

Időszakos vízborítás és vegetáció vizsgálata egy marsi analóg területen Marokkóban, Landsat műholdfelvételek segítségével

Varga Nándor

Eötvös Loránd
Tudományegyetem
Berzsenyi Dániel
Pedagógusképző
Központ Földrajzi
Tanszék,
Szombathely

A Mars megismerése számára fontos kutatási helyszínek a Földön azok a térségek, amelyek valamilyen szempontok alapján marsi analóg területeknek tekinthetők: vagy szélsőségesen szárazak, esetleg hidegek, csak időszakosan vízzel kitöltött területek [1], vagy intenzív ultraibolya sugárzás jellemző rájuk, a szemcsék Mars-releváns szállítása elemezhető [2], esetleg az emberes expedíciók készíthetők elő a területen [3]. Az egyik ilyen helyszín Marokkóban, a Szahara északnyugati térségében, Drâa-Tafilalet régió északkeleti részében a Dajet Srij-tó és tágabb környezete. A területet 2018-ban a Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet szakemberei vizsgálták az Ibn-Battuta Center munkatársaival, amiről tanulmányukban részletesen beszámoltak [4]. Ennek a területnek a távérzékeléses módszerrel történő elemzését végzem ezen cikkben, amelyben Landsat-8 műholdfelvételeket használok fel. A munka célja elsősorban az, hogy megállapítsam, hogyan változik a vizes felszínborítás az adott területen egy csapadékos időszakot követően, ezzel együtt a Dajet Srij-tó kiterjedése hogyan módosult közel 1 év alatt, és milyen változásokat mutat a vegetáció. Az alábbi eredmények arra is példát mutatnak, miként lehet földi távérzékeléses adatokból Mars-releváns, ideális esetben az oda küldendő űreszközök tervezéséhez is hasznos megállapításokat tenni.

Munkamódszerek

A képelemzés során Landsat-8 műholdfelvételeket használtam fel. A vizsgálatokhoz három sávot választottam ki, a 4-es, 5-ös és 6-os sávokat. Ezek a vörös (R), az infravörös tartományból pedig a közeli és a közepes sávok (NIR, SWIR). A szíkompozitok ezen sávokból való összeállítása segíti a növényzettel és a vízborítással kapcsolatos megfigyeléseket. Könnyebben meg tudtam különböztetni az egyes felszínformákat és így tematikus térképeket készíthettem, amelyek alapján számszerűsíteni tudtam a vizsgált felszínformák kiterjedésének időbeli változását. Ezek a felszínformák a szabad felszínű vízfelület, növényzet, homokos felszín, hegyvidéki terület. Ezek mellett 1972-től kigyűjtöttem az EO Browser [5] timelapse funkció segítségével évszakonként azokat az éveket, amikor nyílt vízfelszín volt a Dajet Srij-tó medrében.

A műholdfelvételek feldolgozását az IDRISI Selva szoftverrel [6] végeztem a következő módon. Először a szoftverben a *File / Import, Geotiff / Tiff* menüpont alatt megnyitottam a már előzőleg kiválasztott Landsat-8 műhold 4, 5, 6 jelű sávjait. Ezekből a *Create Color Composit* menüpont alatt hamisszínes felvételeket hoztam létre. Az elemzés első fontos lépése volt a szegmentálás, amelyet az *Image Processing / Segmentation Classifiers / Segmentation* menüpontban végeztem. Itt behívtam a három sávot, elindítottam a folyamatot és létrejött egy poligonokból álló réteg, amelyet majd a tanulóterületek kiválasztásában tudtam használni. Ezt a réteget a hamisszínes felvétel rétegére rátettem. Ezen poligonok segítségével tanulóterületeket jelöltem ki a különböző felszínborításoknak megfelelően az *Image Processing / Segmentation Classifiers / Segtrain* menüpont segítségével. Ezek a nyílt vízfelületet, a hegyvidéknek megfelelő felszínt, a növényzetet és a homokos területeket jelentették. A hegyvidéki terület felszíne nagy felbontású Google Earth képen megfigyelve egy sötétszürke porral fedett területtípus, és a felszínen látható autóforgalomra utaló nyomok vannak, színe valós színes felvételen főleg sötétszürke árnyalatú.

Ezután következett az osztályozás lépése. Ezt az *Image Processing / Hard Classifiers / Maxlike* menüpont segítségével végeztem el. Ezzel a folyamattal a felszínborításról létre tudtam hozni tematikus térképeket. Az egyes felszínborítás-típusok területi kiterjedésére vonatkozóan a térkép jelmagyarázatára jobb egérgombbal kattintva elérhető a *Calculate Area* menüpont, amellyel a szoftver automatikusan kiszámolja a megadott mértékegységben az egyes felszínborítások területi kiterjedését.

A műholdfelvételek vörös és közeli infravörös sávjainak felhasználásával NDVI térképet is készítettem a területről. Az NDVI (normalizált differenciális vegetációs index) a növényzet vegetációs aktivitását mutatja. A -1 -től $+1$ -ig terjedő skálán $0,1$ -es érték felett valamilyen növényzet jelen van a felszínen, $0,6$ -tól jellemzően sűrű növényzettel borított egy felszín.

A felhasznált műholdképek

A csempe számáról a WRS (*Worldwide Reference System*) katalógus ad felvilágosítást. Minden képet azonosít egyrészt 6 számjegy – amelyek közül az első három szám a keringési pályát jelenti, az utolsó három pedig a pályákon az adott sort –, másrészt pedig a felvételezés dátuma. Minden műholdfelvétel könnyen azonosítható ezen pálya, sor és felvételezési idő megadásával (1. táblázat).

