

DIPLOMADOLGOZAT

Szőke Márton

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Növénytermesztési-tudományok intézet

Agrármérnöki osztatlan szak

A Tisza-tó fejlődésének vizsgálata úrfelvételek segítségével

Belső konzulens:

Dr. Vekerdy Zoltán

Egyetemi tanár

Intézet/tanszék:

Környezettudományi
intézet vízgazdálkodási
és klímaadaptációs
tanszék

Készítette:

Szőke Márton

Gödöllő

2024

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	1
1. Bevezetés és célkitűzés.....	2
2. Szakirodalmi áttekintés.....	4
2.1. Távérzékelés.....	4
2.2. QGIS.....	5
2.3. Landsat műholdcsalád	5
2.4. A Sentinel műholdcsalád	8
3. Alkalmazott módszerek	10
3.1. A vizsgált terület bemutatása	10
3.2. A Tisza-tó kialakítása	10
3.3. A vizsgálat menete.....	12
3.3.1. Landsat adatok alkalmazása	12
3.3.2. Sentinel adatok alkalmazása.....	20
4. Eredmények és értékelésük	22
5. Következtetések és javaslatok	32
6. Összefoglalás	34
7. Irodalomjegyzék	36
8. Internetes hivatkozások	38
9. Ábrák és táblázatok jegyzéke	39
10. Nyilatkozatok.....	40

1. Bevezetés és célkitűzés

A Tisza-tó, Magyarország második legnagyobb tava, és legnagyobb mesterséges tava, az 1970-es évek végén jött létre a Tisza folyó vízszintszabályozásának részeként. Azóta fontos szerepet játszik az árvízvédelemben, az öntözésben, valamint a turizmus és rekreáció területén. A tó ökológiai rendszere folyamatos változásokat mutat, amelyek mind az emberi beavatkozások, mind a természetes folyamatok hatására következnek be. A növényborítottság és a nyílt vízfelületek arányának alakulása különös figyelmet igényel, mivel ezek a tényezők közvetlenül hatnak a tó ökoszisztémájára, beleértve a biodiverzitást, a vízminőséget és az élőhelyek állapotát.

A Tisza-tó mesterséges létrehozása óta jelentős változások történtek a víz borította területek és a növényzettel borított régiók arányában, ezek az átalakulások pedig befolyásolják a helyi biodiverzitást, a vízminőséget, valamint a tó rekreációs és gazdasági szerepét. Ezeket a változásokat a tó teljes területén érdemes vizsgálni, hogy átfogó képet kapjunk az állapotáról, valamint egyes részeit külön is, az öblözetek eltérőek lehetnek egymástól. Az elemzést különösen azért fontos több térségre bontva végezni, mert a Tisza-tó egyes medencéi eltérő ökológiai és hidrológiai jellemzőkkel bírnak. Ez azt jelenti, hogy a nyílt víz és a növényborítottság aránya nem mindenhol azonos ütemben változik. A különböző medencékben eltérő lehet a vízborítás csökkenésének üteme, valamint a növényzet terjedésének mértéke.

Az 1984-től rendelkezésre álló műholdas adatokat felhasználva részletes elemzést végzek a tó teljes területére vonatkozóan, beleértve annak medencéit is. Ezek alapján, tehát célom volt, hogy megállapítsam, mely területeken és medencékben következtek be gyorsabb vagy lassabb változások a vegetáció és a nyílt vízfelületek arányában. Ezzel az elemzéssel lehetőség nyílik arra, hogy mélyebb megértést nyerjünk a tó ökológiai dinamikájáról, és azonosítsuk azokat a tényezőket, amelyek hatással vannak a növényzet és a vízfelületek területi eloszlására.

Az egyes medencék vizsgálatával különösen érdekes lehet a folyamat térbeli különbségeinek feltárása, hiszen bizonyos területeken a növényzet gyorsabb térhódítása következhet be, míg máshol ez a folyamat lassabb lehet. Ennek oka lehet a medencék eltérő mélysége, vízáramlása, valamint a partmenti zónák adottságai.

A Tisza-tó vizsgálatát az 1984-2024 időszakra végzem, műholdfelvételekből számított Normalizált Vegetációs Index (NDVI) felhasználásával. A távérzékelés hosszú távú és nagy területi lefedettséggel rendelkező adatokat biztosít, lehetővé téve a tó fejlődésének pontos nyomon követését. Vizsgálataim során figyelembe vettem a vízállás adatait és a vegetáció

állapotát is, hogy minél pontosabb képet kapjak a tó jelenlegi állapotáról, és hogy az elmúlt évtizedek alatt milyen változatokon ment át.

Az NDVI index adatai alapján négy kategóriát alakítottam ki, amelyek a tó különböző ökológiai elemeit reprezentálják: nyílt vízfelületek, vízzel borított növényzet, lágyszárú vegetáció és erdők. Ezek az osztályok lehetőséget nyújtanak arra, hogy részletesen elemezzem a tó területének borítottságát és annak változásait. A víz és a növényzettel borított területek pontos meghatározása szintén kritikus szerepet játszik a Tisza-tó hosszú távú ökológiai és hidrológiai jellemzőinek megértésében (Szabó et al., 2020).

Az elemzéseket a tó teljes területén és annak négy medencéjére bontva végeztem el, figyelembe véve a különböző térségek eltérő hidrológiai és ökológiai sajátosságait. Ez a megközelítés lehetőséget nyújt arra, hogy részletesen vizsgáljam a tó különböző részeinek fejlődését, és regionális eltéréseket azonosítsak a vegetáció és a nyílt vízfelületek változásában.

A dolgozatom célja a Kiskörei víztározó, ismertebb nevén a Tisza-tó növényborítottságának hosszú távú vizsgálata műholdfelvételek felhasználásával. Az elemzés középpontjában a nyílt vízfelületek és a vegetáció arányának változásai állnak, amelyek fontos mutatói a tó ökológiai állapotának és annak alakulásának. Az elemzés segítségével pontosabban meghatározható a tó fejlődésének iránya, és lehetőséget biztosít arra, hogy előre jelezzük a jövőbeli változásokat, amelyek hatással lehetnek a tó ökológiai és gazdasági szerepére.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Távérzékelés

A távérzékelés az a folyamat, amikor tárgyakról, területekről információt szerzünk az elektromágneses sugárzás segítségével közvetlen érintkezés nélkül. (Lillesand et al., 2004)

A legelterjedtebb távérzékelési eszköz az emberi szem, amikor olvasunk, vagy figyelünk, akkor tulajdonképpen távérzékelést használunk. A távérzékelés kifejezést azonban inkább arra használjuk, amikor valamilyen eszközzel, műholddal, drónnal, repülővel vizsgáljuk a felszínt. Mára már sok tudományágban hasznosítják, mivel egy elég hatékony mégis olcsó módszernek számít. A mezőgazdaságban is előszeretettel használják, nyomon tudják követni a növényállomány fejlődését, termésbecslést is tudnak végezni ezekből az adatokból (De Jong et al., 2007).

A távérzékelésnek az egyik leghatékonyabb módja a műholdas megfigyelés. Megkülönböztetünk aktív és passzív távérzékelési eszközöket, a műholdak között is megtalálható mind a két típus. Az aktív eszközök energiacsomagot sugároznak a földfelszín felé, és annak a visszaverődését érzékelve gyűjtenek adatokat, ilyenek technológiák például a radarok, lidarok. A passzív eszközök nem bocsátanak ki jelet. Ezek valamilyen, a természetben előforduló energiát használnak, például a napsugárzást. A kutatásomhoz is az utóbbit használtam. A Landsat műholdak (5, 8, 9) és a Sentinel 2 műholdak multispektrális felvételeket készítenek. A napsugárzás visszaverődését mérik, mivel minden tárgyról, felületről máshogy verődik vissza, nyelődik el a sugárzás, így ezek alapján meg lehet mondani, mit is „látott” a műhold (Khanal et al., 2020).

NDVI: (Normalized Difference Vegetation Index) (Freden et al., 1974)

A multispektrális felvételek kiértékelésének az egyik módja a sávokból számított indexek képzése. Az NDVI index is ez alapján működik, a növények felszínéről visszavert napsugárzást érzékelik a műholdak, és ennek az indexnek az esetében, a vörös (RED) és a közeli infravörös (NIR) sávot veszi alapul. Ennek a két sávnak és egy egyszerű képletnek $((\text{NIR}-\text{RED}) / (\text{NIR}+\text{RED}))$ a segítségével megkaphatjuk az NDVI térképünket. Ez az index a növényzet „zöldességét”, a klorofil aktivitását méri, az így létrehozott térképeken zölddel szokás ábrázolni a növényzetet, és pirossal a vízfelületet. Értékekben a vízfelület -1 és 0 között helyezkedik el, a növényzet meg minél egészségesebb, annál zöldebb, annál magasabb értéket mutat, értékben 1-ig. Tehát egy -1 és 1 közötti értéket ad meg minden felszínről, ami visszaverte a napsugárzást, és ismerve az egyes felületek tulajdonságait, meghatározható az értékek alapján mi található az adott ponton (Li et al., 2021).

2.2. QGIS

A QGIS (Quantum Geographic Information System¹) egy nyílt forráskódú, ingyenesen elérhető térinformatikai szoftver. Alkalmas a térbeli adatok megjelenítésére, szerkesztésére, elemzésére, és különböző adatformátumokat is támogat. Lehet használni vektor, raszter, pont, és hálós rétegekhez is, különböző képformátumokkal is kompatibilis, és képes ezeknek a georeferálására is. Használható különböző programozási eszközökkel is (Python, C++), valamint létezik hozzá számos plugin, amikkel ki lehet bővíteni a felhasználhatósági területeit. Ez annak is köszönhető, hogy mivel nyílt forráskódú, ezáltal bárki hozzáfér és létrehozhat új plugineket, ezzel folyamatosan bővítve a program funkcióit (Rosas-Chavoya et al., 2022).

2.3. Landsat műholdcsalád

A Landsat programot az Amerikai Egyesült Államok hozta létre. Az Apollo program közben készített felvételek után merült fel az igény a további felvételek iránt, ez ösztönözte a Landsat létrejöttét. 1965-ben az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatának (USGS) igazgatója, William Pecora javasolta egy távérzékelő műholdprogram létrehozását, hogy adatokat gyűjtsenek bolygónk természeti erőforrásairól. Eleinte sokan elleneztek a programot, költségvetési és más problémák miatt, mint például geopolitikai problémák, a más országok engedély nélküli fényképezése. Végül 1970-re engedélyezték a programot, a NASA elkezdhette a megvalósítását, és rendkívül gyorsan, mindössze két év alatt elkészültek a műholdcsalád első tagjával, a Landsat 1-gyel, aminek az elindításával új korszak kezdődött a távérzékelés világában (Wulder et al., 2019).

Landsat 1:

1972. július 23-án indították el, ez volt az első olyan műhold, amit kifejezetten a bolygó szárazföldi területeinek a megfigyelésére hoztak létre. Ezen két műszer volt megtalálható, egy kamerarendszer (RBV, Return Beam Vidicon) és egy multispektrális szkennel (MSS, Multispectral scanner). Utóbbi 4 sávban rögzített adatokat, zöld, vörös, illetve két infravörös sávban. A Landsat 1 1978 januárjáig működött, öt évvel túlélve tervezett élettartamát (Irons et al., 2012).

Landsat 2:

1975. január 22-én indították el, két és fél évvel a Landsat 1 után. A felszereltsége megegyezett az elődjével, ugyan úgy RBV és MSS érzékelők voltak rajta. 1982 február 25-én, kivonták a

¹ <https://www.qgis.org/project/overview/>

forgalomból, mivel irányítási problémák léptek fel, hivatalosan 1983. július 27-én szerelték le.

2

Landsat 3:

Három évvel a Landsat 2 után, 1978. március 5-én indították el. A Landsat 3 ugyanazokat az érzékelőket vitte magával, mint elődje: a Return Beam Vidicon (RBV) és a Multispektrális Szkenner (MSS). A Landsat 3 fedélzetén található RBV műszer javított, 38 méteres földi felbontással rendelkezett, és két RCA kamerát használt, amelyek mindkettő egy széles spektrális sávban (zöldtől a közeli infravörösig, 0,505–0,750 μm) készített képeket, ahelyett, hogy három különálló sávban (zöld, vörös, infravörös) készítették volna a felvételeket, mint az elődei. Az MSS továbbra is négy spektrális sávban gyűjtött rendszeresen képeket a Földről. A Landsat 3 MSS-hez egy ötödik termikus sáv is tartozott, azonban ez a csatorna röviddel az indítás után meghibásodott. 1983 márciusában a Landsat 3-at készenléti üzemmódba helyezték, végül 1983. szeptember 7-én vonták ki a használatból (Tucker, 1978).

Landsat 4:

1982. július 16-án indították el. A Landsat 4 jelentősen különbözött az előző Landsat-ektól, és nem vitte magával az RBV műszert. A Multispektrális Szkennerrendszer (MSS) mellett a Landsat 4 egy olyan érzékelőt is hordozott, amely javított spektrális és térbeli felbontással rendelkezett, azaz a látható és tudományosan jobban célzott elektromágneses spektrum szélesebb részét tudták megfigyelni, és részletesebb képet adtak a felszínről. Ezt az új műszert Tematikus Térképezőnek (Thematic Mapper, TM) nevezték. A Landsat 4 TM műszerének hét spektrális sávja volt. Adatokat gyűjtött a kék, zöld, vörös, közeli infravörös, közép-infravörös (2 sáv) és a termikus infravörös spektrumokból. A műhold 1993-ig volt működésben.³

Landsat 5:

1984. március 1-jén indította el a NASA a Landsat 5-öt, amely az ügynökség utolsó eredetileg előírt Landsat műholdja volt. A Landsat 5-öt ugyanabban az időben tervezték és építették, mint a Landsat 4-et, és ugyanazokkal az érzékelőkkel volt felszerelve: a Multispektrális Szkennerrendszer (MSS) és a Tematikus Térképező (TM). Az MSS műszert 1995 augusztusában kapcsolták le, a TM műszer pedig 2011 novemberében állt le. Végül 2013. június 5-én kapcsolták ki a műholdat véglegesen. Hároméves tervezett élettartamát túlélve a Landsat 5 28 év és 10 hónapon keresztül nyújtott kiváló minőségű, globális adatokat a Föld felszínéről.⁴

² <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-2/>

³ <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-4/>

⁴ <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-5/>

Landsat 6:

1993. október 5-én a Landsat 6 sikertelenül indult, mivel nem érte el a pályára álláshoz szükséges sebességet. A Landsat 6 egy Fejlett Tematikus Térképezőt (ETM) vitt volna magával. Az ETM érzékelő ugyanazokban a hét spektrális sávban és ugyanakkora térbeli felbontással gyűjtött volna adatokat, mint a TM műszer a Landsat 4-en és 5-ön. Az ETM műszer tartalmazott egy nyolcadik sávot is, 15 méteres térbeli felbontással. Ez a nyolcadik sáv élesítő sávként vagy pánkromatikus sávként volt ismert, és érzékeny volt a zöldtől a közeli infravörös hullámhosszokig terjedő fényre az elektromágneses spektrumban. 1993-ban, amikor a Landsat 4 és 5 már túllépték tervezett élettartamukat, a Landsat 6 elvesztésével és egy éppen induló Landsat 7 programmal úgy tűnt, adatgyűjtési hiány fog bekövetkezni. Azonban a Landsat 5 2013 júniusáig folytatta működését, így adathiány nem lépett fel.⁵

Landsat 7:

A Landsat 7 sikeresen elindult 1999. április 15-én. A földmegfigyelő műszere, a fejlett tematikus térképező plusz (ETM+), ami megegyezik a Landsat 4 és 5 rendkívül sikeres tematikus térképező műszereivel, továbbá plusz funkciói is vannak: egy 15m-es felbontású pánkromatikus sáv, teljes nyílású, fedélzeti, 5%-os abszolút radiometrikus kalibráció, valamint egy hő-infravörös csatorna 60 m-es térbeli felbontással. ezeken kívül rendelkezik fedélzeti adatrögzítővel is. Ezeknek a plusz funkciók sokoldalúbbá és hatékonyabbá teszik az eszközt a globális változások tanulmányozására, a földborítás monitorozására és értékelésére, valamint nagy területek térképezésére. A Landsat 7 hibátlanul működött egészen 2003 májusáig, amikor egy hardverhiba ék alakú adatkihagyásokat eredményezett a műhold képein. A hiba hatására az érzékelő látómezeje cikkcakkos mintát követett, de az adatok 75%-a továbbra is elérhető maradt(Mishra et al., 2014).

Landsat 8:

A Landsat 8 műholdat 2013. február 11-én indították el. A műhold két tudományos műszert hordoz: az Operational Land Imager (OLI) és a Thermal Infrared Sensor (TIRS) eszközöket. Ezek a szenzorok lefedettséget biztosítanak a Föld szárazföldi területeiről, 30 méteres térbeli felbontással, 100 méteres termális felbontással és 15 méteres pánkromatikus felbontással.

