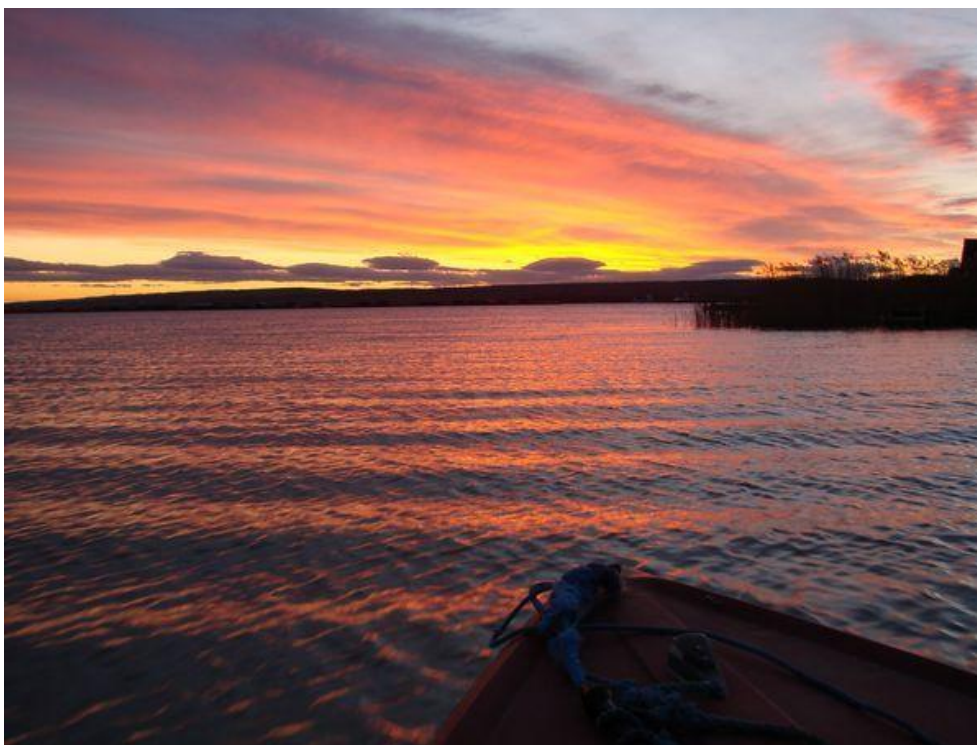


A FERTŐ TÓ AUSZTRIAI TERÜLETÉN MÉRT VÍZMINŐSÉGET LEÍRÓ PARAMÉTEREK IDŐSORAINAK VIZSGÁLATA EGY-ÉS TÖBBVÁLTOZÓS FELTÁRÓ ADATELEMZŐ MÓDSZEREKKEL



Tudományos Diákköri Dolgozat

Készítette: **Magyar Norbert**, Környezettudomány M.Sc. II. évfolyam

Témavezető: Dr. Kovács József adjunktus

Konzulensek: Prof. Alois Herzig, (vezető, Biologische Station Neusiedler See, Illmitz)

Dinka Mária C.Sc. (MTA Ökológiai Kutatóközpont)

Hatvani István Gábor (Ph.D. hallgató)

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

Budapest, 2011.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzés	4
2. Szakirodalmi áttekintés	5
3. Célkitűzés	5
4. Limnológiai elméleti háttér	6
4.1. Tavak	6
4.2. Wetland	6
4.3. Szikes vizek.....	6
5. A Fertő tó	7
5.1. A Fertő tó kialakulása	8
5.2. A Fertő tó vízgyűjtő területe	8
5.3. A Fertő tó vízminősége	9
5.4. Természetvédelmi vonatkozások.....	10
6. Anyag és módszer	11
6.1. Adatelőkészítés, felhasznált adatok és mintavételi helyek.....	11
6.2. Az adatfeldolgozás matematikai alapjai.....	13
6.2.1. A négydimenziós adathalmaz.....	13
6.2.2. Az adatelőkészítés általános problémái	14
6.2.3. Alkalmazott módszerek	15
6.2.3.1. Leíró statisztikák	15
6.2.3.2. Korreláció analízis	15
6.2.3.3. Piper diagram	16
6.2.3.4. Klaszter analízis	16
6.2.3.5. Diszkriminancia analízis és Wilks' Lambda statisztika.....	17
6.2.3.6. Box-and-whiskers ábra.....	18
6.2.3.7. Főkomponens analízis.....	18
6.2.3.8. Izovonalas térképek.....	19
6.3. Alkalmazott programok	19
7. Eredmények	20
7.1. Leíró statisztikák	20
7.2. Korreláció analízis	22
7.3. Piper diagram.....	24
7.4. Klaszter analízis	25
7.5. Diszkriminancia analízis és Wilks' Lambda statisztika	26

7.6. <i>Box-and-whiskers</i> ábrák.....	27
7.7. Relatív szórások alakulása a csoportokban	30
7.8. Főkomponens analízis	31
8. Következtetések	35
8.1. Leíró statisztikák	35
8.2. Csoportok értelmezése elhelyezkedésük alapján.....	35
8.3. Korreláció analízis	37
8.4. Wilks' Lambda statisztikák.....	38
8.5. <i>Box-and-whiskers</i> ábrák és relatív szórások.....	38
8.6. Főkomponens analízis	39
9. Összefoglalás	41
10. Köszönetnyilvánítás	42
11. Irodalomjegyzék	43
12. Mellékletek	47
12.1. Ábrajegyzék	47
12.2. Táblázatjegyzék	48
12.3. A mért paraméterek vizsgálati módszerei	48
12.4. A mintavételi pontok helye	49

Abstract

A Fertő tó Ramsari védetség alatt álló vizes élőhely (wetland), ezért megóvása kulcskérdés. Alapvetően két nagy élőhelytípust különíthetünk el a Fertőn, nádas övet és nyíltvizes területeket.

Feltáró statisztikai módszerekkel megvizsgáltuk az illmitzi biológiai állomás által, a tó ausztriai területén mért paraméterek idősorait, ami ilyen részletességben még nem történt meg. A kutatás fő célja a tó idő- és térbeli heterogenitásának vizsgálata volt. Meg kívántuk határozni, hogy el lehet-e különíteni az egyes időpontokban vízkémiaiilag hasonló csoportokat (vízutakat), ha igen azok milyen tulajdonságokkal rendelkeznek és azokban mely paraméterek magyarázzák az adatok variációjának legnagyobb részét.

A 2000-2009-es időintervallumon belül 34 időpontra, 33 mintavételi hely vonatkozásában, 13 kémiai és biológiai paraméter figyelembevételével végeztünk egy- és többváltozós adatelemzést. Leíró statisztikák alapján átfogó képet alkottunk a tó vízkémiai állapotáról. Ezt követően hierarchikus klaszteranalízist használva a mintavételi pontokat csoportosítottuk, a csoportosítás helyességét diszkriminancia analízissel ellenőriztük. Összesen nyolc egységet, vízutat különítettünk el, köztük nádas csatornák, nádas előtti átmeneti zónák csoportjait, nyíltvizes régiókat, valamint külső befolyók által terhelt területeket.

Az egyes csoportok alapstatisztikái között (medián, relatív szórás) jelentős különbségek mutatkoztak, melyeket izovonalas térképeken és boxplotokon is szemléltettünk. Wilks' Lambda statisztikát használva megállapítottuk, hogy a főbb kationok (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) és anionok (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) sokkal nagyobb mértékben határozták meg a csoportok kialakulását, mint a tápanyagháztartást jellemző változók.

Főkomponens analízist (PCA) alkalmaztunk, hogy meghatározzuk, mely paraméterek magyarázzák az adatok variációjának legnagyobb részét az egész tóban és az egyes csoportokban. A PCA eredményei alapján elmondható, hogy a tóban zajló folyamatokban a fő kationok és anionok (kalcium kivételével) a legfontosabb paraméterek. Nádas területeken a pH és az oldott oxigén, nyílt vizes területeken pedig a kalcium és az összes foszfor egy kisebb jelentőségű háttérfolyamat része. A főkomponens-súlyok térbeli eloszlását izovonalas térképeken is megjelenítettük, amelyeken a külső befolyók helyei, azok jelentős lokális hatásai jól kirajzolódtak.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a Fertő tó nem kezelhető egyetlen egységként, a vízminőségi paraméterek időben és térben változnak. Ez a variabilitás a tó sekélységéből, instabil vízmérlegéből, a Fertő környékén zajló mezőgazdasági művelésből és egyéb antropogén tevékenységekből adódik.

1. Bevezetés

A felszíni vizek minőségének megőrzése országhatárokon átnyúló, kiemelkedően fontos kérdés (Yidana, S. M. et al. 2008). Az egyik legjobb példa erre az Ausztria és Magyarország határán fekvő Fertő tó/Neusiedler See. A vízminőség ellenőrzése, mely a környezetvédelem egyik legfőbb feladatai közé tartozik (Simeonov, V. et al. 2003), fizikai-, kémiai- és biológiai paraméterek rendszeres mérésével valósítható meg (Sargaonkar, A. – Deshpande, V. 2003). A monitoring tevékenység önmagában azonban kevés, szükséges a mért értékek feldolgozása, elemzése is. Az így keletkező összetett adatahalmazok esetében a többváltozós adatelemző módszerek - klaszter analízis (CA), diszkriminancia analízis (DA) és főkomponens analízis (PCA) - nagyban segíthetik az értelmezést, fontos következtetések levonását (Zhou, F. et al. 2007).

A felszíni vizek vízminőségére hatást gyakorolhatnak a környezetükben folyó antropogén tevékenységek (mezőgazdaság, turizmus, stb). Így van ez a Fertő tó esetében is, melynek rekreációs hasznosítása az ausztriai területen jelentős, az emberek szívesen járnak ide fürödni, horgászni, vitorlázni. Természetesen a táj szépségének, élővilágának megismerése és a kikapcsolódás fontos az emberek számára, de ezek következtében problémák merülhetnek fel. Kérdés, hogy a fent említett tevékenységek hogyan és milyen mértékben befolyásolják a vízminőséget. Ennek nyomán követésére mind a magyar, mind az osztrák oldalon természetesen rendszeres megfigyelések folynak.

2. Szakirodalmi áttekintés

A felszíni vizek vízminőségének többváltozós adatelemző módszerekkel (CA, PCA) történő értékelése mintegy 20-25 éves tudományos múltra tekint vissza. A 2000-es években számos kutatásban sikeresen alkalmaztak klaszter analízist tavak, illetve folyók esetében a vízminőség térbeli és időbeli változékonyságának meghatározására (Wunderlin, D. A. 2001; Singh, K. P. 2004; Zhou, F. et al. 2007), hasonló vízkémiai, vízbiológiai tulajdonságú (Filik Iscen, C. et al. 2008; Hatvani I. G. et al. 2010), illetve szennyezett területek (Shrestha, S. - Kazama, F. 2007) elkülönítésére, nehézfém források azonosítására (Zhou, J. 2008), a monitoring stratégiai, például a térbeli mintavételezési gyakoriság optimalizálására (Simeonov, V. et al. 2003; Kazi, T. G. et al. 2009; Juahir, H. et al. 2011).

Az említett kutatók többsége, ahogy mi is, a klaszteranalízist követően főkomponens analízist is alkalmazott, hogy megállapítsa, melyek azok a paraméterek, amelyek leginkább meghatározzák az adatok varianciáját, továbbá milyen hatást gyakorolnak külső befolyások (például antropogén eredetű szennyező források) a tó vízminőségére, a paraméterek sztochasztikus kapcsolataira (Filik Iscen, C. et al. 2008; Kazi, T. G. et al. 2009; Liu, Y. et al. 2010; Juahir, H. et al. 2011). A meghatározott főkomponensek súlyainak térbeli eloszlását izovonalas térképeken is ábrázolhatjuk a mintavételi pontok koordinátáinak ismeretében (Liu, W. C. et al. 2011). A térképeken megjeleníthető, hogy térben hogyan változik az egyes főkomponensek erőssége, azaz mely területeken gyakorolnak az adott paraméterek jelentősebb hatást a vízminőségre.

A többváltozós adatelemző módszerek egyre nagyobb teret nyernek a felszíni vizek minőségének értékelésében. Alkalmazásuk segítségével fontos és új információkat nyerhetünk ki komplex adathalmazokból, optimalizálhatjuk a monitoring tevékenységet, csökkenthetjük annak költségeit.

3. Célkitűzés

A mintavételezés gyakoriságát, a mintavételi pontok számát az Európai Unió Víz Keretirányelve (VKI; Water Framework Directive 2000/60/EC) jelöli ki, ami az összes 50 hektárnál nagyobb állóvizet, vizenyős területet, így, a Fertő tavat is önálló víztestként jelöli meg. Feltételezéseink szerint a Fertő VKI által kijelölt egyetlen vízteste nem homogén, vízminőségi szempontból kisebb csoportokra, víztájakra osztható. Meg kívántuk határozni, hogy a Fertő tóban léteznek-e különböző víztájak, ha igen akkor szám szerint mennyi. Arra kerestük a választ, hogy ezek a csoportok milyen tulajdonságokkal rendelkeznek, mely paraméterek magyarázzák az adatok varianciájának legnagyobb részét bennük. Ezen kérdések megválaszolásához egy-és többváltozós feltáró statisztikai módszereket alkalmaztunk. Ismereteink szerint a Fertő tó vonatkozásában ilyen részletességű feldolgozás még nem történt. A kutatáshoz szükséges idősorok mind a magyar, mind pedig az osztrák tórész területéről rendelkezésünkre álltak. Sajnos a mintavételezés időpontjai és a laborvizsgálati

módszerek sem voltak egységesek, így az adathalmazokat a két országban nem tudtuk együtt vizsgálni, a dolgozat csak az ausztriai területre terjed ki.

Reméljük, hogy munkánk, az általános tudományos érdeklődés mellett, a szakterület számára új és hasznos információkkal nyújt, továbbá segíti a tó monitoring rendszerének optimalizálását. Bízunk benne, hogy az eredmények alapjául szolgálnak annak a vékony ösvénynek a fenntartásához, ami a Fertő tó hasznosítása és védelme között húzódik.

4. Limnológiai elméleti háttér

4.1 Tavak

A tavak a szárazföld mélyedéseiben elhelyezkedő, többé-kevésbé minden oldalról zárt, álló víztömegek, melyekben a nyílt vízfelület dominál és nincsenek közvetlen összeköttetésben a tengerrel. Szegélynövényzet és hínaras állományok egy keskeny part menti részre terjednek csak ki bennük. Az édesvizekkel (összes oldott sótartalom nem több mint 0,5‰) a limnológia tudománya foglalkozik ('limnosz' görögül tavat jelent), azokat komplex – fizikai, kémiai és biológiai komponensek kölcsönhatása által kialakuló - rendszerként vizsgálja. Az egybefüggő vízfelület mérete és a növényzet aránya alapján elkülöníthetünk: tavat, fertőt, mocsarat, átmeneti lápot, lápot és időszakos vizeket, mint például pocsolyákat, tócsákat, és telmákat¹ (Padisák J. 2005).

4.2 Wetland

A wetland (vizenyős terület, vizes élőhely), olyan összetett ökológiai rendszer, ami javíthatja a vízminőséget, természetes árvízvédelmet biztosíthat, enyhítheti az aszályokat, rátáplálhat a felszín alatti víztárolóra és stabilizálhatja a partvonalakat (Zedler, J. B. et al. 2001). Ezek a területek átmenetet képeznek a szárazföld és a vízi élőhelyek között. Lehetnek állandóan- (tőzeges mocsarak), vagy időszakosan nedvesek (ezek nyár közepére kiszáradnak). A Ramsari Egyezmény (1971) - melyet Magyarország 1979-ben, Ausztria 1983-ban írt alá - az alábbiak szerint definiálja a wetland fogalmát: „*A wetland-ek vizenyős területek, melyek lehetnek természetesek, vagy mesterségesek, állandóak, vagy időszakosak, vizük lehet álló- vagy folyóvíz, sós-, brakk- vagy édesvíz, beleértve azokat a tengerparti területeket, ahol a víz apály idején nem mélyebb, mint 6m.*” (Turner, R. K. et al. 2000).

4.3 Szikes vizek

Az 1996. évi LIII. (a természet védelméről szóló) törvény meghatározása szerint a szikes tó olyan természetes vagy természet közeli vizes élőhely, amelynek medrét tartósan vagy időszakosan legalább 600 mg/liter nátrium kation dominanciájú oldott ásványi anyag tartalmú felszíni víz borítja, illetve a területén sziki életközösségek találhatók. (Kákonyi Á. 2009). Ez a törvény a szikes tavakat, melyek az elmúlt évtizedekben a pusztulás szélére sodródtak ex lege² védett természeti értéként jelöli meg. A különböző antropogén tevékenységek (lecsapolás, melioráció³, tóalakítás, felszíni eredetű szennyezés okozta eutrofizáció⁴, gyepfeltörés, rossz gyephasználat, anyagnyerés stb.) nemcsak a tavak vízborítottságának, vízminőségének, összetételének megváltozását idézi elő, azok létét is fenyegetik. A fokozott figyelmet érzékenységük, veszélyeztetettségük mellett az is indokolja, hogy számos védett és ritka faj számára biztosítanak élőhelyet.

¹kicsi, speciális mélyedésekben időszakosan felgyűlő vizek, melyek mennyisége csak néhány liternyi

²külön védetté nyilvánítási eljárás nélkül, a törvény hatályba lépésének napjától védett

³talajjavítás

⁴a vizek szervesen növényi tápanyagban, elsősorban foszfor-és nitrogénvegyületekben történő dúsulása

A Kárpát-medence szikes tavai (szikes vizei) közül a két legnagyobb a Fertő tó és a Velencei-tó, de ezek a klasszikus értelemben vett magyarországi szikes tavaktól (pl.: alföldi szikesek) mind kiterjedésben, mind pedig jellegben különböznek. A szárazföldi sós vizeken belül tehát el kell különítenünk a szikes vizek fogalmát. A szikes vizek elsősorban nátrium és hidrogén-karbonát-ionokban gazdagok, de a kémiai komponensek a környezeti tényezők következtében nagyfokú egyedi és szezonális változatosságot mutatnak bennük. (Boros E. 2002.)

5. A Fertő tó

A tó nevében szereplő „fertő” szó mocsaras, sáros, agyagos helyre utal, lefolyástalan, bűzös pocsolyát jelent. Varga Lajos, aki a tó elismert limnológusa, tótípus-tani fogalomként vezette be ezt a szakirodalomba: „A fertők nagyobb kiterjedésű, igen sekély állóvizek, mind fizikai-kémiai, mind biocönotikai⁵ szempontból nagymértékben ingatag egyensúlyi állapotot mutatnak; az egész vízréteg termelő és elbontó. A tavi elöregedés előrehaladott állapotában vannak, gyakran kiszáradnak, télen fenéig befagynak, nyíltvizükön intenzív a szélhatás, a víz és az iszap hőmérséklete a légkör hőmérséklet-változását gyorsan követi, iszapjuk a kisebb szelek hatására is fölkeveredik, élőviláguk változatos” (Varga L. 1962). Ezek a megállapítások a Fertő tóra szinte kivétel nélkül igaznak tekinthetők (Némethné D. I. 2008).

A Fertő igazi síkvidéki sós tó, az Eurázsiai sztyepp-tó rendszer legnyugatibb és legnagyobb képviselője. Földrajzi elhelyezkedése különleges, mivel a tavat egy mesterséges, politikai határ, Magyarország és Ausztria országhatára vágja ketté. A tó hosszúsága 35 km, szélessége 6-12 km között változik (Kutrucz Gy. et al. 2010). Kiterjedése 309 km², amiből 75 km² található Magyarországon, 234 km² pedig Ausztriában (Dinka et al. 2010). A Fertő sekély (átlagos mélység 1,1 m), jól átkevert, szabályozott kifolyású tó, melynek vízszintingadozása jelentős mértékű (Dokulil, M. T. – Herzig, A. 2009). Vízsztintjét 115,6-115,8 mBf között szabályozzák (Kutrucz Gy. et al. 2010). Alapvetően 2 nagy élőhelytípust különíthetünk el rajta, a nádas övet, illetve a nyíltvízes területeket, ezek mellett még meg kell említeni a nádállományt átszelő csatornákat is (Dinka M. et al. 2009).

A tó vízmérlege instabil, mivel vízbevitelének legnagyobb része a csapadékból, vesztesége a párolgásból származik. A Fertő átmenetet képez az asztatikus⁶- és a szemiasztatikus⁷ típusú tavak között (Padisák J. 2005). A feljegyzések szerint a tó több alkalommal is teljesen kiszáradt (Kováts Z. – Kozmáné T. E. (szerk.) 1982). A légmozgás szinte állandó, az orografikus⁸ hatások következtében az ausztriai terület uralkodó széliránya az ÉNY-i, ezt gyakoriság szempontjából a DK-i követi (Löffler, H. (ed.) 1979). Rétegződés csak ritkán, szélcsendes nyári napokon alakulhat ki a tóban, akkor is csak rövid időre, mivel a szél szinte rendszeresen felkeveri a vizet. (Pannonhalmi M. 1975). A tó általános áramlási rendszerrel rendelkezik, mely az óramutató járásával megegyező irányú. Az öblökben ezzel ellentétes áramlási irányok viszonyok is kialakulhatnak (Löffler, H. (ed.) 1979). Meg kell jegyezni, hogy a korábbi kutatásokból ismert szél-, csapadék- és áramlási viszonyokat jellemző adatok, üledékkémiai vizsgálatok részletes tárgyalása nem képezte a dolgozat tárgyát a terjedelmi korlátok következtében.

