

SZAKDOLGOZAT

Lévay Boglárka

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Környezettudományi Intézet
Környezetmérnök alapképzési szak

**A Velencei-tó vízfelületének változása aszályos időszakban
műholdas távérzékelési adatok alapján**

Belső konzulens: Halupka Gábor
egyetemi tanársegéd

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** MATE KÖTI, Vízgazdálkodási
és Klímaadaptációs Tanszék

Készítette: Lévay Boglárka

Gödöllő
2025

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	2
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1. Aszály	4
2.1.1. A klímaváltozás hatása a vízkészletekre	4
2.1.2. Az aszályhelyzet Magyarországon	6
2.1.3. A 2022-es aszály	7
2.1.4. Az aszály hatása a sekély tavakra	8
2.2. Vizsgálati terület bemutatása	9
2.2.1. Földrajzi jellemzők	9
2.2.2. Klimatikus viszonyok	10
2.2.3. A terület vízrajza	10
2.2.4. Víztisztaság	11
2.2.5. Élővilág	12
2.2.6. A tó hasznosítása.....	14
2.2.7. A tó vízháztartása és a vízpótlás kérdése	15
2.2.8. A Velencei-tó helyzete a 2022-es aszály idején	17
2.3. Távérzékelés	19
2.3.1. A távérzékelés bemutatása	19
2.3.2. A Landsat műholdak	21
2.3.3. Térinformatika	21
3. Anyagok és módszerek.....	24
3.1. Adatgyűjtés	24
3.2. Adatfeldolgozás és vizsgálati módszerek	26
4. Eredmények és értékelésük	30
4.1. A vízfelszín kiterjedésének időbeli változása	30
4.2. A vízfelszín kiterjedésének térbeli eloszlás-változása.....	35
4.3. A vizsgálati módszer korlátai és előnyei az aszály kimutatásában.....	35
4.4. Az aszály hatásai és ezek jelentősége	37
4.5. Az eredmények összefoglalása	37
5. Következtetések és javaslatok.....	39
6. Összefoglalás.....	42
7. Irodalomjegyzék.....	44
8. Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	50
9. Mellékletek.....	51

1. Bevezetés és célkitűzések

A 21. század egyik legmeghatározóbb és legsúlyosabb globális kihívása a klímaváltozás, amely komplex módon érinti a Föld valamennyi országát, társadalmát és ökológiai rendszerét. Bár már számos nemzetközi egyezmény, ajánlás és szakpolitikai intézkedés született a negatív következmények mérséklése érdekében, a klímaváltozás hatásai egyre gyorsuló ütemben jelentkeznek. (Sziebig, 2022). A klímaváltozásból eredő kihívások közül kiemelt jelentőségű a szélsőséges időjárási jelenségek – a korábban nem tapasztalt nagyságú árvizek és aszályok – gyakoribbá és intenzívebbé válása. Ezek a víz-infrastruktúra hiányosságaival, a vízminőség romlásával és az ökológiai rendszerek sérülékenységének növekedésével együtt világszerte és Magyarországon is egyre gyakrabban vezetnek komoly problémákhoz (Szathmáry, 2020).

A 2022-es év jól példázta, milyen súlyos következményekkel járhatnak a szélsőséges időjárási viszonyok. Az év – elsősorban a nyár – rekordmeleg és különösen aszályos volt, ami Európa csaknem teljes területét sújtotta. Magyarországon is nap, mint nap lehetett hallani a médiában az országszerte jelentkező problémákról.

Az aszály különösen súlyosan érinti a sekély tavakat, amelyek érzékenyek a vízszint, a hőmérséklet és a víz kémiai összetételének változásaira. Hazánk egyik legjelentősebb sekély tava, a Velencei-tó súlyosan érintett volt a 2022-es aszály idején. A tartós csapadékhiány és a forró időjárás következtében a tó vízszintje az év során végig a minimális szabályozási szint alatt maradt. Tovább nehezítette a helyzetet, hogy a tó vízpótlását biztosító rendszer se működött megfelelően (Tóth et al., 2022). Az alacsony vízállás nemcsak ökológiai, hanem gazdasági és turisztikai problémákat is okozott: akadályozta a fürdözést, a horgászatot, a sport- és személyhajózást is. A kritikus helyzetet súlyosbította, hogy a tó ökoszisztémája már a megelőző évben is jelentős stressz alatt állt: 2021 nyarán tömeges halpusztulás alakult ki, amelynek elsődleges oka a magas vízhőmérséklet volt. A jelentések szerint a tó víztömegének több, mint fele eltűnt a mederből két év alatt (Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány, 2021).

A 2022-es rendkívüli aszály és a Velencei-tó drasztikus vízszintcsökkenése rávilágít arra, hogy a klímaváltozás következtében a felszíni vizek sebezhetősége jelentősen nőtt. A tó nemcsak ökológiai szempontból értékes élőhely – számos madár- és halfaj számára biztosít élőhelyet –, hanem kiemelt turisztikai térség is, így állapota gazdasági és társadalmi szempontból egyaránt fontos. A vízborítottság változásának vizsgálata ezért kulcsfontosságú annak megértéséhez, hogy a szélsőséges időjárási események milyen mértékben formálják a

tó környezeti állapotát. Dolgozatomban a Velencei-tó vízfelület-változásait vizsgálom 2021 és 2023 között, hogy megállapíthassam a kritikus 2022-es aszályos év hatását a tó kiterjedésére, és ennek következményeit. A mérés műholdas távérzékelési adatok alapján, vízfelület-index számításával készül. A felvételek térinformatikai szoftver segítségével történő feldolgozása után kapott vízfelszín-nagyság adatok képezik a vizsgált idősort. A dolgozat fő célja ez alapján megállapítani a vízfelületváltozást az adott, aszályos időszakban, továbbá, vizsgálni a távérzékelésen alapuló elemzés alkalmazhatóságát erre a célra. Az eredmények alapján javaslatokat is megfogalmazok a tó vízháztartási problémáinak megoldására.

A célkitűzésem tehát az alábbiak:

1. Kimutatni a Velencei-tó vízfelszín időbeli változásának trendjeit és mértékét, valamint
2. A változások térbeli alakulását az adott időszakban.
3. Továbbá, vizsgálni a műholdas elemzés módszerének alkalmazhatóságát időbeli és térbeli vízfelület-változások mérésére
4. Az eredmények alapján értékelni a 2022-es aszály hatását a tóra nézve.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Aszály

2.1.1. A klímaváltozás hatása a vízkészletekre

A vízkészletekkel való fenntartható gazdálkodás az emberiség fennmaradásának egyik legfontosabb feltétele. A 20. századi népességrobbanáskor egy évszázad alatt a Föld népessége 2 milliárdról 6 milliárdra háromszorozódott, miközben a vízkivételek mennyisége globálisan meghatszorozódott. Az egy főre jutó éves átlagos vízkészlet 1975 óta a megközelítően 15500 m³-ről 5000 m³-re csökkent. Ez a gyors ütemű változás veszélyezteti az emberi és környezeti rendszerek fenntarthatóságát. Mindeközben a Föld édesvízkészlete nem változik a holocén kezdete óta, és ez az összes víznek csupán 2,5 százaléka. Ennek nagyjából 60 százaléka szilárd víz, azaz jég és hó, maradék 90 százaléka felszín alatti, nem megfagyott víz. A maradék körülbelül 42 000 km³ az emberiség teljes könnyen hozzáférhető, felszíni vízkészlete. (Szathmáry, 2020)

Az egyébként is limitált vízkészletek tervezhető, fenntartható kezelését nehezíti, hogy a hidrológiai ciklus változásai miatt nőni fog a szélsőséges időjárási események előfordulásának valószínűsége. Megnö az árvizek gyakorisága és mértéke, és ezzel párhuzamosan az aszályok időtartama és kiterjedése is növekszik. Így térben és időben egyenlőtlenebb lesz a vízkészletek eloszlása, kiszámíthatatlanabbá válnak a viszonyok. A csapadékeloszlás időbeli és térbeli átrendeződése a felszín alatti vizek utánpótlását is jelentősen befolyásolja, így a klímaingadozás és -változás hatása az egész hidrológiai körforgásra kiterjed. Ez a folyamat hosszú távon nem fenntartható, és komoly, vízhez kapcsolódó konfliktusokhoz vezet nemzetközi és regionális szinten egyaránt. (Szathmáry, 2020)

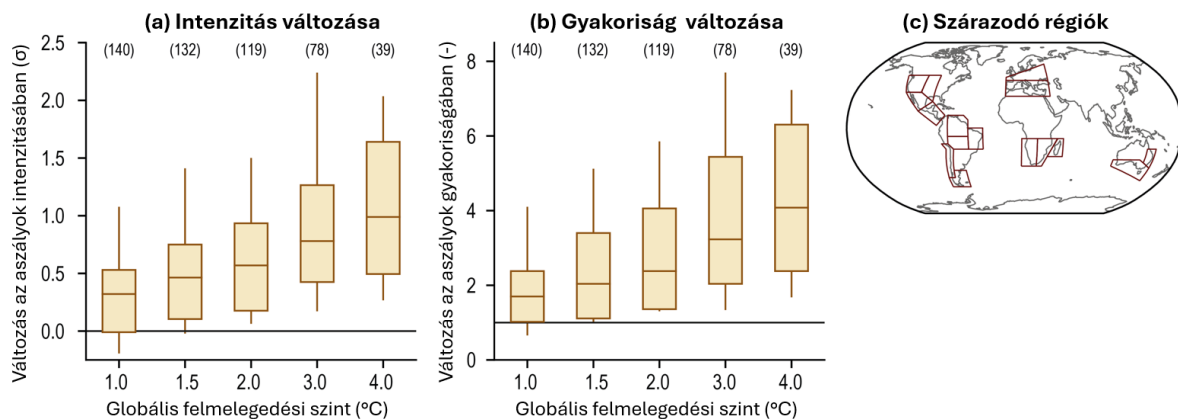
Az aszály kialakulása a légköri vízforgalom több szinten jelentkező zavarainak összefüggő következménye. Horváth és Breuer levezette ezeket a folyamatokat 2023-ban. Globális szinten, a vízforgalom nagy része az óceánok párolgásához kötődik. A La Niña-jelenség során a Csendes-óceán keleti részének hőmérséklete alacsonyabb az átlagosnál, emiatt kisebb a párolgás, és kevesebb nedvesség jut a légkörbe és kerül elszállításra a mérsékelt övezetbe. Ha a nyugati szelek övében kevesebb nedvesség van, akkor a ciklonok gyengébbek lesznek és északabbra húzódnak. Helyüket átveszik a nagy kiterjedésű, száraz levegőt szállító anticiklonok, esetünkben az atlanti térségben található Azori-anticiklon. Az anticiklon leszálló, felhőoszlató légmozgásokat hoz létre, amely hatására nyáron melegebb

lesz a levegő, ami több nedvességet képes magában tartani anélkül, hogy telítődne és megindulna a felhőképződés. A helyi, légköri konvekció során a talajból felszálló nedvesség a levegőbe jut, és normál körülmények között felhőképződés révén csapadékként visszatér a felszínre. Forróság esetén azonban a felszínről a légkörbe jutó vízgőz telítetlen marad, nem kondenzálódik, a légköri áramlások pedig elviszik a telítetlen vízgőzt. Ennek következtében kevesebb lesz a felhő, elmarad a csapadék, a felszín kiszárad, és a még telítetlenebbé váló levegő valósággal kiszívja a nedvességet a talajból és felszíni vizekből. Ha a globális, a regionális és a helyi folyamatok egyszerre eltérnek a szokásostól, akkor olyan szélsőséges időjárási események következhetnek be, mint amilyen a 2022-es rendkívüli szárazság is volt. (Horváth & Breuer, 2023)

A tengervíz hőmérsékleti anomáliája, a La Niña jelenség azonban valószínűleg önmagában nem vezetett volna ennyire szélsőséges időjáráshoz, ha a mérsékelt övezet nem lett volna jóval melegebb az átlagosnál, amely feltehetően a globális klímaváltozásnak köszönhető. (Horváth & Breuer, 2023) Az extrém hőség vagy tartós csapadékhány önmagában is elég a súlyos szárazság kialakulásához, együttes előfordulásuk pedig súlyos aszályhelyzetet idézhet elő. (Szabó et al., 2025) Az aszály az egyik legelterjedtebben elfogadott meghatározás szerint tartós és rendellenes nedvességihiányt jelent, azaz olyan hosszabb – rendszerint hónapokig, vagy akár évekig tartó – időszak, amely során egy adott területen a nedvességellátás tartósan alacsonyabb annak klimatikusan elvárt szintjénél (Tate & Gustard, 2000). Ez a jelenség a talajnedvesség csökkenésével és a vegetáció fokozódó vízstresszével jár, ami a globális ökoszisztémák instabilitásához és a mezőgazdasági terméshozamok csökkenéséhez vezet (Li et al., 2024). Számos régió súlyos aszályokkal és termés kieséssel küzd, és mindkét jelenség gyakorisága és intenzitása növekvőben van (Szathmáry, 2020). Aszályos időszakban a talaj nedvességtartalmának csökkenése miatt a talaj legfelső szemcséinek kötöttsége is gyengül, ami az adott terület elsivatagosodáshoz vezet, ha hosszú időn keresztül fennáll (http12). Az aszály gyakoribbá és intenzívebbé válása hozzájárul a relatív vízhiány kialakulásához is, ami bizonyos területeken akkora mértékű, hogy az gyakran országon belüli vagy nemzetközi konfliktust eredményez. A klímaváltozás előreláthatólag az elkövetkező években növelni fogja ennek valószínűségét hazánkban is (Szalkay & Schlanger, 2004). A hatások befolyásolják a gazdaságot, az emberi egészséget, a biológiai sokféleséget, a természeti környezetet és az egész társadalom működését (Szathmáry, 2020).

Bár az aszályok természetes jelenségek, a klímaváltozás következtében ezek gyakrabban és intenzívebben jelentkezhetnek (Mukherjee et al., 2018). Ennek a változásnak a mértékét jelzi előre az 1. ábra, ami szemlélteti, hogy a földi átlaghőmérséklet emelkedésével miként változna az aszályok intenzitása és gyakorisága. A csapadék-, vízhozam- és aszályindex-adatok történeti feljegyzései azt mutatják, hogy 1950 óta fokozódó szárazodás figyelhető meg a szárazföldek jelentős részén. A modellezett talajnedvesség, aszályindexek, valamint a csapadék és párolgás különbségének elemzése egyaránt azt jelzik, hogy a 21. században növekszik az aszályok kockázata (Dai, 2013).

1. ábra: Előrejelzett változások az (a) aszály intenzitásában és (b) az aszály gyakoriságában az egyes globális felmelegedési szinteknél az 1850–1900-as bázisidőszakhoz viszonyítva a (c) szárazodó régiókban (Forrás: IPCC, 2021)



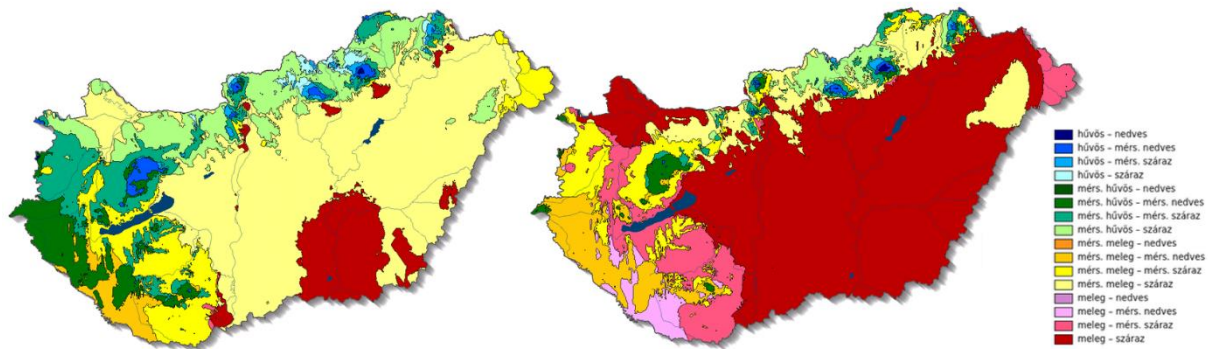
Az aszályérzékeny területek mértéke világszinten is jelentősen nő. Az elmúlt 40 évben mintegy 1,2 millió km²-es növekedés volt kimutatható, ami nagyjából Dél-Afrika területének felel meg. Eközben a stabil vízellátottságú, nedves típusú térségek 3,84 millió km²-rel csökkentek, ami meghaladja India területét. Ez azt mutatja, hogy a szárazodás és az aszálykockázat globálisan egyre súlyosabb. Az aszályok nemcsak gyakoribbak, hanem kiterjedtebbek és hosszabb ideig tartanak, valamint a meteorológiai aszályok egyre nagyobb arányban vezetnek mezőgazdasági aszályokhoz. (Li et al., 2024)

2.1.2. Az aszályhelyzet Magyarországon

Magyarország aszályra hajlamos területen fekszik (Szabó et al., 2025). Az országon belül jelentős területi különbségek láthatók az aszálynak való kitettségben. Összességében elmondható, hogy az ország keleti irányába haladva fokozatosan nő az aszályra való hajlam. A leginkább veszélyeztetett térségek az ország délkeleti részei, különösen az Alföld középső és tiszántúli része.

A 2. ábra Magyarország éghajlati körzeteit mutatja be 1961–1990 között és az 1991–2020 közötti időszakban. Az összehasonlításból látható, hogy az utóbbi évtizedekben a meleg és száraz éghajlati körzetek jelentősen megnöttek, míg a hűvösebb és nedvesebb területek csökkentek, ami az ország éghajlatának felmelegedését és szárazodását jelzi.

2. ábra: Magyarország éghajlati körzetei az 1961-1990 időszakban (balra) és 1991-2020 között (jobbra) (Forrás: [http13](http://13))



Időjárási feljegyzések szerint a korábbi évszázadokban is kialakultak jelentős szárazságok, és az elmúlt évszázad során is gyakran előfordultak akár több éven át tartó aszályos periódusok (Szentés, 2023). A 2022-eshez hasonló rendkívül száraz éveket a történelmi időkben mindig éhínség követte az adott területen (Erdődiné Molnár és Kovács, 2023). A rendszeres csapadékmérések kezdete óta a legsúlyosabb aszály az 1860-as években következett be, amikor még a Fertő-tó is kiszáradt. Magyarország éghajlatának természetes része a száraz időszakok és az aszályok időnkénti megjelenése, ugyanakkor az elmúlt évtizedekben a nyarak hazánkban is jelentősen melegebbé váltak, és a gyakoribb, intenzívebb hőhullámok megnövelik az aszály kialakulásának valószínűségét (Szentés, 2023).