A Landsat 8 képmérete 185 km keresztirányban és 180 km hosszirányban. A műhold névleges pályamagassága 705 km. A Landsat 8 adattermékeinek kartográfiai pontosságát 12 méterben vagy ennél jobb értékben határozták meg.⁶

⁵ <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-6/>

⁶ <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>

Landsat 9:

A Landsat 9 műholdat sikeresen elindították 2021. szeptember 27-én. Mivel a Landsat adathiány kockázatának csökkentése kiemelt prioritás az Egyesült Államok Fenntartható Földképek Programja számára, a Landsat 9 tervezése nagyon hasonló a Landsat 8-hoz, ami lehetővé tette a Landsat 9 gyorsabb építését és indítását. A Landsat 8 évente több adatot szolgáltatott, mint bármely előző műhold. A Landsat 9 ugyanezzel a sebességgel gyűjti az adatokat. Csatlakozik a Landsat 8-hoz az orbitális pályán, a műholdak pályái 8 nap eltéréssel mozognak. A Landsat 9 helyettesíti a Landsat 7-et és ugyanazon az orbitális pályán kering. A Landsat 9, hasonlóan a Landsat 8-hoz, nagyobb képalkotó kapacitással rendelkezik, mint a korábbi műholdak, lehetővé téve ezzel több értékes adat hozzáadását a Landsat globális archívumához, körülbelül 1400 képet naponta. A Landsat 9, és a Landsat 8, minden szempontból jobb, minőségibb, mint a korábbi Landsatok (Masek et al., 2020).⁷

2.4. A Sentinel műholdcsalád

A Sentinel műholdak az Európai Unió Copernicus programjának részeként jöttek létre, és elsődleges céljuk a Föld felszínének és légkörének átfogó megfigyelése. A programot az Európai Űrügynökség (ESA) és az Európai Bizottság közösen irányítja, és az egyes Sentinel-műholdak különböző természeti, környezeti, és biztonsági adatok gyűjtésére specializálódtak. A Sentinel műholdcsalád, a Landsat-hez hasonlóan több műholdból áll, azonban az egyes műholdaknak különböző a feladata, különböző a felszereltsége. A Sentinel műholdak közül a Sentinel 2 az, amit én is használtam a kutatásomhoz, ez az, ami nagy felbontású multispektrális felvételeket készít. A többi műholdaknak más szerepe van, más hullámhosszon mérnek és ezáltal más paraméterekre koncentrálnak (Showstack, 2014).

Sentinel 1: A Sentinel 1, mint az a Sentinel műholdakra jellemző, 2 műholdból áll, 1A és 1B, radarfelvételeket készít, ami lehetővé teszi, hogy éjjel-nappal, minden időjárási körülmény között adatokat biztosítson, és főleg óceáni szolgáltatásokat nyújt, ezt 2014. április 3. és 2016. április 26.-óta teszi.⁸

Sentinel 2: A Sentinel 2 műholdak 2015. június 22-én, illetve 2017. március 7-én lőttek fel, azóta szolgáltatnak adatokat, felvételeket biztosít például a vegetációról, a talaj- és vízborításról, a belvizekről és a tengerparti övezetekről. Nagy felbontású multispektrális képeket készít, 10m-es felbontásban, 13 spektrális sávban. Ezek teszik lehetővé, hogy a

⁷ <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>

⁸ <https://www.copernicus.eu/hu/kopernikusz-program/infrastruktura/ismerje-meg-muholdjainkat>

mezőgazdaságban is jelentős szerepe van, és például növényi indexeket is lehessen számolni, ahogy azt és is tettem a kutatásomban (Kaplan & Avdan, 2017).

Sentinel 3: A Sentinel 3 többféle érzékelőt is hordoz, hőmérséklet adatokat, magasság adatokat, radar adatokat is rögzít. Felhasználási területei az óceánok és a szárazföldek monitorozása, beleértve a tengeri hőmérsékletet, klímaváltozási paramétereket, a jégborítottságot és az óceánok színét. Emellett fontos szerepe van a tengerszint emelkedésének követésében is. A Sentinel-3A és Sentinel-3B nevű ikerműholdakat 2016. február 16-án, illetve 2018. április 25-én indították el, és azóta is küldik az adatokat.⁹

Sentinel 4-5: Ezek a műholdak főként a légkör összetételét monitorozzák, és egyaránt alkalmasak globális és regionális léptékű megfigyelésekre.

A Sentinel-4 a geostacionárius pályájának köszönhetően Európa felett folyamatosan gyűjti az adatokat, a Sentinel-5 pedig poláris pályán kering, és globális adatokat biztosít. Kiemelt figyelmet fordítanak a légszennyezés, amelyek fontosak az éghajlatváltozás és a levegőminőség tanulmányozásában.¹⁰

Sentinel 6: A Sentinel 6 magasságmérésre lett tervezve, leginkább a tengerszint magasságok változását figyelik meg vele, az éghajlatváltozás hatásait a tengerszint emelkedésre, ami jelentős probléma (Phiri et al., 2020).¹¹

⁹ <https://www.copernicus.eu/hu/kopernikusz-program/infrastruktura/ismerje-meg-muholdjainkat>

¹⁰ <https://www.copernicus.eu/hu/kopernikusz-program/infrastruktura/ismerje-meg-muholdjainkat>

¹¹ <https://www.esa.int/>

3. Alkalmazott módszerek

3.1. A vizsgált terület bemutatása

A vizsgált terület a kiskörei víztározó, más néven Tisza-tó, egy mesterségesen létrehozott tározó a Tiszán, melynek célja a mezőgazdasági területek öntözővíz igényének ellátása, valamint az árvízkarok megelőzése, mérséklése (Tian et al., 2018). Területileg a Közép-Tisza-vidéki középtájhoz tartozik, azon belül három kistájhoz, a Hevesi-ártérhez, a Borsodi-ártérhez, valamint a Tiszafüred-Kiskunhegyesi-síkhöz. Ezek a kistajak Tiszasülytől Tiszavalkon át Tiszapalkonyáig körülbelül 75 km hosszúságban, a Tisza jobb és bal partján 15-15 km szélességben helyezkednek el (Lengyel, 2008).

A Tisza-tó környéke a meleg, száraz, mérsékelten forró nyarú éghajlati körzetbe esik. A nyári meleg csak kevéssel marad el az Alföld déli területei mögött. Júliusi középhőmérséklete 21,5-22 °C közé esik, a nyári napok száma 75-80, a hőségnapok száma 20-25 között változik. Évi középhőmérséklete északon 9,8 °C, dél felé haladva ez 10,2 °C-ra nő. A napsütéses órák száma 1900 és 2000 óra között változik. A nyári időszakban kb. 800, télen pedig 180-190 órán át süt átlagosan a Nap. A Közép-Tisza-vidék központi része az Alföld és egyben hazánk legszárazabb tája. A csapadék évi mennyisége az ÉK-i részek kivételével sehol sem haladja meg az 550 mm-t. A legcsapadékosabb hónap a június, 55-70 mm közötti havi összeggel, a legszárazabb pedig a január, 24-28 mm csapadékkal. A csapadék bizonytalansága nagy, ami azt jelenti, hogy a legcsapadékosabb és legszárazabb évek között nagyobb a különbség, mint az ország más részein (Albert & Csaba, 2010).

3.2. A Tisza-tó kialakítása

A Tisza-tó Magyarország második legnagyobb állóvíze a Balaton után. Ugyanakkor nem egy egybefüggő vízfelület, az évek alatt egy egészen különleges környezet alakult ki, szigetekkel, nádasokkal, csatornákkal, holtágakkal tarkított vizes élőhely. A Tisza-tó, korábban Kiskörei-víztározó tervei 1967-ben készültek el, 1973 május 16.-án adták át az első építési ütemet. 1978-ban valósult meg a második ütem, amivel további 1,5m-rel emelték a vízszintet a tározóban. Tervben volt egy harmadik ütem is, amivel még tovább emelték volna a vízszintet, azonban ez nem valósult meg. Ennek voltak anyagi okai is, de a szakmai koncepcióváltás és az öntözővíz igény csökkenése is közre játszott. Így a tervezett 300 millió m³ helyett csak 120 millió m³ kapacitású lett a tározó, de nem is volt többre szükség az igények változása miatt (Lovas et al., 2018).

1984 után úgy döntöttek, hogy növelni kell a duzzasztás mértékét, 25cm-rel növelték a vízszintet, ezzel 148–165 millió m³-re nőtt a tározó térfogata, amivel elérte a ma is látható

szintet. A vízlépcső mellett, hogy öntöző vizet szolgáltat, a hajózhatóságot is segíti, illetve vízerőműként is szolgál, 4 turbina került beépítésre, 28 MW-os teljesítményével az ország legnagyobb vízi erőműve lett. Meg kell említeni azt is, hogy ezek mellett jelentős turisztikai és rekreációs központtá is vált a térségben. (Aranyiné Rózsavári et al., 2018)

A Tisza-tó vízrendszere:

A 127 km²-en elterülő Tisza-tó a Tisza 404-440 folyamkilómétere között helyezkedik el, Kisköre és Tiszabábolna között. A vízmélység igen változatos a tó területén, míg a fő mederben elérheti a 10-20 métert is, addig egyes területeken az 1 métert sem éri el. A holtágak, öblítőcsatornák 2-5 méter mélyek, azonban a tó többi területén ennél alacsonyabb vízszinttel találkozhatunk. Az egyes medencéknek a következők szerint alakul az átlagos vízmélysége:

- Abádszalóki-medence 2,5 m
- Sarudi-medence 1,6 m
- Poroszlói-medence 1,3 m
- Tiszavalki-medence 0,7 m

A tó területén 12 darab öblítő csatorna található, melyeknek fontos szerepe van a tó életében, ezek teszik lehetővé a folyó és a medencék között a vízáramlást és a vízi közlekedést. Hosszuk 1-4km, szélességük változó, 10-60 méter, de az egyes számú csatorna szélessége eléri a 100 métert is. Révén a tározó egy mesterségesen létre hozott tó, az áramlását is mesterségesen kell biztosítani, az övcsatornák nélkül a bejövő víz nem tudna eljutni mindenhova, ezáltal kialakulnának pangóvízes területek is. Tehát az öblítőcsatornáknak rendkívül fontos feladatuk van a tó életében, nekik köszönhetően mehet végbe a vízcsere, és maradhat meg a tó egy élő rendszernek (Fejes, 2023, Katona, 2020).

3.3. A vizsgálat menete

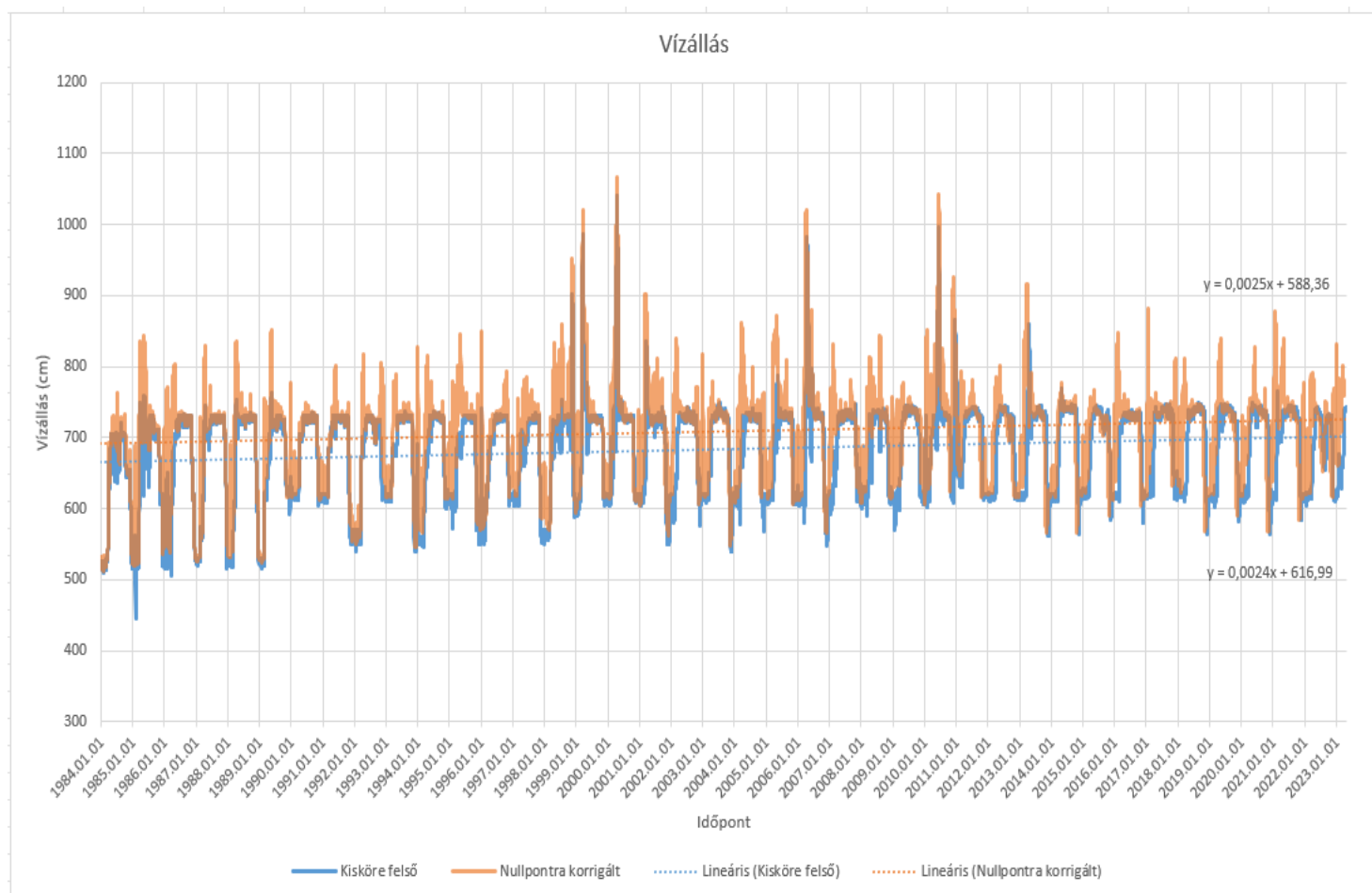
3.3.1. Landsat adatok alkalmazása

A vizsgálatokhoz a Landsat műholdcsalád műholdképeit használtam fel, ezeket a USGS weboldaláról szereztem be (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), ezek láthatóak az 1. táblázatban. 1984-től vannak felvételek, amiket fel tudtam használni, 1984-től 2011-ig a Landsat 5 műhold adatait alkalmaztam, 2012-ben a Landsat 7 felvételei, míg a 2013 – 2024-as időszakban a Landsat 8 és 9-es műhold adatai szolgáltatták a felhasználható adatokat.

	Az idősoros vizsgálathoz felhasznált műholdfelvételek		A 2023-as év részletes vizsgálatához felhasznált műholdfelvételek
Landsat 5 felvételek	LT05_L2SP_187027_19840715_20200918_02_T1	Landsat 8 és 9 felvételek	LC09_L2SP_187027_20221020_20230325_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19850803_20200918_02_T1		LC09_L2SP_187027_20230209_20230310_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19860705_20201008_02_T1		LC09_L2SP_187027_20230313_20230315_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19870708_20201014_02_T1		LC09_L2SP_187027_20230430_20230502_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19880726_20200917_02_T2		LC08_L2SP_187027_20230508_20230517_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19900630_20200915_02_T1		LC09_L2SP_187027_20230601_20230603_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19910719_20200915_02_T1		LC09_L2SP_187027_20230703_20230705_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19920721_20200914_02_T1		LC09_L2SP_187027_20230820_20230822_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19930622_20200914_02_T1		LC08_L2SP_187027_20230828_20230906_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19940727_20200913_02_T1		LC09_L2SP_187027_20230905_20230907_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19950628_20200912_02_T1		LC08_L2SP_187027_20230913_20230919_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19960801_20211124_02_T1		LC08_L2SP_187027_20230929_20231003_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19970703_20200910_02_T1		LC08_L2SP_187027_20231116_20231122_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19980722_20200908_02_T1		LC09_L2SP_187027_20240111_20240113_02_T1
	LT05_L2SP_187027_19990725_20200907_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20000812_20200907_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20010628_20200906_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20020701_20200905_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20030720_20200904_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20040722_20200903_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20050810_20200902_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20060712_20200831_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20070731_20200830_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20080717_20200829_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20090720_20200827_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20100723_20200823_02_T1		
	LT05_L2SP_187027_20110710_20200822_02_T1		
Landsat 7 felvételek	LE07_L2SP_187027_20120704_20200909_02_T1		
Landsat 8 és 9 felvételek	LC08_L2SP_187027_20130816_20200913_02_T1		
	LC08_L2SP_187027_20140803_20200911_02_T1		
	LC08_L2SP_187027_20150705_20200909_02_T1		
	LC08_L2SP_187027_20160808_20200906_02_T1		
	LC08_L2SP_187027_20170710_20200903_02_T1		
	LC08_L2SP_187027_20180729_20200831_02_T1		
	LC08_L2SP_187027_20190630_20200827_02_T1		
	LC08_L2SP_187027_20200803_20200914_02_T1		
	LC09_L2SP_187027_20220716_20230407_02_T1		
	LC08_L2SP_187027_20210705_20210713_02_T1		
	LC08_L2SP_187027_20230812_20230818_02_T1		
	LC09_L2SP_187027_20240705_20240706_02_T1		