⁵ növények és állatok összessége egy bizonyos területen, amelyre jellemző egy meghatározott függőségi kapcsolatrendszer.

⁶ bizonyos időközönként kiszáradó tó

⁷ olyan tó, amelynek befolyói mellett nincs természetes kifolyója, és vízgyűjtője elég nagy, kiszáradásával nem kell számolni

⁸ domborzati

5.1 A Fertő tó kialakulása

A Fertő tó keletkezéséről a napjainkban elfogadott általános elképzelés előtt több elmélet is létesült. Voltak, akik úgy gondolták, hogy a tó medencéjét szél általi erózió alakíthatta ki. Bár a Fertő ténylegesen egy szélkapuban helyezkedik el a Lajta és a Kis-Kárpátok között, még sem találhatók meg a környéken nagymértékű defláció⁹ nyomai, ami ezt az elméletet igazolná. Egy másik elképzelés szerint az Ős-Duna formálta a tó medencéjét. Ezen állítást alátámasztó bizonyítékok (jelentősebb kavicsmennyiséget kimutató fúrások) sem kerültek azonban elő. Feltehetőleg a környék kavicsstakarójának (Parndorfi plató, Ikva törmelékkúpja, Fertőzug) kialakulása idején a Fertő tó medencéje még nem létezett.

A kutatások alapján a jelenlegi elfogadott álláspont, hogy a tó medencéje a Nagy-és Kisalföld peremvidékein történt pleisztocén kéregmozgás során keletkezett. A pleisztocén utolsó interglaciálisában¹⁰ tektonikai süllyedés következtében lefolyástalanná vált ez a terület. A Fertő tavat tápláló mellékvizek (Wulka-patak, Rákos-patak) fokozatosan hátráló erózióval fejlődtek ki. A tó déli része tovább süllyedt, ez okozhatta a keleti területek feltöltődését. A fosszilis organizmusok elemzése alapján a tó „életkorát” kb. 20 000 évre becsülik a kutatók. 1972-ben talajmechanikai fúrások történtek a Fertő területén, az így kapott mintákban lévő polleneket is megvizsgálták. Az eredmények arra engednek következtetni, hogy a tó mindig sekély vizű volt. (Kováts Z. – Kozmáné T. E. (szerk.) 1982)

5.2 A Fertő tó vízgyűjtő területe

A Fertő tó vízgyűjtő területe domborzati szempontból három eltérő jellegű részre osztható:

- hegyvidéki (vízgyűjtő NY-i, ÉNY-i része a Lajta hegység nyúlványaival)
- dombvidéki (vízgyűjtő É-i, ÉK-i része)
- síkvidéki (Parndorfi-fennsík, a tavat NY-ról és D-ről körülvevő Fertőzug)

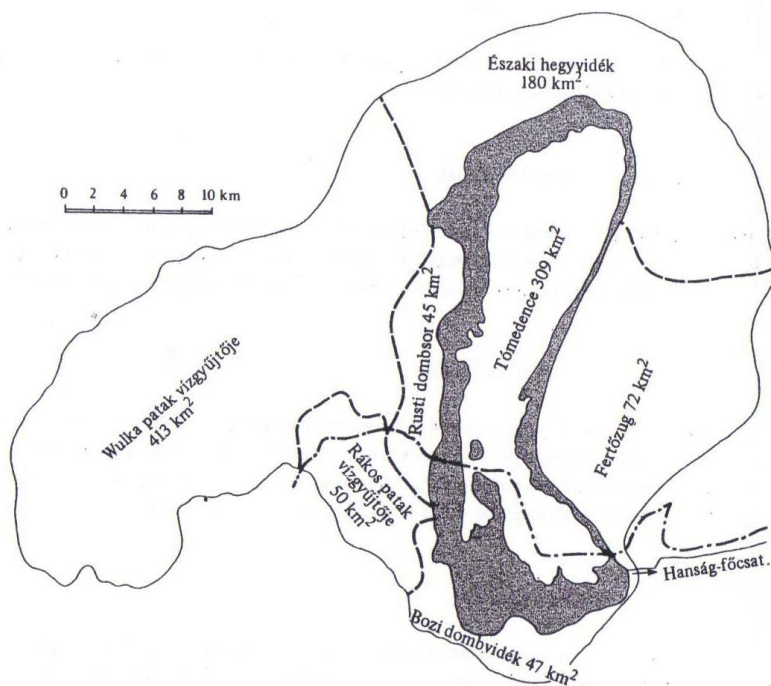
A tómeder, valamint a vízgyűjtőterület kiterjedésének meghatározása a vízgazdálkodási beavatkozások következtében nagy bizonytalansággal terhelt. A vízfelület a meteorológiai viszonyoknak megfelelően folyamatosan változik. A tómedence partvonalát 1976-ban az Északdunántúli Vízügyi Igazgatóság 116 mAf-i (osztrák alapsík szerinti) szintvonallal azonos határoló vonalban határozta meg. Az így lehatárolt tómedence területe 309 km².

A Fertő tó vízgyűjtője 6 részvízgyűjtő területre osztható, melyek elhelyezkedését és kiterjedését az 1. ábra mutatja be. A legjelentősebb felszíni tápláló a Wulka-patak (évi középvízhozama: 1,25 m³/s), melyet a Rákos-patak (évi középvízhozama: 0,07 m³/s) követ. (Kováts Z. – Kozmáné T. E. (szerk.) 1982). A Wulka az osztrák Purbach (Feketeváros) és Oggau (Oka) között, míg a Rákos-patak, Fertőrákosnál torkollik a tóba. (Kutruicz Gy. et al. 2010). Ezen két vízfolyás vízgyűjtője és a tómedence közötti területet a Ruszti dombsor fedi le. A tó DNY-i, NY-i oldalán elhelyezkedő Bozi dombvidék a Ruszti dombsorhoz hasonlóan nem rendelkezik jelentős vízszállítóval. A második legnagyobb kiterjedésű részvízgyűjtő az Északi hegyvidék, mely domborzatilag nagyon változatos. Nyugati része hegyvidéki, míg keleti része síkvidéki jellegeket hordoz. A tómedencétől K-re található a Fertőzug területe, amit kiterjedése és lefolyási viszonyai alapján is csak bizonytalanul lehet lehatárolni.

A tómedence és a felszíni vízgyűjtő területének aránya (1:2,6) a tó vízháztartásának szempontjából nagyon kedvezőtlen. A felszíni vízgyűjtők 88,5%-a tartozik Ausztriához, ez 714 km²-t jelent a 807 km²-ből. A tómedence ¾-e is határainkon túl helyezkedik el. (Kováts Z. – Kozmáné T. E. (szerk.) 1982)

⁹szél általi erózió

¹⁰jégkorszakok közötti időszak



1. ábra. A Fertő tó vízgyűjtő területe (Kováts Z. – Kozmáné T. E. (szerk.) 1982)

5.3 A Fertő tó vízminősége

„A víz minőségén a víz tulajdonságainak összességét értjük, amelyet természetes és antropogén (emberi tevékenység) hatások határoznak meg és a mindenkori hidrológiai állapotokhoz kötődik.” (Némethné D. I. 2008)

A Fertő tó vize vízkémiai szempontból három jól elkülöníthető területre osztható fel a szakirodalom alapján: nyíltvíz, nád közötti víz és a nádasok által körülvevett belső tavak vizére. Mind összetétele, mind pedig megjelenése alapján átmenetet képez ezen típusok között a több mint 300 km hosszú csatornahálózat vize, ami az időjárási-, áramlási viszonyoktól, illetve térbeli elhelyezkedésétől függően áll közelebb a fent említett három típus valamelyikéhez. Ez az eltérés a víz színében is megmutatkozik. Míg a csatornák, belső tavak, nádas területek vizét az oldott huminsavak¹¹ sárgásbarnára színezik, addig a nyíltvízes területek vize alapvetően színtelen. A tó sekélységéből adódóan kis szél is felkeveri a nyíltvízi fenékiszapot, szürkés árnyalatot adva így a víznek. Ezen területeken erős szél esetén az átlátszóság is drasztikusan lecsökken (<10 cm) (Kutrucz Gy. et al. 2010).

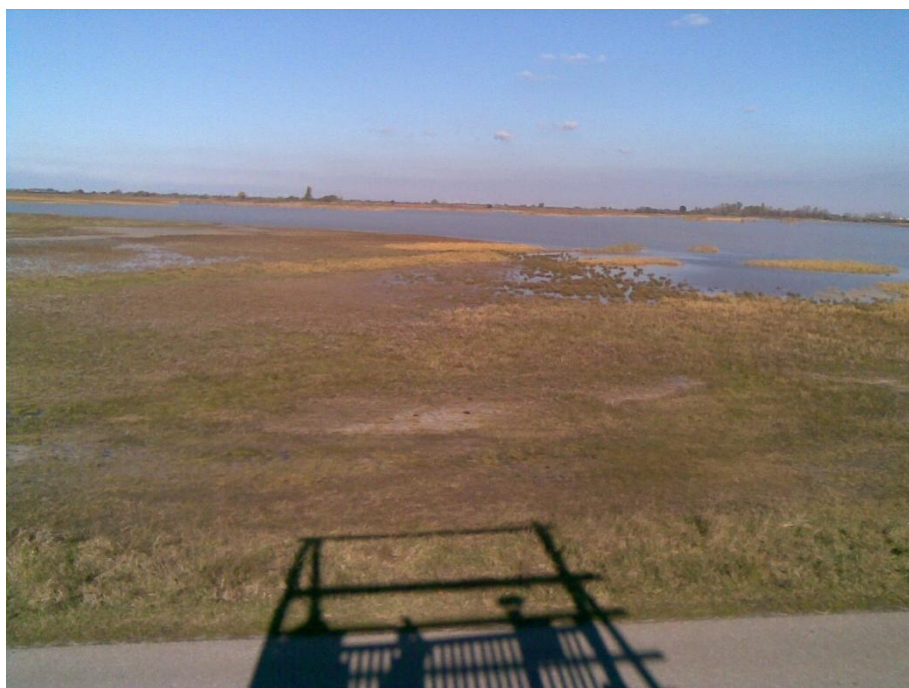
Fertő tó vizét magas sótartalom jellemzi. Domináns kationjai a nátrium és a magnézium, anionjai közül a klorid, szulfát és a hidrogén-karbonát rendelkezik nagy koncentráció értékekkel (Némethné D. I. 2008). Nyári hónapokban a sókoncentráció - mely széles határok között ingadozik – meghaladhatja akár a 2000 mg/l-t is. A víz alkáli jellegű, lúgos kémhatású, pH-ja szinte mindenhol 8,0 feletti (Abért L. et al. 2006). A nádas és a nyíltvízi területek között a megjelenés és a fényviszonyok mellett nagy különbség mutatkozik az oldott oxigén tekintetében is. A nyíltvízi tófelületen a levegőből történő oxigénbeoldódás és a rendszeres átkeveredés, valamint a viszonylag kis szerves terhelés miatt előnyös oxigénviszonyok, addig a nádövezetben gyakran oxigénszegény vagy anaerob körülmények uralkodnak (Kutrucz Gy. et al. 2010).

¹¹kémiaiilag többszörösen szubsztituált poliaromás, heterociklusos makromolekulák, ahol a ciklusos struktúrákat alifás szénláncok kapcsolják össze

A Fertő tó esetében különös figyelmet kell fordítani a tápanyagokra is. A vízminőséget természetes tápanyag potenciál jellemzi, ami elősegíti a feliszapolódást, valamint az elnádásodást is. Ezt tovább fokozzák a diffúz bemosódások, illetve a tó többcélú hasznosításából adódó terhelések, melyek egyaránt problémát jelentettek a '60-as – '70-es évekig. A '80-as évek közepétől a védelmi és helyreállítási intézkedések eredményeként az alga biomassa mennyisége, így a trofitás¹² is csökkenni kezdett. Az elmúlt évtizedekben a csatornázás, körvezeték-, illetve a szennyvíztisztítás kiépítésének köszönhetően már főként az árvizek során történő szilárdanyag bemosódások gyakoroltak csak jelentős külső hatást a tó tápanyagháztartására. A foszfor-és nitrogén mérleg alakításában a felszíni hozzáfolyások játsszák a legnagyobb szerepet, de száraz években a légköri foszforterhelés hatása is jelentős lehet (Abért L. et al. 2006).

5.4 Természetvédelmi vonatkozások

A Fertő vizes élőhelynek (wetlandnek) minősül. Ezek a legveszélyeztetettebb ökoszisztémák¹³ egyikei, faji és élőhelyi diverzitásuk¹⁴ is nagyon gazdag (Dinka et al. 2004). 1977-ben az osztrák, 1979-ben pedig a magyar tórészt az UNESCO bioszféra rezervátummá nyilvánította; 1989 óta a Ramsari Egyezmény nemzetközi jelentőségű vizes élőhelyei között tartják számon a Fertőt. 1991-től a Fertő-Hanság Nemzeti Park a szomszédos Nationalpark Neusiedlersee-Seewinkel ausztriai nemzeti parkkal együtt az IUCN¹⁵ által elismert, védelmi zónák szerint kezelt terület, amelynek magját a Fertő tó adja. 2001-ben a tó és környéke a Világörökség státuszt is elnyerte (Dinka M. et al. 2009).



Forrás: Saját fotó

¹²a vízi ökoszisztéma növényi szerves anyag termelésének erőssége, ami az ökoszisztéma energia- befogadó képességével egyenlő

¹³ Az élőlények és az őket körülvevő és velük kapcsolatban lévő környezet összessége

¹⁴sokféleség

¹⁵Nemzetközi Természetvédelmi Unió (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources)

6. Anyag és módszer

6.1 Adatelőkészítés, felhasznált adatok és mintavételi helyek

A monitoring mintavételezését az Illmitzben működő Biologische Station Neusiedler See végzi / végezte. A mintákat a tó 38 pontjáról, nyíltvízi és nádas előtti területekről, illetve a nádállomány közötti csatornákból gyűjtik, fizikai-, vízkémiai-, és vízbiológiai paramétereket mérnek.

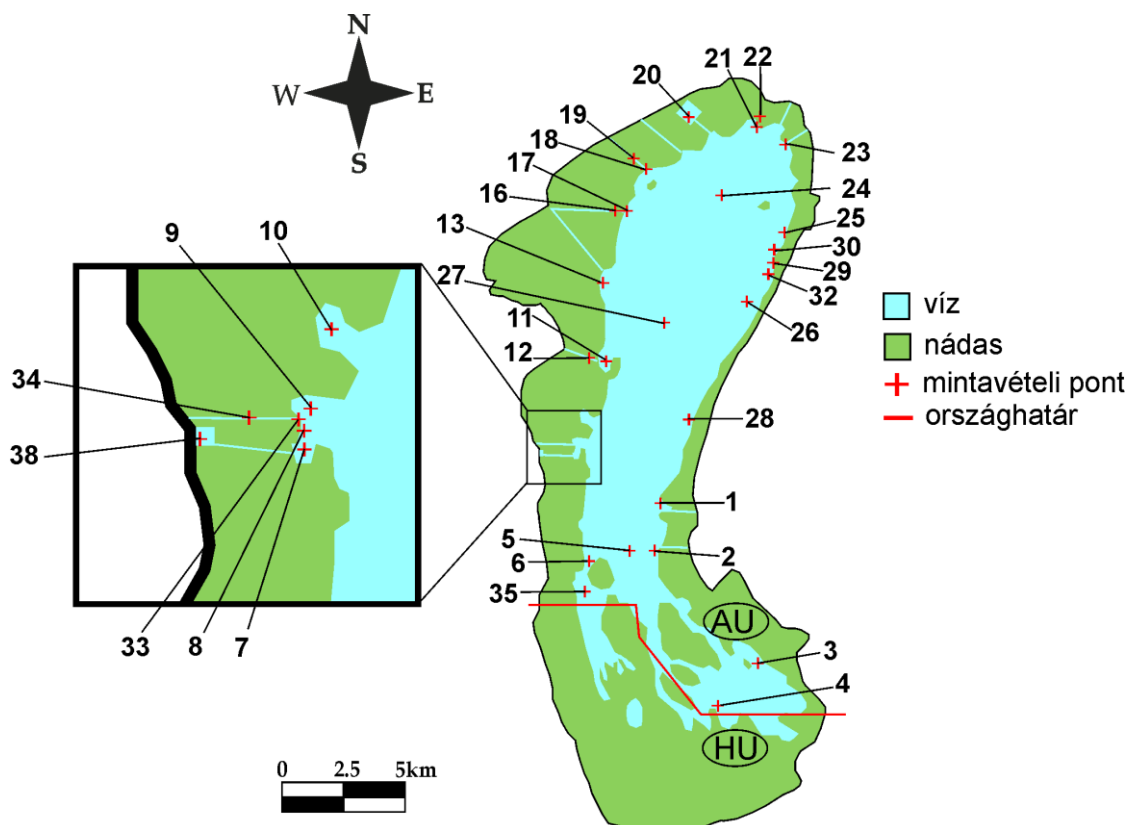
Az adathalmaz természetesen hibával volt terhelt, amiket matematikai módszerek helyett manuálisan küszöböltünk ki. Azért választottuk ezt az eljárást, mert ha egy adott tartományon belüli adatokat (például az alsó és felső 90%-os percentilis közé esőket) fogadtuk volna csak el helyesnek, akkor rendkívüli események (árvíz, extrém meteorológiai események) miatt keletkezett, kiemelkedően magas, de releváns adatok maradtak volna ki a vizsgálatokból.

Az adatelőkészítés során minden mintavételi ponton ábrázoltam az egyes paraméter értékeit az idő függvényében. Az így kapott diagramokat egyesével átvizsgáltam és az összes olyan esetet ahol extrém adatot, vagy esetleg szakadást találtam, feljegyeztem. Ahol egyértelműen adatrögzítési hiba történt, azt természetesen korrigáltam. A kérdésesebb esetekről jegyzőkönyvet készítettem, és ezekről konzulensemme, Ausztriában személyesen is egyeztettem. Az adatsoron elvégzett változtatásokat is jegyzőkönyvbe vettem, jelezve a hibás és a korrigált értékeket is, így pontosan visszakövethető az adathalmazon végzett minden változtatás. Az adatsorok tényleges elemzésének csak ezután, a hosszas adatellenőrző munka után láttunk neki.

A mért paraméterek közül az alábbiak feleltek meg a későbbiekben bemutatott adatelemző módszerek feltételeinek: pH, oldott O_2 , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- (mg/l), összes foszfor (ÖP), NH_4-N , NO_3-N , klorofill-a ($\mu g/l$). A mintavétel és a laborvizsgálatok egységessége lehetővé tette az eredmények összehasonlíthatóságát.

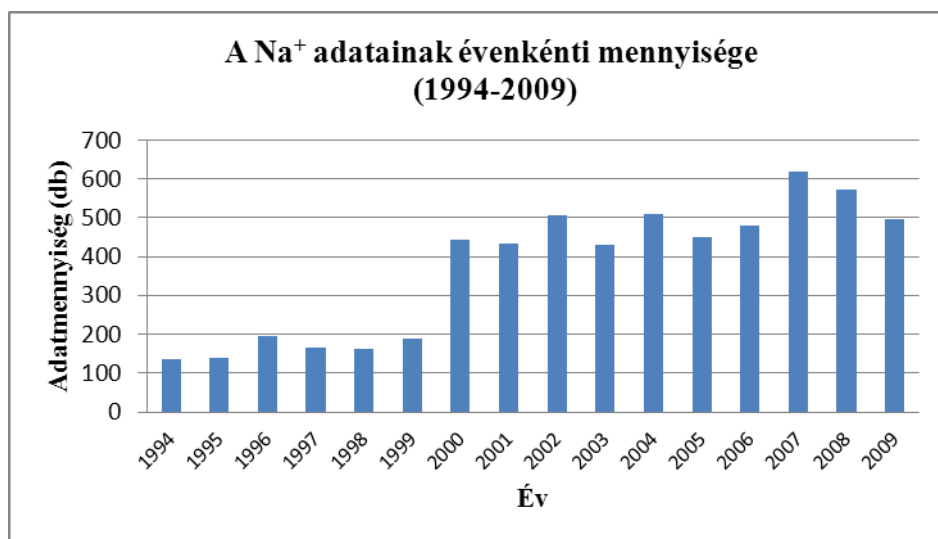
A rendelkezésünkre álló idősorok az 1994-től 2009-ig terjedő időintervallum adatsorait tartalmazták. A mintavételezés gyakorisága a különböző mintavételi pontokon nem volt azonos. A mintavételi helyek közel felén csak havonta, a többin hetente történt mintavételezés. A hetente vizsgált mintavételi pontokon az adatok ritkítására volt szükség. A 14-es, 15-ös és 31-es mintavételi pont esetén nem állt megfelelő mennyiségű adat a rendelkezésünkre ahhoz, hogy bevonjuk azokat a vizsgálatokba.

Szintén nem képezte részét az elemzéseknek a 36-os és a 37-es mintavételi hely, ahol a megfelelő számú mintavétel ellenére az egyes időpontokban sok paraméter értéke hiányzott. A felhasznált mintavételi pontok területi elhelyezkedését a 2. ábra mutatja be.



