



Környezettudományi Intézet

Szikes talajok vizsgálata a Fertő magyar oldalán

TDK dolgozat

Készítette: **Szála Boglárka**
CDZ4T6
Környezetmérnök alapképzés
Nappali tagozat
Szent István Campus

Témavezetők: **Dr. Szegi Tamás András,**
egyetemi docens
Környezettudományi Intézet, Talajtani Tanszék
Dr. Simon Barbara,
egyetemi docens
Környezettudományi Intézet, Talajtani Tanszék

**Gödöllő
2024.**

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	4
2.	Célkitűzés.....	5
3.	Irodalmi áttekintés.....	6
3.1	Szikes tavak.....	6
3.2	A Fertő jellemzése.....	6
3.3	A Fertő hidrológiai jellemzése és vízrajzi viszonyai.....	8
3.4	A talajviszonyokat alakító legfontosabb tényezők.....	11
3.5	A Fertő mentén kialakult talajok jellemzése.....	12
4.	Anyagok és módszerek.....	14
4.1	A mintavételi terület ismertetése.....	14
4.2	A mintavétel folyamata.....	15
4.3	Laboratóriumi vizsgálatok.....	19
4.3.1	Fizikai paraméterek.....	19
4.3.2	Kémiai paraméterek.....	20
4.3.3	Biológiai paraméterek.....	26
4.3.4	Az adatok kiértékelése.....	27
5.	Eredmények és értékelésük.....	29
5.1	Talajok fizikai paraméterei.....	29
5.1.1	Textúra.....	29
5.1.2	Talaj nedvességtartalom.....	29
5.2	Talajok kémiai paraméterei.....	30
5.2.1	Kémhatás.....	30
5.2.2	CaCO ₃ tartalom.....	30
5.2.3	Foszfor-pentoxid tartalom.....	31
5.2.4	Kálium-oxid tartalom.....	32

5.2.5	Nitrit-nitrogén tartalom	32
5.2.6	Nitrát-nitrogén tartalom.....	33
5.2.7	Ammónium-nitrogén tartalom.....	34
5.2.8	Nitrogén tartalom	35
5.2.9	Kén tartalom.....	35
5.2.10	Szerves szénttartalom	36
5.2.11	Elektromos vezetőképesség és összes sótartalom	37
5.3	Talajok biológiai paraméterei	38
5.3.1	Talajlégzés vizsgálat.....	38
5.4	A talaj paraméterek közötti összefüggések vizsgálatának eredményei	39
5.5	A mintaterületek közötti kapcsolatok vizsgálatának eredményei.....	40
6.	Következtetések és javaslatok.....	42
7.	Összefoglalás.....	44
8.	Irodalomjegyzék.....	45
9.	Köszönetnyilvánítás	48

1. Bevezetés

A szikes tavak különleges élőhelyek, melyeket jellemez a sekélységük és a magas só tartalmuk. Éppen ez az, ami veszélyeztetetté teszi őket a klímaváltozás következtében egyre szélsőségesebbé váló csapadékeloszláson keresztül. Élőviláguk különleges, hiszen azok a fajok, melyek itt élnek egy változó só koncentrációjú és nedvesség tartalmú világhoz alkalmazkodtak. Emellett ezek a vizek fontos szerepet játszanak a vonuló madarak életében is, így a biodiverzitás megőrzésében nagy szerepük van.

Európa legnyugatibb ilyen tava a Fertő. Ausztria és Magyarország közös tava, a felszínének több, mint felét nádas borítja és átlagos mélysége mintegy 1,1 m (Kárpáti és Fally 2012). Az ember mindig is hasznosította a közelében lévő vizeket, ami ez esetben nem volt annyira könnyű a tó kiszáradási periódusai, a nagy nád borítottság, a sós víz és a sekély mélység miatt. Halászatra, nádaratásra azonban tökéletesen alkalmasnak bizonyult a történelmi időközön keresztül. A tó környezete sem volt kifejezetten alkalmas növénytermesztésre, hiszen a talaj vízgazdálkodása szélsőségesen alakul. Legeltetési állattartásra azonban megfelelő, ahogyan azt a magyar oldalon a Fertő-Hanság Nemzeti Park, Ausztriában pedig a Neusiedlersee-Seewinkel National Park munkatársai a mai napig folytatják. A nemzeti parkok 1991-ben és 1993-ban jöttek létre, de a Fertő már 1979 óta az UNESCO Ember és Környezete bioszféra rezervátum. 1989-ben a Fertő-táj a Ramsari Egyezmény része lett, mely a vizes élőhelyek védelme érdekében jött létre. 2001 óta a teljes Fertő-táj az UNESCO Világörökség része, Fertő/Neusiedler See Kultúrtáj néven (Draganits et al. 2006).

A terület, mely a kutatásom helyszínéül szolgál a Fertő-Hanság Nemzeti Park szikes tó rekonstrukciós területe, amit a vonuló madarak érdekében hoztak létre, azzal a céllal, hogy az emberi behatásokat ellensúlyozza és a tó környezetének eredeti képét megőrizze az élővilág számára. Az emberi behatás a Fertő és a Hanság hosszú ideig tartó vízrendezése volt, aminek utolsó lépése a Hanság-főcsatorna és a Mexikópusztai zsilip megépítése volt. Ez biztosítja, hogy a Fertő vízszintje szabályozható legyen és a mintavételi terület árasztását is ezzel végzik.

A Fertővel kapcsolatban számos kutatás zajlott már, ezeknek köszönhetően ismerjük a flóráját és a faunáját a mikroszervezeteket, amik benne élnek, a vízminőségi paramétereit, az üledékét a történelmét, a földrajzát és kialakulását. A körülötte kialakult talajok épp oly érdekesek, azonban ezekről átfogó tanulmány még nem készült, csak elszigetelt talajvizsgálatok ismertek mind a magyar, mind az osztrák oldalról. Ezek azonban jó alapot adtak a jelenlegi kutatáshoz. A kiválasztott terület ugyan a teljes tavat tekintve nem nagy, azonban közel fekszik korábban

leírt szelvényekhez (Szabolcs és Ábrahám 1957, Kárpáti és Fally 2012). Jelen dolgozatban a különböző mintaterületeken vett kevert minták elemzését ismertetjük.

2. Célkitűzés

A kutatásban a Fertő-táj Mexikópuszta elnevezésű területének talajait vizsgáltam. Ezek a területek természetvédelmi besorolásuk szerint fokozottan védettek, a Fertő-Hanság Nemzeti Park tájfajtaikkal legeltet rajtuk a vízborítottság függvényében. Ezért a következő kérdésekre keresetem a választ:

1. Befolyásolja-e a mintapontok tótól való távolsága a talajok kémiai, biológiai és fizikai tulajdonságait?
2. Befolyásolja-e a jelenlegi tájhasználat (legeltetés) és a legeltetett állatállomány a talajok kémiai, biológiai és fizikai tulajdonságait?

3. Irodalmi áttekintés

3.1 Szikes tavak

A sós vizű tavak jellemzően száraz vagy félszáraz klimatikus viszonyok között jönnek létre, a Föld néhány legnagyobb tava is közéjük tartozik. A jellemzőiket tekintve (kiterjedés, vízkémiai paraméterek, élővilág stb.) sokfélék. Közös jellemzőjük, hogy többnyire olyan medencékben alakulnak ki, melyek hidrológiai értelemben zártak. A szárazabb időszakokban vagy aszályos években vizük jelentős része elpárolog, melynek egyik következménye a sókoncentráció növekedése. Mivel ezek a tavak a klimatikus változásokra igen érzékenyen reagálnak, a bennük és körülöttük kialakuló élővilág különleges, hiszen az év különböző részeiben és évente is különböző körülményekhez kell alkalmazkodnia. A szikes tavakra jellemző, hogy vannak kiszáradási periódusaik, melyeket az évszázadok során számos legendával öveztek a tavak környezetében élő népek. Jelenleg a szikes tavakat és a hozzájuk kapcsolódó társulásokat sajnos éppen az emberi tevékenység és az általunk előidézett másodlagos szikesedés veszélyezteti leginkább (Waiser és Robarts, 2009).

A kutatásom középpontjában álló szikes talajok azért jöttek létre, mert egy sztyeppító vagyis szikes tó alakítja a kialakulásuk és fejlődésük viszonyait. A szikes tavak Magyarországon az 1996. évi LIII. törvény alapján, mely a természetvédelem tárgyköréről íródott *ex lege* védettséget kaptak. Ugyanezen törvény így definiálja őket: „*a szikes tó olyan természetes vagy természetközeli 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*” (http1). Az ország szikes tavai nagyrészt az Alföldön találhatóak, kisebb kiterjedésűek és jellemzően időszakosak vagy jelentősen csökken a kiterjedésük a csapadék szegény hónapokban (Érdiné Szekeres Rozália 2002). Van azonban két nagyobb szikes tó is az országban, a Velencei-tó és a Fertő.

3.2 A Fertő jellemzése

A Fertő Európa legnyugatibb sztyepptava, melyet Magyarország és Ausztria határa szel ketté, a Kisalföld nyugati oldalán, a Soproni-, a Rozália és a –Lajta-hegység keleti lábánál helyezkedik el. Hosszúka alakú, Észak-Déli irányú a hossz tengelye, hossza 36 km, míg szélessége 6 és 14 km között változik. Átlagos vízmélysége csupán 1,1 m és a nádasának kiterjedése a tó felszínének (315 km²) az 54%-át teszi ki. A magyar oldalon lévő 75 km²-es rész 86%-ban nádassal fedett (Kárpáti és Fally 2012). Összefoglalva tehát a tó kiterjedése jelentős -

az ország második legnagyobb tava- viszont nagyon sekély és meghatározó tulajdonsága a nagy arányú nádas borítás.

A Fertő medrének kialakulása a pleisztocén idején zajlott. A nyugati peremét kristályos pala, a déli oldalát az ősi Ikva hordalékja alapozza a tavi üledék alatt. A jelenlegi üledékek alatt vastag harmadidőszaki üledékréteg van (Löffler 1991). A Hanságtól a meder az újpleisztocénban különült el (Horusitzky 1929). A földtörténeti idők során a Kárpát medencét – így ezt a területet is- borította tenger, ennek köszönhetően a Fertő alatt és környékén mészkő, homok nagy mennyiségben található (pl. Fertőrákosi kőfejtő- lajtmészkő). A holocén óta a táj csak az emberi hatásoknak köszönhetően változott. Ez a változás azonban napjainkra igen jelentős.

A Fertő -ahogyan neve is utal rá- egy, a feltöltődés folyamatába lépett állóvíz. A Soproni Múzeum feltárásai alapján tudjuk, hogy a római korban már biztosan lakott volt a partszakasz, sőt a leletek helyzete segíti a tó kiszáradási periódusainak meghatározását is. Az általam mintavételi területnek választott részhez legközelebbi település, Sarród helyén a IX. században már létezett település a leletek tanúsága szerint (Thirring 1886). A tó környéke folyamatosan lakott, de a következő évszázadokból leginkább legendák maradtak fent, illetve annak írásos emlékei, hogy a tó körüli élet nem volt könnyű, ezért fokozott igény volt a vízrendezésére. Freiler 2009-es, a tóhoz kapcsolódó környezeti problémákat bemutató írásából megtudhatjuk, hogy a cselekményeket vízrendezési szempontból a XIII. század második felétől érdemes figyelemmel kísérni. A Fertő és a Hanság ekkor még egységet alkotott, mely igen nagy területet ölelt fel és ingoványos mivoltával megkeserítette a környék lakosságának és az átutazni szándékozó kereskedőknek az életét. Emellett a Hanság mezőgazdasági hasznosítás szempontjából gazdag területnek ígérkezett. Az első ismert vízrendezési terv azt tűzte ki célul, hogy a Duna felé csatornázzák el a vizet a Fertőből és a Hanságból. Ez nem valósult meg, azonban az első zsilipet megépítették Locsmánd (ma Lutzmannsburg, Ausztria) térségében (Freiler 2009).

