



Európa Kollégium Egyetemista Központ, Újvidék

Fodor Máté

A NÖVÉNYZET FENOLÓGIAI
FÁZISÁNAK VIZSGÁLATA MŰHOLDAS
TÁVÉRZÉKELÉSI MÓDSZEREKKEL
MAGYARKANIZSA KÖZSÉG TERÜLETÉN

FÖLDRAJZI MŰHELY

EGYETEMISTA:
Fodor Máté
Újvidéki Egyetem
Műszaki Tudományok Kara

MENTOR:
Dr. Mészáros Minucsér

1. BEVEZETÉS

Egy 1999 februárjában megjelent német tudományos cikk szerint (Menzel & Fabian, 1999), a növényzet fenológiai fázisai (a növényzet különböző fejlődési időszakai) évről évre érzékenyebbek és könnyebben megfigyelhetők, ezáltal mutatója lehet a bioszféra változásainak. A kutatás során megvizsgálták az Európában megfigyelt több mint 30 év¹ adatait, és megállapították, hogy a tavaszi események, például a rügyek kinyílása 6 nappal korábbra tehető, míg az őszi események, például a levelek színváltása 4,8 nappal késik. Ez azt jelenti, hogy az átlagos éves növekedési időszak 10,8 nappal meghosszabbodott az 1960-as évek eleje óta. Ezek az eltolódások a levegő hőmérsékletének változásaihoz vezethetők.

Az északi félteke kontinenseinek nagy részein a hőmérséklet emelkedett az elmúlt században. Különösen a minimum hőmérsékletek mutatnak kifejezettebb emelkedést, mint a maximális hőmérsékletek. (Scheifinger, Menzel, Koch, & Ch, 2003) Tanulmány erősíti meg, hogy Európában a vizsgált területek közül a legtöbb helyen a növények korábbi virágzása figyelhető meg. (Schleip, H. Sparks, Estrella, & Menzel, 2009) E dolgozat készítése során kimutatás készült 1984 és 2019 között fellelhető éves átlaghőmérsékletekből és az éves csapadékmennyiségekből, a vizsgált területhez legközelebb álló hidrometeorológiai állomás (Palics, Szerbia) adatainak vizsgálatával.

A növényzet fenológiai fázisainak megfigyelése és megértése fontos a szárazföldi termelékenység és a globális változás tanulmányozása során. A növényzet fenológiája, például a levélzöldülés kezdetének időpontja, és az öregeedés is távérzékeléssel kimutatható, főleg a normalizált vegetációs index (NDVI) felhasználásával. (Delbart, Kergoat, Le Toan, Lhermitte, & Picard, 2005)

Az NDVI adatok idősoros elemzésével össze lehet foglalni azokat a különféle szakaszokat, amelyekben a zöld növényzet egy teljes növekedési időszak alatt megy át. Az ilyen idősorok elemzése lehetővé teszi az adott évszak legfontosabb fenológiai változóinak vagy mutatóinak kinyerését. Ezek a jellemzők nem feltétlenül felelnek meg közvetlenül a szokásos, földi fenológiai eseményeknek, ám utalnak az ökoszisztéma dinamikájára. (Duarte, A. C., & Gonçalves, 2014)

A kutatás során alkalmazott NDVI értékek a vizsgált területre LANDSAT 5, LANDSAT 7, LANDSAT 8 és SENTINEL 2B műholdképek segítségével lettek meghatározva. A vizsgált időszak a műholdak küldetési idejéhez igazodik.

A felvételek közötti böngészés, kutatás, számítások elvégzése, kimutatások készítése, felvételek exportálása a GOOGLE EARTH ENGINE – CODE EDITOR² online platform segítségével valósult meg. A felület JavaScript programnyelvet használ.

¹ 1951–1999

² <https://code.earthengine.google.com>

A hisztogramok elemzésekor nem hagyható figyelmen kívül a meteorológiai adatok összevetése sem, mivel előfordulhatnak bizonyos különbségek, melyek az átlaghőmérséklethez, csapadékmennyiséghez vezethetők vissza.

1.1. Landsat misszió

A Landsat misszió a NASA és az Amerikai Egyesült Államok Földtani Intézete (United States Geological Survey, USGS) által valósul meg, 1972 óta gyűjti a Föld felszínéről készült képeket. A misszió küldetése a környezeti változások jobb megértése, a mezőgazdasági és a globális folyamatok nyomon követése stb. A felvételek a Földtani Intézet (USGS) egy 2008-as döntése alapján, szabadon hozzáférhetőek bárki számára. (NASA – National Aeronautics and Space Administration, 2020) A dolgozatban felhasznált felvételeket készítő műholdak és azok küldetési ideje telje nevük szerint a következők:

- Landsat 5 Thematic Mapper (TM) (1984. március – 2012. május)³
- Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) (1999. július – jelenleg)⁴
- Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) (2013. április – jelenleg)⁵

1.2. Copernicus program – Sentinel 2

A Copernicus program az Európai Uniónak az ESA-val (Európai Űrügynökség) történő együttműködésében végrehajtott nagyszabású kutatási küldetés. Célja a pontos, gyors, megbízható és könnyen hozzáférhető információval szolgálni a Földről: a szárazföldek felszínéről, a tengerekről és óceánokról, a légkörről. A számos alkalmazási területe közé tartozik a környezetvédelem, a klímaváltozás kutatása, természeti katasztrófák megelőzése, illetve következményeik elhárításának segítése, a felszínborítás és földhasználat változásának nyomon követése, a növényzet fejlődésének monitorozása, mezőgazdasági termésbecslés, erdőgazdálkodás. (Ferey, Sentinel-2B: hamarosan indul!, 2017, ESA – European Space Agency, 2015)

A Copernicus program műholdjai a Sentinel (magyarul: őrszem) nevet viselik. A 2-es számú programban 2 műhold vesz részt, a Sentinel-2A és Sentinel-2B Feladatuk optikai távérzékelés végzése. Kör alakú pályájuk 786 km magasan, közel a pólusok felett húzódik, 290 km szélességben készíti a felvételeket. A két műhold napszinkron pályára van állítva, ami azt jelenti, hogy amikor elrepülnek az Egyenlítő felett, alattuk helyi időben mindig ugyanannyit mutatnak az órák. Ez lehetővé teszi, hogy a földfelszín egy-egy területét a műhold minden

³ (USGS – United States Geological Survey, 2020)

⁴ (USGS – United States Geological Survey, 2020)

⁵ (USGS – United States Geological Survey, 2020)

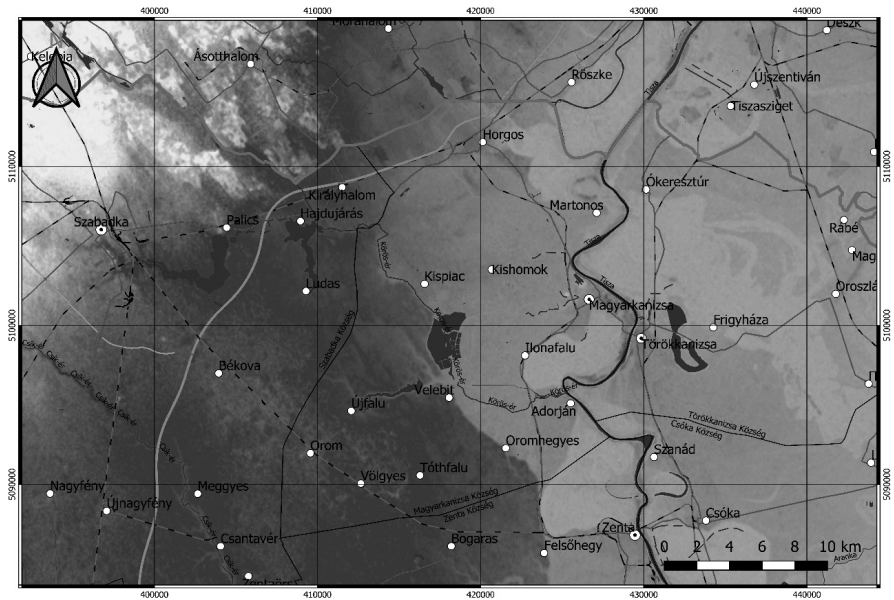
visszatérése során a napnak ugyanabban az időszakában figyelje meg. A készített felvételek ortorektifikált formában bárki számára szabadon hozzáférhetők. A műholdképek egyenként 100 km × 100 km területet fednek le UTM/WGS vetületben. (ESA – European Space Agency, 2015) A két műhold a 84°-os északi és déli szélességek közötti területeket képes felmérni, méghozzá 5 naponta teljes egészében. (A visszatérési idő magasabb szélességeken még sűrűbb.) A kutatási program 7,5 évre van tervezve. (Ferey, Elindult a Sentinel-2B, 2017)

2. ADATOK ÉS MÓDSZEREK

2.1. A vizsgált terület

Magyarkanizsa község közigazgatásilag Vajdaság Észak-bánsági körzetéhez tartozik, ám földrajzilag Bácskában található. Területe 399 km². A községet 13 település alkotja, ezek név szerint Adorján, Horgos, Ilonafalu, Kishomok, Kispiac, Magyarkanizsa, Martonos, Orom, Oromhegyes, Tóthfalu, Újfalú, Velebit, Völgyes. A község közigazgatási központja, egyben legnagyobb települése Magyarkanizsa. A települések jellegeit tekintve egy kivétellel mind falu, a kivétel Magyarkanizsa, ami inkább kisváros jellegű település. A község lakosainak száma kb. 20000 főre tehető. Lakosságának túlnyomó többsége mezőgazdaságból él.