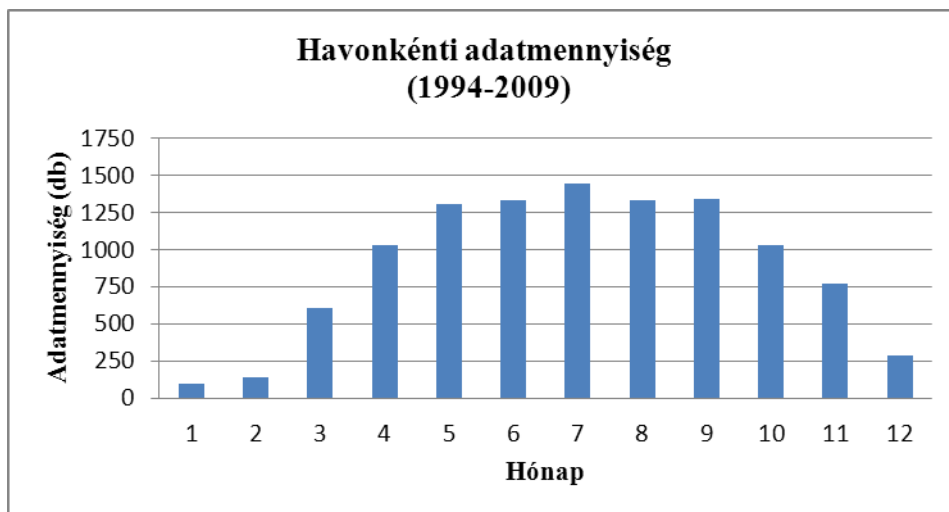
2. ábra. Mintavételi pontok helye a Fertő tó ausztriai területén

Mivel az ezredforduló előtt a mintavételi helyek többségén a fő kationok és anionok koncentrációját nem mérték az adatelemző módszerek szempontjából kellő rendszerességgel (3. ábra), ezért a vizsgálatokat a 2000-2009-es időintervallumra szűkítettük.



3. ábra. A nátrium adatainak mennyisége az egyes években (1994-2009)

A téli hónapokban (és márciusban) jégborítás esetén a mintavételi pontok jelentős hányadán nem történt mintavétel (4. ábra), így ezen időszakok adatait sem tudtuk figyelembe venni a vizsgálatok során.



4. ábra. Az adatmennyiség havonkénti megoszlása (1994-2009)

A vizsgált időintervallumon belül végül 34 időpontot és 33 mintavételi helyet, így összesen mintegy 15 000 adatot használtunk fel a statisztikai elemzés során.

6.2 Az adatfeldolgozás matematikai alapjai

Ezen fejezet megírása során főként Kovács József és munkatársai által írt Analysis of water quality data for scientists megjelenés alatt álló könyvfejezetét, Münnich Ákos, Nagy Ágnes és Abari Kálmán 2006-ban kiadott Többváltozós statisztika pszichológushallgatók számára c. munkáját, valamint Sajtos László és Mitev Ariel: SPSS Kutatási és adatelemzési kézikönyvét (2007) használtam fel.

6.2.1 A négydimenziós adathalmaz

Az alkalmazott módszerek rövid leírása előtt tekintsük át, milyen típusú adatok fordulnak elő a földtudományokban és nézzünk néhány módszert, amelyek alkalmazhatók.

Egy vízföldtani, hidrológiai folyamatot gyakran egy időpontban mért állapotjellemzők írnak le. Ha a folyamat állapotának változásait is követni kívánjuk, idősorokkal van dolgunk. Lássuk a problémát egy kicsit részletesebben! A földtudományokban előforduló megoldandó feladatok jelentős része térben elhelyezkedő pontokhoz kötődik, ahol mért paraméterek vizsgálatára van szükségünk. A térbeli helyzetet két dimenzióval írhatjuk le, míg a paraméterek a harmadik dimenzióban helyezkednek el. Ezt láthatjuk a 5. ábra S_1 síkján.

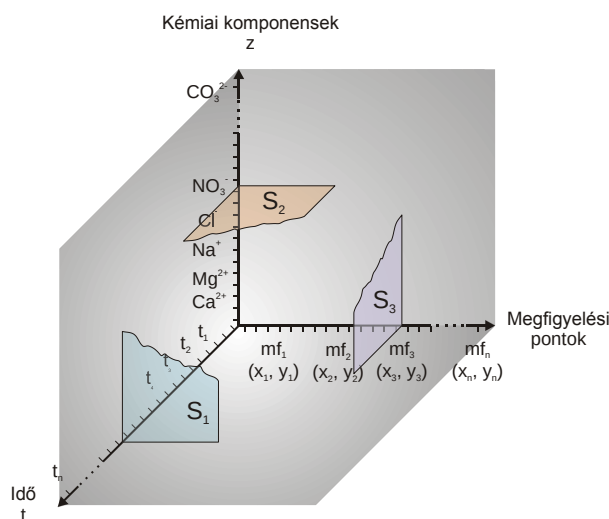
Vizsgálataink – az egyváltozós statisztikai elemzésen túl – történhetnek sokváltozós adatelemző módszerekkel. A számtalan eszköz közül leggyakrabban használatos a klaszter-, diszkriminancia-, főkomponens-, és a faktor analízis. Klaszter analízist alkalmazhatunk megfigyelési pontjainkra, amikor az azok közötti hasonlóságot szeretnénk feltárni. Ilyen feladat például, ha arra vagyunk kíváncsiak, mely mintavételi pontok kémiai karaktere hasonlít legjobban egymáshoz. Egy másik cél lehet az eredeti változók számától kevesebb háttérváltozó meghatározása, amelyekkel az eredeti adathalmaz varianciájának nagy része magyarázható. Ekkor főkomponens vagy faktor analízis alkalmazása jöhet szóba. Klaszter analízis esetén az adatmátrix soraira, míg főkomponens és faktor analízis során az oszlopaire végzünk vizsgálatokat.

Adataink nagyon gyakran tartalmazzák a 4. dimenziót, az időt is. Ebben az esetben az adatmátrix nem statikus, S_2 síkban vagyunk. Itt gyakori kérdés, hogy milyen háttértenyezők befolyásolják a mért paraméterek időbeli fluktuációját. Mivel az egymás

utáni időpontokban mért paraméter értékei egymástól nem függetlenek, az időbeli összefüggést figyelembe kell venni. Alkalmazandó módszerként a dinamikus faktor analízis (DFA) jöhet szóba (Márkus L. et al. 1999).

Másik lehetőség, ha egy rögzített megfigyelési pontban több paraméter (például kémiai komponensek) időbeli változásait mérjük. Ekkor az S_3 síkban „vagyunk”, (S_2 síkban megfigyelési pontonként). Alkalmazhatunk „klasszikus idősoros” vizsgálatot (Shumway, R. H. - Davis, S. S. 2000), amely magában foglalja az egyenkénti paraméterek tartós irányzatának – trend – és periodikus viselkedésének becslését. Egy folyamatban megállapított trend és periódus felhasználható előrejelzésre, de a jövőre nézve azonban csak akkor vonhatóak le következtetések, ha bizonyosak vagyunk abban, hogy az idősort alakító hatások a jövőben is fent fognak maradni.

A földtudományokban lényeges az egyes pontok térbeli helyzete, amelyeket a megfigyelési pontok tengelyén x_i és y_i koordinátákkal jelöltünk. Ha vizsgálatainknál figyelembe kell vennünk a mintavételi pontok térbeli elhelyezkedését is, akkor a geostatisztika eszköztára segíthet bizonyos problémák megoldásában. Ilyen eset egy paraméter eloszlástérképének elkészítése egy adott időpillanatban. Ha azonban egy paraméter téridő (spatiotemporal) változásait kívánjuk vizsgálni, például nem stacionárius esetben, akkor csak kevés eszköz áll rendelkezésünkre. Az utóbbi években az ilyen négydimenziós problémák vizsgálata is elindult (Dryden, I. et al. 2005).



5. ábra. A négydimenziós adathalmaz (Kovács J. – Kovácsné, Sz. I. 2006)

6.2.2 Az adatelőkészítés általános problémái

A sokváltozós adatelemző módszerektől csak akkor várhatunk jó eredményt, ha az adott folyamat vizsgálatára olyan jellemzőket (más szóval paramétereket, valószínűségi változókat) veszünk figyelembe, amelyek tartalmazzák a keresett információt és kellően pontosan írják le a vizsgálandó folyamatot, tehát elegendő megfigyelés áll rendelkezésre. Ennek eldöntése mindig az adott szaktudomány feladata és felelőssége. Az adatelemző módszerek szempontjából az alapvető statisztikai stabilitás miatt lényeges, hogy $n \gg m$ (Füstös L. et al. 1986), vagyis a mintavételi pontok (esetek) száma jelentősen nagyobb legyen, mint a vizsgált paramétereké.

Az adatelemzés szempontjából kulcsfontosságú követelmény a vizsgálandó adatmátrixszal szemben, hogy ne legyen benne hiányzó adat. A vízminőség paramétereinek mérése esetén ezt gyakran nem sikerül biztosítani. Ilyenkor meg lehet próbálkozni valamilyen adatpótlással. Ennek a feladatnak a végrehajtása nagy körültekintést igényel, különös tekintettel a becslés pontosságára.

Helytelen következtetésekre juthatunk kiugró és extrém értékek jelenléte esetén. Különösen fontos tehát annak eldöntése, hogy egy adott paraméter értékei olyan változékonysággal bírnak, hogy a kiugró vagy extrém értékek elfogadhatók, vagy egy adatrögzítési problémáról van szó. Gyakori a vízminőségi adatok között olyan valószínűségi változó, amely más paraméterből számolt, matematikai értelemben más változó lineáris kombinációja. Az ilyen származtatott paramétert nem vonjuk be a sokváltozós adatelemzésbe. Az adatmátrixszal szemben támasztott követelményeket csak akkor lehet betartani, ha a vizsgálat megkezdése előtt adatainkat részletesen és alaposan áttekintjük. Ez a feladat az adatelemzési folyamat legkellemetlenebb, legkevésbé érdekes, de nagy időráfordítást igénylő része. Elmulasztása esetén egyértelműen helytelen eredményekre és következtetésekre jutunk.

6.2.3 Alkalmazott módszerek

Az alkalmazandó módszereket illetően, lehet egy jó eredménnyel kecsegtető sorrend a következő. Az adatmátrix ellenőrzése után fontos és szükséges az adatok vizsgálata egyváltozós statisztikai módszerekkel, mely tartalmazza a leíró statisztikákat, és a sztochasztikus kapcsolatok meghatározását. Ezek után célszerű adatainkat többváltozós adatelemző módszerekkel vizsgálni. Első lépésként a klaszter analízis javasolható, melynek eredményként a hasonló mintavételi pontok csoportjait kapjuk meg. Diszkriminancia analízist használhatunk a csoportosítás helyességének ellenőrzésére.

A továbbiakban több dologgal is érdemes foglalkozni. Meghatározhatjuk, hogy a sok változóval leírt rendszerben mely paraméterek befolyásolták leginkább a csoportosítást, illetve melyek az egyes csoportokban nagy jelentőséggel bíró folyamatok. Ezen felül célszerű megtekinteni az egyes csoportok paramétereinek statisztikáit is. Mivel megfigyelési pontjaink a földrajzi térben helyezkednek el, így lehetőség nyílik a feltáró sokváltozós adatelemzés eredményeinek térben való megjelenítésére is.

6.2.3.1 Leíró statisztikák

A leíró statisztikák a kutatómunka kiindulópontját képezik. A mintaszám, minimum, maximum, átlag, medián, szórás, relatív szórás stb. értékei sok hasznos információt nyújthatnak a vizsgálatok korai szakaszában. Érdemes ezeket a klaszter analízist követően is alkalmazni, összevetni az egyes csoportokat a számított alapstatisztikák alapján.

6.2.3.2 Korreláció analízis

Egy ilyen nagy és bonyolult adathalmaz esetén célszerű sztochasztikus kapcsolatokkal foglalkozni. Gyakori kérdésként merülhet fel, milyen kapcsolatban van két paraméter / valószínűségi változó. A kapcsolat szorossága mérőszámokkal jellemezhető, melyek közül többféle létezik. Ezek közül a legismertebb a Pearson-féle korrelációs együttható. Ez a következő képlettel számítható

$$r(X, Y) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_X \sigma_Y},$$

ahol $\bar{x}$ az X , míg $\bar{y}$ az Y valószínűségi változó átlaga az n elemű mintából, míg σ_X, σ_Y pedig rendre az X és Y minta szórása. Érdemes észrevenni, hogy a számlálóban a kovariancia szerepel. Ez egyben azt is jelenti, hogy a korrelációs együtthatónak minden olyan „jó” tulajdonsága megvan, amivel a kovariancia is rendelkezik, de a varianciával való osztás miatt a mértékegységtől való függés, valamint a felső, alsó korlát problémája megszűnik. A korrelációs együttható tulajdonságai a következők:

- nagysága független X és Y mértékegységétől;
- ha $\sigma_X = 0$ vagy $\sigma_Y = 0$, akkor megállapodás szerint $r_{(X,Y)} = 0$;
- értéke nem függ a változók sorrendjétől;
- $-1 \leq r_{(X,Y)} \leq 1$;
- ha X és Y kapcsolata pozitív, akkor $0 < r_{(X,Y)}$, ha a kapcsolat negatív, akkor $r_{(X,Y)} < 0$;
- ha $r_{(X,Y)} = \pm 1$, akkor a két tulajdonság között lineáris függvénykapcsolat van;
- bármely változó önmagával vett korrelációja 1.

Az alkalmazások szempontjából nagyon fontos megjegyezni, hogy:

- ha az előbbi értelemben vett korrelációs együttható 0, akkor ebből nem következik, hogy a két tulajdonság között nincs kapcsolat. Csak annyi igaz, hogy nincs lineáris kapcsolat. Vagyis a korrelálatlanságból nem következik a függetlenség.
- ha két tulajdonság – matematikai értelemben – független egymástól, akkor korrelálatlanok is. Azaz a függetlenségből következik a korrelálatlanság.

6.2.3.3 Piper diagram

Az általános vízkémiai mérési eredmények megjelenítésének egyik gyakran használt eszköze a Piper diagram (Piper, A. M. 1944), amelyen 2 különálló háromszögben (kation és anion háromszög) ábrázoljuk a fő kationok és anionok relatív koncentrációját %meq/l-ben. A víz teljes kémiai karakterét egy rombuszban elhelyezett körrel jelenítjük meg, aminek helyét a kation- és az anion háromszögben elfoglalt hely alapján határozzuk meg (Hill, R. A. 1940; Güler, C. et al. 2002).

6.2.3.4 Klaszter analízis

A klaszterezés tulajdonképpen egy kódolási művelet, mely során a sok jellemzővel leírt mintavételi pont egy számmal, csoportjának kódjával (klaszterének számával) jellemezhető. Fontos figyelemmel lenni arra a tényre, hogy a klaszterezés folyamán nem a mért paraméterek, hanem a mintavételi pontok számát csökkentjük oly módon, hogy azokat helyezzük egy csoportba, amelyek tükrözik az ide tartozó megfigyelési pontok általános és közös tulajdonságait. Fontos követelmény, hogy minden megfigyelési pontnak be kell kerülnie egy csoportba, de a létrehozott csoportok egyes elemei egy és csakis egy csoportba tartozhatnak.

Nyilvánvalóan a megfigyelési pontok halmazán számtalan összetételű csoportot létre lehet hozni. A cél viszont az, hogy a hasonlóak kerüljenek egy csoportba. A hasonlóságot úgy tudjuk mérni, hogy távolságot (metrikát) rendelünk a megfigyelési pontjainkhoz, amelyek egy N dimenziós (a mért paraméterek számával megegyező) térben helyezkednek el. Azt mondhatjuk, ha két megfigyelési pont között a távolság kicsi, akkor azok hasonlóak, egy csoportba tartoznak (ha a távolság nulla, akkor a két mintavételi pont azonos is). Rögtön észrevehető, hogy a távolság mérésének helyes megválasztása a csoportosítás kulcskérdése. Ez nagy jártasságot igényel, a klaszterezés befejezése után az eredményt gondosan verifikálni kell.

Munkánk során hierarchikus klaszter analízist alkalmaztunk, melyben a klaszterek egy hierarchiája jön létre, amit dendrogramnak hívunk. A módszernek két alaptípusa van, az agglomeratív (a folyamat kezdetén levő megfigyelési pontokat, mint önálló csoportokat, egyre nagyobb csoportokká vonjuk össze) és a divizív (az egyetlen, összes megfigyelési pontot tartalmazó csoportot addig osztjuk kisebb csoportokra, míg minden

megfigyelési pont különálló csoportot képez). A gyakorlatban inkább az előbbi használata terjedt el. Kutatásunkban mi is ezt a módszert alkalmaztuk, Ward módszerét (Ward, J. H. Jr. 1963) és négyzetes Euklidészi távolságot használtunk. A hierarchikus klaszter analízis előnye, hogy a felhasználónak nem kell előre állást foglalni a csoportok számát illetően, a csoportszám meghatározása a dendrogram alapján a kutató feladata és felelőssége.

6.2.3.5 Diszkriminancia analízis és Wilks' Lambda statisztika

A klaszter analízis által meghatározott csoportok létezését igazolni kell. Ennek egy elfogadott módja a diszkriminancia analízis, amivel lehetséges annak a megvizsgálása, hogy a mintavételi pontok csoportba tartozása valós-e, becsülhető-e, és ha igen, ez hány százalékban valósítható meg az adott független változókkal. E független változó metrikus-, míg a függő (csoportosító változó) nem metrikus, hanem általában kategorizált skálán mért. A csoportosító változó, ahogy nevében is benne foglaltatik a csoportosítás alapját képezi. A diszkriminancia analízis matematikailag arra keresi a választ, hogy a megalkotott csoportok mely változók esetén különböznek, azaz a csoportokba való tartozás előre jelezhető-e a független változók egy kiválasztott csoportja alapján.

A klaszter- és a diszkriminancia analízis során is csoportokat alakítunk ki, csak míg az első esetében ezek a csoportok előre nem meghatározottak, addig a második esetben a csoportok már adottak és a vizsgálat célja, hogy meghatározzuk a független változók azon lineáris kombinációját, ami a „legjobban” elkülöníti a csoportokat (Johnson, R. A. – Wichern, D. W. 1992).

A diszkriminancia analízis eredménye táblázatos formában tartalmazza a keresztértvényességi adatokat. Ezek alkalmasak a diszkriminancia analízis „teljesítményének” ellenőrzésére. Megmutatja a helyesen kategorizált csoporttagságok arányát. A táblázaton felül egy úgynevezett ”összegzett csoport ábrát” kaphatunk, ahol a megfigyelések értékeit gyakran jelenítik meg az első két diszkrimináló felület által kifeszített síkon lévő centroidokkal (Ketskeméty L. - Izsó L. 2005).

A csoportok megalkotását és ellenőrzését követően annak megállapítására, hogy mely paraméterek hogyan határozták meg a mintavételi pontok térbeli klasztercsoportba tartozását Wilks' λ statisztika (Wilks, S. S. 1932) számítása a legcélszerűbb megoldás. Ezt a statisztikát a csoportátlagok azonosságának tesztelésére alkalmazzák. A λ számított értéke a csoportokon belüli, és a teljes eltérések négyzetösszegeinek hányadosa:

$$Wilks' \lambda = \frac{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2},$$

ahol x_{ij} az i-edik csoport j-edik eleme, $\bar{x}_i$ az i-edik csoport átlaga és $\bar{x}$ a teljes átlag.

Ha a kapott λ érték egyenlő 1-el ($\lambda=1$) akkor egyáltalán nem, ha egyenlő 0-val ($\lambda=0$), akkor maximálisan befolyásolta a vizsgált paraméter a csoportok kialakulását. Összegezve, ha a vizsgált paraméter λ értéke egyhez közeli, akkor kicsi, ha 0-hoz közeli akkor nagy csoportosító súllyal bír az adott változó (Hatvani et al. 2010)

6.2.3.6 Box-and-whiskers ábra

A box-and-whiskers ábrák az egyes paraméterekhez számított leíró statisztikák megjelenítésének hasznos eszközei. Segítségükkel valószínűségi változók több paraméterét jeleníthetjük meg egy ábrán, megkönnyítve ezzel az értelmezést.

A box-ok (dobozok) felső és alsó határa között az interkvartilis terjedelem található (felső és alsó kvartilis különbsége). A doboz felső határa a felső, alsó határa pedig az alsó kvartilist jelöli. A fekete vízszintes vonal a dobozon belül a medián¹⁶. A doboz tetejéből és aljából kiálló függőleges vonal végpontjai a 1,5-szeres interkvartilis terjedelmet adják meg. Ha a kapott érték a 1,5-3-szoros interkvartilis terjedelen belül van, akkor kiugró értéknek tekintjük (jele: °), míg ha a 3-szoros interkvartilis terjedelen is kívül esik, akkor extrém értéknek nevezzük (jele: *) (Norušis, M. J. 1993; Vega, M. et al. 1998). A későbbiekben több ilyen ábra is bemutatásra kerül (7.6. fejezet 19-25. ábra).

6.2.3.7 Főkomponens analízis

Többdimenziós adatsor vizsgálatoknál fontos feladat a változók számának csökkentése a bennük rejlő jelentős információ vesztesége nélkül, továbbá a többváltozós összefüggésrendszer háttérváltozóinak feltárása. Ez két módszerrel is elérhető: főkomponens analízissel és faktor analízissel. Mivel a főkomponens analízis matematikai háttere sokkal kidolgozottabb és eredményei is könnyebben értelmezhetőek, mint a faktor analízisé, így ezen módszer használata mellett döntöttünk.

