

# A VIZES ÉLŐHELYEK VÍZBORÍTOTTSÁGÁBAN BEKÖVETKEZŐ VÁLTOZÁSOK VIZSGÁLATA RADARFELVÉTELEKKEL A GOOGLE EARTH ENGINE HASZNÁLATÁVAL

GULÁCSI ANDRÁS<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék

\*e-mail: gulandras90@gmail.com

## Absztrakt

Korunkban már nem az adatok hiánya jelenti a földrajzi kutatások korlátját, hanem annak a tömördek rendelkezésre álló és ingyenes távérzékelt adatnak a nehézkes, időben rendkívül hosszadalmas feldolgozása. Hiszen csak nagy mennyiségű, empirikus adatból lehet szilárd tudományos következtetéseket levonni, és megbízható modelleket felállítani. A Google Earth Engine felhő alapú számítási platform alkalmazásával szeretném demonstrálni az objektum-orientált programozás elengedhetetlen szükségét a földrajzban és a geoinformatikában. A vízborítás változásait vizsgáltam havi felbontásban, 2015 és 2016 között, a Felső-Kiskunsági tavak területén. A hidrológiai aszály és a vízborítás értékeléséhez a Sentinel-1A és -1B műholdak C-sávú szintetikus apertúra radarjának felvételeit használtam, és ISODATA klaszterezéssel meghatároztam a vízborítás kiterjedését. Az utóbbi évtizedekben, az éghajlatváltozás miatt bekövetkező szárazodás a Duna-Tisza közén fejt ki legerőteljesebben és legtisztábban a tájra, azon belül is a vizes élőhelyekre, gyakorolt hatását, ezért elengedhetetlen e változások nyomon követése.

---

## Bevezetés

Az éghajlatváltozás miatti szárazodás a Duna-Tisza-közi szikes tavak vízborítás-dinamikájára is nagy befolyással lehet, de ennek beható tanulmányozására eddig nem állt rendelkezésre elegendő távérzékelt adat, ami a korábbi kutatások elé akadályt gurított. Az ingyenesen elérhető Sentinel-1 radarfelvételek megjelenésével viszont megváltozott a helyzet.

Hatalmas előnye a Sentinel-1 alapú vízérzékelésnek, hogy a tavaszi-kora nyári időszakban is akadálytalanul térképezhető a vízborítás, mivel a terepi felmérést a vizes élőhelyeknél tapasztalható terepi adottságok sok esetben lehetetlenné teszik ebből az időszakból (Kovács 2009). Landsat és más optikai műholdak felvételeivel, azok időjárás-



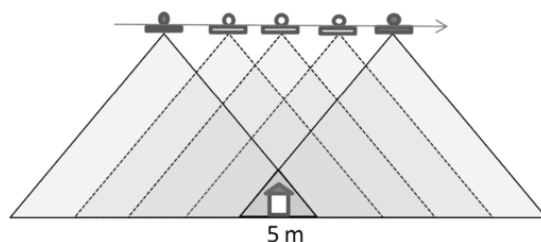
függése miatt, nem lehetséges egy egész évre vonatkozó hiánytalan adatsor számítása, ezért is fontosak a vizsgálat eredményei. Még nem történt ilyen részletességű és pontosságú vizsgálat, pláne nem a vízforgalmi szempontból kiemelkedő fontosságú téli-tavaszi időszakból, ami a vizes élőhelyeken lezajló vízrajzi változásokat dokumentálja.

### Adat és módszer

Az aktív távérzékelés a radarokat és a lézerszkennereket foglalja magában. A rádiólokátor, vagy röviden radar, egy olyan berendezés, amely az általa kisugárzott rádióhullámok visszaverődésének érzékelése alapján a tereptárgyak helyét meg tudja állapítani, sőt a tereptárgyak fizikai jellemzőire, anyagára is lehet következtetni a visszaszóródási értékekből. A radar átlát a felhőkön és éjszaka is működik, hiszen saját sugárforrással rendelkezik. A mikrohullámú tartományban mér: 300 MHz és 300 GHz között.

Rendkívül drága nagy radarantennákat az úrben elhelyezni, így a kutatók találtak egy másik utat, hogy jó felbontást kapjanak: a műhold mozgását és fejlett jelfeldolgozási technikáját használják ki, hogy az egy nagyobb antennát szimuláljon. Ezt nevezzük szintetikus apertúrának (synthetic aperture radar, SAR) (FÖMI).

A SAR antenna a radarjeleket nagyon gyorsan továbbítja (képes több száz ilyen jelet továbbítani), mialatt az antennát hordozó műhold egy megfigyelt tárgy felett elsiklik. Ezért sok visszaszórt radarválaszt is kapunk az objektumról. „Az alapos jelfeldolgozást követően minden ilyen választ lehet úgy kezelni, hogy az eredményként létrejövő kép olyan, mintha az adatokat egy nagy, mozdulatlan antenna szolgáltatta volna. A szintetikus apertúra ebben az esetben tehát az a távolság, amit a műhold megtett, mialatt a radar antenna a tárgyról az információt összegyűjtötte” (FÖMI). Vagyis: Az egyszeri visszaverődés gyenge, de a folyamatosan visszaverődő jelek integrálásával az antenna hossza megegyezhet, így van megnövelt visszavert jel (1. ábra).



1. ábra: Szintetikus apertúra radar elve (Bányai et al. 2014)

A Sentinel egy, az Európai Unió (EU) finanszírozta és az Európai Űrügynökség (ESA) által kivitelezett küldetés a Copernicus Program keretein belül. A Sentinel-1 műhold C-sávú SAR felvételeket készít többféle polarizációban és felbontásban. Számos speciális algoritmus segítségével állíthatók elő a kalibrált és geometriailag korrigált radarképek. A Sentinel-1 C-SAR műszerének legfőbb jellemzőit az 1. táblázatban foglaltam össze (Torres et al. 2012).



