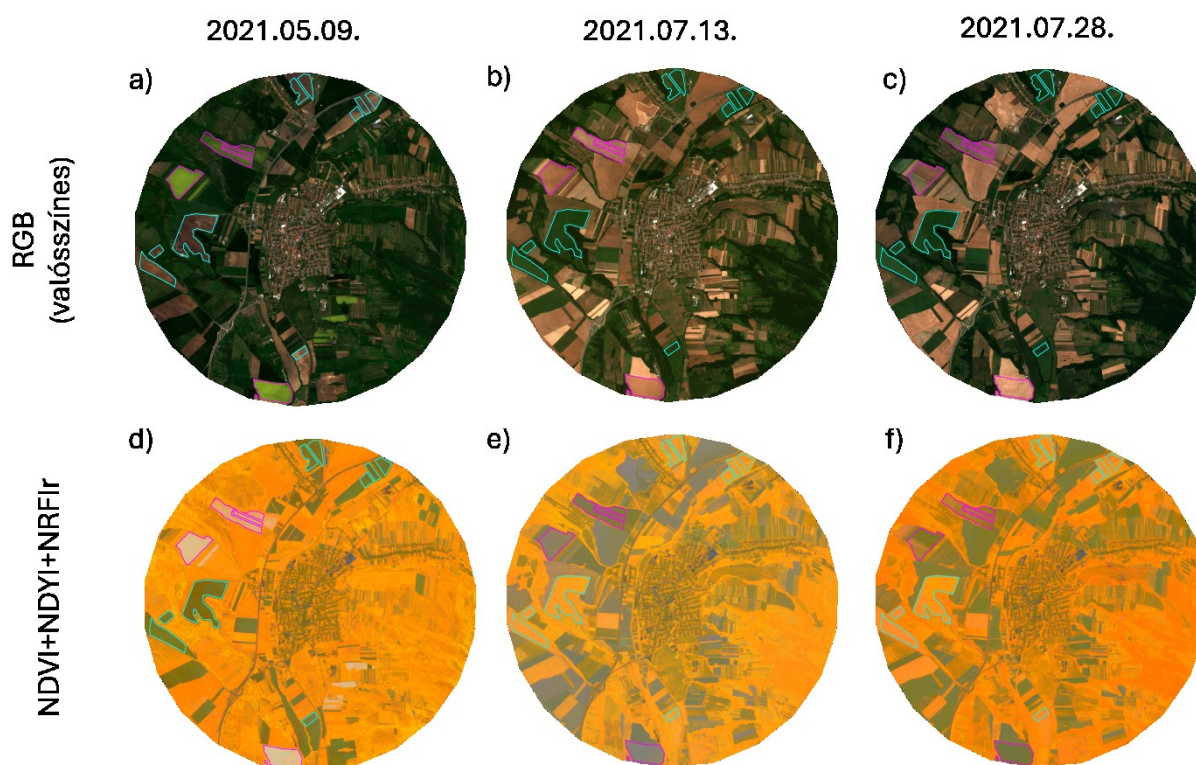
A radart tekintve 2 felszálló és 2 leszálló pálya volt elérhető, amelyeknek a visszatérési ideje átlagosan 3 nap volt. Pásztón összesen 4 repce és 9 napraforgó parcella volt elérhető, amelyek rendre 5,85–37,36 hektár és 5,63–62,04 hektár méretűek voltak.

A kiválasztott parcellákat az 1. ábra mutatja, ahol a) – c)-ig a valószínűs RGB felvételek, míg d) – f)-ig az optikai indexekből előállított hamisszínes kompozitok láthatók. Az a) és a d) felvételeken a repce virágzásának területét a lila poligon jelöli. A napraforgó virágzásának területét a b), c), valamint az e), f) képek jelölik türkizkék poligonon. A repce virágzáskor jól látható a sárgászöld és fehér szín az optikai csatornákon, viszont a napraforgó virágzása nem

különíthető el könnyen az őt körülvevő növényzettől. Az indexekkel előállított felvételeken a csupasz talaj szürkés-kék, szürkészöld – attól függően, hogy a talaj mennyire sötét vagy világos színű – a fejlődő növényzet zöld, a vízfelszínnek és a fehér háztetők sötét-kék, míg a zöld növényzet narancssárga, sárga színnel jelenik meg.