Tegyük fel, hogy n változóra vannak megfigyeléseink. Legyen $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ véletlen vektor, ahol a változók nem korrelálhatnak egymással. A cél egy új koordináta-rendszer $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ bevezetése, ahol C_i -k mesterséges, páronként korrelálatlan változók. A $C = U^T X$ véletlen vektort az X főkomponens-vektorának nevezzük. Az U főkomponens-koeficiens mátrix az X megfigyelési változók R_X korrelációs mátrix sajátvektorait tartalmazza. $C_i = u_i^T X$, ahol az X i -edik főkomponense $i = 1, 2, \dots, p; p \leq n$

A főkomponensek páronként korrelálatlanok, varianciái az R_X korrelációs mátrix sajátértékei. Az első főkomponens varianciája magában foglalja az X változó varianciájának legnagyobb részét, a második főkomponens a maradék varianciák legnagyobb részét és így tovább.

A főkomponens vektor forgásinvariáns, de nem skálainvariáns. A mértékegység megváltoztatása hatással van a főkomponensekre. Ilyen esetben célszerű standardizált változókat használni. A főkomponensekkel háttérváltozókat azonosítunk.

Az $a_{ij} = u_{ij} \sqrt{\lambda_j}$ főkomponens súlyok (az X_i eredeti változók közötti korrelációs együtthatók) megadják, hogy milyen súlya van egy főkomponensnek az eredeti változók varianciájának kialakításában és fordítva, milyen súlya van egy változónak a főkomponensek varianciájában.

A főkomponens analízis módszerével lehetséges az eredeti változók számánál kevesebb független változóval genetikai elemzést végezni (Simeonov, V. et al. 2003), feltárni az eredeti változók és háttérváltozók kölcsönhatásait. A főkomponens analízis

¹⁶A medián az az érték, amely „alatt” illetve „felett” helyezkedik el a mért értékek 50%-a. A kvartilisek ugyanezt jelentik a különbséggel, hogy a 25%-os alsó kvartilis jelenti azt az értéket, ami „alatt” illetve „felett” helyezkedik el a mért értékek 25, illetve 75%-a. A felső kvartilis esetén pedig ez „alatt” illetve „felett” helyezkedik el a mért értékek 75, illetve 25%-a.

felbontja az eredeti változók teljes variáciáját és visszavezeti azokat szakmai okokra. Fontos megjegyezni, hogy a módszer nem ad általános választ arra, hogy mit tekint nagy vagy kis főkomponens súlynak, továbbá hány főkomponens változó jelentős. Ezekre a kérdésekre javaslatokat illetve szakmai szempontokat fogadunk el.

6.2.3.8 Izovonalas térképek

Az egyes paraméterek statisztikáit izovonalas térképeken is ábrázoltuk a magyar EOVS koordináták alapján, így nyerve információt azok térbeli eloszlásáról. A bemutatott térképek mindegyikéhez kell tennünk egy megjegyzést. A mintavételi pontok között interpolált, míg a mintavételi pontokon kívül extrapolált értékek láthatók. Így például a nádas átszelő csatornák mintavételi pontjai alapján interpoláció történik a nádas területekre, illetve extrapoláció a part közeli régióra, amit kellő megfontolással kell kezelni. Ezzel együtt az adott paraméter térbeli eloszlásának jellegzetességeit, adott folyamattal történő kapcsolatát a térképek szemléletesen mutatják.

6.3 Alkalmazott programok

Az adatok előkészítéséhez, rendszerezéséhez és az alapstatisztikák számításához Microsoft Office Excel 2007 táblázatkezelő programot (Bártfai B. 2007) használtunk. Az adatelemzés során a klaszter- és főkomponens analízist a StatSoft cég által fejlesztett STATISTICA 8 programcsomagjával végeztük el. Ez a programcsomag az adatfeldolgozás és a matematikai statisztika terén felmerülő feladatok megoldására szolgál; nagy teljesítményű, funkcióban gazdag, önálló programokból valamint kiegészítő modulokból áll. A sokváltozós feltáró módszerek széles választékával rendelkezik, grafikus tulajdonságai, megjelenítő- és rajzeszközei kiválóak (www.statsoft.hu).

A diszkriminancia analízishez, a Wilks' Lambda statisztikák kiszámításához, a mintázatok „box-and-whiskers” ábrákon történő bemutatásához IBM SPSS Statistics 19 programot használtunk. Ennek felépítése és menürendszere sok tekintetben hasonlít a Microsoft Office programcsomag elemeinél megszokotthoz. Alkalmazásával kiválóan kezelhetők a klaszterelemzés és a diszkriminancia analízis segítségével megközelíthető problémátípusok (Székelyi M. – Barna I. 2004).

Az izovonalas térképek Golden Software Surfer 9 programmal, krigeléssel, lineáris becslési eljárással készültek. A mintavételi pontok térbeli helyét és azok csoportosulását bemutató ábrákat Corel Draw Graphics Suite X5 programmal rajzoltuk meg az illmitzi biológiai állomásról kapott térképek és koordináták alapján.

7. Eredmények

7.1 Leíró statisztikák

Vizsgálataink során elsőként néhány leíró statisztikát számítottunk, hogy egy általános képet kapjunk a tó vízkémiai állapotáról. Ezek eredményeit az 1. táblázat mutatja be. A számos statisztika közül fontosnak tartjuk kiemelni a relatív szórást (egy paraméter átlagos változékonyságát írja le) és a mediánt.

1. táblázat. A felhasznált paraméterek alapstatisztikái (2000-2009)

	pH	oldott O ₂ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	ÖP (µg/l)	NH ₄ -N (µg/l)	NO ₃ -N (µg/l)	klorofill-a (µg/l)
Átlag	8,68	8,36	37,44	343,55	36,40	140,95	244,01	466,14	607,86	82,11	36,19	201,67	9,56
Medián	8,7	8,8	38	347	34	141	245	473	600	68	28	152,5	7,1
Szórás	0,18	1,79	5,56	55,95	12,10	16,59	42,10	66,48	76,90	62,28	32,98	151,35	9,62
Minimum	7,7	0,2	13	126	14	72	94	248	375	3	2	0	0,0
Maximum	9,1	11,2	55	570	119	202	422	661	1061	552	333	872	95,3
Relatív szórás	0,02	0,21	0,15	0,16	0,33	0,12	0,17	0,14	0,13	0,76	0,91	0,75	1,01

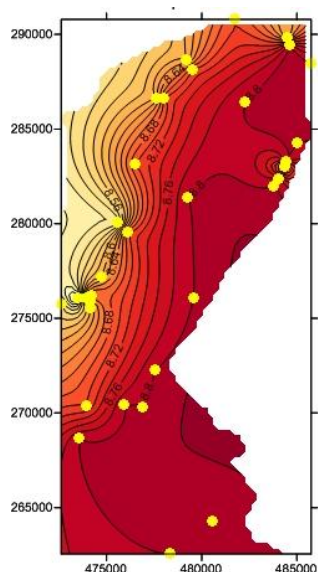
Alapvetően a paraméterek relatív szórás értékeit nagyság szerint három csoportra oszthattuk. A legkisebb változékonyságot mutatta a pH (2%)¹⁷, az oldott oxigén és a fő kationok (Na⁺, K⁺, Mg²⁺), anionok (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻) változékonysága 10 - 20 % körül mozgott. Kisebb kivételt képezett a kalcium, aminek relatív szórása 33%. A tápanyagháztartáshoz kapcsolódó paraméterek változékonysága ennél jóval nagyobb (ÖP: 76%, NH₄-N: 91%, NO₃-N: 75%, klorofill-a: 101%). Egy-egy paraméter mediánjának, relatív szórásának bemutatása mellett fontosnak tartjuk ezen statisztikák térbeli eloszlásának ábrázolását is, mivel ezek sok olyan információval szolgálhatnak, melyek az adathalmazból nem tűnnek ki elsőre.



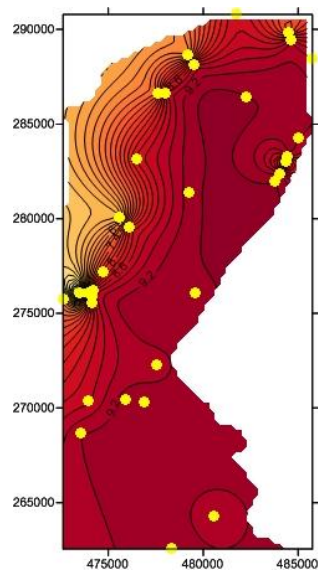
Forrás: <http://www.ferto-neusiedlersee.hu>

¹⁷ A H⁺ koncentráció relatív szórása 64%

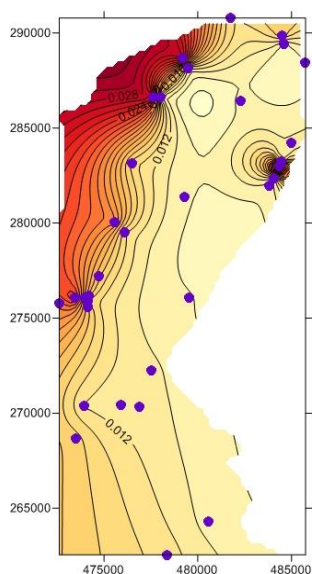
A 6. és a 7. ábrán a pH és oldott oxigén mért értékének mediánjának, míg a 8. és a 9. ábrán ezek relatív szórásainak térbeli eloszlása látható. Mind a két esetben NY-ÉNY-i irányban az értékek csökkennek, míg a szórások nőnek. Ez a jelenség a tó nyugati részének kis területén sokkal nagyobb mértékűnek mutatkozik.



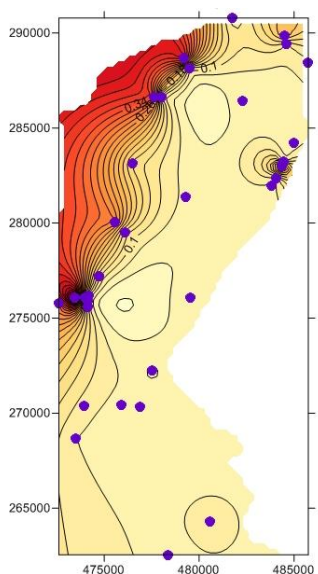
6. ábra. A pH mediánjának térbeli eloszlása



7. ábra. Az oldott oxigén mediánjának térbeli eloszlása

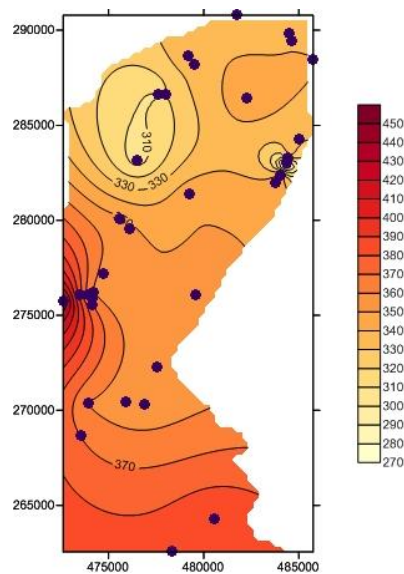


8. ábra. A pH relatív szórásának térbeli eloszlása

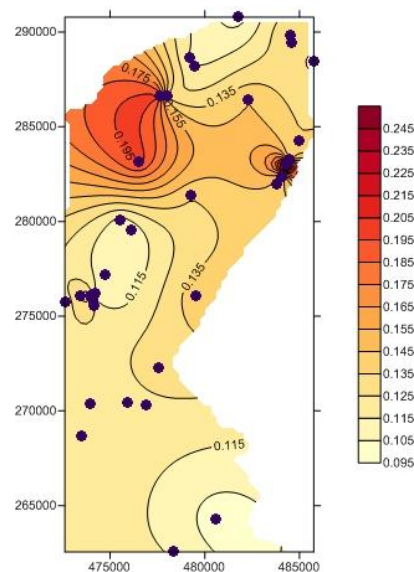


9. ábra. Az oldott oxigén relatív szórásának térbeli eloszlása

A főbb kationokat és anionokat reprezentáló nátrium koncentrációja (10. ábra) a tó ÉNY-i oldalán jelentősen lecsökken, míg relatív szórása (11. ábra) jelentősen megnő. A Fertő NY-i oldalán a nátrium koncentráció kisebb mértékű növekedése mellett a relatív szórás nem változik jelentősen



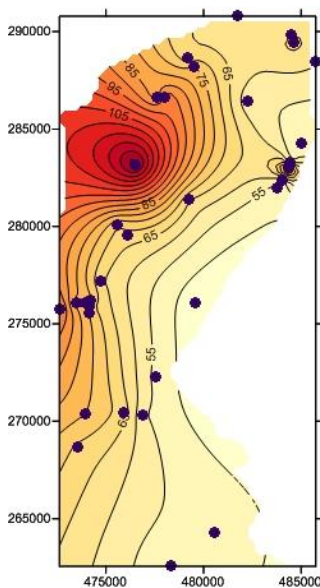
10. ábra. A nátrium mediánjának térbeli eloszlása



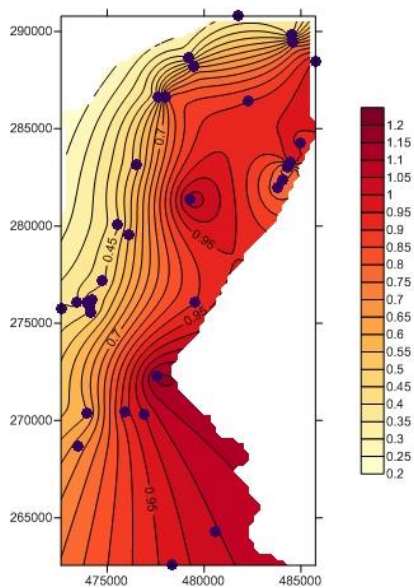
11. ábra. A nátrium relatív szórásának térbeli eloszlása

Az összes foszfor mediánjának térképe (12. ábra) gyakorlatilag ellentétes a nátriuméval, az ÉNY-i területeken nagy foszfor koncentráció figyelhető meg, ami a relatív szórásokban (13. ábra) nem mutatkozik meg.

A térképeken a tó ÉK-i részén jelentős koncentráció és változékonyság különbség látható mindegyik paraméter esetében.



12. ábra. Az összes foszfor mediánjának térbeli eloszlása



13. ábra. Az összes foszfor relatív szórásának térbeli eloszlása

7.2 Korreláció analízis

A korreláció analízis során a 0,7-nél nagyobb és a -0,7-nél kisebb korrelációs együtthatók esetén fogadtuk el a két paramétert egymással szoros sztochasztikus kapcsolatban lévőnek. Ez azt jelenti, hogy az esetek legalább felében azok lineárisan „együtt változnak”. A mért paraméterek közül szoros pozitív korrelációs kapcsolat állt fenn a kálium-, nátrium-, magnézium-, klorid- és szulfátiókon között a tó egészének vonatkozásában. Ezek közül több (nátrium-, magnézium- és a kloridion) a hidrogén-karbonáttal is lineáris kapcsolatban állt a megfigyelések közelítőleg 50%-ban

(2. táblázat). A 29-es mintavételi ponton az előbb említett korrelációs kapcsolatok mellett újabbak jelentek meg, a pH szinte az összes főbb kationnal és anionnal pozitívan korrelált. A kalcium az egész tó vonatkozásában kivételt képezett, egy paraméterrel sem volt lineáris kapcsolatban. Ezen a mintavételi ponton azonban korrelációs együtthatói jelentősen nagyobbak, több paraméterrel is (pH, nátrium-, magnézium-, kloridion) ellentétesen változtak az értékei (3. táblázat). A 29-es mintavételi ponttól néhány száz méterre, délre elhelyezkedő 32-es mintavételi ponton már főként az egész tóra jellemző általános korrelációs kapcsolatok jelentek meg (4. táblázat).

2. táblázat. A mért paraméterek korrelációs mátrixa a tó egészének vonatkozásában

teljes tó	pH	oldott O ₂	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	ÖP	NH ₄ -N	NO ₃ -N	klorofill-a
pH	1,00												
oldott O ₂	0,61	1,00											
K ⁺	0,29	0,03	1,00										
Na ⁺	0,28	-0,05	0,82	1,00									
Ca ²⁺	-0,32	-0,06	-0,16	-0,20	1,00								
Mg ²⁺	0,29	0,00	0,81	0,95	-0,12	1,00							
Cl ⁻	0,22	-0,11	0,77	0,89	-0,24	0,84	1,00						
SO ₄ ²⁻	0,33	-0,02	0,82	0,86	-0,19	0,85	0,88	1,00					
HCO ₃ ⁻	-0,20	-0,33	0,55	0,74	0,06	0,72	0,71	0,56	1,00				
ÖP	0,00	0,09	0,05	0,06	0,54	0,14	-0,08	0,00	0,18	1,00			
NH ₄ -N	-0,26	-0,27	-0,01	-0,04	0,12	-0,05	-0,13	-0,07	0,02	0,11	1,00		
NO ₃ -N	-0,19	0,04	-0,17	-0,22	0,13	-0,17	-0,39	-0,31	-0,16	0,19	0,30	1,00	
klorofill-a	-0,03	0,03	0,13	0,23	0,21	0,24	0,19	0,16	0,28	0,25	-0,08	0,02	1,00

3. táblázat. A mért paraméterek korrelációs mátrixa a 29-es mintavételi ponton

29	pH	oldott O ₂	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	ÖP	NH ₄ -N	NO ₃ -N	klorofill-a
pH	1,00												
oldott O ₂	0,28	1,00											
K ⁺	0,58	0,28	1,00										
Na ⁺	0,84	0,22	0,83	1,00									
Ca ²⁺	-0,80	-0,03	-0,62	-0,80	1,00								
Mg ²⁺	0,80	0,22	0,81	0,98	-0,73	1,00							
Cl ⁻	0,71	0,22	0,78	0,89	-0,70	0,88	1,00						
SO ₄ ²⁻	0,69	0,16	0,81	0,92	-0,67	0,93	0,94	1,00					
HCO ₃ ⁻	0,67	0,17	0,74	0,86	-0,57	0,88	0,78	0,81	1,00				
ÖP	-0,56	-0,43	-0,35	-0,47	0,56	-0,44	-0,44	-0,33	-0,34	1,00			
NH ₄ -N	-0,29	-0,15	-0,22	-0,28	0,19	-0,27	-0,31	-0,29	-0,16	0,09	1,00		
NO ₃ -N	-0,20	-0,17	-0,31	-0,31	0,19	-0,25	-0,36	-0,28	-0,34	0,10	0,25	1,00	
klorofill-a	-0,11	0,09	-0,27	-0,10	0,23	-0,06	-0,11	-0,05	-0,12	0,04	-0,06	-0,02	1,00

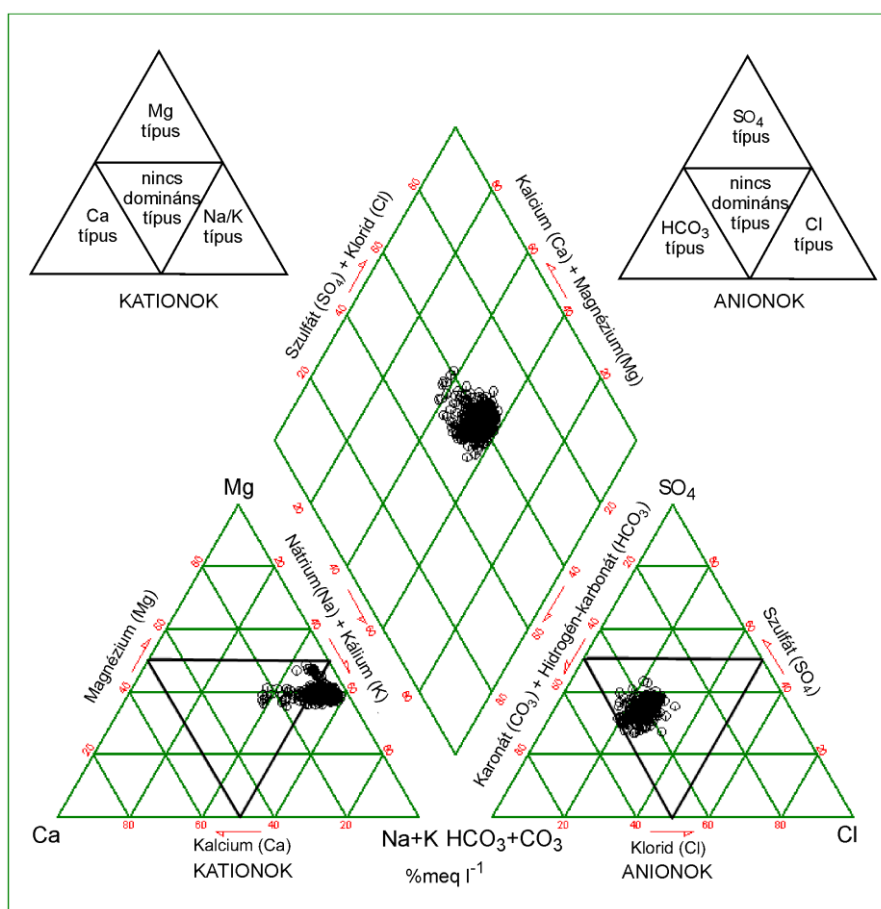
4. táblázat. A mért paraméterek korrelációs mátrixa a 32-es mintavételi ponton

32	pH	oldott O ₂	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	ÖP	NH ₄ -N	NO ₃ -N	klorofill-a
pH	1,00												
oldott O ₂	-0,15	1,00											
K ⁺	0,57	-0,07	1,00										
Na ⁺	0,64	-0,14	0,80	1,00									
Ca ²⁺	-0,18	0,48	0,04	0,10	1,00								
Mg ²⁺	0,63	-0,10	0,81	0,92	0,21	1,00							
Cl ⁻	0,61	-0,21	0,78	0,85	-0,04	0,82	1,00						
SO ₄ ²⁻	0,55	-0,25	0,81	0,89	-0,02	0,88	0,95	1,00					
HCO ₃ ⁻	0,44	0,02	0,56	0,70	0,44	0,77	0,67	0,65	1,00				
ÖP	0,00	0,27	0,09	0,23	0,70	0,36	-0,03	0,09	0,50	1,00			
NH ₄ -N	0,18	-0,21	0,21	0,21	-0,04	0,19	0,01	0,14	-0,12	0,10	1,00		
NO ₃ -N	-0,24	0,19	-0,30	-0,33	0,04	-0,29	-0,60	-0,44	-0,43	0,14	0,31	1,00	
klorofill-a	-0,06	0,37	0,15	0,16	0,62	0,25	0,08	0,08	0,56	0,76	0,00	-0,09	1,00

7.3 Piper diagram

A fő anionok és kationok összes mért értékét (a karbonát iont is beleértve)¹⁸ Piper diagramon ábrázoltuk (14. ábra), hogy meghatározzuk a tó vize milyen vízkémiai fáciesbe tartozik az ionok dominanciája alapján. A kationok vonatkozásában a mintavételezések mintegy 60%-ban nátrium típus határozható meg. Anionok esetén nem tudtunk domináns típust elkülöníteni. Ezen megállapítások során Morgan, C. O. és Winner, M. D. Jr. (1962), illetve Back, W. (1966) tipizálását vettük alapul (Freeze, R. A. – Cherry, J. A. 1979).

