

A SENTINEL-1A MŰHOLD FELSZÁLLÓÁGÚ FELVÉTELEINEK ALKALMAZÁSA BELVÍZTÉRKÉPEZÉSRE EGY ALFÖLDI MINTATERÜLETEN

Birinyi Edina ^(1,2), Kern Anikó ⁽³⁾ , Kristóf Dániel ⁽²⁾ 

⁽¹⁾ ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskola, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

⁽²⁾ Lechner Tudásközpont, 1111 Budapest, Budafoki út 59.

⁽³⁾ ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

e-mail: bedina@student.elte.hu, aniko.kern@ttk.elte.hu,

daniel.kristof@lechnertudaskozpont.hu

Bevezetés

Magyarországon leginkább az alföldi, folyószabályozás által érintett, jelenleg mezőgazdasági művelés alatt álló területeken okoz gondot a vissza-visszatérő belvíz. A belvizes területek térképezése fontos a mezőgazdasági károk enyhítése és (egyre inkább) a vízvisszatartásra alkalmas területek térképezése, kijelölése, illetve a szükséges beavatkozások tervezése miatt. A közeli- (NIR) és a közepes infravörös (SWIR) tartományban is méréseket végző optikai, nagyfelbontású szenzorokkal rendelkező műholdak, mint például az európai Sentinel-2A és B, illetve az amerikai Landsat 8 és 9 alkalmasak a belvízzel előtött területek és a belvízzel átitatott talajok térképezésére (Cavallo et al., 2021). Ugyanakkor a belvizes időszakokhoz gyakran társuló felhőzet a földfelszínre vonatkozóan adathiányt jelent, míg a felhőárnyék ennél is nagyobb gondot okoz, ugyanis spektrális tulajdonságaiban lényegében megegyezik a belvízzel. Ezen problémákra jelenthet megoldást a Sentinel-1A műholdon található C-sávós szintetikus apertúrájú radar (SAR) szenzor, amely mikrohullámú tartományú méréseivel időjárás- és napszak-független, és alkalmas vízfelületek térképezésére (Twele et al., 2016; Markert et al., 2020; van Leeuwen et al., 2020). Ugyanakkor ezen radarfelvételek zajosabbak és esetenként értelmezésük is nehezebb, mint az optikai felvételeké.

Adat és módszer

Az Európai Űrügynökség (ESA) Sentinel-1A MSI (MultiSpectral Instrument) szenzorának a mintaterületet érintő (1. ábra) 102-es relatív pályaszámú pályáján felszálló ágban készült felvételeit használtuk fel 2020. január 1. és 2023. június 3. közötti időszakra. A mintaterület megválasztásánál a vízdetektálás megbízhatóságának vizsgálata céljából arra törekedtünk, hogy egy gyakran belvizes, ugyanakkor a belvizes időszakon kívül is viszonylag nagy vízfelületekkel rendelkező területen vizsgálódjunk. A 2020-as kezdő dátumot a nagy tavainkon végzett idősoros elemzések alapján határoztuk meg, ugyanis ettől az időszaktól kevésbé zajosak a vízfelületek értékei. A hosszú időszakot alapul vevő kutatásunktól a radaralapú térképezésben rejülő korlátok megismerését vártuk. A felszálló ágú felvételek alkalmazásával csak 12 napos idősor áll rendelkezésünkre, ugyanakkor az eltérő pályákról származó feltételek összevethetőségét befolyásoló, a megfigyelések geometriai eltéréseiből származó torzításokkal nem kell számolnunk. A szakirodalom alapján a Sentinel-1 műhold mindkét felvételezési sávja alkalmas vízfelületek lehatárolására, azonban több tanulmány a VV (Vertikális adás, Vertikális vétel) sáv használatával ért el megbízhatóbb eredményt (Twele et al., 2016; Markert et al., 2020), így vizsgálatainkat csak a VV értékeken hajtottuk végre.



1. ábra: A mintaterület.