Bár az éves csapadékmennyiség a 20. század eleje óta nem csökkent jelentősen, a térségünkben jelentkező – globálisnál nagyobb mértékű – felmelegedés miatt néhány évtized múlva az ország nagy részén alig lesz aszálymentes év, a súlyos szárazságok gyakorisága pedig akár a mostani többszörösére nőhet. Mindez a termőföldek kimerülését, az élelmiszerforrások csökkenését, az növekvő inflációt és az elsivatagosodás miatt a Magyarország egyes térségeinek elnéptelenedését is okozhatja. (Szabó et al., 2025)

2.1.3. A 2022-es aszály

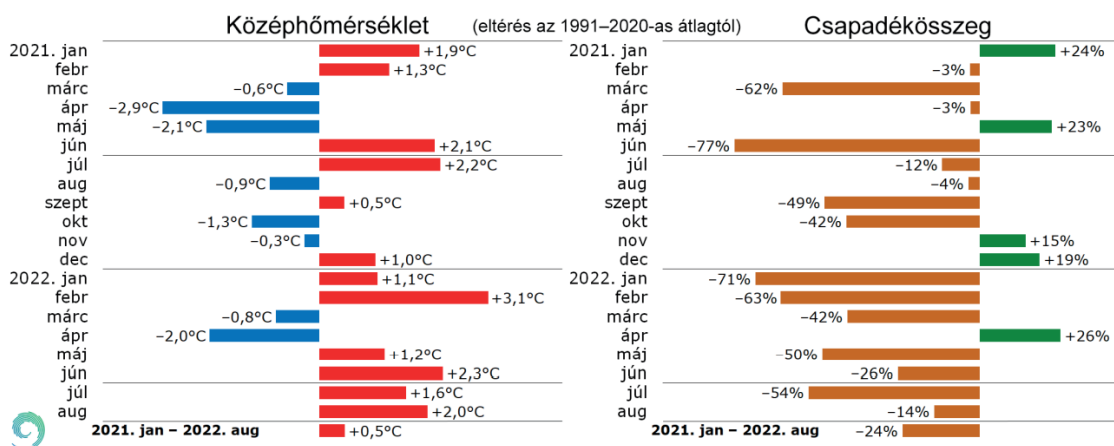
2022-ben Európa területének csaknem kétharmadán volt érvényben aszályriasztás, és ez volt az elmúlt legalább 500 év legsúlyosabb ilyen eseménye (Bíró & Kovács, 2023). 2022-ben Európa nagy részét tartós szárazság sújtotta és számos térségben rekordalacsony vízállást mértek a tavakban és folyókban (Szentés, 2023). Az aszály súlyosságát tovább fokozta, hogy

a június–augusztus időszakban a mérési adatok kezdete óta a legmagasabb átlaghőmérsékletet regisztrálták a kontinensen. A Kárpát-medencében, így Magyarországon is rendkívüli szárazság alakult (Biró & Kovács, 2023).

A 2022-es történelmi aszály előzménye, hogy hazánkban már az előző évben is kevesebb csapadék hullott a szokásosnál. A tartósan száraz időszak 2021 júniusában kezdődött, de már a márciusi csapadék is jelentősen elmaradt az átlagtól. Mivel a nyári csapadékszegény időszakot is aszályos hónapok előzték meg, a talajok mélyebb rétegei a szokásostól eltérően nem töltődtek fel nedvességgel, így a nyári szárazság hatása még súlyosabban jelentkezett. (Erdődiné Molnár & Kovács, 2023; Szentes, 2023)

A legnagyobb szárazság az ország keleti felét, elsősorban az Alföldet érintette, amit a csapadékmérési adatok is igazolnak: a térségben sokfelé 2022 első nyolc hónapja lett a legszárazabb január–augusztus időszak 1901 óta. A Dunától keletre általában a 250 mm-t sem érte el augusztus végéig a csapadék, de volt, ahol 150 mm alatt maradt. Kicsivel több csapadék hullott a Dunántúl nyugati részén és a hegyvidékeken, de csak kevés helyen érte el a 450 mm-t (Szentes, 2023). A középhőmérséklet és csapadékösszeg átlagostól való eltérését 2021. január és 2022. augusztus között a 3. ábra mutatja.

3. ábra: A havi középhőmérséklet és csapadékösszeg országos átlagainak eltérése az 1991-2020-as átlagtól a 2021. január–2022. augusztus időszakban (Forrás: Szentes, 2023)



Az aszály hónapról hónapra fokozódott, és nyárra érte el a tetőpontját. Szeptemberben megérkeztek a nagyobb és tartósabb esők, sokfelé mérséklődött, majd megszűnt az aszály (Szentes, 2023).

2.1.4. Az aszály hatása a sekély tavakra

Az aszály különösen nagy kihívást jelent a sekély tavak számára, mert ezek az élőhelyek érzékenyebbek a vízszint-, hőmérséklet- és kémiai változásokra. Extrém száraz

időszakok során a vízszint csökken, ami növeli az üledék felkavarodását (reszuszpendálódását). Ez kedvezőtlen hatásokat válthat ki, például eutrofizációt, a víz zavarosságának növekedését, cianobaktérium virágzásokat, valamint hatással van a parti és a nyíltvízi zónák kiterjedésére és eloszlására is, ami negatívan befolyásolhatja a biodiverzitást, és az őshonos fajok eltűnéséhez vezethet (Seitz et al., 2020). Kisebb vízmennyiség esetén a víz gyorsabban felmelegszik, nagyobb napi hőingás tapasztalható, valamint a víz hőmérsékleti rétegződése is változhat (Rigotti et al., 2023).

A rétegződési és keveredési viszonyok megváltozása befolyásolhatja a tápanyagok és a fény elérhetőségét, az ülepedési folyamatokat, valamint növelheti az oxigénhiányos állapotok kialakulásának kockázatát (Piccioni et al., 2021). A fokozott párolgással a vízben lévő anyagok, például a tápanyagok (pl. foszfor, nitrogén) és oldott ionok (pl. sók) koncentrálnak, ami szintén elősegítheti az eutrofizációs folyamatokat (Mosley, 2015).

2.2. Vizsgálati terület bemutatása

2.2.1. Földrajzi jellemzők

A Velencei-tó Fejér megyében, a Velencei-medencében található, amely a Velencei-hegység déli lábánál elterülő hosszú, lapos, keskeny árkos süllyedékterület. Tengerszint feletti magassága 104 és 163 m közötti. Felszíne részben enyhén hullámos síkság, részben rossz lefolyású alacsony síkság. A terület felső-pleisztocén kori, a tó azonban csak a holocénban alakult ki, két, egymásra merőleges árkos vetődésben (Dövényi, 2010). A Velencei-tó keletkezése 10-12 ezer évvel ezelőtre tehető, földtörténeti szempontból nagyon fiatalnak számít. A tó vízgyűjtő területét a Vértes délkeleti lejtője, a Mezőföld északi része és a Velencei-hegység alkotja. A Velencei-hegység főként karbon kori gránitból épül fel, de az észak-északkeleti területeken eocén andezit vulkanitok is előfordulnak. A vízgyűjtő északnyugati-északi részén a felszínen és annak közelében mezozoikum eredetű karbonátos kőzetek találhatóak, míg a középső és déli vidékeken elsősorban pannon és negyedidőszaki üledékek jellemzőek (http5).

4. ábra: A Velencei-tó elhelyezkedése (Forrás: saját szerkesztés a http2 alapján)



2.2.2. Klimatikus viszonyok

A Velencei-medence éghajlata száraz és mérsékelt meleg, ami alapvetően meghatározza a Velencei-tó vízháztartási viszonyait. A napsütéses órák száma évente 1960; nyáron 780, télen 180 körül alakul. Az évi középhőmérséklet 10,2-10,4°C, az évi hőmérsékleti maximumok átlaga eléri a 34,0 °C-t, a minimumok -16,0 °C körül alakulnak. Az évi csapadékátlag 550 mm körüli, ami már önmagában is korlátozott vízutánpótlást jelent (Dövényi, 2010). A sekély tó vizének hőmérséklete gyorsan követi a levegő hőmérsékletének változásait, ami kitetté teszi az aszály hatásainak (http1).

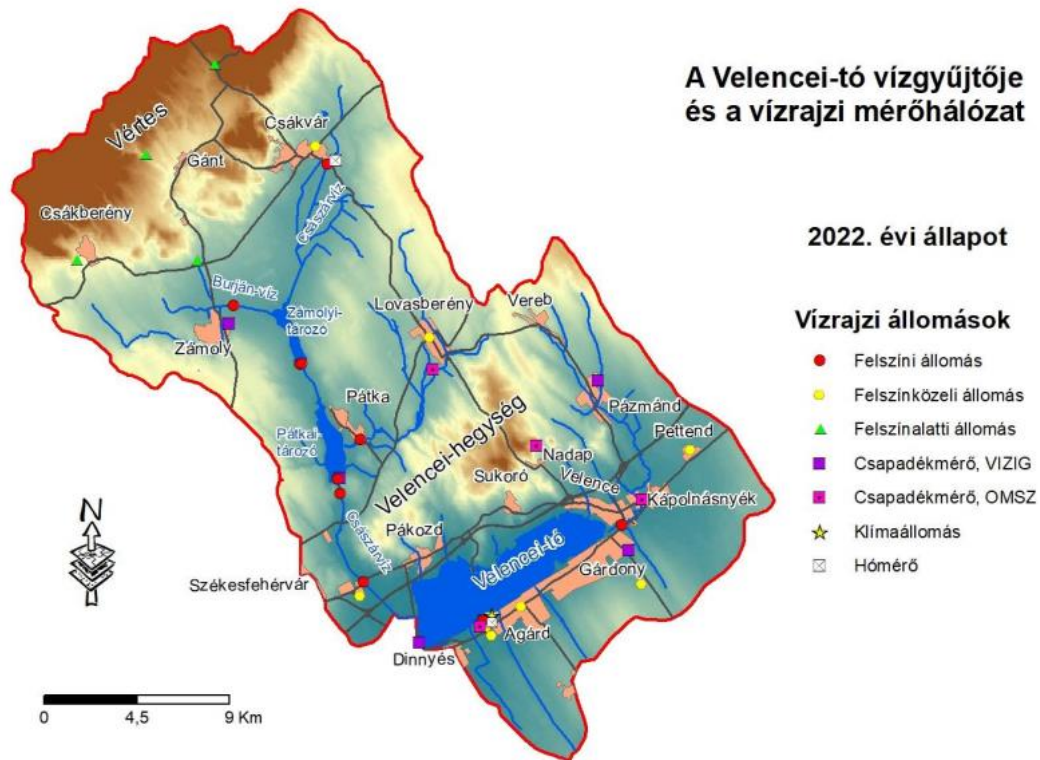
2.2.3. A terület vízrajza

A medence vízrajzának központi eleme a Velencei-tó. Ez Magyarország második legnagyobb – teljes területét tekintve határainkon belül fekvő – természetes tava, habár korábbi területe a lecsapolások és partrendezések miatt mintegy felére csökkent, és mára a nyugati medencerészt korábban kitöltő, a mai tóval csaknem azonos méretű mocsár, a Dinnyési-fertő is erősen összeszűkült. (Dövényi, 2012)

A Velencei-tó hossza 10,8 km, szélessége 1,5-3,3 km között változik, partvonalának teljes hossza 28,5 km. Felszíni területe 170 cm-es vízállásnál 24,9 km², amelynek mintegy egyharmadát nádasok borítják. A tó tengerszint feletti magassága megközelítőleg 100 méter. Sekély, erősen feltöltődött állapotú tó. (Tóth et al., 2022)

A terület száraz, gyenge lefolyású, vízhiányos (Dövényi, 2010). A tó kis vízgyűjtő területtel rendelkezik (Szalkay & Schlanger, 2004), a 602,3 km²-es terület (5. ábra) három fő részre tagolódik. A legnagyobb terület a Császárvíz 383 km² kiterjedésű vízgyűjtője, melynek felső karsztos területe (kb. 75 km²) részben inaktív, azaz a beszivárgás miatt nem, vagy csak részben ad felszíni utánpótlást a vízfolyásnak. A Velencei-tó második legjelentősebb táplálója a Vereb-Pázmándi-vízfolyás 105 km² vízgyűjtő területtel, a fennmaradó rész 114,3 km² nagyságú. A tavat tápláló vizek közül egyedül a Császárvíz állandó vízfolyás, így aszályos időszakokban gyakorlatilag ez az egyetlen folyamatos természetes vízutánpótlási forrás (http5). A tó természetes lefolyását a Dinnyés-Kajtori-csatorna vezeti le, vízállását a dinnyési zsilippel és a befolyó Császárvízzel szabályozzák. A vízgyűjtőn két tározó – a Zámolyi- és a Pátkai-tározó – nyújt vízpótlási lehetőséget (Dövényi, 2010). A terület vízügyi kezelője a Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG).

5. ábra: A Velencei-tó vízgyűjtője (Forrás: KDTVIZIG, 2023)



2.2.4. Vízminőség

A Velencei-tó vize hidrokémiai szempontból oldott sókban gazdag, szikes víz, amely nátrium-magnézium-szulfát-hidrogénkarbonátos ($\text{Na-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$) típusba sorolható (Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány, 2021). A szikes tavak különleges, ritka természeti jelenségek és a biodiverzitás megőrzése szempontjából kiemelt jelentőségű, veszélyeztetett élőhelynek számítanak. Az ilyen élőhelyeken egyedülálló, sótűrő vagy kifejezetten sókedvelő élővilág alakult ki. Az ilyen fajok a hasonló kémiai összetételű tengerparti- vagy brakkvizes élőhelyeken fordulnak elő, de vannak olyanok is, amelyek kifejezetten ehhez az egyedi környezeti feltételrendszerhez alkalmazkodva fejlődtek ki. A magas sótartalom miatt a víz vezetőképessége aránylag magasnak számít. A szikes tavak pH-ja nagyon magas, 10-11 körüli. A legtöbb szikes tó nyár végére szinte teljesen kiszárad, az állandó vízborítottság inkább kivételnek számít. Sekélységük miatt a víz hőmérsékletük gyorsan követi a levegő hőmérsékletének változásait, emiatt nagy a napi és évszakos hőmérsékleti ingadozás. A szél könnyen át tudja mozgatni a sekély vizet, ezért vizük általában zavaros. (Stenger-Kovács 2012)

A szikes tavak vízháztartását elsősorban a csapadék és a párolgás aránya határozza meg, ami fokozottan érzékenyé teszi őket a klímaváltozás hatásaival szemben (Baják et al.,

2024). Természetes felszíni vízutánpótlásuk a csapadék kedvezőtlen eloszlása és alacsony mennyisége miatt gyakran éveken át sem biztosított, amit sok esetben a talajvízszint nagyobb területeken jelentkező süllyedése is kísér. Ilyenkor vízpótlásuk különös odafigyelést igényel, mivel kizárólag a saját vízgyűjtőjükön természetes módon keletkező felszíni vizekből, illetve a magasabban fekvő talajvízből táplálkoznak (Pálincás-Mile, 2023). Más vízgyűjtőről történő vízátvétel az eltérő fizikai-kémiai jellemzők miatt ökológiai károsodást idézhet elő, így nem feltétlenül jelent megfelelő megoldást. A klímaváltozás következtében a vizek hőmérsékletének emelkedése, a fokozódó párolgás, valamint a hirtelen kialakuló, gyors lefolyású árvizek miatt a vízgyűjtőről lemosódó nagyobb mennyiségű szennyeződés a vízminőség romlásához vezethet. (Pálincás-Mile, 2023)

A tó legfőbb vízutánpótlását adó Császár-víz a tó délnyugati részén, a kiterjedt nádasba torkollik, ahol a víz részben megtisztul a mezőgazdasági eredetű szennyeződésektől, és szikes jellegű tóvízzé alakul (Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány, 2021). Mivel a befolyó és a lefolyó (Dinnyés-Kajtori-csatorna) egymás közelében, a tó nyugati végén helyezkedik el, a vízcseréje korlátozott, ezért a keleti medencében mind a sótartalom (kb. 2500 mg/l), mind a szennyezettség magasabb értéket mutat (Dövényi, 2012). A tóra intenzív növényi élet jellemző, nagyobb részben természetes, kisebb részben azonban mesterségesen kialakult eutrofizáció figyelhető meg. A víz jelentős mennyiségű, természetes eredetű oldott szerves anyagot is tartalmaz (Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány, 2021).

2.2.5. Élővilág

A Velencei-tó jelentős természetvédelmi értékkel bír: a természet védelméről szóló, 1996. évi LIII. törvény által ex-lege szikes tóként védett természeti terület, meglehetősen nagy és változatos, de ugyanakkor sérülékeny élővilággal ([http3](#)).

A Velencei-tó térségében a több, mint kétszáz évvel ezelőtt megkezdett lecsapolások előtt kiterjedt vízfelszínek és nádasok mozaikos rendszere volt jellemző. Ma már a tó ökológiai állapotát védő nádasok csak a tó mintegy 40%-át borítják, a keleti medencében az egykor összefüggő állomány mára szinte eltűnt, a vízszint csökkenésével szikesedő nedves és száraz gyepek, valamint homoki és löszgyepek kisebb foltjai alakultak ki (Király et al, 2008). A tó lefolyástalanságból adódó kelet felé fokozódó szikesedés miatt kelet-nyugati irányú vegetációs eltérések figyelhetőek meg. A nyugati részeken a fajszegény, vízben álló nádasokat tőzegképző úszólápok, gyékényesek és rekettyés fűzlápok váltják fel. Különösen értékes élőhelyek az úszólápok, amelyek otthont adnak az Európa-szerte ritka hagymaburok (*Liparis loeselii*) nevű lápi orchidea-faj legnagyobb hazai állományának ([http4](#)), továbbá több ritka

lápi növénynek, például tőzegmoháknak (*Sphagnum* spp.), tőzgapáfránynak (*Thelypteris palustris*) és mocsári nőszőfűnek (*Epipactis palustris*) (Király et al, 2008). Az úszólápok fontos szerepet játszanak a befolyó Császár-patak terhelésének csökkentésében, ezért minőségük megóvása, javítása a természetvédelem fontos feladata (http4). A területen jelenleg 400-600 növényfaj ismert, köztük 20-40 védett (Király et al, 2008).