1. táblázat: A Sentinel-1 C-SAR műszer néhány jellemzője (ESA Sentinel Online)

| Sentinel-1 műholdak             | Sentinel-1A (2014.04-től) és -1B (2016.04-től) |
|---------------------------------|------------------------------------------------|
| Időfelbontás                    | max. 6 nap                                     |
| Interferometrikus szélessáv mód | 250 km széles felvétel                         |
| Központi frekvencia             | 5,405 GHz (~5,547 cm-es hullámhossz)           |
| Sávszélesség                    | 0-100 MHz (programozható)                      |
| Polarizáció                     | HH+HV, VV+VH, VV, HH                           |
| A rálátási szög tartománya      | 20°- 46°                                       |
| Oldalra tekintés                | jobbra                                         |
| A radarantenna mérete           | 12,3 m x 0,821 m                               |

Az interferometrikus szélessáv módban rögzített, magas felbontási szintű Level 1 GRD (Ground Range Detected, azaz földi tartományú adatok) felvételeket használtam, amelyek natív felbontása 20×22 méter (rg×az), amelyet 10×10 méteres cellákra mintáznak át (ESA Sentinel Online). A szakirodalom alapján ez adja a legjobb radiometrikus felbontást és fedést (Torres et al. 2012).

A Google adatbázisában már előre feldolgozott Sentinel-1 felvételek találhatók ('COPERNICUS/S1\_GRD' kép kollekció), tehát az adatokat már előre decibelben (dB) kifejezett visszaszórási együttható értékekké ( $\sigma^\circ$ ) konvertálták, így nekünk csupán le kell kérdeznünk a kész adatokat a Google Earth Engine-hez írt JavaScript kóddal (Google Earth Engine Team 2015).

A visszaszóródási együttható a felszíni területegységre eső cél visszaszórási területet (radar keresztmetszet) reprezentálja. Mivel ez több nagyságrendben változhat, decibelbe kell átváltani:  $10 \cdot \log_{10} \cdot \sigma^\circ$ . Azt méri, hogy vajon a besugárzott felszín a beérkező mikrohullámú sugárzást elsősorban a SAR szenzortól elfelé ( $\text{dB} < 0$ ), vagy a szenzor irányába ( $\text{dB} > 0$ ) szórja. Ez a szórási viselkedés a felszín fizikai jellemzőitől, méghozzá elsősorban a felszíni objektumok geometriájától és elektromágneses jellemvonásaitól függ (pl. elektromos vezetőképesség).

A Google Earth Engine felhőplatform a következő előfeldolgozási lépéseket végzi el, hogy minden egyes pixelre származtassa a visszaszóródási együtthatókat:

- 1) Korrekció a pályaadatokkal;
- 2) Háttérzaj eltávolítása (felvétel szélein található, hibás értékekkel rendelkező sötét sávok eltávolítása);
- 3) Radiometrikus kalibráció (visszaverődési együttható intenzitások számítása);
- 4) Domborzati korrekció (a domborzatból származó torzulások korrigálása);
- 5) A mértékegység nélküli visszaszóródási együtthatók átszámítása decibelbe;
- 6) Az értékek lezorítása az 1. és a 99. percentilis értékekre (az ezen kívül eső értékeket helyettesítik a minimum és maximum, azaz az 1. és 99. percentilis értékeivel), hogy megőrizték a dinamikus tartományt a kiugró értékekkel szemben;
- 7) Az értékek 16 bitbe kvantálása (Google Earth Engine Team 2015).



Ezen felül, túskelezésre (speckle filter) is szükségünk van. Erre a célra egy medián szűrőt alkalmaztam. A felszín rendkívül érdekes a mikrohullámok léptékéhez mérten, ami nagy varianciájú, szemcsés zajt eredményez a képen, amit túskeleknek nevezünk (speckle). Az antennához visszaérkező hullámok interferenciát szenvednek. Ha a hullámok eltérő fázisban találkoznak, akkor kioltják, míg azonos fázisban felerősítik egymást. Ennek megfelelően fényes és sötét pontok keletkeznek. Gondoljunk itt még a régi televíziókra az analóg időkből, amikor hangyás volt a kép, mert a padláson az antenna rosszul volt elhelyezve. A kép tisztításához a túskeket el kell simítani. A szűrés hátránya, hogy elmoshatja az éleket, eltörölhet vékony vonalas objektumokat, és az objektumok alakja is torzulhat (Wikipedia). Santoso et al. (2016) számos SAR képekre használatos túskelező eljárást (Frost, Lee, medián és átlag szűrő) hasonlított össze, melyek közül a Frost-szűrő teljesített a legjobban; mivel sok különbség nem volt a módszerek között, a mediánnál maradtam.

A havi kompozitképek készítésének nagy előnye, hogy csökkenti a túskeket, hiszen az átlagolás a variancia egy részét elsimítja. A másik ok pedig, hogy a klimatológiában általában a havi felbontású adatok használatosak: a hónapon belüli variancia kevésbé érdekes.

A radarképek elemzésére automatikus osztályozást végeztem. A vízborítás lehatárolásához kihasználhatjuk azt a tényt, hogy a sima vízfelszín szinte tökéletes visszaverőnek minősül a mikrohullámú tartományban, így kevés jel jut vissza az érzékelőhöz. Azaz a szenzortól elfelé szórja a vízfelszín a sugarakat, ezért erősen negatív dB értékekkel különül el a környezetétől. A VV polarizációs sáv alkalmasabbnak bizonyult az osztályozáshoz, ugyanis kevésbé „hangyás” vagy „túske”, mint a VH polarizációs sáv. A vízborításra jellemző szórási értékek -20 dB körül vannak a VV polarizációs sáv esetén, így képosztályozással egyértelműen lehatárolható a vízfelszín.