Ezt követően nagyobb beruházásra az 1780-as években került sor az Eszterházyak jóvoltából. Ekkor épült meg Pomogy és Eszterháza (Fertőd) között a töltés (Szekendy, 1938). Mintegy 100 évvel később, 1873-ban megalakult a Rábaszabályozó Társulat, melynek munkássága számos műtárgyat eredményezett a Hanság hasznosítása érdekében. 1912-ben megépítették az első zsilipet Mexikópusztán, ezzel elválasztva a Fertőt és a Hanságot. Az 1930-as években a tó nagy kiterjedésű nádasában csatornákat építettek a nádaratás fellendítése érdekében. Ez az áramlási viszonyokra és a nád friss víz és oxigén ellátottságára a mai napig hatással van. A határsávként, szunnyadva töltött évtizedeket követően 1989-ben kezdődtek meg az újabb munkálatok, egy

szikes tó rekonstrukciós terület kialakításával. Ezen a területen található a mintavételi területem is. A Hanság-főcsatornából árasztással és víz visszatartással, a csapadék mennyiség fényében alakulnak ki minden évben a vízi madarak számára azok a kis tavacskák, melyek a Fertő-Hanság eredeti, az emberi beavatkozások előtti állapotát hivatottak visszaidézni. A rekonstrukció annyira sikeres, hogy a Dunántúl egyik legjelentősebb vízi madár pihenő- és fészkelőhelye lett a Fertő és Mexikópuszta.

Ez a beruházás is annak volt köszönhető, hogy a Fertő-Hanság Nemzeti Park elődje, a Fertő-tavi Nemzeti Park létrejöttét készítették elő. A koncepció az volt, hogy a Fertő teljes védelme kialakuljon, így egy határon átnyúló nemzeti park jöjjön létre. A magyar oldalon 1991-ben, míg Ausztriában - Nationalpark am Neusiedler See- Seewinkel - néven 1993-ban alakult meg a két nemzeti park (Kárpáti 2002). Már a nemzeti park alakulása előtt volt nemzetközi védelme a területnek, hiszen 1979 óta az UNESCO Ember és Környezete bioszféra rezervátum. Egy évtizeddel később, 1989-ben a Fertő-táj a Ramsari Egyezmény része lett, mely a vizes élőhelyek védelme érdekében jött létre. A mintaterületem is a vizes élőhelyek rekonstrukciójának szem előtt tartásával kezelt, a vonuló madarak pihenésének és vízi madarak fészkelésének körülményeit segítő alakult az azóta eltelt évtizedekben. 2001 óta a teljes Fertő-táj az UNESCO Világörökség része, Fertő/Neusiedler See Kultúrtáj néven (<http2>).

Napjainkban a területet a Nemzeti Park állatai (bivalyok, szürkemarkák és racka juhok) legelik, ezzel folytatva a tájgazdálkodás évszázados hagyományát, illetve az egyre terjedő nádat kordában tartják.

3.3 A Fertő hidrológiai jellemzése és vízrajzi viszonyai

A Fertő vízrajzi viszonyait a csatornázás már átalakította, azonban eredetileg összefüggő rendszert alkotott a Hansággal. Ezt támasztja alá a Lazarus féle térkép (Tabula Hungariae), mely 1528-ban készült. Székely a térképen található települések és a Lajta-folyó segítségével rávetítette Lazarus ábrázolását a jelenkori térképre és a tó valóban L alakú lehetett eredetileg. A kutatott terület az L alak rövidebb szárában helyezkedik el. Az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) képen is jól látszik, hogy a 115 m a.s.l. alatti, fehérrel jelölt részen helyezkedik el (Székely 2009). A Fertő átlagos vízszintje 115 mAf volt 1964-et megelőzően, amikor az első zsilipkezelési szabályozást készítették (Pannonhalmi és Sütő 2007). Tehát a c-jelű térképen fehérrel színezett rész a Fertő topográfiai értelemben vett medrét és a Hanságot jelöli az 1. ábrán.



1. ábra: A Fertő ábrázolása Lazarus térképén (1528) (a) és az ezen beazonosítható referencia pontok (települések, Lajta-folyó) alapján helyesbített ábrázolás (b). SRTM modellen a Fertő környékének topográfiája, fehérrel a 115 m a.s.l alatti területek, D a Dunát, N a Fertőt, piros vonal a magyar-osztrák határt jelöli (c) (forrás: Székely 2009).

A Fertőre jellemző kiszáradási periódusokat Pannonhalmi és Sütőheő A Fertő tó múltja, jelenje és jövője című írásukban gyűjtötték össze. Eszerint már a római korban is feljegyezték egy kiszáradását, majd a 11. és 13. századi források szerint a vízszint magas volt. A 16. században teljesen kiszáradt, majd visszatelt, de a 17. század végén újból kiszáradt, ezúttal fokozatosabban. 1786-ban kiterjedése körülbelül kétszerese volt a mainak. A 19. század első felében kisebb apadások és áradások követték egymást, majd 1868-ban kiszáradt. Ekkor művelés alá vonták néhány részét, de a termés nem volt jó. 1886-ban ismét régi kiterjedését foglalta el a tó. A 2. ábrán az 1910-es, 24 évvel későbbi alakja látható. 1886 óta nem száradt ki teljesen, de 2022-ben a nagy aszály miatt nagyon alacsony volt a vízszintje.



2. ábra: Sopron vármegye térképe, melyet Gönczy készített 1910 körül (forrás: Pannonhalmi és Sütőheő 2007)

Végül az emberi behatásoknak köszönhetően a Hanság-főcsatorna lett az egyetlen kifolyója a tónak, amit a Mexikópusztai zsilippel lehet szabályozni. A Fertő-Hanság rendszere úgy működött, hogy ahol épp több volt a víz, onnan áramlott az alacsonyabb vízszintű területre. Ahogyan arról Horusitzky is írt, előfordult, hogy a Duna magas vízállása korábban visszaszorította a talajvizet nyugati irányba a Fertő felé (Horusitzky 1929). Jelenleg a Fertőbe a csapadékon kívül a Wulka -és a Rák-patak, illetve néhány kisebb vízfolyás és több csatorna folyik. A tó nagy kiterjedése és sekély mélysége miatt a vízszintingadozás 1 cm-e a tó felületének 3 km²-nyi megváltozását okozza (Kárpáti és Fally 2012).

A Fertő vízszint ingadozásával és a vízminőséggel kapcsolatban több tanulmány is készült már.

1931-ben megjelent kutatásában Varga leírta a víz fizikai és kémiai paramétereit. 1927 és 1931 között mérte a levegő, a vízfelszín, a víztest és az iszap hőmérsékletét teljesen nyílt vizen és a nádasban lévő belső tóban. Az eredmények alapján megállapította, hogy a Fertő vize és iszapja nagyon gyorsan és szorosan követi a levegő hőmérsékletének megváltozását. Előfordult az is, hogy az iszap hőmérséklete megközelítette a 30 C°-ot, de olyan is, hogy megfagyott. A napi hőingás mindegyik közeg esetében igen magas, a nyílt vizen a szél hatása nagyon jelentős a vizsgált paraméterekre. A víz kémhatását már a 19. század második felében is többen vizsgálták, azonban ezek a vizsgálatok mind más eredményeket mutattak. Varga mérései alapján akár egy éven belül 3 értékkel is eltérhet (6,24-8,98). A pH-ra az is igaz, hogy nem csak időben, hanem területileg is vannak eltérések. A szél keverő hatásának következményeként ezek az eltérések kiegyenlítődhetnek ugyan, de nyugodt víztükrőknél ismét kialakulnak. Varga volt az első, aki a Fertő vizének elektromos vezetőképességét mérte. Az oldott sók miatt a vezetőképesség magas, a párolgás miatt éves változása nagy. A kémhatás és a vezetőképesség változásai éves viszonylatban nagyon hasonlóak (Varga 1931). A Hidrológiai Közlöny ugyanazon számában olvashatjuk Horusitzky Henrik meglátásait is Varga kutatásával kapcsolatban. Horusitzky tagja volt annak a bizottságnak, akik a 52233/1902-es minisztériumi rendelet alapján a Fertő-tó geológiai-, vízi- és mezőgazdasági viszonyainak leírását kapták feladatul. Ennek a felmérésnek az eredményeiből ismerhetjük a sók minőségi és mennyiségi paramétereit a tó vizében. Ezen kívül leírták a tó vízmérlegéhez szükséges adatokat és a geológiai viszonyokat is. Feladatuk volt, hogy felmérjék a tó területe mezőgazdasági hasznosításra alkalmas-e. Természetesen a 157 iszap fúrásból és 48 talajvizsgálatból (szénsavas mész értékét határozták meg) úgy találták, hogy ahhoz nem megfelelő minőségűek, így a lecsapolás helyett a vízszabályozásra tettek javaslatot (Szontagh 1902).

A Fertő vízszintje éves szinten 30 cm-t változott az 1971-2020 közötti vizsgált periódus alatt, míg az éves változás maximum 51 cm volt (1983-ban) (Hackl és Ledolter 2023).

Mühlhauser a Fertő üledékének mikrobiológiai vizsgálata során arra a következtetésre jutott, hogy a parti üledék mikrobiológiai közössége kulcs szerepet játszik a teljes tó szénforgalmának alakulásában, ami összefüggésben állhat azzal, hogy a tó sekélysége miatt a szél keverő hatása nagyon erőteljes (Mühlhauser 1990).

Dinka és társai 2004-es írásukban szintén kiemelik, hogy a vízminőségi paraméterek nagyon érzékenyek a vízszint ingadozására. A tavat borító jelentős nádas és az általa körülhatárolt belső tavak magasabb vízszint esetén jobb vízminőséget mutatnak, mint szárazabb években, alacsonyabb vízállásnál. Az elektromos vezetőképesség vizsgálata során azt találták, hogy a Bozi-csatornán a Fertő felé haladva a vezetőképesség nő. A kémhatásra ugyanakkor a szerintük vegetációs periódus nagyobb hatással van (Dinka et al. 2004).

3.4 A talajviszonyokat alakító legfontosabb tényezők

A talajok jelenkori tulajdonságait azon túl, hogy aktuálisan milyen művelés vagy vegetáció alatt vannak, nagyban alakítják más tényezők is. Ezeket az orosz tudós, Dokucsajev az alábbiak szerint foglalta össze:

- A talajképző kőzet, mely hatással van a kialakuló talaj kémiai és fizikai tulajdonságaira és befolyásolja a fejlődés ütemét.
- Az idő, mely a talaj fejlődése során hosszú évtizedekben és századokban értelmezhető, azonban az erózió, a degradáció nagyon gyorsan rombolhatja a kialakult talajokat.
- A domborzat, mely meghatározza milyen mély talaj alakulhat ki, hiszen minél nagyobb a lejtőszög, annál nagyobb az erózió veszélye is.
- Az éghajlat, mely alapján megkülönböztetünk zonális, vagyis a helyben jellemző csapadék mennyiségnek megfelelő vízgazdálkodású talajokat és azonálisakat, melyeknek a vízgazdálkodása attól eltérő. Természetesen nem csak a csapadék mennyisége, de annak eloszlása, típusa, a hőmérséklet ingadozás mértéke, a fagyok gyakorisága és a szél ugyanolyan fontos hatással vannak a talaj tulajdonságaira.
- A biológia, melyet meghatároz a talaj, viszont a talajlakók és a növényzet alakítja a talajt, gondoljunk csak a humusszá alakítható elhalt szerves anyagra és az azt átalakító parányi lényekre. A növényzet szerepe nagy az erózió hatásának csökkentésében és a nedvesség megtartásában, míg a talajlakó makroszervezetek a talaj átlegegőzését és porozitását javítják (Dokucsajev 1883).

- Az ember, mely tevékenységével kiegészíti az előző öt tényezőt, hiszen a talajművelés és napjainkban a lefedés egyre nagyobb problémákat okoz a talajok egészségére nézve. Azonban a tudásunk és az eszköztárunk megvan ahhoz, hogy ne csak negatívan hathassunk a talajra, hanem ezen hatásokat megpróbáljuk visszafordítani.

3.5 A Fertő mentén kialakult talajok jellemzése

A Fertő környékén kialakult talajok keveset kutattak a tó és környékének más paramétereireh képest. Horusitzky Henrik a Magyar Állami Földtani Intézet 1925-28. évi jelentésében ír a Kisalföld geológiai és talajtani adottságairól is. A dombvidéki területek talajait különböző adottságú barna erdőtalajoknak írja le. Az Ikva és a Répce közötti kavicsos alapkőzetén kialakult talajokat is barna erdőtalajokhoz sorolja, de ezek jellemzői eltérnek a korábban leírt talajoktól, mert ezeket glejesnek jellemzi. A Répce és a Rába közti talajokat viszont már mezőséGINEK írja le. A Fertőhöz közelítve homokos altalajon kötött, mészbEN gazdag mezőségi feltalaj van. A Fertő közvetlen közeléről ezt írta:

„A Fertő-tó feneke hol kavicsos, hol a környékről befűjt meszes és sós talajnemekkel van feltöltve, ami azután vagy erősen meszes, vagy szikes iszapot ad. Ez okozza a víz helyenként változó kémiai összetételét is. A holocén képződmény a tó fenekén nagyon csekély vastagságú, közvetlenül alatta pannon képződmények fordulnak elő.” (Horusitzky 1929).