A mocsarak és vizes élőhelyek nagyszámú állategyedtet és fajt vonzanak, a vizes élőhely kiterjedése és élőhelyi változatossága nagymértékben befolyásolja a biodiverzitás fenntartásának lehetőségét. Az édesvízi kagylók és kétéltűek kiemelt jelentőségű indikátorok, mivel rendkívül érzékenyek a vízmennyiség és vízminőség változásaira, valamint a költő vízimadarak állományát is gyakran összekötik a vizes élőhelyek állapotával (Zedler és Kercher, 2005). A Velencei-tó délnyugati részén elterülő, nagy, összefüggő nádasok szinte egyedülállóan gazdag fészkelőmadár-faunával rendelkeznek. Ez már Herman Ottó korában is ismert volt, a tóhoz számos hazai és külföldi kutató érkezett, hogy megfigyelje a különböző madárfajok életmódját és viselkedését. A gémfélék közül a nagykócsag (*Ardea alba*), az íbiszfélék közül a kanalasgém (*Platalea leucorodia*) rendszeresen fészkel az öreg nádasokban. A tó nagy tisztásainak jellegzetes lakója a búbosvöcsök (*Podiceps cristatus*), míg a sekélyvizeké a kis vöcsök (*Tachybaptus ruficollis*). Rendszeresen költ a nyári lúd (*Anser anser*), októbertől pedig a vetési lúd (*Anser fabalis*) népes csapatai éjszakáznak a tavon. A nádasokban a barna rétihéja (*Circus aeruginosus*) fészkel, ősztől tavaszig pedig gyakori vendég a kékes rétihéja (*Circus cyaneus*). A nádasban, különösen a parti sávban és a nádszegélyeken gyakoriak a nádi énekesmadarak (http4). A tó halfaunája is gazdag, amit Sallai és munkatársai 2018-ban térképezték fel. Összesen 19 halfaj előfordulását mutatták ki, amelyek közül a réticsík (*Misgurnus fossilis*) hazai természetvédelmi oltalom alatt áll, emellett a balin (*Leuciscus aspius*) és a réticsík egyaránt szerepelnek az európai jelentőségű Élőhelyvédelmi Irányelv függelékeiben (Sallai et al., 2018).

A Madártani Intézet javaslataira a terület 1958-ban védett rezervátummá lett nyilvánítva. A Velencei-tavi madárrezervátum természetvédelmi terület kiterjedése 420 hektár, amely teljes egészében fokozottan védett. Emellett szerepel a Ramsari egyezmény által nyilvántartott "Nemzetközi jelentőségű vadvizek jegyzékében" is. (http4)

A térség természetvédelmi kezelője a Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság. Előírja, hogy a természeti értékek fennmaradása érdekében a tó vízszintjének szabályozását a természetvédelmi szempontok figyelembevételével kell végezni. Különösen fontos a

megfelelő mennyiségű és minőségű víz biztosítása az üdülési szezont megelőző tavaszi, kora nyári intenzív vegetációs fejlődés és fészkelés időszakában. (http4)

2.2.6. A tó hasznosítása

A sekély vizű Velencei-tó a nyári időszakban gyorsan felmelegszik és fürdőzésre alkalmas állapotát általában hónapokon keresztül megőrzi. Ezen kedvező adottságának, valamint Budapesthez közeli fekvésének köszönhetően hazánk legkedveltebb nyaralóhelyeinek egyike. (http3)

A Velencei-tó az 1930-as évektől vált ismert üdülőhellyé, amikor megindultak a part- és mederszabályozások, valamint a telekparcellázások. A II. világháború után a fellendülő nyári idegenforgalom egyik legkorábbi célterülete lett. A tóra meglehetősen átgondolatlanul rázúduló idegenforgalmi terhelés súlyos veszélybe sodorta, és számos hátrányos következményével napjainkig kell birkózni. Az 1970-es évektől két évtizeden át tartó rekonstrukció során a tó jelentős iszap- és nádmentesítésen esett át, nyíltvízi felületei bővültek, partvédelmét mesterséges elemekkel alakították ki. Napjainkban a tó közel 25 km²-es területéből 10 km²-t borítanak nádasok, míg a rekultiváció előtt 14,6 km² volt a nádborítottság. A partfalépítési projekt turisztikai és gazdasági oldalról pozitív, de ökológiai szempontból negatív hatást eredményezett, csökkent az öntisztulóképesség, valamint a halak ívására alkalmas terület. További fejlesztés volt a csónakkikötők építése, amely elsősorban horgászturisztikai célból történt, emellett komoly jelentősége lett a vízisportok tekintetében is. (Pálinkás-Mile, 2023; Dövényi, 2012)

A Velencei-tó mai hasznosításában a turizmus tölti be a legmeghatározóbb szerepet, a Balaton és a Tisza-tó után a harmadik legjelentősebb célpontja a vízparti üdülésre vágyóknak (Tóth et al., 2022). A maga tizenhárom strandjával kiemelkedő jelentősége van az üdülő- és strandturizmusnak (OVF, 2021). A tó lehetőséget nyújt aktív vízisportokra, horgászatra, és az utóbbi évtizedben a kerékpáros turizmus is egyre nagyobb hangsúlyt kap. A Velencei-tó sokszínű élővilága vonzerőt jelent a zöldturizmus számára is (Pálinkás-Mile, 2023).

A tó vízgyűjtő területén történő vízhasználatokat a 6. táblázat mutatja be. Ezek túlnyomó része a két vízpótló tározóhoz kapcsolódik. Emellett jelentős szerepet játszik a vizes élőhelyek vízfelhasználása, valamint a halgazdálkodási tevékenység, amely kiterjed mind a tóra, mind a két tározóra. A Zámolyi-tározóban haltermelés folyik, míg a Pátkai-tározó elsősorban horgászati célokat szolgál. Ezenkívül egy-egy öntözési vízkivétel is működik. (Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány, 2021)

1. táblázat: A Velencei-tó vízhasználatai (Forrás: Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány, 2021)

Vízhasználat típusa	Víz mennyiség (m ³ / év)
Vízszintszabályozás (tározók)	2 336 000
Ökológiai, vizes élőhely	552 840
Halgazdálkodás (a tározókon felül)	203 640
Öntözés	43 500
Egyéb, gazdasági, jóléti	2 000

A vízhasználatok közül a szélsőségesen alacsony vízállásra a legérzékenyebb a hajózás, beleértve sporthajózást is, ezt követi a fürdőzés és a horgászat. Érdekes módon, a kisvizek tekintetében a természetvédelem kevésbé kitett. Addig, amíg az alacsony vízszint nem jár a vízminőség romlásával, akár a 70 cm körüli érték sem jelent problémát ökológiai szempontból, sőt a nádas állomány megújulásának kedvező is lehet. Azonban, ha a minimális vízszint elérésekor még további vízszintcsökkenésre lehet számítani az időjárási körülmények miatt, meg kell kezdeni a külső vízgyűjtőről származó vízpótlást. (Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány, 2021)

2.2.7. A tó vízháztartása és a vízpótlás kérdése

Habár Magyarország harmadik legnagyobb tava, a Velencei-tó rendkívül sekély. Legnagyobb mélysége csupán 2,0 m (Tóth et al., 2022), az átlagos mélységéről különböző adatok olvashatók az egyes forrásokban: Dövényi (2010) mindössze 1,1 méteres, Tóth (2023) 1,5 méteres, Pálincás-Mile (2023) 1,6 méteres átlagmélységről ír, míg az Országos Vízügyi Főigazgatóság honlapján 1,9 méteres érték van feltüntetve. Maximális vízállásnál víztérfogata 48 millió m³ (Tóth et al., 2022).

Kutatások alapján valószínű, hogy a Velencei-tó már a kialakulása óta sekély vizű, és vízszintje a hőmérséklet és a csapadék mennyiségétől függően ingadozó (http5). A tó az évszázadok során több alkalommal is közel került a kiszáradáshoz az aszályos időszakokban. A 4. századtól kezdve körülbelül százévente eltűnt belőle szinte az összes víz (Tóth et al., 2022), azonban úgy vélik, hogy teljes kiszáradás az elmúlt két évszázadban nem következett be (http5). Az elmúlt 70 évben öt alkalommal mértek szélsőségesen alacsony vízállást. Vizsgálatok alapján az 1400-as évektől kezdve nyolc nagyobb áradás is lezajlott, melyek közül az utolsó 1963-ban következett be, amikor a gyors hóolvadás +244 cm-es vízállást idézett elő. Vízgazdálkodási és természetvédelmi szempontból az alacsony vízállás önmagában nem feltétlenül jelent problémát. Azonban a vízhasználók és a társadalom

elvárása, hogy a tó medrében mindig elegendő vízmennyiség legyen jelen. A lakosság általában egy-két évig tolerálja a tartósan alacsony vízszinteket, de a második évben már jelentősen felerősödik az elégedetlenség. A tó használóinak érthető és jogos igénye, hogy szélsőségesen alacsony vízállások lehetőség szerint ne következzenek be (Tóth, 2023). Mivel a térségben a turizmusnak kiemelt szerepe van, és az ahhoz kapcsolódó tevékenységek szorosan függenek a stabil vízszinttől, a vízhiány komoly gazdasági problémákhoz is vezethet. Tehát, habár a Velencei-tó nagymértékű vízszintingadozásai alapvetően természeti okokra vezethetők vissza (Tóth et al., 2022), a tóra kiépült rekreációs infrastruktúra miatt törekedni kell azok kiküszöbölésére.

A Velencei-tó vízháztartását alapvetően öt tényező határozza meg. A Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány által létrehozott szakmai munkacsoport 2021-ben vizsgálta ezek trendjeit az 1986 és 2020 közötti időszakban:

1. **Csapadék:** A tóra hulló csapadék téli átlaga stagnál, nyáron enyhe növekedés mutatkozik. A klímamodellek szerint a század végére az éves csapadékösszeg várhatóan alig változik, de az évszakos megoszlás jelentősen átalakul: a tél csapadékosabbá, a nyár pedig jóval szárazabbá válhat. A csapadék éven belüli egyenetlen eloszlása szélsőséges vízállásokat eredményezhet.
2. **Hozzáfolyás:** A tó közvetlen vízgyűjtőjéről érkező vízutánpótlás csökkenő tendenciát mutat. Ennek oka az emelkedő hőmérséklet, a fokozódó aszályhajlam és a szárazodás. Aszályos években a vízgyűjtő jelentős részén csak akkor indul meg a lefolyás a tápláló vízfolyásokban, ha a medencék talajvíztartó rétege már feltöltődött. A lehulló csapadék egyre nagyobb része a talaj nedvességét pótolja, és egyre kisebb arányból képződik felszíni lefolyás. A csökkenő hóborítottság miatt eltűnik a téli vízraktározás lehetősége is.
3. **Párolgás:** Az évi párolgás enyhe növekedést mutat. Klímamodellek szerint 2041-2070 között a referencia-időszakhoz (1981-2010) képest átlagosan 8%-kal emelkedhet az éves párolgás.
4. **Vízátadás:** A Velencei-tó egy összetett vízrendszer része, amelyhez más vízfelületek is tartoznak, és ezek vízellátását ökológiai okokból biztosítani szükséges. Ilyen a Dinnyési Halgazdaság és a kiemelt természetvédelmi területnek számító Dinnyési-Fertő. A tó vízgyűjtőjén rendelkezésre álló vízből ezekre a területekre is juttatnak, ezt nevezzük vízátadásnak. Ennek során 50 ezer m³ vizet (2 tómillimétert) kormányoznak át a két vizes élőhelyre, ami a Velencei-tó nyári félnapi párolgásánál is kevesebb. Ez a tó

szempontjából elhanyagolható mennyiség, ráadásul a vízáradás mértéke az évek során csökkenő tendenciát mutat. ([http6](#))

5. **Vízeresztés:** A tó vizét a Dinnyés-Kajtori-csatornán keresztül lehet levezetni. A vizsgált 35 évből 22-ben nem volt vízeresztés; legutóbb 2016-ban nyitották meg a zsilipet a vízszint csökkentése érdekében, így ez sem jelentős tényező.

Ez alapján látható, hogy a vízjárás befolyásolásában az éghajlati tényezők a legmeghatározóbbak, és ezek alakulása negatív irányba billenti a vízmérleget. A klímaváltozás következtében jelentkező felmelegedés, a fokozott párolgás és a szélsőséges csapadékeloszlás miatt egyre inkább elkerülhetlenné válnak a vízpótló beavatkozások. Míg 1971 és 2000 között a tó vízkészletének utánpótlása 70,6%-ban természetes hozzáfolyás volt, és mesterséges pótlás aránya csak 29,4%-ot tett ki, addig 2000 és 2020 között a tározókból szükséges leeresztés már 37,4%-ra emelkedett. (Tóth et al., 2022)

A tó vízpótlására az 1970-es évek elején épített, a Zámolyi és Pátkai tározókból, a Császárvízvízből, mint levezetőműből és a hozzá tartozó műtárgyakból, monitoring pontokból és a Dinnyési leeresztő zsilipből álló rendszer szolgál (Tóth et al., 2022). A tározók feladata, hogy a nagy- és középvíz idején betározott vízzel a kisvízes időszakban kiszolgálják az ellátási területükön lévő vízhasználókat, illetve ökológiai vízigényeket is kielégítsenek. (OVF, 2021) A két tározó 12 millió m³ víz tárolására alkalmas, ami a Velencei-tó vízmennyisége egyharmadának felel meg (Szalkay & Schlanger, 2004). A rendszer azonban nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket; nem tudja megfelelően ellátni a feladatát, így többek között 2022-ben sem tudott megvalósulni vízpótlás. Ennek okai a feliszapolódásból eredő kapacitáscsökkenés, a tározókban lévő magas szervesanyag tartalmú üledék okozta vízminőség-romlás, a műtárgyak elégtelen állapota, a vízpótlórendszerre rátelepült vízhasználatok (pl. horgászat), valamint a már említett szélsőséges időjárási körülmények. (Dövényi, 2010; Tóth, 2023)

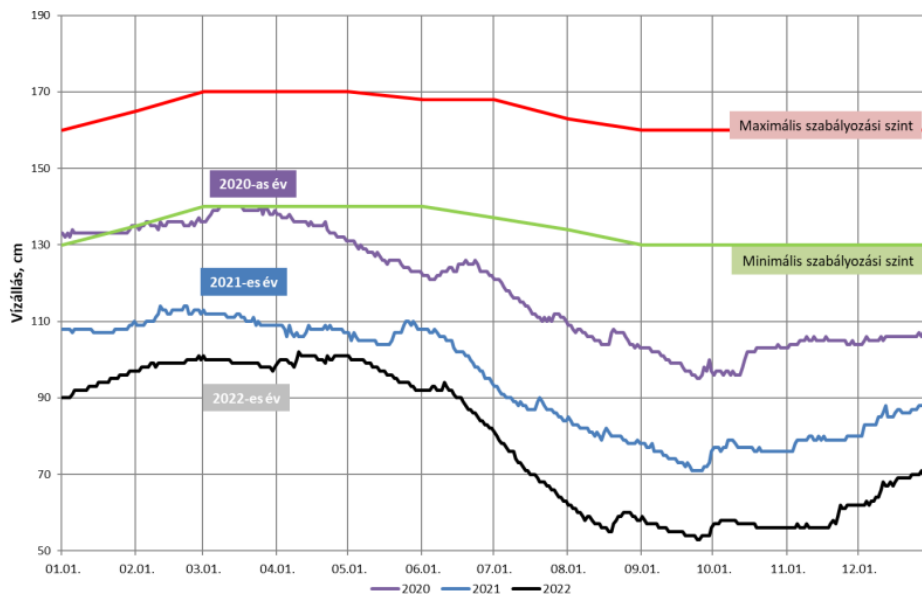
2.2.8. A Velencei-tó helyzete a 2022-es aszály idején

A 2022-es év aszályos időjárása a Velencei-tó vízszintjében és vízminőségében is kedvezőtlen változásokat hozott. Az alacsony vízállás kialakulásának legfőbb okozója a hosszú csapadékhányos és forró időszak volt. Emellett, az is problémát jelentett, hogy a tó vízpótlására épített tározók sem tudták betölteni szerepüket. A Pátkai és Zámolyi tározók vízminősége annyira leromlott a magas klorofill szint miatt, hogy a bennük tárolt víz alkalmatlanná vált a Velencei-tó vízpótlására a kritikus időszakban. Az alacsony vízállás

számos gondot okozott a vízhasználatban. Problémát jelentett többek között a fürdőzésre, a sport- és személyszállítási hajózásra és a horgászatra nézve is. (Tóth et al., 2022) Az aszályos időjárás következtében a Velencei-tó vízgyűjtő területén több vízfolyás is időszakosan kiszáradt: a Burján-víz, a Rovákja-patak, valamint a Vereb-Pázmándi-vízfolyás (KDTVIZIG, 2023).

A Velencei-tó vízszintje a 2022-es évben végig nem érte el a minimális szabályozási szintet, ahogyan a 6. ábrán is látható. Már az év első napján mért 90 cm vízállás is 40 cm-rel a minimális üzemvízszint alatti volt. Az év első két hónapjában lassan emelkedett a vízszint, majd február végétől stagnáló vízállás jellemezte a tavat. A rendkívül aszályos nyári időjárás következtében a Velencei-tó vízszintje drasztikusan lecsökkent, és 2022. szeptember 24-én elérte a valaha mért legalacsonyabb értéket, 53 cm-t, amellyel megdőlt a korábbi, 63 cm-es 1949-ben mért rekord. A szeptemberi csapadék és az októberi hűvösebb idő hatására a vízszint ekkor átmenetileg stagnált. November közepétől kezdve azonban ismét emelkedni kezdett a tó vízállása. Az év végén a vízszint 71 cm volt. (KDTVIZIG, 2023)

6. ábra: A Velencei-tó vízállásai reggel 7 órakor 2020 és 2022 között (Forrás: KDTVIZIG, 2023)



2023-ban némileg javult a helyzet, az átlagosnál valamivel csapadékosabb téli időszaknak köszönhetően, valamint már a pátkai zsilipet is meg lehetett nyitni vízeresztés céljából. A januártól áprilisig tartó vízpótlás során 3,02 millió m³ vizet engedtek a Velencei-tóba. A Zámolyi-tározó év közben teljesen le volt ürítve, tehát csak átfolyó üzemben működött, majd december 1-én került lezárásra és 19-én minimális vízeresztés történt a tározóból. (KDTVIZIG, 2023)

2.3. Távérzékelés

2.3.1. A távérzékelés bemutatása

A műszaki fejlődésnek köszönhetően lehetővé vált, hogy objektumokról vagy földrajzi területekről fizikai érintkezés nélkül, távoli megfigyelési pozícióból gyűjtsünk információkat különféle távérzékelő eszközökkel. A távérzékelés kezdeteit Jensen (2014) alapján a következőkben foglalhatjuk össze. A kezdeti adatgyűjtés főként repülőgépekre szerelt fényképezőgépekkel történt, és ebből nőtt ki a fotogrammetria, azaz a fotográfiai úton történő megbízható mérések tudománya. A technológia fejlődésével – különösen a II. világháború és az űrkorszak kezdetének hatására – a repülőgépeken túl űreszközök és különféle érzékelőplatformok is részt vettek az adatgyűjtésben. Ezek már nem csupán a látható fény tartományban működtek, ezért az 1960-as évek elején bevezették a távérzékelés (remote sensing) kifejezést. Ez a fogalom az elektromágneses spektrum teljes tartományát (ultraibolya, látható, infravörös, mikrohullámú stb.) lefedi, és magában foglalja, hogy a megfigyelés nem érintkezéses módon, hanem a távolból, különféle szenzorokkal történik. Az Amerikai Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság 1988-ban egyesítette a két fogalmat, és definíciójuk szerint a távérzékelés és fotogrammetria a környezetre és fizikai objektumokra vonatkozó megbízható információ megszerzésének művészete, tudománya és technológiája, érintkezésmentes érzékelőrendszerek által rögzített energiajelenségek digitális vagy képi értelmezése révén. (Jensen, 2014)

A távérzékelés a felszín által kibocsátott vagy visszavert elektromágneses sugárzás mérésén alapul. Ennek elmélete Ray 2013-ban írt könyve alapján kerül bemutatásra. A különféle platformokon (pl. műholdak, repülőgépek, drónok) elhelyezett érzékelők meghatározott spektrális tartományokban detektálják ezt a sugárzást, és spektroszkópiai mintázatok alapján következtetnek a felszíni jelenségekre. A folyamat alapja, hogy a földfelszínt megvilágítja egy energiaforrásból származó elektromágneses sugárzás. A természetes eredetű sugárzást érzékelő rendszereket passzív, míg a saját energiát kibocsátó, például radar- vagy lézeralapú rendszereket aktív szenzoroknak nevezzük. A sugárzás kölcsönhatásba lép a vizsgált objektummal, eközben megváltoznak a tulajdonságai. Az érzékelő ezt a módosult sugárzást rögzíti, általában valamely meghatározott spektrális tartományban, és ebből következtetni lehet az adott tárgy vagy felszín fizikai állapotára vagy összetételére.