A WRS-1 számozást a Landsat-1-3 műholdaknál alkalmazták, amikor 18 napos volt a műholdak keringési ideje. Amikor 16 napos lett a keringési idő, akkor bevezették a WRS-2-t. A Landsat-4-9 esetében 233

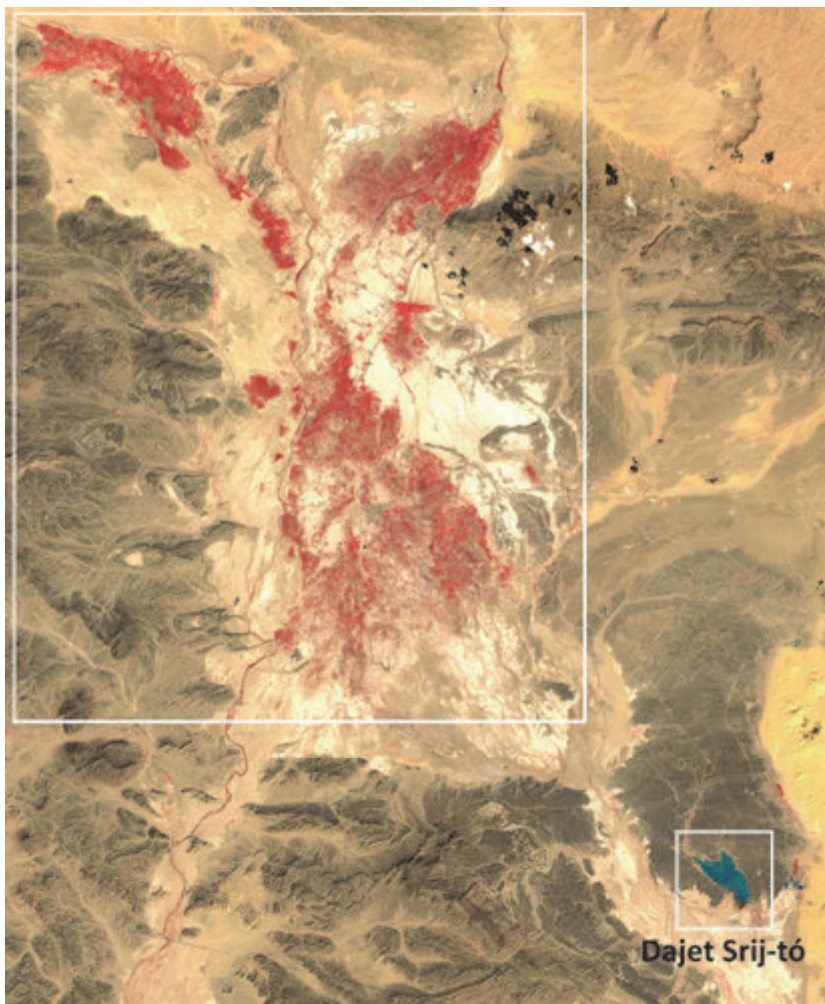
1. táblázat: A vizsgálathoz felhasznált műholdfelvételek adatai

Landsat-8	
Csempe	Dátum
200038	2018-09-10
199039	2018-09-19
199038	2018-11-06
200038	2019-02-01
200038	2019-04-06
199039	2019-06-18

pálya van, 001-től 233-ig tart a számozása keletről nyugatra. A 001-es pálya a $64^{\circ}36'$ nyugati hosszúságnál metszi az Egyenlítő síkját. A sorok számozásánál 248 sort számoznak és a 60. számú sor illeszkedik az Egyenlítőre a műhold észak-déli (leszálló) irányú keringésekor. Minden pálya első sora a $80^{\circ}47'$ északi szélességnél kezdődik.

Eredmények

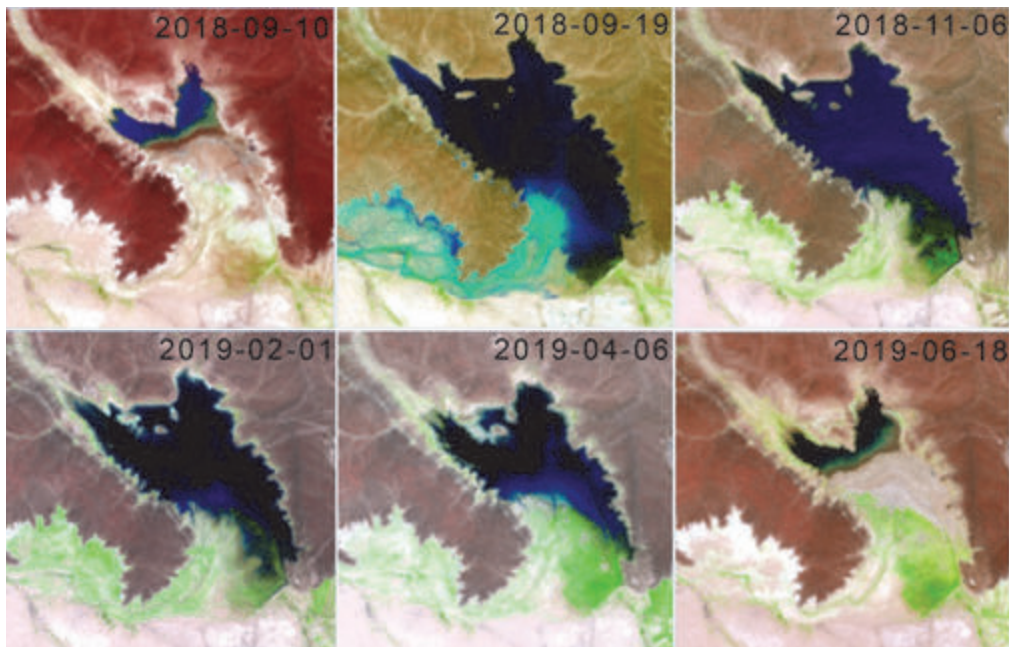
A vizsgált területnek és szűkebb környékének áttekintő képe az 1. ábrán látható 2018. október 12-i hamisszínes műholdfelvételen, a száraz időszak vége felé. A kicsi kép jobbra lent a Dajet Srij-tavat mutatja, amelynek zöldes színe jelzi, hogy a mederben éppen nagyobb kiterjedésű vízfelület van. Et-