A vízfelületek lehatárolására, az ún. *Edge Otsu* módszertant (Donchyts et al., 2016) alkalmaztuk minden, a vizsgálati időszakban elérhető Sentinel-1 VV felvételre. Egy kezdeti induló paraméterrel létrehoztunk egy fekete-fehér képet, amelyen a *Canny* éldetektort (Canny, 1986) alkalmaztuk, és a küszöbérték feletti hosszúságú éleket megtartottuk. Azt feltételezve, hogy a detektált élek “víz” és “nem víz” területeket határolnak le, +/- 1500 méteres buffert alkalmaztunk az eredeti képre. A buffer által lehatárolt értékre hisztogramot állítottunk fel, amely (kétsúcsú) hisztogramon *Otsu* módszer (Otsu, 1979) segítségével számított „víz” / „nem víz” határértéket állapítottunk meg. A módszertant Markert et al. (2020) implementálták Google Earth Engine-be, illetve sikeresen alkalmazták északi-myanmari és kambodzsai árvizek térképezésre. A vizsgálat végrehajtásához mi is a Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017) globális felhőalapú platformot alkalmaztuk. A vizsgálat során időpontonként minimum 10 különböző kezdő paraméterrel kíséreltük meg a térképek elkészítését, és az eredmények közül vizuális interpretációval választottuk ki a radarfelvételen látottakhoz leginkább illeszkedőt. Túl szigorú feltétel esetén nem állítható fel a határérték meghatározására alkalmas hisztogram, túl megengedő paraméter esetén pedig az egyértelműen nem vízzel borított felszínek is bekerülnek a víz kategóriába.

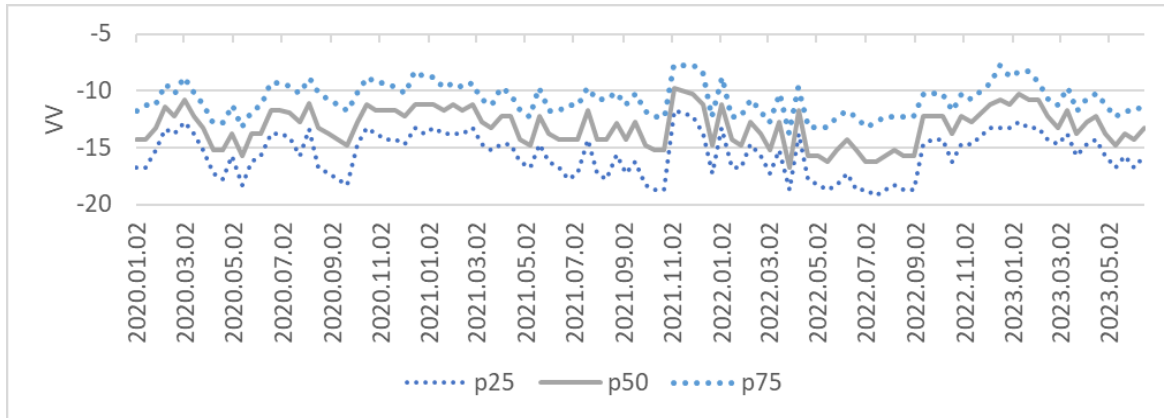
Az elkészült térképek megbízhatóságának tesztelése céljából a vizsgálati időszak nagyrészen a Sentinel-2 NDWI (Normalized Difference Water Index; McFeeters, 1996) idősorban vízként viselkedő pontjaiból meghatároztunk 500 darab „állandó” víz tesztpontot. A Lechner Tudásközpont által a Mezőgazdasági Kockázatkezelési Rendszerbe elkészített optikai belvíztérképekből származtatott (1998–2021-re vonatkozó) ún. relatív belvíz-gyakorisági térkép minimum 80%-os relatív gyakorisággal vízként térképezett pontjaiból random 500 darab, belvízre hajlamos tesztpontot határoztunk meg. Azon pontokra, ahol a belvíz gyakorisági térkép sosem mutatott az 1998 és 2021 közötti időszakban belvizet, 500 darab biztosan nem víz tesztpontot is kijelöltünk.

A NASA SMAP szenzorának Level 3 szintű produktumából (O'Neill et al., 2021) a vizsgálati időszakra átlagos talajnedvesség anomáliát származtattunk. A vizsgálati időszakban a mintaterület átlagos VV értékeiből ún. *Surface Soil Moisture Indexet* (SurfMI; Wagner et al., 1999; Urban et al., 2018) is származtattunk az 1. képlet szerint, ahol a $VV(t)$ az adott időpontra vonatkozó területi átlag, VV_{dry} a vizsgálati időszak területi átlagának 5. percentilise, míg a VV_{wet} a területi átlagok 95. percentilise.