A község földrajzilag Bácska északi részén található. Tengerszint feletti magassága 70 m és 110 m között mozog. Meghatározó folyója a Tisza, ezen kívül területén folyik át, és torkollik a Tiszába a Körös-patak is. Két nagyobb mesterséges tóval rendelkezik, ezek a Velebiti-víztározó és a Kapitányréti-halastó. Utóbbin egy halvállalat működik. Az említett folyókon és tavakon kívül több mesterséges kanális is megtalálható a területen. Északi részén, közvetlenül a magyar határ mentén terül el a Szelevényi-puszta természetvédelmi rezervátum. Éghajlatát tekintve kontinentális, meleg nyarak, hideg telek jellemzik, habár megjegyzendő, hogy az utóbbi években egyre enyhébbek voltak a telek. (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2020)



1. ábra: A vizsgált terület térképe

2.2. Adatok és azok importálása

A műholdképeket 1984 márciusától 2020 novemberéig terjedően vannak kiválasztva. Az említett időszakban lehetőség szerint az év ugyan azon napjain készült felvételek közül van válogatva, a felhőtakaró értéke 30%-ra van maximalva. A Landsat műholdképek az egész vizsgált területet lefedik, a Sentinel 2 képeknél a terület egész lefedéséhez két darab műholdkép kollekciónjára van szükség.

A tavaszi fenológiai fázisok vizsgálatánál a Landsat felvételek egy, lehetőleg 10 éves periódust követve, március 12. és április 1. magasságában vannak vizsgálva. A kutatás összesen 14 darab műholdfelvétellel dolgozott, megoszlásuk szerint 4 Landsat a március 12-i időszakra, és úgyszintén 4 az április 1-ire. A Sentinel felvételeket illetően 2 márciusi és 4 októberi lett analízálva.

A következő táblázat (1. táblázat) ismerteti a Landsat felvételek sorszámát, készítésük időpontját és a műhold típusát a tavaszi időszakra:

| N _o | SORSZÁM (LANDSAT_ID) | DÁTUM | MŰHOLD TÍPUSA |
|----------------|--|---------------|---------------|
| 1. | LT05_LITP_187028_19910313_20180212_01_T1 | 1991. 03. 13. | Landsat 5 |
| 2. | LT05_LITP_187028_20020311_20180501_01_T1 | 2002. 03. 11. | Landsat 5 |
| 3. | LE07_LITP_187028_20110312_20161210_01_T1 | 2011. 03. 12. | Landsat 7 |
| 4. | LC08_LITP_187028_20200312_20200325_01_T1 | 2020. 03. 12. | Landsat 8 |
| 5. | LT05_LITP_187028_19860331_20180212_01_T1 | 1986. 03. 31. | Landsat 5 |
| 6. | LT05_LITP_187028_19980401_20180212_01_T1 | 1998. 04. 01. | Landsat 5 |
| 7. | LE07_LITP_187028_20060330_20170110_01_T1 | 2006. 03. 30. | Landsat 7 |
| 8. | LC08_LITP_187028_20160402_20170327_01_T1 | 2016. 04. 02. | Landsat 8 |

1. táblázat: A tavaszi időszakban vizsgált felvételek

Az őszi fenológiai fázisok vizsgálatánál a Landsat műholdfelvételek úgyszintén, lehetőség szerint, egy körülbelül 10 éves periódust követve, október 25. és november 1. közötti időszakban lettek kiválasztva. Az őszi időszakra jellemző jelentős felhőborítottság miatt kevesebb, a dolgozathoz megfelelő felvételt lehet felhasználni. A munka e szakasza összesen 4 darab Landsat és 4 darab Sentinel műholdképpel foglalkozik. A következő táblázat (2. táblázat) bemutatja a Landsat felvételek sorszámát, készítésük időpontját és a műhold típusát:

| N _o | SORSZÁM (LANDSAT_ID) | DÁTUM | MŰHOLD TÍPUSA |
|----------------|--|---------------|---------------|
| 1. | LT05_LITP_187028_19861025_20170216_01_T1 | 1986. 10. 25. | Landsat 5 |
| 2. | LT05_LITP_187028_19941031_20170111_01_T1 | 1994. 10. 31. | Landsat 5 |
| 3. | LT05_LITP_187028_20051029_20161123_01_T1 | 2005. 10. 29. | Landsat 5 |
| 4. | LC08_LITP_187028_20171030_20171109_01_T1 | 2017. 10. 30. | Landsat 8 |

2. táblázat: Az őszi időszakban vizsgált felvételek

Egy adott év részletesebb vizsgálathoz remekül felhasználhatók a Sentinel 2 műhold által készített felvételek. A műhold átlagos visszatérési ideje 5 nap⁶, ami lényegesen alacsony a Landsat műholdakéhoz képest (Landsat 5, 7, 8: 16 nap – kombinálva 8 nap). Ilyen visszatérési idővel egy átlagos évben körülbelül 73 alkalommal készít felvételt ugyanarról a területről, ezáltal nagy a valószínűsége annak, hogy minden hónapban találni olyan felvételt, amelyen felhőborítottság egyáltalán nincs vagy megengedhető az NDVI adatok kimutatásához.

A munka során a Landsat és Sentinel 2 műholdak felvételei külön lettek vizsgálva. A Sentinel 2 visszatérési idejéből kifolyólag, a felvételek szinte minden év ugyan azon napjain készülnek, ezáltal lehetőség nyílt a részletesebb analízisra.

Az ismertetett adatok a Google Earth Engine – Code Editor⁷ platform segítségével vannak exportálva. A felület bárki számára elérhető, a munkához egy Google fiókkal (Gmail) való regisztráció szükséges. A megfelelő felvételek, az NDVI értékek kiszámítása és a hisztogramok generálása is a felületen valósult meg. A raszterek letöltése a Google Drive-ra való exportálás után jöhetett létre, *.TIFF* kiterjesztéssel. A raszterekhez generált hisztogram értékei *.csv* formátumban lettek elmentve. A kutatáshoz felhasznált programkódok a dolgozat végén, a „MELLÉKLET – GOOGLE EARTH ENGINE KÓDOK” cím alatt vannak ismertetve. A kódok JavaScript programnyelvben íródtak.

A letöltött NDVI raszterek további formálása a nyílt forráskódú QGIS 3.4.14 térinformatikai alkalmazáson belül valósult meg. A hisztogram adatok összevétele és az éves NDVI értékek alakulásának kimutatása a Microsoft Office Excel 2013 programban történt.

A csapadékmennyiséget és átlaghőmérsékletet illető értékeket a szerbiai hidrometeorológiai intézet (Republički hidrometeorološki zavod Srbije) által kiadott éves jelentésekből származnak, 1984 és 2020 között. A vizsgált területhez a palicsi meteorológiai mérőállomás található legközelebb, ezen állomás adataival van dolgozva. Az éves jelentések megtalálhatók az intézet hivatalos honlapján⁸, kivételt képeznek az 1985-től 1991-ig⁹ terjedő időszakra vonatkozó mérési adatok.¹⁰ A hiányzó időszak adatai a kutatás során nem lettek felhasználva.

⁶ A visszatérési idő a 2017-es felvételekre 10 nap, csak 2018 januárjától 5 nap.

⁷ <https://code.earthengine.google.com>

⁸ http://www.hidmet.gov.rs/latin/meteorologija/klimatologija_godisnjaci.php

⁹ Az 1990-es éves jelentés megtalálható, de nem szerepelnek benne a palicsi mérőállomás adatai.

¹⁰ Az 1999-es évben bombatalálat érte a palicsi mérőállomás környékét. Márciustól májusig hiányosak, májustól augusztusig nem lelhetők fel adatok.

| Landsat 5 TM sávok (BANDS) | Hullámhossz [μm] | Felbontás [pixel/m] |
|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Band 1 – Visible | 0,45 – 0,52 | 30 |
| Band 2 – Visible | 0.52 – 0.60 | 30 |
| Band 3 – Visible | 0.63 – 0.69 | 30 |
| Band 4 – Near-Infrared | 0.76 – 0.90 | 30 |
| Band 5 – Near-Infrared | 1.55 – 1.75 | 30 |
| Band 6 – Thermal | 10.40 – 12.50 | 120 |
| Band 7 – Mid-Infrared | 2.08 – 2.35 | 30 |

3. táblázat: Landsat 5 TM sávjai¹¹

| Landsat 7 ETM+ sávok (BANDS) | Hullámhossz [μm] | Felbontás [pixel/m] |
|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Band 1 – Visible | 0.45 – 0.52 | 30 |
| Band 2 – Visible | 0.52 – 0.60 | 30 |
| Band 3 – Visible | 0.63 – 0.69 | 30 |
| Band 4 – Near-Infrared | 0.77 – 0.90 | 30 |
| Band 5 – Short-wave Infrared | 1.55 – 1.75 | 30 |
| Band 6 – Thermal | 10.40 – 12.50 | 60 |
| Band 7 – Mid-Infrared | 2.08 – 2.35 | 30 |
| Band 8 – Panchromatic (PAN) | 0.52 – 0.90 | 15 |

4. táblázat: Landsat 7 ETM+ sávjai¹²

| Landsat 8 OLI sávok (BANDS) | Hullámhossz [μm] | Felbontás [pixel/m] |
|------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Band 1 – Visible | 0.43 – 0.45 | 30 |
| Band 2 – Visible | 0.450 – 0.51 | 30 |
| Band 3 – Visible | 0.53 – 0.59 | 30 |
| Band 4 – Red | 0.64 – 0.67 | 30 |
| Band 5 – Near-Infrared | 0.85 – 0.88 | 30 |
| Band 6 – SWIR 1 | 1.57 – 1.65 | 30 |
| Band 7 – SWIR 2 | 2.11 – 2.29 | 30 |
| Band 8 – Panchromatic (PAN) | 0.50 – 0.68 | 15 |
| Band 9 – Cirrus | 1.36 – 1.38 | 30 |