Átfogóbb talajtani kutatás 1957-ben készült, a tó azon részén, ahol jelen kutatás mintavételezése is zajlott. Szabolcs és Ábrahám a területre „józséfmajori szikesekként” hivatkoznak, melyek a Fertő mellett helyezkednek el és határosak annak nádasával. Józséfmajor eredetileg az Eszterházyak gazdaságának központja volt, napjainkban a Fertő-Hanság Nemzeti Park bemutató majorsága, látogató központja 2012-es felújítása óta (<http3>). Rögzítik, hogy a talajokat a Fertő vízjárása és az időszakos vízborítottság befolyásolja. A leírt szelvény a tótól DNY-i irányban 1,5 km-re helyezkedett el, pontos helyzete nem maradt fenn.

A szelvény leírása alapján azt 9 szintre osztották a szín és a mechanikai összetétel alapján. A szelvény adatainak ismertetése a mikroaggregátum stabilitás és a mechanikai összetétel vizsgálat eredményeivel kezdődik. Ezek alapján a talaj homokos, de agyag tartalma nem nagy. A szintek anyaga szépen elkülönül, de szerkezet nélküli. A szerkezetesség hiánya miatt a szolonyec típust a szerzők kizárják. A mérés során vizsgálták a talajvizet is, mivel azt 85 cm-es mélységben találták a szelvény mintázásakor. A talajvíz sótartalma magas, az ország más szikes területeinek talajvizénél magasabb, de a Fertő vizének sótartalmát megközelíti. Az anionok és kationok vizsgálatából az derült ki, hogy a Ca^{++} és a HCO_3^- értéke magasabb a talajvíznek, mint

a Fertőnek. A szerzők ezt azzal indokolják, hogy a Fertő vize a talajvízzel a meszes alapkőzetén keresztül érintkezik. Mivel azonban a Fertő időről időre kiönt, vagyis ezeket a területeket is víz alá vonja hosszabb-rövidebb ideig, így a szikesedés nem csupán alulról, a talajvízen keresztül történik. Ennek köszönhető az is, hogy a szelvényben található szintek anyagai különböző korúak. Ebből a szemszögből is vizsgálnunk kell a talajt, hiszen ez az öntés és hordalék talajok jellemzője. Erre Szabolcs és Ábrahám is felhívják a figyelmet, azonban úgy tekintik, hogy a só hatása erőteljesebb, ezért ez csak másodlagos jellegként jelenik meg. Az öntés jelleggel kapcsolatban megjegyzik, hogy a tó valós kiterjedést nehéz meghatározni, hiszen sok szakember ezeket a területeket a jóhajdani meder részének tekinti (Szabolcs és Ábrahám 1957).

Az a szeszélyesség, ami a tavat jellemzi természetesen nagyon erősen befolyásolja a körülötte kialakult talajokat. Szabolcs és Ábrahám is leírták, hogy a genetikai folyamatok nem nyomon követhetőek, hiszen időről időre új anyag érkezett, új tulajdonságokkal. Ezt követően természetesen a genetikai folyamatok elindultak a szelvényben, hiszen a talajvíz ugyanúgy közlekedett az eltérő anyagú szintek között. A felszínen a humuszosodás megindult, amennyiben a vízborítottság és a sótartalom nem hátráltatta azt. A sótartalom alakulása és a sómaximum miatt a talajt szoloncsák típusba sorolták. Felhívták a figyelmet a magas CaCO_3 tartalomra és a homokos talaj anyagra (Szabolcs és Ábrahám 1957).

A Monografikus tanulmányok a Fertő és a Hanság vidékéről című könyvben olvasható leírás a Fertő menti talajokról, Bidló András tollából. A Fertő medence taljai között említ barnaföldeket, szikeseket, réti, láp-és öntés talajokat is. A legkülönlegesebbnek a szikeseket jelöli meg a tó déli és keleti széléin. Ezeknek a tó vizével való kapcsolat miatt, illetve a korábbi elöntések során szárazon maradt rétegekből származik a szikesedéshez a só. Ezeknek a talajoknak a sótartalma a felszín közelében a legmagasabb, minőségében a tó vizéhez nagyon hasonló (Kárpáti és Fally 2012).

4. Anyagok és módszerek

4.1 A mintavételi terület ismertetése

A mintavételi területem a Duna-Morva-Rába nagymedencében, a Kisalföldön lévő Fertő-Hanság kistájcsoporthoz, a Fertő-medence kistájában helyezkedik el (Csorba, 2021). Amint arról már az Irodalmi áttekintésben írtam, a mintavételi terület a Fertő délkeleti részén induló Hanság-főcsatorna mentén helyezkedik el Sarród és Fertőújlak települések között, fokozottan védett természeti területen, melyet a helyiek Mexikópusztaként ismernek. Ezen a szakaszon a nemzeti park szikestő rekonstrukciós területet kezel, melyhez az 1990-es években kisebb kiemelkedéseket és mélyedéseket hoztak létre, hogy a vízi madarak számára pihenő és fészkelő helyeket hozzanak létre, illetve a víz visszatartásával a sztyepp-tó körüli élőhelyet rekonstruálják, a jellemző fajoknak kedvező életfeltételek támogatásával. Korábbi évtizedekben már magával a főcsatorna, a zsilip és a Körgát kialakításával a terület emberi ellenőrzés alá került, mely fokozottan igaz volt 1949 és 1989 között, amíg a határőrség felügyelte ezt a sávot (Kárpáti és Fally 2012). Napjainkban a nemzeti park állatainak téli szállása, illetve legelői találhatóak itt, a zsiliphez közeli részen ökoturisztikai célból tanösvény és madár megfigyelő kilátók kerültek kialakításra. A 2023-as évben a legeltetés főként a Körgáttól nyugatra eső területeken zajlott a vízborítottság miatt, de az év egy részében a többi terület is alkalmas volt a legeltetésre. Mivel az éves csapadék jelentős része az év második felében, főként az őszi és téli hónapokban érkezett, ez a 2024-es évben a területre kedvezően hatott (Kulcsárné 2024).

A főcsatorna nyugat-keleti irányához képest, a mintavételi pontok inkább északkelet-délnyugat irányú vonalat rajzolnak ki (3. ábra), melynek oka a kialakított utak, és különösen a nádas sűrűsége, illetve ezzel összefüggésben a vízviszonyok. A pontok egymástól hasonló távolságban helyezkednek el és segítségével vizsgálható a tótól való távolság megmutatkozása a talaj változásában.



3. ábra: A mintavételi pontok elhelyezkedése (piros jelek) a későbbiekben használt azonosító névvel. A Fertő DNY-i medencéje és a kiterjedt nádas a kép bal oldalán látható, a kiinduló Hanság-főcsatorna a műholdkép középső részén, a határtól D-re látható. A kis képen a Fertő jelenlegi nyílt víztükrre és nádas a látható (műholdkép forrása: Google Earth, a szerző szerkesztésében)

4.2 A mintavétel folyamata

Mivel a terület, melyen a mintavételt szerettem volna végezni fokozottan védett természeti terület, így előbb a Győr-Moson-Sopron Vármegyei Kormányhivatal Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Hulladékgazdálkodási Főosztályának Természetvédelmi Osztályától kellett engedélyt kérni. Az engedélyt korábban már megkaptam, melyben a Fertő-Hanság Nemzeti Park szakemberei által javasolt időszakok voltak meghatározva, amikor mintavételt végezhetünk. A 2024-es évben az időjárás szerencsére csapadéokban gazdag volt, ami a területen pihenő és fészkelő madaraknak kedvező volt, azonban a mintavételt több alkalommal is halasztani kényszerültem, mert a talaj állapota azt nem tette lehetővé. A nyári időszak gyors, intenzív csapadékeseményekkel tűzdelt, hosszú kánikulás heteinek vége felé, augusztus 27-én végül megfelelőek voltak a körülmények a hatósággal és a Nemzeti Park illetékes munkatársával, Váczi Miklóssal egyeztetett mintavételhez.

Délelőtt 10 órakor kezdtem neki a tótól legtávolabbi mintaponton- az Ürgedombnak nevezett részen -ahol éppen racka nyáj legelt- a kompozit minta ásáshoz. Ekkor 20 C° volt, felhős, szeles idő. Az Ürgedomb a Sarród és Fertőújlak közötti út NY-i oldalán helyezkedik el. A Fertőt körülölelő természetvédelmi területek közül ez besorolását tekintve a megőrző zónába esik. A nemzeti park jellemzően a kisebb testű rackákkal legelteti ezt a területet, ennek megfelelően

bekerített terület. A mintavételezés során láthattam a birkák nyomait is, hiszen sok helyütt láttam trágyát.



4. ábra: Az Ürgedomb, vagyis az első mintavételi hely környezete (Fotó: a szerző képe)

A kompozit mintákhoz egységes távolságban 3 ponton maximum 20 cm-es mélységig vettem mintát és ezeket alaposan összekevertem (5. és 6. ábra).



5. és 6. ábra: A kompozit minta ásásnak lépései (Fotó: Döbröntey Réka, a szerző képe)

A következő mintapont a Nyéki-szállásnak nevezett részen volt, aminek szomszédságában bivalyok deleltek. Itt ugyanazt a folyamatot ismételtam meg, mely fentebb olvasható. A Nyéki-szállás annak a területnek a helyi hagyományos neve, mely a Hanság-főcsatorna Mexikópusztai zsiliphez közeli részén terül el. Ez a nemzeti park sziki őszirózsa tanösvényének legbelső része, ezért pihenő padok, információs táblák és madár megfigyelő kilátó is található a legelők

szomszédságában. A murvás utat egy sorompó zárja le, hiszen a természeti zóna ebből az irányból itt kezdődik. A régi idők emlékét őrzi egy határőrtorony is már a sorompón belül. A nemzeti park munkatársainak elmondása alapján itt ragadozó madarak fészkelnek az idei évben.

A harmadik mintapontom is egy olyan területen volt, ahol a Nemzeti Park állatai szoktak legelni. Ottjártam idején éppen nem voltak ott, csak a szürkemarhák nyomait fedeztem fel a nagyobb mennyiségű trágya és az állatok kitaposott kis ösvényeinek formájában. A talaj maga is jóval nedvesebb, ragadosabb volt ezen a részen, néhány foltban pocsolyák is maradtak vissza a korábbi hetek csapadéka után. Ezen a részen már tapasztaltam, hogy közelítek a tóhoz, hiszen a vegetációban a nád (*Phragmites australis*) aránya is megnőtt (7. ábra). Ez a terület az úgynevezett Körgát mellett volt, mely a Körcsatorna gátja, ami a közlekedést lehetővé teszi. A Körcsatorna köti össze a tóba folyó csatornákat, ami a nádaratás időszakában nagyon fontos vízi közlekedési út volt. A Körgát nem közvetlenül mellette halad, hanem 200-300 m-re odébb. Ez a sáv így a nádas része maradhatott. A mintavételi pontom az út tótól távolabbi oldalán volt.



7. ábra: A harmadik mintavételi hely környezete (Fotó: Döbröntey Réka)

A negyedik mintapontom a Legény-tónak nevezett mesterséges tavacska közelében volt. Ezt és több hasonló, mesterségesen tovább mélyített részt azért hoztak létre az 1990-es évek elején, hogy az élőhely a szikes tavak környékén lévő viszonyokra mindinkább hasonlítson. Ez természetesen azt jelenti, hogy a Fertő vízrendezés előtti környezetét igyekeztek ezáltal visszaállítani (8. ábra). A Legény-tónak a már említett Körcsatornára merőlegesen van egy tápláló-levezető csatornája a vízmennyiség függvényében. A mintánkat ettől a tavacskától akkora távolságban vettem, hogy a munkálatok hatását kizárhassuk. Itt már éreztem, hogy az

idő melegszik, kisütött a nap és a vízimadarakon túl a sásas-nádas rovarvilágával is megismerkedhettem mintavétel közben. A nemzeti park munkatársának elmondása szerint ezen a részen is szoktak legeltetni, de itt a nádas sokkal egybefüggőbb képet mutatott az előző területen látottakhoz képest, valószínűleg a csapadékos előző fél év miatt nem tudták ide hajtani az állatokat. A műhold felvételek alapján a nyílt vízfelülethez itt voltunk a legközelebb.