A Piper diagram alapján nem tudtunk csoportokat alkotni, mivel a háromszögekben az értékek jól láthatóan nagyon közel helyezkedtek el egymáshoz, ellentétben Güler, C. (2002) munkájával. Mivel a korábbi tanulmányok szerint a tó mind térben mind pedig időben változékony (Löffler, H. (ed.) 1979; Dinka M. et al. 2004), így tovább folytattuk a vizsgálatokat többváltozós adatelemző módszerekkel.

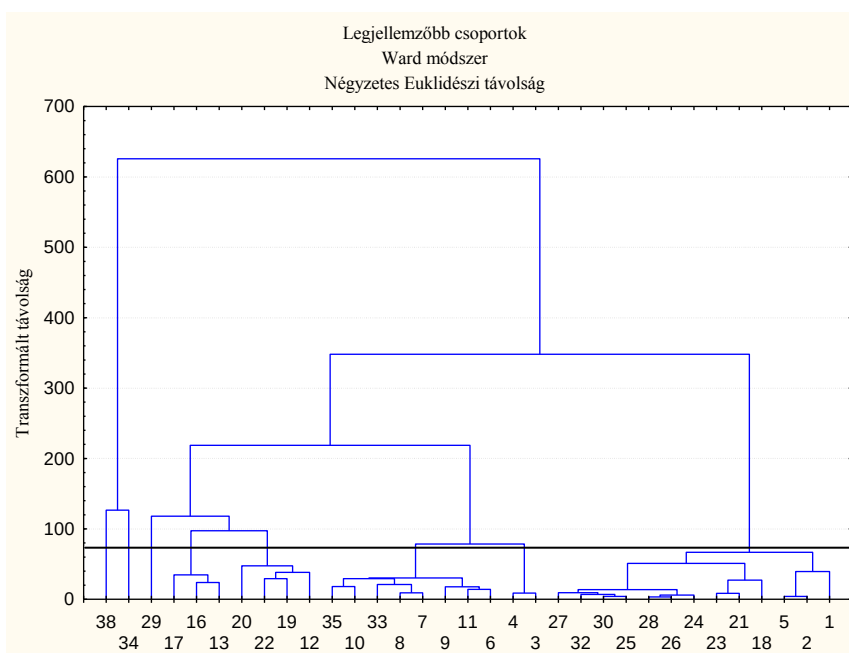


14. ábra. A felhasznált mintavételi időpontokban mért kation és anion értékeiből készült Piper diagram

¹⁸ A Piper diagram részét képezi a karbonát ion is.

7.4 Klaszter analízis

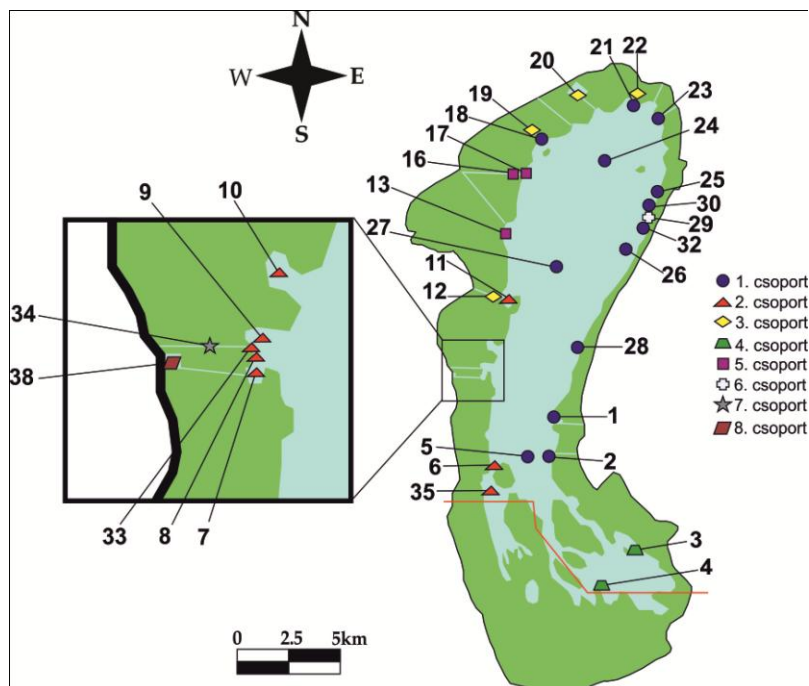
Az egyes mintavételi időpontok klaszter analíziseinek eredményei alapján 8 csoportot különítettünk el, amelyek a vizsgált időtartamban a legjellemzőbbek voltak a tó területén. A klaszter analízis dendrogramját a 15. ábra mutatja be. A létrejött csoportokat a továbbiakban víztájként azonosítjuk. A különböző csoportokba tartozó mintavételi pontok sorszámát az 5. táblázat tartalmazza, azok térbeli elhelyezkedése a 16. ábrán látható. Három, nagyobb víztáj mellett, kettő kisebb csoport alakult ki az ÉNY-i, illetve DK-i részen. Három megfigyelési pont (29-es, 34-es és 38-as) egyenként önálló „csoportot” alkotott.



15. ábra. A mintavételi pontok legjellemzőbb csoportosulásának dendrogramja

5. táblázat. A mintavételi pontok legjellemzőbb csoportosulása

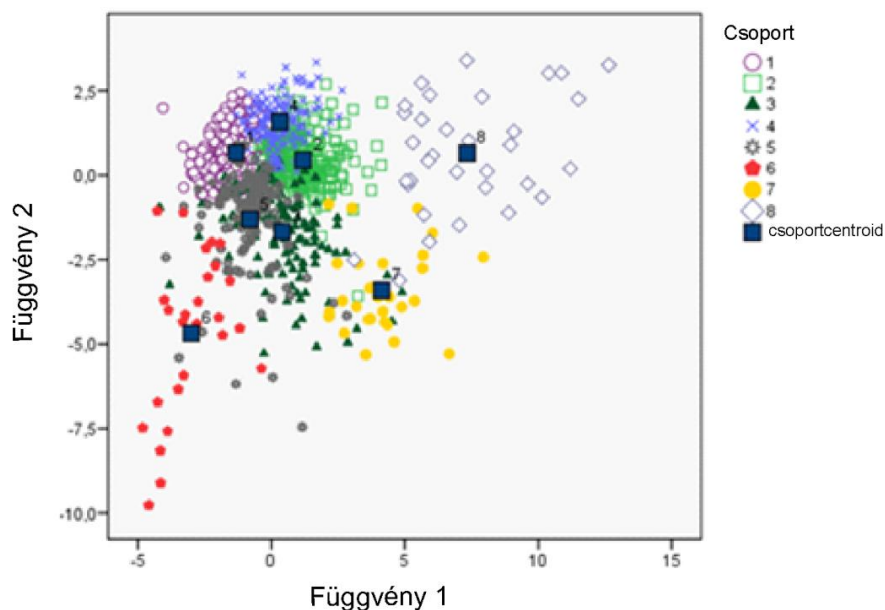
Csoport	Mintavételi pontok száma
1	1, 2, 5, 18, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 32
2	6, 7, 8, 9, 10, 11, 33, 35
3	12, 19, 20, 22
4	3, 4
5	13, 16, 17
6	29
7	34
8	38



16. ábra. A klasztercsoportok térbeli elhelyezkedése

7.5 Diszkriminancia analízis és Wilks' Lambda statisztika

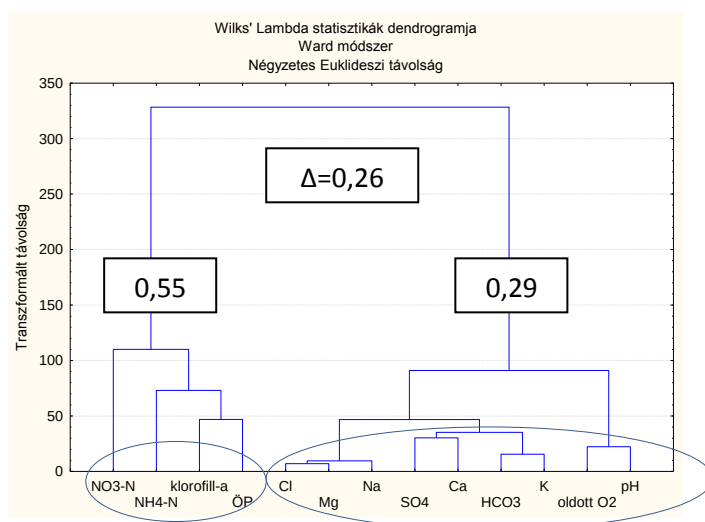
A diszkriminancia analízis az eredeti csoportosítást az esetek, tehát a vizsgált idő- és mintavételi pontok vonatkozásában 89,2%-ban helyesnek ítélte. Ez az érték keresztvalidáció elvégzése után sem változott jelentősen (86,6%). A vizsgálat eredményét a 17. ábra mutatja be. Megállapítható, hogy a csoportok a csoportcentroidok alapján elkülönültek, de a közöttük lévő távolságok különbözőek. Az ábrán jól látható, hogy a 3-as és az 5-ös csoport közel helyezkedik el egymáshoz, míg a 6-os (29-es mintavételi pont), 7-es (34-es mintavételi pont), és 8-as (38-as mintavételi pont) csoport jelentősen szeparálódik. Ez különösen érdekes az utóbbi kettő esetén, mivel ezek távolsága csak pár száz méter.



17. ábra. A keresztvalidációs diszkriminancia analízis eredménye

A 34 időpontban elvégzett csoportosításokhoz minden esetben kiszámítottuk a Wilks' Lambda statisztikákat. A legkisebb átlagos Wilks' lambda értékekkel a főbb kationok és anionok rendelkeztek (kb. 0,2-0,3). Ezeket követte a pH (0,38) és az oldott oxigén (0,42), majd még nagyobb értékekkel az összes foszfor (0,53), a nitrát-nitrogén (0,53), az ammónium-nitrogén (0,53) valamint a klorofill-a (0,62).

Az egyes időpontokban végzett csoportosítások során a számított Wilks' Lambda statisztikák (34*paraméterek száma) lehetőséget adtak ezek klaszterezésére is. Az eredményt a 18. ábra mutatja be. Amint látható a Wilks' Lambda statisztikák alapján két nagy paramétercsoportot lehetett elkülöníteni. A főbb kationok (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) és anionok (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), illetve a pH és az oldott O_2 sokkal nagyobb súllyal szerepelnek mintavételi helyek csoportosítása során, mint a tápanyagháztartáshoz kapcsolódó, nagy változékonysággal jellemezhető paraméterek ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, ÖP , klorofill-a). Ez azért is érdekes, mert a Piper diagramon pont azokat az ionokat ábrázoltuk, amelyek a vizsgált időintervallumban leginkább meghatározták a csoportok alakulását, mégsem tudtunk ily módon vizeztájakat elkülöníteni.

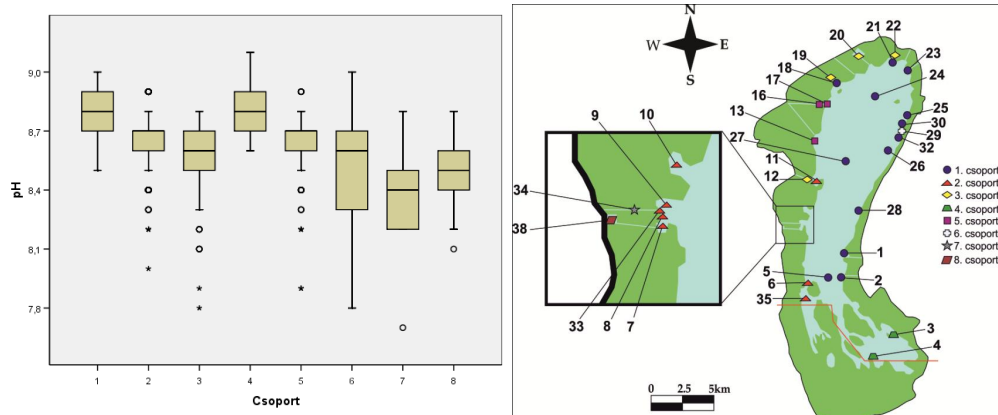


18. ábra. A Wilks' Lambda statisztikák dendrogramja (2000-2009)

7.6 Box-and-whiskers ábrák

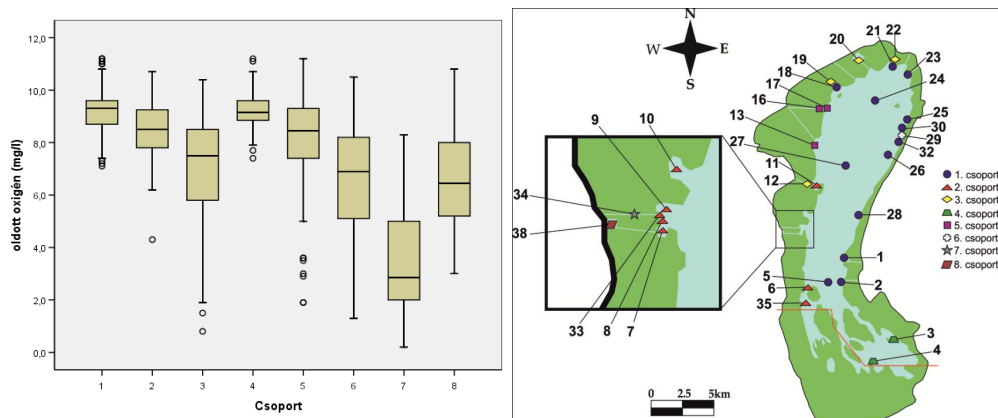
Box-and-whiskers ábrákon minden egyes paraméter esetében összehasonlítottuk a klaszter analízissal elkülönített csoportokat.

Az 1. és 4. csoportban a pH mediánja magasabb, mint a többiben. Ezen érték a 7-es (34-es mintavételi pont) és a 8-as csoportban (38-as mintavételi pont) a legkisebb. A 6-os csoport (29-es mintavételi pont) interkvartilis terjedelme a legszélesebb, tehát ezen mintavételi pont pH értékei mozognak a legtágabb határokon belül (19. ábra).



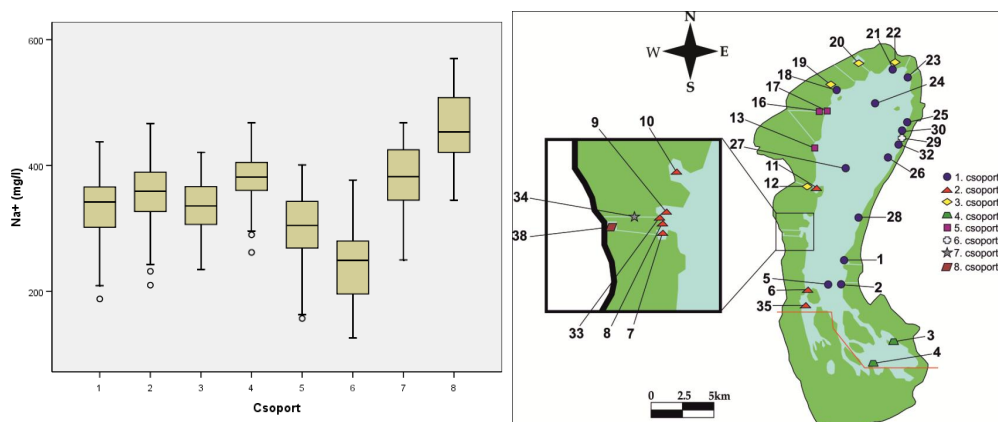
19. ábra. A pH box-and-whiskers ábrája

Az oldott oxigén koncentrációi a pH-hoz hasonlóan a tó víztestének K-i részén (1-es és 4-es csoportban) magasabbak, mint a többi egységben. Kiugróan alacsony az oldott oxigén koncentrációja a 7-es csoportban (34-es mintavételi pont) (20. ábra).



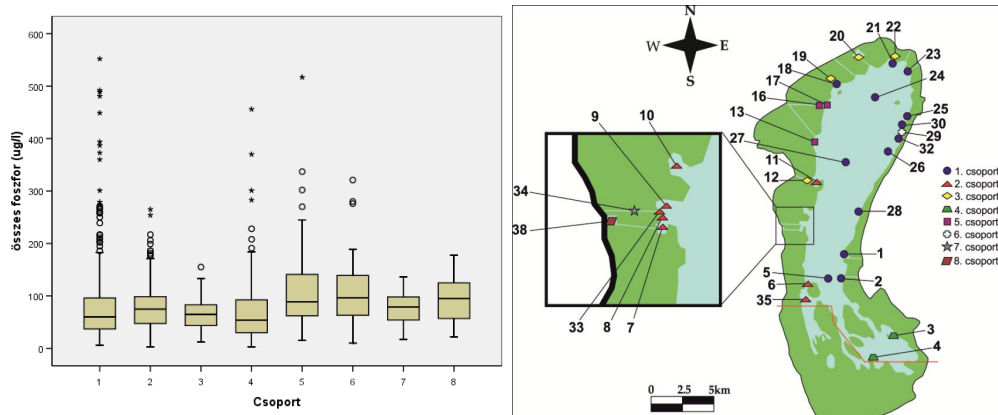
20. ábra. Az oldott oxigén box-and-whiskers ábrája

A főbb kationok és anionok a kalciumion kivételével nagyon hasonló képet mutatnak. Jelen esetben a tó egyik legdominánsabb ionját, a nátriumot választottuk szemléltető példának (21. ábra). Az 5-ös és 6-os csoportban a nátrium koncentrációja alacsony a többi csoporthoz képest. A 4-es, 7-es és 8-as csoportban gyakran mértek az átlagnál nagyobb értékeket.



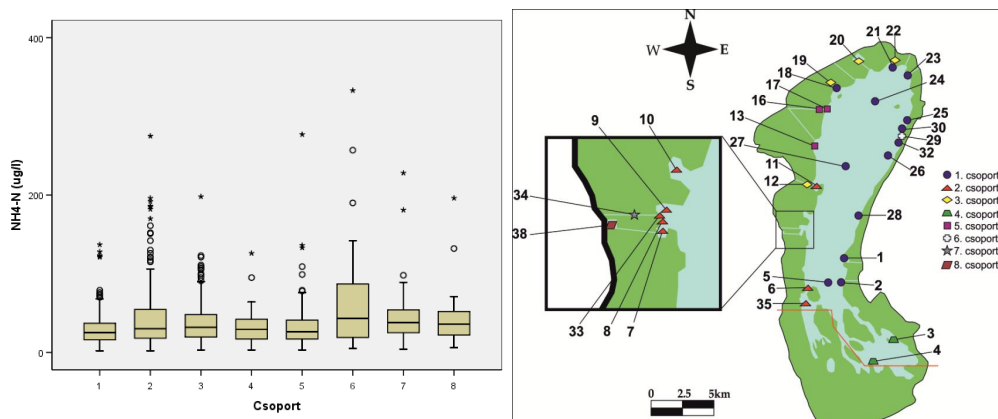
21. ábra. A nátrium box-and-whiskers ábrája

Az összes foszfor koncentráció értékek mediánja az 5-ös, 6-os és 8-as csoportban magasabb, mint a többiben. A tó középső és keleti területét nagyrészt lefedő 1-es, 2-es, és 4-es csoport mintavételi pontjain sok kiugró és extrém értéket regisztráltak, szám szerint 45-öt. Ezek közül 27 db-ot 2004 áprilisában és májusában mértek (22. ábra).