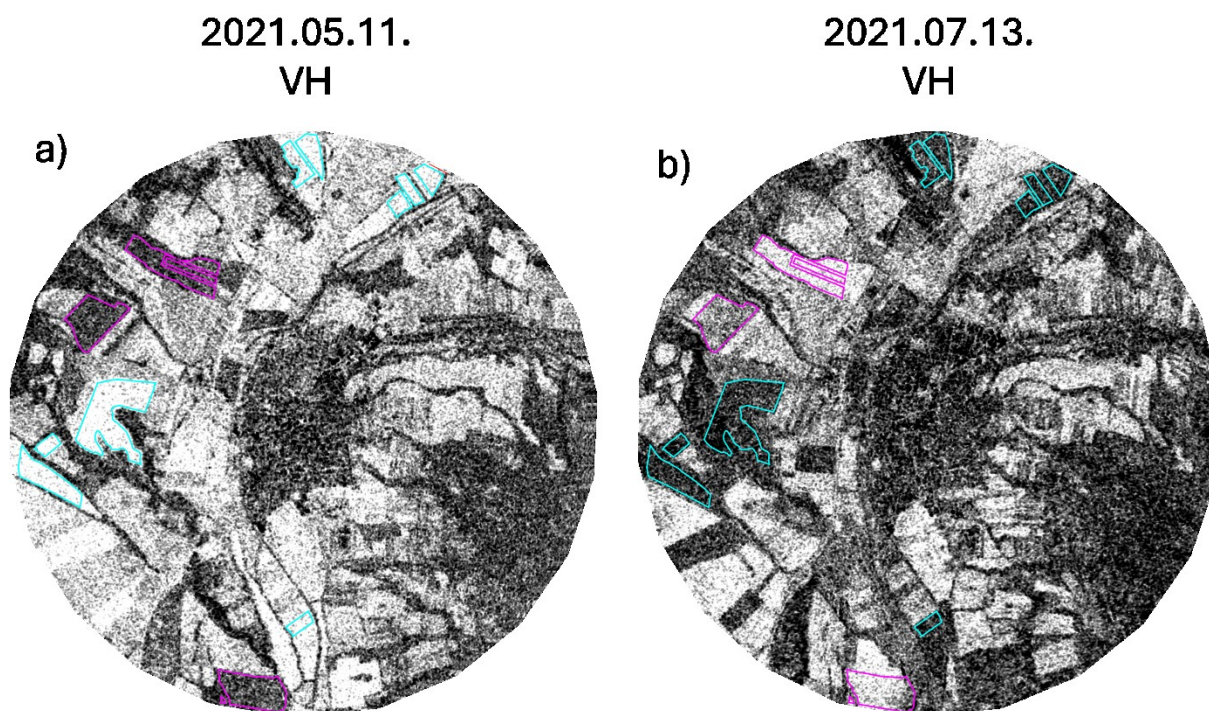
A repce vetéstől számítva radarfelvételek összesen 121 napról, míg optikai felvételek 57 „felhőmentes” napról álltak rendelkezésre. A repce virágzásakor összesen 3 nap volt elérhető az optikai felvételek közül. A virágzás már szemmel is jól azonosítható volt a valószínű kompozitképeken (1. ábra). A méhek 05.02–05.17. között gyűjtöttek repcét, azonban 9 napon csapadék is hullott, amely kissé visszavetette a gyűjtést.

A napraforgó virágzásának detektálására 57 optikai és 142 radar kép állt rendelkezésre. A méhek 07.01. és 08.03. között gyűjtöttek napraforgón, amelyből 13 napon volt csapadék.