8. ábra: A Legénytó és környéke (Fotó: Döbröntey Réka)

Az utolsó mintapont a Fertő jelenlegi medencéjéhez nagyon közel esett, csupán egy töltés (és néhány tíz méter, hogy a töltés miatti bolygatott részeket elkerüljem) választott el attól a nádastól, mely már a Fertőt rejti (9. ábra). A tavat nagyon nehéz valójában lehatárolni, a nagyon kiterjedt nádas és a sekély mélység miatt. A vízings is nagyon nagy és az idei csapadékos évben ez a rész sokszor volt víz alatt.

Itt is –az előzőkkel megegyezően- elkészítettem a kompozit mintát, az immár 30 °C-os melegben és napsütésben. Az összes mintámat jól záródó, feliratozott műanyag zacskókba tettem és a MATE Talajtani Tanszék Kutatólaboratóriumába szállítottam. Ezen a napon saját bőrömön is tapasztaltam a Fertőt jellemző szélsőségességet.



9. ábra: Az utolsó mintavételi hely környezete (Fotó: Döbröntey Réka)

4.3 Laboratóriumi vizsgálatok

A mintákat tálcákra tettem megszáradni, majd csipesszel kiválogattam belőlük a növényi maradványokat és kavicsokat. Ezután kézi mozsárban 2 mm-nél kisebbre törtem a mintákat.

4.3.1 Fizikai paraméterek

Ahhoz, hogy a minták textúráját megállapítsam az **Arany-féle kötöttség** módszerét alkalmaztam. A módszer azon alapul, hogy a finom szemcsék arányával nő a száraz talaj vízfelvevő képessége is. A méréshez 100 g légszáraz, darált talajhoz 100 cm³-es bűrettáblából desztillált vizet adagoltam miközben a mintát keverjük a porcelán mozsárban. Ha a massa már egységes és csomómentes, csak cm³-enként adagoltam a vizet, amíg úgynevezett fonalpróbát tudtam végezni. Ez azt jelenti, hogy a törőt a masszába nyomva egy kis fonál marad a végén, aminek a vége elhajlik, ha törőt elfordítjuk (Buzás 1993). Amikor ezt az állagot elértem, a fogyás értéke megadja az Arany-féle kötöttségi számot (Jele: K_A ; nincs mértékegysége), mely alapján az alábbi (1.) táblázat segítségével meghatározható a fizikai féleség.

1. táblázat: Arany-féle kötöttségi számok és a hozzájuk tartozó textúra kategóriák

Fizikai talajféleség	K _A - Arany-féle kötöttségi szám
Durva homok	<25
Homok	25-30
Homokos vályog	31-37
Vályog	38-42
Agyagos vályog	43-50
Agyag	51-60
Nehéz agyag	61-80

A talajok nedvességtartalmát az alábbiak szerint határoztam meg:

Mindegyik kiolvadt kompozit mintából 10 g-ot ismert tömegű Petri-csészékbe mértem centigramm pontossággal. Ezt követően szárítószekrényben 105 C°-on tömegállandóságig szárítottam és ismételten megmértem a tömeget táramérlegen. Az alábbi képlet segítségével tömegszázalékban megkaptam a minták nedvességtartalmát:

$$W\% = \frac{a - b}{b - c} * 100$$

ahol:

W%: a talaj nedvességtartalma a száraz talaj százalékában

a: a tartó és a nedves talaj együttes tömege

b: a tartó és a száraz talaj együttes tömege

c: az üres tartó tömege

(Buzás 1993)

4.3.2 Kémiai paraméterek

A **kémhatás** meghatározásához 3-3 ismétlésben 5-5 g mintát mértem üveg kémcsövekbe, amivel a pH KCl mérést előkészítettem. A KCl oldatot úgy készítettem, hogy 74,55 g KCl-ot feloldottam 1 l desztillált vízben. Minden bemért 5 g talajhoz 12,5 ml KCl oldatot pipettáztam, a későbbi mérésnek megfelelően. A kémcsöveket a hozzájuk tartozó gumidugóval lezártam, majd alaposan összeráztam a szuszpenziókat, mielőtt 12 órát állni hagytam volna őket. A mérést a VWR pHenomenal pH 1100 L pH mérő készüléken végeztem. A készülék a bekapcsolást

követően 30 percet melegedett, majd a 4-es, 7-es és 10-es kémhatású kalibráló oldatok segítségével kalibráltam. Minden minta ismételéseinek KCl-os pH-ját megmértem és minden mérés után desztillált vízzel tisztítottam a műszer üveg elektródját (Buzás 1988).

A **CaCO₃ tartalom** mérésének megkezdése előtt érdemes ellenőrizni a minták CaCO₃ tartalmát, ahogyan én is tettem néhány csepp 10%-os HCl néhány gramm talajra cseppentésével. Amennyiben sem látható, sem hallható jelét nem észleljük a reakciónak ($\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$), a CaCO₃ tartalom elhanyagolható. Minden más esetben kalciméter segítségével mérést kell végezni, ahogyan erre esetünkben is sor került. A kalciméterrel végzett mérés elve, hogy a fent látható reakció során keletkező CO₂ térfogatából és a bemért talaj tömegéből képlet segítségével kiszámítható a talaj CaCO₃ tartalma. A kalciméter egy olyan eszköz, mely sóoldattal töltött csövekből áll, melyekben az szabadon közlekedhet és túlnyomás esetén egy főzőpohárba folyhat át. A mérés megkezdése előtt mindig ellenőrizni kell a sóoldat szintjét és a rendszert légteleníteni. A csövek alján egy gumidugó van, amiben gáz tud átáramolni. Ezzel a dugóval kell alaposan lezárni azt a 250 ml-es Erlenmeyer-lombikot, amibe előzetesen feljegyzett tömegű talajt, mágneses keverőt és egy vékony üvegcsőben 7 ml 10%-os HCl-t helyeztem. Miután a lombikot lezártam, a kalciméter tetején lévő nyomás kiegyenlítő szelepet el kell zárni. Az üvegcsövet óvatosan fel kell borítani a lombikban, majd kissé összerázni, hogy elkeveredjen a HCl és a talaj. A lombik alatt lévő mágnespadot be kell kapcsolni és 5 percig hagyni, hogy a reakció végbemenjen miközben a mágneses keverő mozgatja a szuszpenziót. Mivel a fejlődött CO₂ zárt térben fejlődött, így a sóoldat folyadékoszlopa elmozdult a ml pontossággal skálázott csőben, így az 5 perc elteltével leolvashattam a keletkezett CO₂ mennyiségét ml-ben. A leolvasott értékek és a mérés közbeni hőmérséklet alapján a táblázatból kikerestem azt a szorzót, melyet a CaCO₃ tartalom kiszámításakor alkalmaznom kellett az alábbi képletben:

$$\text{CaCO}_3 \% = \frac{V_{\text{CO}_2} * 100 * A}{m}$$

ahol:

CaCO₃ %: a minta CaCO₃ tartalma

V_{CO₂}: fejlődött CO₂ [ml]

A: a mérés közbeni hőmérséklet alapján a táblázatban megadott szorzó

m: az Erlenmeyer-lombikba bemért talaj tömege [g]

(Füleky 2011).

A tápanyag vizsgálatok közül az ammónium-laktát oldható **foszfor-pentoxid és a kálium-oxid** tartalmat mértem fotometriásan. A mérések megkezdése előtt szűrletet kellett készíteni a talajokból. 2,5 g légszáraz, 2 mm-es szitán átengedett talajt Falcon csövekbe mértem be. Ráöntöttem 50 ml 10x-es hígítású ammónium-laktát-acetát (AL)-oldatot és 2 órán át forgó rázógépből szobahőmérsékleten rázattam. Rázás után azonnal hamu-és P-mentes szűrőpapíron leszűrtem.

A későbbiekben szükséges egy kalibráló sor adataival összevetni a minták fényintenzitásának eltéréseit. A kalibráló sort úgy készítettem, hogy az 5 mg/dm³-es koncentrációjú törzsoldatból, 0; 5; 10; 15 és 20 ml-ek pipettáztam, melyhez 20 ml ammónium-molibdenát oldatot és 2 ml aszkorbinsavas ónkloridot pipettáztam, majd feltöltöttem 50 ml-re. Feltöltés után alaposan homogenizáltam és 20-30 perc után 660nm-es hullámhosszon mértem. A mintákat a méréshez úgy készítettem elő, hogy a szűrletekből 5-5 ml-t egy 50 ml-es lombikba pipettáztam és hozzáadtam 20 ml kénsavas ammónium-molibdenátot és 2 ml aszkorbinsavas ónkloridot, majd desztillált vízzel jelre állítottam. A méréshez szükséges vakot úgy készítettem, hogy a szűrlet kivételével mindent beletettem, amit a mintákból készített oldatba is. Ezúttal is 20-30 percet vártam a mérés megkezdése előtt.

A spektrofotométert bekapcsolás után hagytam melegedni és a kívánt 660 nm-es hullámhosszra állítottam. A küvétát 2/3-ig töltöttem a vakkal, majd óvatosan letöröltem, hogy szennyeződés mentesen kerüljön a műszerbe. A vak értékére nulláztam a készüléket, majd a mérést a kalibráló sor abszorbanciájának felvételével kezdtem. Koncentráció szerint növekvő sorban mértem le az oldatokat és mindig alapos öblítést végeztem a következővel. Miután ezzel végeztem a minták abszorbanciáját is megmértem és feljegyeztem.

A kapott adatokból egy grafikont készítettem, melynek x-tengelyén a koncentrációt, y-tengelyén az abszorbanciát ábrázoltam. Ábrázoltam a kalibráló sor értékeit. Ezekhez egy közelítő origóból induló egyenest illesztettem. Az ismeretlen mintáim abszorbanciájának vonalát metszettem az egyenessel, majd az x-tengelyre merőlegest állítva megkaptam a koncentrációt. Ezután az alábbi képlet segítségével számoltam:

$$P_2O_5 \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right] = \frac{c \times 50}{m}$$

ahol:

c (koncentráció) = a standard görbéről leolvasott P₂O₅ [mg/kg] -ban kifejezve

m (tömeg) = a kioldáshoz bemért légszáraz minta tömege g-ban kifejezve, ami 2,5 g

50 = a kioldáshoz használt oldószer térfogata ml-ben kifejezve.

A minták AL-K₂O -tartalmának meghatározása emissziós lángfotométerrel történt. A lángfotométer úgy működik, hogy az oldatot, amit vizsgálunk, a porlasztóba juttatjuk, ahonnan a ködkamrába kerül apró cseppek formájában. Ezek az apró cseppek keverednek az éghető gázzal (acetilén) és kerülnek a lángba. Az égés során az atomok fénysugarakat bocsátanak ki, melyek jellegzetesen arra az atomra utalnak. A fényt a monokromátoron keresztül juttatjuk a detektorba, hogy kiszűrjük a további hullámhosszokat.

Ehhez a méréshez is szükséges volt kalibráló sort készíteni. Ehhez az 50 mg/dm³-es törzsoldatból 0; 5; 10; 15 és 20 ml-t pipettáztam és 50 ml-re feltöltöttem, majd homogenizáltam. A mintákhoz 10 ml szűrletet egy 25 ml-es lombikba pipettáztam és jelre töltöttem oxálsavval. Egy éjszakát állni hagytam és a leülepedett csapadék feletti oldat K₂O tartalmát lángfotométerrel megmértem, miután a kalibráló oldatokat már megmértem és desztillált vízzel öblítettem a rendszert. A kalibrációs görbét és az ismeretlenek illesztését a spektrofotometriához hasonlóan elvégeztem ebben az esetben is és az alábbi képlet segítségével számítottam ki a minták AL-K₂O tartalmát:

$$K_2O \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right] = \frac{c \times 50}{m} * 2,5 \text{ , ahol}$$

c (koncentráció) = a standard görbéről leolvasott K₂O mg/kg-ban kifejezve

m (tömeg) = a kioldáshoz bemért légszáraz minta tömege g-ban kifejezve, ami 2,5 g

50 = a kioldáshoz használt oldószer térfogata ml-ben kifejezve

2,5 = hígítás mértéke, ami a 10 ml oldat 25 ml-re történő feltöltéséből adódik (25/10 = 2,5)

(Egnér-Riehm-Domingo 1960)

A minták tápanyagtartalmát is meghatároztam. Az alábbiakban az **ásványi nitrogéntartalom** meghatározásának menetét ismertetem. 40 g talajt műanyag rázóedénybe mértem, majd 100 ml 1%-os KCl oldatot adtam hozzá és 60 percig rázattam, ezt követően leszűrtem a szuszpenziót. Ebből a kivonatból tudtam meghatározni a NH₄⁺ és NO₃⁻ mennyiségét, mégpedig úgy, hogy elsőként az NH₄⁺-N-t határoztam meg, majd az NO₃⁻-N + NH₄⁺-N-t, melyek különbsége adja meg a NO₃⁻-N mennyiségét.