Az optikai rendszerek főként a napsugárzás visszaverődött vagy kibocsátott komponenseit figyelik, míg a mikrohullámú rendszerek – különösen az aktív radarérzékelők – saját jelet bocsátanak ki, és a felszínről visszaérkező sugárzás alapján alkotnak képet a felszínről, függetlenül a napszaktól vagy az időjárási viszonyoktól. A szenzorok különböző platformokra szerelhetők: kézi műszerekre, repülőgépekre vagy műholdakra. A modern, operatív távérzékelés döntően műholdas rendszereken keresztül valósul meg. (Ray, 2013)

A szenzor működésének minőségét meghatározza a felbontás több típusa. A térbeli felbontás azt mutatja, milyen részletességgel különíthetők el egymástól a felszíni objektumok. A spektrális felbontás azt a sáv szélességet jelenti, amelyben az érzékelő adatot gyűjt, míg a radiometriai felbontás azt mutatja meg, mennyire képes megkülönböztetni a szenzor az apró fényesség- vagy hőmérsékletbeli különbségeket. A temporális felbontás pedig arra vonatkozik, hogy milyen időközönként tér vissza az érzékelő ugyanarra a földrajzi pontra, ezáltal lehetővé téve a változások nyomon követését. A rögzített adatot a szenzor elektronikus formában továbbítja a földi állomásokra, ahol digitális formában tárolják és feldolgozzák. (Ray, 2013)

A hagyományos, terepi alapú mérési módszerekkel összehasonlítva a műholdas távérzékelés jelentős előnyökkel rendelkezik (Ray, 2013), többek között:

- Nagy területek egyidejű, átfogó megfigyelése
- Gyors adatgyűjtési képesség
- Költséghatékonyság, főként nagy léptékű vizsgálatok esetében
- Nagy pontosság, különösen korszerű szenzorok alkalmazásával
- A multispektrális adatforrások különböző sávjai több információt hordoznak ugyanarról a területről
- Időbeli változások nyomon követése
- Megfigyelhetők nehezen megközelíthető vagy veszélyes területek is
- Időjárástól és napszaktól független adatgyűjtés a radaros vagy hő-infravörös rendszerekkel

A Föld-megfigyelésre számos műhold és szenzor nyújt lehetőséget, ezek közül a legszélesebb körben alkalmazott műholdcsaládok a Sentinel és a Landsat. A Sentinel-programot az Európai Űrügynökség (ESA) és az Európai Unió indította a Copernicus kezdeményezés részeként, többek között optikai (Sentinel-2) és radaros (Sentinel-1) szenzorokkal. A Landsat-sorozatot a NASA és az USGS üzemelteti 1972 óta. A legfontosabb távérzékelési adatportálok közé tartozik az Copernicus Open Access Hub, ahol a Sentinel-

adatok érhetőek el ingyenesen, az USGS EarthExplorer és a NASA Earthdata felületek, amelyek a Landsat-adatok és számos egyéb műholdtermék letöltését teszik lehetővé, valamint a felhőalapú Google Earth Engine Sentinel- és Landsat-archívumokkal. (www.copernicus.eu, earthexplorer.usgs.gov, earthdata.nasa.gov)

2.3.2. A Landsat műholdak

A Landsat-program már több, mint 50 éve folyamatosan szolgáltat adatokat a Föld felszínéről. Célja, hogy a műholdfelvételekkel döntéstámogatást nyújtson a természeti erőforrásokkal való gazdálkodás és a környezetpolitika kérdéseiben (<http://www.usgs.gov>). Az 1972-ben indított Landsat 1 volt az első, kifejezetten a felszíni környezeti megfigyelésre fejlesztett digitális űrszenzor. Ezt egy sor, technikailag továbbfejlesztett Landsat-érzékelő követte (Landsat 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 és 9). A legutóbb indított Landsat 9 2021-ben állt pályára, a program folytatásaként pedig megkezdődött a Landsat Next misszió előkészítése, amelyet a 2030-as évek elejére terveznek indítani (Crawford et al., 2023). A 2008-ban bevezetett nyílt és ingyenes adat-hozzáférés ugrásszerűen megnövelte a felhasználást, és lehetővé tette, a nagy területekre kiterjedő, hosszútávú idősoros elemzések széleskörű elterjedését. A Landsat-adatok így mára tudományos alapinfrastruktúrává váltak, különösen a földhasználat, vegetáció, vízgazdálkodás, klímaváltozás és az emberi területhasználat változásainak monitorozásában (Wulder et al., 2022). A Landsat műholdak tervezését és pályára állítását a NASA végzi, míg az üzemeltetésért, valamint az adatok archiválásáért, földi feldolgozásáért és közzétételéért az Egyesült Államok Geológiai Szolgálat (USGS) felel (Crawford et al., 2023). Noha az elmúlt évtizedekben számos más, hasonló műholdrendszer (pl. SPOT, CBERS, Sentinel-2) jelent meg, a Landsat továbbra is etalonnak számít a térbeli és spektrális felbontás, globális lefedettség, radiometriai pontosság és a nyílt adatbázis együttesének köszönhetően (Markham et al., 2017).

2.3.3. Térinformatika

A térbeli információk kezelésével, elemzésével és megjelenítésével a térinformatika tudománya foglalkozik. Sivakumar 2004-es könyvében úgy fogalmaz, hogy a térinformatika lényege különböző tudományágak – például térbeli adatgyűjtés, számítástudomány, kartográfia, adatbázis-kezelés, térbeli modellezés és döntéstámogatás – módszereit integrálni egy egységes rendszerbe. A GIS (Geographic Information System) ennek gyakorlati megvalósulása, amely digitálisan tárolja és elemzi a térbeli adatokat, lehetővé téve azok lekérdezését, vizualizációját és modellezését. A GIS története a 20. század második felében

indult a számítógépes kartográfia megjelenésével, majd az adatbázis-technológia fejlődésével és a személyi számítógépek elterjedésével vált széles körben hozzáférhetővé. A modern rendszerek már képesek nagy mennyiségű adat kezelésére, rétegek kombinálására és komplex térbeli elemzések futtatására. A központi elem az adatbázis, amely a térbeli adatok strukturált tárolását teszi lehetővé, biztosítva, hogy az információk új összefüggésekben értelmezhetők és döntéshozatali folyamatokban felhasználhatók legyenek. A térinformatikai adatbázisok abban különböznek a hagyományos adatbázisoktól, hogy képesek térben és időben kiterjedéssel rendelkező objektumok kezelésére, vagyis az adatok nem pusztán táblázatos formában jelennek meg, hanem koordinátákkal és időbélyegekkel összekapcsolva. Az adatok betöltése után az információ kinyerése elemzési műveletekkel történik. Ezek célja, hogy hatékonyabbá tegyék a döntéshozatalt, csökkentsék az adatismétlődést, integrálják a különböző forrásból származó adatokat és összetett térbeli lekérdezéseket tegyenek lehetővé. A világ számítógépes leképezése általában raszteres és vektoros adatmodelleken keresztül történik. A raszteres modell rácsalapú, a folytonosság jól kezelhető vele, de nagy tárhelyet igényel, míg a vektoros modell pontos geometriai leírást ad és kevesebb helyet foglal, ugyanakkor a folytonosan változó jelenségek leírásában korlátozottabb. A modern térinformatikai rendszerek mindkét modellt képesek kezelni, rétegek formájában szervezve az adatokat, lehetővé téve azok kombinálását és új információk előállítását különböző elemzési célokhoz. (Sivakumar et al., 2004)

A térinformatikai szoftverek két fő kategóriába sorolhatók: nyílt forráskódú és kereskedelmi rendszerek. Egy összehasonlító cikk ([http14](http://14)) alapján a legjobb értékelésű ingyenes GIS-ek közé tartozik a QGIS, a Terra Incognita és a Google Earth Pro. A kereskedelmi szoftverek közül az ArcGIS a legszélesebb körben alkalmazott rendszer, és ide tartozik még például a Global Mapper és a MapInfo Pro.

A távérzékelés a térinformatikával kombinálva széles körben alkalmazható. Előszeretettel használják a földhasználat és felszínborítás térképezésében különböző felszínborítási kategóriák – például szántók, erdők, városi területek vagy vizes élőhelyek – elkülönítésére. A geológiai és talajtani térképezésben a felszíni formák, kőzettípusok és talajnedvesség-változások felismerésében segít. A mezőgazdaságban a vegetáció állapotának, termésbecslésnek és stresszfaktorok (aszály, kártevők) korai észlelésének eszköze lehet, míg az erdőgazdálkodásban az erdőborítás változásainak és egészségi állapotának követésére használják. Városi és regionális tervezésben a beépítettség növekedésének, az infrastruktúra-terjeszkedésnek és a zöldfelületek átalakulásának elemzésére szolgál. Fontos alkalmazási

terület továbbá a környezeti állapotfelmérés és hatásvizsgálat, valamint a katasztrófahelyzetek értékelése, például árvizek, erdőtüzek vagy földrengések utáni gyors állapotfelmérés. (Lillesand et al., 2015)

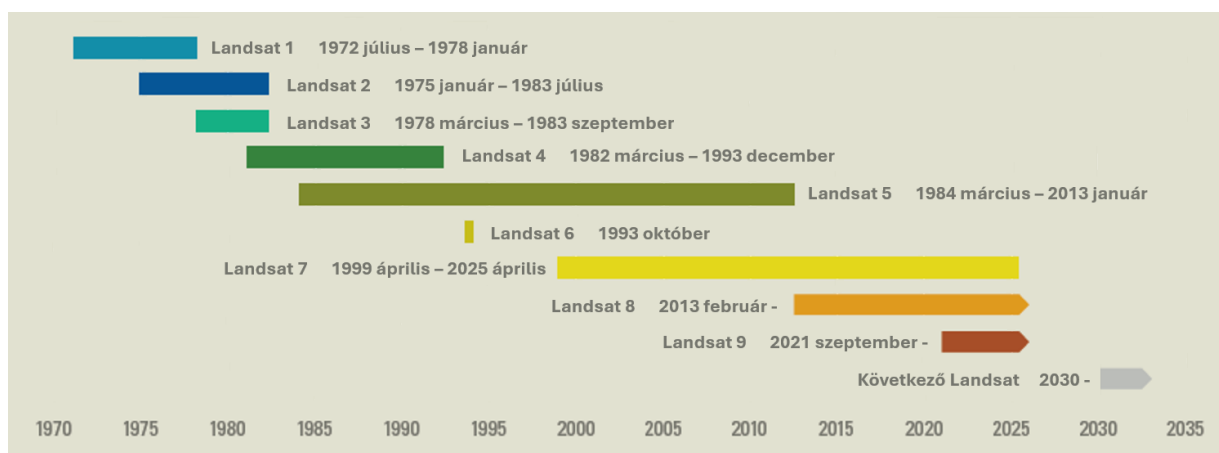
A távérzékelési adatok elemzése kulcsszerepet játszik a vízkészletek monitorozásában, a vízfelszín kiterjedésének meghatározásában, illetve a hó- és jégtakaró tér- és időbeli változásainak nyomon követésében, valamint segít a természetvédelmi szempontból kiemelt jelentőségű vízzel borított vagy átmedvesedett felszínek feltérképezésében is. Radaros magasságmérők (altiméterek) vagy lidar rendszerek alkalmazásával a vízszint alakulása is mérhetővé válik. A felszíni kiterjedés és a vízszint adatainak együttes elemzése lehetőséget teremt a víztérfogat-változások számszerű becslésére, ami alkalmazható a vízgazdálkodásban, a klímaváltozás hatásainak értékelésében és az ökológiai állapot monitoringjában. Ha hosszabb időtávon vizsgáljuk a vízfelszín nagyságát vagy a vízállás változását, pontos képet kaphatunk arról, hogyan reagálnak ezek a víztestek olyan környezeti hatásokra, mint az aszályos időszakok. (Lillesand et al., 2015)

3. Anyagok és módszerek

3.1. Adatgyűjtés

A vizsgálathoz a Landsat-programból származó műholdfelvételeket használtam, mert ezek az adatok globálisan és ingyenesen hozzáférhetők, valamint hosszú időtávon biztosítanak adatokat, ami lehetővé teszi a változások nyomonkövetését. A 7. ábrán láthatók az egyes Landsat műhold küldetések kezdő és végpontjai. Ezen látszik, hogy a dolgozat szempontjából a Landsat 7, 8 és 9 által szolgáltatott adatok relevánsak.

7. ábra: A Landsat műholdak üzemelési időtartamai (*Forrás: [http8](#), angolról fordítva*)



Mindhárom, általam használt műhold 705 km-es napszinkron pályán működik, $\sim 98,2^\circ$ -os inklinációval. Globális lefedési ciklusuk 16 nap, pásztaszélességük 185 km (USGS, 2019; USGS, 2022; USGS, 2024). Viszont különböző érzékelők találhatók rajtuk, valamint egyéb fejlesztéseket is eszközöltek a generációk között.

Az 1999 áprilisában indult Landsat 7 műhold fedélzetén működő ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) érzékelő nyolc sávot tartalmaz (2. táblázat): hét multispektrális sávot 30 méteres felbontással és egy 15 méteres pankromatikus sávval, valamint egy termális infravörös sávot, amelynek felbontása 60 méter (USGS, 2024).

A Landsat 8 2013 februárjában állt pályájára, és már két fő érzékelő található rajta. Az OLI (Operational Land Imager) a látható, közeli és rövidhullámú infravörös tartományban működik, 9 sávot rögzít, 30 méteres térbeli felbontással, valamint egy 15 méteres pankromatikus sávval. A TIRS (Thermal Infrared Sensor) két termális infravörös sávot detektál, amelyek 100 méteres felbontással rendelkeznek. Az újítások közé tartozik továbbá az új kék és cirrus (magas felhőzeti) sávok alkalmazása, amelyek segítik az atmoszferikus korrekciót és felhődetektálást. (Roy et al., 2014; USGS, 2019)

A Landsat 9 műhold 2021 szeptemberében kezdte meg küldetését. Nagymértékben követi a Landsat 8 felépítését, azonban két érzékelője, az OLI-2 és TIRS-2 szenzorok fejlettebb radiometriai, kalibrációs és adatátviteli tulajdonságokkal rendelkeznek. Egyéb fejlesztések többek között a megnövelt fedélzeti adatrögzítő kapacitás, a javított hűtőrendszer, valamint a nagyobb geolokációs pontosság. (USGS, 2022)

2. táblázat: A Landsat 7 és 8 sávjai (*Forrás: Roy et al., 2014, angolról fordítva*)

Landsat 7			Landsat 8		
Sáv elnevezése	Felbontás	Hullámhossz (µm)	Sáv	Felbontás	Hullámhossz (µm)
			Band 1 — kék	30 m	0.43–0.45
Band 1 — kék	30 m	0.45–0.52	Band 2 — kék	30 m	0.45–0.51
Band 2 — zöld	30 m	0.52–0.60	Band 3 — zöld	30 m	0.53–0.59
Band 3 — vörös	30 m	0.63–0.69	Band 4 — vörös	30 m	0.64–0.67
Band 4 — közeli infravörös (NIR)	30 m	0.77–0.90	Band 5 — közeli infravörös (NIR)	30 m	0.85–0.88
Band 5 — rövidhullámú infravörös (SWIR)	30 m	1.55–1.75	Band 6 — rövidhullámú infravörös (SWIR)	30 m	1.57–1.65
Band 7 — rövidhullámú infravörös (SWIR)	30 m	2.09–2.35	Band 7 — rövidhullámú infravörös (SWIR)	30 m	2.11–2.29
Band 8 — pankromatikus	15 m	0.52–0.90	Band 8 — pankromatikus	15 m	0.50–0.68
			Band 9 — cirrus (felhősáv)	30 m	1.36–1.38
Band 61 — termális infravörös (TIR)	60 m	10.40–12.50	Band 10 — termális infravörös (TIR)	100 m	10.60–11.19
Band 62 — termális infravörös (TIR)	60 m	10.40–12.50	Band 11 — termális infravörös (TIR)	100 m	11.50–12.51

A műholdfelvételeket már előre feldolgozzák és ennek mértéke alapján három szint különíthető el. Az első szint (Level-1) nyers, kalibrált multispektrális adatokat jelent, amelyek geometriailag korrigáltak, de atmoszférikus hatások még nem lettek kiküszöbölve. A második szintű (Level-2) felvételek már atmoszférikus korrekcióval előállított értékeket tartalmaznak, amelyekben a légköri hatások (például aeroszol, vízgőz) hatása jelentősen csökkentett. A harmadik szinten (Level-3) olyan előfeldolgozott, közvetlenül használható, komplex adatok vannak, mint például hóborítottság, vagy leégett területek. A vizsgálatom szempontjából a Level-2 feldolgozottság megfelelő volt, és ennek köszönhetően nem volt szükség további előfeldolgozásra. ([http9](#), [http10](#))

A mérések alapjául szolgáló műholdfotókat a USGS által létrehozott Earth Explorer weboldalról (earthexplorer.usgs.gov) töltöttem le, ingyenes regisztráció után. A kereséshez először kijelöltem a térképen a Velencei-tó környékét, mint vizsgálati területet. Ez a terület a

Landsat műholdak felvételeinek globális referencia rendszere szerinti 188/027-es csempébe tartozik. (A szám az adott pályaszakaszra és sorra utal.) Ezután az időintervallumot adtam meg. A 2022-es aszály hatásának kimutatásához egy olyan időszak kijelölésére volt szükség, amely tartalmazza az extrém év adatait, valamint az azt megelőző, és az azt követő állapotot is tükrözi, hogy kontextusba lehessen helyezni az eredményeket. Így a vizsgált időszaknak a 2021 januárjától 2023 decemberéig tartó periódust választottam és mivel várható, hogy egy éven belül az egyes évszakokban és hónapokban is változik a vízfelület nagysága, a szezonális hatások figyelembevételére érdekében havi adatokkal dolgoztam. Beállítottam az adott hónapot, és kiválasztottam a Level-2 feldolgozottsági szintet, majd a Landsat 7, 8 és 9 műholdakat. A keresés eredményeként kapott műholdfelvételeket átnéztem, hogy a felhőborítottság lehetővé teszi-e a felhasználást és kiválasztottam a legmegfelelőbbet, majd letöltöttem a teljes fájlkészletet. A felhasznált műholdképek a 1. mellékletben találhatóak.