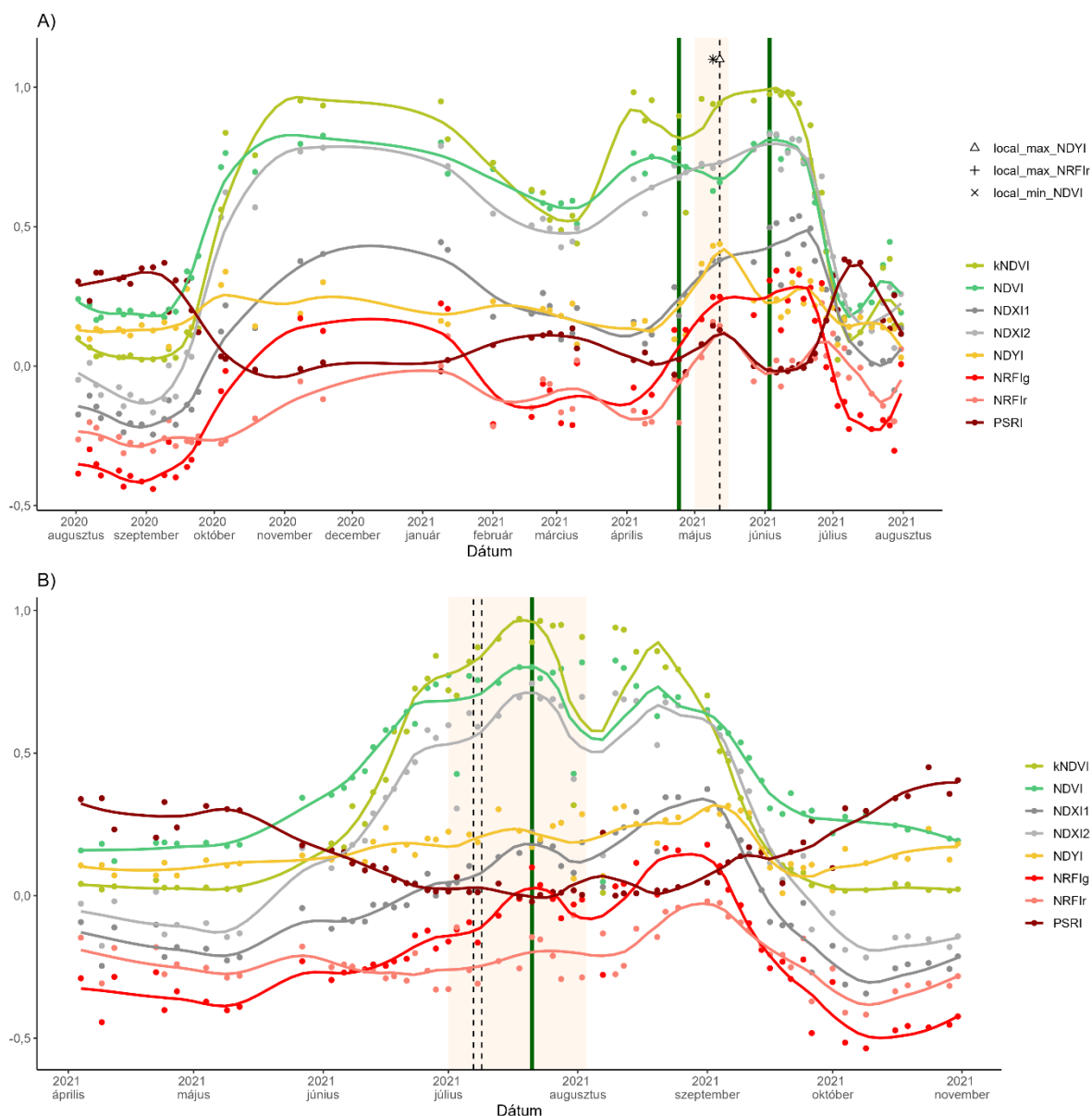
1. ábra: Pászto a Sentinel-2 (S2) felvételein. A felső sorban a valós színes RGB felvételek (a–c), míg az alsó sorban az optikai indexekből (NDVI, NDYI, NDFIR) előállított RGB (hamis színes) képek (d–f) láthatók három napon 2021-ből (05.09., 07.13., 07.28.). A lila poligonok a repce, a türkizkékek a napraforgó virágzásának területét jelölik.

A 2. ábrán Sentinel-1 műholdképekből előállított VH együttható látható két időpontban, a repce és a napraforgó virágzásakor (05.11. és 07.13.). A radarfelvételek vizualizációja kevésbé egyértelmű. A virágzás, valamint a különféle földfelszíni objektumok, térképelemek egy felvétel alapján egymástól nehezen elkülöníthetők.