1. ábra: Áttekintő műholdfelvétel a vizsgált területek földrajzi elhelyezkedéséről

től északnyugatra pedig a másik vizsgált terület egy völgy, ahol piros színben kiterjedtebb vegetáció azonosítható.

Elsőként a Dajet Srij-tavat és szűkebb környezetét vizsgáltam, ahol egy csapadékos időszakot követően 2018. szeptembertől egészen 2019. június hónapig tanulmányoztam a tó nyílt vízfelületének kiterjedését és ezzel összefüggésben a környéken megjelenő vegetáció területi kiterjedését. A vizsgált időszakból 6 műholdfelvételt választottam ki, amelyek 2018. szeptember 10-től 2019. június 18-ig követik nyomon a tó felszínének gyors növekedését és az ezt követő fokozatos csökkenését (2. ábra).



2. ábra: Landsat-8 hamisszínű műholdfelvételek a Dajet Srij-tóról és környezetéről

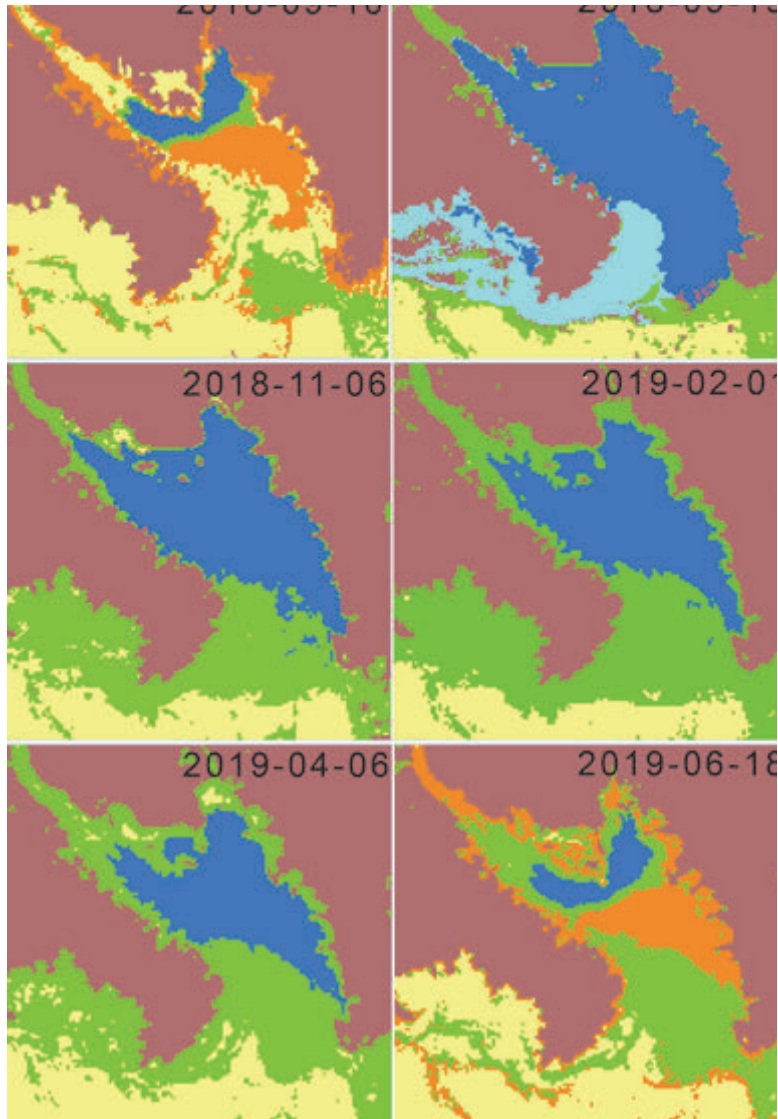
Ezekből a műholdfelvételekből készítettem tematikus térképeket a felszínborításról. A jelmagyarázat színskódolása a 3. ábrán látható.

Kék színnel jelöltem a tó medrében azt a területet, amely nyílt vízfelszínt mutat. A homokos területről két kategóriát készítettem. Az egyik a „homokos”, ami száraz terület, illetve a „homokos (nedves)”, ami először a csapadékos időszak után közvetlenül érzékelhető a tómederben, majd ahogy a nyílt vízfelszín kiterjed és később elkezd visszahúzódni és a meder egy részén nem érzékelhető már növényzet (2019.06.18.), akkor ismét megjelenik. Vélhetően azért, mert a tó medrének kiszáradása nem azonnal megy

	Dajet Srij-tó
	hegyvidék
	növényzet
	homokos
	homokos (nedves)
	időszakos elöntés

3. ábra: A tematikus térképek jelmagyarázata

végbe és a felszín megtartja egy ideig a nedvességtartalmát. A 2018.09.19. időpontban készült képen (2. és 4. ábra) látható csak az „időszakos elöntés” területe. Ezen a tóból kijövő folyók annyira bővizűek, hogy a homokos területen rövid ideig kilépnek a medrükből.