3.2. Adatfeldolgozás és vizsgálati módszerek

A vízfelületek elemzésére a legelterjedtebb módszer az NDWI (Normalizált Különbségi Vízüindex) kiszámítása. Az index a távérzékelt képek zöld és közeli infravörös (NIR) sávjait felhasználva hatékonyan kiemeli a vízfelszíneket (Kshetri, 2018). Ennek magyarázata, hogy a vízfelületek alacsony reflektanciával rendelkeznek az elektromágneses spektrum látható tartományán kívül, a közeli infravörös (NIR) sávban és azon túl nem vernek vissza jelentősebb sugárzást, csak a látható (különösen a zöld és a kék) tartományban. Ezért a zöld és a NIR értékek arányából meg lehet állapítani a felszínborítás jellegét. Az NDWI indexet McFeeters (1996) definíciójára alapozva az alábbi képlettel lehet kiszámolni:

$$NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}}, \text{ ahol:} \quad (1)$$

ρ_{Green} a műholdfelvétel zöld sávjának reflektanciája,

ρ_{NIR} a közeli infravörös sáv reflektanciája.

Az így megkapott index -1-től +1-ig terjedő értéket vehet fel. Ahol az NDWI pozitív, ott nagy valószínűséggel vízfelszín található, ahol negatív, ott másféle a felszínborítás, például növényzet, talaj vagy mesterséges felület (Xu, 2006).

Az felvételek feldolgozásához a QGIS szoftvert választottam, mert ez egy széles körben használt, ingyenes, nyílt forráskódú szoftver, amely lehetővé teszi vektoros és raszteres téradatak megjelenítését és elemzését (Rosas-Chavoya, 2022), valamint ennek használatában már van korábbi tapasztalatom. A QGIS-be először betöltöttem az NDWI kiszámításához szükséges zöld és közeli infravörös sávok fájljait. Ez a Landsat 8 és 9

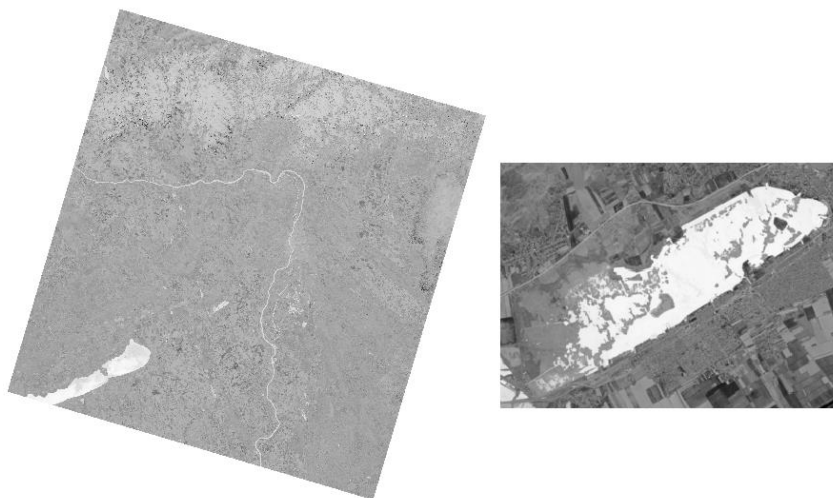
esetében a Band 3 és Band 5, a Landsat 7 -nél a Band 2 és Band 4 (10. ábra). A hozzáadás módja a következő: *Réteg menü* → *Réteg hozzáadása* → *Raszterréteg hozzáadása*.

A *Raszter menü* → *Raszterkalkulátor* ablakban következett a számítás elvégzése. Az NDWI képlete behelyettesítve $NDWI = (Band\ 3 - Band\ 5) / (Band\ 3 + Band\ 5)$. A Landsat 7 esetében is ugyanúgy kell eljárni, csak a Band 2 és Band 4 sávokkal. A képlet alapján az alábbi kifejezés került a *Raszter kalkulátor kifejezés* mezőbe:

```
("LC08_L2SP_188027_20210218_20210302_02_T1_SR_B3@1"-  
"LC08_L2SP_188027_20210218_20210302_02_T1_SR_B5@1") /  
("LC08_L2SP_188027_20210218_20210302_02_T1_SR_B3@1" +  
"LC08_L2SP_188027_20210218_20210302_02_T1_SR_B5@1")
```

Az eredményül kapott NDWI indexeket megjelenítő térképet mentettem egy új raszter rétegre. Ezután készítettem egy "sablon", hogy körbevégyam a műholdképeken a Velencei-tavat. Ehhez a *Réteg menü* → *Réteg létrehozása* → *Új shape fájl réteg...* pontban létrehoztam egy új réteget, majd a bekapcsoltam a szerkesztést és körülhatároltam a vizsgálati területet (*Új felületelem hozzáadása*). Téglalap formát választottam, amit egyszerűsége miatt gyakran használnak ilyen esetekben, és ezt lehetővé tette, hogy nincs a tó közelében más zavaró vízfelület. (Sarkpontjainak koordinátái EOV vetületben: 313 889,16 K; 5 234 722,35 É és 323 372,88 K; 5 227 938,21 É) A *Raszter menü* → *Kivonat* → *Raszter vágása maszkoló réteggel* ablakot megnyitva megadtam input rétegnek az NDWI réteget, maszkolónak pedig a sablont tartalmazó réteget, és elmentettem egy új fájlba, a vágás eredményét (8. ábra).

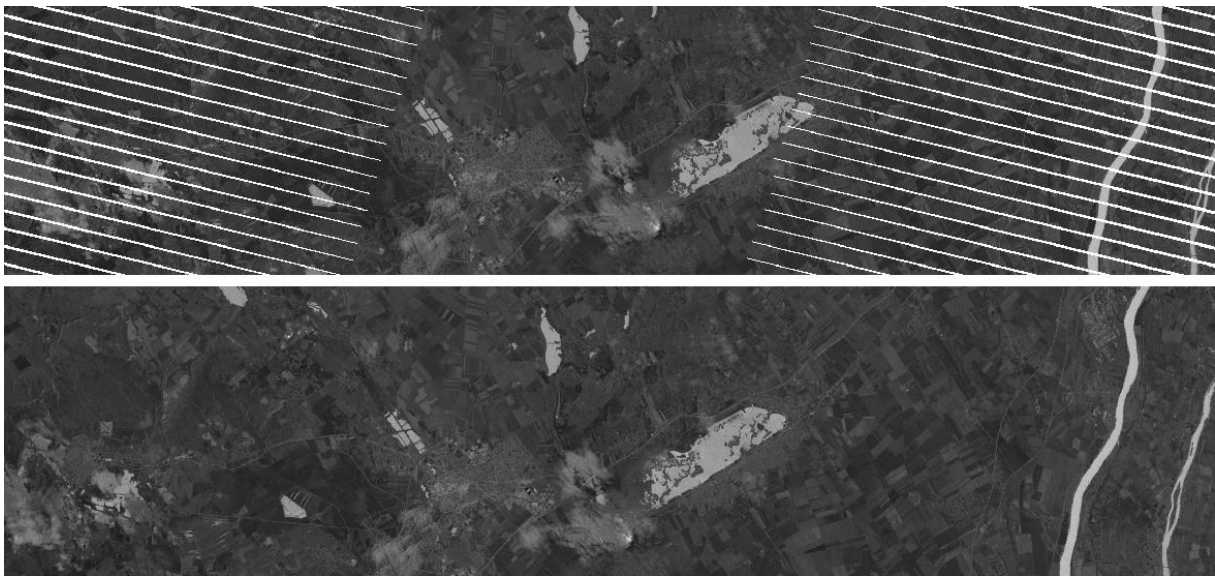
8. ábra: Műholdkép vágás előtt és után (*Forrás: saját szerkesztés, képernyőképek*)



A Landsat 7 műholdról származó felvételek esetében ezen a ponton be kellett iktatni egy extra lépést egy szenzorhiba miatt. 2003. május 31-én meghibásodott a Scan Line

Corrector (SLC) egység, aminek feladata a szenzor letapogatási vonalainak geometriai korrekciója. Ezért a központi sávon kívül eső területeken 5-22%-os adatvesztés jelent meg, ami a képeken ferde csíkokban hiányzó pixelekként jelenik meg minden 2003 utáni Landsat 7 felvételen (http11) (9. ábra). A vizsgálathoz ezért szükségessé vált az adathiányos pixelek pótlása, hogy folytonos legyen a raszter és össze lehessen hasonlítani a többi adattal. A javítás alapja, hogy a hiányzó pixeleket a környező meglévő képpontok alapján interpolációval pótoljuk. (*Feldolgozás eszköztár* → *GDAL* → *Raszteranalízis* → *Kitöltés "nincs adat"-tal*)

9. ábra: Adathiányos (fent) és kitöltött (lent) Landsat 7 felvétel (*Forrás: saját szerkesztés, képernyőképek*)



Az elkészült térképen minden képponthez tartozik egy -1 és +1 közötti NDWI-érték, de ezek közül a méréshez el kell különíteni a csak vizet jelző pixeleket. A vízfelületek indexe a korábban leírtak alapján mindig pozitív érték, ezért a *Raszter menü* → *Raszterkalkulátor* ablakban beállítottam, hogy az NDWI legyen nagyobb, mint 0. Így egy olyan térképet kaptam, amin egyértelműen elkülönül a fehér színnel jelzett víz a fekete jelölésű szárazföldtől és növényzettől (10. ábra).

A teljes vízfelszint az egyes különálló vízfelületek összegéből kaphatjuk meg, valamint ezek vizsgálatával az is megállapítható, hogy a tó mely részén történt a legnagyobb, számszerű változás. Ehhez először a raszterrétegből egy vektorosat hoztam létre a következő módon: *Raszter* → *Konverzió* → *Felületkészítés (raszter → vektor)*. A réteg attribútumtáblájának megnyitása után az *Elemek kiválasztása kifejezéssel* ablakba beírtam a következőt: *"DN" = 1*, így kijelöltem a vízfelületeket. Ezeket elmentettem egy új shape fájlba (*jobb klikk a rétegen* → *Exportálás* → *Kiválasztott elemek mentése másként*).

10. ábra: A vízfelületek elkülönítése: balra a 0 küszöbérték feletti pixeleket fehér színnel megjelenítő bináris raszter, középen a vektoros konverzió során létrehozott körvonalak, jobbra a csak vízfelületeket tartalmazó shape fájl (Forrás: saját szerkesztés, képernyőképek)



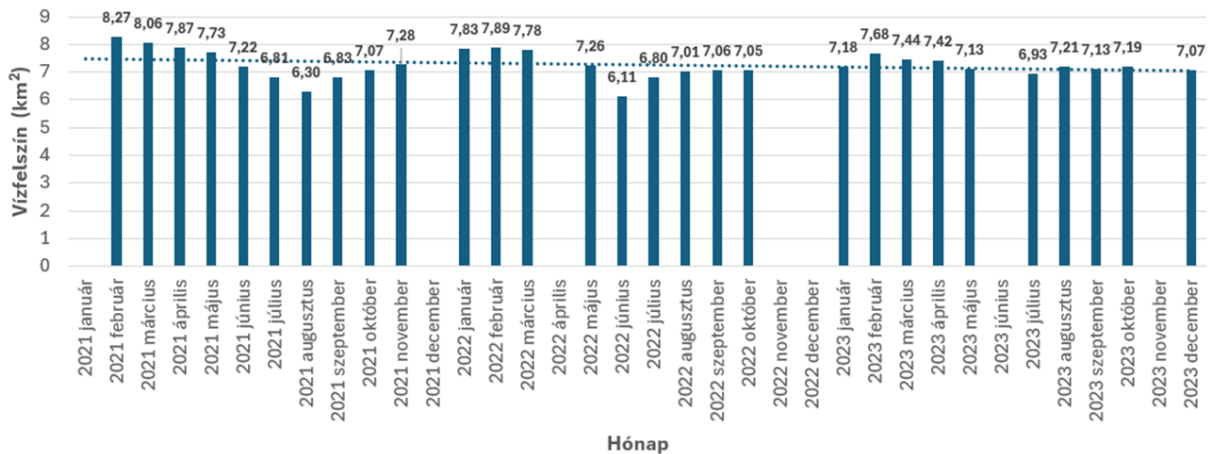
Ezután megnyitottam az új – már csak a vizet tartalmazó – réteg attribútumtábláját, majd a *Mezőkalkulátort*. Itt létrehoztam egy új oszlopot, amelybe az egyes vízfelületek területei kerültek m²-ben, az *\$area* kifejezéssel. Végül ezt a táblázatot mentettem egy Excel-fájlba (*jobb klikk a rétegen* → *Exportálás* → *Elemek mentése másként*). Ebben a SZUM függvénnyel összeadtam a területeket és így megkaptam a tó teljes vízfelszínét az adott hónapban. Ezt a folyamatot megismételtem minden hónapra és így előállt az idősor, amely a következő fejezetben kerül elemzésre.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. A vízfelszín kiterjedésének időbeli változása

A harminchat vizsgált hónapból hét esetében nem volt felhasználható műholdkép, mert a Velencei-tó területét az adott hónapban ezeken a felvételeken – részben vagy teljesen – felhő borította. A hiányzó adatok száma és eloszlása alapján azonban a felvételsorozat elfogadható módon reprezentálja a vizsgálati időszakot. Az eredményeket részletes, táblázatos formában a 2. melléklet tartalmazza, a 11. ábra grafikusán szemlélteti a Velencei-tó vízfelületének NDWI indexek alapján számított nagyságait. A tó kiterjedését a 2021. január és 2023. december közötti időszakban csökkenés jellemezte, amit a trendvonal jól mutat. Emellett ingadozások figyelhetők meg, amelyeket elsősorban a szezonális folyamatok, valamint a 2022-es év rendkívül száraz és meleg időjárási viszonyai befolyásoltak. A vizsgált időszakban a kiterjedés minimuma 2022. júniusban volt mérhető (6,11 km²), maximuma 2021. februárban (8,27 km²), az átlagos érték 7,26 km², a szórás pedig 0,49 km² volt. A mért minimális kiterjedés a kezdeti, maximális felszínnek 73,96 %-a, azaz 26,4 %-os a csökkenés.

11. ábra: A Velencei-tó vízfelszínének kiterjedése a vizsgált időszakban Landsat műholdfelvételek alapján (*Forrás: saját szerkesztés*)



A 3. táblázat a 2021 és 2023 közötti időszakban megfigyelt vízfelület nagyságát (km²-ben) és annak százalékos változását mutatja hónapról hónapra. 100%-nak a kiindulási 2021 februári értéket vettem, ami egyben a maximális kiterjedést is jelenti.

3. táblázat: A Velencei-tó vízfelületének kiterjedése 2021 és 2023 között és ennek a 2021 februári értékhez viszonyított százalékos változása (*Forrás: saját szerkesztés*)

Év	Hónap	Vízfelszín (km ²)	Százalékos változás
2021	január	n.a.	
	február	8,27	100,00%
	március	8,06	97,50%
	április	7,87	95,18%
	május	7,73	93,55%
	június	7,22	87,32%
	július	6,81	82,37%
	augusztus	6,30	76,21%
	szeptember	6,83	82,62%
	október	7,07	85,59%
	november	7,28	88,06%
	december	n.a.	n.a.
2022	január	7,83	94,74%
	február	7,89	95,47%
	március	7,78	94,15%
	április	n.a.	n.a.
	május	7,26	87,83%
	június	6,11	73,96%
	július	6,80	82,28%
	augusztus	7,01	84,79%
	szeptember	7,06	85,42%
	október	7,05	85,35%
	november	n.a.	n.a.
	december	n.a.	n.a.
2023	január	7,18	86,87%
	február	7,68	92,91%
	március	7,44	90,02%
	április	7,42	89,72%
	május	7,13	86,28%
	június	n.a.	n.a.
	július	6,93	83,79%
	augusztus	7,21	87,18%
	szeptember	7,13	86,23%
	október	7,19	87,04%
	november	n.a.	n.a.
	december	7,07	85,55%

A Velencei-tó vízfelszínének szezonális ingadozásai jól kirajzolódnak, ha az egyes hónapok adatait egymás mellé téve hasonlítjuk össze minden évben (4. táblázat, 12. ábra). A késő-téli-tavaszi időszakban nagyobb vízfelület jellemző, mindhárom vizsgált évben

februárban volt a legnagyobb. Ezt követően, a nyári hónapokban csökkenés figyelhető meg, majd ősztől a vízfelület lassú növekedése tapasztalható.