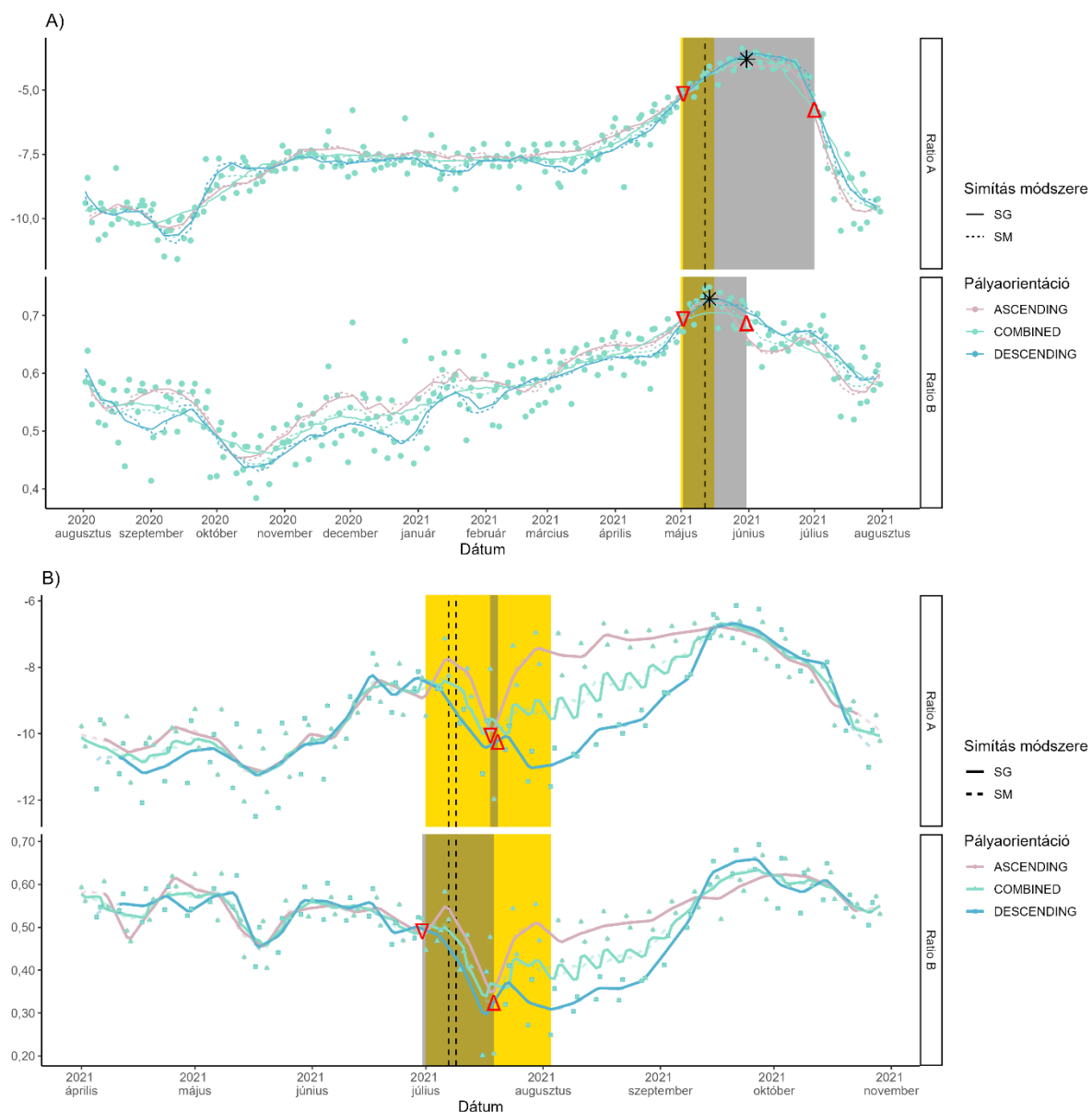
2. ábra: Sentinel-1 (S1), VH (Vertical transmitted and Horizontal received) műholdfelvételek Pásztóra, két időpontban, a repce és a napraforgó virágzásakor a) 05.11. és b) 07.13.
A lila poligonok a repce, a türkizkékek a napraforgó virágzásának területét jelölik.