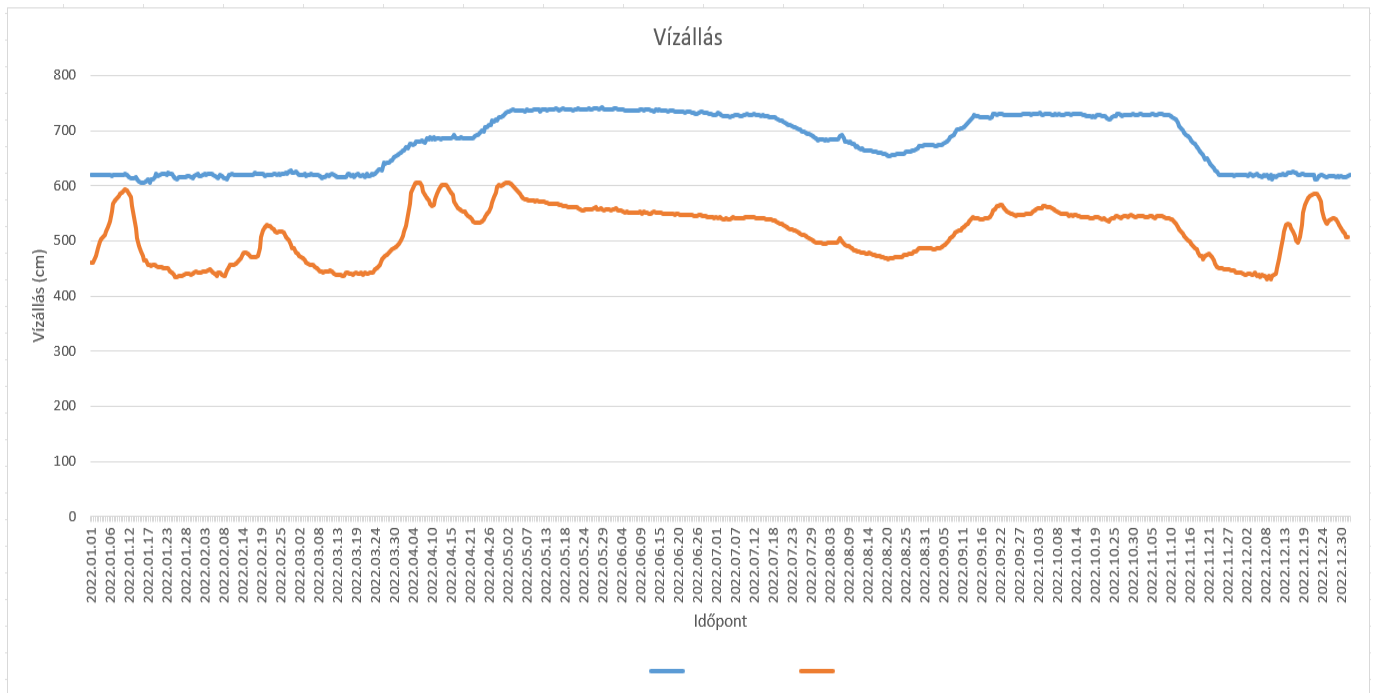
1. táblázat: A felhasznált műholdfelvételek listája

A műholdfelvételek időpontjának kiválasztásánál több tényezőt is figyelembe vettem, egyrészt a vegetáció állapotát másrészt a vízállások változását is. Mivel a felvételek gyakorisága adott, illetve ezek közül se lehet az összeset használni az esetleges felhőzetek miatt, nem lehet egy konkrét napot kijelölni, tágabb idő intervallumot kellett választani. A júliusi hónapra esett a választásom, mivel itt a vegetáció a maximum közelében van, illetve a vízállás is állandónak mondható, ebben az időszakban keveset ingadozik. Ebben az időszakban a magas vízállásnak nagyjából a közepén van, így a leeresztés és feltöltés nem befolyásolja az adatokat. Az 1. ábrán narancssárgával láthatjuk a tiszafüredi vízállást, míg késsel a kisköre felső vízállása van jelölve.



1. ábra: A vízállás alakulása 1984-től 2023-ig

A következő, 2. ábrán is látható, hogy a vízállás a kiválasztott időszakban állandónak mondható, a júliusi hónapban a magas vízállás stabil, így ideális a vizsgálatokhoz, nem befolyásolja az eredményeket jelentősen. Itt szintén narancssárgával van jelölve a tiszafüredi vízállást, míg késsel a kisköre felső vízállás.



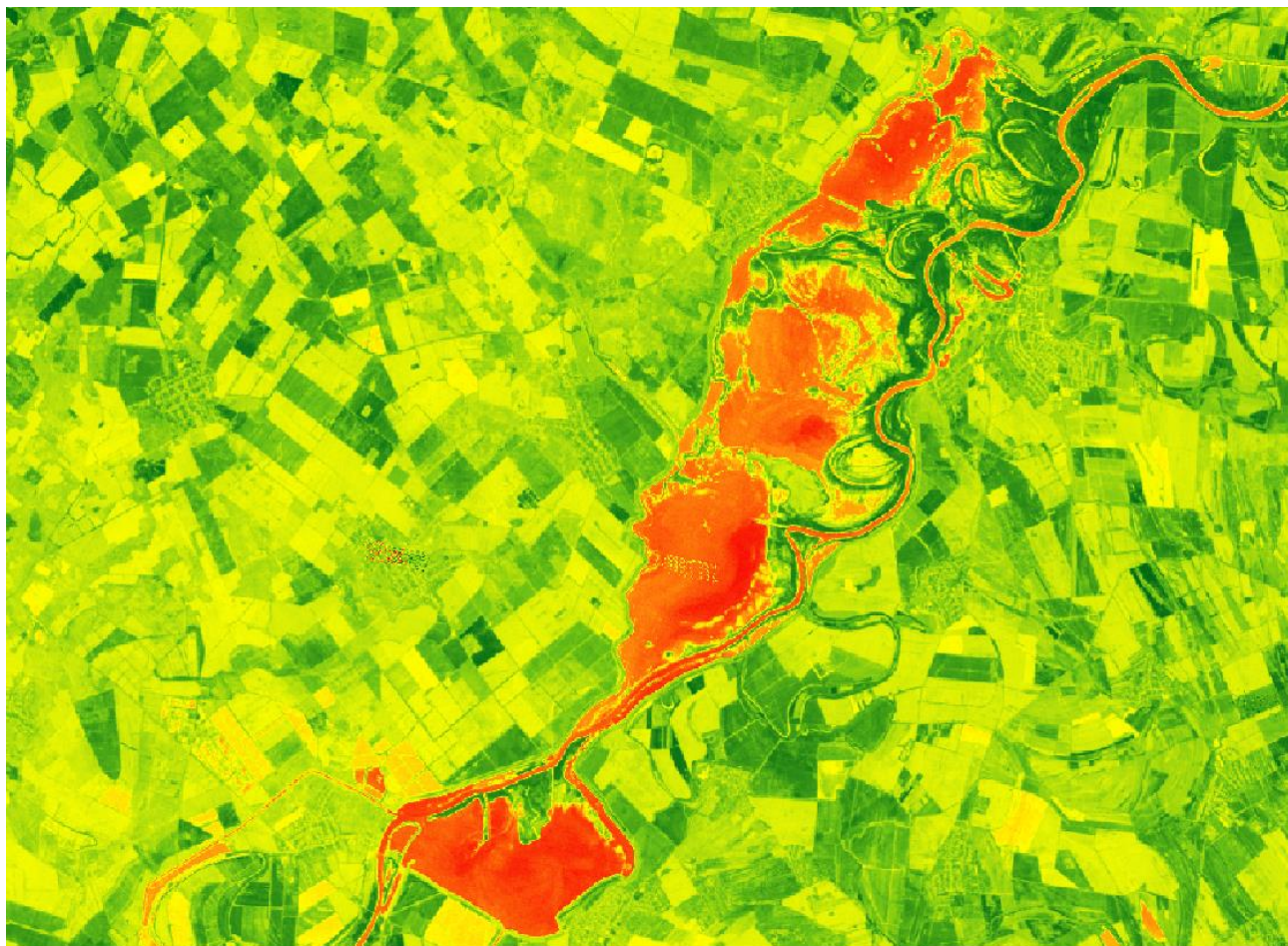
2. ábra: A vízállás a 2022-es évben

A Tisza tavon tavasszal történik meg a feltöltés, amikor a téli vízszintről átálnak a nyárirra, ennek az időszaknak a legkorábbi kezdete március 1. és legkésőbb május 15.-ig tart. A téli vízszint 560 ± 10 cm, vagy 610 ± 10 cm, attól függően, hogy az érdekeltek hogyan határoznak. A nyári vízszint 725 ± 5 cm vagy 735 ± 5 cm, ez leginkább az aszály mértékétől függ, ugyanis a 10cm-es különbséggel több, mint 10 millió m^3 vízkészletet lehet eltárolni, amit fel lehet használni ezekben az időszakokban. Az őszi leürítés legkorábban október 25.-én kezdődik, és december 15.-ig tart. Ez fokozatosan történik, két lépcsőben, fontos, hogy naponta maximum 10 cm-el lehet csökkenteni a vízszintet. A vízszinteket mindig a Kisköre felső vízmércéhez viszonyítva állítják be (Fejes, 2023).¹²

Miután kiválasztottam a vizsgálni kívánt időszakot, és meghatároztam a ideálisabb időpontot, amikor a vízállás is stabil, illetve a vegetáció fejlettsége is a csúcs közelében van, igyekeztem egymáshoz képest időben közeli felvételeket letölteni a USGS oldaláról. Ezt nehezítette, hogy az adott területről a Landsat 8-9 esetében is csak 8 naponta készül felvétel, korábbi időszakokban meg még kevesebb készült. Tovább rontotta ezeket a számokat a felhőborítottság, csak a felhőzet mentes felvételeket tudtam felhasználni. Előfordult, hogy egyes évek júliusában nem álltak rendelkezésre felhőmentes felvételek. Ezekben az években augusztusi vagy júniusi adatokat kellett használni, de próbáltam figyelni, hogy nagy időbeli eltérések ne legyenek. Ennek ellenére, például az 1989-es évben nem tudtam megfelelő

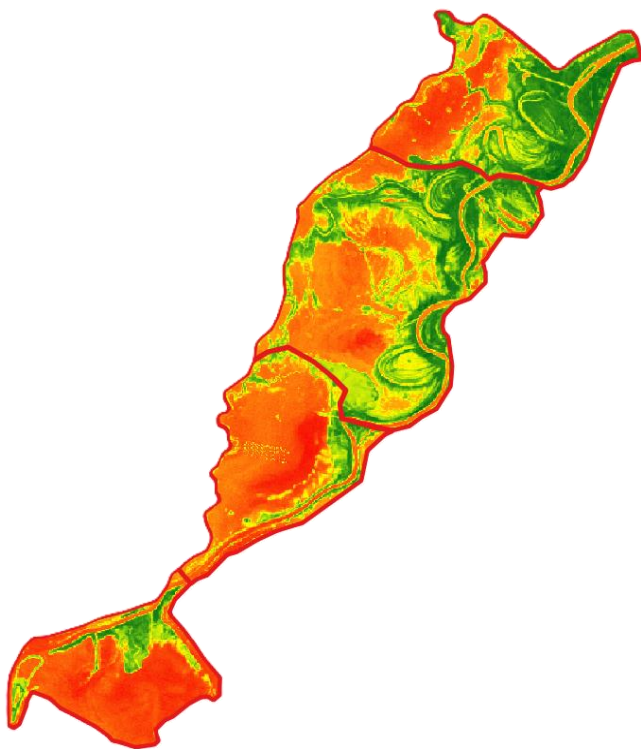
¹² <https://www.kotivizig.hu/kozep-tisza-videki/tisza-to/a-tisza-to-vizrendszer>

felvételt találni, és hogy ne torzítsa a statisztikákat ki is kellett hagynom ezt az évet. Miután létre jött így egy optimális idősor, NDVI térképeket készítettem az adatokból. Ehhez a vörös és a közeli infravörös sávokra volt szükségem. A QGIS programban a raszterkalkulátor segítségével hoztam létre az NDVI rétegeket. Az így kapott réteget már csak át kellett tennem egysávos álszínes megjelenítésbe, és megadni a megfelelő színeket és határértékeket. Ahogy az a 3. ábrán is látható, a kapott rétegeken vörössel jeleníti meg a vízfelületeket, és zölddel a vegetációt, ami annál sötétebb, minél magasabb a klorofil tartalom a növényzetben.

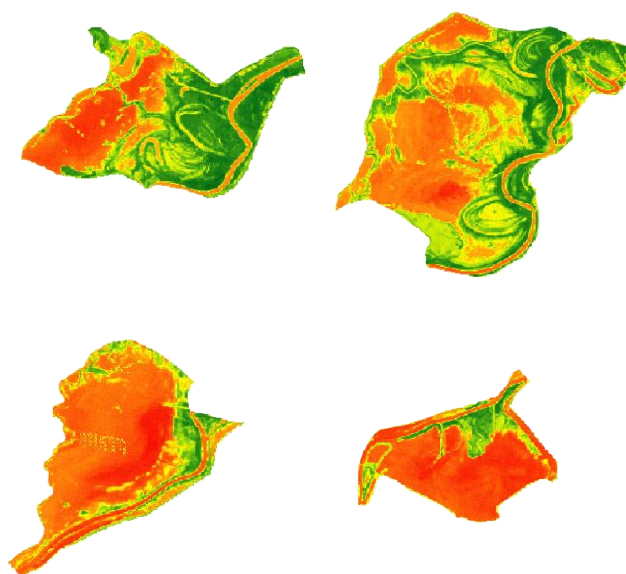


3. ábra: 1984.07.15. NDVI térképe

Ezután le kellett határolnom a vizsgálni kívánt területet, illetve mivel szerettem volna nem csak az egész tó területét vizsgálni, hanem külön rész egységeket is, ezeket is meg kellett határozni. Ehhez először a tó körvonalát rajzoltam körbe, majd a 4 medencét is lehatároltam, a tiszavalkit, a poroszóit, a sarudit, és az abádszalókit, amiket láthatunk a 4. és az 5. ábrán. Erre azért is volt szükség, mivel a 4 medence különböző egymástól, aminek a fő oka a vízszint különbsége. Míg Abádszalóknál, ahol a duzzasztómű van magasabb a vízszint, ezáltal a növényzet kevesebb, addig a folyón fentebb helyezkedő medencéknél már alacsonyabb a vízszint, több a szigetekkel tarkított, heterogénebb terület.



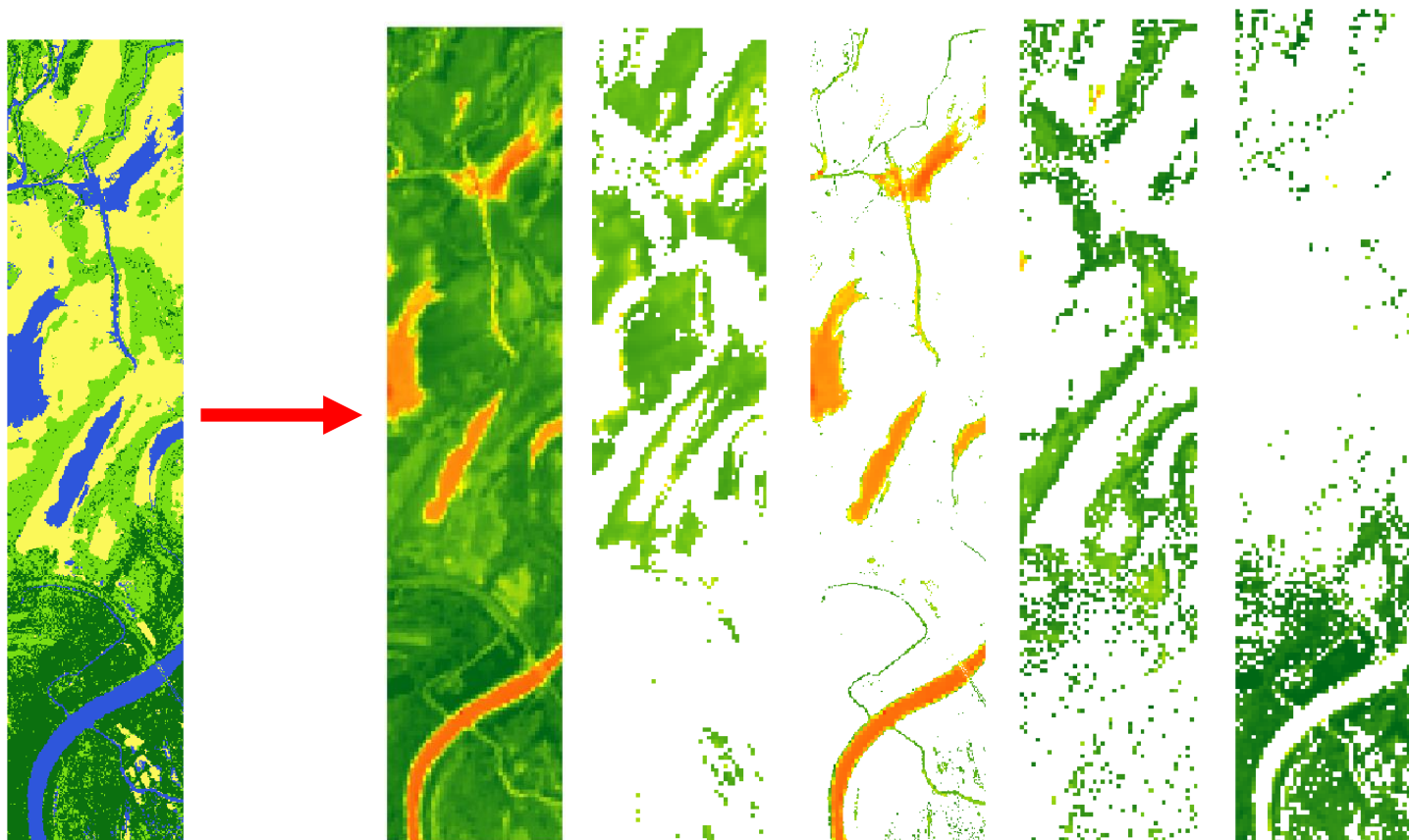
4. ábra: A lehatárolt tó és a határvonalak



