

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A Tisza-tó feltöltődésének, valamint a helyi vegetáció
dinamikájának vizsgálata és az ehhez szükséges módszertani
alapok megteremtése multispektrális és hiperspektrális
távérzékelte adatok felhasználásával**

Szabó Loránd

Témavezető: Prof. Dr. Szabó Szilárd



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2022

1. Bevezetés

Doktori értekezésem témája a Kiskörei víztározó, ismertebb nevén a Tisza-tó, távérzékelési módszereken alapuló vizsgálata. A Tisza-tó hazánk második legnagyobb tava, melyet mesterségesen hoztak létre és adtak át 1973-ban. A tó Magyarország egyik legjelentősebb vízi élőhelye, emellett hazánk egyik leginkább frekvenciált vízparti rekreációs központja (Rátz – Vizi 2004; Csete et al. 2013). A tó komoly problémája, hogy medencéi a Tisza által szállított üledékkel feltöltődnek és ezzel párhuzamosan a csökkenő vízmélység miatt terjeszkedik a vízi vegetáció, dominánsan a sulyom (*Trapa natans*) (Hummel – Kiviat 2004; Kelemenné Szilágyi – Végvári 2011). Mindezek hatására a tó elveszítheti nyílt vízfelületeit, ami a jelenlegi ökoszisztéma átalakulását okozhatja, egyes – nyílt vízhez kötődő – élőhelytípusok eltűnhetnek. A vízi vegetáció terjedése egyrészt a feltöltődés következménye, másrészt okozója is, azaz a két folyamat pozitív visszacsatolás révén erősíti egymást (Weller 1999; Scheffer – van Nes 2007; Matthews – Endress 2010; Deák et al. 2015). A sekélytavi zónában gyorsabban terjed a növényzet, az elhalt növényi részek pedig általánosan feltöltődést okoznak; áradások alkalmával a lebegtetett hordalék nagyobb valószínűséggel rakódik le a növényzettel sűrűbben benőtt területeken.

A hazai kutatók többnyire botanikai és vízminőségi kérdésekkel foglalkoztak, a feltöltődés problematikáját ugyan említik, de ezen területek lokalizációja, monitoringjának lehetőségei, valamint megoldási kérdései nem képezik a terület kutatásának fő irányvonalát (Tanos et al. 2015; Babka, Futó és Szabó 2018; Babcsányi et al. 2020). A külföldi szakirodalomban a Tisza-tóról kevés információ található, mivel lokális problémáról van szó, azonban a témakörben módszertani tanulmányok előfordulnak (Rembold et al. 2000; Östlund et al. 2001; Zlinszky et al. 2012; Latuso et al. 2017; Russell et al. 2019). A monitoring gyors, költséghatékony és naprakész lehetőségét a távérzékelés adatok alkalmazása jelentheti, ezért doktori értekezésemben is a távérzékelés lehetséges alkalmazási módszereit vizsgáltam meg.

2. Célkitűzések

Doktori kutatásaim és az értekezés megírása során az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

- 1) Mi a legnagyobb tematikus pontosság, amely légi hiperspektrális vagy multispektrális műholdfelvételek alkalmazásával elérhető a vízi vegetáció vizsgálatában?
- 2) Milyen spektrális tartományok szükségesek a felszínborítási osztályok azonosításához vízi környezetben, különösképpen a vízi vegetáció, valamint a nyílt vízfelületek esetében?
- 3) A dimenziócsökkentő módszerek javítanak-e az osztályozási pontosságon a hiper- és multispektrális felvételek esetében?
- 4) Hogyan határozza meg a tájökológiai kiértékelést a különböző geometriai felbontású felvételekből nyerhető információ?
- 5) Van-e műholdfelvételekből meghatározható időbeli trend a vízi vegetáció terjedésében?
- 6) Mely tómedencékben a leggyorsabb a szukcesszió sebessége?
- 7) Célom volt egy olyan módszer kidolgozása, amellyel műholdfelvételek segítségével meghatározhatók a feltöltődés által legnagyobb kockázatnak kitett tómedencék.

3. Anyag és módszer

A doktori értekezésben több különböző forrásból származó távérzékelte felvételt vizsgáltam: az osztályozási pontosság vizsgálatához egy AISA Eagle szenzorral készült hiperspektrális légifelvételt, valamint egy Landsat-8 multispektrális felvételt alkalmaztam, melyek 1 nap eltéréssel készültek ugyanazon területről, illetve további Landsat felvételeket vontam be egy 33 évet átfogó hosszútávú vegetációváltozás-monitoringba, NDVI és MNDWI spektrális indexek alapján (Rouse et al. 1973; Tucker 1979; Xu 2006). Az osztályozáshoz a referenciaadatok terepi felmérésekből származtak, emellett a KÖTIVIZIG medermélység adatokat biztosított a hosszútávú vegetációváltozás-vizsgálat validálásához.

A multispektrális és hiperspektrális felvételt egyaránt többféleképpen osztályoztam:

- input adatok tekintetében többféle spektrális tartománnyal dolgoztam,
- majd dimenziócsökkentést alkalmaztam (Minimum Noise Fraction; MNF),
- meghatároztam az osztályozási pontosságot leginkább befolyásoló legfontosabb csatornákat (Variable Importance),
- végül az adatokat azonos térbeli felbontás mellett összehasonlítottam.

A multispektrális, valamint hiperspektrális adatokból nyert elkészült felszínborítás térképeket tematikai pontosságvizsgálatnak vetettem alá, továbbá megvizsgáltam a legnagyobb általános pontosságú térképeket tájökológiai szempontból is.

A hosszútávú vegetációváltozás vizsgálatához a tározót 10 részmedencére osztottam (a Kiskörei medencét kihagytam, mivel más felvételre esik a területe, ami potenciálisan különbségek forrása lehetett volna). Az egyes tómedencékben spektrális indexeket (NDVI, MNDWI) alkalmaztam a vegetáció és a nyílt vízfelület lehatárolására. A feltöltődés indikátoraként vizsgáltam meg a vízi vegetáció terjedését. Az MNDWI index segítségével elkülönítettem a nyílt vízfelszíneket a vegetációval borított területektől, melyek alapján meghatároztam a nyílt víztestek százalékos arányát (Percentage of Open Water; POW) az egyes medencéken belül. Az NDVI-értékeket három aspektusból értékeltem: (i) a teljes tómedencék vonatkozásában, (ii) csak a nyílt vízfelszínekre, (iii) végül pedig a vegetációval borított területek esetében. A teljes idősor tekintetében az elérhető felvételek alapján megvizsgáltam a vegetációborítás gyakoriságát is a mintaterületen, azaz hogy a tómedence egyes területeit hány évben borította vegetáció a vizsgált időszakban.

Az egyes tómedencéken belül meghatároztam a vegetáció terjedésének kockázatát, mint a szukcesszió és a feltöltődés indikátorát. Az átlagos NDVI, valamint a minimum POW értékek alapján két

veszélyeztetettségi faktort rendeltem minden egyes tómedencéhez, melyek összesített értékéből előállítottam a feltöltődés-veszélyeztetettségi indexet (Level of Sedimentation Risk Index; LoSRI). Az eredményeket a KÖTÖVIZIG által rendelkezésemre bocsátott digitális batimetriai modell alapján validáltam.

4. Kutatási eredmények

1. tézis

Megállapítottam, hogy az általam kidolgozott csatornaszelekciós eljárás eredményeként kiválasztott 59 hiperspektrális csatorna felhasználásával kaptam a legnagyobb tematikai pontosságot.

A kutatás során használt AISA Eagle hiperspektrális szenzor felvétele 128 spektrális csatornát tartalmazott, beleértve a magas jel-zaj aránnyal rendelkező sávokat is. A zajos sávok kiszűrése azonban nem javította a tematikai pontosságot (109 csatorna), így tovább szűkítettem a csatornák számát. Kimutattam, hogy ha a spektrális tartományt a Landsat-csatornák tartományára szűkítjük (47 csatorna), a tematikus pontosság nagyobb mértékben csökken a 128 vagy 109 csatorna osztályozási eredményéhez képest (94,5% általános pontosságról 91,5%-ra; 1. táblázat). A 128 és 47 csatorna esetében Variable Importance analízis segítségével meghatároztam a legfontosabb csatornákat, melyek szignifikánsan hozzájárultak a pontosabb eredmények eléréséhez. Így a 47 csatornához hozzáadva a Variable Importance analízis során meghatározott legfontosabb csatornákat, így összesen 59 csatornát kaptam, melyek alkalmazása magasabb általános pontosságértékhez (95,5%; 1. táblázat) vezetett. A Landsat spektrális tartományából hiányzó csatornák az 526-531 nm közötti, a 677-681 nm közötti, valamint a 691-715 nm közötti hullámhossztartományok voltak, valamint két sáv a 758 nm és 811 nm hullámhosszon.