A vegetációs indexek időbeli menetét a 3. ábra mutatja repce (A) és napraforgó (B) esetén. A krém színű jelölés a méhek gyűjtésének időszakát, míg a szaggatott függőleges vonal a fővirágzást jelzi. A vegetációs indexek megjelenítéséhez lokális regressziót alkalmaztunk $\text{span} = 0,2$ -es simítással. Simítás nélkül a napraforgó esetében az NDVI maximum értéke (függőleges sötétzöld vonal) a virágzást követően jelentkezett. A repce esetében a virágzás azonosítható volt, mivel elegendő felhőmentes nap állt rendelkezésünkre, azonban a napraforgó virágzása az indexek alapján nem látszott egyértelműen. A repce sárga virágainak megjelenésekor lokális maximuma volt az NRFIr, NDYI indexeknek, valamint lokális minimuma az NDVI indexnek. A repce esetében a virágzás előtt és után, míg a napraforgónál a virágzáskor volt az NDVI maximuma (3. ábra sötétzöld függőleges vonal).



3. ábra: Pásztor S2 optikai idősorok (A) repce, (B) napraforgó esetén. A krém színű jelölés a méhek gyűjtési időszakát, a függőleges szaggatott vonal a dandár időszakot jelzi. A folytonos színes vonalak a vegetációs indexek simított értékei (SM; lokális regressziós függvény, loess, span = 0,2-es beállítással). A sötétzöld függőleges vonal az NDVI maximumát jelzi.

Az S1 műholdak méréseiből meghatározott eredmények a 4. ábrán láthatók repce (A) és napraforgó (B) esetén. Az arányok számításához alkalmazott módszereket (RatioA és RatioB) egymás alatt, a pályaorientációt színezéssel (világoskék, világos barna és sötétkék), a simításhoz felhasznált SG és SM módszereket folytonos, illetve szaggatott vonallal, a méhek gyűjtési időszakát sárga területtel ábrázoltuk. A virágzás kezdetét és végét a repce esetében a VH és VV arány inflexió pontjaival, míg a fővirágzást a VH és VV arány lokális maximumával határoztuk meg március 1. és július 1. között. A napraforgó esetén a virágzás kezdete és vége a VH és VV arány első deriváltjának maximumával és az arány lokális minimumával határozható meg június 1. és augusztus 1. között. Ezek az ábrán piros, felfelé és lefelé mutató háromszöggel jelöltek, amelyek a szürke területet zárják közre.



4. ábra: Pásztor S1 idősorok a két módszer alapján (RatioA, RatioB) (A) repce és (B) napraforgó esetén. A csúccsal lefelé mutató piros háromszög az S1 mérések alapján meghatározott virágzás kezdetét, míg a csúccsal felfelé mutató piros háromszög a virágzás végét jelzi, kombinált (COMBINED) pályaaorientáció esetén. A sárga terület a méhek gyűjtési időszakát, a függőleges szaggatott vonal a dandár időszakot jelzi, a csillag az arányok maximum napját. Az időben folytonos vonal az SG (Savitzky–Golay), míg a szaggatott az SM (lokális regresszió, loess függvény) simítási módszert mutatja. A vonalak színe a pályaaorientációt (felszálló = ASCENDING, leszálló = DESCENDING, kombinált = COMBINED) jelöli.

A méhek gyűjtésének időszaka a napraforgó virágzásakor sokkal hosszabb volt, mint az S1 módszerekkel detektált virágzás hossza, míg a repce esetén a viszony megfordult. Pásztor esetében a RatioB módszer jobban megközelítette a virágzás idejét. A repce esetében a virágzást a két inflexiós pont közötti időszak és a Ratio maximum, míg a napraforgó esetében az első inflexiós pont és a Ratio minimum határozta meg. A Ratio maximum jó közelítést adott a repce fővirágzásának időszakára. A felszálló (ascending) és a leszálló (descending) S1 műholdpályák kombinálása esetén a napraforgó virágzásakor periodikusságot figyeltünk meg az SG simítással készített idősorban a RatioA és a RatioB esetében is. Ez a menet főként a virágzás kezdetekor jelenik meg az idősorban és a virágzáson túl is tart. Hasonlót a repce

idősorának elemzésekor nem tapasztaltunk. A mintázat összefügghet az eltérő szögű felvételezésből, a sortávolságból, valamint a tényérok állásából adódó geometriai különbségekkel (4. ábra).