A képelemzést a SAGA GIS nyílt forráskódú szoftverrel végeztem. Az általánosan elterjedt ISODATA klaszterezést választottam. Időpontonként egy, kettő vagy három vizes osztály adódott a klaszterezés eredményeként. A vízborítást reprezentáló klasztereket a klaszterközép értékek alapján három kategóriába lehet csoportosítani: -17-18 dB közötti, -19-20 dB közötti és -21-23 dB közötti °σ (a VV sávra értendő). Az még kérdés tárgya, hogy fizikailag ezek milyen víztartalombeli vagy vízszintbeli különbségekre utalnak. A kisebb dB értékek valószínűleg mélyebb vizet jeleznek és a tavak közepén jellemzőek, míg a partoknál és a tavak szélein magasabb dB értékek figyelhetők meg. Továbbá 17-18 dB körül nagyobb lehet a tévesztés az átnedvesedett talajjal vagy a túskeekkel. Az ISODATA mellett a „vevő működési karakterisztika” (Receiver Operator Characteristics, ROC) görbe alkalmazásával (Fawcett 2006) a vízborítás küszöbértékét is megpróbáltam meghatározni. A ROC elemzést egy R szoftverhez írt szkripttel végeztem [1].

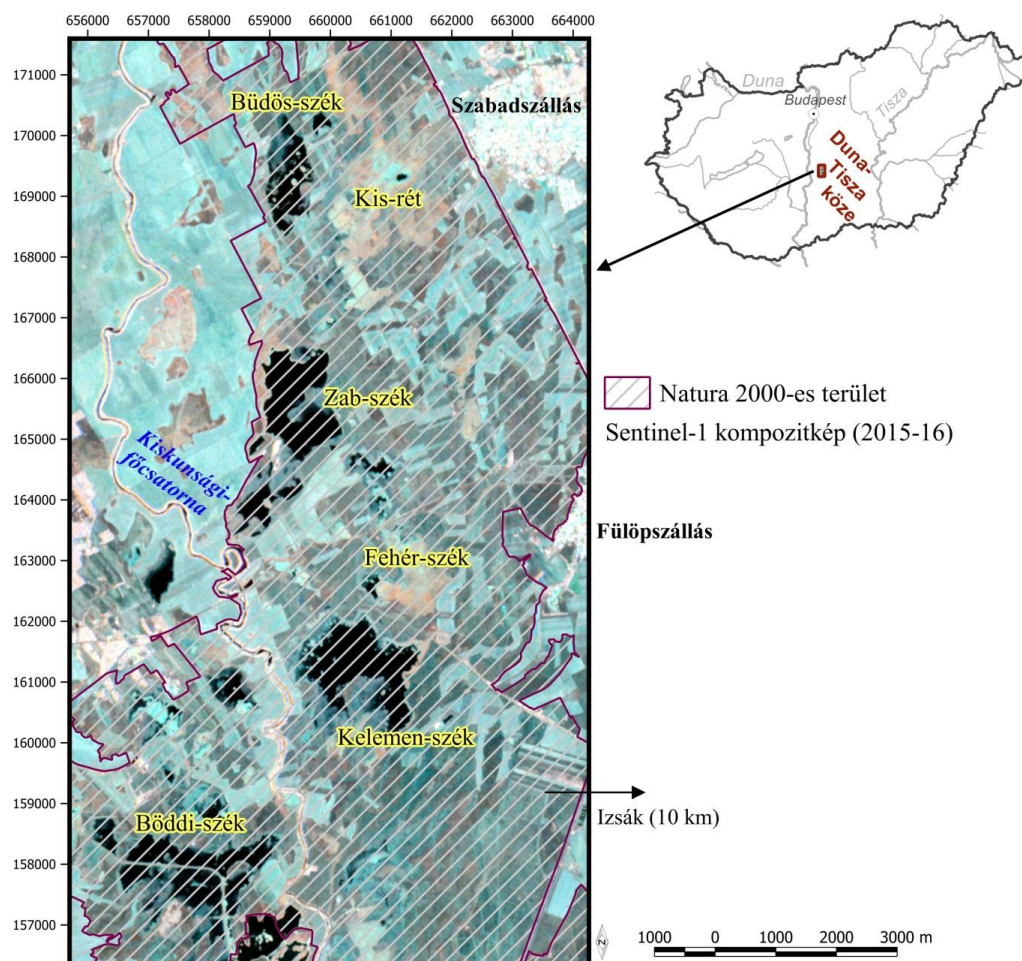
A Sentinel-1 validációjához a Landsat 8 OLI légkör tetején mért reflektancia adatokat használtam fel, módosított normalizált differenciált vízindexet (MNDWI) alkalmazva (Xu 2006):  $MNDWI = (B3 - B7) / (B3 + B7)$ , ahol B3: zöld sáv, B7: rövidhullámú infravörös sáv.



### Mintaterület

Korábbi földrajzi kutatások már vizsgálták az időszakos és állandó vizeknek az Alföldre jellemző csökkenését, illetve eltűnését a Duna-Tisza közén fekvő, szigorúan védett Felső-Kiskunsági tavak területén (Kovács 2009, 2011). Így esett a választásom erre a területre, ami rendkívül előnyös, hiszen újabb eredményekkel szolgálhatok a már meglévő tudást és tapasztalatokat kibővítvé.

A 13.000 ha-os mintaterület 85 %-a a Nemzeti Ökológiai Hálózat (Natura 2000) része, 2/3-a magterület, de a vizes foltok 50 m-es övezetének 1/3-a a CLC50 adatok szerint nem természetközeli felszín. A terület 44 %-át foglalják el a szikes tavak (4 %), mocsarak (10 %) és gyepek (23 %), illetve szikes felszínek (7 %) (2. ábra).