A szűrletből 20 ml-t desztilláló lombikba pipettáztam és hozzáadtam még 6 ml 33%-os NaOH-ot és az üveg falán maradt oldatot desztillált vízzel belemostam. Egy Erlenmeyer-lombikba szedő ágon pipettáztam 20 ml 1,5%-os bórsavat és hozzáadtam néhány csepp keverékindikátort. Ebbe a lombikba gyűjtöttem a zöld színű desztillátumot. Ezt 0,005M-os H_2SO_4 oldattal megtráltam kékesszürke színig (túltrálás esetén lila színű). A fogyásból kiszámoltam a talaj NH_4^+ -N tartalmát.

Másik 20 ml szűrletet egy újabb desztilláló lombikba pipettáztam és hozzáadtam 10 ml 20%-os FeSO_4 -ot és 1 ml 10%-os CuSO_4 -ot és az üveg falán maradt cseppeket desztillált vízzel belemostam. További 6 ml 33%-os NaOH-ot is hozzáadtam és megismételtem az üveg falának öblítését. Az Erlenmeyer-lombikba ezúttal is 20 ml 1,5%-os bórsavat pipettáztam és néhány csepp keverékindikátort adtam hozzá szedő ágon, hogy ebbe gyűjtsem a desztillátumot. Ugyanúgy 0,005M-os H_2SO_4 oldattal megtráltam a zöld színű desztillátumot kékesszürke színig (túltrálás esetén lila színű). Ezúttal a fogyásból a talaj NH_4^+ -N + NO_3^- -N tartalmát tudtam kiszámítani.

Az ásványi nitrogéntartalom kiszámításához az alábbi képleteket használtam:

$$\text{NH}_4^+\text{-N [mg/kg]} = ((V_{\text{minta}} - V_{\text{vak}}) * f_{\text{kénsav}} * 0,14 * (V_{\text{vég}}/V_{\text{desztillált}})) * (1000\text{g} / m_{\text{bemért}})$$

és

$$\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N [mg/kg]} = ((V_{\text{minta}} - V_{\text{vak}}) * f_{\text{kénsav}} * 0,14 * (V_{\text{vég}}/V_{\text{desztillált}})) * (1000\text{g} / m_{\text{bemért}})$$
 és

$$\text{NO}_3^-\text{-N [mg/kg]} = \text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N [mg/kg]} - \text{NH}_4^+\text{-N [mg/kg]}$$

ahol:

V_{minta} : a mintára fogyott faktorozott kénsav oldat, ml-ben kifejezve

V_{vak} : a vakmintára fogyott faktorozott kénsav oldat, ml-ben kifejezve

f : 0,005M-os kénsav oldat faktora (dimenzió nélküli érték)

$V_{\text{vég}}$: a KCl-es kioldás térfogata, ami 100 ml

$V_{\text{desztillált}}$: a ledesztillált KCl-es talajoldat térfogata, ami 20 ml

$m_{\text{bemért}}$: a KCl-es kioldáshoz bemért talaj tömege, ami 40 g

(Buzás 1993)

A minták **szerves széntartalmát** a **szén, nitrogén, kén** elemanalizátorral végzett mérés eredményéből számítottam ki. A varioMax cube CNS elemanalizátorba az előkészített (szárított és kézzel mozsarazott) mintákból nagy odafigyeléssel néhány mg-ot mértem be a tartókba, hogy azok a műszerben 800-1200 C° közötti hőmérsékleten elégjenek nagy tisztaságú oxigén áramában. A keletkezett reakciótermékeket He vivőgáz segítségével redukáló közegen vezetjük keresztül mielőtt az elérné az abszorbens oszlopot. Itt a gáz tisztítódik és néhány komponens ideiglenesen megkötődik. A termikus deszorpció végeztével a hővezetőképességet mérő detektor határozza meg az egyes komponensek mennyiségét (Nagy, 2000). A bemért minta tömege és a hővezetőképességet vizsgáló detektor jele, illetve a kalibrációs görbe adatai alapján százalékos elemtartalom értékeket kaptam. Mivel a kutatásban nem a szén mennyiségére, hanem a szerves anyag tartalomra (SOM) voltam kíváncsi, így az alábbi képlet segítségével számítást végeztem:

$$(C \% - CaCO_3 \% * 0,12) * 1,714 = SOM \%$$

Minden százalékos érték esetén a bemért mintát tekintettem 100 %-nak, így kaptam meg a C% és a CaCO₃% értékeket is. A 0,12-es szorzó a molekulák felépítéséből származik, az 1,714-es pedig a H/N arány miatt szükséges.

Az elemi szén értékén túlmenően felhasználtam a nitrogén és kén tartalom értékeit is, melyek a C, N, S elemanalizátor segítségével kaptam.

A talajok **vezetőképességét** szintén műszerrel mértem a darált mintákból. A zárható centrifuga csövekbe először 2-2 g talajmintát mértem, majd mindegyikre 20 ml desztillált vizet pipettáztam. 120 percre rázatóba helyeztem a csöveket, hogy egységes talajoldatot kapjak. A rázatást követően 15 percre 4000 1/perces fordulaton centrifugába tettem a csöveket. A centrifugálás után Jenway 4510 Conductivity Meter segítségével megmértem a minták vezetőképességét. A műszert KCl-dal először kalibráltam, majd a mérés során használt desztillált víz vezetőképességét megmértem. Ezt követően a mintákból készült 3 ismétlés mérése következett, minden mérés között desztillált vízzel tisztítottam a műszer elektródját. A kapott értékeket az alábbi képlet segítségével tudtam sótartalom százalékká alakítani:

$$SÓ\% = \frac{(EC_{\text{minta}} - EC_{\text{DV}}) * 0,745}{EC_{\text{KCl}}}$$

ahol:

SÓ%: a talaj összes sótartalma %-ban kifejezve

EC_{minta}: a minta vezetőképessége $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ben

EC_{DV}: a méréshez használt desztillált víz vezetőképessége $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ben

EC_{KCl}: a kalibráláshoz használt KCl vezetőképessége $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ben

(MSZ 21470/2-81)

4.3.3 Biológiai paraméterek

A biológiai mérések közül szerettem volna a földigilisztákat vizsgálni, mint indikátor fajt. Az állatok egyedszáma, kor és életmód szerinti eloszlása hasznos információk a talaj állapotával kapcsolatban. A vizsgált talaj szikes jellegéből és az éven belül is változatos talajnedvesség-viszonyokból kifolyólag a mintavétel során egyetlen egyeddel sem találkoztam, így külön vizsgálatot végül nem végeztem.

A másik tervezett mérés a **talajlégzés vizsgálat** (basal soil respiration) volt. Ezt az ISO 16072:2002-es szabvány alapján végeztem. A méréshez a korábban lefagyasztott kompozit mintákat használtam. A fagyasztás nem káros a talajlakókra, hiszen a hőmérséklet nem volt alacsonyabb, mint, ami télen a természetben is előfordulhat. A 24-36 órás kiolvasztás hűtőszekrényben történt, hogy kisebb legyen a hősokk. Amikor teljesen felolvadtak a minták 2 mm-es szitán átszitáltam őket és 50 g-ot egy légmentesen zárható üvegbe mértem. Az üvegbe került még 50 ml-es főzőpohárban 20 ml NaOH, majd a lezárt üvegek 24 órára 22 ± 2 °C-os inkubátorba kerültek. Minden mintából 3 ismételés és egy vak készült. A 24 óra elteltével a NaOH-hoz 2 ml $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -t pipettáztam és 3-4 csepp fenolftalein indikátort cseppentettem mielőtt 0,1 M-os HCl-val titráltam (10. és 11. ábra). A rózsaszínből tejfehérre váltsához szükséges fogyás érték segítségével az alábbi képlet alapján tudtam később kiszámítani a keletkezett CO_2 mennyiségét.

$$R_{\text{CO}_2} = \frac{2,2(\bar{v}_b - \bar{v}_p)}{24 \cdot m_{\text{sm}} \cdot w_{\text{sd}}}$$

$\bar{v}_b$: HCl fogyása a vakhoz* a HCl faktora [ml]

$\bar{v}_p$: HCl fogyása a mintához* a HCl faktora [ml]

m_{sm} : a nedves talaj tömege [g]

w_{sd} : a talaj száraz tömege [g]

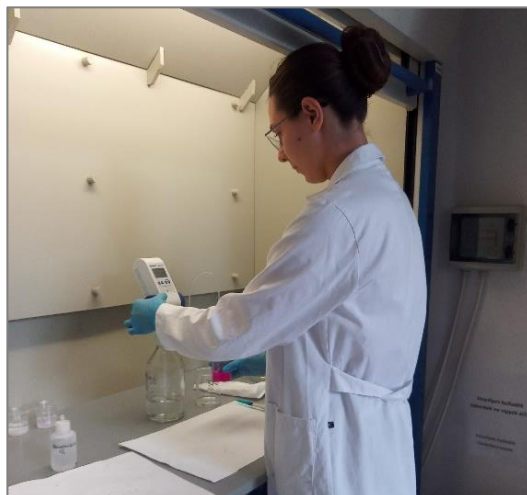
2,2: faktor (1 ml 0,1 M-os HCl 2,2 mg CO_2 -vel reagál egy nap alatt)

(ISO 16072-2002)

A képletben szereplő **nedvességtartalom** értéket (w_{sd} : a talaj száraz tömege) a fizikai paraméterek című részben ismertetett módon határoztam meg.



10. ábra: A BSR méréshez összekészített minták és NaOH a légmentesen zárható üvegekben (Fotó: a szerző képe)



11. ábra: Titrálás HCl-val a BSR mérés zárásaként (Fotó: Szénásiné Demeter Gyöngyi)

4.3.4 Az adatok kiértékelése

A kapott adatokat Microsoft Excel táblázatokban rendszereztem. Kiszámoltam az egy mintához tartozó ismétlések átlagát és szórását, majd paraméterenként grafikonokat készítettem a szórás feltüntetésével.

A statisztikai kiértékeléshez az SPSS programot használtam. Elsőként one way ANOVA-t - vagyis **egytenyezős variancia analízist**- végeztem. Ezzel a független csoportok közti szignifikáns eltéréseket kerestem, ami esetünkben a mintaterületek pH, CaCO_3 , elektromos vezetőképesség, talajlégzés, ásványi nitrogén formák, $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ és $\text{AL-K}_2\text{O}$, elemi nitrogén, elemi kén és szerves szén tartalma volt. Ahhoz, hogy a szignifikáns eltéréseket kimutassam **Tukey-tesztet** és Fisher-féle eljárást (LSD) alkalmaztam (Lőkös 2009), 5%-os hibavalószínűséggel számoltam. Végeztem **lineáris korreláció analízist** is, az így kapott 'r' (Pearson féle korrelációs együttható) értéke a kapcsolatok szorosságát mutatta meg az egyes vizsgált talaj paraméterek között.

A Past programban készítettem **Főkomponens analízis** (PCA- Principle Component Analysis). Ennek lényege, hogy az adatokat koordináta rendszerbe rendezi, ahol a tengelyek a változók variancia szintje szerint alakulnak. Ezen új tengelyek mentén helyezkednek el a minták,

esetünkben a mintaterületek. Helyzetüket az határozza meg, hogy a leghangsúlyosabb változók közül melyik mekkora hatással van rájuk.

Készítettem egy **hierarchiúks klaszterezést** is, ami azt mutatja meg, hogy az adatpontok - vagyis a mintaterületek –közül melyek állnak egymáshoz legközelebb a tulajdonságaik alapján, majd ezeket összevonja és újfent a legközelebbi adatpontot keresi ehhez, mindaddig, míg az adatpontok elfogynak.

5. Eredmények és értékelésük

5.1 Talajok fizikai paraméterei

5.1.1 Textúra

A mintáim textúráját az Arany-féle kötöttség módszerével vizsgáltam, melynek eredménye a 2. táblázatban látható. A táblázat adatai alapján látható, hogy az összes területem agyagos feltalajú, a Körgát a nehéz agyag kategóriába esik. A szakirodalmi adatoknak ez némileg ellentmond, hiszen Szabolcs és Ábrahám a lászlómajori szelvényt homokosnak írták le és mechanikai vizsgálatuk eredménye is az lett (Szabolcs és Ábrahám 1957). Az eltérés oka lehet a mintapontok eltérő helyzete, de a módszerek közötti különbség is.