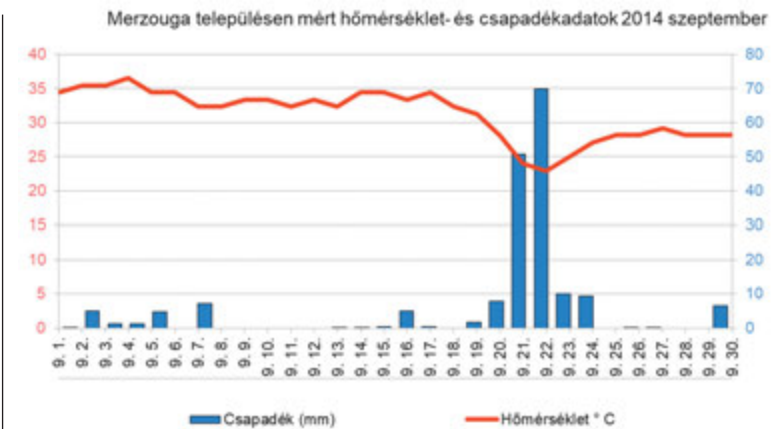
4. ábra: A Dajet Srij-tó és környékének tematikus térképei a felszínváltozásról 2018.09.10. és 2019.06.18. között, ahol a kék szín a nyílt vízfelszínt, a sárga és narancssárga a homokos területet, a barna a tó környezetének hegyvidéki területét, a zöld a növényzetet, a halványkék pedig az időszakos vízfolyásokat, elöntött területeket mutatja

A 2018–2019 között vizsgált időszak, előtt 2014. októbertől 2015. május végéig volt hasonló vízborítás a mederben, ami hosszabb ideig tartott. 2017.10.09-én a meder kb. egyharmadát borította nyílt vízfelszín, ami csak pár hétig maradt meg. A vizsgálatban foglalt időszak után, 2019. szeptember hónapban a meder kb. 40%-át borította nyílt vízfelszín, ez november végéig fokozatosan visszahúzódott. 2020. március 23-án ismét az egész meder területét borította nyílt vízfelület, ami május végéig megmaradt és csak utána kezdett lassan kiszáradni. A legkisebb nyílt vízfelszín 2020. szeptember végén tűnt el a mederből. Mindezek a változások a 2. ábrán figyelhetők meg.

A klímadiagramok magyarázattal szolgálnak arra, hogy miért és milyen időpontokban növekedett meg a műholdfelvételen a tó medrének nyílt vízfelülete. A csapadék és hőmérsékleti adatok a Dajet Srij-tó-tól 3 km-re keletre található Merzouga településhez tartozó mérőállomás adatai (5. és 6. ábra) [7].



5. ábra: 2018 szeptemberének csapadék- és hőmérséklet-diagramja

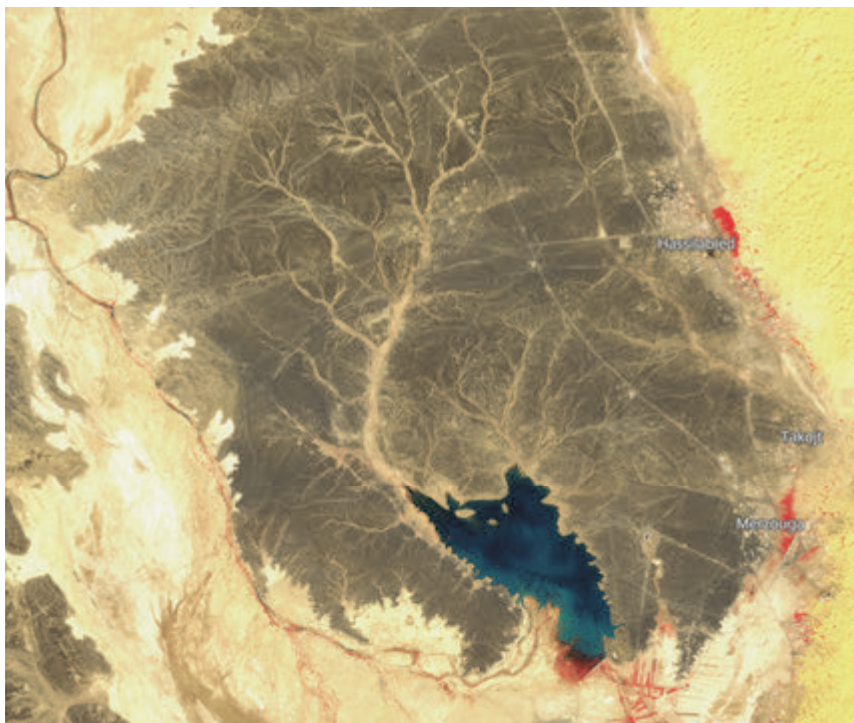


6. ábra: 2014 szeptemberének csapadék- és hőmérséklet-diagramja. Később, 2014 októberben volt összesen 50 mm csapadék, novemberben 40 mm, decemberben pedig már nem volt semmi

Két nagyobb csapadékmennyiség hullott 2018 szeptemberében a tó környékére, szeptember 11-től 14-ig, illetve 17-én és 18-án (5. ábra). Ezt követően a szeptember 19-i műholdképen már a tó teljes medencéjére kiterjedő nyílt vízfelszint láthatunk (2. és 4. ábra). Ugyanez játszódott le a fentebb említett 2014 októbertől. Ebben az esetben, ahogy a diagramon is látható (6. ábra), szeptember 20–24. között esett nagyobb csapadékmennyiség. Ezen néhány nap után a legkorábbi műholdkép október 1. volt, amikor a 2018. szeptember 19-ihez hasonló méretű nyílt vízfelületet lehetett látni. 2014. októberben és novemberben összesen közel 90 mm csapadék esett.