1. táblázat. Osztályozási pontosságértékek a 128, 109, 47 valamint 59 hiperspektrális csatorna esetében

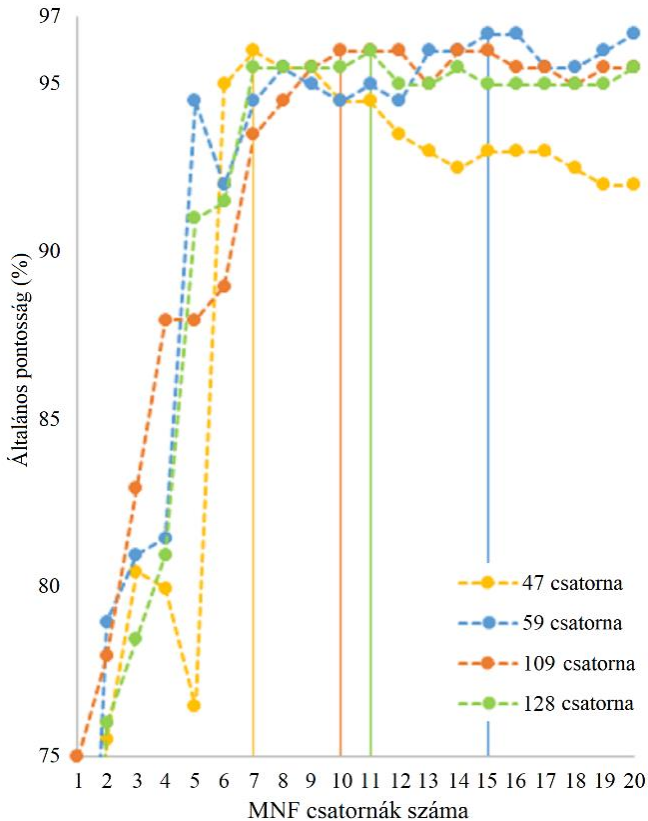
Szenzor	Eagle		Eagle		Eagle		Eagle	
Osztályozó	SVM		SVM		SVM		SVM	
Bemeneti adat	128 csatorna		109 csatorna		47 csatorna		59 csatorna	
Felszínborítás	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)
Erdő	83,61	100,00	82,26	100,00	79,69	100,00	86,44	100,00
Lágyszárú	100,00	78,00	100,00	76,00	92,31	72,00	100,00	82,00
Nyílt víz	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Vízi veg.	98,08	100,00	98,08	100,00	97,96	94,12	98,08	100,00
OA (%)	94,50		94,00		91,50		95,50	
Kappa	0,93		0,92		0,89		0,94	

2. tézis

Megállapítottam, hogy az MNF-transzformációval végzett ordináció hatékony eszköz a bemeneti csatornák számának csökkentésére, valamint a tematikai pontosság növelésére, mind a hiperspektrális, mind a multispektrális adatok tekintetében.

Sokváltozós adathalmazok esetében, mint a hiperspektrális felvételek is, a dimenziók számának csökkentésére több ordinációs technika (PCA vagy MNF) áll rendelkezésre, amelyek általában nagyobb pontosságú osztályozást eredményeznek a magyarázott variancia első 10-15 főkomponensébe transzformálva. Az általam alkalmazott MNF-transzformáció javította az eredményeket, 128, 109, valamint 47 csatornával osztályozva egyaránt 96% általános pontosságot értem el (2. táblázat). A legjobb eredményt (96,5%) az MNF-transzformált 59 csatornával osztályozva értem el. Az adattranszformáció esetemben 2-5%-kal javította az általános pontosságértékeket, míg a Kappa koefficiens értékei 0,02 és 0,06 között növekedtek. Az MNF-transzformáció alkalmazása jól teljesített még akkor is, amikor a mindössze hét sávot tartalmazó Landsat felvételt osztályoztam, ebben az esetben 4,52%-os javulást tapasztaltam az általános pontosság tekintetében az eredeti sávokhoz képest.

Az MNF-csatornák számának növelése jelentősen magasabb általános pontosságértékeket eredményezett, amikor az első néhány MNF-csatornát vontam be az osztályozásba, de további sávok hozzáadása nem vezetett a pontosság javulásához, inkább csökkenést eredményezett a legtöbb esetben (1. ábra).



1. ábra. Különböző számú MNF csatornák felhasználásával elért általános pontosságértékek. A függőleges vonalak mutatják az MNF csatornák számát, amikor elsőnek elérték a maximális pontosságot.

2. táblázat. Osztályozási pontosságértékek az MNF-transzformált 128, 109, 47 valamint 59 hiperspektrális csatorna esetében

Szenzor	Eagle		Eagle		Eagle		Eagle	
Osztályozó	MNF+SVM		MNF+SVM		MNF+SVM		MNF+SVM	
Bemeneti adat	128 csatorna		109 csatorna		47 csatorna		59 csatorna	
Felszínborítás	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)
Erdő	87,93	100,00	87,93	100,00	91,07	100,00	89,47	100,00
Lágyszárú	97,73	86,00	100,00	86,00	93,75	90,00	97,78	88,00
Nyílt víz	100,00	97,92	97,96	100,00	100,00	97,92	100,00	97,92
Vízi veg.	100,00	100,00	100,00	98,04	100,00	96,08	100,00	100,00
OA (%)	96,00		96,00		96,00		96,50	
Kappa	0,95		0,95		0,95		0,95	

3. tézis

A különböző szenzorok felvételeiből nyert felszínborítási térképeket elemezve kimutattam, hogy a 900 m²-nél nagyobb méretű foltok (egy Landsat pixel) statisztikailag mindössze egy felszínborítási kategória esetén különböztek. A 900 m² alatti foltok a teljes területnek a 6,27%-át foglalták magukba, melyre a Landsat felvételek nem tudnak eredményt szolgáltatni.

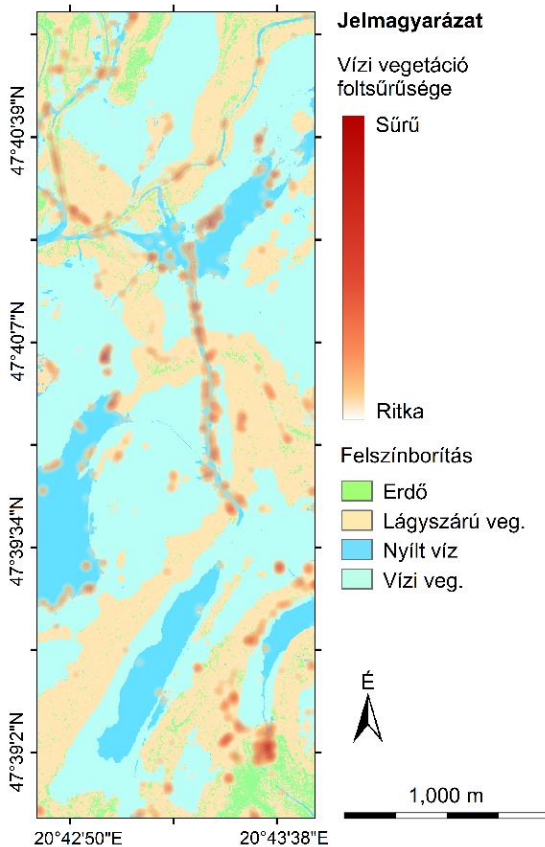
A térképeken található legkisebb foltok némelyike valóban meglévő élőhelyeket tartalmazott, viszont a vizuális kiértékelés során megállapítottam, hogy ezek kisebb arányban a képfeldolgozás során keletkezett zajt is magukban foglalják. Ezért nem alkalmaztam semmilyen szűrést a térképeken, hogy egybeolvassam őket. Mivel ezek az adatok egyébként is torzítanak a statisztikai kiértékelésemet, kihagytam a 900 m²-nél kisebb területű foltokat. Az átfogó foltméretelemzéseim azt mutatták, hogy a foltok száma a különböző szenzoroktól, valamint a térbeli felbontástól függően eltérők voltak, ugyanakkor az összehasonlítható (900 m²-nél nagyobb) területük esetében meglehetősen hasonló volt az eredmény (AISA Eagle: 195 folt, Landsat: 223 folt; 3. táblázat), és csak a lágyszárú vegetáció foltjai különböztek statisztikai értelemben a két térkép között. Ennek

megfelelően a 900 m² alatti foltok a teljes területnek csak 6,27%-át foglalták magukban, ahol a Landsat felvétel nem tudott pontos eredményeket szolgáltatni. A Landsat felvételek is képesek biztosítani a szükséges tematikus pontosságot az ökológiai vagy tájökológiai vizsgálatokban az általános vízi vegetáció térképezéséhez, ha az elemzés léptéke és célja lehetővé teszi a gyengébb felbontást.

3. táblázat. A két legpontosabban osztályozott térkép foltszáma és azok kiterjedése a Landsat és hiperspektrális felvételek esetében

	Eagle 59 csatorna (MNF)	Landsat 8 (MNF)
Foltszám (összes)	35383	223
Minimum foltméret (1 pixel)	2,25 m ²	900 m ²
Foltszám (foltméret < 900 m ²)	35188 → 0,51 km ² (6,27%)	N/A
Foltszám (foltméret ≥ 900 m ²)	195 → 7,64 km ² (93,73%)	N/A

Mivel a hiperspektrális felvétel geometriai felbontása nagy (1,5 m) volt, a vízi vegetáció kisebb foltjai is térképezhetők voltak, így az eredménytérkép alkalmas volt a vegetáció dinamikájának tanulmányozására; azaz a foltok sűrűségét és térbeli mintázatát figyelembe véve előrejelzést lehet számítani arra vonatkozóan, hogy a területük a jövőben növekedni fog (2. ábra).



2. ábra. A vízi vegetáció sűrű foltjait mutató hőtérkép

4. tézis

Az idősoros vegetációváltozás-vizsgálat során megállapítottam, hogy az NDVI, valamint POW értékek alapján meghatározható a szukcesszió és a feltöltődés mértéke, ami alkalmas a víztestek tipizálására is.