5. táblázat: Landsat 8 OLI sávjai¹³¹¹ (USGS – United States Geological Survey, 2020)¹² (USGS – United States Geological Survey, 2020)¹³ (USGS – United States Geological Survey, 2020)

| Sentinel-2 sávok (BANDS) | Központi hullámhossz [μm] | Felbontás [pixel/m] |
|--------------------------------------|--|---------------------|
| Band 1 – Coastal aerosol | 0,443 | 60 |
| Band 2 – Blue | 0,490 | 10 |
| Band 3 – Green | 0,560 | 10 |
| Band 4 – Red | 0,665 | 10 |
| Band 5 – Vegetation Red Edge | 0,705 | 20 |
| Band 6 – Vegetation Red Edge | 0,740 | 20 |
| Band 7 – Vegetation Red Edge | 0,783 | 20 |
| Band 8 – NIR | 0,842 | 10 |
| Band 8A – Vegetation Red Edge | 0,865 | 20 |
| Band 9 – Water vapour | 0,945 | 60 |
| Band 10 – SWIR – Cirrus | 1,375 | 60 |
| Band 11 – SWIR | 1,610 | 20 |
| Band 12 – SWIR | 2,190 | 20 |

6. táblázat: Sentinel 2 sávjai¹⁴

2.3. NDVI számítás

A normalizált vegetációs index (NDVI) -1 és 1 közötti racionális szám, amely egy adott területen lévő vegetáció meglétét, fejlettségét, állapotát és fotoszintetikus aktivitását mutatja. Értékét a növényzet által a közeli infravörös (NIR) és a látható vörös (RED) spektrális tartományában visszavert (radiometriailag korrigált) intenzitások különbségének és összegének hányadosa adja. (Berke, Báldoghi, Major, & Kozma-Bognár, 2011)

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$$

Az NDVI értékek kiszámításának képlete az alkalmazott műholdak felvételeihez a következők:

- **Landsat 5:**

$$NDVI_{Landsat5} = \frac{(Band4-Band3)}{(Band4+Band3)}$$

¹⁴ (ESA – European Space Agency, 2015)

- **Landsat 7:**

$$NDVI_{Landsat7} = \frac{(Band4 - Band3)}{(Band4 + Band3)}$$

- **Landsat 8:**

$$NDVI_{Landsat8} = \frac{(Band5 - Band4)}{(Band5 + Band4)}$$

- **Sentinel 2:**

$$NDVI_{Sentinel2} = \frac{(Band8 - Band4)}{(Band8 + Band4)}$$

Az NDVI index erősen korrelál a területet borító növényzet fajlagos klorofill tartalmával. Az egyenlettel definiált vegetációs index a mezőgazdasági-, erdészeti-, vízügyi-, illetve természetvédelmi gyakorlatban elfogadott. (Mika János, Utasi Zoltán, Biró Csaba, Péntzesné Kónya Erika, 2011) Értékét tekintve, a nullához közeli érték a növényzet hiányát illetve kóros elváltozását, a 0,2 és 0,3 körüli értékek ritka növényzetet (pl. füves, bokros terület) jelenítenek meg, míg a 0,8–1,0 értékek sűrű zöld színű és egészséges növényzetre utalhatnak. A negatív NDVI értékek pedig nem növényi vegetáció (víz, hótakaró, kő, szikla, felhőborítottság stb.) jelenlétét feltételezik. (Berke, Báldoghi, Major, & Kozma-Bognár, 2011) Az értékek értelmezésekor tudnunk kell, hogy a vizsgált területen éppen mi található, nehogy téves következtetéseket vonjunk le. Remek példa erre egy búzatábla vizsgálata.

Az NDVI index szerint, ha az érték közelít a nullához feltételezhető, hogy a növényzet beteg. Magyarán remekül szolgálhat az említett búzatábla vegetációs indexe aratási időszakban van tanulmányozva. Az NDVI számítása után az értékek nullához közel lesznek, megeshet, hogy negatív szám. Az elemzett növényfajta ismerete nélkül joggal feltételezhető, hogy a növényzet beteg, viszont a növény csak életidejének végéhez ért, ami ugyan olyan adatokat preferál, mintha beteg lenne. Az ilyen és ilyesfajta hibák megelőzése végett elengedhetetlen a növénytakaró ismerete.

Az elsők közt Krieg és munkatársai fedezték fel a matematikai összefüggést az NDVI indexre. A gyakorlati alkalmazással kapcsolatos első publikáció, a vegetációs vizsgálatra jóval később, 1974-ben jelent csak meg. (Berke, Báldoghi, Major, & Kozma-Bognár, 2011)

A kutatásban felhasznált NDVI adatokat a QGIS 3.4.14 program felhasználásával számítottam ki. A raszterek csempéinek értékeit színskálához kötöttem, a piros -1-es értéket jelöl, a sötétzöld pedig 1-es értéket (2. ábra).

2. ábra: NDVI színskála

2.4. Hisztogram analízálás

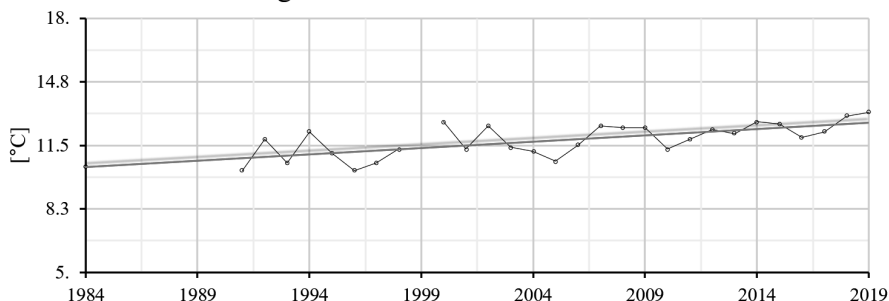
Digitális képek, raszterek alapvető statisztikája a képi hisztogram, amely a radiometriai felbontásnak megfelelő skálán megadja, mely intenzitásértékekből mennyi található az adott spektrumtartományban.

3. EREDMÉNYEK

A fenológiai fázisok ismertetése előtt elengedhetetlen, a vizsgált periódusra (1984–2020) vonatkozó éves átlaghőmérsékleti és csapadékmennyiségi adatok szemügyre vétele.

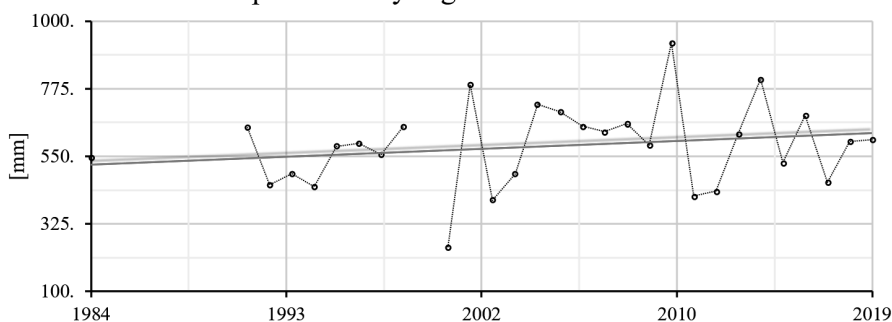
A hőmérsékleti adatok jól mutatják, hogy egy az éves átlaghőmérséklet 1984 óta emelkedett. A diagramon (1. diagram) piros vonal jelöli a melegedés átlagos irányát. Az utóbbi években a hőmérséklet egy monoton tendenciát követve, szinte évről évre növekszik, amíg 1984-es év átlaghőmérséklete $10,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ¹⁵ volt, addig a 2019-es évé $13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ¹⁶, ami majd 3°C melegedést jelent.

Éves átlaghőmérsékleti adatok alakulása – Palics



1. diagram: Éves átlaghőmérséklet alakulása 1984–2019 a palicsi mérőállomás adataiból

Éves csapadékmennyiségi adatok alakulása – Palics



2. diagram: Éves csapadékmennyiség alakulása 1984–2019 a palicsi mérőállomás

¹⁵ (Socijalistička Federativna Republika Jugoslavija – Hidrometeorološka služba, 1988)

¹⁶ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2020)

Ami az éves csapadékmennyiséget illeti, bármennyire is meglepőnek tűnik, de átlagos mértékben emelkedés mutatható ki. Viszont ez nem azt jelenti, hogy évről – évre több az eső mennyisége. A növekvő tendenciát valószínűleg a kiugró értéket adják. Megfigyelhető, hogy minden kimagasló csapadékmennyiség után csökkenés olvasható le a diagramról (2. diagram). Az is megállapítható, hogy az elmúlt három évben (2017, 2018, 2019) az 1984–2019-es átlaghoz képest alacsonyabb mennyiségű eső esett.