A 2020. március 20. után történt vízzel való feltöltődést azonban kiugróan magas csapadéktételek a Merzouga mérőállomásról nem magyarázzák, mivel csupán 4,5 mm csapadék esett március 21–25. között. Véltetően a tótól északra lévő magasabb területeken is esett csapadék, amely az időszakos folyók medrében jutott ide és fel tudta tölteni a tó medrét. Ezt talán megmagyarázhatja a 7. ábra, amely egy Sentinel-2 műholdfelvétel (10 m/pixel felbontású). Ezen látható az ideiglenes vízfolyások hálózata a tótól északra és ahogy ezek a kisebb-nagyobb erek a tó felé tartanak. Ezen a területen pedig a Merzouga állomáson mért csapadéktól eltérő mennyiség is eshet, ami fel tudja tölteni a tavat. (Az időben legközelebbi nagyobb csapadék 2020. április 19-én volt, 29 mm).

A tematikus térkép adatai alapján a vízborítás és a vegetáció kiterjedése a 2. táblázatban és a grafikonon (8. ábra) látható módon alakult. A tó területe lassan csökkenni kezdett 2018.09.19-től, de a vege-



7. ábra: Dajet Srij-tó (lent) és környezete 2020-03-26, csapadékos időszak utáni állapot

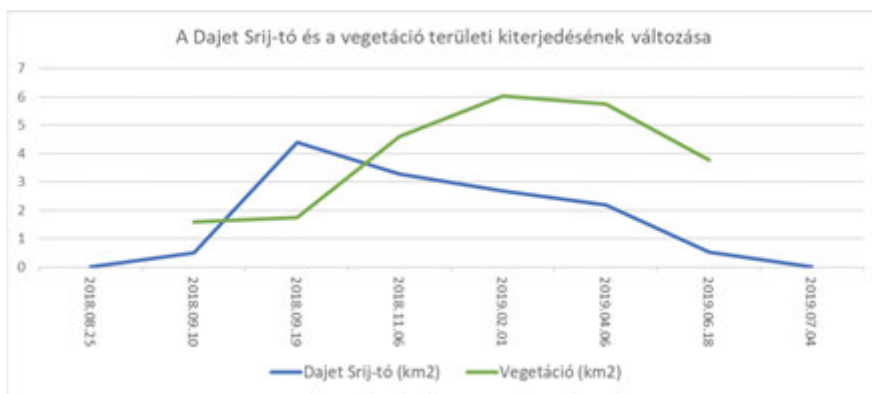
táció kiterjedése még ezután egészen 2019 áprilisáig növekedett a vizsgált területen, és csak ezután kezdett csökkenni.

2. táblázat: A Dajet Srij-tó nyílt vízfelületének és a vegetáció területi kiterjedésének változása a vizsgált időpontok alapján

Műholdfelvétel ideje	Dajet Srij-tó (km ²)	Vegetáció (km ²)
2018-09-10	0,50	1,58
2018-09-19	4,40	1,76
2018-11-06	3,29	4,59
2019-02-01	2,69	6,02
2019-04-06	2,19	5,74
2019-06-18	0,52	3,78

3. táblázat: A vegetáció összehasonlítására felhasznált három műholdfelvétel adata

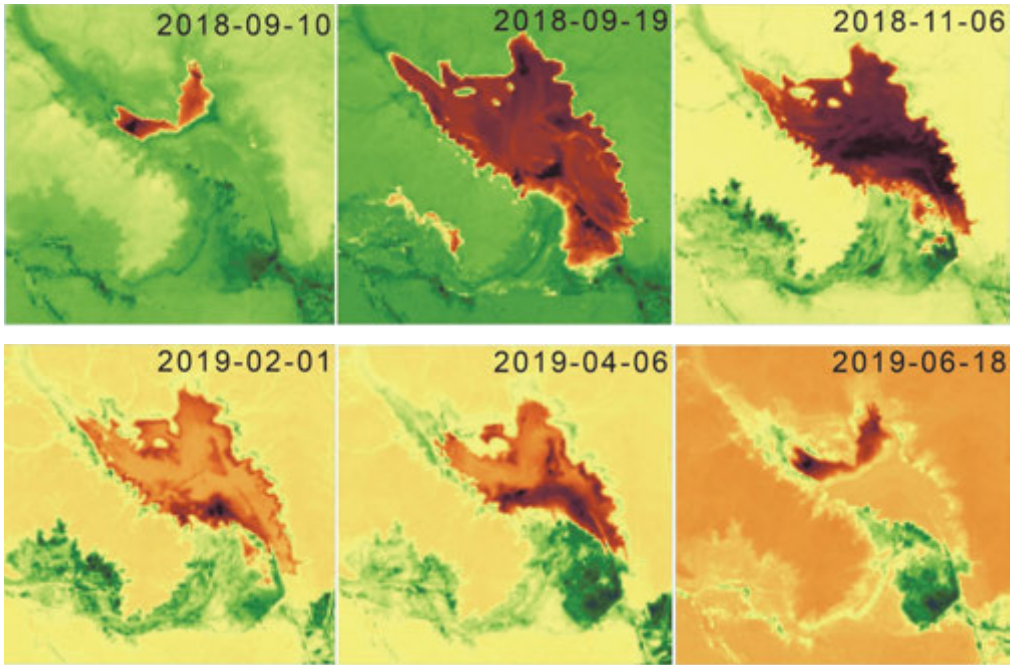
Landsat-8	
Csempe	Dátum
200038	2018-10-12
200038	2019-02-01
200038	2019-06-25