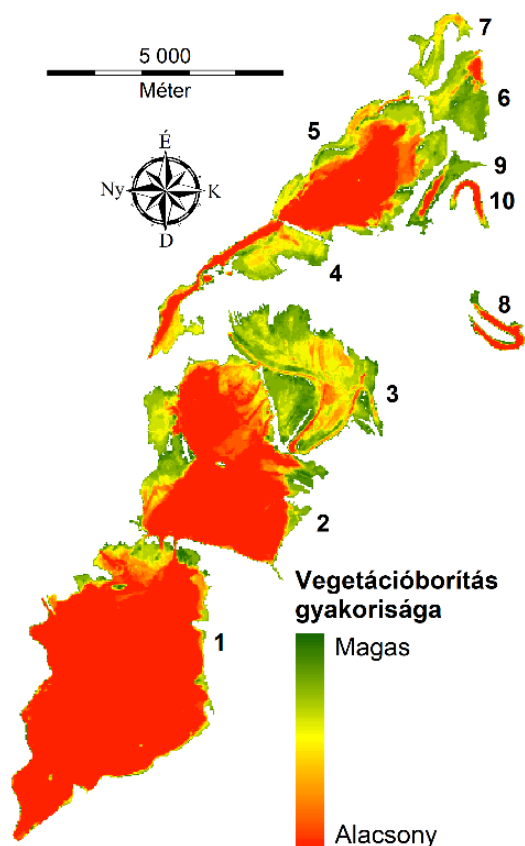
A vízmélység meghatározása kihívást jelentő feladat, azonban a vízmélység sok esetben összhangban van a növényzet terjedésével, mivel a sekélyebb víz számos növényfaj számára kedvezőbb, így a vízi

vegetáció jelenléte a vízmélység bioindikátora is lehet. Ezen túlmenően az NDVI hatékony eszköze lehet a vegetációterjedés monitorozásának, valamint a feltöltődés nyomon követésének. Tisza folyó nagy mennyiségű lebegő hordalékot szállít, amely a változó áramlási viszonyok miatt a Tisza-tó medencéin belül lerakódik. A duzzasztómű hatására a medencékben minimális a víz áramlása, így a tó üledéklerakódással szembesül, ami kedvező a vízi növényzet (főként a sulyom), valamint a sekély vizekre jellemző fajok (pl. nádas) megtelepedéséhez és terjedéséhez. Ennek következtében a tó elveszíti a nyílt vízfelületeket.

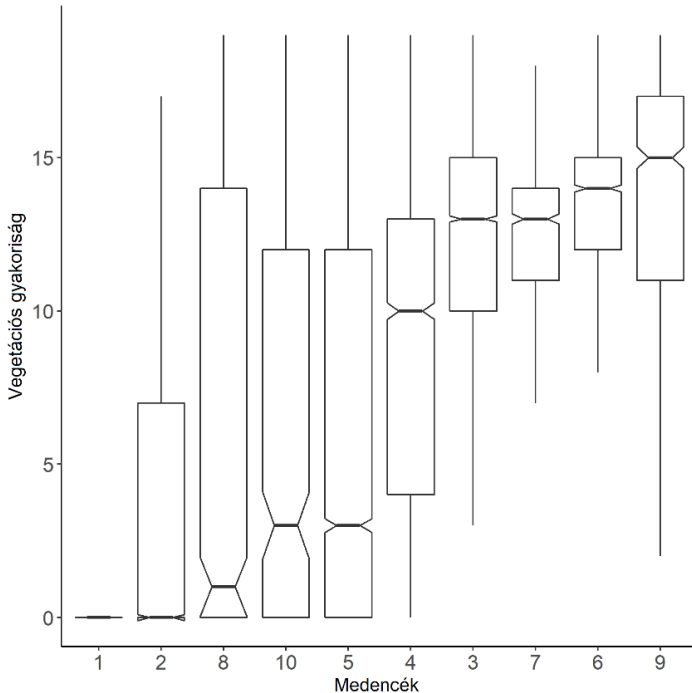
A megfigyelt NDVI-értékek dinamikája alapján a vizsgált területen belül három típusba soroltam a tómedencéket, összhangban a kiterjedéssel és a mélységgel. A nagy medencéket nyílt vízfelületek, mély víz és minimális vegetációborítás jellemezte. A kisebb medencék lefűződött kanyarulatokat és korábbi csatornákat tartalmaztak, itt fordultak elő a legnagyobb vízmélységek is. Ezek a kisebb medencék változatos, de többnyire pozitív NDVI értékekkel rendelkeztek, nagyobb variancia mellett. A sulyom 2 méternél sekélyebb vízszintet igényel, ennél mélyebb területeken nem él meg. A sekélyebb (<1,3 m) medencékben a sulyom nagy területeket foglalt el. A vegetációval borított területeket kizárva a vizsgálatból, az NDVI-értékek alapján két medencetípust különítettem el. Az #1, #2, #4 és #5 medencék (3. ábra) többnyire nulla alatti NDVI-értékekkel rendelkeztek, a többi medence (#3, #6 és #10; 3. ábra) pedig többnyire pozitív NDVI értékeket produkált. A vegetációval borított területekre vonatkozó NDVI vizsgálatok alapján mindössze egy típust sikerült meghatározni, ami azt jelzi, hogy a növényzettel borított területek dinamikája homogénnek tekinthető.

A POW-értékek alapján elkülönített öt medencetípus NDVI-hoz képest nagyobb eltéréseket eredményezett. A vizsgálatból az is kiderült, hogy az MNDWI hatékony eszköznek bizonyul a POW-értékek meghatározásához, valamint az NDVI-vel együtt lehetővé teszik, hogy a medencéken belüli vegetációval borított területek minőségi állapotáról is információt tudjunk adni. Az MNDWI segítségével

összesítettem a vegetációval borított területeket a teljes idősor viszonylatában, így megkaptam a vegetációborítás gyakoriságát ábrázoló térképet (3. ábra), valamint diagramot (4. ábra), melyen jól azonosíthatók a permanens nyílt vízfelületek, valamint a vegetációborítás gyakorisága. A vizsgált évek során a medencék vegetációborításának állapota a szukcesszió trendjére utal.



3. ábra. A vegetációborítás gyakoriságát ábrázoló térkép



4. ábra. A vegetációborítás gyakorisága medencénként

5. tézis

Kidolgoztam egy távérzékelésen alapuló feltöltődés-veszélyeztetettségi mutatót, mely alapján meghatároztam a kockázatnak leginkább kitett medencéket.

Ebben az elemzésben az általam kidolgozott LoSRI-index (1. egyenlet) segítségével különítettem el a különböző mértékben veszélyeztetett medencéket (5. ábra).

$$LoSRI = VDF + OWFF \quad [1]$$

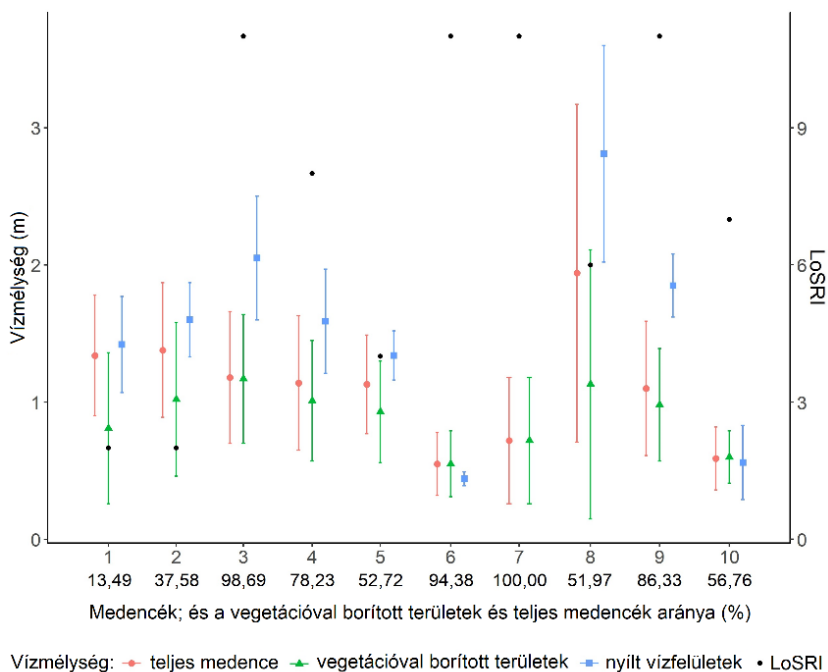
Az egyenletben a LoSRI a feltöltődés-veszélyeztetettségi indexet jelöli, a VDF a vegetáció sűrűségi faktort (Vegetation Density Factor), azaz

az adott év adott medencéjének átlagos NDVI értékét, az OWFF a nyílt víz frakció faktort jelöli (Open Water Fraction Factor), azaz a nyílt vízfelületek teljes tómedencéhez viszonyított arányát. A LoSRI értékei 2-től 12-ig terjedő skálán mozoghatnak. 2 nem jelez kockázatot, 12 esetében pedig szignifikáns kockázatról beszélhetünk az adott tómedence esetében a feltöltődés szempontjából. Az ilyen besorolású tómedencék – megfelelő kezelés hiányában – a közeljövőben akár teljesen feltöltődhetnek.

A kevésbé veszélyeztetett csoportba az #1, #2 és #5 medencék tartoznak, amelyek elég nagyok és mélyek ahhoz, hogy megakadályozzák a vízi vegetáció, köztük a sulyom megtelepedését (5. ábra). Ezekben a medencékben az átlagos NDVI-értékek alacsonyok voltak (0,15-nél kisebbek), és különösen az #1 és #2 medencékben magas volt a nyílt víztestek aránya (65%-nál nagyobb). Azt is kimutattam, hogy a #4, #8 és #10 medencék átlagos NDVI-értékei közepesek (0,3-0,4), míg a #8 és #10 medencék 35% feletti POW-értékekkel rendelkeztek. Ezekre a medencékre nem volt nagy hatással a szukcesszió. A #3, #6 és #7 számú medencék voltak a legveszélyeztetettebbek. Ezekben a medencékben az NDVI-értékek magasak voltak (mindegyik nagyobb, mint 0,45), és a 2000-es évek elején egyes években a nyílt vízfelületek százalékos értékei majdnem nullára csökkentek. Ezeket a vízgyűjtőket érintette leginkább a szukcesszió. A #9 medence szintén magas átlagos NDVI-értékkel (0,51) rendelkezett a vizsgált évek során. Ez a medence egy korábban lefűződött kanyarulat volt, akárcsak a #8 és #10 medencék, így ezek mélyebbek voltak, és ennek következtében a vízi növényzet nem tudott akkora mértékben elterjedni (5. ábra). A vizsgált utolsó években azonban a #9 medence nyílt vízfelületének aránya átlagosan 20%-ról 13%-ra csökkent, ezért érdemes ezt a medencét is veszélyeztetettnek minősíteni.