2. táblázat: Arany-féle kötöttségi számok és textúra csoportok mintaterületenként

Mintaterület elnevezése	Arany-féle kötöttségi szám	Textúra
Ürgedomb	59	agyag
Nyéki-szállás	58	agyag
Körgát	69	nehéz agyag
Legény-tó	60	agyag
Tó széle	53	agyag

5.1.2 Talaj nedvességtartalom

A talajok nedvességtartalmát a 3. táblázatban tüntettem fel. A legalacsonyabb a Körgát (0,64%) talajának nedvességtartalma volt, míg a legmagasabbak a Tó szélének (0,83%) és az Ürgedombnak (0,87%). A Nyéki-szállás nedvességtartalma 0,79%, a Legény-tó talajáé 0,78% volt. Ezeket az eredményeket a talajlégzés vizsgálat (BSR) eredményének kiszámításához használtam fel.

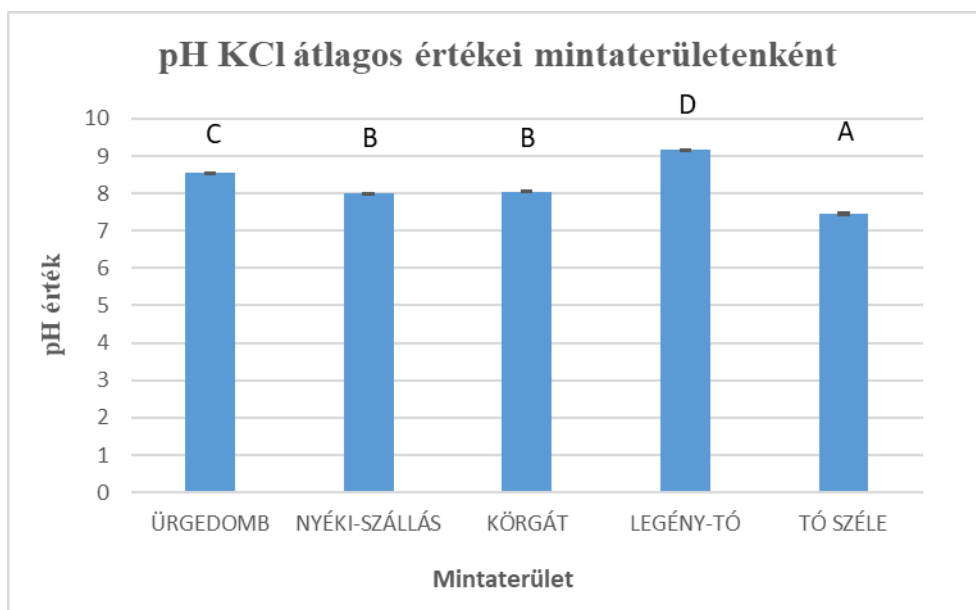
3. táblázat: A talajok nedvességtartalma mintapontonként

Mintaterület	Nedvesség tartalom [%]
Ürgedomb	0,87
Nyéki-szállás	0,79
Körgát	0,64
Legény-tó	0,79
Tó széle	0,83

5.2 Talajok kémiai paraméterei

5.2.1 Kémhatás

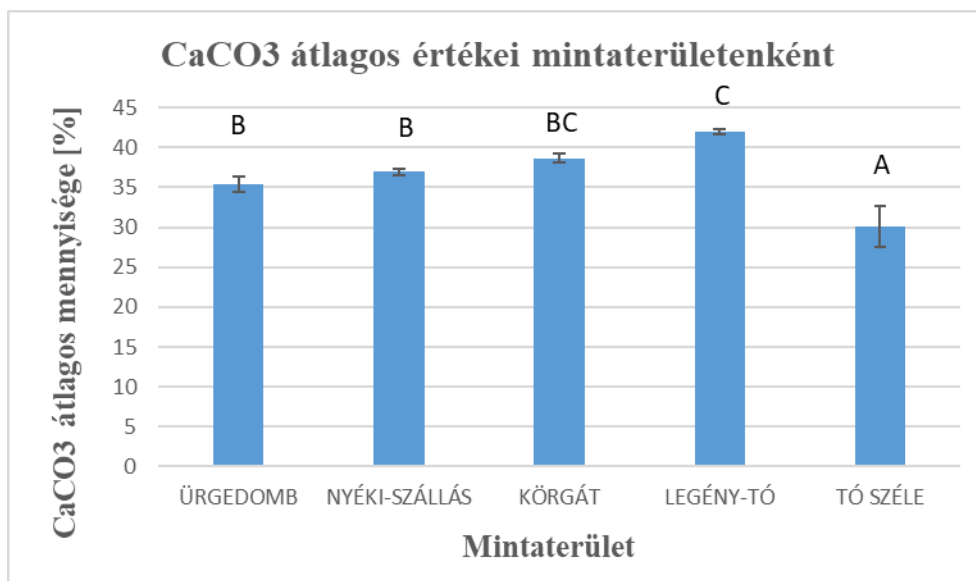
A kémhatás vizsgálat eredményeinek átlagos értékei a 12. ábrán láthatóak. A Tukey vizsgálat alapján a mintaterületek 4 csoportba oszthatók. A Tó széle szignifikánsan eltér a többi területtől, ott a legalacsonyabb a kémhatás (7,5). A Nyéki-szállás és a Körgát egymáshoz szignifikánsan hasonlítanak, mivel kémhatásuk 8, ami a Tó szélénél (7,5) magasabb. Az Ürgedomb (8,6) és a Legény-tó szintén szignifikánsan eltérőek a többi csoporttól és egymástól, de kémhatásuk magasabb. A legmagasabb értéket a Legény-tó mintáján mértem, ez 9,2.



12. ábra: A talajok átlagos kémhatása mintaterületenként
(A, B, C és D a szignifikáns eltéréseket jelölik)

5.2.2 CaCO₃ tartalom

A CaCO₃ tartalom vizsgálati eredménye alapján szintén 4 csoportot tudtam statisztikailag elkülöníteni, melyek a 13. ábrán láthatóak. A legalacsonyabb érték a Tó szélén volt, itt 30%-ot mutattak a mérések. Az Ürgedomb és a Nyéki-szállás szignifikánsan hasonlóak a CaCO₃ tartalom alapján, 35% és 37%-os értékekkel. A legmagasabb értéket a Legény-tónál mértem, ami önálló csoportot alkot 42%-os értékkel. A B és C csoporttól sem tér el szignifikánsan a Körgát CaCO₃ tartalma, mely 39%.

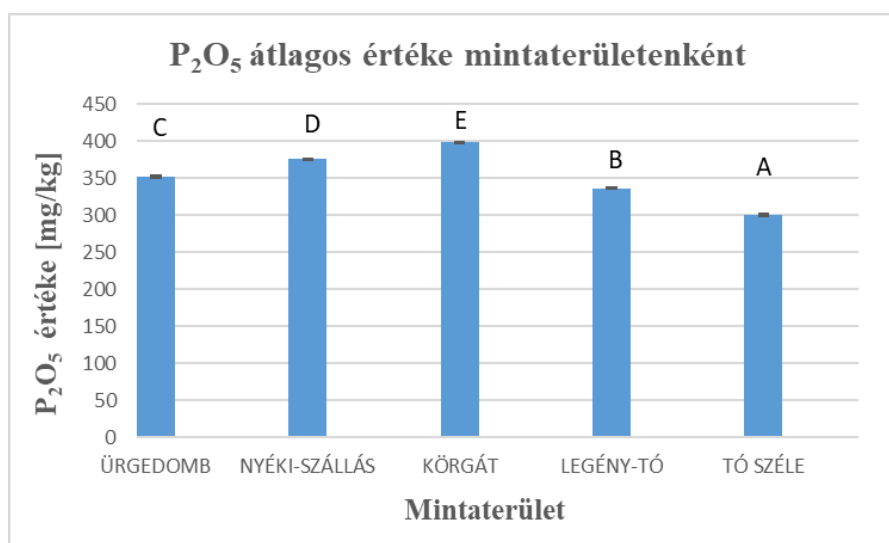


13. ábra: A talajok átlagos CaCO_3 értékei mintaterületenként

(A, B, C jelölik, mely területek hasonlítanak szignifikánsan. BC mindhárom csoporttól eltér.)

5.2.3 Foszfor-pentoxid tartalom

A talajok P_2O_5 tartalmát a 14. ábrán tüntettem fel. A mintaterületek ebben az esetben mind szignifikánsan eltértek egymástól. A Tó szélén volt az érték a legalacsonyabb, 300 mg/kg-mos értékkel. A Legény-tónál 337 mg/kg-ot, az Ürgedomb esetében 352 mg/kg-ot mutattak a mérések. A Nyéki-szállásnál 376 mg/kg, míg a Körgátnál a legmagasabb, 398 mg/kg-os értékkel. Ez majdnem 100 mg/kg-os eltérést jelent a Tó széle és a Körgát foszfor-pentoxid tartalmában.

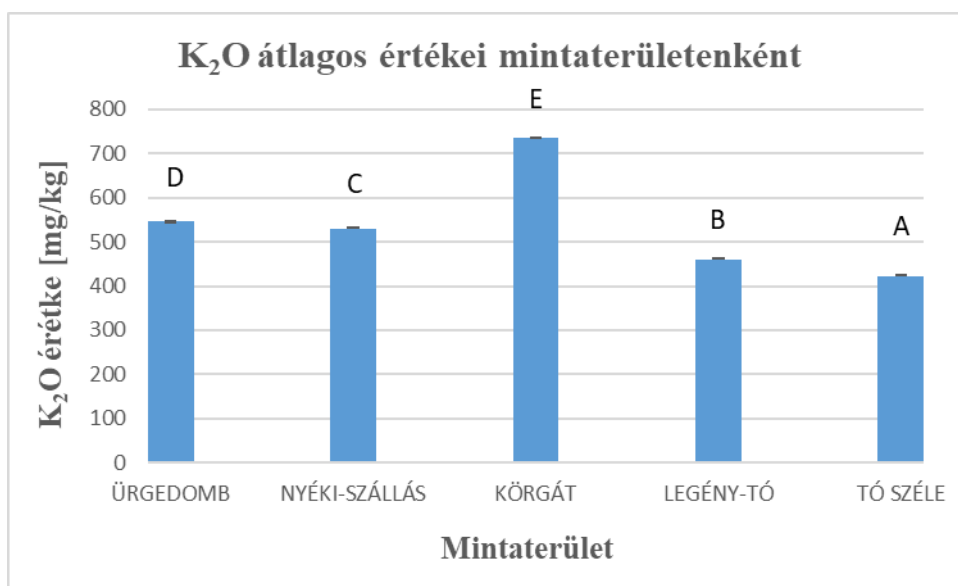


14. ábra: A talajok P_2O_5 tartalmának átlagos értéke mintaterületenként

(A, B, C, D, E jelölik, mely területek térnek el szignifikánsan)

5.2.4 Kálium-oxid tartalom

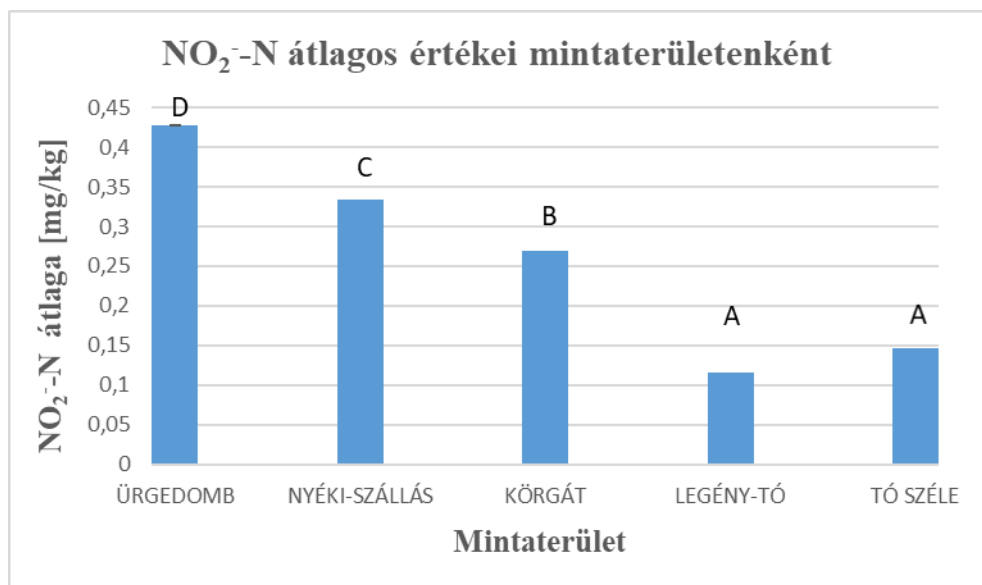
A talajok K_2O tartalmának vizsgálatából az eredményeket a 15. ábrán láthatjuk. Ebben az esetben is öt szignifikánsan különböző csoportra oszthatók a mintaterületek. A Tó szélén (423 mg/kg) a legalacsonyabb a K_2O tartalom, míg a Körgátnál a legmagasabb (735 mg/kg). A Legény-tó (461 mg/kg) és a Tó széle, illetve a Nyéki-szállás (530 mg/kg) és az Ürgedomb (546 mg/kg) között kevesebb, mint 100 mg/kg eltérés van. A legnagyobb és legalacsonyabb értékek közti eltérés több, mint 300 mg/kg.