$$SurfMI = \frac{VV(t) - VV_{dry}}{VV_{wet} - VV_{dry}} * 100 \quad (1)$$

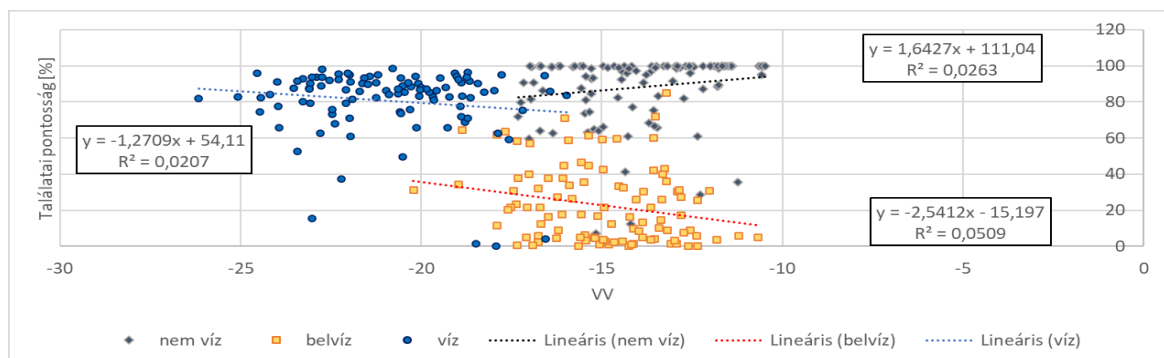
Eredmények

A mintaterület átlagos VV időszora jelentős időbeli változékonyságot mutat (2. ábra). Az idősorban jól elkülönülnek alacsonyabb, illetve magasabb VV értékű időszakok. Az idősorban ez alapján felfedezhető a 2022-es extrém aszály [1 – Országos Meteorológiai Szolgálat] vagy a 2023 telén, illetve tavaszán elhúzódó belvizes időszak [2 – Országos Meteorológiai Szolgálat].



2. ábra: A mintaterület VV átlagértékeinek, illetve kiemelt percentiliseinek időszora.

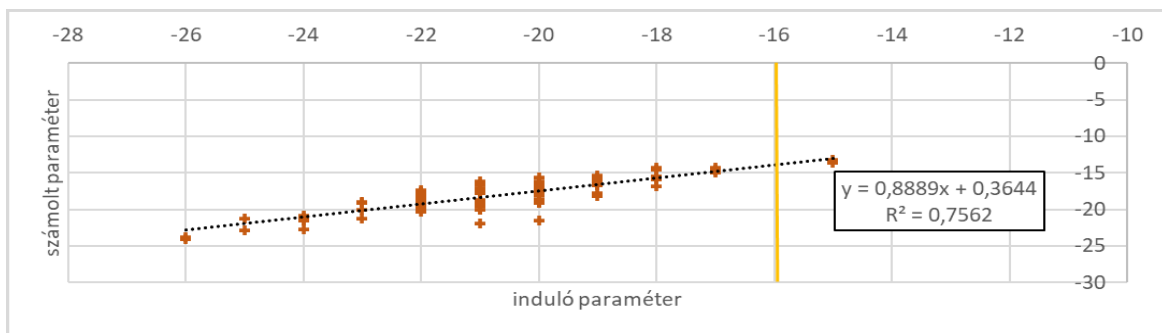
A kategóriánkénti 500-500 mintapont esetén az átlagos VV értékeket megvizsgáltuk a víztalálat függvényében. A víz és nem víz pontok átlagos VV értékei alapvetően elkülönülnek egymástól, de a két kategória értékei nagyon közeli értékeket vesznek fel (3. ábra). A „belvizes” pontok értékei átlagában közelebb vannak a nem víz kategória értékeihez. A jelenség érthető, hiszen a vizsgálati időszak alatt a pontok nem voltak folyamatosan belvíz hatás alatt, de még a belvizes időszakban sem biztos, hogy minden pont belvízzel érintett volt. Ráadásul az optikai térképezés során az erősen átítatott talaj és a vízben álló növényzet is térképezhető, mely kategóriák a radaron alapvetően nem vizsgálhatók. További eltérést jelenthet, hogy a belvíz foltok mélysége is eltérő lehet az állandó vízfelületekétől, így például a felszínükön megjelenhet az előntött növényzet, amely radarvisszhangot generálhat. A nem vízfelületek találati pontossága jellemzően 100% körül alakul, azaz az egyes időpontokhoz tartozó térképeken igen ritkán került víz megállapításra olyan területeken, ahol annak valószínűsége kizárható. Ez a jelenség leginkább azon leggyakrabban sötét képeken tapasztalható, ahol nem állítható fel kellően szigorú paraméterezéssel vizsgálatra alkalmas hisztogram.