A LoSRI hatékony mutató lehet a legtöbb tómedence esetében. A holtmedrek és a korábbi folyómedrek esetében azonban, ahol a medence területe kisebb és a vízmélység jelentősen nagyobb lehet, a LoSRI túlbecsüli a kockázatot, mivel a mélyebb belső részek nem

veszélyeztetettek, csak a part menti területek. Ez lehet a helyzet a #8, #9 és #10 medencék esetében, ahol a vízmélység nagyobb (5. ábra), valamint a víz gyors mélyülésével csak a litorális zónában jelenhet meg a vegetáció, az ilyen területeken a szukcessziós folyamat viszonylag hosszú ideig tart. Ezért ezekben az esetekben a LoSRI-index mellett a vegetációs gyakorisági térképet is használni kell. Ez a megközelítés segít azonosítani azokat az állandó nyílt víztesteket, amelyeket jelenleg nem veszélyeztet a szukcesszió, és ehhez mindössze az adott területről készült műholdfelvételekre van szükség, további bemenő adatok nélkül. Ez a módszer ezért hatékony, valamint bármikor gyorsan alkalmazható egy adott területre, ahol a szukcesszió gyanúja felmerül.



5. ábra. Vízmélység (bal y-tengely) és LoSRI (jobb y-tengely) értékek medencénként (x-tengely felső számok), valamint a teljes idősor 90%-ában vegetációval borított területek teljes medencéhez viszonyított százalékos aránya (x-tengely alsó értékek)

Felhasznált irodalom

Babcsányi, I., Tamás, M., Szatmári, J., Hambek-Oláh, B., & Farsang, A. (2020). Assessing the impacts of the main river and anthropogenic use on the degree of metal contamination of oxbow lake sediments (Tisza river valley, Hungary). *Journal of Soils and Sediments*, 20(3), 1662-1675.

Babka, B., Futó, I., & Szabó, S. (2018). Seasonal evaporation cycle in oxbow lakes formed along the Tisza River in Hungary for flood control. *Hydrological Processes*, 32(13), 2009-2019.

Csete, M., Pálvölgyi, T., & Szendrő, G. (2013). Assessment of climate change vulnerability of tourism in Hungary. *Regional Environmental Change*, 13(5), 1043-1057.

Deák, B., Valkó, O., Török, P., Kelemen, A., Tóth, K., Miglécz, T., & Tóthmérész, B. (2015). Reed cut, habitat diversity and productivity in wetlands. *Ecological Complexity*, 22, 121-125.

Hummel, M., & Kiviat, E. (2004). Review of world literature on water chestnut with implications for management in North America. *Journal of Aquatic Plant Management*, 42, 17-27.

Kelemenné Szilágyi, E., & Végvári, P. (2011). A Kiskörei tározó (Tisza-tó) makrovegetációja - ahol nagy a sulyom mező, ott tömeges a rucaöröm. [The Macro-Vegetation of the Kisköre-Reservoir (Lake Tisza)] *ECONOMICA - A Szolnoki Főiskola Tudományos Közleményei*, IV(12), 83.

Latuso, K. D., Keim, R. F., King, S. L., Weindorf, D. C., & DeLaune, R. D. (2017). Sediment deposition and sources into a Mississippi River floodplain lake; Catahoula Lake, Louisiana. *Catena*, 156, 290-297.

Matthews, J. W., & Endress, A. G. (2010). Rate of succession in restored wetlands and the role of site context. *Applied Vegetation Science*, 13(3), 346-355.

Östlund, C., Flink, P., Strömbeck, N., Pierson, D., & Lindell, T. (2001). Mapping of the water quality of Lake Erken, Sweden, from imaging spectrometry and Landsat Thematic Mapper. *Science of the Total Environment*, 268(1-3), 139-154.

Rátz, T., & Vizi, I. (2004). The impacts of global climate change on water resources and tourism: The responses of Lake Balaton and Lake Tisza. *Advances in Tourism Climatology*, 82.

Rembold, F., Carnicelli, S., Nori, M., & Ferrari, G. A. (2000). Use of aerial photographs, Landsat TM imagery and multidisciplinary field survey for land-cover change analysis in the lakes region (Ethiopia). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2(3-4), 181-189.

Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J., & Deering, D. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Md*, 371.

Russell, M., Fulford, R., Murphy, K., Lane, C., Harvey, J., Dantin, D., Alvarez, F., Nestlerode, J., Teague, A., & Harwell, M. (2019). Relative importance of landscape versus local wetland characteristics for estimating wetland denitrification potential. *Wetlands*, 39(1), 127-137.

Scheffer, M., & van Nes, E. H. (2007). Shallow lakes theory revisited: Various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Shallow lakes in a changing world*. Springer. 455-466.

Tanos, P., Kovács, J., Kovács, S., Anda, A., & Hatvani, I. G. (2015). Optimization of the monitoring network on the River Tisza (Central Europe, Hungary) using combined cluster and discriminant analysis, taking seasonality into account. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(9), 575.

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.

Weller, M. W. (1999). *Wetland birds: Habitat resources and conservation implications*. Cambridge University Press.

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.

Zlinszky, A., Mücke, W., Lehner, H., Briesse, C., & Pfeifer, N. (2012). Categorizing wetland vegetation by airborne laser scanning on Lake Balaton and Kis-Balaton, Hungary. *Remote Sensing*, 4(6), 1617-1650.



Nyilvántartási szám: DEENK/63/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Szabó Loránd
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10059638

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészek (1)

1. **Szabó, L., Varga, O. G., Szabó, S.:** Természetközeli vizes élőhelyek és városi területek változásának idősoros monitoringja: különbségek és hasonlóságok.
In: Tájak működése és arculata. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 209-212, 2019.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

2. **Szabó, L., Deák, M., Szabó, S.:** Comparative analysis of Landsat TM, ETM+, OLI and EO-1 ALI satellite images at the Tisza-tó area, Hungary.
Acta geogr. Debr., Landsc. environ. ser. 10 (2), 53-62, 2016. ISSN: 1789-4921.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21120/LE/10/2/1>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

3. **Szabó, L., Deák, B., Bíró, T., Dyke, G. J., Szabó, S.:** NDVI as a Proxy for Estimating Sedimentation and Vegetation Spread in Artificial Lakes-Monitoring of Spatial and Temporal Changes by Using Satellite Images Overarching Three Decades.
Remote Sens. 12 (9), 1-24, 2020. EISSN: 2072-4292.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs12091468>
IF: 4.848
4. **Szabó, L., Burai, P., Deák, B., Dyke, G. J., Szabó, S.:** Assessing the efficiency of multispectral satellite and airborne hyperspectral images for land cover mapping in an aquatic environment with emphasis on the water caltrop (*Trapa natans*).
Int. J. Remote Sens. 40 (13), 5192-5215, 2019. ISSN: 0143-1161.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2019.1579383>
IF: 2.976





Magyar nyelvű konferencia közlemények (4)

5. **Szabó, L., Szabó, S.:** Hosszútávú vegetációterjedés-monitoring a Tisza-tó területén spektrális indexek alkalmazásával.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 287-291, 2019. ISBN: 9789633180549
6. **Szabó, L., Szabó, S.:** Osztályozási pontosság hiperspektrális légifelvételék és multispektrális űrfelvételék alapján alapján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII.: Térinformatikai konferencia és szakkiallítás. Szerk.: Balázs Boglárka, Debrecen Egyetemi Kiadó, Debrecen, 325-330, 2017. ISBN: 9789633186381
7. **Szabó, L., Szabó, S.:** Felszínborítás-változás a Tisza-tó területén az elmúlt évtized távérzékelési adatai tükrében.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII.. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 447-453, 2016. ISBN: 9789633185704
8. **Szabó, L., Szabó, S.:** Landsat TM, ETM+, OLI és EO-1 ALI űrfelvételék összehasonlító elemzése a Tisza-tó környezetében.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VI.. Szerk.: Boda Judit, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 371-377, 2015. ISBN: 9789633184882

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (3)

9. **Szabó, L., Varga, O. G., Szabó, S.:** Természetközeli vizes élőhelyek és városi területek változásának idősoros monitoringja: különbségek és hasonlóságok.
In: VIII. Magyar Tájökológiai Konferencia: Összefoglalók. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Kisvárd, 56, 2019. ISBN: 9789635089154
10. **Szabó, L., Szabó, S.:** Csatornaszelekció hiperspektrális felvételen az osztályozási pontosság javítása érdekében.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 331, 2018. ISBN: 9789633187234
11. **Szabó, L.:** Multispektrális űrfelvételék elemzése Tisza-tavi mintaterületen.
In: A XV. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákköri Konferencia előadás-kivonatai. Szerk.: Filep Ágnes, Fülöpné Szolnoki Zsuzsanna, Gálfi Márta, Gulyás Ágnes, Kozma Gábor, László Zsuzsanna, Perei Katalin, Rákhely Gábor, Sipos Pál, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 85, 2016. ISBN: 9789633064719





További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

12. Fazekas, I., Szabó, G., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., Mester, T.,

Szabó, L.: A lakosság megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos ismereteinek vizsgálata eltérő adottságú kistájakon.

In: Környezet és Energetika : Hatékony termelés, tudatos felhasználás. Szerk.: Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 141-146, 2018. ISBN: 9789637064364

Idegen nyelvű, külföldi könyvrészletek (1)

13. Szabó, G., Fazekas, I., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., Mester, T.,

Szabó, L.: Investigation of public attitude towards renewable energy sources.

In: Sustainable development conference, Tomorrow People Organization, Belgrád, 125-135, 2018. ISBN: 9788687043596

Magyar nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

14. Szabó, G., Fazekas, I., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., Mester, T.,

Szabó, L.: Investigation of public attitude towards renewable energy sources using word association method in Hungarian settlements = A megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos lakossági attitűd vizsgálata szóasszociációs módszerrel magyarországi településeken.

JATES. 8 (1), 6-24, 2018. EISSN: 2560-5429.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24368/jates.v8i1.25>

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

15. **Szabó, L.,** Abriha, D., Phinzi, K., Szabó, S.: Urban vegetation classification with high-resolution PlanetScope and SkySat multispectral imagery.

Acta geogr. Debr., Landsc. environ. ser. 15 (1), 66-75, 2021. ISSN: 1789-4921.