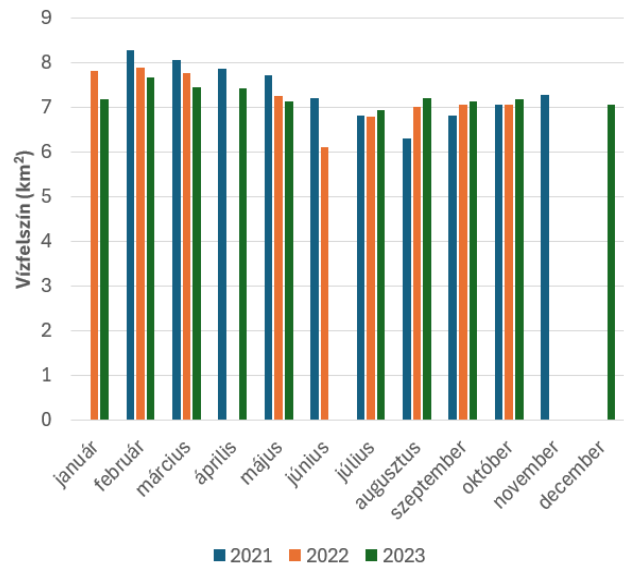
4. táblázat: A Velencei-tó vízfelszínének kiterjedése a vizsgált időszakban Landsat műholdfelvételek alapján

(Forrás: saját szerkesztés)

Hónap	Vízfelület (km ²)		
	2021	2022	2023
január	n.a.	7,83	7,18
február	8,27	7,89	7,68
március	8,06	7,78	7,44
április	7,87	n.a.	7,42
május	7,73	7,26	7,13
június	7,22	6,11	n.a.
július	6,81	6,8	6,93
augusztus	6,3	7,01	7,21
szeptember	6,83	7,06	7,13
október	7,07	7,05	7,19
november	7,28	n.a.	n.a.
december	n.a.	n.a.	7,07

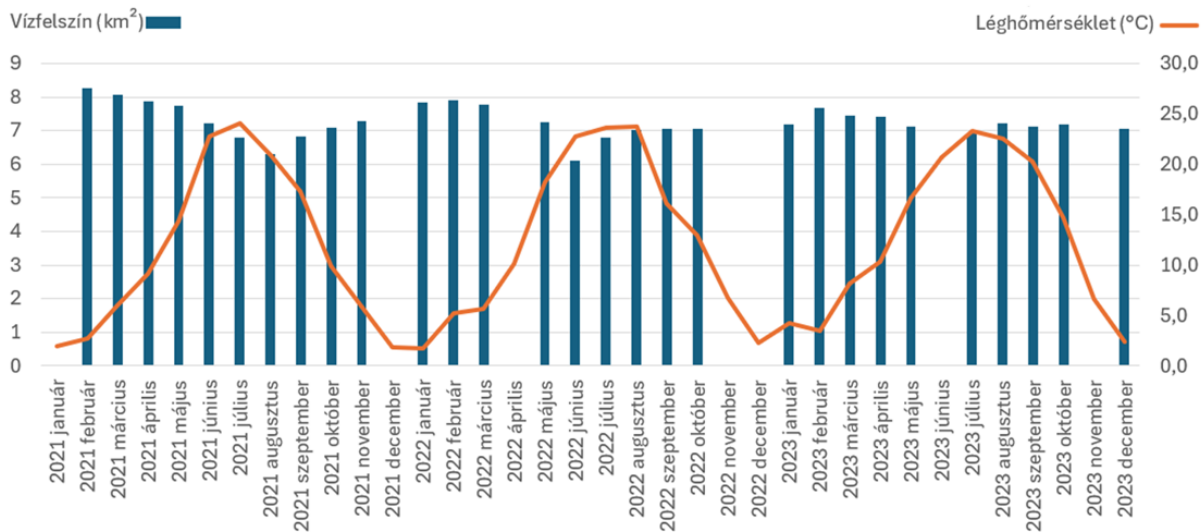
12. ábra: A Velencei-tó vízfelszínének kiterjedése a vizsgált időszakban Landsat műholdfelvételek alapján

(Forrás: saját szerkesztés)

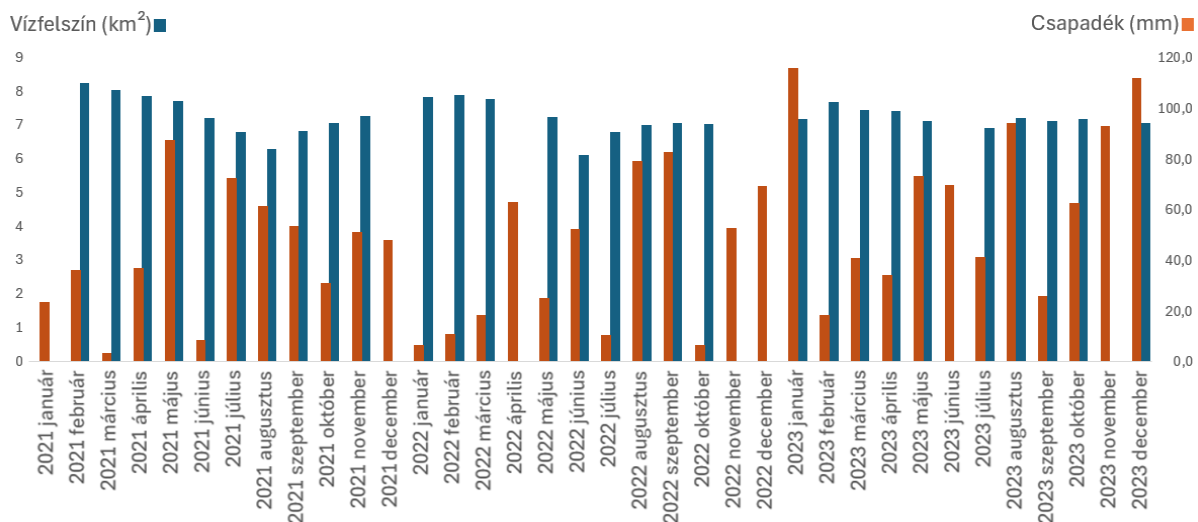


A Velencei-tó vízfelszínének változásai szoros összefüggésben állnak az éghajlati tényezőkkel. A 13. ábrán megfigyelhető a hőmérséklet és a tó kiterjedése közötti fordított arányosság, ami a melegebb időszakban megnövekvő párolgásnak köszönhető. A 14. ábra a Velencei-tó vízgyűjtőjére hulló csapadékkal veti össze az eredményeket.

13. ábra: A Velencei-tó vízfelszíne és az agárdi léghőmérséklet alakulása 2021 és 2023 között (Forrás: saját szerkesztés a mérési eredmények, illetve a Velencei-tó vízmérleg-dokumentációi (KDTVIZIG, 2022; KDTVIZIG, 2023; KDTVIZIG, 2024) alapján)

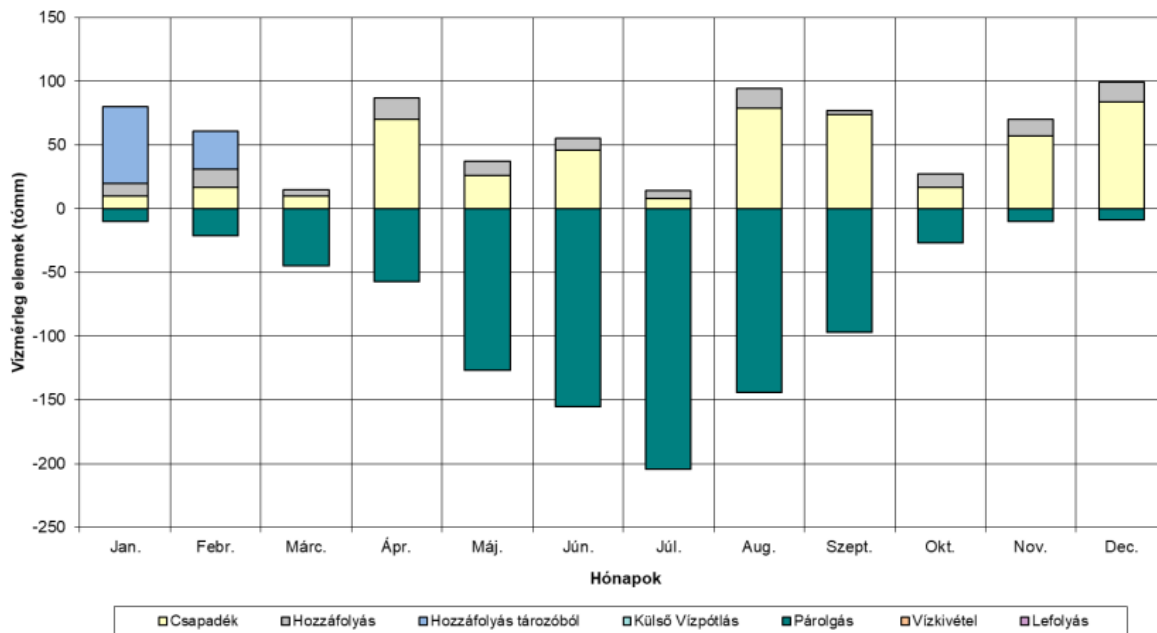


14. ábra: A Velencei-tó vízfelszíne és a tó vízgyűjtőjének havi csapadékösszegei 2021 és 2023 között (Forrás: saját szerkesztés a mérési eredmények, illetve a Velencei-tó vízmérleg-dokumentációi (KDTVIZIG, 2022; KDTVIZIG, 2023; KDTVIZIG, 2024) alapján)



A csapadék és a vízfelület változása között már bizonyos időszakokban nem egyértelműen látható korreláció, aminek több oka lehet. Az elsődleges, hogy a párolgás mértéke meghatározóbb tényező, mint a csapadék mennyisége különösen egy olyan sekély tó esetében, mint a Velencei-tó. A tó 2022-es vízmérlegét szemléltető 15. ábrán látható, hogy a nyári intenzív párolgás nagyobb vízkészlet-csökkenést idézett elő, mint amit a tóra hulló csapadék és a vízgyűjtőről érkező hozzáfolyás együttesen pótolni tudott volna. (Az időszakban az egyéb tényezők – külső vízpótlás, vízkivétel és lefolyás – nem játszottak jelentős szerepet.)

15. ábra: A Velencei-tó 2022. évi vízmérlege azt mutatja, hogy az egyes tényezők hány mm pozitív vagy negatív változást idéztek elő a vízszintben.
(Forrás: KDTVIZIG, 2023)



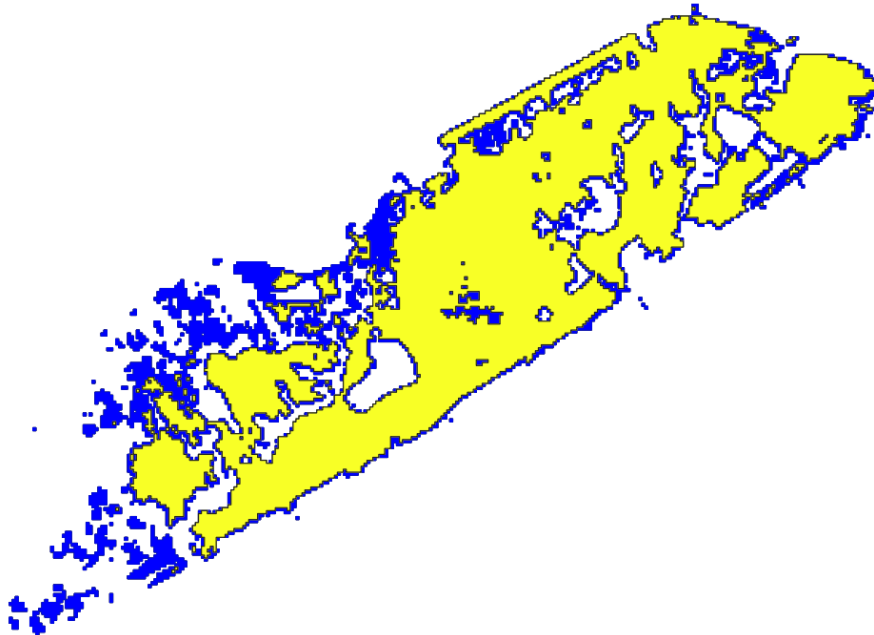
A másik ok, hogy a vízfelület nem azonnal reagál a csapadék változásaira, hanem időbe telik, mire a víz a vízgyűjtőről eléri a tavat. Ezek mellett a vízgyűjtő terület lefolyása és beszivárgása is meghatározó. Meredek lejtőkön a felszíni lefolyás mértéke a nagyobb, amíg az olyan területeken, ahol a csapadék helyben tud maradni, nagyobb eséllyel tud beszivárogni a talajba. Ilyenkor, ha a talaj száraz, először a talajvíz pótlása történik meg, és a telítődés utáni vízfelesleg folyik le.

A tó változásait tehát az időjárási elemek együttesen idézik elő. A fentiek alapján a késő téli - kora tavaszi vízfelület-maximum elsődleges oka az alacsonyabb hőmérséklet, annak ellenére, hogy ebben az időszakban a csapadékutánpótlás kisebb volt a vizsgált években. A nyári hónapokban a magas hőmérsékletből fakadó intenzív párolgás miatt csökkent a vízmennyiség, valamint a gyakran záporos jellegű, térben és időben egyenlőtlen eloszlású csapadék nem biztosított folyamatos vízutánpótlást. Bár a két másik vizsgált évben is hasonlóan meleg nyarak voltak, a 2022 júniusában mért legkisebb vízfelület jól magyarázható azzal, hogy az azt megelőző időszakban különösen kevés volt a csapadék. Ezután a hőmérséklet csökkenésével és a párolgás mérséklődésével indult meg újból a vízfelszín lassú növekedése.

4.2. A vízfelszín kiterjedésének térbeli eloszlás-változása

A térbeli változások vizsgálata során többnyire nem látszanak szignifikáns eltérések a Velencei-tó különböző részein, azonban elmondható, hogy a tó vízfelszínének kiterjedése a nyugati medencerészben a legváltozékonyabb. A nyugati part mentén – különösen Pákozdi és Dinnyés térségében – rajzolódik ki legjobban a vízborítás több tíz méteres visszahúzódása. Ez a terület sekélyebb, így érzékenyebben reagál a vízszint csökkenésére, mint a tó mélyebb részei. Emellett a mocsaras, sűrű nádasokkal borított területen a vegetáció kiterjedésének változásai is hozzájárulhattak a nagyobb mértékű ingadozáshoz. Összességében megállapítható, hogy a növényzettel borított, sekély vizű parti zónák a legérzékenyebbek a tó vízháztartási változásaira. A 16. ábra a térbeli változások kiemelésé céljából a vizsgált időszak két szélső állapotát mutatja be: egymásra helyezve jelenik meg a legnagyobb kiterjedésű vízfelszínnel rendelkező 2021. februári, valamint a legkisebb vízborítottságot mutató 2022. júniusi állapot, így kirajzolódnak a tó legérzékenyebb részei.

16. ábra: A Velencei-tó vízfelszíne 2021. február 18-án (kék) és 2022. június 29-én (sárga).
(Forrás: saját szerkesztés)



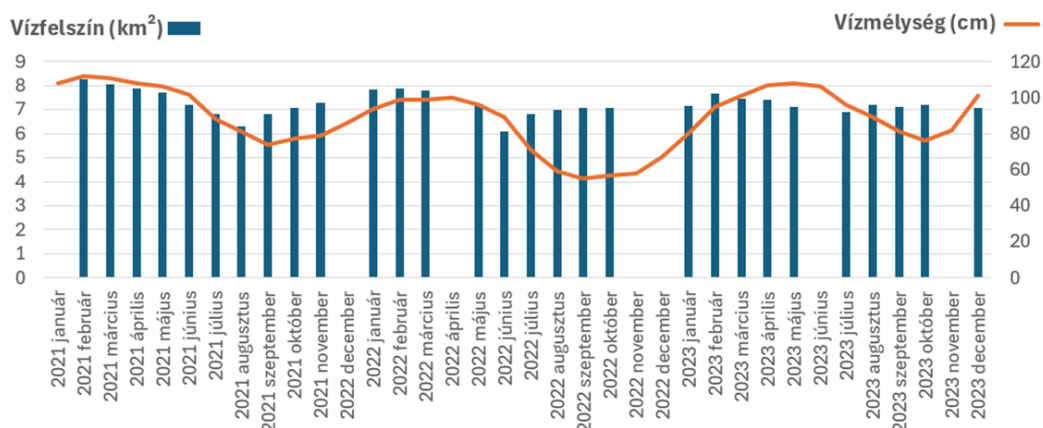
4.3. A vizsgálati módszer korlátai és előnyei az aszály kimutatásában

Az alkalmazott módszer, azaz a műholdfelvételek alapján történő idősoros vízfelszín vizsgálat több korlattal is járt, amelyek közül a legnagyobb a hiányos idősor. A Landsat-műholdak 16 napos visszatérési ideje miatt egy hónapban átlagosan négy felvétel állt rendelkezésre, és a lehetőségeket tovább csökkentette a felhasználható képek számát a

felhőborítottság. A havi egy felvétel nem tudja pontosan tükrözni a gyors, dinamikus változásokat, nem folyamatos megfigyelést biztosít, hanem egy pillanatnyi állapotot tükröz. Így a módszer hosszútávú trendek, illetve szezonális kimutatására alkalmasabb lehet, mint extrém jelenségek vizsgálatára. Továbbá korlátozó tényező a Landsat műholdak felbontása, ami azt jelenti, hogy egy képpont egy 30*30 méteres négyzetnek felel meg. Ezért az ennél kisebb területen jelentkező változások nem mutatkoznak meg és a partvonal pozíciója csak néhány tíz méteres pontatlansággal becsülhető meg. A módszer alkalmazása leginkább nagyterjedésű, akár globális trendek megállapítására azonban kulcsfontosságú lehet. Kis területen alternatívát nyújthat például a drónfelvételek használata, mert jobb felbontást biztosítanak, illetve meg lehet szabni a képek készítésének gyakoriságát és pontos idejét. Ez azonban magas költségekkel járhat, valamint a felvételek elkészítése és az utazás sok időt vehet igénybe, illetve tapasztalat és engedélyek is szükségesek lehetnek. Ezekkel szemben a műholdfelvételek használatának nagy előnye, hogy ingyenesen bárki számára elérhető és nincs szükség hozzá speciális eszközre, évtizedekre visszamenőleg folyamatosan rendelkezésre állnak felvételek, és nem kell eljutni a vizsgálat helyszínére.

A növényzettel borított vizek azonosítása problémás a módszerrel, mivel csak a nyílt vízfelület különül el, a sűrű nádas és vízi vegetáció által elfedett a víztükör viszont nem. A vízkészlet becslésére a vízmélységi adatokból jobban lehet következtetni, hiszen a vízmennyiség csökkenése nem feltétlenül vonzza maga után a vízfelszín változását, csak, amikor szárazra kerülnek területek. Ez magyarázhatja, hogy a 17. ábrán az agárdi vízmércével összehasonlítva többnyire hasonlóan alakul a két érték, de például 2022 nyár végén - ősz elején a vízszint még csökkent, de a felszíni kiterjedés már nem. A műholdképek elemzésével inkább a területi változások azonosíthatók és mérhetők.

17. ábra: A Velencei-tó vízfelszíne és havi átlagos vízállásai az agárdi vízmérce alapján 2021 és 2023 között (Forrás: saját szerkesztés a mérési eredmények, illetve a Velencei-tó vízmérleg-dokumentációi (KDTVIZIG, 2022; KDTVIZIG, 2023; KDTVIZIG, 2024) alapján)



4.4. Az aszály hatásai és ezek jelentősége

Az eredmények alapján látható, hogy a 2022-es aszályos időszak alatt jelentős mértékben lecsökkent a Velencei-tó vízkészlete. Ennek számos hatására lehet következtetni a térség ökológiai állapotára, társadalmi-gazdasági folyamataira és turisztikai szerepére nézve egyaránt.

A tó vízfelületének zsugorodásával több helyen megjelentek felszínre kerülő mederszakaszok. Ez a jelenség az élőhelyek fragmentálódását és a természetes parti zónák visszahúzódását is eredményezhette, ami hosszú távon kedvezőtlenül hat a tó ökológiai állapotára. Az alacsony vízállás a sekély vízréteg gyorsabb felmelegedéshez, ezáltal az oldott oxigén szintjének csökkenéséhez vezetett. Ez okozta 2021-ben az elhíresült halpszulást, ami 2022-ben feltételezhetően azért volt kisebb mértékű, mert kevésbé hirtelen történt a felmelegedés (ld. 13. ábra).