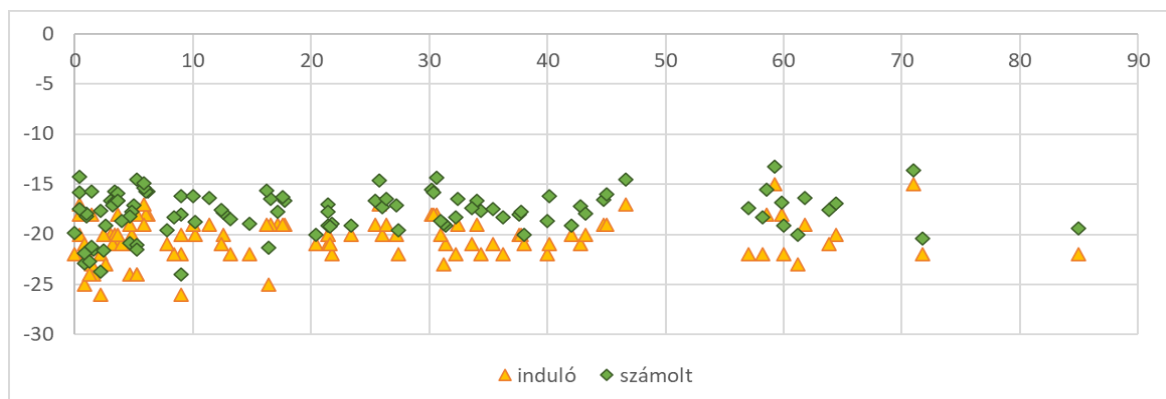
3. ábra: A víz, nem víz és a belvíz esélyes mintapontok viselkedése az Edge Otsu módszerrel készült térképek esetén a találati pontosság függvényében.

A víz találati pontosság jellemzően 80% felett alakult, amely jónak tekinthető, hiszen a teszt vízpontok az idősor nagy részén jellemző viselkedés és nem az aktuális időpontban történt észlelés alapján kerültek meghatározásra. Egyes időpontokban 0% körüli víztalálat látható, ezen esetekben az *Edge Otsu* által felállított „legjobb” határértékek annyira rosszul szerepeltek, hogy még az állandó vízfelületeket sem találták meg, ilyen esetekben kevésbé szigorú (eggyel nagyobb) kezdőértékek sem adnak helyes eredményt; ezen térképek jellemzően egyértelműen túlbecsülik a mintaterületen található víz mennyiségét. A belvizes pontok víz találati értéke erősen változó, ami a belvizes időszakok szezonalitástól adódóan a várakozásoknak megfelel.

A vizuális interpretáció alatt is megfigyelhető volt, illetve statisztikailag is kimutatható (4. ábra), hogy az *Edge Otsu* folyamatot elindító kiinduló paraméter értéke és a módszer által számolt végső víz, nem víz paraméter értékek között szignifikáns kapcsolat van. A Markert et al. (2020) által javasolt -16-os kezdőparaméter a vizsgálati időszak nagy részén nem volt megfelelő, a felvételek nagy részén szigorúbb kezdő paraméter került meghatározásra. Ugyanakkor szintén a vizuális tapasztalatok és a statisztikai eredmények alapján az is megállapítható, hogy a módszertan által talált víz mennyisége nincs kapcsolatban a vizuális interpretáció segítségével választott kiinduló paraméterrel (5. ábra).