DOI: <http://dx.doi.org/10.21120/LE/15/1/9>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

16. Szabó, G., Fazekas, I., Radics, Z., Csorba, P., Patkós, C., Kovács, E., Tóth, T., Mester, T.,

Szabó, L.: Assessing the Public Knowledge Structure Towards Renewable Energy Sources in Hungary.

Int. J. Renewable Ener. Res. 10 (3), 1476-1486, 2020. EISSN: 1309-0127.

17. Mizsei, E., Szabolcs, M., **Szabó, L.,** Boros, Z., Mersini, K., Roussos, S. A., Dimaki, M., Ioannidis, Y., Végvári, Z., Lengyel, S.: Determining priority areas for an Endangered cold-adapted snake on warming mountaintops.

Oryx. 55 (3), 334-343, 2020. ISSN: 0030-6053.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0030605319000322>

IF: 2.699



Magyar nyelvű konferencia közlemények (3)

18. **Szabó, L., Szabó, S.**: Városi területek felszínborításának osztályozása különböző felbontású műholdfelvételek felhasználásával debreceni mintaterületen.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XI. : Theory meets practice in gis. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 263-267, 2020. ISBN: 9789633188866
19. Abriha, D., **Szabó, L.**, Phinzi, K., Szabó, S.: Városi zöldfelületek osztályozása nagy felbontású PlanetScope és SkySat felvételek alapján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XI. : Theory meets practice in gis. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 13-16, 2020. ISBN: 9789633188866
20. Szabó, G., Fazekas, I., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., Mester, T., **Szabó, L.**: A lakosság megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos ismereteinek vizsgálata Hajdú-Bihar megyei és Heves megyei településeken.
In: Földrajzi tanulmányok. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 133-139, 2018. ISBN: 9789635088973

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

21. Encs, B., Márta, L., Szelek, R., Hornyák, M., **Szabó, L.**: Óceáni szemszigetek detektálása és az ezzel kapcsolatos problémák megoldási lehetőségei.
In: Az elmélet és gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 418, 2018.
22. Mizsei, E., Szabolcs, I. M., **Szabó, L.**, Boros, Z., Végvári, Z., Lengyel, S.: A görög karsztvipera (*Vipera graeca*) élőhelyeinek természetvédelmi rangsorolása.
In: XI. Magyar Természetvédelmi Biológia Konferencia : Absztrakt kötet / Szerkesztette: Mizsei Edvárd és Szepesváry Csaba, Magyar Biológiai Társaság, Budapest, 111-112, 2017.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

23. Molnár, V. É., Simon, E., **Szabó, L.**, Szabó, S.: Species level classification of urban trees from multispectral imagery.
In: Hidden Geographies : Collection of Abstracts, University of Ljubljana, Ljubljana, 13-14, 2019.
24. Mizsei, E., Szabolcs, M., **Szabó, L.**, Boros, Z., Roussos, S. A., Dimaki, M., Ioannidis, Y., Végvári, Z., Lengyel, S.: Conservation ecology of the Greek meadow viper I: threats.
In: 5th Biology of the Vipers, [s.n.], Chefchaouen, Morocco, 36, 2017.





25. Szabolcs, I. M., Mizsei, E., **Szabó, L.**, Boros, Z., Végvári, Z., Lengyel, S.: Conservation ecology of the Greek meadow viper II: spatial prioritization.
In: 5th Biology of the Vipers, [s.n.], Chefchaouen, Morocco, 37, 2017.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 10,523

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
7,824**

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.01.26.



Short thesis for the degree of Doctor of Philosophy (PhD)

**Investigation of the sedimentation and vegetation dynamics
of the Lake Tisza and the development of a related
methodology based on multispectral and hyperspectral
remote sensing datasets**

by: Loránd Szabó

Supervisor: Prof. Dr. Szabó Szilárd



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Earth Sciences

Debrecen, 2022

1. Introduction

In my doctoral thesis, I investigated the Kisköre Reservoir according to the sedimentation processes and the dynamics of local vegetation and established the methodological basis for the observations using multispectral and hyperspectral remote sensing datasets. The Kisköre Reservoir, i.e. the Lake Tisza is the second largest lake in Hungary. It is an artificial lake, which was established in 1973. The lake is one of the most important aquatic habitats in Hungary and one of the most popular waterfront recreation centers in the country (Rátz – Vizi 2004; Csete et al. 2013). The main problem of the reservoir, besides the sedimentation of the basins, is the further spread of aquatic vegetation, the water caltrop (*Trapa natans*) which is the most common aquatic vegetation species over the reservoir (Hummel – Kiviat 2004; Kelemenné Szilágyi – Végvári 2011). Because of the sedimentation, the lake may lose its open water areas, which may lead to a transformation of the current ecosystem of the lake, with the disappearance of some habitat types associated with open water. The spread of aquatic vegetation is both a consequence and a cause of the sedimentation, i.e. the two processes reinforce each other through positive feedbacks (Weller 1999; Scheffer – van Nes 2007; Matthews – Endress 2010; Deák et al. 2015).

Although researchers mostly focus on botanical and water quality issues, the problem of sedimentation is mentioned, but the spatial localization and monitoring are not the main part of these studies (Tanos et al. 2015; Babka et al. 2018; Babcsányi et al. 2020). International studies rarely focus on the Lake Tisza, as it is a local wetland, but methodological studies on this field do exist (Rembold et al. 2000; Östlund et al. 2001; Zlinszky et al. 2012; Latuso et al. 2017; Russell et al. 2019). The most efficient monitoring option is the application of remote sensing datasets, and in my doctoral thesis, I investigated new possible methods of application of remote sensing.

2. Aims of the research

During my doctoral research and in my doctoral thesis, I was looking for the answers for the following questions:

- 1) What is the maximum thematic accuracy that can be achieved using aerial hyperspectral and multispectral satellite imagery?
- 2) Which are the most important spectral ranges to identify land cover classes in aquatic environments, especially aquatic vegetation and open water surfaces?
- 3) Do dimension reduction methods improve classification accuracy for hyperspectral and multispectral imagery?
- 4) How does the information obtained from images with different geometric resolutions determine landscape ecological evaluation?
- 5) Is there a trend in aquatic vegetation cover over the observed years that can be determined from satellite imagery?
- 6) Which lake basins show the fastest succession rates?
- 7) Our aim was to develop a method to identify the most threatened lake basins according to the sedimentation using satellite imagery.

3. Materials and methods

In my doctoral thesis, I observed remotely sensed imagery from several different sources: a hyperspectral aerial image (AISA Eagle) and a Landsat-8 multispectral image were used to test classification accuracy. Additional Landsat images were included in a long-term vegetation change monitoring over 33 years, based on NDVI and MNDWI spectral indices (Rouse et al. 1973; Tucker 1979; Xu 2006). For the classification, reference data were derived from field surveys, in

addition to water depth data provided by KÖTIVIZIG to validate the long-term vegetation change monitoring.

I have classified both multispectral and hyperspectral images in several ways:

- According to the input data, I worked with multiple spectral ranges,
- Then I applied dimension reduction (Minimum Noise Fraction; MNF),
- I determined the most important bands affecting the classification accuracy (Variable Importance),
- Finally, I compared the datasets at the same spatial resolution.

I performed accuracy assessment on the land cover maps obtained from multispectral and hyperspectral data and evaluated the maps with the highest overall accuracy from a landscape ecological perspective.

To investigate long-term vegetation change, the reservoir was divided into 10 sub-basins (the Kisköre basin was omitted as it falls within a different capture area, which could potentially have been a source of differences). Spectral indices (NDVI, MNDWI) were used to delineate vegetation and open water surface in each lake basin. The spread of aquatic vegetation was examined as an indicator of sedimentation. The MNDWI index was used to separate open water from vegetated areas, which were used to determine the Percentage of Open Water (POW) within each basin. The NDVI values were evaluated in three aspects: (i) for the whole lake basins, (ii) for open water surfaces only, (iii) and finally for vegetated areas. For the whole time series, we also observed the frequency of vegetation cover in the study area.

Within each basin, we determined the risk of vegetation spread as an indicator of succession and sedimentation. Based on the average NDVI and minimum POW values, two risk factors were assigned to each basin, by summarizing these two factors I created the Level of Sedimentation Risk Index (LoSRI). The results were validated using a digital bathymetric model.

4. Scientific results

Thesis statement 1.

I declared that the 59 hyperspectral bands, as a result of my newly developed band selection method produced the most accurate thematic accuracy values.

The AISA Eagle hyperspectral sensor used in my doctoral thesis contained 128 spectral bands, including bands with high signal-to-noise ratio. However, filtering out the noisy bands did not improve the thematic accuracy (109 bands), so I further reduced the number of channels. I revealed that when the spectral range is narrowed to the range of Landsat bands (47 bands), the thematic accuracy significantly decreased compared to the classification results of the 128 or 109 bands (from 94.5% to 91.5% Overall Accuracy; Table 1). I applied Variable Importance analysis for the 128 and 47 bands to determine the most important bands that significantly contributed to the more accurate results. Thus, by adding the most important bands identified by Variable Importance analysis to the 47 bands, we obtained a total of 59 bands, which resulted in a higher Overall Accuracy value (95.5%; Table 1). The bands missing from the Landsat spectral range were the wavelengths between 526-531 nm, 677-681 nm and 691-715 nm, and two bands at 758 nm and 811 nm.

Table 1. Classification accuracy values of the 128, 109, 47, and 59 hyperspectral bands.

Sensor	Eagle		Eagle		Eagle		Eagle	
Classifier	SVM		SVM		SVM		SVM	
Input	128 bands		109 bands		47 bands		59 bands	
Land cover	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)
Forest	83.61	100.00	82.26	100.00	79.69	100.00	86.44	100.00
Herbaceous	100.00	78.00	100.00	76.00	92.31	72.00	100.00	82.00
Open water	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Aquatic veg.	98.08	100.00	98.08	100.00	97.96	94.12	98.08	100.00
OA (%)	94.50		94.00		91.50		95.50	
Kappa	0.93		0.92		0.89		0.94	

Thesis statement 2.