5. ábra: A lehatárolt medencék

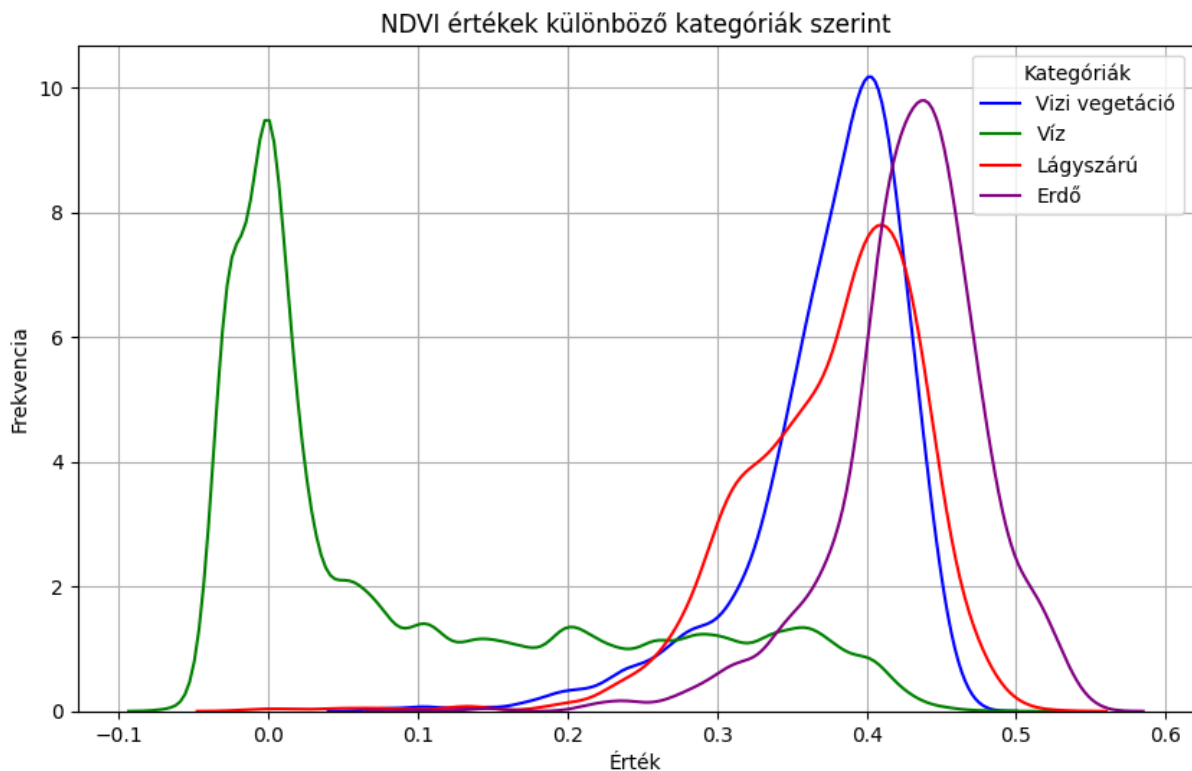
Miután létre jött így egy idősor a tóról és a medencékről is, kategorizálni kellett, hogy utána azok alapján tudjam meghatározni a tó változásait az évek során.

(Szabó, 2022) Hiperspektrális (AISA Eagle szenzor) kiértékelés alapján növényzeti kategóriákat állított fel és ezek szerint térképezte a tározót. A hiperspektrális felvétel 2013.07.09.-án készült, ehhez időben nagyon közeli (2013.07.08) Landsat felvételt töltöttem le, és metszettem ki az adott területet. Ezek alapján alkottam meg a saját kategóriáimat, Szabó kategóriái alapján létrehoztam 4 réteget a Landsat felvételből, amik a 6. ábrán láthatóak.



6. ábra: Kategóriák elkülönítése

Az így kapott rétegeket szintén NDVI vegetációs indexel hozam létre, és minden rétegről hisztogramot készítettem, ehhez Pythont használtam. Ezeket a hisztogramokat egymásra illesztettem, ahogy a 7. ábrán is látható, és megvizsgáltam, hogy mennyire lehet őket elkülöníteni, mennyire tudom ugyan azokat a kategóriákat használni. Mivel a hiperspektrális



7. ábra: Az egymásra illesztett hisztogramok

felvétel sokkal jobb térbeli felbontású (1,5 méteres) mint a Landsat multispektrális felvétele, illetve a spektrális felbontása is eltérő, kiderült, hogy át kell alakítani a kategóriákat, és olyanokat kell létre hozni, amik jól elkülöníthetők egymástól. Mint ahogy a képen is látszik, a lágyszárú és vízi vegetáció kategória hisztogramjai szinte megegyeznek, így ezeket, össze kellett vonnom. Viszont a víz hisztogramján az látszott, hogy a csúcs után elég hosszan még mutat értékeket, így ott létre hoztam egy új kategóriát. Ezt a kategóriát vízzel borított növényzetnek neveztem el, mivel ott azért mutatható NDVI értékeket a víz kategóriában, mert a víz felszíne alatt vegetáció lehet, ami klorofilt tartalmaz, ezt érzékelheti a szenzor. Illetve az is előfordulhat, hogy a növényzet kiáll a vízből, és nem takarja teljesen a vízfelszínt, így kevert növény/víz jel jön létre. Ugyanis a nyitott vízfelszín NDVI értéke 0 alatt van, így, ha nem 0 az érték ott valami másnak is lennie kell.

Az általam létre hozott kategóriák így az NDVI érték alapján a következők:

Kategória megnevezés	NDVI érték
Víz	-1 - 0
Vízzel borított növényzet	0 – 0.27
Lágyszárú	0.27 – 0.42
Erdő	0.42 - 1

2. táblázat: A meghatározott kategóriák és értékeik

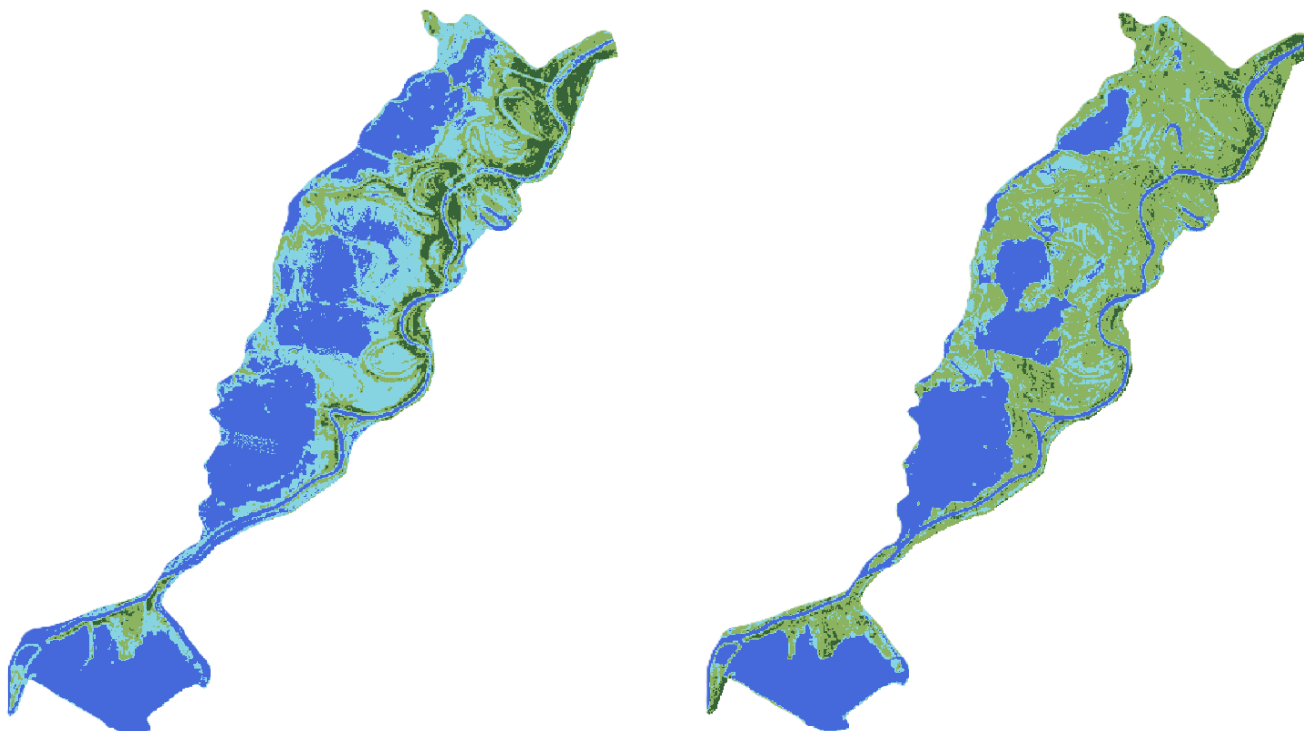
A kategóriák meghatározása után alkalmaznom kellett azokat minden egyes rétegen, ehhez újra a raszterkalkulátort használtam, és az AND függvény segítségével, amit a 8. ábrán is láthatunk, kiszámoltam és létrehoztam a kategóriatérképeket.

Raszterkalkulátor-kifejezés

```
(("Landsat_19840715_NDVI_to@1">= -1) AND ("Landsat_19840715_NDVI_to@1"< 0))*1 + (("Landsat_19840715_NDVI_to@1">= 0) AND ("Landsat_19840715_NDVI_to@1"< 0.27))*2 + (("Landsat_19840715_NDVI_to@1">= 0.27) AND ("Landsat_19840715_NDVI_to@1"< 0.42))*3 + ("Landsat_19840715_NDVI_to@1">= 0.42)*4
```

8. ábra: Kategóriák kiszámításához szükséges képlet

A képlet segítségével kiszámítottam a felszínborítási idősorokat, mind a tó teljes területére, mind a medencékre egyaránt. Jól elkülöníthető színekkel jelöltem a kategóriákat, amik visszaadják az egyes zónák borítottságának jellegét, ezt láthatjuk a 9. ábrán.

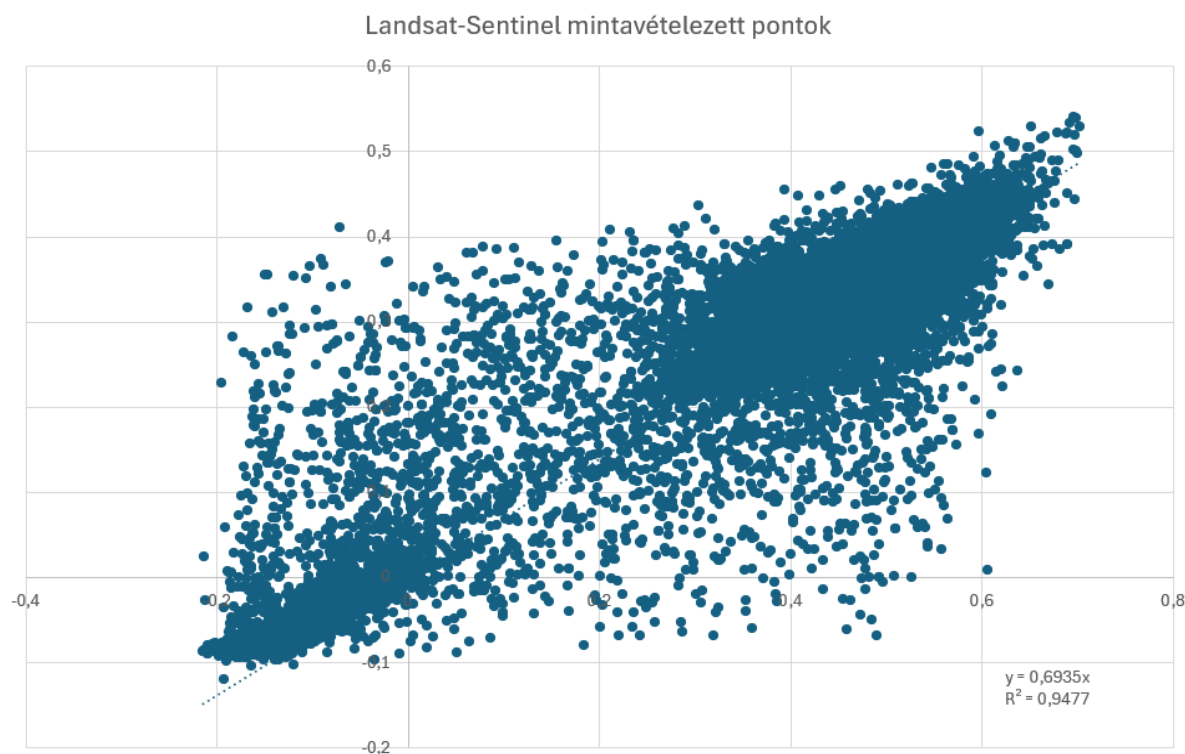


9. ábra: 1984 és 2023 kategorizált térképe

Már a térképek alapján jól kirajzolódtak a különbségek, viszont ezeket valahogy számszerűsíteni is kellett, ehhez lefuttattam minden réteghez egy raszter réteg zónastatisztikát, amikben m²-ben megkaptam, hogy egy-egy zóna mekkora területet foglal el a teljes területből. Ezek alapján már meg lehetett határozni, hogy mekkora változások történtek az elmúlt évtizedekben.

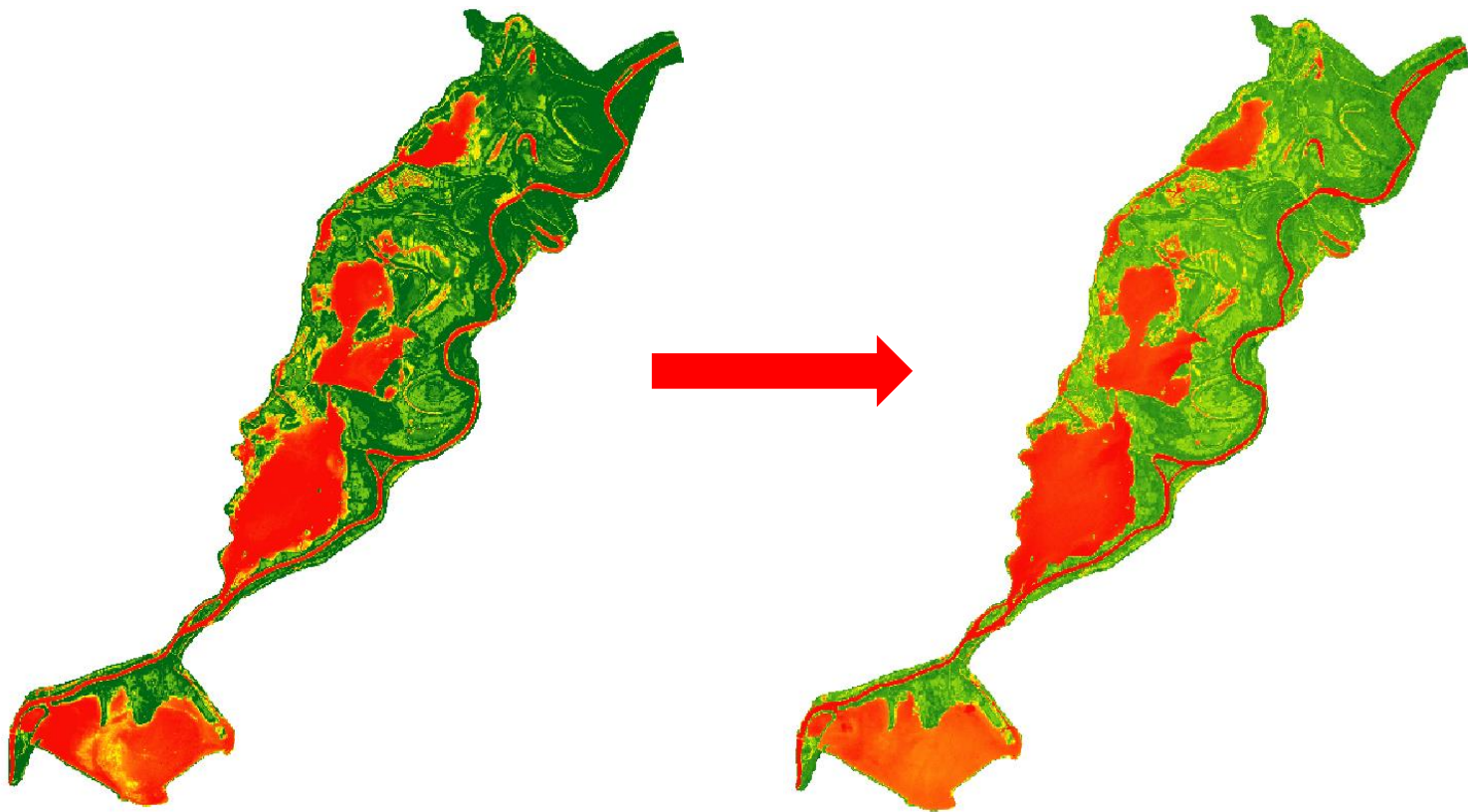
3.3.2. Sentinel adatok alkalmazása

A vizsgálathoz felhasználtam a Sentinel műholdcsalád felvételeit is, hogy még pontosabb képet kapjak. A Sentinel 2 műhold adatainak bevonásával nem csak megduplázódott a felhasználható adatok száma, mivel ennek a műholdnak a visszatérési ideje is rövidebb, ezáltal több képet készít, mint a Landsat műholdak. Az 5 naponként készülő felvételekből nagyobb az esély a használható adatokra. A felvételek hasznosításával akadt viszont egy probléma, mivel a két műholdnak különböző az érzékelője, így a kapott NDVI adatok is eltértek kis mértékben. Így ahhoz, hogy fel tudjam használni, először át kellett számítani az adatokat, hogy megfeleljenek a Landsat adatainak. Ezt úgy oldottam meg, hogy mind a Landsat mind a Sentinel NDVI térképekről azonos pontokból mintavételeznem kellett, és ezeket az értékeket összevetve kiszámítottam, mennyivel kell módosítanom a Sentinel adatait. A 10. ábrán látható módon, mind a két térképről 20000 pontot vettem fel, ezeket egymásra illesztettem, és lineáris trendvonalat illesztettem rájuk. Az egyenlet alapján tehát 0,6935-tel kell megszoroznom a Sentinel adatait ahhoz, hogy megegyezzenek.