15. ábra: A talajok K_2O tartalmának átlagos értéke mintaterületenként
(A, B, C, D, E jelölik, mely területek térnek el szignifikánsan)

5.2.5 Nitrit-nitrogén tartalom

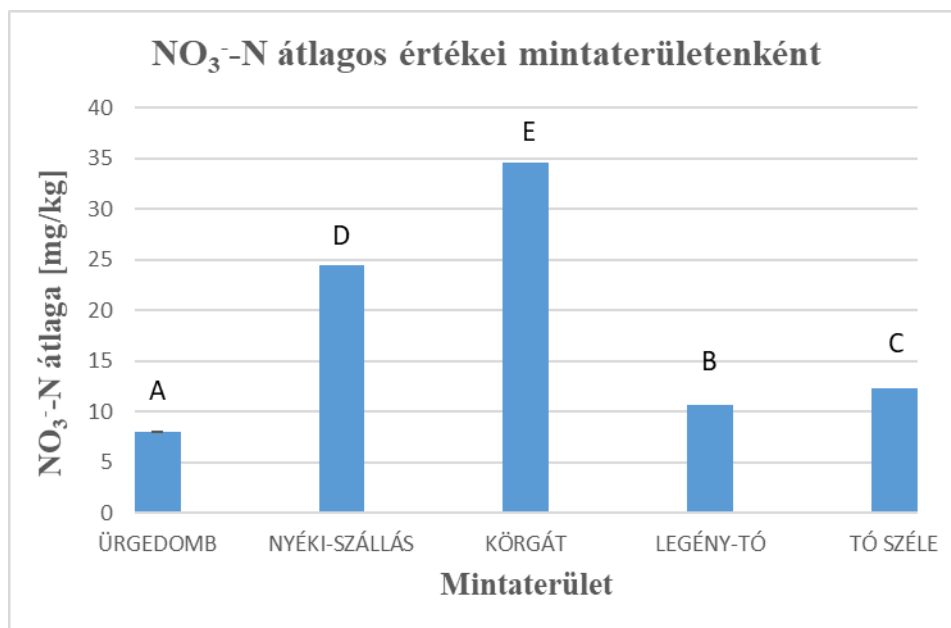
A 16. ábrán a talajok NO_2^- -N tartalma látható területenként. Ebben az esetben sem volt szignifikáns eltérés a Legény-tó (0,12 mg/kg) és a Tó széle (0,15 mg/kg) között, míg a többi terület szignifikánsan elkülönült. A Körgát nitrit-nitrogén tartalma 0,27 mg/kg, a Nyéki-szállásé 0,33 mg/kg, az Ürgedombé 0,43 mg/kg. A legalacsonyabb (tó széle) és a legmagasabb (Ürgedomb) értékek között majdnem háromszoros eltérés van.



16. ábra: A talajok NO₂⁻-N tartalmának átlagos értéke mintaterületenként
(A, B, C, D, jelölik, mely területek térnek el szignifikánsan)

5.2.6 Nitrát-nitrogén tartalom

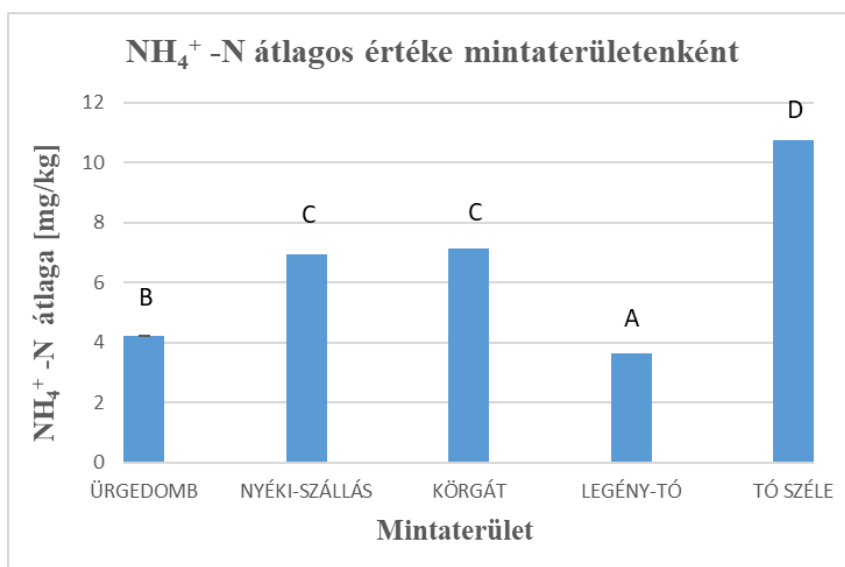
A talajok NO₃⁻-N tartalmát a 17. ábrán olvashatjuk. Ezen paraméter alapján a területek 5 csoportra oszlanak. A legkisebb az Ürgedomb talajának NO₃⁻-N tartalma (8,05 mg/kg). A Tó szélének NO₃⁻-N tartalma másfélszerese ennek (12,4 mg/kg). Ehhez képest a Nyéki-szállásé kétszeres érték (24,4 mg/kg), míg a Körgát annál is 10 mg/kg-mal magasabb (34,6). A Legény-tó nitrát-nitrogén tartalma 10,7 mg/kg.



17. ábra: A talajok NO₃-N tartalmának átlagos értéke mintaterületenként (A, B, C, D, E jelölik, mely területek térnek el szignifikánsan)

5.2.7 Ammónium-nitrogén tartalom

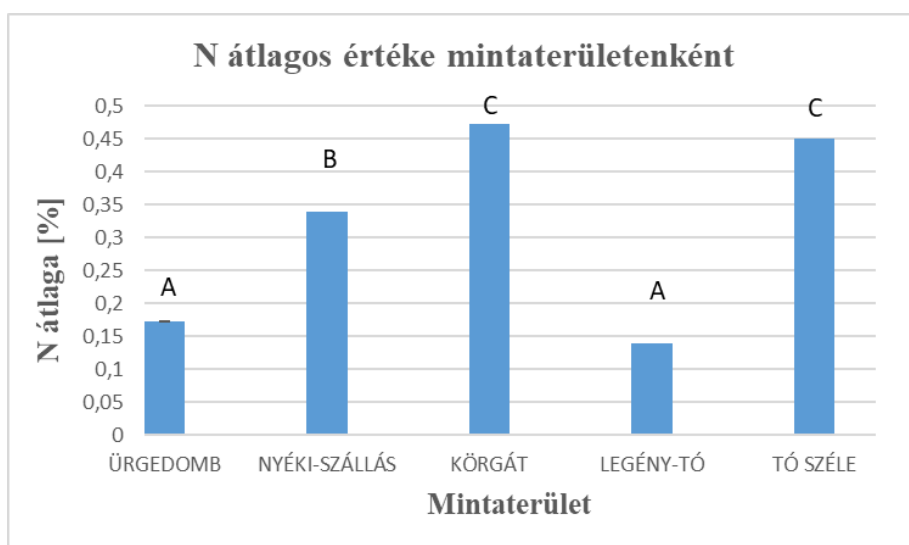
A 18. ábrán a talajok NH₄⁺-N tartalma látható. A területek itt is 4 csoportot alkotnak szignifikancia szerint. A Körgát (7,13 mg/kg) és a Nyéki-szállás (6,93 mg/kg) szignifikánsan hasonlítanak, míg a többi terület mind eltérő. Legalacsonyabb a Legény-tó (3,63 mg/kg), míg legmagasabb a Tó széle (10,76 mg/kg) NH₄⁺-N tartalma. Az Ürgedomb esetében 4,22 mg/kg-ot mértem.



18. ábra: A talajok NH₄⁺-N tartalmának átlagos értéke mintaterületenként (A, B, C, D jelölik, mely területek térnek el szignifikánsan)

5.2.8 Nitrogén tartalom

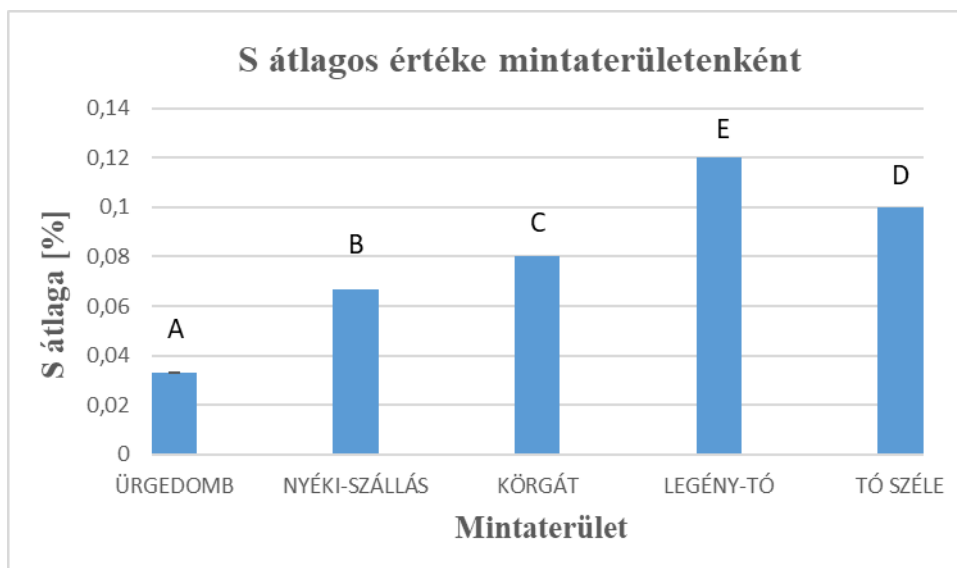
A talajok átlagos nitrogén tartalma a 19. ábrán látható. A Legény-tó (0,14 mg/kg) és az Ürgedomb (0,17 mg/kg) talaja szignifikánsan nem tér el, ahogyan a Tó széle (0,45 mg/kg) és a Körgát (0,47 mg/kg) sem térnek el egymástól szignifikánsan. A két csoport között mintegy háromszoros különbség látható. A harmadik csoportba a Nyéki-szállás tartozik 0,34 mg/kg-os átlagértékkel.