I determined that ordination with MNF-transformation is an effective tool to reduce the number of input bands and increase the thematic accuracy for both hyperspectral and multispectral data.

For multivariate datasets, such as hyperspectral images, several ordination techniques (PCA or MNF) are available to reduce the number of dimensions, which usually result in a more accurate classification by transforming the explained variance into the first 10-15 principal components. The results show that the MNF-transformation I used improved the classification results, with an Overall Accuracy of 96% for each of the 128, 109 and 47 bands (Table 2). The best Overall Accuracy of the research (96.5%) was obtained by the classification of the MNF-transformed 59 bands. In my case, the data transformation improved the Overall Accuracy values by 2-5%, while the Kappa coefficient values increased between 0.02 and 0.06. The application of the MNF-transformation performed well even when I classified the Landsat imagery with only seven bands, in this case I observed a 4.52% improvement in the Overall Accuracy compared to the original bands.

The results show that increasing the number of MNF Bands resulted in significantly higher Overall Accuracy values when the first few MNF bands were included in the classification, but adding additional bands did not lead to an improved accuracy, but rather resulted in a decrease in most cases (Figure 1).

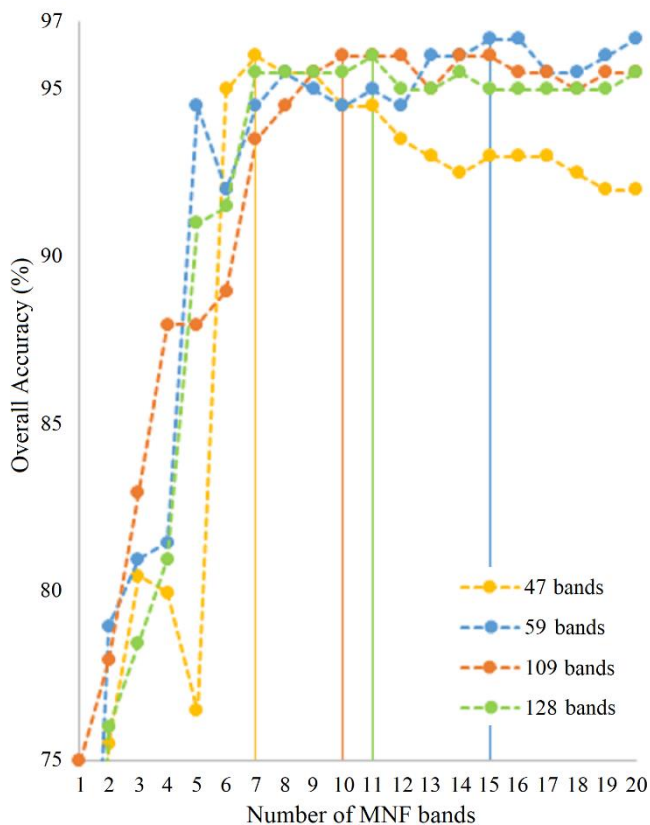


Figure 1. Overall accuracy values obtained using different numbers of MNF bands. The vertical lines show the number of MNF bands when maximum accuracy was first achieved.

Table 2. Classification accuracy values of the MNF-transformed 128, 109, 47, and 59 hyperspectral bands.

Sensor	Eagle		Eagle		Eagle		Eagle	
Classifier	MNF+SVM		MNF+SVM		MNF+SVM		MNF+SVM	
Input	128 bands		109 bands		47 bands		59 bands	
Land cover	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)
Forest	87.93	100.00	87.93	100.00	91.07	100.00	89.47	100.00
Herbaceous	97.73	86.00	100.00	86.00	93.75	90.00	97.78	88.00
Open water	100.00	97.92	97.96	100.00	100.00	97.92	100.00	97.92
Aquatic veg.	100.00	100.00	100.00	98.04	100.00	96.08	100.00	100.00
OA (%)	96.00		96.00		96.00		96.50	
Kappa	0.95		0.95		0.95		0.95	

Thesis statement 3.

Analyzing the land cover maps obtained from different sensors, I revealed that patches larger than 900 m² (one Landsat pixel) differed statistically for only one land cover category. Patches less than 900 m² comprised 6.27% of the total area, for which the Landsat imagery cannot provide results.

The results of the research show that some of the smallest patches on the maps do contain existing habitats, but the visual evaluation found that a smaller proportion of these also included noise from image processing. I therefore did not apply any filtering to the maps to merge them. As this data would bias my statistical evaluation anyway, I excluded patches with an area of less than 900 m². My overall patch size analysis showed that the number of patches varied depending on the different sensors and the spatial resolution. However, for their comparable scale (greater than 900 m²), the results were quite similar (AISA Eagle: 195 patches, Landsat: 223 patches; Table 3), with only patches of herbaceous vegetation differing statistically between the two maps. Accordingly, patches less than 900 m² covered only 6.27% of the total area, where the Landsat image could not provide accurate results. Landsat imagery can also provide the necessary thematic accuracy for

mapping general aquatic vegetation in ecological or landscape ecological studies, if the scale and purpose of the analysis allows for a lower resolution.

Table 3. Number of patches and their extent of the two most accurately classified land cover maps for the Landsat and hyperspectral imagery

	Eagle 59 bands (MNF)	Landsat 8 (MNF)
Total number of patches	35383	223
Minimum patch size (1 pixel)	2.25 m ²	900 m ²
Number of patches (patch size < 900 m ²)	35188 → 0.51 km ² (6.27%)	N/A
Number of patches (patch size ≥ 900 m ²)	195 → 7.64 km ² (93.73%)	N/A

As the hyperspectral image had high geometric resolution (1.5 m), small patches of aquatic vegetation could be mapped, thus the land cover map was suitable for observing the vegetation dynamics; i.e., take into consideration the density and spatial pattern of the patches, it is possible to predict that their area will increase in the future (Figure 2).

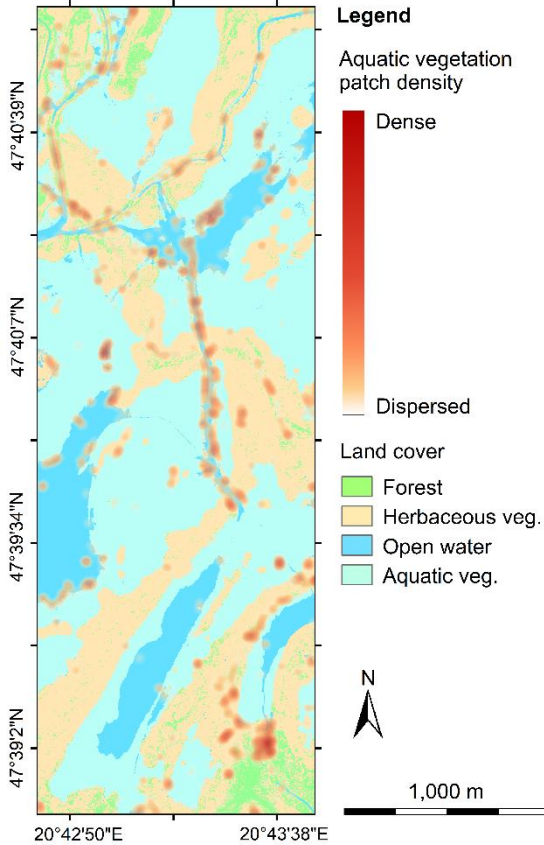


Figure 2. Heat map showing dense patches of aquatic vegetation

Thesis statement 4.

According to the time series vegetation change monitoring, I revealed that NDVI and POW values can be used to determine the rate of succession and sedimentation, and based on these values the categorization of the basins can be performed.

Determining water depth is a challenging task, but in many cases water depth is consistent with vegetation cover, as shallower water is more

favorable for many plant species, so the presence of aquatic vegetation can also be a bioindicator of water depth. In addition, NDVI can be an effective tool for monitoring vegetation spread and sedimentation. The River Tisza transports a large amount of suspended sediment, which is deposited within the basins of Lake Tisza due to changing flow conditions. As a result of the dam, the water flow in the basins is minimal and the lake is facing to sediment deposition, which is favourable for the establishment and spread of aquatic vegetation (mainly water caltrop) and shallow water species (e.g. reeds). As a consequence, the lake is losing open water surfaces.

Based on the dynamics of the observed NDVI values, I classified the lake basins within the study area into three types, according to their extent and depth. Open water surfaces, deep water and minimal vegetation cover characterized large basins. The smaller basins contained former oxbows, meanders and channels, and had the greatest water depths. These smaller basins had varying but mostly positive NDVI values with higher variance. Water caltrop requires water depths shallower than 2 m, although in some years other species dominated. In shallower (<1.3 m) basins, water caltrop occupied large areas. Excluding vegetated areas, based on the NDVI values of the water surfaces, two basin types were separated based on quantitative differences. Basins #1, #2, #4, and #5 (Figure 3) had mostly negative NDVI values, indicating a higher proportion of open water surfaces than the other basins (#3, #6, and #10; Figure 3). Based on the NDVI values of the vegetated areas only one type was identified, indicating that the dynamics of vegetated areas can be considered homogeneous.

Five basin types were separated by POW values resulted in larger differences compared to NDVI. The study also showed that the MNDWI is an effective tool for determining POW values and, together with the NDVI, it allows us to provide information on the quality of vegetated areas within the basins. The MNDWI was used to aggregate the vegetated areas over the entire time series, resulting in a vegetation cover frequency map (Figure 3-4), which clearly identifies the permanent open water surfaces and the frequency of vegetation cover

over the years. The vegetation cover status of the basins over the studied years indicates a trend towards succession.