Összefoglalás

D'Andrimont et al. (2020) és Han et al. (2021) megállapították, hogy a repce virágzásának csúcsa (dandár ideje) a VV és az NDVI index csökkenésével, valamint az NDVI, NREIr RatioA maximumával függ össze. A vizsgált területen a VV lokális minimuma a gyűjtés maximumával, valamint az NDVI index lokális minimumával és a VV/VH (RatioB) lokális maximumával esett egybe a vizsgált 2021-es évben. A RatioB index inflexiós pontjai (az 1. derivált maximum és minimum helyei) jó közelítést adtak a virágzás kezdetének és végének detektálására, amely az NDVI 1. és 2. lokális maximumának napjával egyezett meg. A méhek gyűjtése azonban ennél rövidebb időt tett ki, mivel az főként a repce nektár- és pollentermelésével áll összhangban, amikor már hozzáférnek a virágokhoz (nyitott állapot). Az optikai indexek közül a kNDVI, NDVI, NREIr, és PSRI indexnek volt lokális maximuma. A kaptár-adatok, az NDVI, a VV és a RatioB által meghatározott virágzási időtartam összátlatra 1–3 nappal tért el a tagok átlagaitól.

Qadir et al. (2023) szerint a napraforgó virágzásának meghatározására a RatioA leszálló pályán számítva a legeredményesebb. Ez a napraforgó keleti irányú tényérorientációjával is összefügg, amely a virágzás idejére áll be. A virágzás előtt a tényérok napkövető mozgása (heliotropizmus) jellemző. Eredményeik alapján a napraforgóról visszaérkező jelek eltérőek a leszálló, illetve a felszálló pályák esetében, amit mi is megfigyeltünk. A virágzás kezdetét a RatioA inflexiós pontjával, míg a végét a minimumával határozhatjuk meg. A napraforgó esetében az RGB valószínűsítő képek, valamint az egyes csatornák reflektanciájának analízisa nem hozott eredményt. A számított optikai indexekkel kizárólag a repce virágzását tudtuk detektálni. Az NDVI lokális maximuma a napraforgó esetében a virágzást követően volt. A radar adatok esetén a kombinált RatioB, a felszálló RatioA és a felszálló RatioB hozott eredményt.

Köszönetnyilvánítás

Munkánk megvalósítása a KDP-2020 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 993788 pályázati program finanszírozásában történt. Emellett az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt keretében és a TKP2021-NVA-29. számú projekt részeként, az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A kutatásokat a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal OTKA FK-146600 számú pályázata támogatta.

Hivatkozások

Abdikan, S., Sekertekin, A., Narin, O.G., Delen, A., Balik Sanli, F., 2023: A comparative analysis of SLR, MLR, ANN, XGBoost and CNN for crop height estimation of sunflower using Sentinel-1 and Sentinel-2. *Advances in Space Research, Recent Advances in Space Research in Monitoring Sustainable Development Goals*, 71: 3045–3059.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.11.046>