10. ábra: Mintavételezett pontok a Landsat és a Sentinel felvételekről

Az összes Sentinel felvételt átszámoltam ezzel a módszerrel mielőtt alkalmaztam volna rajtuk a Landsat-nél is használt elosztást és kategorizálást. A következő 11. ábrán látható, hogy milyen volt a Sentinel NDVI térkép az átszámítás előtt és után, így a kategorizálás is értékelhető eredményt hozott, a Landsat képekhez hasonlóan.

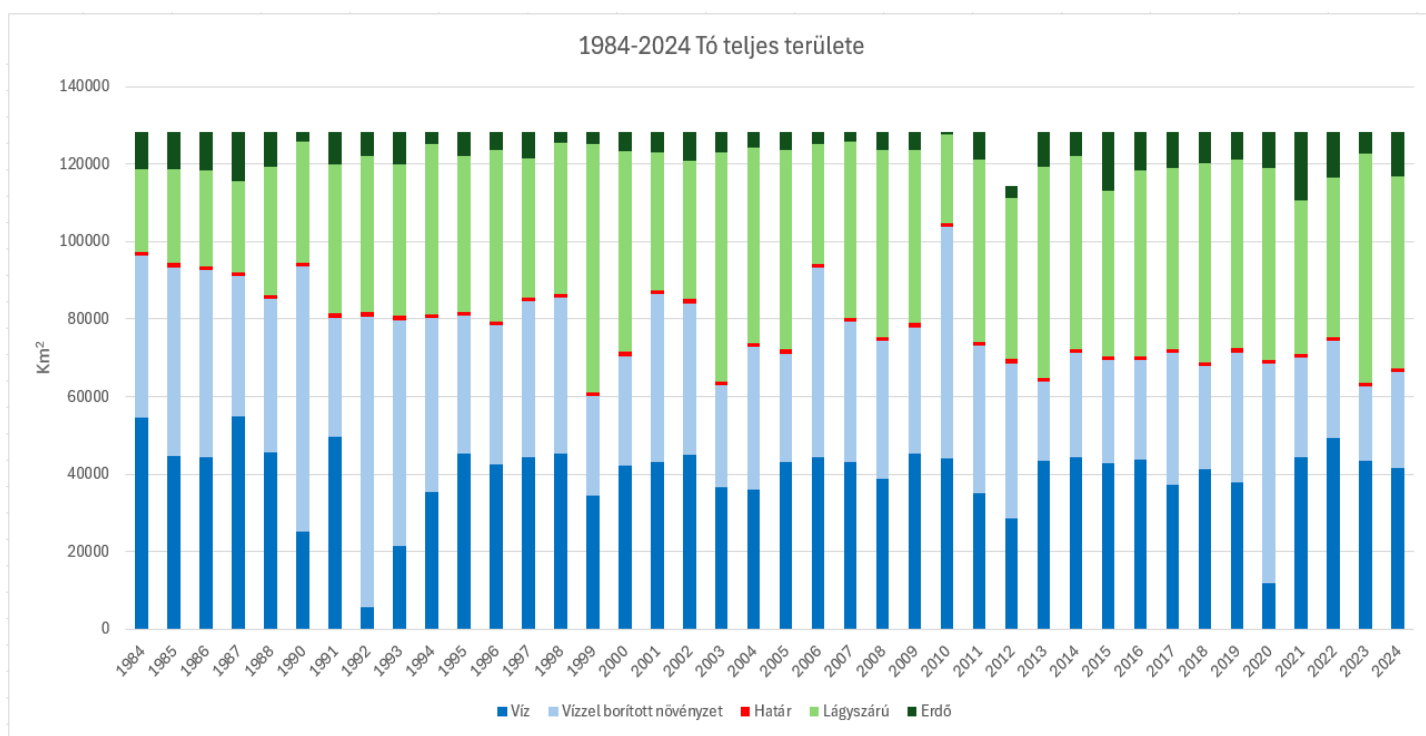


11. ábra: A 2023.08.12. Sentinel felvétel korrekciója

A Sentinel 2 műhold 2015-től szolgáltat adatokat, így az adatsor 2015-2024-ig mutatja a tó állapotát. Erre az időszakra elkészítettem a tó, illetve a 4 medence kategorizált adatsorát, akár csak a Landsat-nél tettem. Ezután az új adatokkal kiegészítettem a meglévőket, és ábrázoltam azokat, ahogy azt majd az eredményeknél látni is lehet.

4. Eredmények és értékelésük

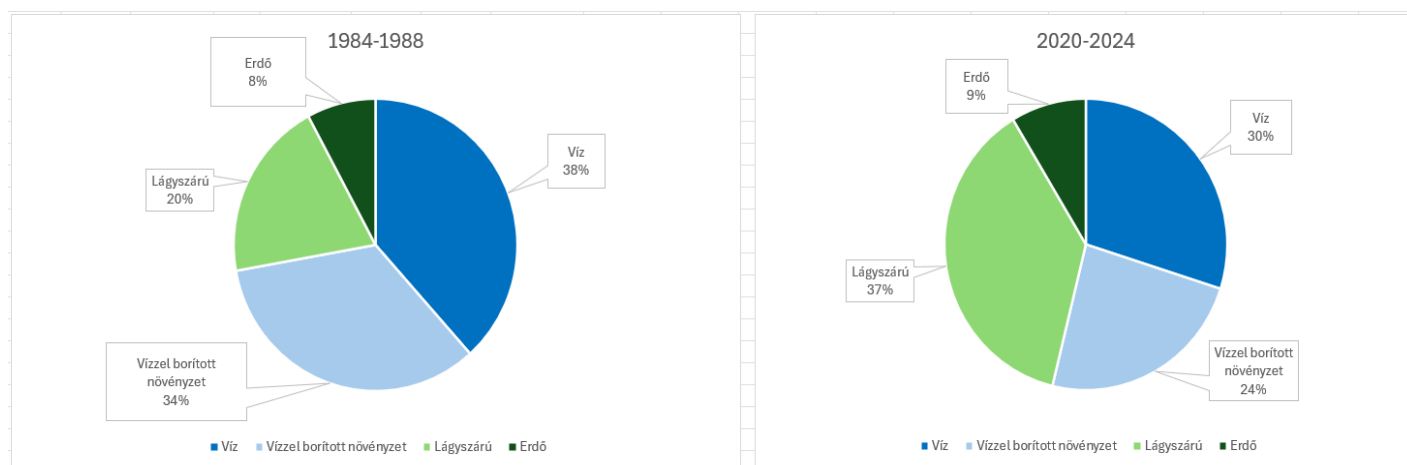
Az eredmények kiértékelése után grafikonokat készítettem az eredményekből, hogy vizualizáljam a változásokat. Először a tó teljes területét vizsgáltam, hogy a 40 év alatt, hogyan alakultak az egyes kategóriák kiterjedései. A 12. ábrán jól látszik, hogy fokozatosan csökkent a nyílt vízfelület és növekedett a növényzettel borított rész. Megfigyelhető még a 2010-es évben, hogy az akkori nagy árvíz is mennyire befolyásolta a területet, kiugróan magas vízzel borított eredményt okozva. A 2012-es évben látszik, hogy a teljes érték alacsonyabb, mint a többi évben, itt nyilván nem arról van szó, hogy a tó összement volna, ezt az okozta, hogy a műhold hibás képet rögzített, és sávos mintában adathiány lépett fel. Ezáltal kevesebb lett a felhasználható adat, de mivel mindenhol ugyan annyit hagyott ki, benne hagytam a statisztikában, így is értékelhető számokat eredményez.



12. ábra: A tó teljes területének alakulása

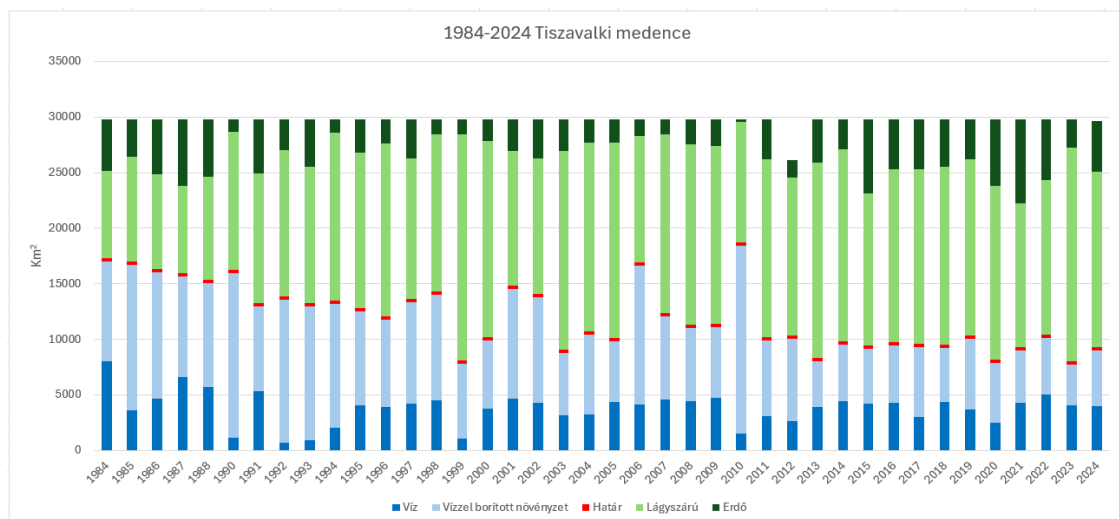
Abból a célból, hogy az évek során kialakult változást még szemléletesebben tudjam ábrázolni, készítettem egy átlagolt eredményt, az első és az utolsó 5 év átlagából is, hogy pontosabb képet kapjak arról, mekkorát is csökkent a vízfelület 1984 óta, ez figyelhető meg a 13. ábrán. A diagrammon jól látszik, hogy míg az 1984-1988-as időszakban átlagosan 72% volt a vízfelület aránya a tó területén, addig a 2020-2024-es időszakra ez 54%-ra csökkent. Az erdő aránya minimálisan változott csak, a lágyszárú vegetáció azonban jelentősen megnőtt a vízfelület kárára, 20%-ról felment 37%-ra. Ezek elég jelentős változások, amiket a tó

feltöltődése is okozhat, illetve a növényzet növekedése és a feltöltődés összefügg, egyik a másikat elősegíti és fordítva.

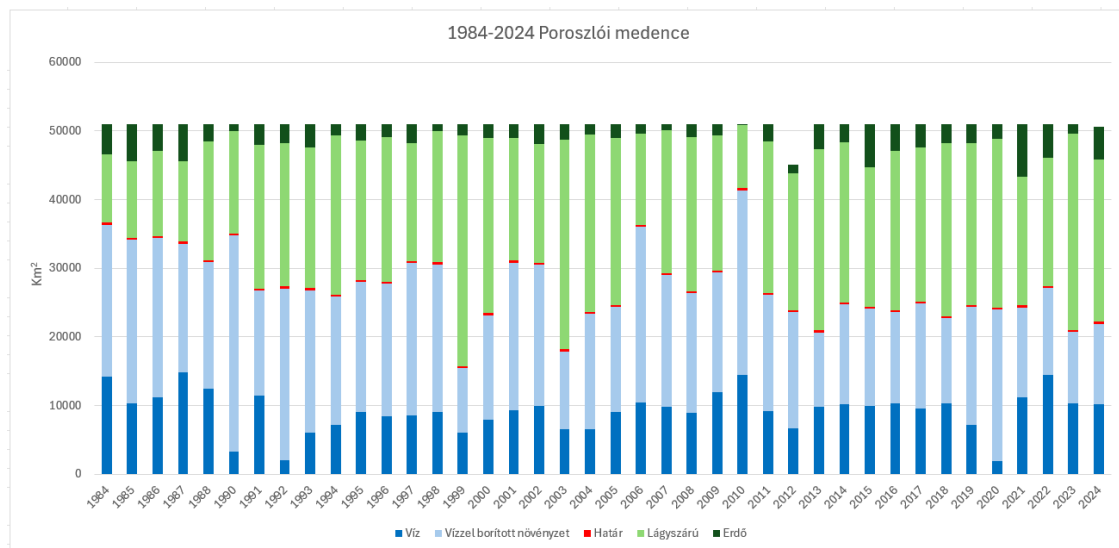


13. ábra: Az 5 év átlagolt eredményei kördiagrammon

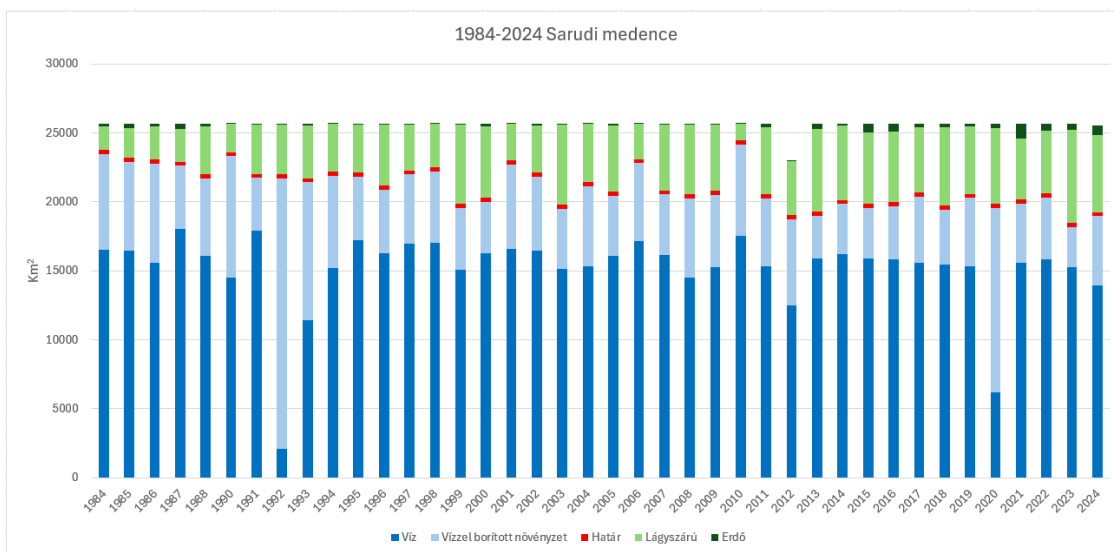
Ezután a négy medencéről is készítettem grafikont, hogy lássam, melyiknél voltak nagyobb változások, illetve melyiknél kisebbek. A 14-15-16-17. ábrán látható, hogy ahogy az várható volt, jól látszik, hogy az északabbra evő medencék, amik a duzzasztóműtől messzebb vannak, sokkal nagyobb területen borítottak növényzettel, ennek oka a sekélyebb vízszint. A duzzasztóműhöz közeledve a növekvő átlagos vízmélységgel fokozatosan csökken a növényborítottság és nő a nyílt vízfelszín. A növényzet-víz arány változása megfigyelhető az összes medencén egyaránt, azonban a mértéke nem ugyan akkora. Ahol eleve magasabb a növényzet aránya ott a növényborítás növekedése is nagyobb arányú, a tiszavalki medencénél, ami leg északabbra fekszik a leg jelentősebb, itt az első években még 15000 km² volt a nyíltvíz területe, míg az elmúlt pár évben a 10000-et sem érte el. Ellenben az abádszalóki medence, ami a legdélebbi elhelyezkedésű, a kezdeti 19000 km²-ről csak 16000-ig csökkent le. A változás tehát megfigyelhető minden medencében, viszont a mértéke eltérő, míg az északabbra fekvő medencéknél közel egyharmadát veszítette el a víz területe, addig a délebbre fekvő medencék csak körülbelül 15%-ot. Ahogy a tó egész területén, a medencéknél is a lágyszárú vegetáció tör előre a vízzel szemben. Az erdő aránya ugyan ingadozik az éves során, de összességében az aránya állandónak mondható.