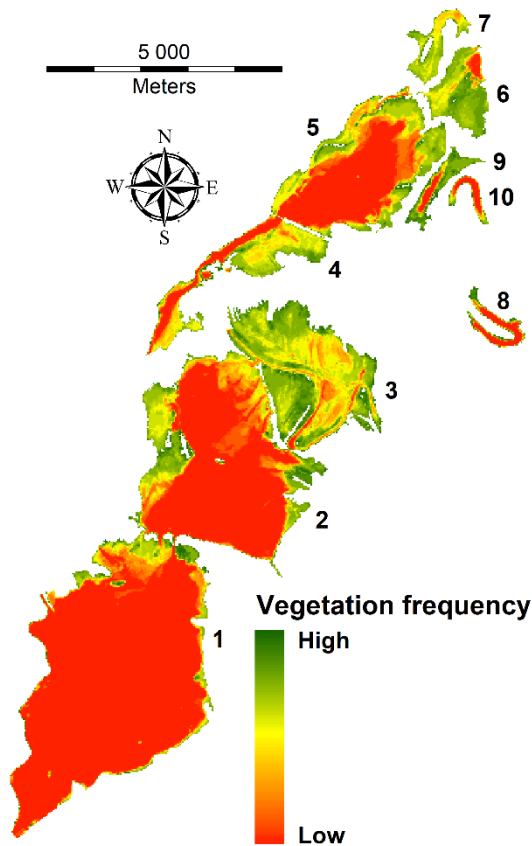


Figure 3. Map showing the frequency of vegetation cover

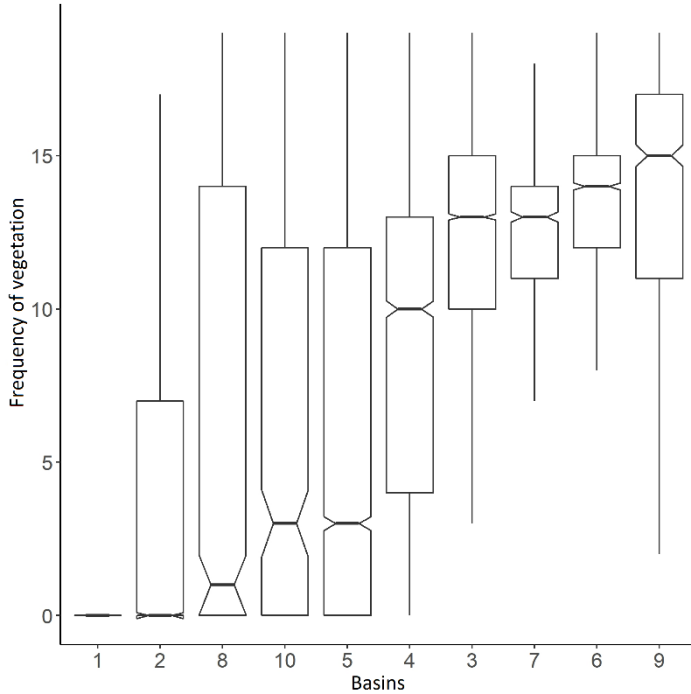


Figure 4. Vegetation frequency of the basins

Thesis statement 5.

I developed an index of sedimentation risk based on remote sensing datasets to identify the most endangered lake basins.

In this analysis, I used the LoSRI index (Equation 1) to separate basins at different levels of risk (Figure 5).

$$\text{LoSRI} = \text{VDF} + \text{OWFF} \quad [1]$$

In the equation, LoSRI represents the sedimentation risk index, VDF represents the Vegetation Density Factor, i.e. the average NDVI value for the given basin in a given year, and OWFF represents the Open Water Fraction Factor, i.e. the ratio of open water areas to the whole

lake basin. LoSRI values can range from 2 to 12, 2 indicating no risk and 12 indicating a significant risk of sedimentation to the lake basin. Basins with this rating could become completely sedimented in the near future if not properly treated.

The less threatened group includes basins #1, #2 and #5, which are large and deep enough to prevent the establishment of aquatic vegetation, including water caltrop (Figure 5). These basins had low average NDVI values (less than 0.15) and, in particular, basins #1 and #2 had a high proportion of open water bodies (greater than 65%). We also showed that basins #4, #8 and #10 had moderate average NDVI values (0.3-0.4), while basins #8 and #10 had POW values above 35%. These basins were not strongly affected by succession. Basins #3, #6 and #7 were the most at risk. These basins had extremely high NDVI values (all greater than 0.45), and in some years in the early 2000s the percentage of open water area values dropped to almost zero. These basins were the most affected by succession. Basin #9 also had high average NDVI values (0.51) during the years studied. This basin was a former meander, like basins #8 and #10, so they were deeper and consequently aquatic vegetation was not able to spread as much (Figure 5). However, in the last years studied, the percentage of open water surface in basin #9 decreased from an average of 20% to 13%, and therefore it is worth to classify this basin at risk of sedimentation.

LoSRI can be an effective indicator for most lake basins. However, for oxbows and former meanders, where the basin area is smaller and water depths can be significantly larger, the LoSRI overestimates the risk because the deeper parts is not at risk, only the littoral areas. This may be the case for basins #8, #9 and #10, where water depths are larger (Figure 5) and the vegetation can establish only in the littoral zone because of the rapid deepening of the water, in these areas the successional process taking a relatively long time. Therefore, in these cases, the vegetation frequency map should be used in addition to the LoSRI index. The vegetation frequency map helps to identify permanent open water surfaces that are not currently threatened by succession. This approach using only satellite imagery of the area

without any additional input data, therefore this method is effective and can be quickly applied to an area where succession and sedimentation is suspected.

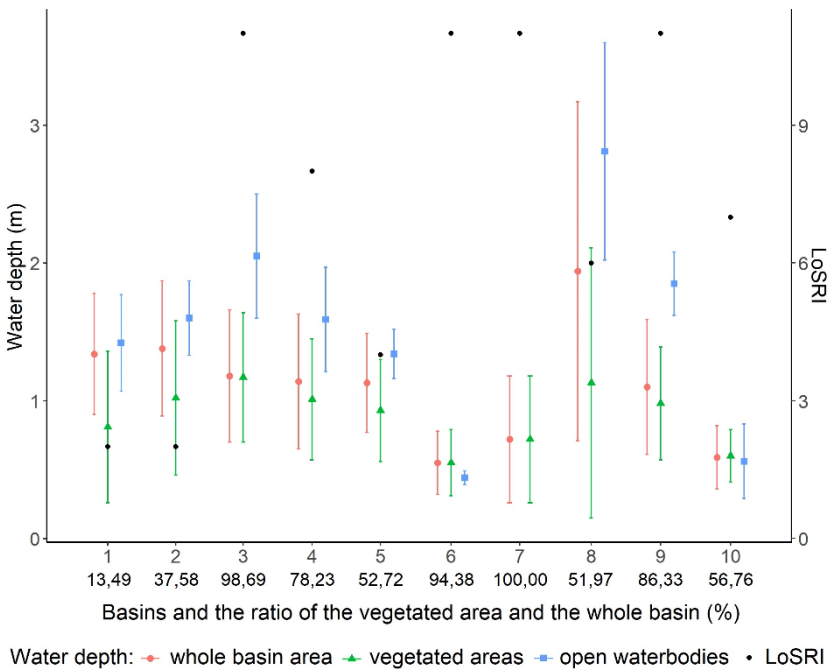


Figure 5. Water depth (left y-axis) and LoSRI (right y-axis) values by basins (upper x-axis numbers) and percentage of areas covered by vegetation in 90% of the observed period (lower x-axis values)

References

Babcsányi, I., Tamás, M., Szatmári, J., Hambek-Oláh, B., & Farsang, A. (2020). Assessing the impacts of the main river and anthropogenic use on the degree of metal contamination of oxbow lake sediments (Tisza river valley, Hungary). *Journal of Soils and Sediments*, 20(3), 1662-1675.

Babka, B., Futó, I., & Szabó, S. (2018). Seasonal evaporation cycle in oxbow lakes formed along the Tisza River in Hungary for flood control. *Hydrological Processes*, 32(13), 2009-2019.

Csete, M., Pálvölgyi, T., & Szendrő, G. (2013). Assessment of climate change vulnerability of tourism in Hungary. *Regional Environmental Change*, 13(5), 1043-1057.

Deák, B., Valkó, O., Török, P., Kelemen, A., Tóth, K., Miglécz, T., & Tóthmérész, B. (2015). Reed cut, habitat diversity and productivity in wetlands. *Ecological Complexity*, 22, 121-125.

Hummel, M., & Kiviat, E. (2004). Review of world literature on water chestnut with implications for management in North America. *Journal of Aquatic Plant Management*, 42, 17-27.

Kelemenné Szilágyi, E., & Végvári, P. (2011). A Kiskörei tározó (Tisza-tó) makrovegetációja - ahol nagy a sulyom mező, ott tömeges a rucaöröm. [The Macro-Vegetation of the Kisköre-Reservoir (Lake Tisza)] *ECONOMICA - A Szolnoki Főiskola Tudományos Közleményei*, IV(12), 83.

Latuso, K. D., Keim, R. F., King, S. L., Weindorf, D. C., & DeLaune, R. D. (2017). Sediment deposition and sources into a Mississippi River floodplain lake; Catahoula Lake, Louisiana. *Catena*, 156, 290-297.

Matthews, J. W., & Endress, A. G. (2010). Rate of succession in restored wetlands and the role of site context. *Applied Vegetation Science*, 13(3), 346-355.

Östlund, C., Flink, P., Strömbeck, N., Pierson, D., & Lindell, T. (2001). Mapping of the water quality of Lake Erken, Sweden, from imaging spectrometry and Landsat Thematic Mapper. *Science of the Total Environment*, 268(1-3), 139-154.

Rátz, T., & Vizi, I. (2004). The impacts of global climate change on water resources and tourism: The responses of Lake Balaton and Lake Tisza. *Advances in Tourism Climatology*, 82.

Rembold, F., Carnicelli, S., Nori, M., & Ferrari, G. A. (2000). Use of aerial photographs, Landsat TM imagery and multidisciplinary field survey for land-cover change analysis in the lakes region (Ethiopia). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2(3-4), 181-189.

Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J., & Deering, D. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Md*, 371.

Russell, M., Fulford, R., Murphy, K., Lane, C., Harvey, J., Dantin, D., Alvarez, F., Nestlerode, J., Teague, A., & Harwell, M. (2019). Relative importance of landscape versus local wetland characteristics for estimating wetland denitrification potential. *Wetlands*, 39(1), 127-137.