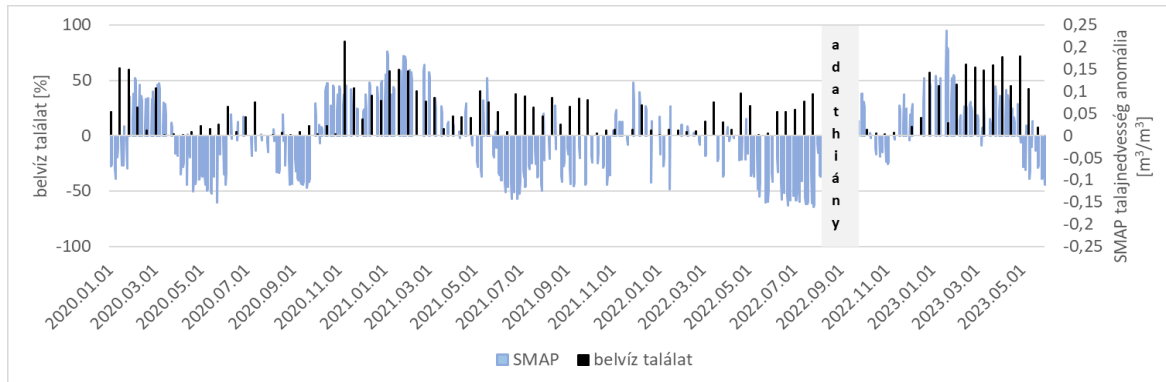


4. ábra: Az *Edge Otsu* módszertan során használt induló paraméterek és a számolt paraméterek egymáshoz képesti viszonya. A sárgával jelzett -16 a szakirodalom által javasolt kiinduló paraméter (Markert et al., 2020).



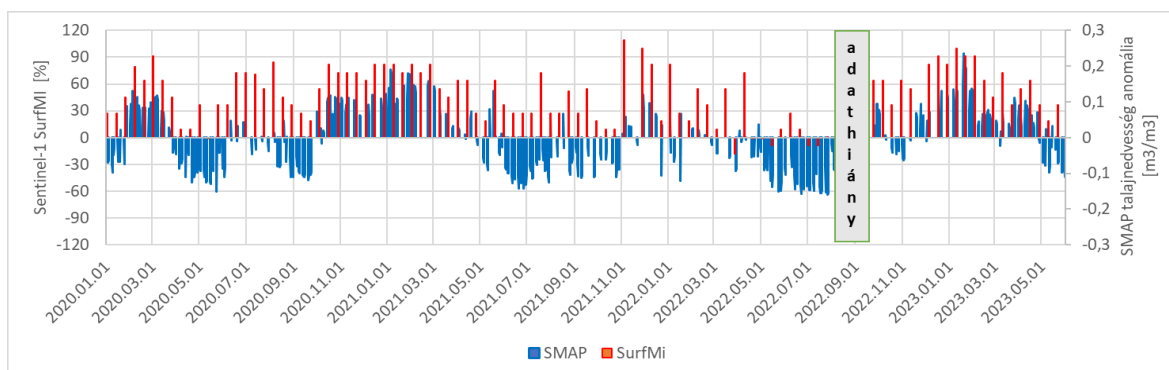
5. ábra: A vizuális interpretáció során meghatározott induló és az *Edge Otsu* módszer által meghatározott paraméterek nagysága és az egyes időpontokban elkészült térképek megbízhatósága közötti kapcsolat.

A belvíztalálatok időbeliségének vizsgálatára a SMAP talajnedvesség adataiból származtatott anomália értékeket használtuk fel. Az értékek a pozitív talajnedvesség anomáliát mutató időszakokban jól lefedik a belvizes pontok víztalálatának időbeli mintázatát (6. ábra). Azonban hosszabb, egyértelműen aszályos időszakokban szintén trendszerű belvíztalálat figyelhető meg. A szakirodalom alapján a VV értékeket befolyásolhatja a felvételezés idején jelentkező nagyobb szélesség (Alsdorf et al., 2007), azonban a jelenség trendszerű mivolta miatt ez kizárható.



6. ábra: A mintaterületre vonatkozó belvíztalálat és a mintaterület SMAP talajnedvesség anomáliája.

A jelenség megértése érdekében SurfMI talajnedvesség indexet is számoltunk a vizsgálati időszakokra. A SurfMI értékek pozitív talajnedvesség anomália esetén szintén jól követik a SMAP anomália mintázatát (7. ábra), ugyanakkor egyes hosszabb, a SMAP értékek szerint negatív talajnedvesség-anomáliával jellemzett időszakokban is pozitív talajnedvességet jeleznek. Az index viselkedése kedvezőnek mondható olyan szempontból, hogy a vizsgálati időszak legkomolyabb, 2022 nyarán jelentkező aszálya idején valóban alacsony talajnedvességet jelez (Megjegyezzük, hogy a SurfMI index számítási elvéből adódóan a negatív és a 100% feletti értékek előfordulása is lehetséges.).



7. ábra: A mintaterületre számolt időpontenkénti SurfMI index értékek és a mintaterület SMAP talajnedvesség anomáliája.