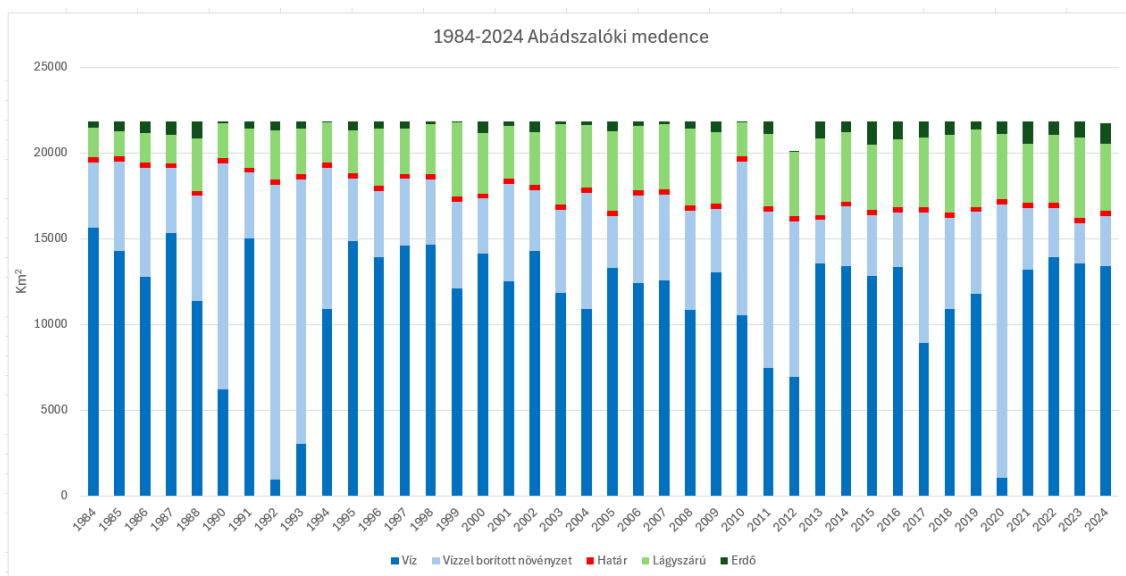
14. ábra: A Tiszavalki medence alakulása



15. ábra: A Poroszlói medence alakulása

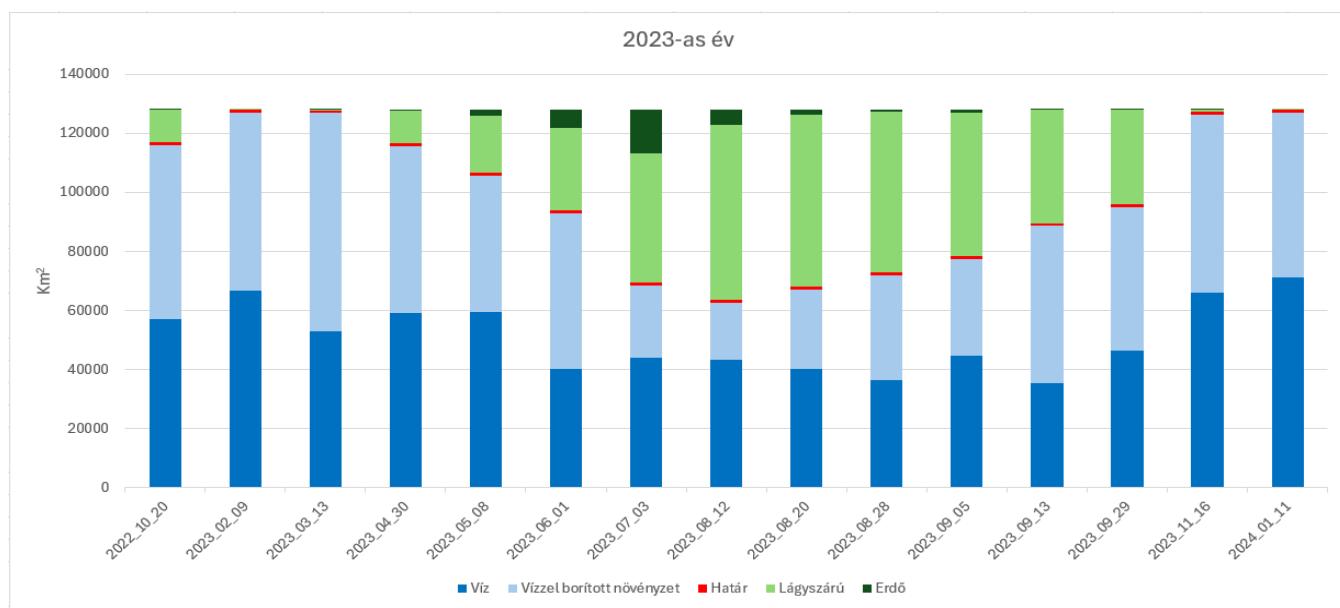


16. ábra: A Sarudi medence alakulása



18. ábra: Az Abádszalóki medence alakulása

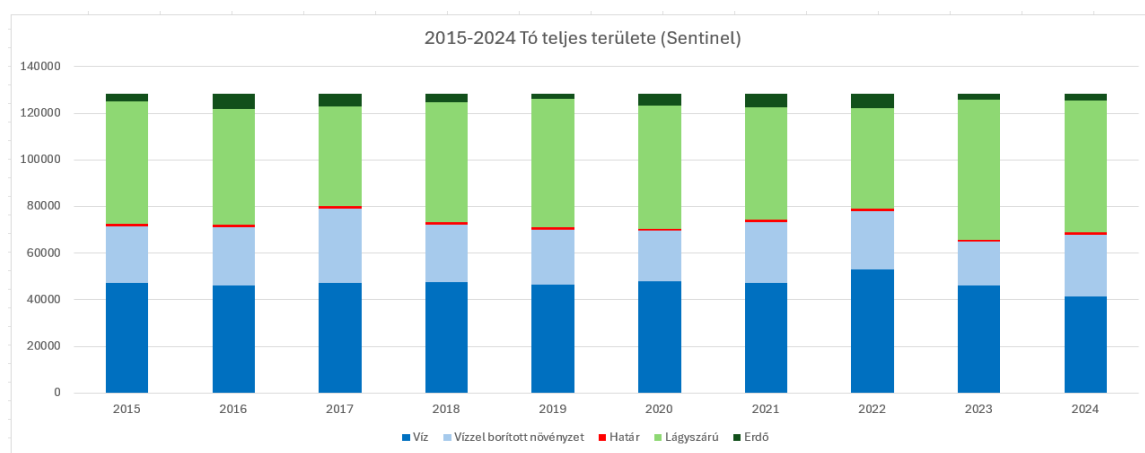
Készítettem egy elemzést a 2023-as évről is, hogy látható legyen hogyan változik a tó egy éven belül, ez a 18. ábrán figyelhető meg. Ehhez különösen nehéz volt a megfelelő felvételeket megtalálni, mivel nem csak a nyári időszakból kellett felvétel, hanem a teljes évből, és az ősztől tavaszig tartó időszakban még jelentősebb problémát okoztak a felhők, sokkal több használhatatlan felvétel volt. Ezért is van az, hogy egyes felvételek időpontja között akár több hónap is van amikor nincs adat. Ennek ellenére is jól mutatja a 18. ábrán a grafikon, hogy a téli időszakban mennyire visszaszorul a növényzet, ilyenkor szinte nincs is klorofil, amit a műhold érzékelni tudna. Azt viszont megerősíti a grafikon, hogy a felvételek időpontját jól választottam ki, mivel a július-augusztusi időpontokban a legmagasabb a növényzet fejlettségi állapota.



17. ábra: A tó növényborítottsága a 2023-as évben

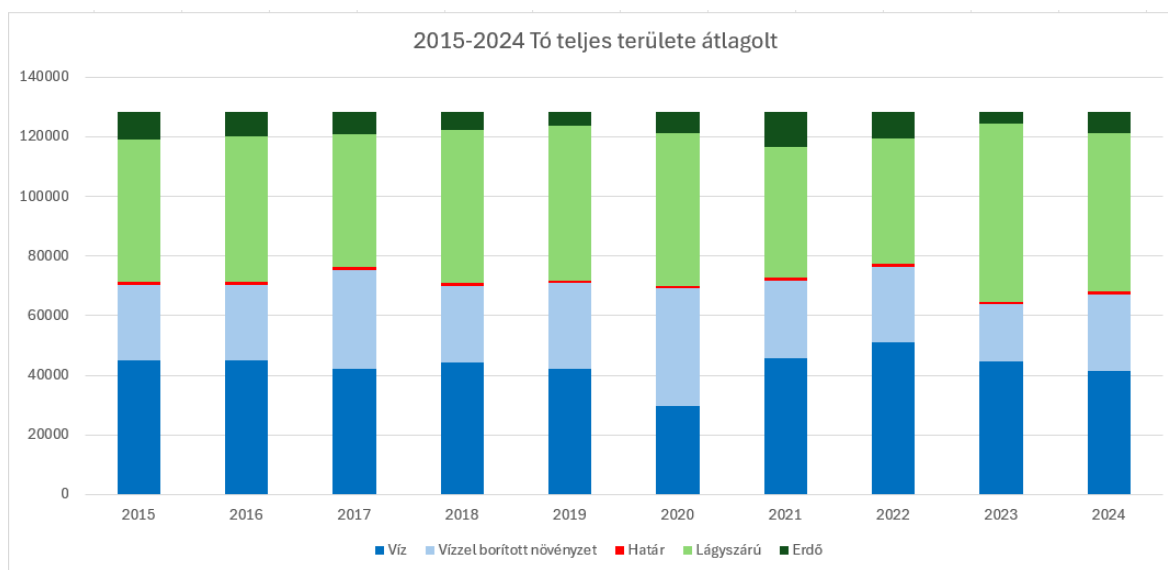
A Sentinel adatainak feldolgozása után, ábrázoltam az eredményeket grafikonok segítségével, először külön a Sentinel adatokat, majd a Landsat adatokkal együtt is. A következő grafikonokon látszik a Sentinel 2 adatainak az eredménye 2015-2024-ig, a tó teljes területére és a medencékre lebontva is. Először a tó teljes területét vizsgáltam, a teljes időszakra nézve (2015-2024), és a 2023-as évre lebontva részletesebben is.

A 19. ábrán a Sentinel adatai láthatók, a 10 év alapján az mondható el, hogy nem volt drasztikus változás, vagyis a 40 éves idősoron látható vízfelület csökkenés jelentős része a korábbi időszakra tehető, az elmúlt 10 évben már inkább stagnált, vagy csak kis mértékben csökkent.



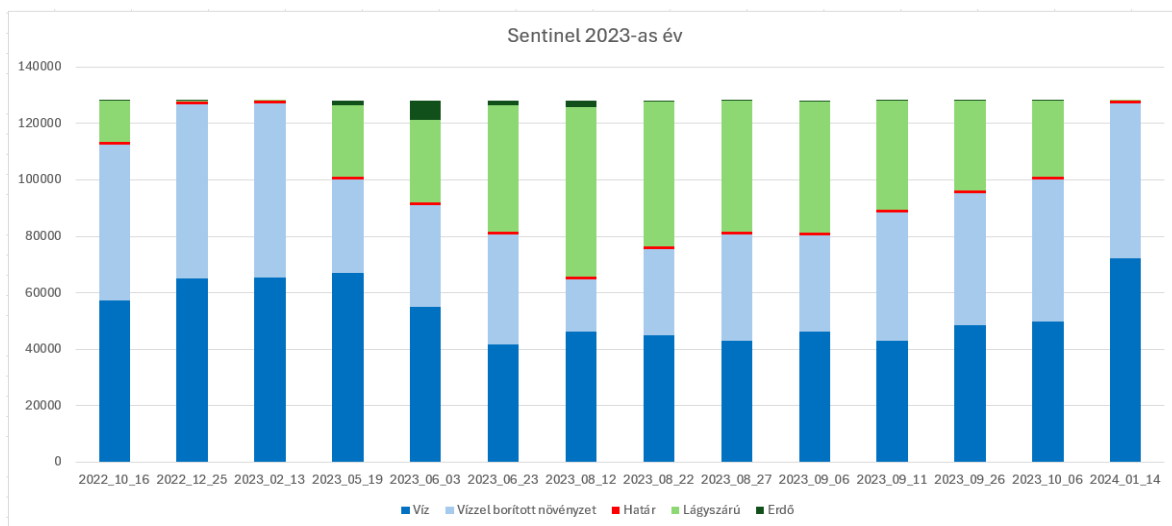
19. ábra: 2015-2024 A tó teljes területe a Sentinel műhold adataival

A 20. ábrán egy átlagolt eredmény látható, a Landsat és a Sentinel azonos évben készült adatainak eredményét átlagoltam, ezáltal egy pontosabb, kiegyensúlyozottabb eredményt kaptam.



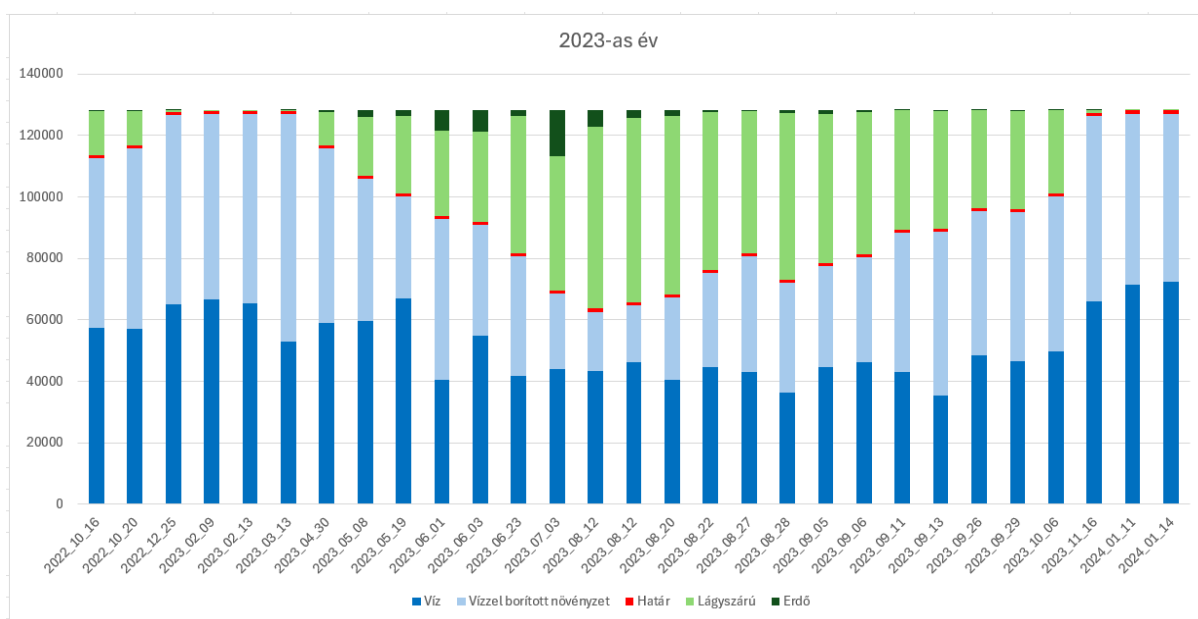
20. ábra: 2015-2024 a tó teljes területe a Landsat és a Sentinel adatainak átlagolásával

Mint ahogy korábban a Landsat adatoknál, itt is készítettem a 2023-as évre egy részletes elemzést, először külön a Sentinel adatai alapján. Itt is hasonló eredményt kaptam, szintén jól látszik a vegetáció fejlődése az év során, mikor a legerőteljesebb, és mikor kevésbé. Itt is jól kirajzolódott, hogy a kiválasztott július-augustusi időpontokban a legmagasabbak az NDVI értékek, ahogy az a 21. ábrán is látható.



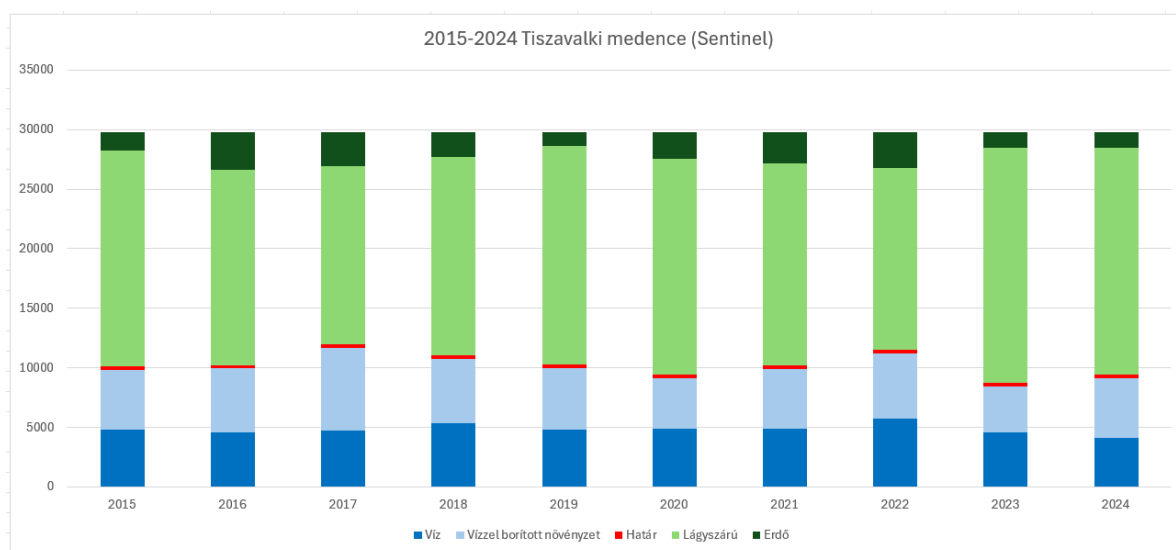
21. ábra: A 2023-as év vegetációváltozásai a Sentinel műhold adatai alapján

Készítettem egy grafikont, ahol a Landsat és a Sentinel adatokat egyaránt megjeleníttem, a 22. ábrán ezt láthatjuk. Ez azért is volt lényeges, hogy az évre lebontva még részletesebb képet tudjak alkotni, mivel így sokkal több adat áll rendelkezésemre, kevesebb a kimaradt időpont. Ezen a grafikonon látjuk legpontosabban a tó alakulását az évre lebontva, jól kirajzolódnak a vegetáció változásai.