Scheffer, M., & van Nes, E. H. (2007). Shallow lakes theory revisited: Various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Shallow lakes in a changing world*. Springer. 455-466.

Tanos, P., Kovács, J., Kovács, S., Anda, A., & Hatvani, I. G. (2015). Optimization of the monitoring network on the River Tisza (Central Europe, Hungary) using combined cluster and discriminant analysis, taking seasonality into account. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(9), 575.

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.

Weller, M. W. (1999). *Wetland birds: Habitat resources and conservation implications*. Cambridge University Press.

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.

Zlinszky, A., Mücke, W., Lehner, H., Briese, C., & Pfeifer, N. (2012). Categorizing wetland vegetation by airborne laser scanning on Lake Balaton and Kis-Balaton, Hungary. *Remote Sensing*, 4(6), 1617-1650.



Registry number:

DEENK/63/2022.PL

Subject:

PhD Publication List

Candidate: Loránd Szabó

Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences

MTMT ID: 10059638

List of publications related to the dissertation

Hungarian book chapters (1)

1. **Szabó, L.**, Varga, O. G., Szabó, S.: Természetközeli vizes élőhelyek és városi területek változásának idősoros monitoringja: különbségek és hasonlóságok.
In: Tájak működése és arculata. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 209-212, 2019.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

2. **Szabó, L.**, Deák, M., Szabó, S.: Comparative analysis of Landsat TM, ETM+, OLI and EO-1 ALI satellite images at the Tisza-tó area, Hungary.
Acta geogr. Debr., Landsc. environ. ser. 10 (2), 53-62, 2016. ISSN: 1789-4921.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21120/LE/10/2/1>

Foreign language scientific articles in international journals (2)

3. **Szabó, L.**, Deák, B., Bíró, T., Dyke, G. J., Szabó, S.: NDVI as a Proxy for Estimating Sedimentation and Vegetation Spread in Artificial Lakes-Monitoring of Spatial and Temporal Changes by Using Satellite Images Overarching Three Decades.
Remote Sens. 12 (9), 1-24, 2020. EISSN: 2072-4292.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs12091468>
IF: 4.848
4. **Szabó, L.**, Burai, P., Deák, B., Dyke, G. J., Szabó, S.: Assessing the efficiency of multispectral satellite and airborne hyperspectral images for land cover mapping in an aquatic environment with emphasis on the water caltrop (*Trapa natans*).
Int. J. Remote Sens. 40 (13), 5192-5215, 2019. ISSN: 0143-1161.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2019.1579383>
IF: 2.976





Hungarian conference proceedings (4)

5. Szabó, L., Szabó, S.: Hosszútávú vegetációterjedés-monitoring a Tisza-tó területén spektrális indexek alkalmazásával.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 287-291, 2019. ISBN: 9789633180549
6. Szabó, L., Szabó, S.: Osztályozási pontosság hiperspektrális légifelvételek és multispektrális űrfelvételek alapján alapján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII.: Térinformatikai konferencia és szakkiallítás. Szerk.: Balázs Boglárka, Debrecen Egyetemi Kiadó, Debrecen, 325-330, 2017. ISBN: 9789633186381
7. Szabó, L., Szabó, S.: Felszínborítás-változás a Tisza-tó területén az elmúlt évtized távérzékelési adatai tükrében.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII.. Szerk.: Balázs Boglárka, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 447-453, 2016. ISBN: 9789633185704
8. Szabó, L., Szabó, S.: Landsat TM, ETM+, OLI és EO-1 ALI űrfelvételek összehasonlító elemzése a Tisza-tó környezetében.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VI.. Szerk.: Boda Judit, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 371-377, 2015. ISBN: 9789633184882

Hungarian abstracts (3)

9. Szabó, L., Varga, O. G., Szabó, S.: Természetközeli vizes élőhelyek és városi területek változásának idősoros monitoringja: különbségek és hasonlóságok.
In: VIII. Magyar Tájékológiai Konferencia: Összefoglalók. Szerk.: Fazekas István, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Kisvárd, 56, 2019. ISBN: 9789635089154
10. Szabó, L., Szabó, S.: Csatornaszelektio hiperspektrális felvételen az osztályozási pontosság javítása érdekében.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 331, 2018. ISBN: 9789633187234
11. Szabó, L.: Multispektrális űrfelvételek elemzése Tisza-tavi mintaterületen.
In: A XV. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákköri Konferencia előadás-kivonatai. Szerk.: Filep Ágnes, Fülöpné Szolnoki Zsuzsanna, Gálfi Márta, Gulyás Ágnes, Kozma Gábor, László Zsuzsanna, Perei Katalin, Rákhely Gábor, Sipos Pál, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 85, 2016. ISBN: 9789633064719





List of other publications

Hungarian book chapters (1)

12. Fazekas, I., Szabó, G., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., Mester, T.,

Szabó, L.: A lakosság megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos ismereteinek vizsgálata eltérő adottságú kistájakon.

In: Környezet és Energetika : Hatékony termelés, tudatos felhasználás. Szerk.: Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 141-146, 2018. ISBN: 9789637064364

Foreign language international book chapters (1)

13. Szabó, G., Fazekas, I., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., Mester, T.,

Szabó, L.: Investigation of public attitude towards renewable energy sources.

In: Sustainable development conference, Tomorrow People Organization, Belgrád, 125-135, 2018. ISBN: 9788687043596

Hungarian scientific articles in international journals (1)

14. Szabó, G., Fazekas, I., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., Mester, T.,

Szabó, L.: Investigation of public attitude towards renewable energy sources using word association method in Hungarian settlements = A megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos lakossági attitűd vizsgálata szóasszociációs módszerrel magyarországi településeken.

JATES. 8 (1), 6-24, 2018. EISSN: 2560-5429.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24368/jates.v8i1.25>

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

15. **Szabó, L.,** Abriha, D., Phinzi, K., Szabó, S.: Urban vegetation classification with high-resolution PlanetScope and SkySat multispectral imagery.

Acta geogr. Debr., Landsc. environ. ser. 15 (1), 66-75, 2021. ISSN: 1789-4921.

DOI: <http://dx.doi.org/10.21120/LE/15/1/9>

Foreign language scientific articles in international journals (2)

16. Szabó, G., Fazekas, I., Radics, Z., Csorba, P., Patkós, C., Kovács, E., Tóth, T., Mester, T.,

Szabó, L.: Assessing the Public Knowledge Structure Towards Renewable Energy Sources in Hungary.

Int. J. Renewable Ener. Res. 10 (3), 1476-1486, 2020. EISSN: 1309-0127.

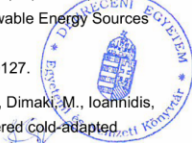
17. Mizsei, E., Szabolcs, M., **Szabó, L.,** Boros, Z., Mersini, K., Roussos, S. A., Dimaki, M., Ioannidis,

Y., Végvári, Z., Lengyel, S.: Determining priority areas for an Endangered cold-adapted snake on warming mountaintops.

Oryx. 55 (3), 334-343, 2020. ISSN: 0030-6053.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0030605319000322>

IF: 2.699





Hungarian conference proceedings (3)

18. **Szabó, L.**, Szabó, S.: Városi területek felszínborításának osztályozása különböző felbontású műholdfelvételek felhasználásával debreceni mintaterületen.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XI. : Theory meets practice in gis. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 263-267, 2020. ISBN: 9789633188866
19. Abriha, D., **Szabó, L.**, Phinzi, K., Szabó, S.: Városi zöldfelületek osztályozása nagy felbontású PlanetScope és SkySat felvételek alapján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XI. : Theory meets practice in gis. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 13-16, 2020. ISBN: 9789633188866
20. Szabó, G., Fazekas, I., Patkós, C., Radics, Z., Csorba, P., Tóth, T., Kovács, E., Mester, T., **Szabó, L.**: A lakosság megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos ismereteinek vizsgálata Hajdú-Bihar megyei és Heves megyei településeken.
In: Földrajzi tanulmányok. Szerk.: Fazekas István, Kiss Emőke, Lázár István, MTA DTB Földtudományi Szakbizottság, Debrecen, 133-139, 2018. ISBN: 9789635088973

Hungarian abstracts (2)

21. Encs, B., Márta, L., Sztelek, R., Hornyák, M., **Szabó, L.**: Óceáni szemétszigetek detektálása és az ezzel kapcsolatos problémák megoldási lehetőségei.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 418, 2018.
22. Mizsei, E., Szabolcs, I. M., **Szabó, L.**, Boros, Z., Végvári, Z., Lengyel, S.: A görög karsztvipera (*Vipera graeca*) élőhelyeinek természetvédelmi rangsorolása.
In: XI. Magyar Természetvédelmi Biológia Konferencia : Absztrakt kötet / Szerkesztette: Mizsei Edvárd és Szepesváry Csaba, Magyar Biológiai Társaság, Budapest, 111-112, 2017.

Foreign language abstracts (3)

23. Molnár, V. É., Simon, E., **Szabó, L.**, Szabó, S.: Species level classification of urban trees from multispectral imagery.
In: Hidden Geographies : Collection of Abstracts, University of Ljubljana, Ljubljana, 13-14, 2019.
24. Mizsei, E., Szabolcs, M., **Szabó, L.**, Boros, Z., Roussos, S. A., Dimaki, M., Ioannidis, Y., Végvári, Z., Lengyel, S.: Conservation ecology of the Greek meadow viper I: threats.
In: 5th Biology of the Vipers, [s.n.], Chefchaouen, Morocco, 36, 2017.





25. Szabolcs, I. M., Mizsei, E., **Szabó, L.**, Boros, Z., Végvári, Z., Lengyel, S.: Conservation ecology of the Greek meadow viper II: spatial prioritization.
In: 5th Biology of the Vipers, [s.n.], Chefchaouen, Morocco, 37, 2017.

Total IF of journals (all publications): 10,523

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 7,824

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

26 January, 2022