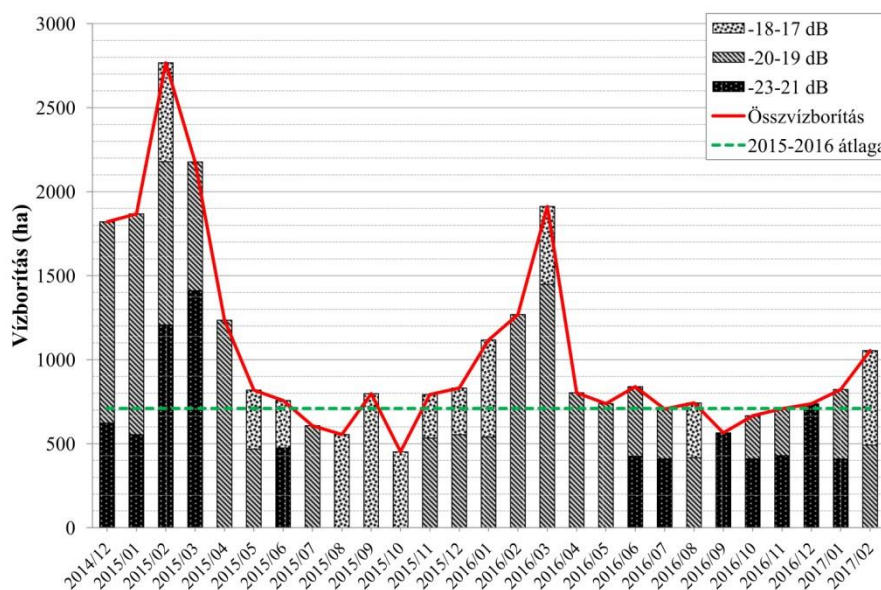
2. ábra: A Felső-Kiskunsági tavak mintaterület bemutatása

### Eredmények

Az osztályozott tematikus rétegeket vektorizáltam és meghatároztam a vízborítás kiterjedését a mintaterületen. Ilyen részletességben műholdképekkel még soha nem tárták fel a szikes tavak vízborításának változásait. 2015 első három hónapja különösen belvizes időszak volt, és mégis jobban lecsökkent a vízborítás a nyárra és a szeptember-októberi időszakra, mint a rá következő évben, pedig 2016 kevésbé volt belvizes év. A februári



maximális (2766,9 ha) és az októberi minimális (452,0 ha) vízborítás kiterjedése között hatszoros különbség mutatkozott meg egy éven belül, ékes bizonyítékát mutatva a szikes tavak rendkívül szélsőséges vízgazdálkodásának, ami a korábbi, Landsat alapú kutatásokkal egybevág (Kovács 2009). A nagy természetes változékonyság miatt nagyon nehéz feladat trendszerű változásokat kimutatni a vízborítás gyakoriságában és tartósságában a vizes élőhelyeken. Egy-egy szélsőségesen nedves és a szokásosnál hűvösebb évben gyorsan felélednek a régi medermaradványok és a kiszáradt tómedrek. Az ábrán a dB értékek alapján csoportosított osztályok szerinti bontásban adtam meg a területeket, piros vonallal jelölve az összvízborítást (3. ábra).



3. ábra: Vízrel borított terület a Sentinel-1 adatok alapján 2014/12 és 2017/03 között

Ezek után a vízborítás kiterjedése és a klimatológiai változók (havi hőmérséklet és csapadékösszeg) közötti lehetséges kapcsolatnak jártam utána. A Budapest-pestsztentlőrinci meteorológiai állomás (GHCN-D kód: HUM0001284, WMO kód: 12843) napi mérései alapján számolt havi átlaghőmérséklet és a havi csapadékösszeg adatokat használtam, mert sajnos ez a mintaterülethez legközelebb eső állomás, aminek az adataihoz hozzáférhetek. Az adatokat a Globális Történeti Klimatológiai Hálózat (GHCN-Monthly, Global Historical Climatology Network) adatbázisából (NOAA) töltöttem le a KNMI Climate Explorer webalkalmazáson keresztül.

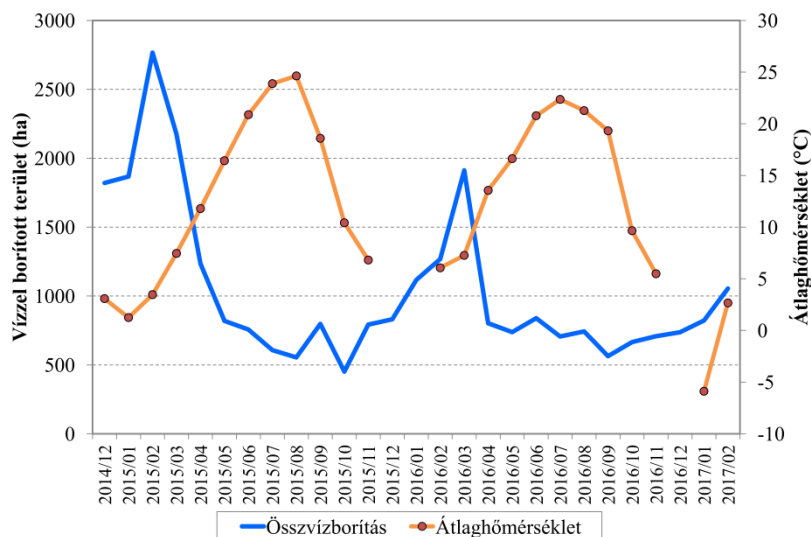
Az összvízborítás és a hőmérséklet között egyértelműen látszik a kapcsolat (4. ábra): világosan leolvasható az ábráról, hogy fordított arányosság áll fenn a hőmérséklettel, vagyis a nyári időszakban a vízborítás a magasabb hőmérséklettel járó fokozott párolgás miatt zsugorodik össze leginkább (valamint töményedik be sókkal a víz).