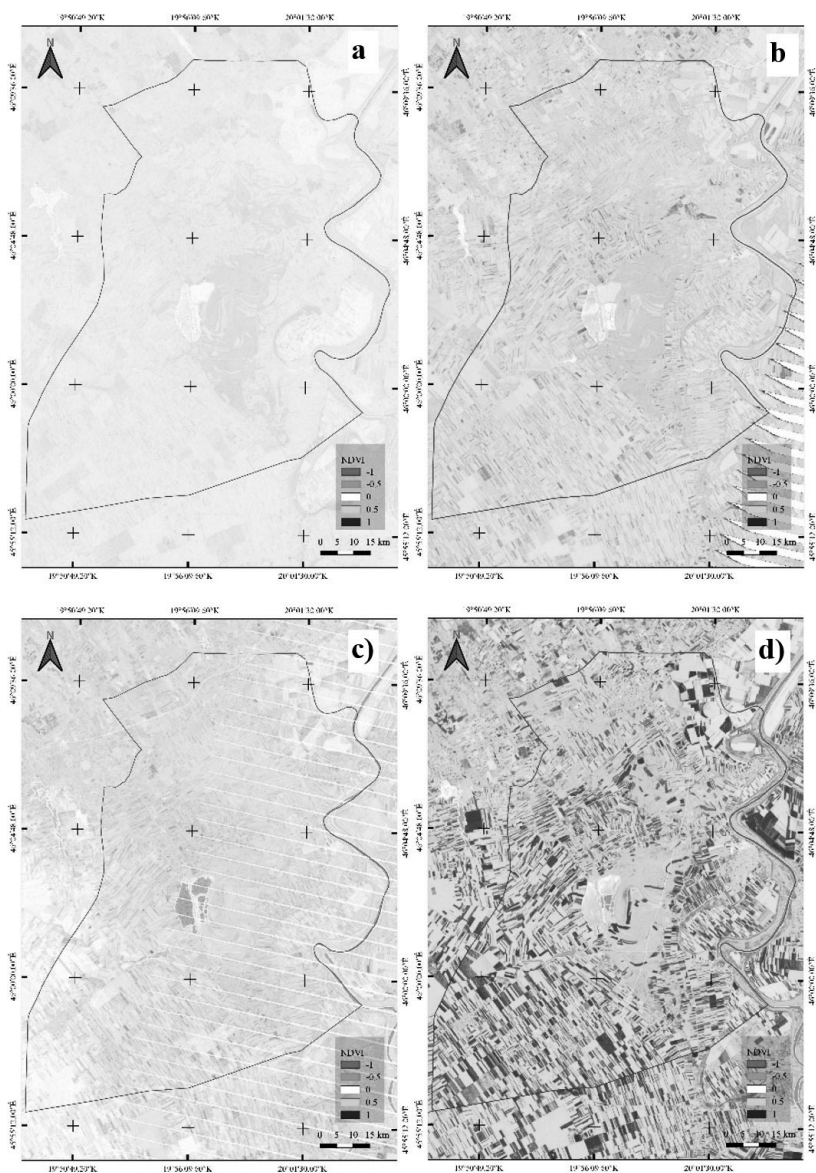
3.1. A fenológiai fázisok hamarabbi bekövetkezése – idősoros elemzés

A Landsat felvételek felhasználására a tavasz időszakban, az elérhető és felhasználható felvételek jegyében két dátum lett kiválasztva, az egyik március 12., a másik pedig április 1. A kutatás e dátumok körüli felvételek alapján történt.

A Sentinel 2 felvételek úgyszintén a felhasználhatóságuk által lettek kiválasztva a küldetési idő kezdetétől (2017. március) 2020 októberéig.

Landsat felvételek:

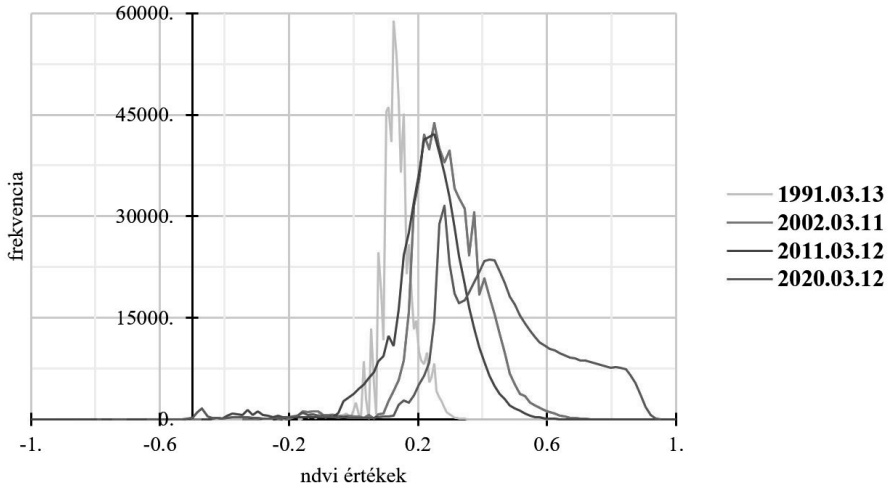
AZ ELSŐ VIZSGÁLT PERIÓDUS (MÁRCIUS 12. KÖRÜLI ADATOK):



3. ábra: Landsat NDVI raszterek a vizsgált területre:

a) 1991. 03. 13. b) 2002. 03. 11. c) 2011. 03. 12. d) 2020. 03. 12.¹⁷

¹⁷ A képeken tapasztalt csikozódást a Landsat 7 Scan Line Corrector (SLC) műszerének 2003. májusi meghibásodása okozza



3. diagram: Az NDVI értékek hisztogramja

A felvételekből jól kivehető, hogy a növényzet vegetációja mindegyik évben nagyobb értékeket mutat az első felvételhez képest. Ezen változások jelei úgyszintén leolvashatók a hisztogramról. Az eredmények megértéséhez elengedhetetlen ismerni az előző havi (februári) átlaghőmérsékleteket, amelyek a következőképpen alakultak: 1991: $-2,8\text{ °C}$ ¹⁸, 2002: $5,4\text{ °C}$ ¹⁹, 2011: $0,0\text{ °C}$ ²⁰. A 2020-as évre vonatkozó adatok még nem érhetőek el (2020 októbere).

Az előrehaladottság egyértelmű, ameddig 1991-ben a főbb értékek 0 és 0,2 közé esnek, addig 2002-ben és 2011-ben ez a csoportosulás a 0,2 és 0,4 közötti intervallumban figyelhető meg. A 2020. évi adatok vonatkozásában a növényzet vegetációja kimagasló értékeket produkál 0,4 felett, ami az előző évi eredményekre nem, vagy egyáltalán nem jellemző. Ez utal a fenológiai fázis előrehaladottságára.

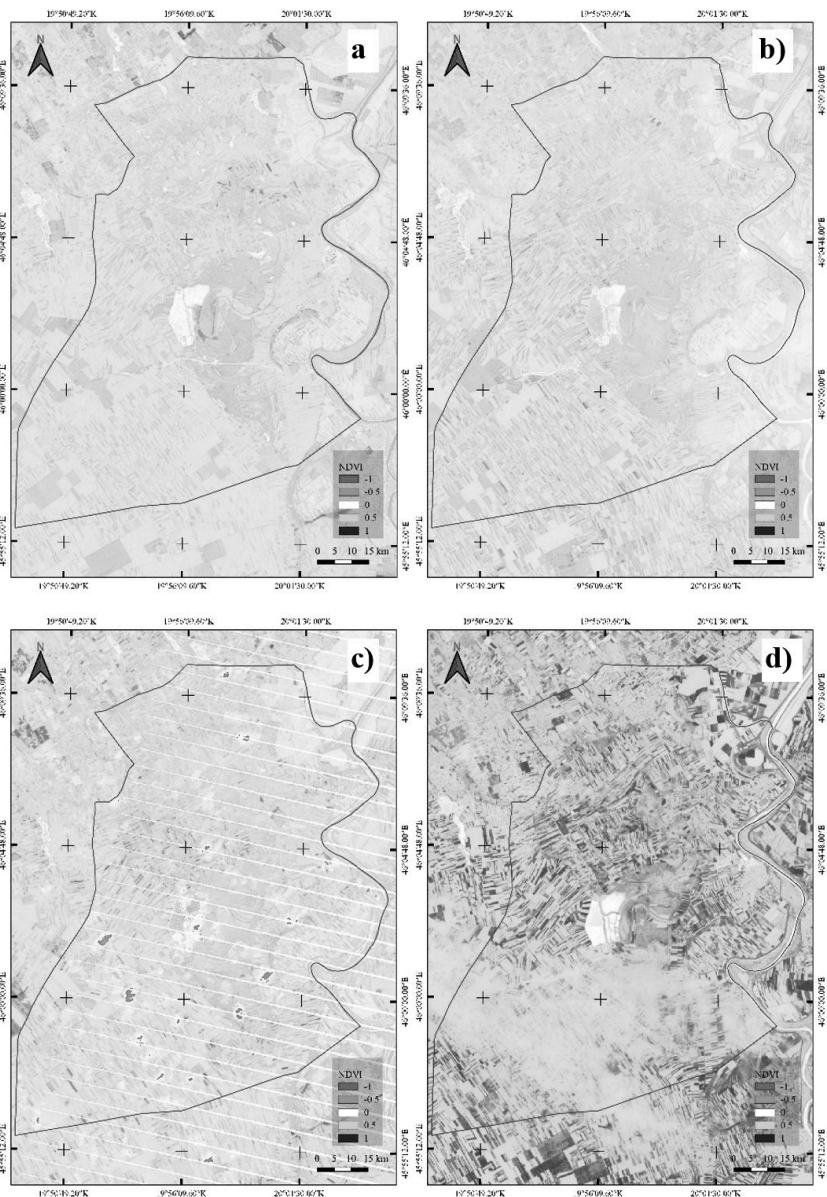
Fontos megemlíteni, hogy a 2011-es adatok visszaesést mutatnak a 9 évvel azelőttiekhez képest. Ezen visszaesés az előző hónap átlaghőmérsékletével magyarázható, azaz 2011 februárja hűvösebb volt 2002 februárjához képest, ennek következményében a növényzet nem tudott olyan ütemben fejlődni.