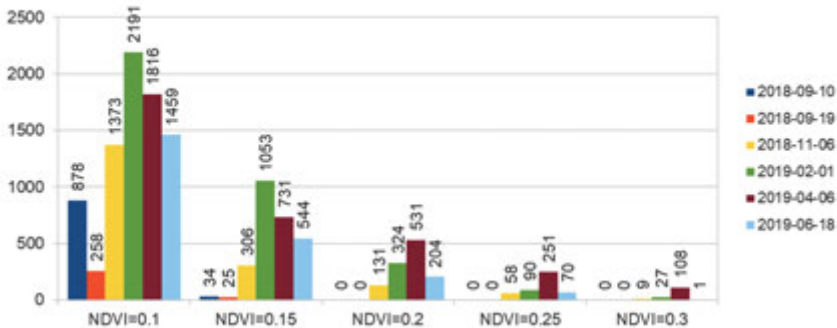
8. ábra: A Dajet Srij-tó és a vegetáció területi kiterjedésének változása

A normalizált vegetációs indexszel (NDVI) is megvizsgáltam a tó környezetét. Itt arra voltam kíváncsi, hogy a növényzet milyen NDVI értékeket vesz fel, és az egyes értékeknek milyen a gyakorisága. Általában ritka növényzet jellemzi a területet, ezért az NDVI értékek alig közelítik meg a 0,4-et. A vegetációs terület növekedése 2019-es év első harmadában is látható az adatok alapján. Ebből arra következtek, hogy a tó területnek csökkenésével párhuzamosan a talaj nedvességtartalma továbbra is hónapokon keresztül elegendő volt ahhoz, hogy a növényzet számára biztosítson elegendő vizet. Nyár elejére viszont a tó medrének lassú kiszáradásával már a vegetációs terület nagysága is elkezdett csökkenni. A grafikonokról leolvasható (9. ábra), hogy az NDVI értékekhez tartozó pixelgyakoriságok értékei 2019-ben magasabbak a 2018-as értékekhez képest.

Egy másik, a Dajet Srij-tótól északnyugatra fekvő völgyben található területen (településekkel, növényborítással, időszakos vízfolyásokkal) szintén megfigyelhetőek időbeli változások. Ezt a vidéket három műholdfelvételen hasonlítottam össze (10. ábra). Az egyik 2018. október 12-én készült, a második 2019.