A havi csapadékösszeg szerepe nem ennyire egyértelmű (5. ábra). De például 2015 szeptemberében a vízborítás enyhe megugrását eredményezte az augusztusi és szeptemberi átlag feletti csapadékhullás. Ezzel szemben 2016 augusztusában hiába esett 143 mm csapadék, a vízborítás alig változott. A nyári félévben a párolgás nagyobb intenzitású, mint

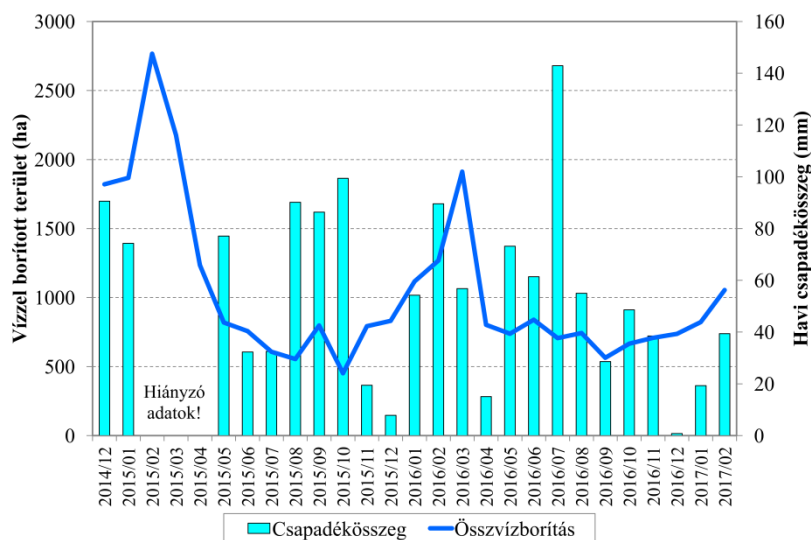


télen, ezért lehet az, hogy bár egy-két nyári hónapban átlagon felüli csapadék hullott, a vízborítás mégsem növekedett számottevően.

A téli félévben uralkodó alacsony hőmérsékletek miatt a párolgási veszteség drasztikusan lecsökken, ami a víz felhalmozódását, a tavak feltöltődését eredményezi. A január-március közötti időszakban a hirtelen melegedéssel járó hóolvadásból drasztikusan megemelkedhet a vízborítás, mert a fagyott altalaj nem tudja elnyelni a hirtelen felgyülemelő vizet, de aztán nagyon gyorsan le is apad, mint a rendkívül belvizes 2015-ben. Ebben az évben 2016-hoz képest egy hónappal előbb, februárban tetőzött a vízborítás.