¹⁸ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 1992)

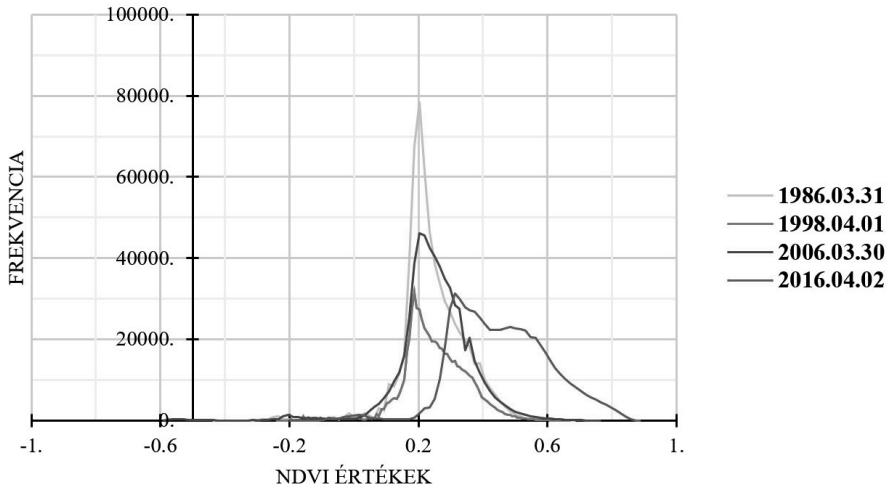
¹⁹ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2003)

²⁰ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2012)

A MÁSODIK VIZSGÁLT PERIÓDUS (ÁPRILIS 1. KÖRÜLI ADATOK):



4. ábra: NDVI raszterek a vizsgált területre:
a) 1986. 03. 31. b) 1998. 04. 01. c) 2006. 03. 30. d) 2016. 04. 02.



4. diagram: Az NDVI értékek hisztogramja

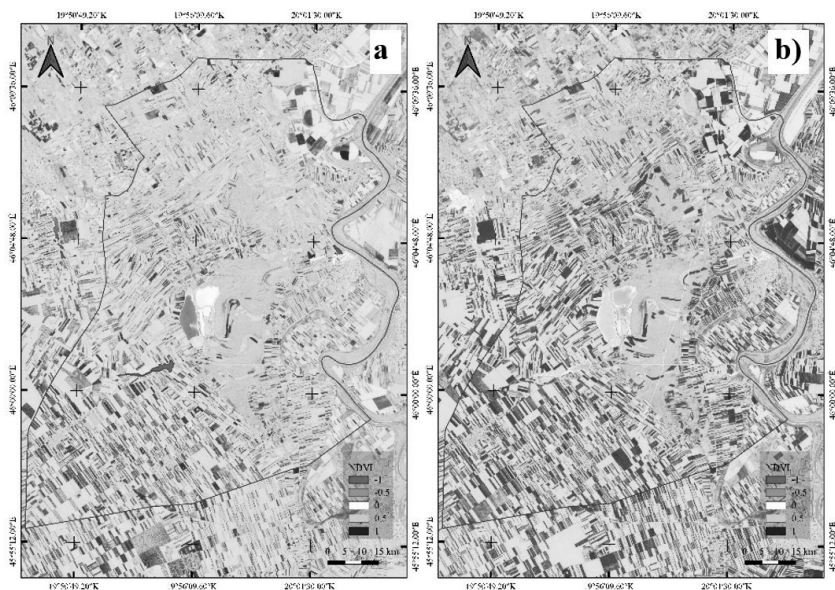
A második periódus vizsgálatánál a fenológiai fázisok előrehaladottsága csak a 2016-os adatok alapján válik egyértelművé. Az elérhető március havi átlag hőmérsékletek vizsgálatánál a következő adatok állnak rendelkezésre: 1998: 4,1 °C²¹, 2006: 4,8 °C²², 2016: 7,4 °C²³. Az adatokból értelemszerű, hogy a vegetáció 2016-ban előrehaladottabb állapotban volt az előző vizsgált időpontokhoz képest, köszönve a magasabb átlaghőmérsékletnek.

²¹ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 1999)

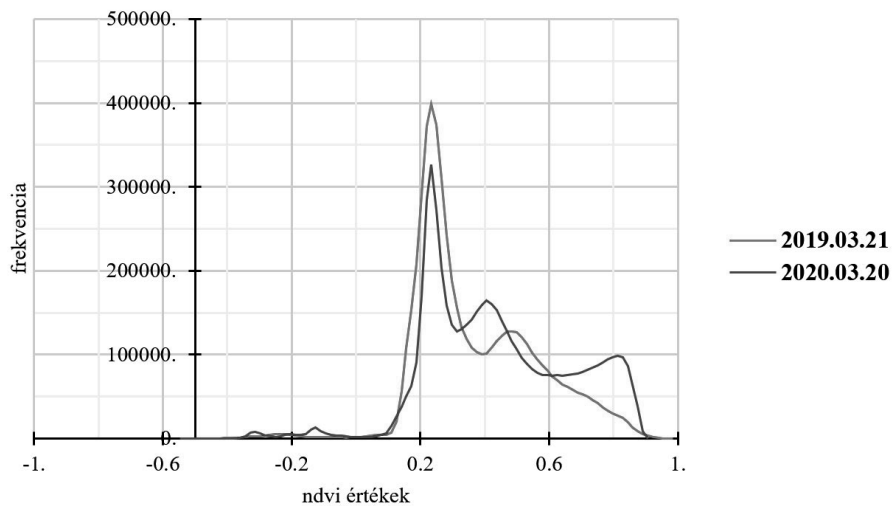
²² (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2007)

²³ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2017)

Sentinel 2 felvételek:



5. ábra: (a) 2019. március 21.-i és (b) 2020. március 20.-i NDVI értékek



5. diagram: Az NDVI értékek histogramja

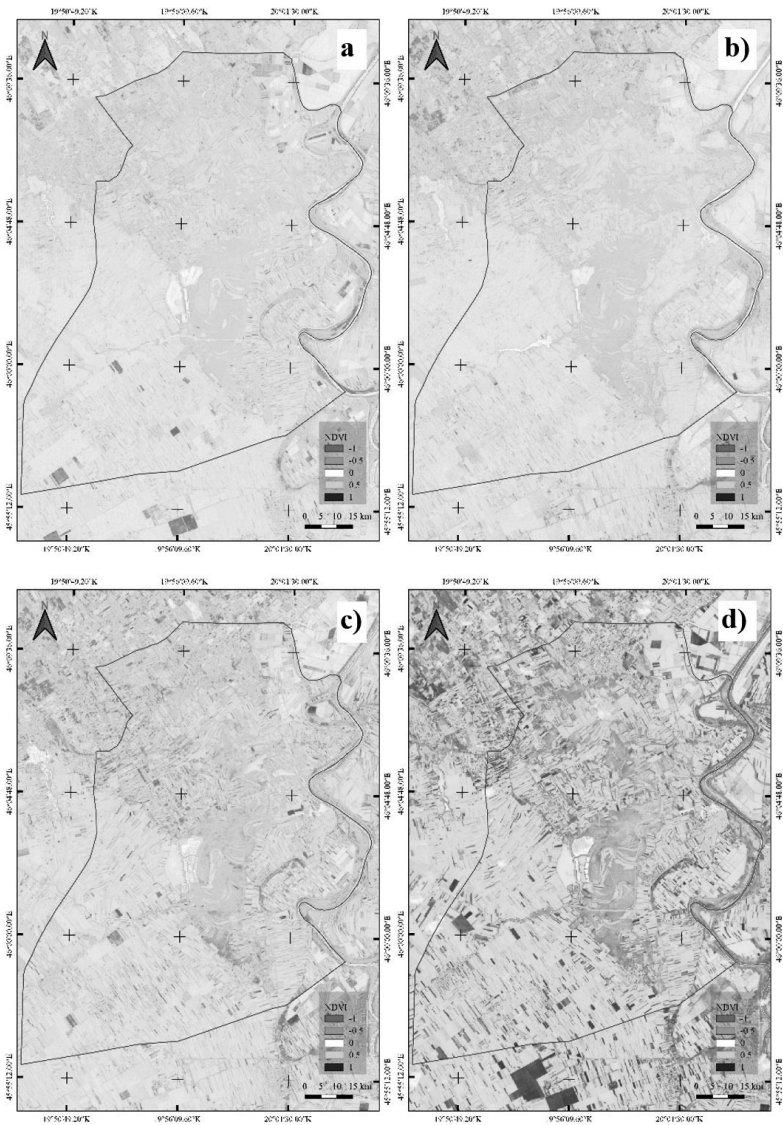
A Sentinel 2 műholddal vizsgált adatok 2019. március 21-re és 2020. március 20-ra vonatkozóan megjelenítik a növényzet vegetációs indexének növekedését, nevezetesen a fenológiai fázis hamarabbi bekövetkezését 2019-ről 2020-ra. Mialatt a 2019. évi NDVI adatok 0,5 felett csökkennek, addig ezen érték felett a 2020. évi értékek nagyobb mértékű fejlettebb növényzetre utalnak.

A kapott eredmények összevetésképpen megállapítható, hogy a 2016 áprilisi és 2020 március elejei vegetációs adatok jelentős mértékben megegyeznek, eszerint a 2016 április elején végbement növényfejlődési folyamatok 2020-ra – durván számítva – előrébb kerültek majd fél hónapot.