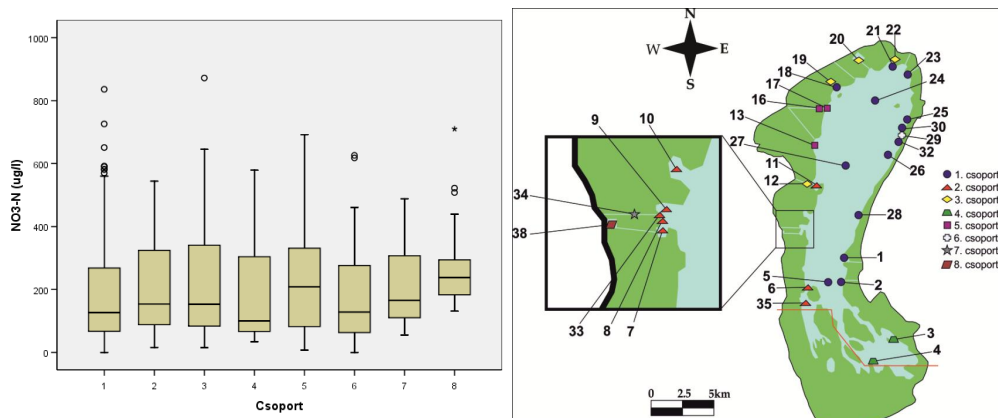
22. ábra. Az összes foszfor box-and-whiskers ábrája

Az $\text{NH}_4\text{-N}$ esetén nem látható nagy különbség az egyes csoportok között, kivétel ez alól a 6-os (29-es mintavételi pont), ahol az $\text{NH}_4\text{-N}$ értékei tágabb határokon belül mozognak (23. ábra).



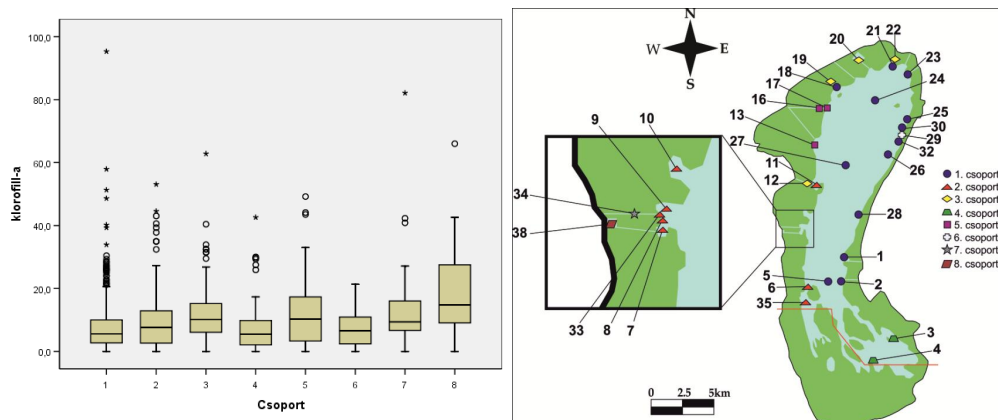
23. ábra. Az ammónium-nitrogén box-and-whiskers ábrája

Az 5-ös és 8-as csoportban (38-as mintavételi pont) sokszor mértek magas $\text{NO}_3\text{-N}$ értékeket (24. ábra).



24. ábra. A nitrát-nitrogén box-and-whiskers ábrája

A klorofill-a koncentrációja - ami összességében alacsonynak mondható - az 1-es, 2-es, 4-es és 6-os csoportban, azaz a tó K-i és középső területein kisebb, mint a tó NY-i oldalán lévő 3-as, 5-ös és 7-es egységekben. A 8-as csoportban (38-as mintavételi pont) gyakran regisztráltak az átlagnál jóval nagyobb értékeket (25. ábra).



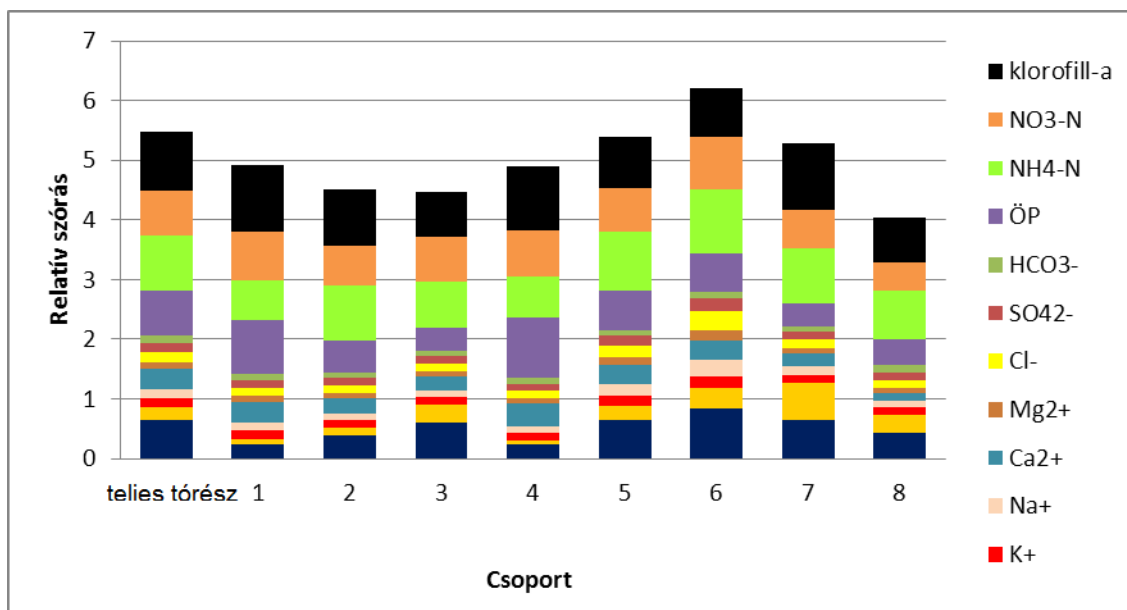
25. ábra. A klorofill-a box-and-whiskers ábrája

7.7 Relatív szórások alakulása a csoportokban

Az egyes csoportokat egymással, illetve a tó egészével összehasonlítva jelentős különbségek mutatkoztak a paraméterek relatív szórásainak vonatkozásában. Ezt a megállapítást már a leíró statisztikák vizsgálata során bemutatott relatív szórás térképek is előrevetítették (8., 9., 11. és 13. ábra). A paraméterek relatív szórás értékeit a csoportokban és a tó egészében a 26. ábra mutatja be.

A pH a 6-os csoportban kiugróan nagy variabilitást mutat. Ezen kívül elmondható, hogy a tó NY-i szegélyén elhelyezkedő 3-as, 5-ös, 7-es és 8-as csoportokban sokkal változékonnyabb, mint az 1-es, 2-es és 4-esben. Az oldott oxigén relatív szórása a pH-hoz hasonlóan az 1-es, 2-es és 4-es csoportban alacsonyabb. A 7-es csoportban (34-es mintavételi pont) ez az érték extrém magas, a tó egészére vonatkoztatott relatív szórás háromszorosa.

Az 5-ös és 6-os csoportban a főbb kationok és anionok relatív szórása jóval nagyobb a többi csoporthoz képest. A tápanyagháztartáshoz kapcsolódó paraméterek esetén is nagy különbségek figyelhetők meg az egyes csoportok között. A NY-on elhelyezkedő 3-as, 5-ös, 7-es és 8-as csoportban az összes foszfor koncentrációjának relatív szórása az egész tóra vonatkoztatott értéknél kétszer, míg az 1-es és 4-es csoport értékeinél háromszor kisebb. A nitrogénformák esetén is láthatunk eltéréseket. Az $\text{NH}_4\text{-N}$ változékonysága az ionokhoz hasonlóan az 5-ös és 6-os csoportban a legmagasabb. Az $\text{NO}_3\text{-N}$ relatív szórása a 8-as csoportban (38-as mintavételi pont) a legkisebb, a 6-os csoportban (29-es mintavételi pont) a legnagyobb. A klorofill-a variabilitása az 1-es, 4-es és 7-es csoportban magasabb, mint az egész tóra vonatkoztatott átlag.



26. ábra. A klaszter analízissel elkülönített csoportok, illetve a tó egészének paraméterenkénti relatív szórásértékei

7.8 Főkomponens analízis

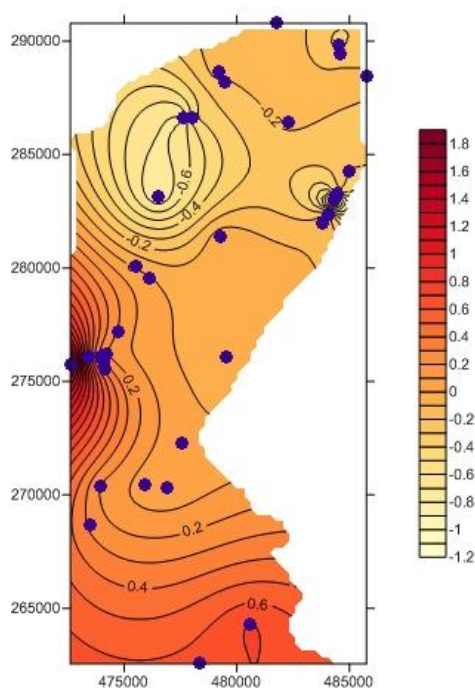
Ahhoz, hogy meghatározzuk, hogy mely paraméterek magyarázták az adatok variációjának legnagyobb részét a 2000-2009-ig, főkomponens analízist (PCA) használtunk. Az eddigi vizsgálati eredmények alapján nyilvánvalóvá vált, hogy a 2000-2009-es időintervallumban a 2004-es esztendő a tó életében egy rendkívüli időpontnak tekinthető, ezért ezt az évet külön kezeltük. A 2000-2009-es (2004-es esztendő kivételével) időintervallum összes mért időpontjának mérési adataiból készített főkomponens analízis főkomponens értékeit a 6. táblázat mutatja be. Azokat az értékeket tekintettük szignifikánsnak (félkövéren kiemelve), ahol a főkomponens érték abszolút értéke nagyobb volt, mint 0,7.

6. táblázat. A 2000-2009-es időintervallum főkomponens analízisének eredménye

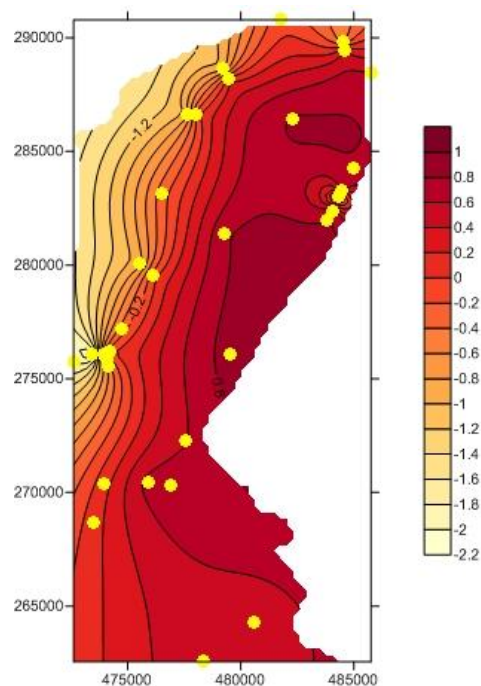
	1. főkomponens	2. főkomponens
<i>pH</i>	0,29	0,81
<i>oldott O₂</i>	-0,07	0,78
<i>K⁺</i>	0,85	0,03
<i>Na⁺</i>	0,96	-0,06
<i>Ca²⁺</i>	-0,31	-0,55
<i>Mg²⁺</i>	0,94	-0,05
<i>Cl⁻</i>	0,95	-0,06
<i>SO₄²⁻</i>	0,92	0,04
<i>HCO₃⁻</i>	0,73	-0,51
<i>ÖP</i>	-0,08	-0,37
<i>NH₄-N</i>	-0,12	-0,47
<i>NO₃-N</i>	-0,39	-0,17
<i>klorofill-a</i>	0,19	-0,16
<i>Magyarázott variancia</i>	0,403	0,173

Két főkomponenst tartottunk meghatározónak. Az első főkomponens az adatok variáciájának 40,3%-át, míg a második 17,3%-át magyarázta meg. Az első főkomponensben a főbb kationok (kivétel kalciumion) és anionok, míg a második főkomponensben a pH és az oldott oxigén jelent meg nagy értékekkel.

A főkomponens súlyokat meg tudtuk határozni az egyes mintavételi pontokban, ami lehetővé tette azok térbeli eloszlásának ábrázolását izovonalas térképek formájában. Az első főkomponens esetében 3 terület különíthető el (27. ábra). A tó ÉK-i és ÉNY-i részén két kis és a NY-i részen egy nagy főkomponens súllyal rendelkező terület figyelhető meg. A második főkomponens esetében ÉNY-ról DK felé a főkomponens súlyok nőnek, az izovonalak sűrűsége hirtelen területi változást mutat. Az első főkomponens súlyai térképének ÉNY-i régiójában megfigyelhető anomália a második főkomponens esetében nem jelentkezik. (28. ábra).



27. ábra. Az első főkomponens súlyainak térbeli eloszlása (2000-2009)



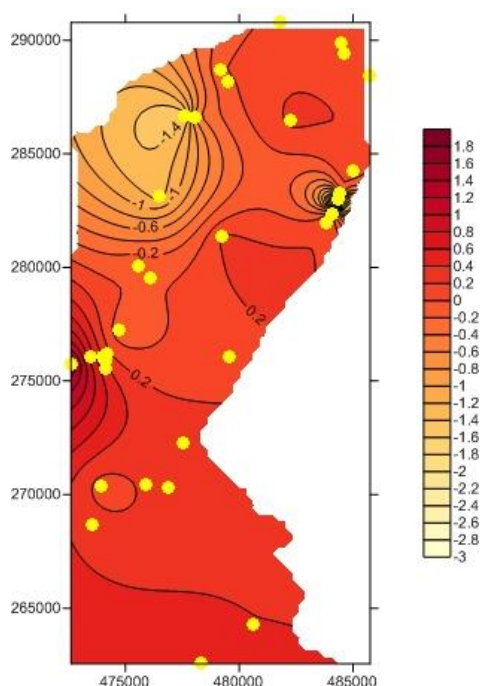
28. ábra. A második főkomponens súlyainak térbeli eloszlása (2000-2009)

2004-es évre vonatkozóan az első főkomponens az adatok variáciájának 43,8%-át a második 18,6%-át magyarázta meg (7. táblázat). Az első főkomponensben, hasonlóan a hosszabb időintervallumban végzett vizsgálatok eredményeihez, a főbb kationok és anionok (kivétel kalciumion) jelentkeztek. Különbség azonban, hogy a HCO_3^- ebben az esetben nem érte el a 0,7-es szignifikancia-szintet. A második főkomponensben a pH jelentősége alárendeltté vált, míg az oldott oxigén mellett az ÖP és a kalcium jelentős tényezővé erősödött.

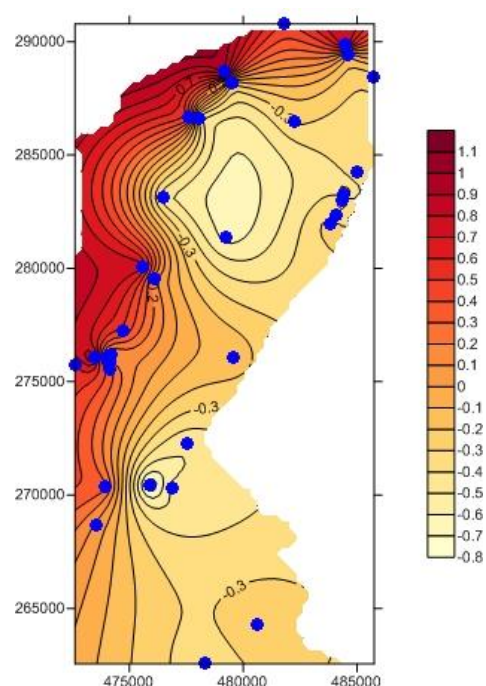
7. táblázat. A 2004-es év főkomponens analízisének eredménye

	1. főkomponens	2. főkomponens
pH	0,54	-0,34
oldott O ₂	0,17	-0,70
K ⁺	0,96	0,07
Na ⁺	0,98	0,06
Ca ²⁺	-0,42	-0,73
Mg ²⁺	0,91	-0,23
Cl ⁻	0,95	0,22
SO ₄ ²⁻	0,90	0,32
HCO ₃ ⁻	0,67	-0,15
ÖP	0,07	-0,87
NH ₄ -N	-0,35	0,39
NO ₃ -N	-0,34	0,03
klorofill-a	0,29	-0,36
Magyarázott variancia	0,438	0,186

A 2004. év első és második főkomponense súlyainak térbeli eloszlását a 29. és a 30. ábra mutatja be. Az első főkomponens esetén nem látunk különbséget a fentebb bemutatott általános képhez (2000-2009) képest. Ezzel szemben a második főkomponens súlyai a jellemző állapottól nagyban eltérnek. A főkomponens súlyok maximuma a tó ÉNY-i, minimuma a középső részein található.



29. ábra. Az első főkomponens súlyainak térbeli eloszlása (2004)



30. ábra. A második főkomponens súlyainak térbeli eloszlása (2004)

A tó a mért paraméterek tekintetében természetesen mutatott időbeli változásokat, így kérdésként merült fel, hogy a háttértenyezők és azok térbeli eloszlása változott-e évről évre. Ezt a vizsgálatot elvégeztük, jelentős változásokat nem tapasztaltunk (kivételet 2004-es év).

A klaszter analízis eredményei rávilágítottak arra, hogy bizonyos térbeli változékonyság is megfigyelhető a tóban, így célszerű volt külön-külön megvizsgálni az egyes csoportokat abból a célból, hogy területükön a háttértényezőkre utaló főkomponensek milyen változásokat mutatnak. Erre a vizsgálatra természetesen csak azokat a csoportokat lehetett felhasználni (1-3. csoport), amelyeknek mintaszáma elég nagy volt ahhoz, hogy a sokváltozós adatelemző módszer feltételrendszerének megfeleljen. Az eredményeket, a csoportokhoz tartozó főkomponens értékeket a 8. táblázat tartalmazza.

8. táblázat. Főkomponensek alakulása az 1-3. csoportban

	1. csoport		2. csoport		3. csoport	
	1. főkomponens	2. főkomponens	1. főkomponens	2. főkomponens	1. főkomponens	2. főkomponens
pH	0,59	0,44	0,37	0,64	0,33	0,78
oldott O ₂	-0,22	0,00	-0,16	0,75	-0,03	0,88
K ⁺	0,85	0,08	0,84	-0,02	0,88	0,04
Na ⁺	0,96	0,02	0,93	0,01	0,97	-0,02
Ca ²⁺	-0,05	-0,80	-0,07	-0,55	-0,07	0,02
Mg ²⁺	0,93	-0,05	0,93	0,06	0,92	0,02
Cl ⁻	0,95	0,06	0,94	0,01	0,90	-0,08
SO ₄ ²⁻	0,95	0,00	0,94	-0,02	0,89	0,14
HCO ₃ ⁻	0,78	-0,43	0,69	-0,36	0,60	-0,66
ÖP	-0,02	-0,75	0,14	-0,37	0,08	-0,07
NH ₄ -N	-0,02	0,04	-0,13	-0,56	-0,01	-0,39
NO ₃ -N	-0,50	0,06	-0,48	0,05	-0,29	0,06
klorofill-a	0,17	-0,37	0,14	0,48	0,27	0,36
Magyarázott variancia	0,429	0,134	0,396	0,160	0,369	0,164

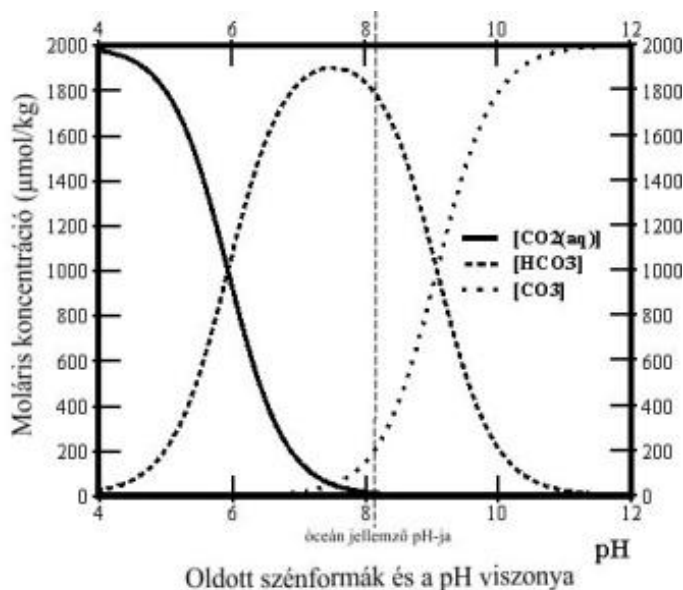
Az első főkomponens az adott csoportokban 37-43%-ban magyarázta az adatok variációját, míg a második főkomponensben ez az érték 13-16%-ig terjedt. Minden csoportban az első főkomponens meghatározó paraméterei a főbb kationok és anionok, akárcsak a 10 éves időintervallum jellemző állapota esetén. Kivételt a kalcium képezett, mely egyik esetben sem jelentkezett az első főkomponensben. Lényeges megemlíteni, hogy a HCO₃⁻ főkomponens értéke a 2-es és 3-as csoportban a 0,7 szignifikancia érték alá csökkent.

A második főkomponensben már nem látunk ekkora egységességet, a különböző csoportokban más-más paraméterek kerültek előtérbe. Az 1-es csoport második főkomponensében a kalcium és az ÖP, a 2-es csoportban a pH, míg a 3-as csoport esetén a pH és az oldott oxigén rendelkezett nagy, azonos előjelű főkomponens értékekkel.