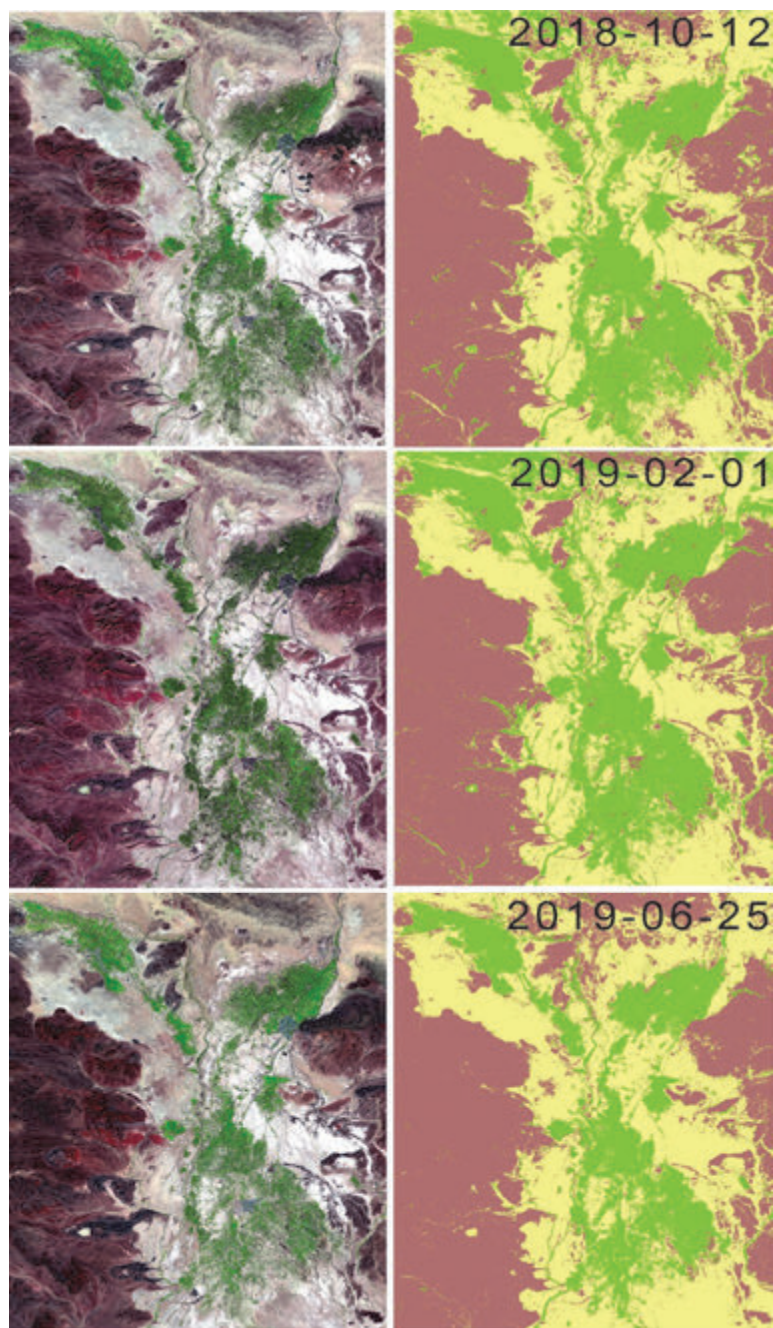


NDVI értékek pixelgyakoriságának változása a Dajet Srij-tó környékén



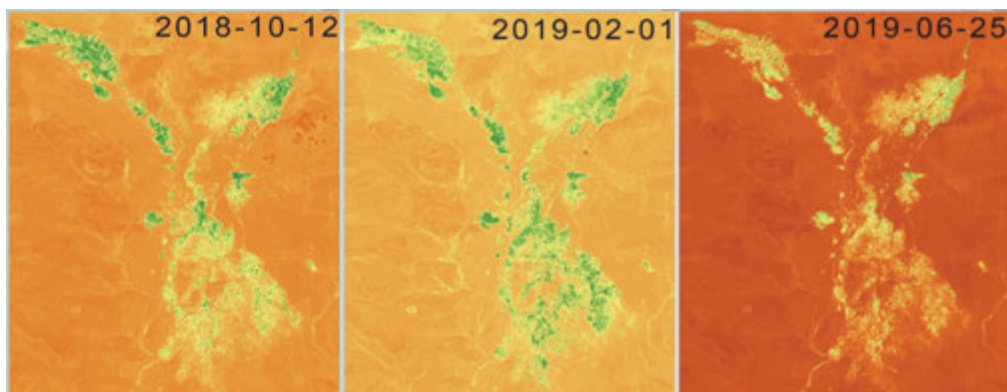
9. ábra: A Dajet Srij-tó környékének NDVI képei (fent), valamint NDVI értékei és pixelgyakoriságok változása (lent). A vízszintes tengelyen az NDVI értékek láthatók, a függőleges tengelyen az NDVI értékekhez tartozó pixelek gyakorisága. A színek az időbeli változást mutatják

február 1-én, a harmadik pedig 2019. június 25-én. A műholdképek alapján elkészítettem ezekre is a tematikus térképeket, amelyeken a vegetáció kiterjedésére voltam kíváncsi és a NDVI értékek segítségével azt is megnéztem, hogy dúsabb vagy gyéresebb növényzet jellemzi-e a területet.

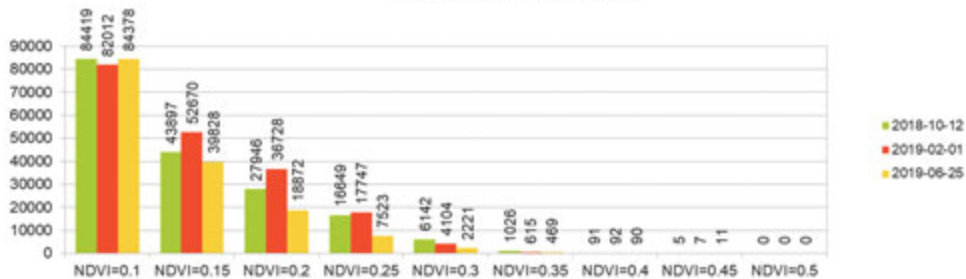


10. ábra. A Dajet Srij-tótól északkeletre található völgy hamisszínes műholdfelvételei és az ezekből létrehozott tematikus térképek (első képpár dátuma: 2018.10.12., második képpár: 2019.02.01., harmadik képpár: 2019.06.25.)

A Dajet Srij-tótól északnyugatra fekvő területet két módon vizsgáltam. Egyrészt a hamisszínes műholdfelvétel alapján elkészítettem három időpontra a terület tematikus térképét (10. ábra) és a szoftver segítségével kiszámoltam a növényzet területi kiterjedését. A másik módszer pedig az NDVI értékek alapján elkészített ábra (11. ábra), amellyel a vegetáció minőségi jellemzőit figyeltem meg és arra a kérdésre kerestem a választ, hogy milyen NDVI értékek jellemzőek ezen a területen és ezekhez mennyi pixel tartozik. A vizsgálat során megfigyeltem a tematikus térképekből kiszámított adatok alapján, hogy a növényzet 2018. október 12-én 209,57 km² kiterjedésű volt, majd 2019. február 1-én 338,92 km² lett. Ez párhuzamba hozható a Dajet Srij-tó hasonló adataival (2. táblázat), ahol a vegetáció az idősoros vizsgálat alapján ebben az időpontban volt a legmagasabb. A völgyben a növényborítás 2019. június 25-re lecsökken, 231,03 km²-re. Ha ezzel párhuzamosan megfigyeljük a 11. ábra grafikonját, az látható, hogy amíg a 0,1-es NDVI értékben a három időpont között a pixelgyakoriság tekintetében nincs számottevő eltérés, addig az NDVI 0,15 és 0,35 közötti tartományban nagy különbségek mutathatók ki. A legmagasabb pixelgyakoriságok a 2019. február 1-i időpontban mutatkoznak, a legkisebbek pedig 2019. június 25-én. Mindez párhuzamban van a tematikus térképen számolt növényborítás területi csökkenésével és a Dajet Srij-tó környékén a pixelgyakoriságok tekintetében is ugyanez a változás mutatható ki (9. ábra).



A Dajet Srij-tótól északnyugatra fekvő völgy növényzetének NDVI értékei és pixelgyakoriságuk változása



11. ábra: A Dajet Srij-tótól északnyugatra fekvő völgy növényzetének NDVI képei (fent), valamint NDVI értékei és pixelgyakoriságuk változása (lent). A vízszintes tengelyen az NDVI értékek láthatók, a függőleges tengelyen az NDVI értékekhez tartozó pixelek gyakorisága

A Landsat-1, -2, -3, -5, -7 és -8 műholdfelvételek alapján az alábbi években volt nyílt vízfelszín a Dajet Srij-tó medrében 1972-től. Ezt úgy állapítottam meg, hogy egy online felületen, az EO Browser oldalon [5] van egy lehetőség, hogy időben timelapse funkcióval, egyéni beállításokkal végignézzem a műholdképeket. Ezt úgy állítottam be, hogy minden hónapban mutasson egy műholdfelvételt és ez alapján gyűjtöttem ki az éveket, majd ezeket évszakonként csoportosítottam.