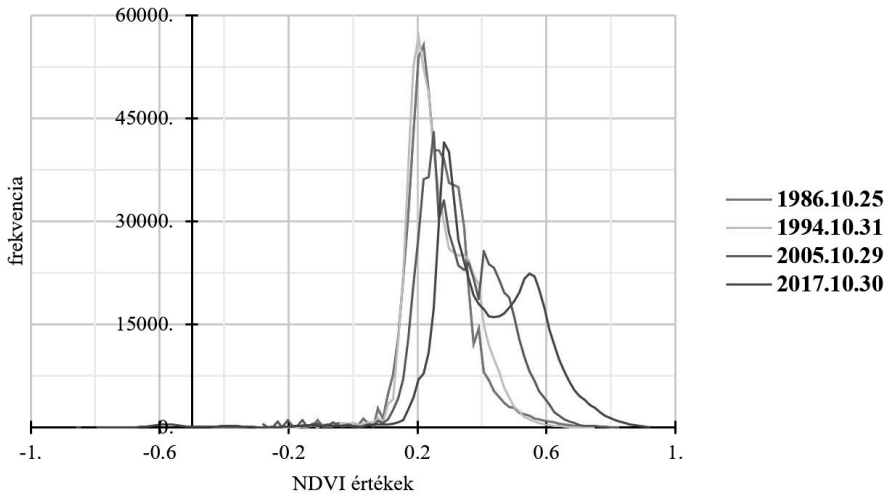
3.2. A fenológiai fázisok kitolódása – idősoros elemzés

Az őszi fenológiai fázisok késésére Landsat műholddal, az október 30. körüli felvételek lettek kiválasztva. Sentinel 2-vel folytatott vizsgálatokra pedig az október 12. környéki adatok. A két műhold képeinek analizálása külön-külön történt.

Landsat felvételek:



6. ábra: NDVI raszterek a vizsgált területre:
a) 1986. 10. 25. **b)** 1994. 10. 31. **c)** 2005. 10. 29. **d)** 2017. 10. 30.



6. diagram: Az NDVI értékek hisztogramja

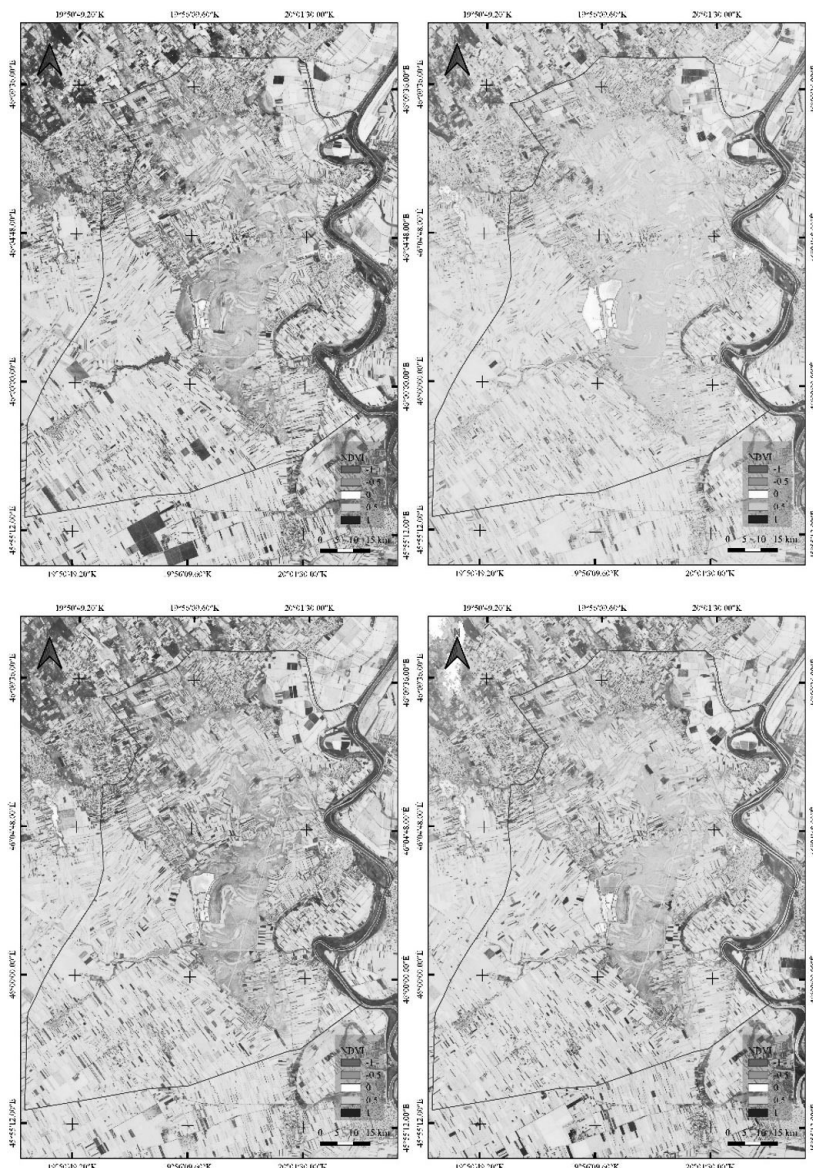
A levélhullás időszakának kitolódása megfigyelhető a képeken (5. ábra). A raszterek által számított hisztogramon pedig ez még jobban egyértelművé válik. Az értékek alapján a következők vonhatók le: az 1986-os és 1994-es év közt nem mutatható ki jelentős változás, ellenben e két évhez viszonyítva a 2005-ös és 2017-es adatok az őszi folyamatok kitolódásának jeleit mutatják. Az elérhető átlaghőmérsékleti adatok október hónapra év szerint az alábbiak: 1994: 10,1 °C²⁴, 2005: 11,6 °C²⁵, 2017: 12 °C²⁶. Az értékeket tekintve megállapítható, hogy a vizsgált években, október hónapban a hőmérséklet folyamatosan emelkedett, következtetésképpen előidézve a növényzet őszi fenológiai fázisának kitolódását.

²⁴ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 1995)

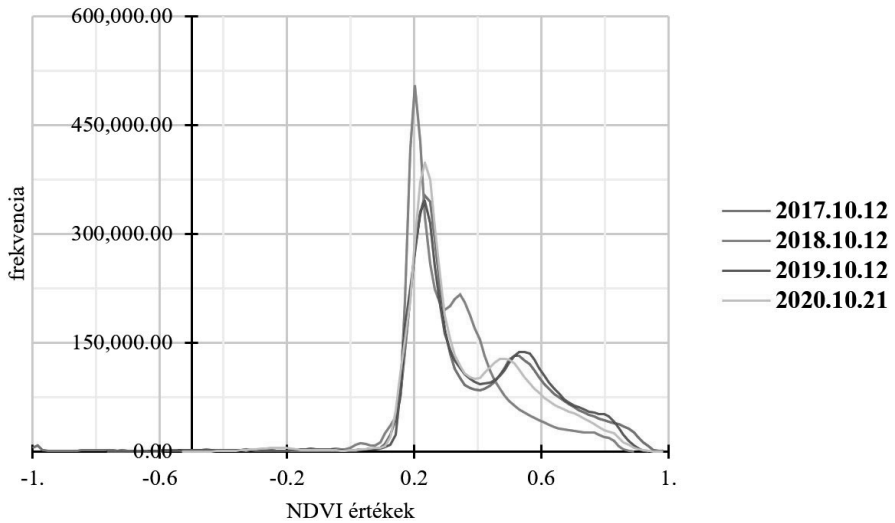
²⁵ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2006)

²⁶ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2018)

Sentinel 2 felvételek:



7. ábra: NDVI raszterek a vizsgált területre:
a) 2017. 10. 12. b) 2018. 10. 12. c) 2019. 10. 12. d) 2020. 10. 21.



7. diagram: Az NDVI értékek hisztogramja

Az utóbbi évek Sentinel 2 felvételeinek elemzésénél nem tapasztalható erőteljes változás. Érdemes kihangsúlyozni a 2018-as felvételt (7. ábra). Az NDVI raszteren és a hisztogramon is visszaesés tapasztalható másik évekhez viszonyítva. Az elérhető átlaghőmérsékleti és csapadékmennyiségi adatok októbert megelőző hónapban a következőképpen alakultak: 2017: 16,7 °C, 57,2 mm²⁷; 2018: 18 °C, 20,3 mm²⁸; 2019: 17,7°C, 65,4 mm²⁹. Az ismert adatok függvényében következtetésképp levonható az a tény, hogy 2018 őszén a vizsgált területen és környékén aszály lépett fel. A kevés esővel járó szeptember előidézte a növényzet szárazságát. Ez az eset jól leolvasható a hisztogramról. A vegetációs index eltér az átlagtól, vagyis utal arra, hogy a növénytakaró nem a normális ütemben fejlődött.

Összességében megállapítható, hogy a fenológiai fázisok évről – évre való kitolódása tapasztalható az őszi időszakban is, de nem akkora mértékben, mint tavasszal.

²⁷ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2018)

²⁸ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2019)

²⁹ (Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 2020)

4. ÖSSZEGZÉS

A növényzet fenológiai fázisainak eltolódása bizonyított dolog. A tavaszi folyamatok hamarabbi bekövetkezése az utóbbi években jelentősen kitolódott. Az őszi folyamatoknál nem tapasztalható ekkora változás. A vegetáció változását nagyban befolyásolja az átlaghőmérséklet és a csapadékmennyiség. Az NDVI raszter hisztogram értékei kitűnően megfelelnek globális felmelegedést célzó beszámolók, kutatások és bizonyítások készítésére.