4. ábra: A havi vízborítás és a havi átlaghőmérséklet közti kapcsolat

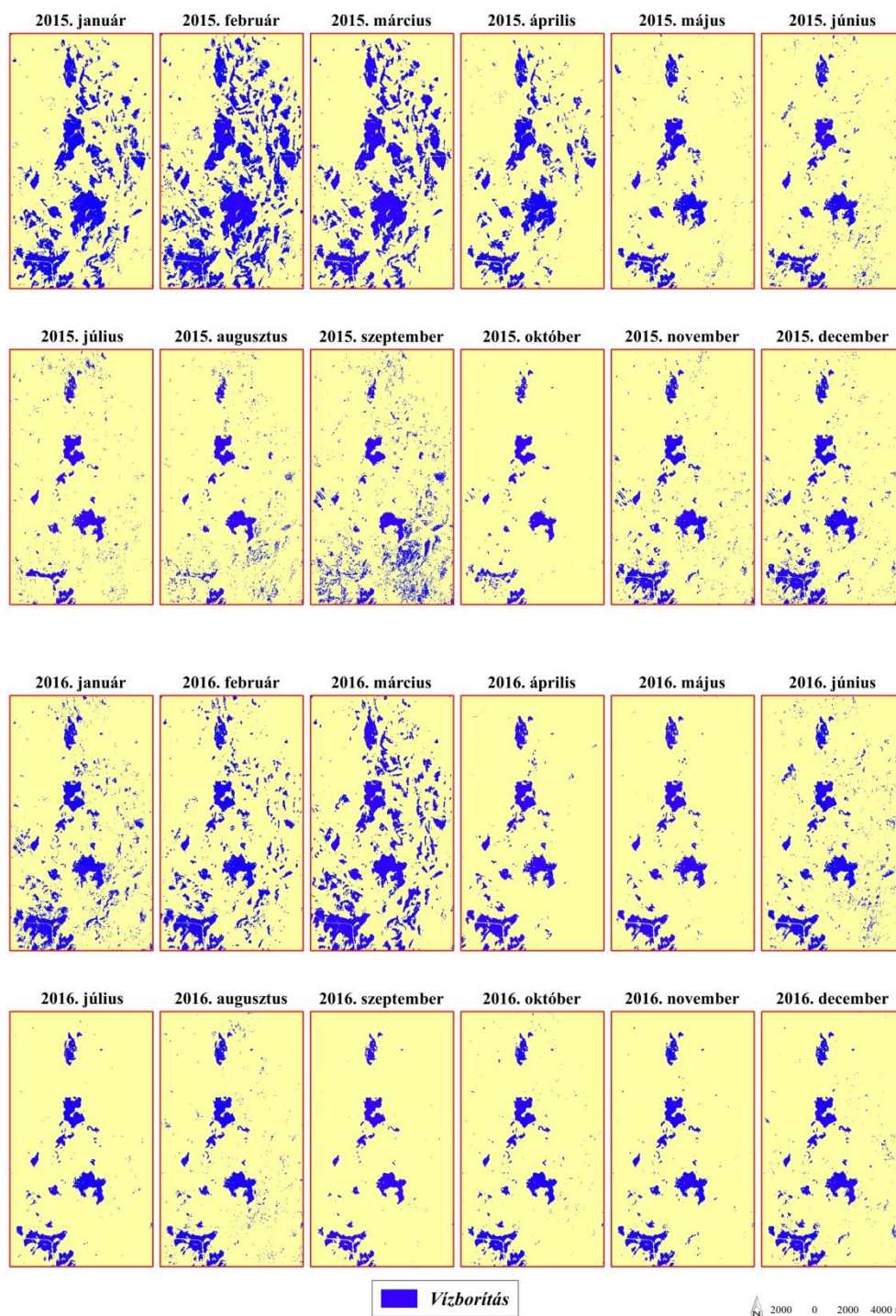


5. ábra: A havi vízborítás és a havi csapadékösszeg közti kapcsolat

A 2017. februári nagy hidegek alatt jégpáncél borította a tavakat, de nem okozott gondot a vízborítás térképezésében. A jégfelszín a vízhez nagyon hasonló visszaverési tulajdonságokkal bír. A térképeken (6. ábra) megfigyelhető a március körüli maximum és a nyárvégi minimum vízborítás, egy esetleges kisebb őszi fellendüléssel.



Jól kivehető a térképeken, hogy a Böddi-szék időszakosabb szikes tó, mint a többi. A nyár végére - az ősz elejére csupán a tó északi medencéjében marad meg a víz, míg a tavat keresztülszelő csatornától délre fekvő területek egyes években teljesen kiszáradnak. Érdekes módon 2015-ben is így történt, pedig az év eleji vízborítás hatalmas volt, viszont a februári csúcs után májusra 1/3 részére esett vissza a vízborítás, tehát mindössze 3 hónap alatt. 2016-on kívül még az átlag alatti 2014-ben is egész évben rendesen volt víz a tó mindkét felén.

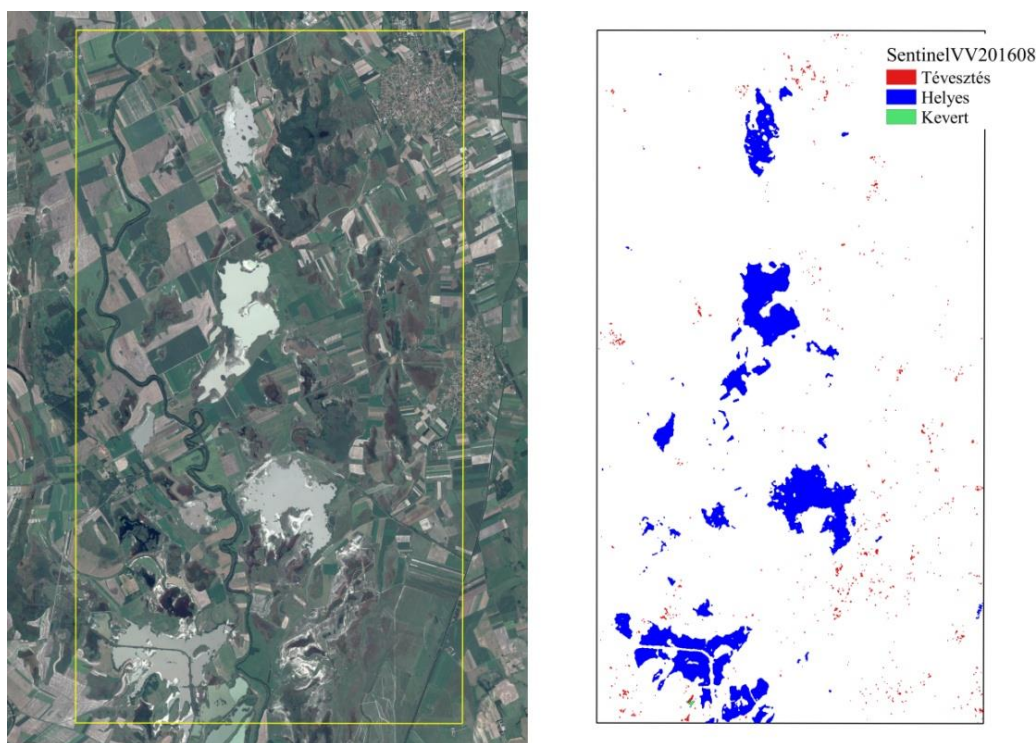


6. ábra: Sentinel-1 havi kompozitképek és az ISODATA osztályozás eredménye 2015-ben és 2016-ban



### Validáció

Az eredmények érvényesítéséhez egy nagy felbontású, 2016. augusztus 9-i Pléiades (CNES/Astrium) műholdképet találtam nagy szerencsémre a Google Earth adatbázisban, amit összevettem a 2016. augusztusi radarkompozittal (7. ábra). A referenciafelvételen a vízborítást vizuálisan interpretáltam, melynek során az összes osztályozott poligont (2456 db) helyesen (1) és tévesen (0) víznek osztályozott bináris kategóriába soroltam. Összesen 38,5 ha terület osztályozódott tévesen víznek a 742,7 ha-ból, ami 5,2%-os hibát jelent, vagyis az osztályozás helyessége a Google Earth referenciához viszonyítva 94,8%.



7. ábra: A vízborítás-osztályozás validációja egy 2016. augusztus 9-i Pléiades űrfelvétel segítségével

A félreosztályozások oka. A szétszórt, véletlenszerű apró foltokat eredményezhetik a tüskék, amiket a tüskeszűrő nem volt képes tökéletesen eltávolítani. Ha viszont túl nagy sugarú kernelt állítunk be (pl. 5 pixel sugarút), akkor az objektumok határai elmosódnának, és a kép olyan lenne, mint egy festmény. Példának hozhatom fel a 2015. szeptemberi kompozitképet, ami sokkal hangyásabb volt a többihez képest. Mindez azt eredményezi, hogy szétszórtan előfordulhatnak tévesen víznek osztályozott pixelek a sötét pontok helyén. Szerencsére ilyen jelentős tüskés zaj csak egyszer fordult elő.