- Tavasz (március, április, május): 1979, 1980, 1990, 1994, 1995, 1996, 2000, 2002, 2007, 2008, 2009, 2010, 2015, 2019, 2020
- Nyár (június, július, augusztus): 1975, 1979, 1990, 1996, 2000, 2006, 2007, 2009, 2010, 2020
- Ősz (szeptember, október, november): 1979, 1986, 1989, 1994, 1995, 1996, 2006, 2008, 2009, 2018
- Tél (december, január, február): 1975, 1979, 1986, 1989, 1990, 1993, 1994, 1995, 1996, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2014, 2015, 2018

Összefoglalás

A jelen cikkben vizsgált területek, a Dajet Srij-tó és a tőle északnyugatra lévő völgy műholdképes elemzésében jól látszik a csapadék utáni vízborítás és a vegetáció változása. A 2018. szeptemberben lehullott csapadékot követően először a tómederben nagyobb vízfelszín jelent meg, amelynek területe 2019 nyaráig fokozatosan csökkent. A csapadék mennyiségétől függően a tóból a folyó kiléphet a medréből és a víz elöntheti rövid ideig a folyó melletti területet. Ez látszik a 2. és 4. ábrán 2018.09.19-i időpontban halványkék színnel. A szeptemberi csapadék a vegetációra is hatást gyakorolt a tó környékén: kiszökött a terület, amit a vegetációs index értékei is mutatnak a hamisszínes műholdfelvételek mellett. A tó vízfelszínének visszahúzódásával a mederben is megjelent a növényzet, ezért megfigyelhető, hogy a növényborítás kiterjedése növekedett a víz visszahúzódásával (2. táblázat). A tó közelében lévő völgyben megvizsgálva a vegetáció tulajdonságait, annak területi kiterjedése és az NDVI értékek pixelgyakoriságainak növekedése (11. ábra) éppúgy jellemző, mint a Dajet Srij-tó szűkebb környezetében (9. ábra). A Dajet Srij-tó vizsgálatánál a tematikus térképen külön nem jelenik meg az a terület, amely vízzel borított ugyan, de nem szabad vízfelület, hanem már jelen van a vegetáció. Ezek a hamisszínes műholdfelvételeken úgy jelennek meg, elősorban a meder déli részén, hogy a sötét színű pixelek közé, amelyek víz jelenlétét mutatják, halványzöld színű pixelek keverednek, ami a vegetáció jele. A tematikus térképen megjelenő kategória, a nedvesebb homokos rész pedig a hamisszínes felvételeken úgy jelenik meg, hogy a világosabb színű környezeténél néhány árnyalattal sötétebb terület, ami véleményem szerint a mederben lévő nedvesebb réteget mutatja. További vizsgálatra érdemes, hogy az ilyen nedves, de nem szabad vízfelülethez hasonló területek a Marson vannak-e, illetve az itt vizsgált spektrális sávok vajon képesek lennének-e hasonló „talajnedvesség” kimutatására a vörös bolygón, esetleg a tavasszal visszahúzódó jégsapka nyomában.

2018. szeptember és 2019. február hónapok között az adatok alapján a vegetációs területek növekedtek. Ezt követően pedig lassú csökkenés kezdődött. 2019. június közepére nagyobb területi csökkenés történt (2. táblázat és a 8. ábra). A megfigyelések alapján úgy látszik, hogy a Dajet Srij-tó vízfelületének csökkenésével a mederben megmaradó nedves terület lehetőséget ad a növényzetnek, hogy kiterjed-

jen a felszínen (4. ábra). A csapadékmennyiségek bár alacsonyok – csupán néhány milliméter vagy néhány tíz milliméter 5–10 nap alatt –, de elengedhetetlenek akár a tó, akár a vizsgált völgy vegetációja számára. Az időszakos vízfolyások hálózata is fontos a víz levezetése szempontjából a dombsági területekről a tó és a völgy felé. Mindezek látványosan demonstrálják, miként lehet egy lakott területtől távoli, sivatagi vidéken az időszakosan megjelenő nedvesség következményét ingyenesen elérhető műholdképek alapján rekonstruálni.

Ezen tanulmány az ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskolában hallgatható *A Mars földrajza és geológiája* című tantárgy keretében született, és a szerző doktori kutatásához kapcsolódik.

Irodalomjegyzék

- [1] Steinmann V. et al. (2020): *Geomorphological analysis of Tinto-B Vallis on Mars. Hungarian Geographical Bulletin*, 69, 333
- [2] Kapui Zs. et al. (2018): *Fluvial or aeolian grains? Separation of transport agents on Mars using Earth analogue observations. Planetary and Space Science*, 163, 56
- [3] Orgel Cs. et al. (2014). *Scientific Results and Lessons Learned from an Integrated Crewed Mars Exploration Simulation at the Rio Tinto Mars Analogue Site. Acta Astronautica*, 94, 736
- [4] Kereszturi Á. et al. (2018): *Mars-Relevant Field Experiences in Morocco: The Importance of Spatial Scales and Subsurface Exploration. Astrobiology*, 18, 10
- [5] Sentinel Hub EO Browser, <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>
- [6] <https://clarklabs.org/terrset/idrisi-gis/>
- [7] Klímaadatok: <https://weatherandclimate.com/morocco/draa-tafilalet/merzouga/september-2018>