8. Következtetések

8.1 Leíró statisztikák

A felhasznált mintavételi időpontokból számított leíró statisztikákat az 1. táblázat mutatja be. Ezek közül nagyon fontosnak tartjuk a relatív szórás értékelését. A mért paraméterek relatív szórásai közül a legkisebb a logaritmikus skálán mért pH-é, de ennek ellenére a tóban betöltött szerepe jelentős, mivel a pH mért értékei a karbonát-hidrogénkarbonát pufferrendszer azon tartományában mozognak, ahol már a CO_3^{2-} is megjelenhet oldott állapotban a vízben ($\text{pH} > 8,3$). Ennek következtében a pH néhány tized változása is előidézhetheti a karbonát oldódását, kiválását (31. ábra).



31. ábra. A CO_2 ($+\text{H}_2\text{CO}_3$), a HCO_3^- és a CO_3^{2-} arányának pH függése (Daniel, J. J. 1999)

A tápanyagháztartáshoz kapcsolódó paraméterek változékonysága – biológiai folyamatok illetve a környező területek urbanizáltságának következtében - nagyobb a többi változóéhoz képest. A Fertő körüli mezőgazdasági hasznosítású földekről a csapadék időnként bemossa a foszfor és nitrogénformákat a tóba, ez lehet a nagyfokú variabilitás egyik oka.

8.2 Csoportok értelmezése elhelyezkedésük alapján

A tó alapvetően két különböző részre osztható, nyíltvízű és nádas területekre, mégis a klaszter analízis során 8 csoport meghatározása volt célszerű. Ennek oka, hogy az előbb említett két élőhelytípus mért paramétereinek értékei közül egyet vagy kettőt néhány lokális területen valamilyen természetes vagy mesterséges külső hatás oly mértékben változtatott meg, hogy emiatt szükséges volt több csoport elkülönítése. A paraméterek értékeinek csoportonkénti eltérései a relatív szórásokban (26. ábra), a bemutatott izovonalas térképeken (6-13. ábra) és a box-and-whiskers ábrákon (19-25. ábra) nyomon követhetők. A csoportok a tónak bizonyos jellegzetesebb (kisebb-nagyobb) területeit fedik le, ezért a csoportszámok mellett érdemes volt ezeket elnevezni.

Az 1. („nyíltvíz”) csoport a tó nagy kiterjedésű nyíltvízes területén elhelyezkedő mintavételi pontokat foglalja magába. Itt a pH és az oldott oxigén koncentrációja

magasabb, a tápanyagforgalomhoz kapcsolódó paraméterek értéke alacsonyabb a többi csoportokhoz képest.

A 2. („átmeneti”) csoport, mely átmeneti zónaként értelmezhető a nádas és a nyíltvízes területek között, a tó DNY-i részét fedi le. Ez a csoport főként a nádtól pár száz méterre elhelyezkedő mintavételi pontokból áll.

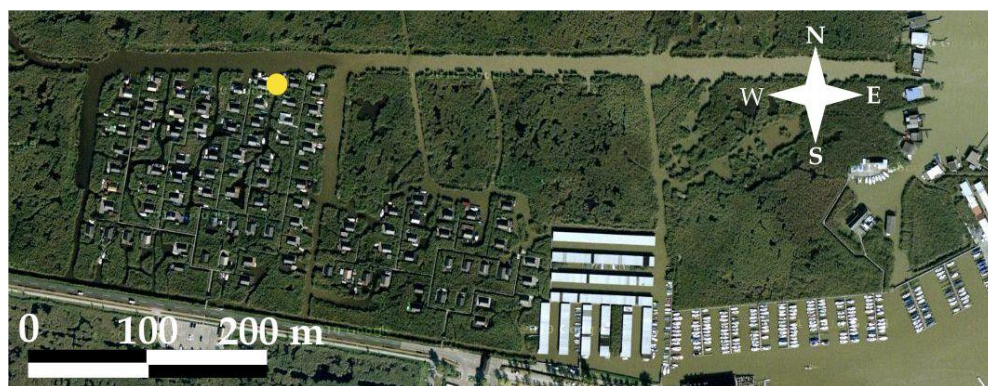
A nádvágó csatornák mintavételi pontjainak egy része a 3-as jelzésű („nádas”) csoportba került. Ezekben az 5-6 m széles járatokban a pH és az oldott oxigén alacsonyabb, a klorofill-a nagyobb koncentrációkkal rendelkezik.

A 4-es („öböl”) csoportot a tó DK-i részén elhelyezkedő 3-as és 4-es mintavételi pont alkotja. Ez a terület csak néhány szűk csatornával csatlakozik a tó óramutató járásával megegyező általános áramlási rendszeréhez. Az ilyen öblökben, ahol a keveredést gyakran csak a szél biztosítja a nagy vízfelületekkel ellentétes áramlási rendszerek is kialakulhatnak (Löffler, H. (ed.) 1979). Valószínűleg ez az oka, hogy az itt lévő 2 mintavételi pont külön egységként szerepel. Az oldott oxigén és a fő kationok és anionok koncentrációja magas, míg a nitrát és a klorofill-a értékei alacsonyak ebben a csoportban.

Az 5-ös („Wulka”) csoport, ami főként az alacsony ionkoncentrációk miatt vált el a környező mintavételi pontoktól, a Wulka-patak befolyási területén helyezkedik el. Emellett magas foszfor, nitrát és klorofill-a koncentrációk jellemzik ezt a csoportot.

A 6-os („szennyvíztisztító”) csoport egyedüli tagja a 29-es mintavételi pont. Ennek oka, hogy a Fertő tó K-i partján Podersdorf mellett egy szennyvíztisztító működik, aminek tisztított vize a tóba ömlik. Így nem meglepő, hogy szinte az összes vizsgált ion értéke kisebb itt a többi mintavételi ponton mérttől. Ezen a helyen gyakran regisztráltak az átlagosnál jóval nagyobb foszforkoncentrációt is. Ennek ellenére a közelben lévő strand biztonságosan működhet, mivel a tisztított szennyvizet a tóban lévő áramlási rendszer a tó belseje felé sodorja.

A 7-es („hétvégi házak”) csoport csak a 34-es mintavételi pontot foglalja magába. A mintavételi hely körüli területre kis nyári lakások szennyvíztisztító rendszerbe bekötött csatornái vezetnek (32. ábra). Sokszor mértek ezen a területen kiugróan alacsony oldott oxigén koncentrációkat.



32. ábra. A 34-es mintavételi pont környezete

Forrás: <http://maps.google.com/>

A 8-as („hotel”) csoport egy hotel előtt elhelyezkedő mintavételi pontból (38-as mintavételi pont) áll (33. ábra). Itt a pH és az oldott oxigén mennyisége alacsony, az ionok koncentrációja pedig extrém magas. A kiugróan magas ionkoncentrációk okozzák, hogy a diszkriminancia analízis során ezen csoport csoportcentroidja távol esik a hozzá térben közeli 7-esétől (17. ábra). Felmerülhet a

kérdés, hogy a közelben lévő település, a hotel vagy esetleg egy eddig ismeretlen lokális hatás okozza ezt az állapotot.



33. ábra. A 38-as mintavételi pont környezete

Forrás: <http://maps.google.com/>

8.3 Korreláció analízis

A tó egészére vonatkoztatott korreláció analízis során (2. táblázat) - nem meglepően - a főbb kationok (kivételek kalciumion) és anionok mutattak szoros lineáris összefüggést, mivel ezen ionok koncentrációjának változását főként csak egy jelenségkör, az időjárás, azon belül is a csapadék és a párolgás befolyásolja jelentős mértékben. A külső befolyók (Wulka-patak, szennyvíztisztító) alacsonyabb ionkoncentrációjú vizeinek hatása csak kismértékű.

A kalcium a legtöbb vizsgálatunkban kivételt képezett, elkülönült a többi főbb kation és anion viselkedésétől. Ennek hátterében a biogén mészkiválás folyamata állhat, amelyben a pH függvényében a hidrogén-karbonátból a fotoszintézis során keletkező CO_2 hatására CaCO_3 csapadék válik ki. Ez a csapadék opálosra színezi a vizet. A Fertő tó esetében ez a jelenség nem figyelhető meg. Lehetséges, hogy a kivált mészkő az üledékben halmozódik fel (foszfor visszatartás legfontosabb folyamata), de ez további vizsgálatokat igényel. A hidrogén-karbonát a kalciumnál jóval nagyobb mennyiségben van jelen a tóban, így ezen paraméter esetében a biogén mészkiválás szinte alig hathat a sztochasztikus kapcsolatokra, azokat főként a csapadék és a párolgás befolyásolja. Ennek következtében a hidrogén-karbonát más ionokkal számított korrelációs együtthatói csak közelítőleg egy tizeddel kisebbek a többi, nagy mennyiségben jelen lévő anionhoz képest (klorid-, szulfátion).

A 29-es mintavételi ponton a beáramló tisztított szennyvíz hatására új korrelációs kapcsolatok jelentek meg (3. táblázat). A pH a főbb kationokkal és anionokkal pozitív sztochasztikus kapcsolatban állt. Ennek lehetséges oka, hogy a bejövő vízben a pH és az ionok koncentrációja is alacsonyabb, a tóba érve a keveredés következtében értékük egyre nagyobb lesz. A beáramló víz hatása csak egy kis területre terjed ki. Ezt igazolja, hogy a 29-es mintavételi ponttól néhány száz méterre elhelyezkedő 32-es mintavételi ponton már a tó egészére jellemző korrelációs kapcsolatok állnak fenn (4. táblázat).

8.4 Wilks' Lambda statisztikák

A tó szikes jellege következtében az ionokban szegényebb befolyó vizek nagy eltéréseket okoznak az egyes területek között. Ez lehet az oka, hogy a tóban nagyobb mennyiségben jelen lévő ionok sokkal meghatározóbbak a csoportosítás során, mint a tápanyagháztartáshoz kötődő paraméterek. A Wilks' Lambda értékek klaszter analízisekor a pH és az oldott oxigén is a nagy csoportosító erejű együttesbe került (18. ábra), mivel ezen paraméterek értékei a tó két nagy élőhelytípusában (nádas, nyíltvíz) is jelentősen különböznek.

8.5 Box-and-whiskers ábrák és relatív szórások

A klaszter analízis és az alapstatisztikák során kirajzolódó eltérő élőhelytípusok, a nádas (beleértve az átmeneti zónát), nyíltvíz közötti különbségek a pH és az oldott oxigén box-and-whiskers ábráin is megmutatkoztak (19-20. ábra). A bejövő vizek hígító hatásának, illetve a növényi maradványok dekompozíciójából keletkező huminsavak következtében alacsonyabb a pH a 3-as, 5-ös, 7-es és 8-as csoportban. A tó NY-ÉNY-i oldalán lévő nádas felé történő pH csökkenés a pH mediánjának izovonalas térképén (6. ábra) is jól megfigyelhető. Ahogy már a 5.3. fejezetben említettük a nyíltvízi tófelületen előnyös, addig a nádövezetben gyakran oxigénszegény viszonyok uralkodnak. A nádasban az oldott oxigén a szerves anyagok lebontása során gyorsan felhasználdik, emellett a nitrifikáció¹⁹ folyamata is oxigént igényel (Némethné D. I. 2008)

A nádas csatornáknál (3-as, 7-es és 8-as csoport) az összes foszfor relatív szórása nagyon alacsony (26. ábra) a többi csoporthoz képest. Ennek oka, hogy a nádas fontos részét képezi a tápanyagforgalomnak, a nádövezetben kiülepedett lebegőanyagokon a tápanyagok rövid időre megkötődnek. A nádas öv puffer²⁰ zónaként működik, megszűri a NY-i mezőgazdasági területekről beérkező foszfor egy részét, tompítva ezzel az időszakos terhelés hatását a csatornák vizeiben (Dinka M. et al. 2010).

A klorofill-a esetében az az érdekes helyzet áll elő a Fertőn, hogy a nyíltvízes területeken (1-es, 2-es, 4-es, 6-os csoport) kisebb ezen paraméter koncentrációja, mint a nádas állományhoz közeli mintavételi pontokon (3-as, 5-ös, 7-es, 8-as csoport) (25. ábra). A nádas ugyanis megvédi a sekély vizet a szélről, így az nem keveredik fel annyira. Ennek következtében kisebb a víz lebegőanyag tartalma, mint a szélnek kitett részeken, tehát elég fény áll rendelkezésre ahhoz, hogy nagyobb klorofill-a értékek alakuljanak ki bennük. A kedvező fényviszonyok mellett a tápanyag is kellő mennyiségű ezeken a területeken.

Az 5-ös, 6-os, 7-es és 8-as csoport a legtöbb vizsgált paraméter esetén eltért a külső befolyás vagy egyéb antropogén tevékenység által nem terhelt csoportoktól (1-es, 2-es, 3-as, 4-es csoport). Ezek okait most külön tárgyaljuk.

Az 5-ös („Wulka”) csoport, környező mintavételi pontokhoz képesti alacsony ionkoncentrációit a patak ionokban szegényebb vizének (Grosina, H. 1990) beáramlása idézi elő. A magas foszforértékekből látszik, hogy a tó foszforterhelésének egy részéért ez a külső befolyó tehető „felelőssé”. A környező, művelés alatt álló területekről a patakon keresztül foszforvegyületek kerülnek a tóba. A Wulkával érkező

¹⁹szerves nitrogén vegyületek baktériumok általi szervesetlen nitrogénvegyületekké – nitráttá, nitráttá - válásának oxidációs folyamata

²⁰kiegyenlítő, tompító

foszfor - mely kirajzolódik az összes foszfor koncentrációk mediánjából készült izovonalas térképen is (12. ábra) – okozza a „Wulka” csoport ezen paraméterének más nádas csatornához képesti nagyobb relatív szórás értékét. A Fertő körüli mezőgazdasági területekről a Wulka a foszfor mellett a nitrátot is bemossa, ezt jelzik a csoport nagyobb nitrát értékei.

A 6-os („szennyvíztisztító”) csoportban a podersdorfi szennyvíztisztító vizének hatására széles a pH interkvartilis terjedelme. Az alacsony ionkoncentrációkat, akárcsak az 5-ös csoport esetén, az ionokban szegényebb víz beáramlása magyarázza. Az összes foszfor box-and-whiskers ábrájáról leolvasható, hogy a tó foszforterhelése a korábban említett diffúz bemosódás mellett a podersdorfi tisztítótelep pontszerű kifolyásából is származik (22. ábra).

A 7-es („hétvégi házak”) csoport kiugróan alacsony oldott oxigén koncentrációja feltehetőleg főként a szerves anyagok oxidációjára vezethető vissza. Az ebbe a csoportba tartozó 34-es mintavételi pont környékén elhelyezkedő kis nyaralók be vannak csatlakoztatva a szennyvíztisztító hálózatba, de a vizsgálatok alapján felvetődik a kérdés, hogy ennek ellenére befolyásolhatja-e antropogén hatás (például az udvari zuhanyok használata) az oxigénviszonyokat.

A 8-as („hotel”) csoportnál a magas nitrát koncentrációt valószínűleg nem a mezőgazdasági művelés, hanem valamely más tényező eredményezheti, mivel a mintavételi ponttól NY-ra kevés mezőgazdasági hasznosítású terület található, illetve a nitrát változékonysága is jelentősen kisebb az 5-ös („Wulka”) csoportétól. A hotel előtti 38-as mintavételi pont egy nyitottabb területen helyezkedik el, de a környező épületek óvják a szélétől a vízfelszínt. Emellett kellő mennyiségű tápanyag áll rendelkezésre, így a kedvező fény-és táplálék viszonyok következtében magas klorofill-a értékek alakulhatnak itt ki. Megjegyezzük továbbá, hogy ezen négy csoporton felül, magas ionkoncentrációjával, a 4-es („öböl”) csoport is eltért más, hozzá hasonló nyíltvízes területek csoportjaitól. A magas ionkoncentrációt a régió kis mértékű „elszigeteltsége” okozhatja. Az ilyen, általános áramlási rendszertől időnként elkülönülő területen az ionok felhalmozódnak, tartózkodási idejük is hosszabb (Herzig, A. szóbeli közlés).

8.6 Főkomponens analízis

A Fertő tó szikes jellegének megfelelően a főkomponens analízis során az első főkomponensben csupán a főbb kationok és anionok jelentkeztek a kalciumion kivételével. A vizsgálat alapján megállapítható, hogy az adatok varianciájának legnagyobb részét a főbb kationok (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) és anionok (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) magyarázzák meg. A kalcium forgalma és ezzel együtt a biogén mészkiválás szerepe a többi ion forgalmához képest nem jelentős.

A második főkomponensben található pH és oldott oxigén nagy, azonos előjelű értékei alátámasztják azt a tényt, hogy a nádas nagy hatást gyakorol a pH alakulásra és az oxigénháztartásra, ahogy ezt a korábbiakban taglalt eredmények esetén is tapasztaltuk. A beérkező víz valójában a nádállományon keresztül válik fertő vízzé. A növényi anyagok dekompozíciójából keletkező huminsavak lecsökkentik a pH-t, a nádas ökoszisztémában élő organizmusok pedig befolyásolják a vízben oldott oxigén mennyiségét. Az élő szervezetek tevékenysége a pH és az oldott oxigén értékek mediánjából készült izovonalas térképeken (6. és 7. ábra) is megfigyelhető.

A főkomponens súlyok térképein jól látszik, hogy a Wulka-patak, a podersdorfi szennyvíztisztító, a Rusthoz közeli hotel, valamint a hétvégi házak csatornái nagy és lokális hatást gyakorolnak a paraméterek sztochasztikus kapcsolataira. Mivel ezek

mindegyike befolyással van az ionforgalomra, így helyük az első főkomponens térképén (27. és 29. ábra) maradéktalanul ki is rajzolódik. A második főkomponensben (28. és 30. ábra) a Wulka zavaró hatása azért, nem látszik, mivel az a pH és oxigén viszonyokat nem befolyásolja jelentősen, ellentétben a másik három mintavételi ponttal (29, 34, 38).

A 2004-es év különállóságának oka, hogy az összes foszfor az átlagnál jóval magasabb értékekkel rendelkezett. 2003-as évben a nádas szinte teljesen kiszáradt, így nem tudta megszűrni a foszfor nagy részét, ami akadálytalanul a tóba került. Továbbá 2004 áprilisában és májusában a mintavételek idején erős ÉNY-i szél fújt, ami felkeverte az üledéket, így megnőtt a foszfor tartalmú lebegőanyag mennyisége a vízben, ami még magasabb összes foszfor értékeket eredményezett.

A csoportonkénti vizsgálat második főkomponensében mutatkozó eltéréseket szintén a területi jellegek határozzák meg. A „nyíltvíz” csoportban a finomszemcsés lebegőanyag felületén lejátszódó mechanizmusok eredményeként a kalcium és az összes foszfor, addig a „nádas” csoportban az élővilág és a magas szerves anyag tartalom hatására a pH és az oldott oxigén alkotja a második főkomponenst. Az „átmeneti” csoportban egyik háttérváltozó sem tudott előtérbe kerülni.



Forrás: www.ferto-neusiedlersee.hu

9. Összefoglalás

A Fertő tó vízminőségi jellemzőinek térbeli és időbeli változásának, illetve az adatok változékonyságát leginkább meghatározó háttérváltozók vizsgálatához elegendő paraméter és mért adat állt rendelkezésünkre. Egy-és többváltozós adatelemző módszereket alkalmaztunk a tó ausztriai részének 33 mintavételi pontjára, 2000-2009-es időintervallumba tartozó 34 mintavételi időpont 13 főként kémiai, valamint biológiai paraméterének adatainak felhasználásával.

Leíró statisztikák számításával egy általános képet kaptunk a Fertő vízkémiai állapotáról, a mért értékekről, majd megvizsgáltuk, hogy milyen sztochasztikus kapcsolatok álltak fenn az egyes paraméterek között. Klaszter analízissel minden mintavételi időpontban meghatároztuk a mintavételi pontok pillanatnyi csoportjait. Eltérő időpontokban eltérő csoportok jöttek létre, ami a tóban mért paraméterek térbeli és időbeli változására utal. Az egyes időpontok csoportjaiból általános csoportokat alkotva összesen 8 egységet különítettünk el, köztük nádas csatornák, nádas előtti átmeneti zónák csoportjait, nyíltvízes régiókat, valamint külső befolyók által terhelt területeket. Az egyes csoportosítások helyességét az egyváltozós statisztikai módszerek helyett (például varianciaanalízis) a paraméterek nem normális eloszlása miatt diszkriminancia analízissel ellenőriztük.

A paraméterenkénti Wilks' Lambda statisztikák rámutattak arra, hogy a főbb kationok és anionok sokkal nagyobb mértékben határozták meg a csoportok kialakulását, mint a tápanyagháztartást jellemző változók. A paraméterek relatív szórásainak csoportonkénti összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a nádközötti csatornák, a nyíltvízes területek és a tóba érkező külső befolyók csoportjaiban a vízminőséget leíró paraméterek változékonysága jelentősen eltér. A Wulka-patak és a podersdorfi szennyvíztisztító vizének zavaró hatását az ionok nagy relatív szórás értékei is alátámasztották.

A meghatározott csoportokra paraméterenként is célszerű volt box-and-whiskers ábrákat készíteni, amelyek alapján egyszerűen be lehetett mutatni az egyes víztájak vízminőségbeli különbségeit. A mintavételi pontokon mért paraméterek mediánjainak térképi ábrázolása jól szemlélteti az egyes paraméterek térbeli eloszlásait. Megállapítást nyert, hogy a környező területeken folyó antropogén tevékenység nagy, lokális hatással van a tó vízkémiai állapotára. Ezek közül legfontosabbnak tartjuk, a pontszerű (tisztított szennyvíz) és diffúz (mezőgazdasági művelés alatt álló területekről bemosódó magas tápanyagtartalmú anyagok) foszforterhelés hatásainak megjelenését.