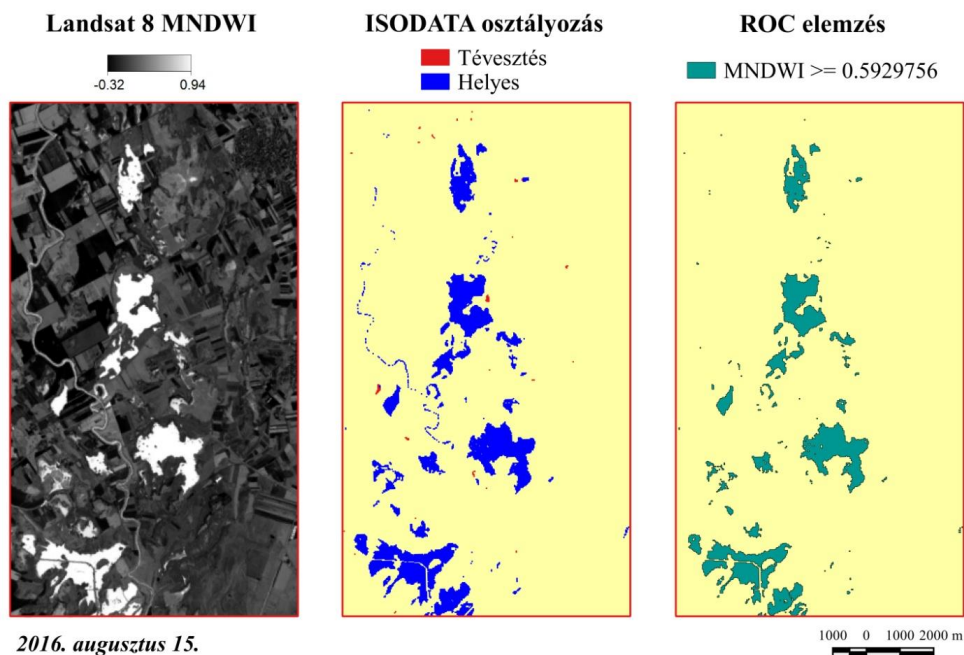
Ezután ROC elemzést végeztem, ami nem vezetett helyes eredményre, nem talált megfelelő küszöbértéket a vízborítás és a „nem-vízborítás” elkülönítésére.

Rendelkezésre állt még egy 2016. augusztus 15-i felhőmentes Landsat 8 felvétel (TOA reflektancia adatok, atmoszférikus korrekció nélkül) is, így MNDWI-t számíthattam, amit szintén érvényesítettem a Pléiades műholdfelvétel segítségével. Az MNDWI-re számított



ISODATA klaszterezésnek az eredményeként 897,5 ha terület osztályozódott víznek, ebből a félreosztályozás (hamis vizes jel) mindössze 1,0% (9,3 ha). Érdekes módon a Kiskunsági-főcsatornát is érzékeli az MNDWI, viszont a Sentinel-1 nem, pedig a Landsat-éhoz képest 9-szer kisebb területű egy pixele. Az MNDWI-képen erős kontraszttal különülnek el a fényes vízborításos területek a sötét környezetüktől. A látható zöld és a SWIR sáv kombinációja kétségkívül nagyon hatásos a vízfelszínek detektálásában (8. ábra).

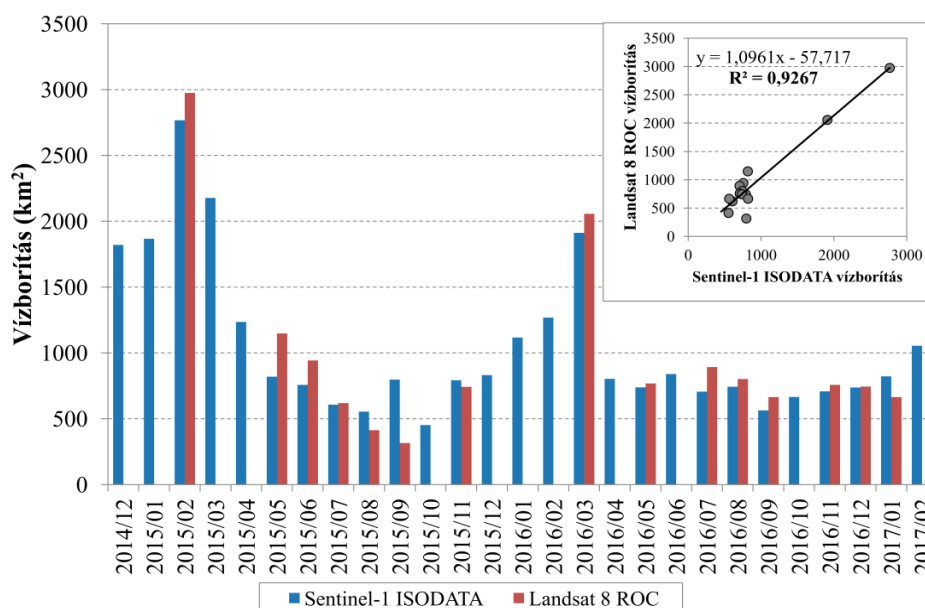
Egy megfelelő belvíz-küszöbérték (itt műszaki megközelítésben beszélek belvízről, tehát összefüggő vízfoltokat értek alatta) megadása nehéz, ui. a műholdképek térbeli felbontása durva a belvíz léptékéhez mérve, ill. sekélyebb/átlátszó a víz a kicsit mélyebb tavakhoz és csatornákhoz képest. A nyílt vízfelszínek esetén 0,8-0,9-es vagy a feletti MNDWI értékek jellemzők, míg 0,5 körüli értékek figyelhetők meg a vizenyős/mocsaras területek esetében. Küszöbértéknek tehát a 0,5 körüli MNDWI érték felelhet meg. A ROC elemzés eredménye (MNDWI=0,5929756) alátámasztja a küszöbérték jóságát (AUC=0,730, IP=1018, HP=697). Az így nyert küszöbérték segítségével újraosztályoztam az MNDWI képet, és összevetettem az eredményt az ISODATA szerinti vízborítással. A kettő egybevág.