- Amankulova, K., Farmonov, N., Mucsi, L., 2023a: Time-series analysis of Sentinel-2 satellite images for sunflower yield estimation. *Smart Agricultural Technology*, 3: 100098. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100098>
- Amankulova, K., Farmonov, N., Mukhtorov, U., Mucsi, L., 2023b: Sunflower crop yield prediction by advanced statistical modeling using satellite-derived vegetation indices and crop phenology. *Geocarto International*, 38: 2197509. <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2197509>
- Centorame, L., Ilari, A., Del Gatto, A., Foppa Pedretti, E., 2024: A systematic review on precision agriculture applied to sunflowers, the role of hyperspectral imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 222: 109097. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109097>
- Cleveland, W.S., Grosse, E., Shyu, W.M., 1992: Local Regression Models, In: Statistical Models in S. Routledge.
- d'Andrimont, R., Taymans, M., Lemoine, G., Ceglar, A., Yordanov, M., van der Velde, M., 2020: Detecting flowering phenology in oil seed rape parcels with Sentinel-1 and -2 time series. *Remote Sensing of Environment*, 239: 111660. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111660>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017: Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment, Big Remotely Sensed Data: tools, applications and experiences*, 202: 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Halmágyi, L., Keresztesi, B., 1991: *A méhlegelő*, II. ed. Akadémiai Kiadó, Budapest, 309p.
- Han, J., Zhang, Z., Cao, J., 2021: Developing a New Method to Identify Flowering Dynamics of Rapeseed Using Landsat 8 and Sentinel-1/2. *Remote Sensing*, 13: 105. <https://doi.org/10.3390/rs13010105>
- Killi, D., Bussotti, F., Raschi, A., Haworth, M., 2017: Adaptation to high temperature mitigates the impact of water deficit during combined heat and drought stress in C3 sunflower and C4 maize varieties with contrasting drought tolerance. *Physiologia Plantarum*, 159: 130–147. <https://doi.org/10.1111/ppl.12490>
- Kristóf, D., Petrik, O., Pataki, R., Lehoczki, R., Belenyési, M., Friedl, Z., ... & Tanács, E., 2019: Combined use of EO imagery and in situ data for country-wide land cover mapping and monitoring for various applications in Hungary: Status and perspectives. Living Planet Symposium 2019, Italy. <https://www.researchgate.net>
- Mercier, A., Betbeder, J., Baudry, J., Le Roux, V., Spicher, F., Lacoux, J., ... & Hubert-Moy, L., 2020: Evaluation of Sentinel-1 & 2 time series for predicting wheat and rapeseed phenological stages. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 163: 231–256. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.03.009>
- Meroni, M., d'Andrimont, R., Vrieling, A., Fasbender, D., Lemoine, G., Rembold, F., ... & Verhegghen, A., 2021: Comparing land surface phenology of major European crops as derived from SAR and multispectral data of Sentinel-1 and -2. *Remote Sensing of Environment*, 253: 112232. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112232>
- Misra, G., Cawkwell, F., Wingler, A., 2020: Status of Phenological Research Using Sentinel-2 Data: A Review. *Remote Sensing*, 12, 2760. <https://doi.org/10.3390/rs12172760>
- Narin, O.G., Abdikan, S., 2022: Monitoring of phenological stage and yield estimation of sunflower plant using Sentinel-2 satellite images. *Geocarto International*, 37: 1378–1392. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1765886>
- Qadir, A., Skakun, S., Eun, J., Prashnani, M., Shumilo, L., 2023: Sentinel-1 time series data for sunflower (*Helianthus annuus*) phenology monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 295: 113689. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113689>

- Savitzky, Abraham., Golay, M.J.E., 1964: Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Analytical Chemistry*, 36: 1627–1639. <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>
- Shen, M., Chen, J., Zhu, X., Tang, Y., 2009: Yellow flowers can decrease NDVI and EVI values: evidence from a field experiment in an alpine meadow. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 35(2): 99–106. <https://doi.org/10.5589/m09-003>
- Sulik, J.J., Long, D.S., 2016: Spectral considerations for modeling yield of canola. *Remote Sensing of Environment*, 184: 161–174. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.06.016>
- Veloso, A., Mermoz, S., Bouvet, A., Le Toan, T., Planells, M., Dejoux, J.-F., Ceschia, E., 2017: Understanding the temporal behavior of crops using Sentinel-1 and Sentinel-2-like data for agricultural applications. *Remote Sensing of Environment*, 199: 415–426. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.015>
- Vincze C., Leelőssy Á., Kökényesi T., Mészáros R., 2023: Szántóföldi virágzó növények monitorozása Sentinel-2 műholdképekkel. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, 35: 117–123. <https://doi.org/10.31852/EMF.35.2023.117.123>
- Vincze, C., Birinyi, E., Leelőssy, Á., Kristóf, D., Kern, A., 2024: Sunflower anthesis period estimates using Sentinel optical and radar bands coupled with beehive weight data. Submitted to *Remote Sensing*, Under Review.
- Zajácz, E., 2011: Napraforgó hibridek nektártermelési és egyes területi elhelyezési kérdési eltérő agroökológiai adottságok esetén. Doktori értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő.
-

ORCID

- Vincze Cs.  <https://orcid.org/0000-0002-6658-0090>
- Birinyi E.  <https://orcid.org/0009-0008-3464-3991>
- Leelőssy Á.  <https://orcid.org/0000-0001-9583-0127>
- Kristóf D.  <https://orcid.org/0000-0002-1056-9001>
- Kern A.  <https://orcid.org/0000-0002-3504-1668>
- Mészáros R.  <https://orcid.org/0000-0002-0550-9266>
- Kern A.  <https://orcid.org/0000-0002-3504-1668>