Főkomponens analízis eredményei alapján a tóban, illetve annak egyes térrészeiben (csoportokban) a háttérváltozók meghatározhatóvá váltak. A vizsgálat eredményei alapján kijelenthető, hogy az adatok varianciájának legnagyobb részét a főbb kationok (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) és anionok (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) magyarázzák. Csoportok közötti különbségek csak az adatok varianciájának kicsit több mint tizedét magyarázó második főkomponensben mutatkoztak. A mintavételi pontok főkomponens súlyainak térbeli eloszlását ábrázoló izovonalas térképeken jól kirajzolódtak a korábban említett, a tóban zajló folyamatokat lokálisan zavaró hatások (Wulka-patak, szennyvíztisztító, hétvégi házak csatornái, hotel).

A kutatási eredmények alapján megállapítható, hogy a Fertő tó nem kezelhető egyetlen egységként, a vízminőségi paraméterek térbeli és időbeli eloszlása változik. Ez a változékonyság a tó sekélységéből, instabil vízmérlegéből, a Fertő környékén zajló mezőgazdasági művelésből és egyéb antropogén tevékenységekből adódik.

10. Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Kovács Józsefnek, az ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszéke dolgozójának, mind emberi, mind pedig szakmai támogatásáért, példamutató és önzetlen segítségéért, belém vetett bizalmáért.

Köszönöm Prof. Alois Herzignek, az illmitzi Biologische Station Neusiedler See vezetőjének, hogy az adatokat rendelkezésemre bocsátotta és munkámat segítette.

Köszönöm Dr. Dinka Máriának, a Magyar Tudományos Akadémia Ökológiai Kutatóközpontjának dolgozójának szakmai tanácsait.

Köszönöm Hatvani István Gábornak, az ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszéke doktorandusz hallgatójának munkám során nyújtott folyamatos és készséges segítségét, hasznos tanácsait.

Köszönettel tartozom Tanos Péternek a Corel Draw program használatában nyújtott segítségéért.

Ezúton szeretném megköszönni az ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékének a technikai háttér biztosítását.

Végül szeretném megköszönni édesanyám és menyasszonyom támogatását.

11. Irodalomjegyzék

Abért L. - Beiwł, C. - Dávid S. - Friehs, B. - Gaál R. - Hasieber, F. - Harkay M. - Herlicska, H. - Janák E. - Herzig, A. - Lakosi I. - Kavka, G. - Lábdy M. - Krämer, D. - Katona L-NÉ - Lamprecht, F. - Kiss R. - Malina, H. - Kovács D. Z. - Maracek, K. - Kövári I. - Marosi, J. - Kutrucz GY. - Murer, E. - Markó L. - Rojacz, H. - Mohácsiné S. G. - Sammet, J. - Pannonhalmi M. - Spatzierer, G. - Somogyi P. - Stalzer, W. - Sütheő L. - Stania, K. - Székely E. - Szinovatz, H. - Tas J. - Tötzl, B. - Varga M. - Vekilov, M. 2006: Közös vizeinkről 1956-2006. Jelentés a határon átnyúló vízgazdálkodásról - Magyar – Osztrák Vízügyi Bizottság. 62 p.

http://www.edukovizig.hu/files/download/kozos_vizeinkrol.pdf

Antal E. - Kozma F. - Kozmáné T. E. - Nagyné D. A. - Walkovszky A. 1982: A Fertő tó vízrajza. - In: Kovács Z. - Kozmáné T. E. (szerk.): A Fertő tó természeti adottságai. - Északdunántúli Vízügyi Igazgatóság és az Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. pp. 44-121.

Back, W. 1966: Hydrochemical facies and ground-water flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 424-D. - United States Government Printing Office, Washington, DC. pp. A1-A42.

Bártfai B. 2007: Office 2007 (Word, Excel, Access, Outlook, PowerPoint). - BBS-Info és informatikai Kft., Budapest. 464 p.

Boros E. 2002: Szikes tavak. - Környezetvédelmi Minisztérium, Természetvédelmi Hivatal, 28 p.

http://www.termeszetvedelem.hu/_user/downloads/nok/Szikestavak.pdf

Daniel, J. J. 1999: Introduction to Atmospheric Chemistry. - Princeton Univ. Press, New Jersey, USA. 261 p.

Dinka M. - Ágoston-Szabó E. – Berczik Á. – Kutrucz Gy. 2004: Influence of water level fluctuation on the spatial dynamic of the water chemistry at Lake Fertő/Neusiedler See. - *Limnologica*, 34(1-2). pp. 48-56.

Dinka M. - Ágoston-Szabó E. - Kiss A. - Schöll K. 2009: A Fertő magyar tórérszének térbeli eltérései a vízkémiai jellemzők és a zooplankton együttesek alapján. - Magyar Hidrológiai Társaság XXVII. Vándorgyűlése, Baja, 2009. július 1-3. <http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/27/dolgozatok/12dinka-agoston.htm>

Dinka M. - Ágoston-Szabó E. - Szeglet P. 2010: Comparison between biomass and C, N, P, S contents of vigorous and die-back reed stands of Lake Fertő/Neusiedler See. - *Biologia*, 65. pp. 237-247.

Dobesch, H. - Neuwirth, F. 1979: Climatic conditions - In: Löffler, H. (ed.): Neusiedlersee. The limnology of a shallow lake in Central Europe. - Dr. W. Junk by. Publishers, Hága, Monographiae Biologicae pp. 47-64.

Dokulil, M. T. - Herzig, A. 2009: An analysis of long-term winter data on phytoplankton and zooplankton in Neusiedler See, a shallow temperate lake, Austria. - *Springer Science Aquat. Ecol.*, 43. pp. 715-725.

Dryden, I. - Márkus L. - Taylor, C. - Kovács J. 2005: Non-Stationary spatio-temporal analysis of karst water levels. - *Journal of the Royal Statistical Society, Series C-Applied Statistics*, 54. pp. 673-690.

- Filik Iscen, C. - Emiroglu, Ö. - Ilhan, S. - Arslan, N. - Yilmaz, V. - Ahiska, S. 2008: Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. - *Environ. Monit. Assess.*, doi: 10.1007/s10661-007-9989-3
- Freeze, R. A. - Cherry, J. A. 1979: Groundwater. - *Prentice-Hall*, New Jersey. 604 p.
- Füstös L. - Meszéna Gy. - Simonné M. N. 1986: A sokváltozós adatelemzés statisztikai módszerei. - *Akadémiai Kiadó*, Budapest. 525 p.
- Güler, C. - Thyne, G. D. - McCray, J. E. - Turner, A. K. 2002: Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. - *Hydrogeology Journal*, doi: 10.1007/s10040-002-0196-6
- Grosina, H. (1990). Forschungsbericht 1987-1989. - *Rötzer-Druck*, Eisenstadt.
- Hatvani I. G. - Kovács J. - Kovácsné Székely I. - Jakusch P. - Korponai J. 2010: Analysis of long term water quality changes in the Kis-Balaton Water Protection System with time series-, cluster analysis and Wilks' lambda distribution. - *Ecol. Eng.*, doi:10.1016/j.ecoleng. 2010.12.028
- Hill, R. A. 1940: Geochemical patterns in Coachella Valley, California. - *Trans. Am. Geophys. Union*, 21. pp. 46–49.
- Johnson, R. A. - Wichern, D. W. 1992: Applied multivariate statistical analysis (3rd ed.). - *Prentice Hall*, New Jersey. 656 p.
- Juahir, H. - Zain, S. M. - Yusoff, M. K. - Hanidza, T. I. T. - Armi, A. S. M. - Toriman, M. E. - Mokhtar, M. 2011: Spatial water quality assessment of Langat River Basin (Malaysia) using environmetric techniques. - *Environ. Monit. Assess.*, doi: 10.1007/s10661-010-1411-x
- Jungwirth, M. 1979: Currents. - In: Löffler, H. (ed.): Neusiedlersee. The limnology of a shallow lake in Central Europe. - *Dr. W. Junk bv. Publishers*, Hága, Monographiae Biologicae pp. 85-88.
- Kákonyi Á. 2009: A víz sótartalom mérésének jelentősége. - Magyar Hidrológiai Társaság XXVII. Vándorgyűlése, Baja, 2009. július 1-3.
http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/27/dolgozatok/12kakonyi_arpad.htm
- Kalmár I. 1982: A Fertő tó vízrajza. - In: Kovács Z. - Kozmáné T. E. (szerk.): A Fertő tó természeti adottságai. - *Északdunántúli Vízügyi Igazgatóság és az Országos Meteorológiai Szolgálat*, Budapest. pp. 126-141.
- Kazi, T. G. - Arain, M. B. - Jamali, M. K. - Jalbani, N. - Afridi, H. I. - Sarfraz, R. A. - Baig, J. A. - Shah, A. Q. 2009: Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. - *Ecotox. Environ. Safe*, doi: 10.1016/j.ecoenv.2008.02.024
- Ketskemény L. - Izsó L. 2005: Bevezetés az SPSS programrendszerbe. - *ELTE Eötvös Kiadó*, Budapest. 460 p.
- Kovács J. - Kovácsné Székely. I. 2006: A minta értelmezési problémái: elmélet és gyakorlat. - *Földtani Közöny*, 136. pp. 139-146.
- Kovács J. - Tanos P. - Korponai J. - Kovácsné Székely I. - Gondár K. – Sőregi G. K. - Hatvani I. G. in press: Analysis of water quality data for scientists, in *Water Quality, In Tech Education and Publishing*

- Kováts Z. 1982: A Fertő tó mederviszonyai. - In: Kováts Z. - Kozmáné T. E. (szerk.): A Fertő tó természeti adottságai - *Északdunántúli Vízügyi Igazgatóság és az Országos Meteorológiai Szolgálat*, Budapest. pp. 14-40.
- Kutrucz Gy. - Pannonhalmi M. - Némethné D. I. - Kovács R. - Keserü B. - Tóth I. 2010: A Fertő tó vizsgálatának jelene és jövője. - Magyar Hidrológiai Társaság XXVIII. Vándorgyűlése, Sopron, 2010. július 7-9.
http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/28/dolgozatok/kutrucz_gyula.html
- Liu, W. C. – Yu, H. L. – Chung, C. E. 2011: Assessment of Water Quality in a Subtropical Alpine Lake Using Multivariate Statistical Techniques and Geostatistical Mapping: A Case Study. - *Int. J. Environ. Res. Public Health*, doi: 10.3390/ijerph8041126
- Liu, Y. - Guo, H. – Yang, P. 2010: Exploring the influence of lake water chemistry on chlorophyll-a: A multivariate statistical model analysis. - *Ecological Modelling*, doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.03.010
- Márkus L. - Berke O. - Kovács J. - Urfer, W. 1999: Spatial Prediction of the Intensity of Latent Effects Governing Hydrogeological Phenomena - *Environmetrics*, 10. pp. 633-654.
- Morgan, C. O. - Winner, M. D. Jr. 1962: Hydrochemical facies in the 400 foot and 600 foot sands of the Baton Rouge Area, Louisiana. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 450-B. - *United States Government Printing Office*, Washington, DC. pp. B120-B123.
- Münnich Á. - Nagy Á. - Abari K. 2006: Többváltozós statisztika pszichológus hallgatók számára. - *Bölcsész Konzorcium*, Debrecen.
<http://psycho.unideb.hu/statisztika>
- Némethné D. I. 2008: Szakértői Összefoglaló – Vízhatalmóségi szakterület
http://www.ferto-neusiedlersee.hu/pdf/vizkemia_osszefoglalo.pdf
- Norušis, M. J. - SPSS Inc. 1993: SPSS for Windows Professional Statistics Release 6.0. - *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Padisák J. 2005: Általános limnológia. - *ELTE Eötvös Kiadó*, Budapest. 310 p.
- Pannonhalmi M. 1975: A Fertő tó limnológiai jellemzése. - *Soproni Szemle*, 29. pp. 170-175.
- Piper, A. M. 1944: A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. - *Trans. Am. Geophys. Union*, 25. pp. 914–923.
- Ramsar Convention 1971: Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat. Ramsar (Iran).
- Sajtos L. - Mitev A. 2007: SPSS Kutatási és Adatelemzési Kézikönyv. - *Alinea Kiadó*, Budapest. 401 p.
- Sargaonkar, A. - Deshpande, V. 2003: Development of an overall index of pollution for surface water based on a general classification scheme in Indian context. - *Environ. Monit. Assess.*, doi: 10.1023/A:1025886025137
- Shrestha, S. - Kazama, F. 2007: Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. - *Environmental Modelling & Software*, doi:10.1016/j.envsoft.2006.02.001

Shumway, R. H. - Davis, S. S. 2000: Time Series Analysis and Its Applications. - Springer-Verlag, New York, USA. 549 p.

Simeonov, V. - Stratis, J. A. - Samara, C. - Zachariadis, G. - Voutsas, D. - Anthemidis, A. - Sofoniou, M., - Kouimtzis, Th. 2003: Assessment of the surface water quality in Northern Greece. - *Water Research*, doi:10.1016/S0043-1354(03)00398-1

Singh, K. P. - Malik, A. - Mohan, D. - Sinha, S. 2004: Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India): a case study. - *Water Research*, doi: 10.1016/j.watres.2004.06.011

Székelyi M. - Barna I. 2004: Túlélőkészlet az SPSS-hez - *Typotex Kiadó*, Budapest. 454 p.

Turner, R. K. - van den Bergh, J. C. J. M. - Söderqvist, T. - Barendregt, A. - van der Straaten, J. - Maltby, E. - van Ierland, E. C. 2000: Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. - *Ecol. Econ.*, 35. pp. 7-23.

Varga L. 1962: A Fertő tó limnológiai sajátosságai. - *Hidrológiai Tájékoztató*, 2(3). pp. 127-129.

Vega, M. - Pardo, R. - Barrado, E. - Debán, L. 1998: Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. - *Water Research*, doi: 10.1016/S0043-1354(98)00138-9

Ward, J. H. Jr. 1963: Hierarchical grouping to optimize an objective function. - *Journal of the American Statistical Association*, 58(301). pp. 236-244.

WFD, Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, European Union, Luxembourg, 2000, PE-CONS 3639/1/00 REV 1.

Wilks, S. S. 1932: Certain generalizations in the analysis of variance. - *Biometrika*, 24. pp. 471-494.

Wunderlin, D. A. - Diaz, M. P. - Ame, M. V. - Pesce, S. F.- Hued, A. C. - Bistoni, M. A. 2001: Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquia river basin (Cordoba-Argentina). - *Water Research*, doi: 10.1016/S0043-1354(00)00592-3.

Yidana, S. M. - Ophori, D. - Banoeng-Yakubo, B. 2008: A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data - The Ankobra Basin, Ghana. - *Journal of Environmental Management*, 86(1). pp. 80-87.

Zedler, J. B. 2001: Committee on Mitigating Wetland Losses, Board on Environmental Studies and Toxicology, Water Science and Technology Board, Division on Earth and Life Studies, National Research Council, Compensating for wetland losses under the clean water act. - *National Academy Press*, Washington. D. C. 349 p.

Zhou, F. - Liu, Y. - Guo, H. 2007: Application of multivariate statistical methods to water quality assessment of the watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong. - *Environ. Monit. Assess.*, doi: 10.1007/s10661-006-9497-x

Zhou, J. - Ma, D. - Pan, J. - Nie, W. - Wu, K. 2008: Application of multivariate statistical approach to identify heavy metal sources in sediment and waters: a case study in Yangzhong, China. - *Environ Geol*, doi: 10.1007/s00254-007-0824-5

12. Mellékletek

12.1 Ábrajegyzék

1. *ábra:* A Fertő tó vízgyűjtő területe
2. *ábra:* Mintavételi pontok helye a Fertő tó ausztriai területén
3. *ábra:* A nátrium adatainak mennyisége az egyes években (1994-2009)
4. *ábra:* Az adatmennyiség havonkénti megoszlása (1994-2009)
5. *ábra:* A négydimenziós adathalmaz
6. *ábra:* A pH mediánjának térbeli eloszlása
7. *ábra:* Az oldott oxigén mediánjának térbeli eloszlása
8. *ábra:* A pH relatív szórásának térbeli eloszlása
9. *ábra:* Az oldott oxigén relatív szórásának térbeli eloszlása
10. *ábra:* A nátrium mediánjának térbeli eloszlása
11. *ábra:* A nátrium relatív szórásának térbeli eloszlása
12. *ábra:* Az összes foszfor mediánjának térbeli eloszlása
13. *ábra:* Az összes foszfor relatív szórásának térbeli eloszlása
14. *ábra:* A felhasznált mintavételi időpontokban mért kation és anion értékeiből készült Piper diagram
15. *ábra:* A mintavételi pontok legjellemzőbb csoportosulásának dendrogramja
16. *ábra:* A klasztercsoportok térbeli elhelyezkedése
17. *ábra:* A keresztvalidációs diszkriminancia analízis eredménye
18. *ábra:* A Wilks' Lambda statisztikák dendrogramja (2000-2009)
19. *ábra:* A pH box-and-whiskers ábrája
20. *ábra:* Az oldott oxigén box-and-whiskers ábrája
21. *ábra:* A nátrium box-and-whiskers ábrája
22. *ábra:* Az összes foszfor box-and-whiskers ábrája
23. *ábra:* Az ammónium-nitrogén box-and-whiskers ábrája
24. *ábra:* A nitrát-nitrogén box-and-whiskers ábrája
25. *ábra:* A klorofill-a box-and-whiskers ábrája
26. *ábra:* A klaszter analízissel elkülönített csoportok, illetve a tó egészének paraméterenkénti relatív szórásértékei
27. *ábra:* Az első főkomponens súlyainak térbeli eloszlása (2000-2009)
28. *ábra:* A második főkomponens súlyainak térbeli eloszlása (2000-2009)
29. *ábra:* Az első főkomponens súlyainak térbeli eloszlása (2004)
30. *ábra:* A második főkomponens súlyainak térbeli eloszlása (2004)

31. *ábra:* A CO_2 ($+\text{H}_2\text{CO}_3$), a HCO_3^- és a CO_3^{2-} arányának pH függése
32. *ábra:* A 34-es mintavételi pont környezete
33. *ábra:* A 38-as mintavételi pont környezete

12.2 Táblázatjegyzék

1. *táblázat:* A felhasznált paraméterek alapstatisztikái (2000-2009)
2. *táblázat:* A mért paraméterek korrelációs mátrixa a tó egészének vonatkozásában
3. *táblázat:* A mért paraméterek korrelációs mátrixa a 29-es mintavételi ponton
4. *táblázat:* A mért paraméterek korrelációs mátrixa a 32-es mintavételi ponton
5. *táblázat:* A mintavételi pontok legjellemzőbb csoportosulása
6. *táblázat:* A 2000-2009-es időintervallum főkomponens analízisének eredménye
7. *táblázat:* A 2004-es év főkomponens analízisének eredménye
8. *táblázat:* Főkomponensek alakulása az 1-3. csoportban

12.3 A mért paraméterek értékeinek vizsgálati módszerei

Paraméter	Mértékegység	Vizsgálati módszer
pH	-	NORM DIN 38404 Teil 5
oldott oxigén	mg/l	Winkler-módszer
kálium	mg/l	NORM EN ISO 14911
nátrium	mg/l	NORM EN ISO 14911
kalcium	mg/l	NORM EN ISO 14911
magnézium	mg/l	NORM EN ISO 14911
klorid	mg/l	NORM EN ISO 10304-1
szulfát	mg/l	NORM EN ISO 10304-1
hidrogén-karbonát	mg/l	NORM DIN 38409 Teil 7
összes foszfor	µg/l	NORM EN ISO 6878
ammónium-nitrogén	µg/l	NORM DIN 38406 Teil 5
nitrát-nitrogén	µg/l	NORM DIN 38405-29
klorofill-a	µg/l	Lorenzen-módszer

12.4 A mintavételi pontok helye

Mintavételi pont	Északi szélesség	Keleti hosszúság
1	47°46'16"	16°44'47"
2	47°45'13"	16°44'18"
3	47°42'01"	16°47'24"
4	47°41'03"	16°45'39"
5	47°45'16"	16°43'30"
6	47°45'12"	16°41'57"
7	47°48'00"	16°41'58"
8	47°48'10"	16°41'57"
9	47°48'20"	16°42'00"
10	47°48'54"	16°42'25"
11	47°50'10"	16°43'27"
12	47°50'27"	16°43'00"
13	47°52'08"	16°43'42"
16	47°54'02"	16°44'50"
17	47°54'02"	16°44'30"
18	47°54'53"	16°45'58"
19	47°55'09"	16°45'43"
20	47°56'20"	16°47'44"
21	47°55'39"	16°50'02"
22	47°55'52"	16°49'57"
23	47°55'08"	16°50'59"
24	47°54'00"	16°48'15"
25	47°52'51"	16°50'28"
26	47°51'36"	16°49'34"
27	47°51'13"	16°45'57"
28	47°48'22"	16°46'18"
29	47°52'11"	16°49'59"
30	47°52'19"	16°50'03"
32	47°51'49"	16°49'46"
33	47°48'16"	16°41'50"
34	47°48'16"	16°41'25"
35	47°44'16"	16°41'39"
38	47°48'05"	16°40'45"