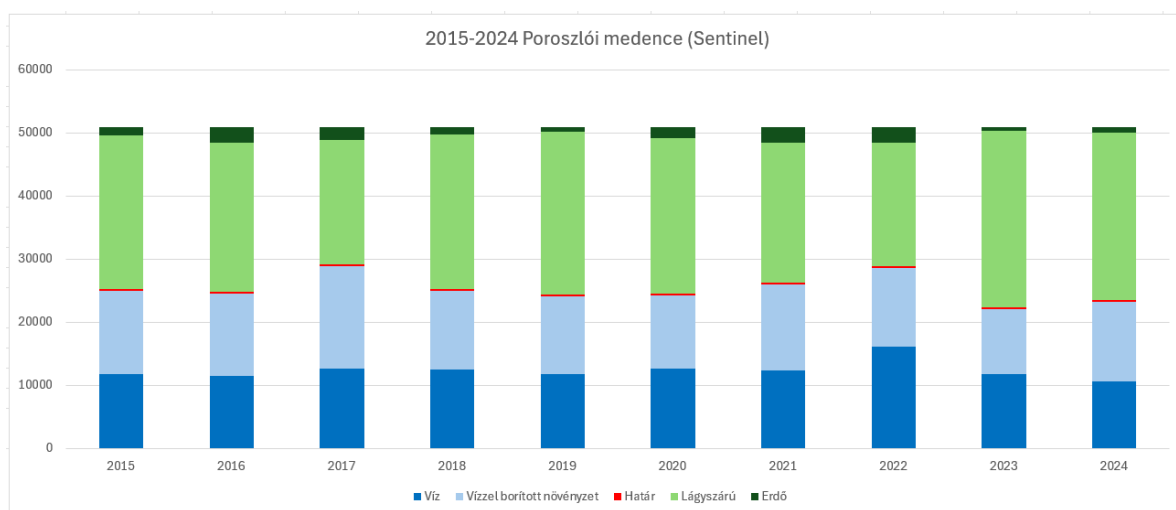


22. ábra: A 2023-as év vegetáció változásai a Sentinel és a Landsat műholdak alapján

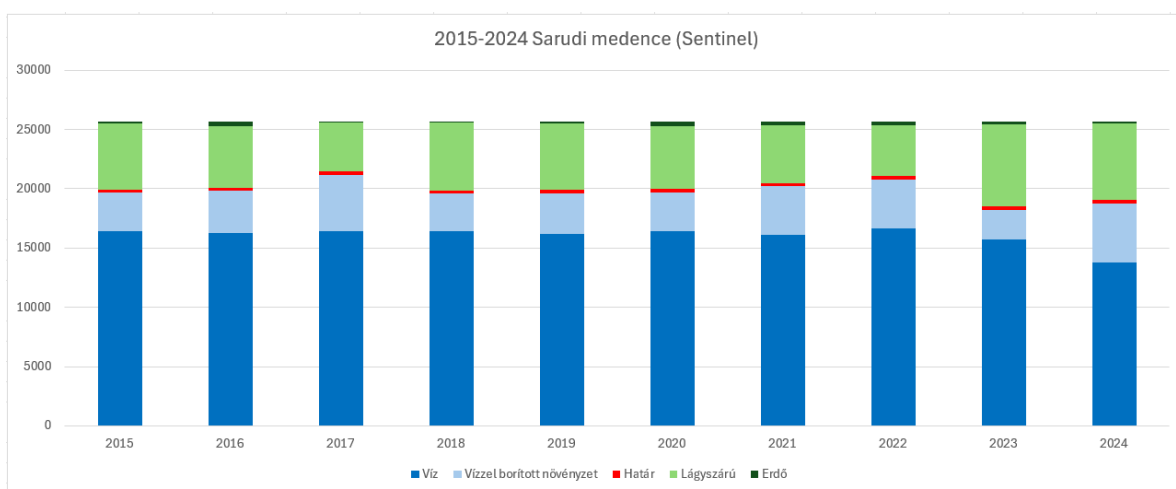
Elkészítettem a Sentinel adatok alapján is a 4 medencére lebontva a vegetáció változását a 2015-2024-es időszakra, a következő, 23-24-25-26. ábrákon ezeket mutatom be.



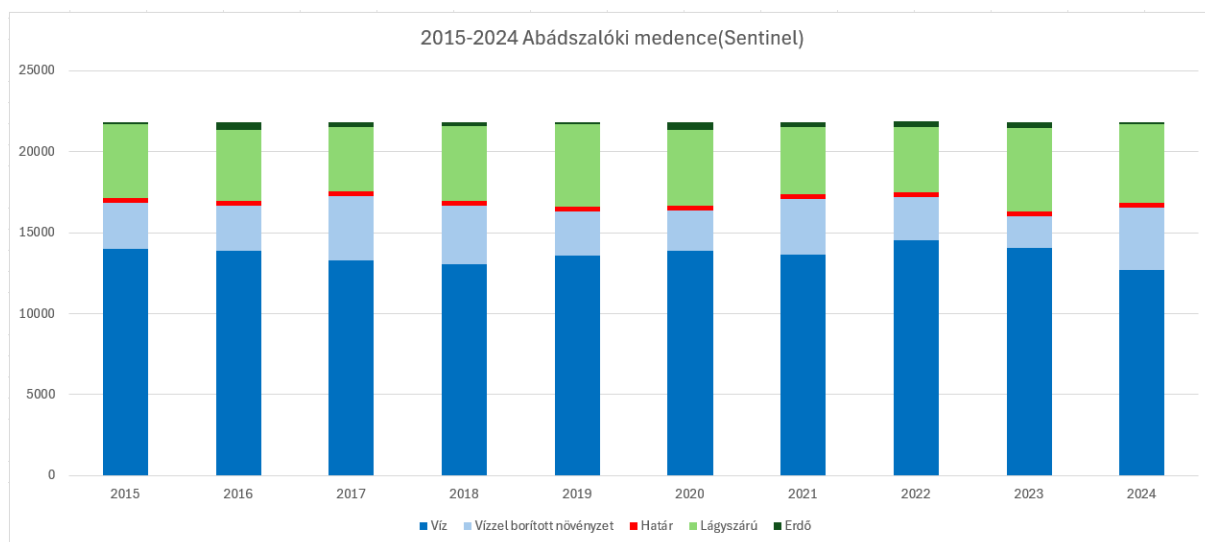
23. ábra: A Tiszavalki medence alakulása a Sentinel adatai alapján



24. ábra: A Poroszlói medence alakulása a Sentinel adatai alapján

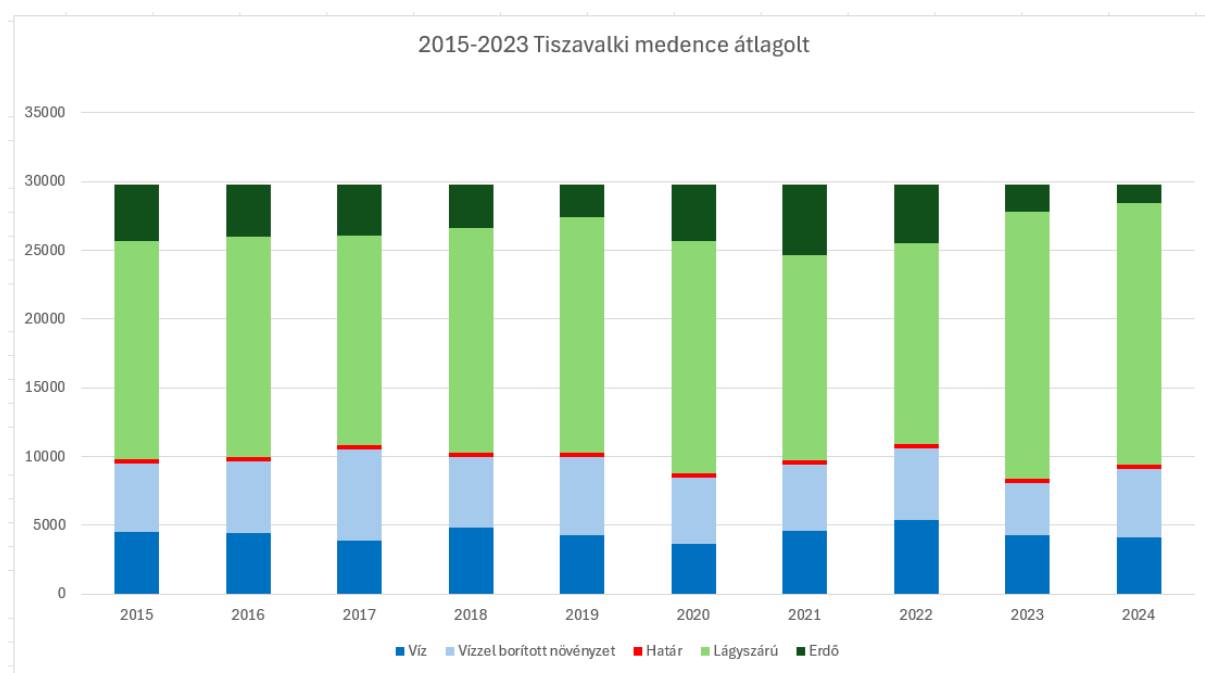


25. ábra: A Sarudi medence alakulása a Sentinel adatai alapján

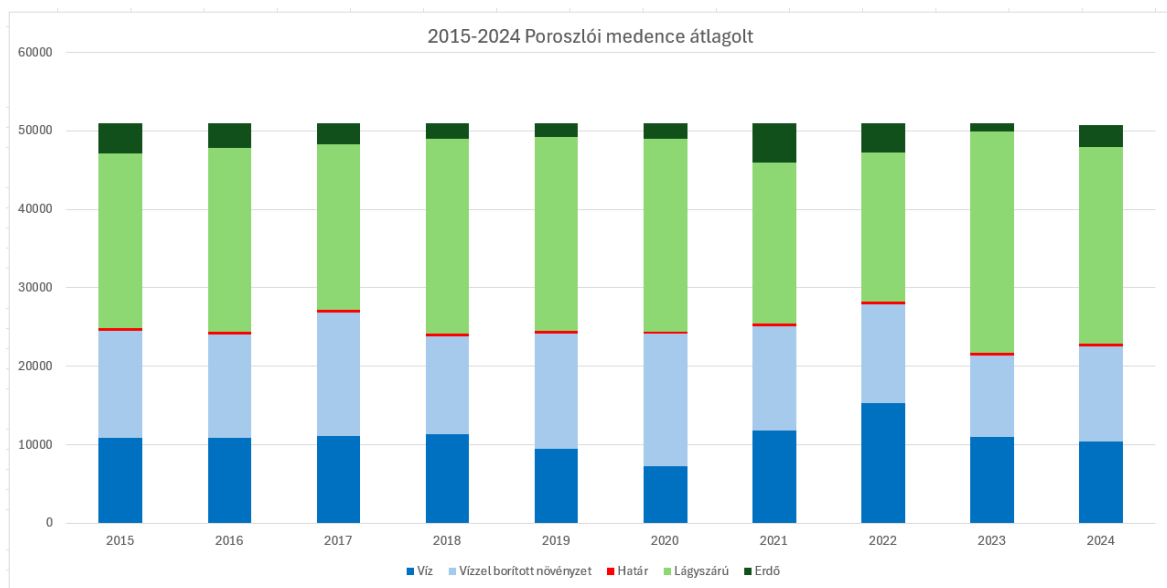


26. ábra: Az Abádszalóki medence alakulása a Sentinel adatai alapján

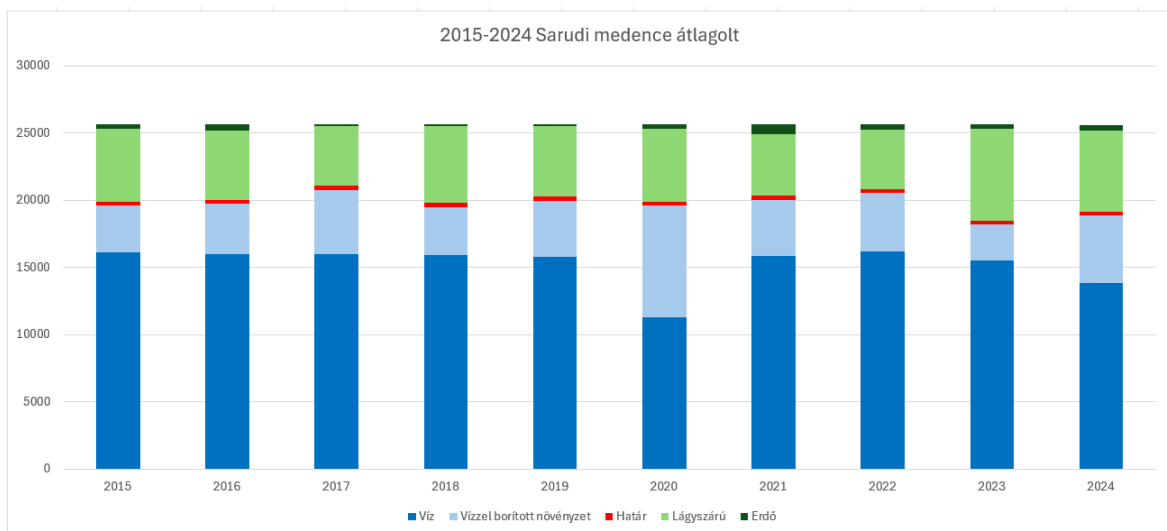
A 4 medencére is számoltam átlagolt eredményeket a két műhold adataiból, amiket a 27-28-29-30. ábrákon figyelhetünk meg, ezáltal pontosítva az eddigi eredményeket. Ezzel a módszerrel finomítani tudtam az eredményeken, a kiugró adatokat mérsékelni, az adatok így sokkal inkább a valós helyzetet mutatják, kevésbé befolyásolja egy-egy pillanatnyi esetlegesen nem az arra az időszakra jellemző eredmény. Akár csak a tó teljes területéről készült grafikonon, ezeken is megfigyelhető az, hogy jelentős változás nincs a vegetáció kiterjedésében, a lényegi változások tehát a 2015 előtti időszakra tehetők. Minimális ingadozások vannak az egyes évek között, de a 10 éves időszakot nézve nincs markáns változás sem a növényzet kiterjedésében, sem a vízfelület vértékében.



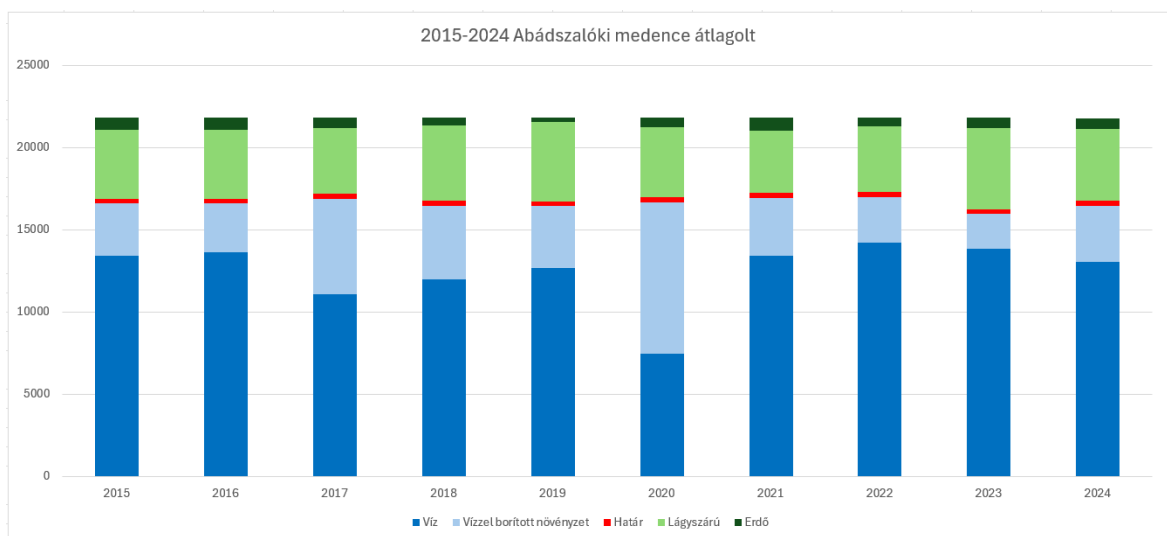
27. ábra: A Tiszavalki medence alakulása a két műhold átlagolt eredményei alapján