8. ábra: Landsat 8 MNDWI szürkeárnyaltos kép, az ISODATA és a ROC küszöbértékes osztályozás eredménye (2016. augusztus 15.)

A keresztvalidációhoz felhasználtam az összes tiszta Landsat 8 OLI felvételt. Amikor nem volt megfelelő felvétel, akkor kihagytam a hónapot. Ha több felhőmentes kép is rendelkezésre állt, akkor a képek átlagát vettem. A Sentinel-1 VV polarizációs sávjának és a Landsat 8 MNDWI indexének küszöbértékes osztályozásával kapott vízborítások-kiterjedések között lineáris regressziót számoltam (9. ábra), ami szorosan illeszkedik az adatpontokra: a korrelációs együttható ( $r$ ) 0,96; statisztikailag szignifikáns a kapcsolat ( $p=9,42 \cdot 10^{-9}$ ).





9. ábra: Vízborítások a Sentinel-1 és a Landsat 8 alapján.

*Lineáris regresszió a számolt értékek között*

## Összegzés

A Landsat 8 MNDWI és a Sentinel-1 VV-polarizációs sáv alapú vízfelszín-osztályozás eredménye egybevág egymással, érvényesítik egymást. A nagy felbontású Pléiades műholdképpel való összevetés kimutatta, hogy a Sentinel-1 alapú osztályozás pontossága 94,8%, míg a Landsat 8 MNDWI esetén 99,0%. A ROC elemzéssel megfelelő küszöbértéket (0,592) találtam az MNDWI alapján történő vízborítás-térképezésre. Az ezt elérő vagy meghaladó értékű cellák nagy valószínűséggel nyílt vízfelszínt jeleznek: a hamis pozitív arány minimális, az igaz pozitív arány eléri a 60%-ot, ami magasabb is lehetne. Ez az osztályozás meglehetősen konzervatív, ezért nem érzékeli az összes lehetséges vízfoltot, viszont minimális a félreosztályozások aránya.

A Sentinel-1 adatoknál megbízható és pontos eredményt kaphatunk az ISODATA klaszterezés használatával. A Sentinel-1 C-sávú SAR radarjával időjárástól és napszaktól független, nagy időbeli felbontású adatokat nyerhetünk a vízborítás monitoringjára a vizes élőhelyeken. Ezzel szemben a Landsat-ra monitoring rendszer nem alapozható, ami behozhatatlan hátrányt jelent a radarra szemben. Viszont szerepe annyiban nagy jelentőségű, hogy referenciaként szolgál a radaradatok keresztvalidálására. Megfigyelhető volt, hogy a Landsat adatok általánosságban nagyobb vízborítást jeleztek a Sentinel-1-hez képest. 15-ből 2 alkalommal (2015 szeptemberében és 2016 januárjában) azonban éppen az ellenkezője történt. A radarfelvételek egyetlen hátrányát a tüskék jelentik.

A tanulmányban teljes körű és robusztus validálási eljárásnak vetettem alá a műholdfelvételeket, mely során bizonyítást nyert a Sentinel-1 VV polarizációs sáv és a Landsat 8 MNDWI nagy pontossága a vízborítás érzékelésében. A két teljesen eltérő hullámhossz tartományban, illetve módszerrel nyert adatok nagyon hasonló eredményre vezetnek és statisztikailag is megalapozott a kapcsolat, ami szilárd bizonyítékul szolgál a Sentinel-1 radarfelvételek alkalmazhatóságára a vízborítás nagy időbeli és térbeli



felbontással, valamint az időjárástól függetlenül történő érzékelésére. A Sentinel-1 havi vízborítási kompozitok pontos betekintést nyújtanak a vizes élőhelyek vízborításbeli változásaiiba.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönet jár témavezetőmnek, Dr. Kovács Ferencnek a hasznos tanácsaiért, és a Google-nek, hogy hozzáférést adott a Google Earth Engine API-hoz.

### Irodalomjegyzék

- Bányai L., Szűcs E., Kalmár J., Eperné Pápai I., Bán D. (2014). Az InSAR technológia alapjai és a reflektáló felületek jellemzői. Geomatikai Közlemények 17, pp. 59-67.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. Pattern Recognition Letters 27: 861-874.
- Google Earth Engine Team (2015). Google Earth Engine: A planetary-scale geospatial analysis platform. <https://earthengine.google.com>
- Kovács F. (2009). Változékonyság értékelése vizes élőhelyeken – műholdképek alapján. Hidrológiai Közlöny 89(2): 57-61.
- Kovács F. (2011). Természetvédelmi terület hidrogeográfiai változásvizsgálata térinformatikai alapokon rövid és hosszú időtartamok összehasonlításával. Tájökológiai Lapok 9(2): 301-320.
- Santoso, A W., Bayuaji, L., Sze, L. T., Lateh, H., Zain, J. M. (2016). Comparison of Various Speckle Noise Reduction Filters on Synthetic Aperture Radar Image. International Journal of Applied Engineering Research 11(15): 8760-8767.
- Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M. et al. (2012). GMES Sentinel-1 mission. Remote Sensing of Environment 120: 9-24.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing 27(14): 3025-3033. (letöltve: 2017-01-25)
- ESA Sentinel Online <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar>
- FÖMI: <http://www.sgo.fomi.hu/InSAR/main05.html>
- Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Speckle\\_noise](https://en.wikipedia.org/wiki/Speckle_noise)
- [1] <http://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/stat/ROC.html>