A vizsgálati időszak alatt jelentkező aszályos időszakokban tapasztalt félrebecslések kiküszöbölése végett a jövőben a radaralapú belvíztérképezés operatív működéséhez elengedhetetlen a meteorológiai- vagy talajnedvesség-mérések indikátorként történő használata. A mintaterületi vizsgálatok során szerzett tapasztalataink alapján elmondható, hogy az *Edge Otsu* módszertan a belvizes időszakokban viszonylag gyorsan alkalmazható nyílt vízfelületek térképezésére. Az országos operatív térképezés megkezdése előtt azonban az

esetleges további korlátok megismerése végett nagyobb, illetve több mintaterületre kiterjedő vizsgálatot tervezünk.

Köszönetnyilvánítás

Munkánk a KDP-2020 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 993788 pályázati program finanszírozásában, és a TKP 2021-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.

Hivatkozások

- Alsdorf, D.E., Rodríguez, E., Lettenmaier, D.P., 2007: Measuring surface water from space. *Review of Geophysics*, 45(2): RG2002. <https://doi.org/10.1029/2006RG000197>
- Canny, J., 1986: A computation Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6): 679–698. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>
- Cavallo, C., Papa, M.N., Gargiulo, M., Palau-Salvador, G., Vezza, P., Ruello, G., 2021: Continuous Monitoring of the Flooding Dynamics in the Albufera Wetland (Spain) by Landsat-8 and Sentinel-2 Datasets. *Remote Sensing*, 13(17): 3525. <https://doi.org/10.3390/rs13173525>
- Donchyts, G., Schellekens, J., Winsemius, H., Eisemann, E., Van de Giesen, N., 2016: A 30 m Resolution Surface Water Mask Including Estimation of Positional and Thematic Differences Using Landsat 8, SRTM and OpenStreetMap: A Case Study in the Murray-Darling Basin, Australia. *Remote Sensing*, 8(5): 386. <https://doi.org/10.3390/rs8050386>
- 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*, 202: 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Markert, K.N., Markert, A.M., Mayer, T., Nauman, C., Haag, A., Poortinga, A., Bhandari, B., Thwal, N.S., Kunlaimai, T., Chishtie, F., Kwant, M., Phongsapan, K., Clinton, N., Towashiraporn, P., Saah, D., 2020: Comparing Sentinel-1 Surface Water Mapping Algorithms and Radiometric Terrain Correction Processing in Southeast Asia Utilizing Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(15): 2469. <https://doi.org/10.3390/rs12152469>
- McFeeters, S.K., 1996: The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7): 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- O'Neill, P.E., Chan, S., Njoku, E.G., Jackson, T., Bindlish, R., Chaubell, J., Colliander, A., 2021: SMAP Enhanced L3 Radiometer Global and Polar Grid Daily 9 km EASE-Grid Soil Moisture, Version 5. [Indicate subset used]. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/4DQ54OUIJ9DL>
- Otsu, N., 1979: A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 9(1): 62–66. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
- Twele, A., Cao, W., Plank, S., Martinis, S., 2016: Sentinel-1-based flood mapping: A fully automated processing chain. *International Journal of Remote Sensing*, 37(13): 2990–3004. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1192304>

- Urban, M., Berger, C., Mudau, T.E., Heckel, K., Truckenbrodt, J., Onyango Odipo, V., Smit, I.P.J., Schmullius, C., 2018: Surface Moisture and Vegetation Cover Analysis for Drought Monitoring in the Southern Kruger National Park Using Sentinel-1, Sentinel-2, and Landsat-8. *Remote Sensing*, 10(9): 1482. <https://doi.org/10.3390/rs10091482>
- van Leeuwen, B., Tobak, Z., Kovács, F., 2020: Sentinel-1 and -2 Based near Real Time Inland Excess Water Mapping for Optimized Water Management. *Sustainability*, 12(7): 2854. <https://doi.org/10.3390/su12072854>
- Wagner, W., Lemoine, G., Rott, H., 1999: A method for estimating soil moisture from ERS Scatterometer and soil data. *Remote Sensing of Environment*, 70(2): 191–207. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00036-X)

Internetes hivatkozások

[1 – Országos Meteorológiai Szolgálat]

https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3261

[2 – Országos Meteorológiai Szolgálat]

<https://www.met.hu/idojaras/agrometeorologia/elemzes/index.php?id=5093&m=2>

ORCID

Kern A.  <https://orcid.org/0000-0002-3504-1668>

Kristóf D.  <https://orcid.org/0000-0002-1056-9001>