A vízszint csökkenése nemcsak ökológiai, hanem látványos társadalmi-gazdasági hatásokkal is járt: a Velencei-tónál visszaesett a turisztikai forgalom, több szolgáltatás részben vagy teljesen működésképtelenné vált, és a korábban nyüzsgő strandok, sétányok, kempingek elnéptelenedtek. A kevesebb vendég miatt a helyi vállalkozások érezhető bevételkiesést tapasztaltak, miközben a tó állapotáról szóló negatív hírek tovább rontották a térség megítélését. A rekreációs lehetőségek beszűkülése és a szolgáltatások visszaesése jól mutatja, hogy az aszály jelentősen gyengítette a tó turisztikai vonzerejét és gazdasági szerepét. (http15)

4.5. Az eredmények összefoglalása

A dolgozat eredményeit a meghatározott célkitűzések alapján a következőképpen lehet összefoglalni:

1. A Velencei-tó vízfelszín-változásának trendjei és mértéke

A vizsgálat eredményei igazolni látszanak a 2022-es aszály hatását a Velencei-tó vízfelszínének alakulására. A 2021-2023 közötti időszakban a tó kiterjedése összességében csökkenő tendenciát mutatott, melynek minimuma 2022 júniusában jelentkezett. Kirajzolódtak a szezonális ingadozások is: a késő téli-kora tavaszi hónapokban nagyobb, míg nyáron kisebb vízfelület volt megfigyelhető. A hőmérséklet és csapadék adatokkal összevetve látható az ok-okozati összefüggés az időjárás és a vízfelszín alakulása között.

2. Térbeli változások a vízfelület eloszlásában

A Velencei-tó vízfelszínének legnagyobb változékonysága a nyugati medencerészben jelentkezett. A sekélyebb, nádasokkal borított parti zónák érzékenyebben reagáltak a vízszint csökkenésére, ami jól kirajzolódott a műholdfelvételeken, láttatva a vízborítás több tíz méteres visszahúzódását. Ezek a nádas élőhelyek kiemelt természetvédelmi értéket képviselnek, mivel ritka növény- és madárfajoknak nyújtanak élőhelyet, és kulcsszerepet játszanak a tó ökológiai állapotának fenntartásában.

3. A műholdas elemzés módszerének alkalmazhatósága időbeli és térbeli vízfelület-változások mérésére

A műholdfelvételeken alapuló vízfelszín-elemzés csak korlátozottan bizonyult alkalmasnak a Velencei-tó viszonylag rövid távú és részletes térbeli változásainak vizsgálatára. Bár előnye, hogy a felvételek hosszú idősorokban, ingyenesen és terepi munka nélkül elérhetők, a Landsat-adatok 16 napos visszatérési ideje és a felhőborítottság miatt az idősor jelentősen hiányos, így a módszer nem a legjobb választás a gyors, dinamikus folyamatok követésére. A 30 méteres térbeli felbontás korlátozta a partvonal pontos meghatározását és a kisebb léptékű változások kimutatását. Emellett az NDWI segítségével a növényzet alatti vízfelület nem detektálható. A módszer ezért inkább nagyobb léptékű, hosszú távú trendek vizsgálatára alkalmas, míg kis területeken vagy részletes elemzés céljára javasoltak például drónfelvételek, illetve a vízmérce adatok alapján történő további vizsgálatok.

4. A 2022-es aszály hatásai a tóra

A 2022-es aszály jelentős vízvesztést okozott a Velencei-tóban, ami egyszerre érintette a tó ökológiai állapotát és a térség társadalmi-gazdasági helyzetét. A visszahúzódó vízfelület élőhelyek zsugorodását és a parti zónák sérülékenységének növekedését okozta, miközben az alacsony vízállás kedvezőtlenül hatott a vízi élővilágra. A turisztikai forgalom visszaesett, csökkent a szolgáltatások működőképessége, ami bevételkiesést okozott a helyi vállalkozásoknak, gyengítve ezzel a tó gazdasági és rekreációs szerepét.

5. Következtetések és javaslatok

A Velencei-tó 2022-es vízfelszín-csökkenése is rámutatott arra, hogy a tó komoly vízháztartási problémákkal küzd és vízkészlete nem képes külső beavatkozás nélkül helyreállni az ilyen, aszályos időszakokban. A jelenlegi infrastruktúra kapacitás-, vízminőségi és üzemeltetési problémái azonban nem teszik lehetővé a tó megfelelő vízellátását. Mindezek miatt egyértelművé vált, hogy elkerülhetetlen a vízpótlási rendszer megreformálása. Több különböző forrás és műszaki megoldást megvizsgáltak (Tóth et al., 2022), amelyek eltérő kapacitással, költséggel és környezeti hatással járnak:

- A Velencei-tó vízpótlására több karsztvízbázis is bevonható, közülük a legígéretesebb a Csákvári hideg karsztvíz, ahol lehetséges egy új kút kialakítása a modellezések szerint. További lehetőséget nyújt a Rákhegy-Kincsesbánya vízbázis, amelyből történő vízpótlásra már volt példa az 1990-es években. A rendszer akár azonnal újraindítható kisebb fejlesztésekkel. A Csóri vízbázis szintén alkalmas lehet kiegészítő vízpótlásra, de nagy beruházást (csővezeték kiépítést) igényel, így drágább és műszakilag nehezebb megoldás. Azonban a karsztvíz értékes ivóvízbázis, amely lassan újul meg, ezért a felszíni víz abból történő pótlása felveti azt a problémát, hogy karsztvízkészletek túlhasználata hosszú távon vízhiányt okozhat.
- Az agárdi és a csákvári szennyvíztisztító telep tisztított szennyvizei további utótisztítás (homokszűrés + UV-fertőtlenítés) és szigorú monitoring mellett akár folyamatosan bevezethetők lennének a Velencei-tóba, ami megfelel a körforgásos vízgazdálkodás elvének. Ugyanakkor kockázatot jelenthet a tápanyagterhelés miatti algásodás, a gyógyszermaradványok és egyéb mikroszennyezők jelenléte, valamint a tisztított szennyvíz tóba juttatásával szembeni nagy társadalmi bizalmatlanság.
- A Duna parti szűrésű vízbázisai nem vonhatók be a Velencei-tó vízpótlásába, mivel a rendelkezésre álló kapacitásukat a jelenlegi vízigények teljes mértékben lekötik, valamint a csővezetékek elavultak, és a vas- és mangántartalom a határérték közelében van.
- A Duna vízének Velencei-tóba vezetése sem reális alternatíva, már csak azért sem, mert a nyers élő vizet nem szabad csővezetéken szállítani. A biztonságos bevezetéshez nagyon költséges előtisztítás, ülepítés és fertőtlenítés lenne szükséges, a gravitációs bevezetés magassági viszonyai pedig nincsenek geodéziailag feltárva, ezért megvalósítása műszakilag és gazdaságilag is problémás (Tóth et al., 2022).

A lehetséges megoldások vizsgálatánál alapvető elv, hogy a tó vízutánpótlását elsődlegesen a saját vízgyűjtő területén rendelkezésre álló vízkészletekre kell alapozni. Külső vízpótlásra támaszkodni csak abban az esetben és olyan mértékben indokolt, amikor a természetes vízforrások már nem képesek megfelelő biztonsággal fedezni a tó vízigényét (Tóth et al., 2022). Az elsődleges, leginkább fenntartható vízpótlási mód a Császárvíz, a Pátkai- és a Zámolyi-tározó rendszerének rekonstrukciója és szabályozott üzemeltetése. Ezt egészítheti ki esetleg a térség karsztvízkészleteinek és megfelelően utókezelt szennyvizeinek bevonása, ám ezek számos problémát felvetnek, ezért érdemes elkerülni. A megoldás terveit már 2021-ben kidolgozta egy erre a célra létrehozott munkacsoport (Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány) az akkori köztársasági elnök felkérésére. Javasolták a Császárvíz, a Pátkai-tározó, a Zámolyi-tározó, valamint a Dinnyési-zsilip teljes körű rekonstrukcióját és kapacitásbővítő fejlesztését. Ezek magukban foglalják a műtárgyak műszaki felújítását, a kapacitás növelését, valamint egy olyan üzemrend kidolgozását, amely érvényesíti azt az alapelvet, hogy a vízgyűjtőn összegyűlő vizeket elsődlegesen a Velencei-tóban szükséges visszatartani és hasznosítani. Továbbá a hatékony és adaptív üzemeltetés érdekében monitoring rendszert kell kiépíteni a teljes vízpótló rendszerre kiterjedően. A beavatkozások ütemezése és becsült költségvetése is kidolgozásra került (5. táblázat).

5. táblázat: A javasolt vízügyi műszaki beavatkozások becsült költsége, három ütemben (Forrás: Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány, 2021)

Létesítmény	A beavatkozás jellege	Beavatkozás	Becsült költség (millió Ft)
1. ütem: Azonnali rekonstrukciós munkák			
Pátkai és Zámolyi tározók	rekonstrukció	kotrás, műtárgyak javítása, térfogatuk visszaállítása,	3 950
Császárvíz	rekonstrukció	kapacitásnövelés, kotrás,	995
Dinnyési csatorna leeresztő zsilipje	rekonstrukció + fejlesztés	szerkezetjavítás, kapacitásbővítés	450
Dinnyés-Kajtori csatorna felújítása	rekonstrukció	mederrendezés	500
Rákhegyi vízpótlási rendszer	rekonstrukció	helyreállítás, üzembiztonság növelése	350
Vízgyűjtő egésze	fejlesztés	monitoring hálózat és üzemirányítás fejlesztése	530
Tervezés engedélyezés			600
Tájékoztatás			50
1. ütem összesen			7 425
2. ütem: Helyi vízkészletek igénybevétele (a feltárás azonnali megkezdése, megvalósítás a lehetőségek függvényében)			
Csákvári karsztvíz felhasználása	fejlesztés	vízakna és kitermelő kút létesítése és bevezetése a Császárvízbe	1 560
Szennyvizek hasznosítása	fejlesztés	bevezetése a tóba, illetve a tározóba, homokszűrő és UV fertőtlenítő beépítése	870
2. ütem összesen			2 430
3. ütem: a hosszú távú fenntarthatóság érdekében végzendő feladatok			
A tóban tárolt vízkészlet növelése és feltételeként a part menti területek rendezése	fejlesztés	vízrendezés	7 500
Mindösszesen:			17 355

Ezen tervek megvalósítása azonban máig nem kezdődött el. Történt egyeztetés a térség országgyűlési képviselőjével, egy kísérleti vízpótlás a Pátkai-tározóból, helyenként felújították a tó partfalát, illetve kialakításra került egy, a Pátkai-tározót megkerülő ideiglenes csatorna (http3, http15). Ezen keresztül engedtek vizet a tóba, és a tározót 2024. április 16-ára teljesen leeresztették, jelenleg átfolyásos üzemben működik. Mindenképpen javasoltak a további – a munkacsoport által megfogalmazott – beavatkozások, hogy a Velencei-tó a későbbiekben át tudja vészelní az aszályos időszakokat. A munkálatokat minél előbb meg kell kezdeni, ebben együtt kell működnie az államnak, a vízügyi szervezeteknek, az önkormányzatoknak és a szakmai szereplőknek a lakosság folyamatos tájékoztatása mellett.

A lokális, Velencei-tavat érintő problémák kezelése mellett fontos megemlíteni az ennek hátterében álló globális klímaváltozás elleni törekvés fontosságát is. Egy 31 klímamodell alapján végzett vizsgálat az antropogén hatásokat az aszály súlyosságának 46%-áért tette felelőssé (Williams et al., 2020). Ezért egyre sürgetőbbé válik mérsékelni a klímaváltozás mértékét az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésével, másrészt alkalmazkodni kell az új körülményekhez – fejleszteni az infrastruktúrákat és a kockázatkezelést, a vízgazdálkodást, és felkészülni a jövőbeli szélsőségek kezelésére. Egyéni döntések, mint az energiafelhasználás csökkentése és fenntarthatóbb életmód, közösségi akciók, valamint nemzeti és nemzetközi politika (kibocsátás-csökkentési célok, klímaalkalmazkodási programok) mind részei a megoldásnak. A tudománynak nagy szerepe van a klímaváltozást érintő megállapítások és összefüggések feltárásában, ezért szükség van arra, hogy további, tudományos megalapozottsággal és minél több terület bevonásával készült kutatások ráirányítsák a döntéshozók és a társadalom figyelmét a téma kitüntetett szerepére (Sziebig, 2022).

6. Összefoglalás

A dolgozat célja a Velencei-tó vízfelületének időbeli és térbeli változásainak vizsgálata volt a 2021-2023 közötti időszakban, különös tekintettel a 2022-es extrém aszályos év hatásaira. A kutatás műholdas távérzékelési adatokra és térinformatikai feldolgozásra épült. A vizsgálat alapját a Landsat 7, 8 és 9 műholdak által szolgáltatott multispektrális felvételek adták. A feldolgozás során a QGIS szoftver segítségével kiszámított Normalizált Különbégi Vízüindex (NDWI) tette lehetővé a vízfelületek pontos elkülönítését. Így minden hónapra meghatározható volt a Velencei-tó vízfelszínének kiterjedése, amelyből idősoros adatsor készült. A módszer lehetővé tette a tó területének és a vízfelület időbeli trendjeinek kimutatását, valamint az aszályos időszakok összevetését a csapadék- és hőmérsékleti adatokkal.

Az eredmények kimutatták, hogy a Velencei-tó vízfelülete 2022-ben jelentősen visszahúzódott. A vizsgált időszakban a legnagyobb vízfelület 2021 februárjában volt, 8,27 km², míg a legkisebb 2022 júniusában, 6,11 km², ami mintegy 26%-os csökkenést jelentett. A vízfelület szezonális ingadozása jól kirajzolódott: a téli-tavaszi hónapokban nagyobb vízborítás jellemző, míg nyáron, a magas hőmérséklet és az erős párolgás hatására jelentősen csökken. A legnagyobb visszahúzódás a tó nyugati, sekélyebb medencerészében történt, mert ezek a zónák érzékenyebbek az éghajlat hatásaira és a növényzet kiterjedése is jobban változik itt.

A kutatás során alkalmazott műholdas módszer alapvetően hatékonynak bizonyult a vízfelületváltozások kimutatásában, ugyanakkor több korlátja is van. A felhőborítottság miatt egyes hónapokban nem álltak rendelkezésre használható felvételek, így az adatsor nem teljesen folyamatos. Emellett a szenzor felbontása miatt a kisebb, lokális változások kis pontossággal érzékelhetők. Ugyanakkor a módszer előnye, hogy ingyenesen hozzáférhető és hosszú távon összehasonlítható adatokat biztosít, így kiválóan alkalmas trendvizsgálatokra.

Az aszály ökológiai és társadalmi hatásai súlyosak voltak: a tó vízfelületének csökkenése az élőhelyek beszűkülését okozta, miközben rontotta a vízminőséget és a rekreációs lehetőségeket. A turizmusra és a helyi gazdaságra gyakorolt negatív hatások különösen a 2022-es szezonban váltak érzékelhetővé, amikor több partszakaszon ellehetetlenült a fürdőzés és a hajózás. A dolgozat eredményei hangsúlyozzák, hogy a Velencei-tó vízháztartása rendkívül sérülékeny, ezért szükség van hatékony, hosszú távú vízpótlási és vízmeztartási stratégiák kidolgozására.

Összességében a dolgozat rámutat arra, hogy az aszályos időszakok súlyos és gyorsan jelentkező hatást gyakorolnak a Velencei-tó vízfelületére, ökológiai állapotára és turisztikai szerepére. A 2022-es extrém aszály figyelmeztetés volt arra, hogy a klímaváltozás hatásai már helyi szinten is komoly kihívásokat jelentenek. Kulcsfontosságúak a vízpótlási intézkedések és a monitoringrendszerek fejlesztése, hogy a Velencei-tó és más hasonló tavak ellenállóbbá váljanak az ismétlődő aszályokkal szemben.

7. Irodalomjegyzék

- Baják, P., Csepregi, A., Szabó, P., Chappon, M., Tóth, Á., Hegedűs-Csondor, K., & Eröss, A. (2024). Quantifying the overlooked groundwater component in the water budget of a shallow soda lake in Hungary amidst climate change concerns. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56, Article 101961. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101961>
- Biró, K., & Kovács, E. (2023, April 17). *Impact of the 2022 drought shock on the adaptive capacity of Hungarian agriculture*. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202304.0487.v1> (Letöltve: 2025. 09. 03.)
- Crawford, C. J., Roy, D. P., Arab, S., Barnes, C., Vermote, E., Hulley, G., Gerace, A., Choate, M., Engebretson, C., Schmidt, G., Anderson, C., Anderson, M., Bouchard, M., Skakun, S., Yan, L., Zhang, H., Zhu, Z., & Zahn, S. (2023). *The 50-year Landsat Collection 2 archive*. *Science of Remote Sensing*, 8, Article 100103. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2023.100103> (Letöltve: 2025. 10.08.)
- Dai, A., 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat. Clim. Change*, 3, 52–58. <https://doi.org/10.1038/nclimate1633> (Letöltve: 2025. 09. 01.)
- Dövényi Z. (Ed.), 2010. *Magyarország kistájainak katasztere, 2.*, átd. és bőv. kiadás. ed. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
- Dövényi, Z., 2012. A Kárpát-medence földrajza - 2.5.5.3. A Velencei-tó - MeRSZ [WWW Document]. URL https://mersz.hu/dokumentum/m21akmf_115/?utm (Letöltve: 2025. 09. 11.)
- Erdődiné Molnár, Z., & Kovács, A. (2023). A 2022-es aszály agrometeorológiai elemzése. *LÉGKÖR: AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI INTÉZET SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA*, 68(1), 1-56. <https://doi.org/10.56474/legkor.2023.1.3>
- Horváth Á., Breuer H., 2023. A víz körforgalma a légkörben és a 2022-es rendkívüli aszály meteorológiai háttere. *Légkör*, 68, 2–8. <https://doi.org/10.56474/legkor.2023.1.1>
- http1 - Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság (VIZIG). Duna vízállás- és vízhozam-adatok <http://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=44#top> (Letöltve: 2025. 09. 18.)
- http2 - Mozaik Digitális Oktatás és Tanulás. Magyarország domborzati térképe https://www.mozaweb.hu/Extra-3D_modell-Magyarország_domborzati_terkepe-139724 (Letöltve: 2025. 09. 10.)
- http3 - Országos Vízügyi Főigazgatóság. A Velencei-tavi partfal komplex, fenntartható rehabilitációja. <https://velenceito.ovf.hu/informaciok.html> (Letöltve: 2025. 09. 11.)
- http4 - Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság. (S. A.). Velencei-tavi Madárrezervátum Természetvédelmi Terület. <https://www.dunaiopoly.hu/hu/helyek/vedett->

[terulet/adonyi-termeszetvedelmi-terulet/velencei-tavi-madarrezervatum-tt](#)
(Letöltve: 2025. 09. 30.)

http5 - Országos Vízügyi Főigazgatóság. A Velencei-tó információs oldala.
<https://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=44#top>
(Letöltve: 2025. 09. 11.)

http6 - Országos Vízügyi Főigazgatóság. A Velencei-tó oxigénháztartásának problémái és a halpusztulás
<https://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=1&id=1593&page=1> (Letöltve: 2025. 09. 23.)

http7 - U.S. Geological Survey. *Landsat missions*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions>
(Letöltve: 2025. 10. 10.)

http8 - U.S. Geological Survey. *Landsat Missions Timeline*
<https://www.usgs.gov/media/images/landsat-missions-timeline> (Letöltve: 2025. 10. 10.)

http9 - U.S. Geological Survey. *Landsat levels of processing*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-levels-processing> (Letöltve: 2025. 10. 10.)

http10 - U.S. Geological Survey. *Landsat science products*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-science-products> (Letöltve: 2025. 10. 10.)

http11 - U.S. Geological Survey. *Landsat 7 mission*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7> (Letöltve: 2025. 10. 10.)

http12 - Kovács, A. (szerk.). *Klimaszótár*. <https://masfelfok.hu/klimaszotar/> (Letöltve: 2025. 09. 05.)

http13 – HungaroMet. Éghajlati körzetek változása.
https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/eghajlat_i_korzetek_valtozasa/ (Letöltve: 2025. 09. 05.)

http14 - <https://gis.geojamal.com/2023/11/the-best-gis-software-for-you-open.html> (Letöltve: 2025. 10. 12.)

http15 - <https://24.hu/belfold/2022/08/09/velencei-to-vizallas-szelloztetes/> (Letöltve: 2025. 10. 26.)