A Landsat misszió 1972-es kezdete óta a Földön globális változások mentek végbe, amelyeknek okozója az emberiség. A fenológiai fázisok átlagos idejének megváltozása, az éves átlaghőmérsékletek emelkedése, az aszályos időszakok növekedése, egyszóval az anyatermészet változása. Ezen változások a Föld lakosai számára kedvezőtlen állapotokat tudnak előidézni.

A kutatás felhívja a figyelmet a klímaváltozás mértékére Magyarországon és környékén.

A dolgozat kötődik a 19. VMTDK top-témájához („AZ ÉG”), hiszen a föld-megfigyelő műholdak is az égen keresztül a világról őrszemként figyelik a Földet, ezáltal információkat gyűjtve annak felszínéről.

5. MELLÉKLET – GOOGLE EARTH ENGINE KÓDOK

5.1. Landsat 5

5.1.1. Landsat 5 felvételek megtekintése

```

var KANIZSA = ee.FeatureCollection(„users/
buxsimano35/KANIZSA _ EPSG _ 32634”),
    geometry =
    /* color: #98ff00 */
    /* shown: false */
    ee.Geometry.Point([19.897212698423928,
46.062009689940844]),
    center =
    /* color: #d64ccf */
    /* shown: false */
    ee.Geometry.Point([19.95396900417552,
46.04437056504449]);

var landsat _ 5 = ee.ImageCollection(,LANDSAT/LT05/
C01/T1 _ SR’)
    /* Az adatok elérhetőek 1984 és
2012 közt */
    .filterDate(,2005-10-20’, ,2005-11-
01’)
    .filterBounds(geometry)
    .filterMetadata(,CLOUD _ COVER’,
,less _ than’, 30);

var list = landsat _ 5.toList(landsat _ 5.size()).
map(function(img){
    return [ee.Image(img).date().format(,yyyy-MM-
dd’), ee.Image(img).get(,CLOUD _ COVER’)];
    print(,Pictures’, list );

var picture _ 15 = landsat _ 5.median();
var trueColor321 = picture _ 15.select(,[B3’, ,B2’,
,B1’]);
var trueColor321Vis = {
    min: 0,
    max: 3000,
    gamma: 1.4,

```

```

};
Map.centerObject(center, 10);
Map.addLayer(trueColor321, trueColor321Vis, 'True
Color (321)');
Map.addLayer(KANIZSA);

```

5.1.2. Landsat 5 NDVI raszter és hisztogram számítása, exportálása

```

var KANIZSA = ee.FeatureCollection(„users/
buksimano35/KANIZSA _ EPSG _ 32634”),
    geometry =
    /* color: #98ff00 */
    /* shown: false */
    ee.Geometry.Point([19.897212698423928,
46.062009689940844]),
    terjedelem =
    /* color: #5cffff */
    /* shown: false */
    /* displayProperties: [
    {
    „type”: „rectangle”
    }
    ] */
    ee.Geometry.Polygon(
    [[[19.66922010078248, 46.235918377567835],
    [19.66922010078248, 45.87950845524372],
    [20.19381726875123, 45.87950845524372],
    [20.19381726875123, 46.235918377567835]]],
    null, false);

var addNDVI = function(image) {
    return image.addBands(image.
normalizedDifference([,B4', ,B3']));
};

var landsat_5_image = ee.ImageCollection(,LANDSAT/
LT05/C01/T1 _ SR')
/* Az adatok elérhetőek 1984 és
2012 közt */
.filterDate(,2002-03-10', ,2002-03-
14')

```

```

        .filterBounds(geometry)
        .map(addNDVI);

var NDVI = landsat_5_image.select(['nd']);
var NDVImed = NDVI.median();

var palette = ['E41115', 'FF7C01','white','91FF01',
,154B0E'];

Map.addLayer(NDVImed, {min: -1, max: 1, palette:
palette}, 'NDVI' );

var optForHist = {
  title: 'HISTOGRAM',
  fontSize: 20,
  hAxis: {title: 'NDVI érték'},
  vAxis: {title: 'frekvencia'},
  series: {0:{color: 'red'}}
};

var histogram = ui.Chart.image.histogram (NDVImed,
KANIZSA, 30, 100)
    .setSeriesNames(['FREKVENCIA'])
    .setOptions(optForHist);

print(histogram);

Export.image.toDrive({
  image: NDVImed,
  description: 'LANDSAT_5_NDVI',
  folder: 'NDVI_LANDSAT_5',
  region: 'terjedelem',
  crs: 'EPSG:32634',
  scale: 30
});

```

5.2. Landsat 7

5.2.1. Landsat 7 felvételek megtekintése

```

var KANIZSA = ee.FeatureCollection(„users/
buxsimano35/KANIZSA _ EPSG _ 32634”),
  geometry =
    /* color: #98ff00 */
    /* shown: false */
    ee.Geometry.Point([19.897212698423928,
46.062009689940844]),
  center =
    /* color: #d64ccf */
    /* shown: false */
    ee.Geometry.Point([19.95396900417552,
46.04437056504449]);

var landsat _ 7 = ee.ImageCollection(,LANDSAT/LE07/
C01/T1 _ SR')
/* Az adatok elérhetőek 1999-től
napjainkig */
.filterDate(,2001-03-01', ,2001-03-
31')
.filterBounds(geometry)
.filterMetadata(,CLOUD _ COVER',
,less _ than', 30);

print(,pictures', landsat _ 7.toList(landsat _ 7.
size()).map(function(img){
  return [ee.Image(img).date().format(,yyyy-MM-
dd'), ee.Image(img).get(,CLOUD _ COVER')]}));

var picture = landsat _ 7.median();
var trueColor321 = picture.select([,B3', ,B2', ,B1']);
var trueColor321Vis = {
  min: 0,
  max: 3000,
  gamma: 1.4,
};
Map.centerObject(center, 10);

```

```
Map.addLayer(trueColor321, trueColor321Vis, 'True
Color (321)');
Map.addLayer(KANIZSA);
```

5.2.2. Landsat 7 NDVI raszter és hisztogram számítása, exportálása

```
var terjedelem =
  /* color: #5cfffb */
  /* shown: false */
  /* displayProperties: [
    {
      „type”: „rectangle”
    }
  ] */
  ee.Geometry.Polygon(
    [[[19.66922010078248, 46.235918377567835],
      [19.66922010078248, 45.87950845524372],
      [20.19381726875123, 45.87950845524372],
      [20.19381726875123, 46.235918377567835]]],
    null, false),
  KANIZSA = ee.FeatureCollection(„users/
büksimano35/KANIZSA_EPSG_32634”),
  geometry =
  /* color: #98ff00 */
  /* shown: false */
  ee.Geometry.Point([19.897212698423928,
46.062009689940844]);

var addNDVI = function(image) {
  return image.addBands(image.
normalizedDifference([,B4’, ,B3’]));
};
var landsat_7_image = ee.ImageCollection(,LANDSAT/
LE07/C01/T1_SR’)
/* Az adatok elérhetőek 1999-től
napjainkig */
.filterDate(,2001-03-10’, ,2001-03-
17’)
.filterBounds(geometry)
.map(addNDVI);
```

```

var NDVI = landsat_7_image.select(['nd']);
var NDVImed = NDVI.median();
var palette = [ ,E41115', ,FF7C01', 'white', '91FF01',
,154B0E'];

Map.addLayer(NDVImed, {min: -1, max: 1, palette:
palette}, ,NDVI' );

var optForHist = {
  title: ,HISTOGRAM',
  fontSize: 20,
  hAxis: {title: ,NDVI érték'},
  vAxis: {title: ,frekvencia'},
  series: {0:{color: ,red'}}
};

var histogram = ui.Chart.image.histogram (NDVImed,
KANIZSA, 30, 100)
  .setSeriesNames([,FREKVENCIA'])
  .setOptions(optForHist);

print(histogram);

Export.image.toDrive({
  image: NDVImed,
  description: ,LANDSAT_7_NDVI',
  folder: ,NDVI_LANDSAT_7',
  region: terjedelem,
  crs: ,EPSG:32634',
  scale: 30
});

```

5.3. Landsat 8

5.3.1. Landsat 8 felvételek megtekintése

```

var KANIZSA = ee.FeatureCollection(„users/
buxsimano35/KANIZSA_EPSG_32634”),
  geometry =
/* color: #98ff00 */
/* shown: false */

```

```

        ee.Geometry.Point([19.897212698423928,
46.062009689940844]),
        center =
        /* color: #d64ccf */
        /* shown: false */
        ee.Geometry.Point([19.95396900417552,
46.04437056504449]);

    var landsat_8 = ee.ImageCollection(,LANDSAT/LC08/
C01/T1 _SR')
                                /* Az adatok elérhetőek 2013-tól
napjainkig */
                                .filterDate(,2020-03-10', ,2020-03-
15')
                                .filterBounds(geometry)
                                .filterMetadata(,CLOUD _ COVER',
,less _ than', 30);

    print(,pictures', landsat_8.toList(landsat_8.
size()).map(function(img){
        return [ee.Image(img).date().format(,yyyy-MM-
dd'), ee.Image(img).get(,CLOUD _ COVER')]);});

    var picture = landsat_8.median();
    var trueColor432 = picture.select(,[,B4', ,B3', ,B2']);
    var trueColor432Vis = {
        min: 0,
        max: 3000,
        gamma: 1.4,
    };

    Map.centerObject(center, 10);
    Map.addLayer(trueColor432, trueColor432Vis, ,True
Color (432)');
    Map.addLayer(KANIZSA);

```

5.3.2. Landsat 8 NDVI raszter és hisztogram számítása, exportálása

```

var KANIZSA = ee.FeatureCollection(,users/
buksimano35/KANIZSA _ EPSG _ 32634"),
    geometry =