28. ábra: A Poroszlói medence alakulása a két műhold átlagolt eredményei alapján

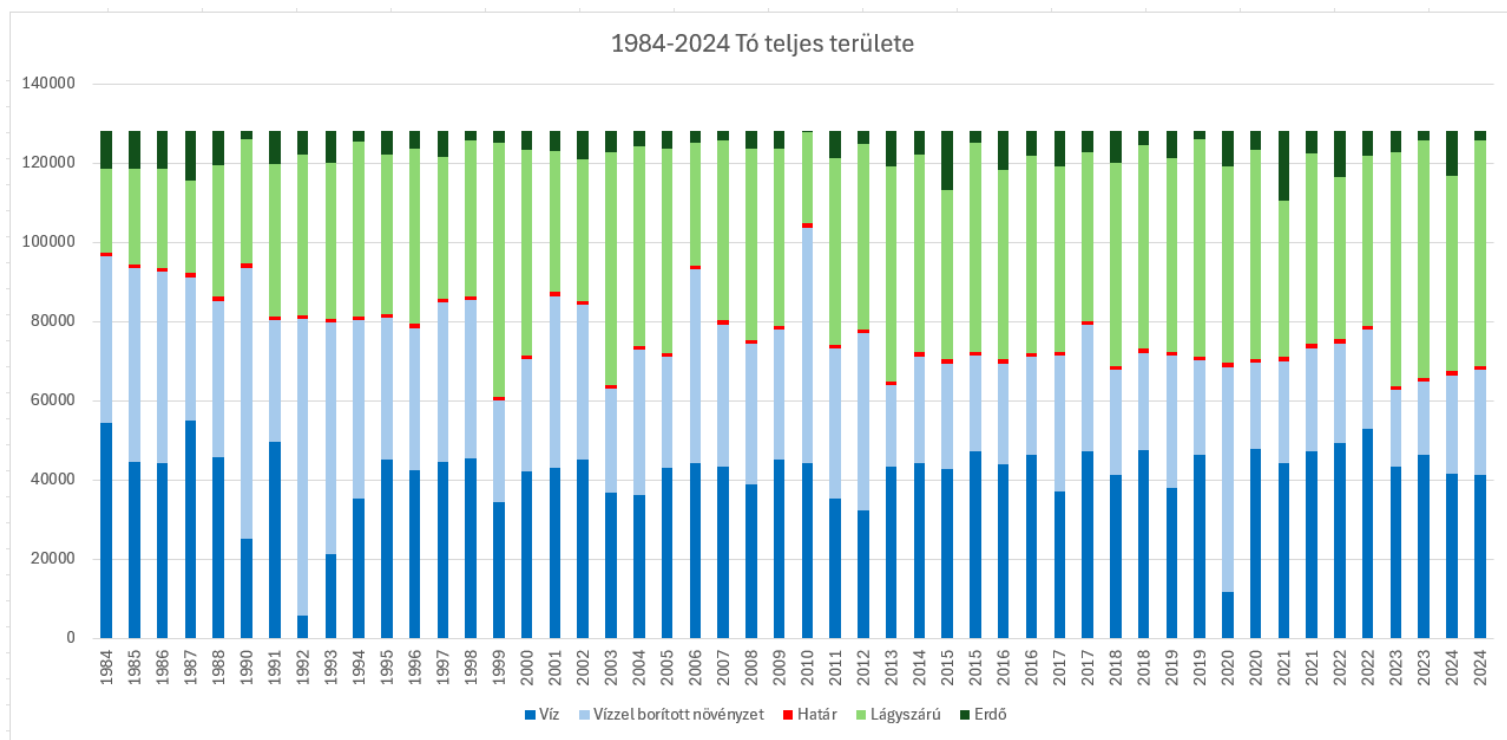


29. ábra: A Sarudi medence alakulása a két műhold átlagolt eredményei alapján



30. ábra: Az Abádszalóki medence alakulása a két műhold átlagolt eredményei alapján

Végül készítettem egy grafikont, ahol szerepelnek mind a Landsat mind a Sentinel adatok 1984 és 2024 között, ezt láthatjuk a 31. ábrán. Itt 2015-től évente két adat látható a két adatforrás miatt. Illetve ebben a grafikonban orvosoltam azt a hibát, amit korábban láthattunk a 2012-es felvétel esetében, miszerint hiányos az a felvétel és emiatt alacsonyabb a teljes érték, ezt úgy oldottam meg, hogy kiszámoltam mekkora az eltérés a többi, adathiba nélküli felvételekhez képest, és felszoroztam a 2012-es adat értékeit. Mivel a hibát egy sávós adathiány okozta, így nem befolyásolta a felvétel hasznosíthatóságát, és így, hogy átszámítottam, a többihez hasonlóan mutatja a tó felszínborítottságát. 2015-től, az egy éven belüli két adat közötti különbségeket nem feltétlen csak a két műhold közötti eltérés magyarázhatja, az is okozhatja, hogy a felvételek nem ugyan azon a napon készültek, egy-két hét eltérés lehet köztük, mivel a felvételek közül sokat a felhőzet miatt nem lehetett hasznosítani, így a Landsat és Sentinel képek nem minden esetben mutatják ugyan azt az állapotát a tónak. Ettől eltekintve, jól látszódik a terület változása, a vegetáció alakulása az évek során.



31. ábra: A tó teljes területe 1984-2024-ig a Landsat és a Sentinel adatai alapján

5. Következtetések és javaslatok

A műholdas adatok alapján végzett vizsgálatok során egyértelműen kimutatható volt, hogy a növényzet terjeszkedése, különösen a lágyszárú vegetációé, jelentős növekedést mutatott, miközben a nyílt vízfelületek folyamatosan csökkentek. Ez a változás különösen az északi medencékben figyelhető meg, ahol az alacsonyabb vízszint kedvező feltételeket biztosított a növényzet terjedéséhez.

Szabó (2022) a kutatásában több kisebb részterületen vizsgálta a Tisza-tó növényborítottságát kategóriákra bontva, hiperspektrális és muntispektrális felvételek segítségével. Meghatározott növényborítottsági gyakoriságot, illetve az egyes területeket veszélyeztetettség szerint is kategorizálta. Ezek mellett nagy hangsúlyt fektetett az osztályozási pontosság meghatározására, a Multispektrális és a hiperspektrális adatok összehasonlítására. Ellenben én ugyan csak muntispektrális felvételeket használtam, viszont a tó teljes területét vizsgáltam, illetve ezt négy medencére osztottam, valamint 1984-től 2024-ig vizsgáltam a területet és hoztam létre az idősoros elemzést.

A Landsat és a Sentinel adatainak egyidejű használatával teljesebb képet kaphatunk a tó növényborítottságáról, folytonosabb adatsor hozható létre, kisebb az esély az adathiányra. A több adatforrás miatt, az esetleges hibák, eltérések is könnyebben észrevehetők.

Az NDVI műholdas adatok eddigi felhasználása jól mutatta a felszínborítottság változásainak általános trendjeit, azonban az elemzések további finomításával még pontosabb adatokat kaphatnánk. Érdekes a következő években rendszeres megfigyeléseket végezni, hiszen az időjárási és hidrológiai viszonyok folyamatosan változnak, ami dinamikusan befolyásolja a növényzet és a vízfelületek kiterjedését.

Légifelvételek, drónfelvételek és más légi távérzékelési technológiák bevonása is növelheti az elemzések részletességét. A drónok különösen alkalmasak lennének a nehezen hozzáférhető területek megfigyelésére, valamint arra, hogy nagy térbeli felbontású képeket készítsenek a tó egyes részeiről. Ezáltal olyan apróbb változások is megfigyelhetők lennének, amelyek a műholdas adatokban esetleg nem tűnnének fel.

A kutatást még részletesebbé tenné a Tisza-tó területének további felosztása és az egyes területek külön vizsgálata. A különböző medencék eltérő ökológiai jellemzőkkel bírnak, ezért érdemes a területeket kisebb részekre bontani, és ezekre külön-külön elemzéseket végezni. Ezzel pontosítani lehetne a tó változásainak alakulását, részletesebb képet kapnánk a különböző területek változásairól.

Úgy gondolom, a kutatás folytatása hasznos lenne a Tisza-tó ökológiai állapotának hosszú távú megfigyelése és fenntartása szempontjából. Azonban ahhoz, hogy pontosabb és megbízhatóbb eredményeket kapjunk, érdemes a kutatás módszertanát továbbfejleszteni és kiterjeszteni.

A kutatás folytatásával és fejlettebb eszközök bevonásával részletesebb és pontosabb képet kaphatunk a Tisza-tó állapotáról, és jobban megérthetjük a növényzet terjedésének és a vízfelület csökkenésének okait.

6. Összefoglalás

A diplomadolgozatom célja a Tisza-tó növényborítottságának és vízfelületének változásainak vizsgálata volt műholdfelvételekből számított NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) segítségével. A kutatás során a Landsat műholdcsalád adatait használtam fel, amely lehetővé tette a terület több évtizedes időbeli változásainak nyomon követését. A vizsgálatokat 1984-től 2023-ig végeztem, külön figyelmet fordítva a tó négy fő medencéjére: a Tiszavalki, Poroszlói, Sarudi és Abádszalóki medencékre.

A műholdfelvételek feldolgozásához figyelembe vettem a vízállás és a vegetáció állapotát is, hogy pontos képet kapjak a nyári időszakokban történő változásokról. A kapott NDVI adatok alapján négy kategóriát határoztam meg: nyílt víz, vízzel borított növényzet, lágyszárú vegetáció és erdő. Ezek alapján nyomon követtem a növényzet terjeszkedését és a nyílt vízfelület csökkenését az évek során.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az elmúlt 40 évben a Tisza-tó nyílt vízfelülete jelentősen csökkent, miközben a növényzettel borított területek – különösen a lágyszárú vegetáció – fokozatosan növekedtek. Ez a folyamat különböző mértékben érintette a tó egyes medencéit, ahol a vízszint és a növényzet közötti összefüggések jól kirajzolódtak. Az északi medencékben, ahol alacsonyabb a vízszint, nagyobb arányban terjeszkedett a növényzet, míg a déli részekben, közelebb a duzzasztóműhöz, kevésbé változott a növényzet-víz arány.

A kutatás eredményei rámutatnak arra, hogy a Tisza-tó ökológiai rendszere dinamikusan változik, a növényzet terjeszkedése és a vízfelület csökkenése figyelhető meg. A kutatás során alkalmazott módszerek és adatok hozzájárulhatnak a jövőbeli túkezelési stratégiák kidolgozásához és a Tisza-tó hosszú távú fenntarthatóságának biztosításához.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni mindazoknak, akik segítségükkel hozzájárultak a diplomadolgozat elkészítéséhez:

- Dr. Vekerdy Zoltánnak, a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék egyetemi tanárának, a konzulensemnek, aki nélkül nem jöhetett volna létre a dolgozat, szakértelmét és türelmét köszönöm.
- A Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságnak, akik vízállás adatokat szolgáltatottak a kutatáshoz.
- A szaktársaimnak, barátaimnak, akik végig támogattak, és bármilyen probléma merült fel, segítettek megoldani azt.
- A családomnak, akik mindenben segítettek, és támogattak, nélkülük nem jöhetett volna létre.

8. Irodalomjegyzék

- Tóth, A., & Tóth, C. (2010). *A Tisza-tó természetrajza*.
- Aranyiné Rózsavári, A., Berényi, Á., CsépesEduárd, Szilágyi, E., Nagy, M., Fejes, L., Kéri, B., Kovács, P., Laczi, Z., Sólyom, N., Szalay, G., & Végvári, P. (2018). *Negyvenéves a Tisza-tó*. www.kotivizig.hu
- De Jong, S. M., Van Der Meer, F. D., & Clevers, J. G. P. W. (2007). *Basics of Remote Sensing*.
- Freden, S. C., Mercanti, E. P., & Becker, M. A. (1974, January 1). *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume 1: Technical Presentations, section A*.
- Katona, G. (2020). *A Tisza-tó öblítő csatornáinak környezetbiztonságra gyakorolt hatása* (Issue 1). www.hidrologia.hu
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., & Barsi, J. A. (2012). The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*, 122, 11–21. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2011.08.026>
- Kaplan, G., & Avdan, U. (2017). Mapping and monitoring wetlands using sentinel-2 satellite imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(4W4), 271–277. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-271-2017>
- Khanal, S., Kushal, K. C., Fulton, J. P., Shearer, S., & Ozkan, E. (2020). Remote sensing in agriculture—accomplishments, limitations, and opportunities. In *Remote Sensing* (Vol. 12, Issue 22, pp. 1–29). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/rs12223783>
- Lengyel, L. (2008). *Give to AgEcon Search Help ensure our sustainability*.
- Li, S., Xu, L., Jing, Y., Yin, H., Li, X., & Guan, X. (2021). High-quality vegetation index product generation: A review of NDVI time series reconstruction techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 105, 102640. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2021.102640>
- Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (2004). Remote Sensing and Image Interpretation (Fifth Edition). In *The Geographical Journal* (Vol. 146). <https://doi.org/10.2307/634969>
- Lovas, A., Csépes, E., Aranyiné Rózsavári, A., Csépes, E., Dr. Bácsiné Dr. Béres, V., Kovács, P., Kassay, I. A., Kummer, L., Sólyom, N., & Szalay, G. (2018). *A Tisza-tó 2018. évi állapotfelmérése*.
- Masek, J. G., Wulder, M. A., Markham, B., McCorkel, J., Crawford, C. J., Storey, J., & Jenstrom, D. T. (2020). Landsat 9: Empowering open science and applications through continuity. *Remote Sensing of Environment*, 248, 111968. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2020.111968>

- Mishra, N., Haque, M. O., Leigh, L., Aaron, D., Helder, D., & Markham, B. (2014). Radiometric cross calibration of landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and landsat 7 enhanced thematic mapper plus (ETM+). *Remote Sensing*, 6(12), 12619–12638. <https://doi.org/10.3390/rs61212619>
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- Rosas-Chavoya, M., Gallardo-Salazar, J. L., López-Serrano, P. M., Alcántara-Concepción, P. C., & León-Miranda, A. K. (2022). QGIS a constantly growing free and open-source geospatial software contributing to scientific development. *Geographical Research Letters*, 48(1), 197–213. <https://doi.org/10.18172/cig.5143>
- Showstack, R. (2014). Sentinel Satellites Initiate New Era in Earth Observation. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 95(26), 239–240. <https://doi.org/10.1002/2014eo260003>
- Szabó, L. (2022). *A Tisza-tó feltöltődésének, valamint a helyi vegetáció dinamikájának vizsgálata és az ehhez szükséges módszertani alapok megteremtése multispektrális és hiperspektrális távérzékelte adatok felhasználásával Egyetemi doktori (PhD) értékes.*
- Szabó, L., Deák, B., Bíró, T., Dyke, G. J., & Szabó, S. (2020). 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 Sensing*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/RS12091468>
- Tian, Y., Xiong, J., He, X., Pi, X., Jiang, S., Han, F., & Zheng, Y. (2018). Joint operation of surfacewater and groundwater reservoirs to address water conflicts in arid regions: An integrated modeling study. *Water (Switzerland)*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/w10081105>
- Tucker, C. J. (1978). *A Comparison of Satellite Sensor Bands for Vegetation Monitoring.*
- Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Belward, A. S., Cohen, W. B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J. D., Hostert, P., Hughes, M. J., ... Zhu, Z. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, 225, 127–147. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2019.02.015>

9. Internetes hivatkozások

<https://www.qgis.org/project/overview/>

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>

<https://www.esa.int/>

<https://www.copernicus.eu/hu/kopernikusz-program/infrastruktura/ismerje-meg-muholdjainkat>

<https://www.kotivizig.hu/kozep-tisza-videki/tisza-to/a-tisza-to-vizrendszere>

10. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: A vízállás alakulása 1984-től 2023-ig	13
2. ábra: A vízállás a 2022-es évben	14
3. ábra: 1984.07.15. NDVI térképe	15
4. ábra: A lehatárolt tó és a határvonalak	16
5. ábra: A lehatárolt medencék	16
6. ábra: Kategóriák elkülönítése	17
7. ábra: Az egymásra illesztett hisztogramok	18
8. ábra: Kategóriák kiszámításához szükséges képlet	19
9. ábra: 1984 és 2023 kategorizált térképe	19
10. ábra: Mintavételezett pontok a Landsat és a Sentinel felvételekről	20
11. ábra: A 2023.08.12. Sentinel felvétel korrekciója	21
12. ábra: A tó teljes területének alakulása	22
13. ábra: Az 5 év átlagolt eredményei kördiagrammon	23
14. ábra: A Tiszavalki medence alakulása	24
15. ábra: A Poroszlói medence alakulása	24
16. ábra: A Sarudi medence alakulása	24
17. ábra: Az Abádszalóki medence alakulása	25
18. ábra: A tó növényborítottsága a 2023-as évben	25
19. ábra: 2015-2024 A tó teljes területe a Sentinel műhold adataival	26
20. ábra: 2015-2024 a tó teljes területe a Landsat és a Sentinel adatainak átlagolásával	26
21. ábra: A 2023-as év vegetációváltozásai a Sentinel műhold adatai alapján	27
22. ábra: A 2023-as év vegetáció változásai a Sentinel és a Landsat műholdak alapján	27
23. ábra: A Tiszavalki medence alakulása a Sentinel adatai alapján	28
24. ábra: A Poroszlói medence alakulása a Sentinel adatai alapján	28
25. ábra: A Sarudi medence alakulása a Sentinel adatai alapján	28
26. ábra: Az Abádszalóki medence alakulása a Sentinel adatai alapján	29
27. ábra: A Tiszavalki medence alakulása a két műhold átlagolt eredményei alapján	29
28. ábra: A Poroszlói medence alakulása a két műhold átlagolt eredményei alapján	30
29. ábra: A Sarudi medence alakulása a két műhold átlagolt eredményei alapján	30
30. ábra: Az Abádszalóki medence alakulása a két műhold átlagolt eredményei alapján	30
31. ábra: A tó teljes területe 1984-2024-ig a Landsat és a Sentinel adatai alapján	31

1. táblázat: A felhasznált műholdfelvételek listája.....	12
2. táblázat: A meghatározott kategóriák és értékeik.....	19

11. Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve:

SZÖKE MARTON

A Hallgató Neptun kódja:

ZS4ORK

A dolgozat címe:

A TISZTA-TŐ FEJLŐDÉSÉNEK VIZSGÁLATA ÜRFELVÉTELEK SEGÍTSÉ-
FÉVEL

A megjelenés éve:

2024

A konzulens intézetének neve:

KÖRNYEZETTUDOMÁNYI INTÉZET

A konzulens tanszékének a neve:

VIZGAZDA/LKODÁSI ÉS KLÍMAADAPTÁCIÓS TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

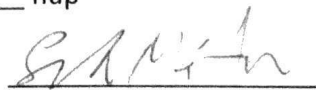
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védelmet követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: 2024 év 11. hó 12. nap


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

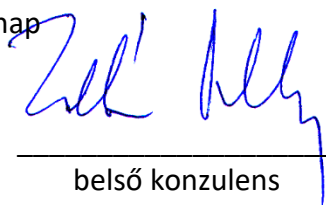
NYILATKOZAT

Szőke Márton (név) (hallgató Neptun azonosítója: ZS4ORK) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / ~~nem javaslom~~².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: ~~igen~~ nem^{*3}

Kelt: Gödöllő, 2024. év __ november __ hó __ 12. __ nap


belső konzulens
Prof. Dr. Vekerdy Zoltán

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.