IPCC. (2021). Figure 11.18: Projected changes in the intensity and frequency of drought under 1 °C, 1.5 °C, 2 °C, 3 °C, and 4 °C global warming levels relative to the 1850–1900 baseline. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis – Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report* (Chapter 11). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/chapter-11/figure-11-18> (Letöltve: 2025. 09. 12.)

- Jensen, J.R., 2014. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*, Pearson new international, second edition. ed. Pearson, Harlow, England. (Letöltve: 2025. 10.11.)
- Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány (2021) JAVASLAT a Velencei tó fenntartható vízpótlására. Vízpótlási lehetőségek a tó víz használati feltételeinek biztosítására az időjárási szélsőségek, a területi és vízhasználati változások függvényében. Szakértők: Szűcs Gábor, Váradi József, Bálint Mária, Hullay Gyula, Kertai István, Lábdy Jenő, Reich Gyula, Szári Zsolt, Szűcs Lajos, Szűcs Péter, Tóth Sándor. Összefoglaló javaslat, kézirat. Budapest. <https://kekbolygoalapitvany.hu/wp-content/uploads/2022/04/Velence-tavi-munkacsoport-jelentes-2022-04-14-1.pdf> (Letöltve: 2025. 09. 01.)
- Király, G., Molnár, Zs., Bölöni, J., & Vojtkó, A. (2008). *Magyarország földrajzi kistájainak növényzete*. MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet, Vácrátót. <https://www.scribd.com/document/448387419/Magyarország-Foldrajzi-Kistajainak-NOvenyzete> (Letöltve: 2025. 09. 30.)
- Li, Q., Ye, A., Wada, Y., Zhang, Y., Zhou, J., 2024. Climate change leads to an expansion of global drought-sensitive area. *J. Hydrol.*, 632, 130874. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130874>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Markham, B. L., Arvidson, T., Barsi, J. A., Choate, M., Kaita, E., Levy, R., Lubke, M., Masek, J. G., ... (2017). *Landsat program* (NASA/GSFC Biospheric Sciences Laboratory). NASA. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20170005836/downloads/20170005836.pdf> (Letöltve: 2025. 10. 12.)
- Mosley, L.M., 2015. Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth-Sci. Rev.*, 140, 203–214. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.11.010>
- Mukherjee, S., Mishra, A., Trenberth, K.E., 2018. Climate Change and Drought: a Perspective on Drought Indices. *Curr. Clim. Change Rep.*, 4, 145–163. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0098-x>
- Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF). (2021, május). *Vízgyűjtő-gazdálkodási terv 3. változatának II. vitaanyaga*. https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2021/05/VGT3_II_Vitaanyag.pdf (Letöltve: 2025. 09. 12.)
- Pálincás-Mile, E. (2023). A Velencei-tó vízminőségének hosszú távú vizsgálata [Szakdolgozat, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem]. <https://stud.mater.uni-mate.hu/7271/2/799744395.pdf> (Letöltve: 2025. 10. 08.)
- Pálfai, I. (2004). *Belvizek és aszályok Magyarországon*. Budapest: VITUKI.

- Piccioni, F., Casenave, C., Lemaire, B.J., Le Moigne, P., Dubois, P., Vinçon-Leite, B., 2021. The thermal response of small and shallow lakes to climate change: new insights from 3D hindcast modelling. *Earth Syst. Dyn.*, 12, 439–456. <https://doi.org/10.5194/esd-12-439-2021>
- Ray, S. S. (2013). *Basics of remote sensing. Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain*, 1-15.
- Rigotti, J.A., Carvalho, J.M., Soares, L.M.V., Barbosa, C.C., Pereira, A.R., Duarte, B.P.S., Mannich, M., Koide, S., Bleninger, T., Martins, J.R.S., 2023. Effects of Hydrological Drought Periods on Thermal Stability of Brazilian Reservoirs. *Water*, 15, 2877. <https://doi.org/10.3390/w15162877>
- 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. Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48(1). <https://doi.org/10.18172/cig.5143>
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., ... & Schott, J. R. (2014). *Landsat-8: science and product vision for terrestrial global-change research. Remote Sensing of Environment*, 145, 154-172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
- Sallai, Z., Kiss, B., Müller, Z., & Polyák, L. (2018). A Velencei-tó 2017-es vizsgálatának halfaunisztikai eredményei. *Pisces Hungarici*, 12, 5–19. https://archive.haltanitarsasag.unideb.hu/ph12/Sallai_et.al_Pisces.Hungarici_2018.pdf (Letöltve: 2025. 09. 22.)
- Seitz, C., Scordo, F., Vitale, A.J., Vélez, M.I., Perillo, G.M.E., 2020. The effects of extreme drought events on the morphometry of shallow lakes: Implications for sediment resuspension and littoral and pelagic zone distribution. *J. South Am. Earth Sci.*, 103, 102743. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102743>
- Sivakumar, M. V. K., Roy, P. S., Harmsen, K., & Saha, S. K. (Eds.). (2004). *Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology: Proceedings of the Training Workshop, 7–11 July, 2003, Dehra Dun, India* (WMO/TD No. 1182). World Meteorological Organization.
- Stenger-Kovács, C. (2013). Az éghajlatváltozás következménye: szikes tavak és algaközösségeik veszélyeztetettsége. *Iskolakultúra*, 23(12), 86–94. https://real.mtak.hu/56357/1/EPA00011_iskolakultura_2013_12_086-094.pdf (Letöltve: 2025. 10. 04.)
- Szabó, P., Kis, A., & Pongrácz, R. (2025, június 20). Idén a 2022-es rekord aszályos évvel futjuk a versenyt. *Másfélök*. <https://masfelok.hu/2025/06/20/nyar-eleje-aszaly/> (Letöltve: 2025. 09. 13.)

- Szalkay, Cs., & Schlanger, V. (2004). Az éghajlatváltozás hatása a relatív édesvízhiányra és az ebből adódó konfliktus kialakulására Magyarországon. *Tájökológiai Lapok*, 2(2), 305–311. <https://doi.org/10.56617/tl.4602>
- Szathmáry, E. (szerk.). (2020). *Klímaváltozás és Magyarország*. Osiris.
- Szentes, O. (2023). Szárazság Magyarországon 2022-ben és a múltban. *Léggör*, 68(1), 9-19. <https://doi.org/10.56474/legkor.2023.1.2>
- Sziebig, O. J., & Tóth, Z. B. (szerk.). (2022). *A klímaváltozás hatásaiból eredő kihívások: Válogatott tanulmányok a globális éghajlat-változás jogi, politikai, gazdasági és társadalmi vonatkozásairól*. Külügyi Műhely Alapítvány. <https://kulugyimuhelyalapitvany.hu/a-klimavaltozas-hatasaibol-eredo-kihivasok/> (Letöltve: 2025. 10. 26.)
- Tate, E. L., & Gustard, A. (2000). *Drought definition: A hydrological perspective*. In J. V. Vogt & F. Somma (Eds.), *Drought and drought mitigation in Europe* (pp. 23–48). *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Vol. 14. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9472-1_3
- Tóth, S., Kravinszkaja, G., & Kóbor, I. (2022). *A Velencei-tó vízpótlási változatai. A 2021-2022. évi téli, kísérleti vízpótlás*. In Magyar Hidrológiai Társaság XXXIX. Országos Vándorgyűlése (Nyíregyháza, 2022. július 6-8.) (1. szekció – Vízkárelhárítás: 25. előadás) (307. o.). Magyar Hidrológiai Társaság. https://library.hungaricana.hu/hu/view/HidrologiaiVandorgyules_2022/?pg=307&layout=s (Letöltve: 2025. 09. 12.)
- U.S. Geological Survey (USGS). (2019, November 27). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook* (LSDS-1574). <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook> (Letöltve: 2025. 10. 11.)
- U.S. Geological Survey (USGS). (2022, February). *Landsat 9 (L9) Data Users Handbook – Version 1.0* (LSDS-2082). U.S. Department of the Interior. https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-2082_L9-Data-Users-Handbook_v1.pdf (Letöltve: 2025. 10. 11.)
- U.S. Geological Survey (USGS). (2024, May). *Landsat 7 (L7) Data Users Handbook (Version 3.0)* (LSDS-1927). U.S. Department of the Interior, Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-1927_Landsat7-Data-Users-Handbook-v3.pdf D9 Wret (Letöltve: 2025. 10. 11.)
- Williams, A. P., Cook, E. R., Smerdon, J. E., Cook, B. I., Abatzoglou, J. T., Bolles, K., ... Livneh, B. (2020). Large contribution from anthropogenic warming to an emerging North American megadrought. *Science*, 368(6488), 314-318. <https://doi.org/10.1126/science.aaz9600>
- Wulder, M. A., Roy, D. P., Radeloff, V. C., Loveland, T. R., Anderson, M. C., Johnson, D. M., Healey, S., Zhu, Z., Scambos, T. A., Pahlevan, N., Hansen, M., Gorelick, N., Crawford, C. J., Masek, J. G., Hermosilla, T., White, J. C., Belward, A. S., Schaaf,

C., Woodcock, C. E., Huntington, J. L., ... Cook, B. D. (2022). *Fifty years of Landsat science and impacts*. *Remote Sensing of Environment*, 280, Article 113195. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113195>

Xu, H. (2006). Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

Zedler, J.B., Kercher, S., 2005. WETLAND RESOURCES: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 30, 39–74. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144248>

8. Táblázatok és ábrák jegyzéke

Táblázatok

1. táblázat: A Velencei-tó vízhasználatai.....	15
2. táblázat: A Landsat 7 és 8 sávjai	25
3. táblázat: A Velencei-tó vízfelületének kiterjedése 2021 és 2023 között és ennek a 2021 februári értékhez viszonyított százalékos változása	31
4. táblázat: A Velencei-tó vízfelszínének kiterjedése a vizsgált időszakban Landsat műholdfelvételek alapján	32
5. táblázat: A javasolt vízügyi műszaki beavatkozások becsült költsége, három ütemben	40

Ábrák

1. ábra: Előrejelzett változások az (a) aszály intenzitásában és (b) az aszály gyakoriságában az egyes globális felmelegedési szinteknél az 1850–1900-as bázisidőszakhoz viszonyítva a (c) szárazodó régiókban.....	6
2. ábra: Magyarország éghajlati körzetei az 1961-1990 időszakban (balra) és 1991-2020 között (jobbra)	7
3. ábra: A havi középhőmérséklet és csapadékösszeg országos átlagainak eltérése az 1991-2020-as átlagtól a 2021. január-2022. augusztus időszakban	8
4. ábra: A Velencei-tó elhelyezkedése	9
5. ábra: A Velencei-tó vízgyűjtője.....	11
6. ábra: A Velencei-tó vízállásai reggel 7 órakor 2020 és 2022 között.....	18
7. ábra: A Landsat műholdak üzemelési időtartamai.....	24
8. ábra: Műholdkép vágás előtt és után	27
9. ábra: Adathiányos (fent) és kitöltött (fent) Landsat 7 felvétel.....	28
10. ábra: A vízfelületek elkülönítése: balra a 0 küszöbérték feletti pixeleket fehér színnel megjelenítő bináris raszter, középen a vektoros konverzió során létrehozott körvonalak, jobbra a csak vízfelületeket tartalmazó shape fájl	29
11. ábra: A Velencei-tó vízfelszínének kiterjedése a vizsgált időszakban Landsat műholdfelvételek alapján.....	30
12. ábra: A Velencei-tó vízfelszínének kiterjedése a vizsgált időszakban Landsat műholdfelvételek alapján.....	32
13. ábra: A Velencei-tó vízfelszíne és az agárdi léghőmérséklet alakulása 2021 és 2023 között	33
14. ábra: A Velencei-tó vízfelszíne és a tó vízgyűjtőjének havi csapadékösszegei 2021 és 2023 között	33
15. ábra: A Velencei-tó 2022. évi vízmérlege azt mutatja, hogy az egyes tényezők hány mm pozitív vagy negatív változást idéztek elő a vízszintben.	34
16. ábra: A Velencei-tó vízfelszíne 2021. február 18-án (kék) és 2022. június 29-én (sárga).35	
17. ábra: A Velencei-tó vízfelszíne és havi átlagos vízállásai az agárdi vízmérce alapján 2021 és 2023 között.....	36

9. Mellékletek

1. melléklet: Felhasznált műholdfelvételek (Forrás: <https://earthexplorer.usgs.gov>)

Dátum	Műhold	Azonosító	Sávok
2021.02.18	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20210218_20210302_02_T1	B3, B5
2021.03.06	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20210306_20210312_02_T1	B3, B5
2021.04.23	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20210423_20210501_02_T1	B3, B5
2021.05.09	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20210509_20210518_02_T1	B3, B5
2021.06.26	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20210626_20210707_02_T1	B3, B5
2021.07.28	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20210728_20210804_02_T1	B3, B5
2021.08.21	Landsat7	LE07_L2SP_188027_20210821_20210916_02_T1	B2, B4
2021.09.06	Landsat7	LE07_L2SP_188027_20210906_20211002_02_T1	B2, B4
2021.10.16	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20211016_20211026_02_T1	B3, B5
2021.11.01	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20211101_20211109_02_T1	B3, B5
2022.01.28	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20220128_20230430_02_T1	B3, B5
2022.02.13	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20220213_20230427_02_T1	B3, B5
2022.03.25	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20220325_20220330_02_T1	B3, B5
2022.05.20	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20220520_20230416_02_T1	B3, B5
2022.06.29	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20220629_20220706_02_T1	B3, B5
2022.07.23	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20220723_20230406_02_T1	B3, B5
2022.08.16	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20220816_20220824_02_T1	B3, B5
2022.09.09	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20220909_20230329_02_T1	B3, B5
2022.10.11	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20221011_20230326_02_T1	B3, B5
2023.01.07	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20230107_20230111_02_T1	B3, B5
2023.02.08	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20230208_20230217_02_T1	B3, B5
2023.03.12	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20230312_20230321_02_T1	B3, B5
2023.04.21	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20230421_20230423_02_T1	B3, B5
2023.05.31	Landsat8	LC08_L2SP_188027_20230531_20230607_02_T1	B3, B5
2023.07.10	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20230710_20230712_02_T1	B3, B5
2023.08.11	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20230811_20230813_02_T1	B3, B5
2023.09.12	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20230912_20230914_02_T1	B3, B5
2023.10.14	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20231014_20231015_02_T1	B3, B5
2023.12.17	Landsat9	LC09_L2SP_188027_20231217_20231218_02_T1	B3, B5

2. melléklet: A Velencei-tó vízfelszín-kiterjedésének időbeli alakulása 2021 és 2023 között
(Forrás: saját szerkesztés a mérési eredmények alapján)

Év	Hónap	Dátum	Vízfelszín (m ²)	Vízfelszín (km ²)
2021	január	n.a.	n.a.	n.a.
	február	2021.02.18	8265030	8,27
	március	2021.03.06	8058006	8,06
	április	2021.04.23	7866928	7,87
	május	2021.05.09	7732212	7,73
	június	2021.06.26	7217385	7,22
	július	2021.07.28	6808105	6,81
	augusztus	2021.08.21	6298949	6,30
	szeptember	2021.09.06	6828591	6,83
	október	2021.10.16	7073935	7,07
	november	2021.11.01	7278384	7,28
	december	n.a.	n.a.	n.a.
2022	január	2022.01.28	7830583	7,83
	február	2022.02.13	7890500	7,89
	március	2022.03.25	7781907	7,78
	április	n.a.	n.a.	n.a.
	május	2022.05.20	7258907	7,26
	június	2022.06.29	6112444	6,11
	július	2022.07.23	6800347	6,80
	augusztus	2022.08.16	7007865	7,01
	szeptember	2022.09.09	7059633	7,06
	október	2022.10.11	7054557	7,05
	november	n.a.	n.a.	n.a.
	december	n.a.	n.a.	n.a.
2023	január	2023.01.07	7180023	7,18
	február	2023.02.08	7678932	7,68
	március	2023.03.12	7440186	7,44
	április	2023.04.21	7415598	7,42
	május	2023.05.31	7131286	7,13
	június	n.a.	n.a.	n.a.
	július	2023.07.10	6925264	6,93
	augusztus	2023.08.11	7205611	7,21
	szeptember	2023.09.12	7126738	7,13
	október	2023.10.14	7193864	7,19
	november	n.a.	n.a.	n.a.
	december	2023.12.17	7070856	7,07

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Lévy Boglárka
A Hallgató Neptun kódja: E72S3G
A dolgozat címe: A Velencei-tó vízfelületének változása aszályos időszakban
műholdas távérzékelési adatok alapján
A megjelenés éve: 2025.
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Vízgazdálkodási és Klímadaptációs Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant 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 könyvtári repozitóri rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitóri rendszerében.

Kelt: 2025. év 11. hó 3. nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Lévay Boglárka (hallgató Neptun azonosítója: E72S3G) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védeésre **javaslom / nem javaslom¹**

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: _Nagymaros, 2025 év _november __ hó __03. ____ nap



belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Lévay Boglárka
Neptun-kódja:	E72S3G
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb: TDK
Tantárgy neve/kódja*:	Szakdolgozat
A munka címe:	A Velencei-tó vízfelületének változása aszályos időszakban műholdas távérzékelési adatok alapján

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
fordítás	ChatGPT-5	Irodalmi áttekintés
APA hivatkozások formázása	ChatGPT-5	Irodalomjegyzék
források keresése	ChatGPT-5	

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka **mellékletében való csatolása szükséges.**)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve, Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....


.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Gödöllő, 2025. 11. 03.


.....
Hallgató aláírása


.....
Konzulens/Témavezető aláírása