```

```

    /* color: #98ff00 */
    /* shown: false */
    ee.Geometry.Point([19.897212698423928,
46.062009689940844]),
    terjedelem =
    /* color: #5cffff */
    /* shown: false */
    /* displayProperties: [
      {
        „type”: „rectangle”
      }
    ] */
    ee.Geometry.Polygon(
      [[[19.66922010078248, 46.235918377567835],
        [19.66922010078248, 45.87950845524372],
        [20.19381726875123, 45.87950845524372],
        [20.19381726875123, 46.235918377567835]]],
    null, false);

    var addNDVI = function(image) {
      return image.addBands(image.
normalizedDifference([,B5', ,B4']));
    };
    var landsat_8_image = ee.ImageCollection(,LANDSAT/
LC08/C01/T1_SR')
    /* Az adatok elérhetőek 2013-tól
napjainkig */
    .filterDate(,2020-03-10', ,2020-03-
14')
    .filterBounds(geometry)
    .map(addNDVI);

    var NDVI = landsat_8_image.select([,nd']);
    var NDVImed = NDVI.median();
    var palette = [,E41115', ,FF7C01',,white',,91FF01',
,154B0E'];

    Map.addLayer(NDVImed, {min: -1, max: 1, palette:
palette}, ,NDVI' );

    var optForHist = {

```

```

    title: ,HISTOGRAM',
    fontSize: 20,
    hAxis: {title: ,NDVI érték'},
    vAxis: {title: ,frekvencia'},
    series: {0:{color: ,red'}}
  };

  var histogram = ui.Chart.image.histogram (NDVImed,
KANIZSA, 30, 100)
    .setSeriesNames([,FREKVENCIA'])
    .setOptions(optForHist);
  print(histogram);

  Export.image.toDrive({
    image: NDVImed,
    description: ,LANDSAT _ 8 _ NDVI',
    folder: ,NDVI _ LANDSAT _ 8',
    region: terjedelem,
    crs: ,EPSG:32634',
    scale: 30
  });

```

5.4. Sentinel 2 NDVI adatok és műholdképek exportálása

```

var KANIZSA = ee.FeatureCollection(„users/
buksimano35/KANIZSA _ EPSG _ 32634”),
  s2Sr = ee.ImageCollection(„COPERNICUS/S2 _ SR”),
  s2Clouds = ee.ImageCollection(„COPERNICUS/S2 _
CLOUD _ PROBABILITY”),
  kep =
  /* color: #5cfffb */
  /* shown: false */
  /* displayProperties: [
    {
      „type”: „rectangle”
    }
  ] */
  ee.Geometry.Polygon(
    [[[19.71865857734498, 46.235918377567835],
      [19.71865857734498, 45.8842884668093],
      [20.19381726875123, 45.8842884668093],

```

```

[20.19381726875123, 46.235918377567835]]],
null, false);

//Az adatok 2017. márciusától elérhetőek el
var START_DATE = ee.Date(,2019-03-31');
var END_DATE = ee.Date(,2019-04-01');
var MAX_CLOUD_PROBABILITY = 65;
var region = ee.Geometry.Rectangle(
    {coords: [19.9, 46, 20, 46.5], geodesic: false});

function maskClouds(img) {
    var clouds = ee.Image(img.get(,cloud_mask')).
select(,probability');
    var isNotCloud = clouds.lt(MAX_CLOUD_
PROBABILITY);
    return img.updateMask(isNotCloud);
}

function maskEdges(s2_img) {
    return s2_img.updateMask(
        s2_img.select(,B8').mask().updateMask(s2_img.
select(,B4').mask()));
}

var criteria = ee.Filter.and(
    ee.Filter.bounds(region), ee.Filter.date(START_
DATE, END_DATE));
s2Sr = s2Sr.filter(criteria).map(maskEdges);
s2Clouds = s2Clouds.filter(criteria);

var s2SrWithCloudMask = ee.Join.saveFirst(,cloud_
mask').apply({
    primary: s2Sr,
    secondary: s2Clouds,
    condition:
        ee.Filter.equals({leftField: ,system:index',
rightField: ,system:index'})
});

```

```

print(,PRODUCT _ ID', s2SrWithCloudMask.
toList(s2SrWithCloudMask.size()).map(function(img){
  return [ee.Image(img).date().format(,yyyy _ MM _
dd'),ee.Image(img).get(,CLOUD _ COVERAGE _ ASSESSMENT'),
ee.Image(img).get(,PRODUCT _ ID')]);});

var s2CloudMasked = ee.ImageCollection(
  s2SrWithCloudMask).map(maskClouds).median();

var ndvi = s2CloudMasked.normalizedDifference([,B8',
,B4']);

var meanDictionary = ndvi.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  geometry: KANIZSA.geometry(),
  scale: 10,
  maxPixels: 1e9
});

print(,NDVI median', meanDictionary);

var palette = [,E41115', ,FF7C01',,FFFFFF',,91FF01',
,154B0E'];

Map.addLayer(ndvi, {min: -1, max: 1, palette:
palette}, ,NDVI');
Map.addLayer(KANIZSA);
var optForHist = {
  title: ,HISTOGRAM',
  fontSize: 20,
  hAxis: {title: ,NDVI érték'},
  vAxis: {title: ,frekvencia'},
  series: {0:{color: ,red'}}
};

var histogram = ui.Chart.image.histogram (ndvi,
KANIZSA, 10, 100)
  .setSeriesNames([,FREKVENCIA'])
  .setOptions(optForHist);

print(histogram);

```

```
Export.image.toDrive({
  image: ndvi,
  description: ',SENTINEL_2_NDVI'',
  folder: ',NDVI_SENTINEL_2'',
  region: kep,
  crs: ',EPSG:32634'',
  scale: 10
});
```

HIVATKOZÁSOK

- Berke, J., Báldoghi, T., Major, K., & Kozma-Bognár, V. (2011). *Képkötő algoritmusok NDVI indexre gyakorolt hatása*. OTKA Kutatási Jelentések.
- Delbart, N., Kergoat, L., Le Toan, T., Lhermitte, J., & Picard, G. (2005). Determination of phenological dates in boreal regions using normalized difference water index. *Remote Sensing of Environment*, 26–38.
- Duarte, L., A. C., T., & Gonçalves, H. (2014). Deriving phenological metrics from NDVI through an open source tool developed in QGIS. *SPIE REMOTE SENSING, V*. Amsterdam.
- ESA – European Space Agency. (2015). *Sentinel-2 User Handbook*. EU: ESA Standard Document.
- ESA – European Space Agency. (2020). *Earth ESA – Sentinel online*. Forrás: Level-2A Algorithm Overview: <https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-2a/algorithm>
- Ferey, S. (2017). *Sentinel-2B: hamarosan indul!* Forrás: Ürvilág, úrkutatási hírportál: http://www.urvilag.hu/gmes/20170301_sentinel2b_hamarosan_indul
- Ferey, S. (2017). *E Lindult a Sentinel-2B*. Forrás: Ürvilág, úrkutatási hírportál: http://www.urvilag.hu/gmes/20170307_elindult_a_sentinel2b
- Menzel, A., & Fabian, P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, 659.
- Mika János, Utasi Zoltán, Bíró Csaba, Pénzesné Kónya Erika. (2011). *Műholdakról távérzékelt adatok feldolgozása és hasznosítása*. Eszterházy Károly Főiskola – Természettudományi Kar.
- NASA – National Aeronautics and Space Administration. (2020. június 19). *NASA*. (L. Jenner, Szerkesztő): Forrás: https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/overview/index.html
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (1992). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1. – KLIMATOLOŠKI PODACI – 1991*. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (1995). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1. – KLIMATOLOŠKI PODACI – 1994*. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (1999). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1. – KLIMATOLOŠKI PODACI – 1998*. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2003). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1. – KLIMATOLOŠKI PODACI – 2002*. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2006). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1. – KLIMATOLOŠKI PODACI – 2005*. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2007). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1. – KLIMATOLOŠKI PODACI – 2006*. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.

- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2012). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1. – KLIMATOLOŠKI PODACI – 2011*. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2017). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1. – KLIMATOLOŠKI PODACI – 2016*. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2018). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1. – KLIMATOLOŠKI PODACI – 2017*. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2019). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1. – KLIMATOLOŠKI PODACI – 2018*. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2020). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK 1 – KLIMATOLOŠKI PODACI – 2019*. Beograd: Republika Srbija – Republički hidrometeorološki Zavod.
- Scheifinger, H., Menzel, A., Koch, E., & Ch, P. (2003). Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 41–51.
- Schleip, C., H. Sparks, T., Estrella, N., & Menzel, A. (2009). Spatial variation in onset dates and trends in phenology across Europe. *Climate Research*, 249–260.
- Socijalistička Federativna Republika Jugoslavija – Hidrometeorološka služba. (1988). *METEOROLOŠKI GODIŠNJAK I – GODINA 1984*. Beograd: Savezni hidrometeorološki zavod.
- USGS – United States Geological Survey. (2018). *USGS – Science for a changing world*.
Forrás: Landsat Normalized Difference Vegetation Index: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-normalized-difference-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- USGS – United States Geological Survey. (2020). *USGS – Science for a changing world*.
Forrás: Landsat Surface Reflectance: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-surface-reflectance-derived-spectral-indices?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- USGS – United States Geological Survey. (2020). *USGS – Science for a changing world*.
Forrás: Landsat 5: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- USGS – United States Geological Survey. (2020). *USGS – Science for a changing world*.
Forrás: Landsat 8: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- USGS – United States Geological Survey. (2020). *USGS – Science for a changing world*.
Forrás: Landsat 7: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-7?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con