19. ábra: A talajok nitrogén tartalmának átlagos értéke mintaterületenként
(A, B, C jelölik, mely területek térnek el szignifikánsan)

5.2.9 Kén tartalom

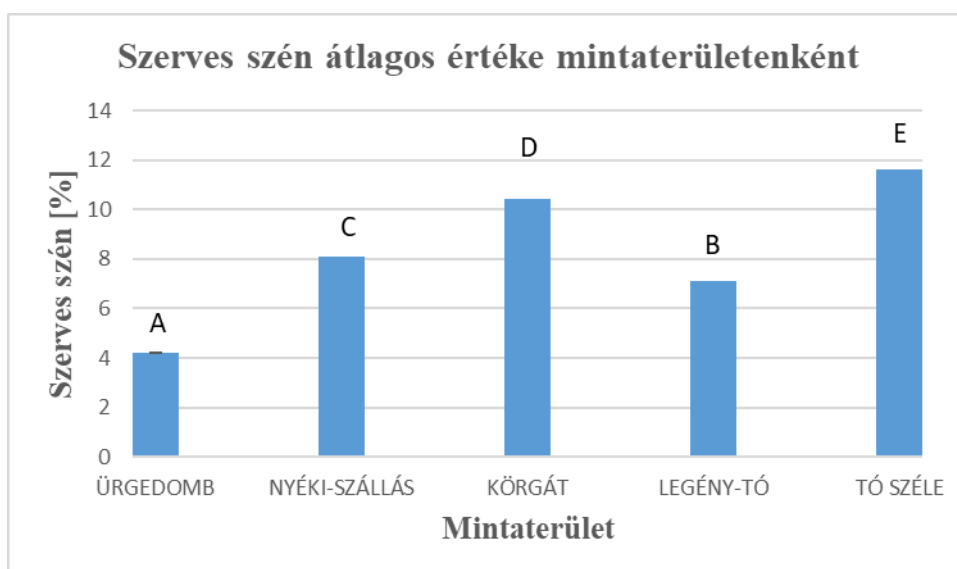
A 20. ábrán a talajok kén tartalmának átlagait tüntettem fel. Ezen paraméter alapján 5 csoportot alkotnak az eredmények. A legalacsonyabb értéket az Ürgedombon (0,03 mg/kg) mértem, ezt követi növekvő sorrendben a Nyéki-szállás (0,07 mg/kg), a Körgát (0,08 mg/kg) és a Tó széle (0,1 mg/kg). A legmagasabb érték a Legény-tó talajához tartozik, ez négyszeresen a legalacsonyabb értéknek (0,12 mg/kg).



20. ábra: A talajok kén tartalmának átlagos értéke mintaterületenként
(A, B, C, D, E jelölik, mely területek térnek el szignifikánsan)

5.2.10 Szerves széntartalom

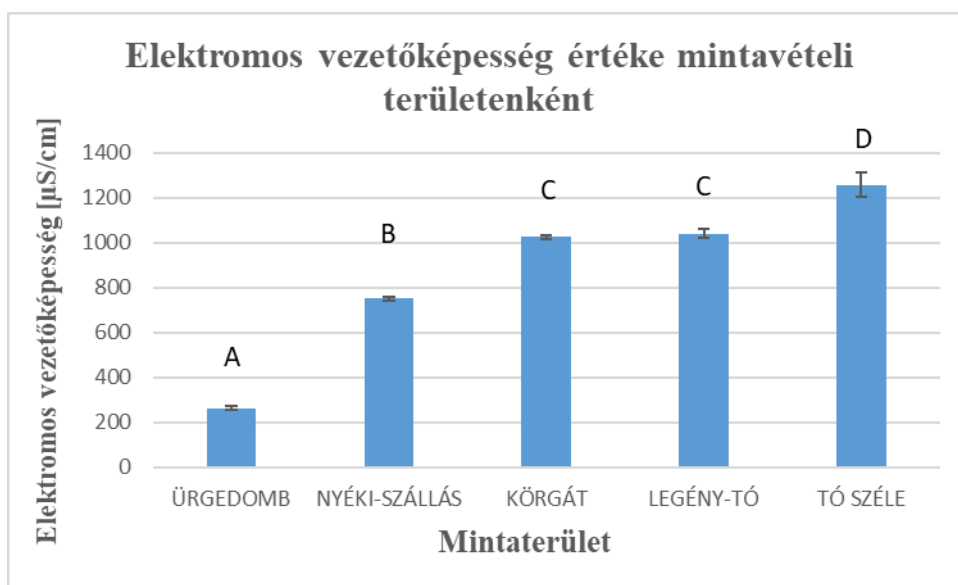
A 21. ábrán a talajok szerves szén tartalmát tüntettem fel, melyet az elemi C és a CaCO_3 tartalom alapján, az Anyag és módszer című részben feltüntetett képlet segítségével számítottam ki. A legalacsonyabb értéket az Ürgedomb (4,23 mg/kg) esetén kaptam, a legmagasabb a Tó szélénél (11,61mg/kg) szerves szén tartalma, mely majdnem háromszor magasabb. A Tukey vizsgálat alapján a területek szignifikánsan eltérnek egymástól. A Legény-tó szerves széntartalma 7,12 mg/kg, a Nyéki-szállásé 8,08 mg/kg, míg a Körgáté 10,4 mg/kg.



21. ábra: A talajok szerves szén tartalmának átlagos értéke mintaterületenként
(A, B, C, D, E jelölik, mely területek térnek el szignifikánsan)

5.2.11 Elektromos vezetőképesség és összes sótartalom

Az elektromos vezetőképesség értékeinek átlagát a 22. ábrán tüntettem fel. Ezen paraméter alapján majdnem az összes mintaterület szignifikánsan elkülönült egymástól és az értékek a tóhoz közeledve növekszenek. A legalacsonyabb az Ürgedomb talajának ($265 \mu\text{S}/\text{cm}$) vezetőképessége volt, ezt követte a Nyéki-szállás ($750 \mu\text{S}/\text{cm}$) közelítőleg háromszoros vezetőképesség értékkel. A Körgát ($1025 \mu\text{S}/\text{cm}$) és a Legény-tó ($1040 \mu\text{S}/\text{cm}$) talajának vezetőképessége szignifikánsan nem eltérő, de magasabb a Nyéki-szállásénál, a különbség kisebb az előzőnél. A legmagasabb érték a Tó szélének talajához tartozik, a vezetőképesség itt $1255 \mu\text{S}/\text{cm}$.



22. ábra: A talajok elektromos vezetőképesség értékek mintaterületenkénti átlaga (A, B, C és D jelölik, mely területek hasonlítanak egymásra szignifikánsan.)

A 4. táblázatban látható, hogy a vezetőképesség értékekből számított összes sótartalom ugyanúgy elkülönül, mint a vezetőképesség. Az Ürgedombon 0,14%, a Nyéki-szállásnál 0,4%, a Körgátnál 0,54%, a Legény-tónál 0,55%, míg a Tó szélén 0,66% sótartalmat mértem.

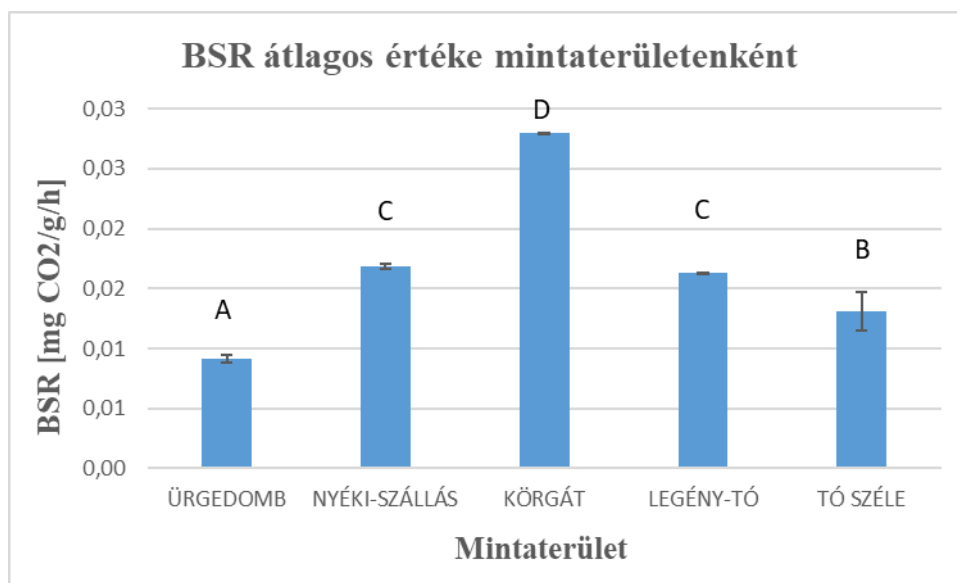
4. táblázat: A talajok vezetőképessége és összes sótartalma mintaterületenként átlagolva

Mintaterület	Elektromos vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Összes sótartalom [%]
Ürgedomb	265	0,14
Nyéki-szállás	750	0,40
Körgát	1025	0,54
Legény-tó	1040	0,55
Tó széle	1255	0,66

5.3 Talajok biológiai paraméterei

5.3.1 Talajlégzés vizsgálat

A talajlégzés vizsgálat eredményéből az látható, hogy a legmagasabb a Körgát (0,028 mg CO₂/g/h) közelében lévő talaj aktivitása volt, ez önálló csoportot alkot statisztikailag. Egy másik csoportot alkot a Nyéki-szállás (0,017 mg CO₂/g/h) és a Legény-tó talaja (0,017 mg CO₂/g/h), míg a Tó széle (0,009 mg CO₂/g/h) és az Ürgedomb (0,013 mg CO₂/g/h) csökkenő értékekkel 2 csoportot alkotnak. A talajlégzés vizsgálat eredményei a 23. ábrán láthatóak.



23. ábra: A talajlégzés vizsgálat eredményei mintaterületenként átlagolva (A, B, C és D jelölik, mely területek térnek el egymástól szignifikánsan)

5.4 A talaj paraméterek közötti összefüggések vizsgálatának eredményei

A Pearson féle korrelációs együtthatók értékei alapján az alábbi összefüggések vannak a paraméterek között ($r > |0,9|$: igen szoros, $|0,9| > r > |0,5|$: szoros):

Természetesen a **kémhatás** és a CaCO_3 tartalom között szoros pozitív kapcsolat van. A kémhatás és az ammónium-nitrogén között igen szoros negatív kapcsolat van. Ez azt jelenti, hogy a kémhatás csökkenésével az ammónium-nitrogén nő. A kémhatás és a nitrogén, illetve a szerves széntartalom között szoros negatív kapcsolat van.

A CaCO_3 és a foszfor-pentoxid közötti kapcsolat szoros pozitív, míg a kalcium-karbonát és az ammónium-nitrogén között szoros negatív kapcsolat van.

A **talajlégzés** igen szoros pozitív kapcsolatban van a nitrát-nitrogénnel és a kén tartalommal is. Szoros pozitív kapcsolat van a talajlégzés és a foszfor-pentoxid, a kálium-oxid, a nitrogén és a szerves széntartalom között. A talajlégzés magasabb értékéhez tehát a magas nitrát-nitrogén és kén tartalom mellett a foszfor-pentoxid, a kálium-oxid és a szerves széntartalom is hozzájárul.

A **vezetőképesség** a nitrit-nitrogénnel szoros negatív kapcsolatban van. A vezetőképesség szoros pozitív kapcsolatban van az ammónium-nitrogén, a nitrogén, a kén és a szerves széntartalommal is.

A **foszfor-pentoxid** a kálium-oxid tartalommal, a nitrit-nitrogén tartalommal és a nitrát-nitrogén tartalommal is szoros pozitív kapcsolatban van.

A **kálium-oxid** tartalom szoros pozitív kapcsolatban van a nitrát-nitrogén és a kén tartalommal.

A **nitrit-nitrogén** tartalom szoros negatív kapcsolatban van a szerves széntartalommal.

A **nitrát-nitrogén** tartalom szoros pozitív kapcsolatban van a nitrogén és kén tartalommal.

Az **ammónium-nitrogén** tartalom a nitrogén és a szerves széntartalommal van szoros pozitív kapcsolatban a korábban felsoroltakon kívül.

A **nitrogén** tartalom szoros pozitív kapcsolatban van a kén tartalommal és a szerves széntartalommal.

A **kén** tartalom szoros pozitív kapcsolatban van a szerves széntartalommal.

Az 5. táblázatban láthatóak a korrelációs együtthatók értékei:

	pH_KCl	CaCO3	BSR	EC	P2O5	K2O	NO2N	NO3N	NH4N	N	S	Humusz
pH_KCl	1	,790**	-0,1153	-0,33753	0,126314	-0,04317	-0,03451	-0,35098	-,946**	-,870**	-0,07959	-,710**
CaCO3		1	0,397986	-0,09849	,532*	0,331512	-0,07045	0,225656	-,761**	-0,47319	0,330844	-0,35633
BSR			1	0,455988	,673**	,764**	-0,18662	,907**	0,132014	,561*	,909**	,530*
EC				1	-0,3209	-0,16746	-,880**	0,257298	,594*	,549*	,654**	,881**
P2O5					1	,887**	,527*	,787**	-0,3252	0,151492	0,368261	-0,14438
K2O						1	0,427139	,805**	-0,12193	0,370987	,586*	0,066033
NO2N							1	0,113492	-0,28575	-0,13086	-0,46919	-,583*
NO3N								1	0,259454	,680**	,694**	0,494633
NH4N									1	,858**	0,200617	,853**
N										1	,530*	,870**
S											1	,638*
Humusz												1

5. táblázat: A Pearson féle korrelációs együtthatók értékei

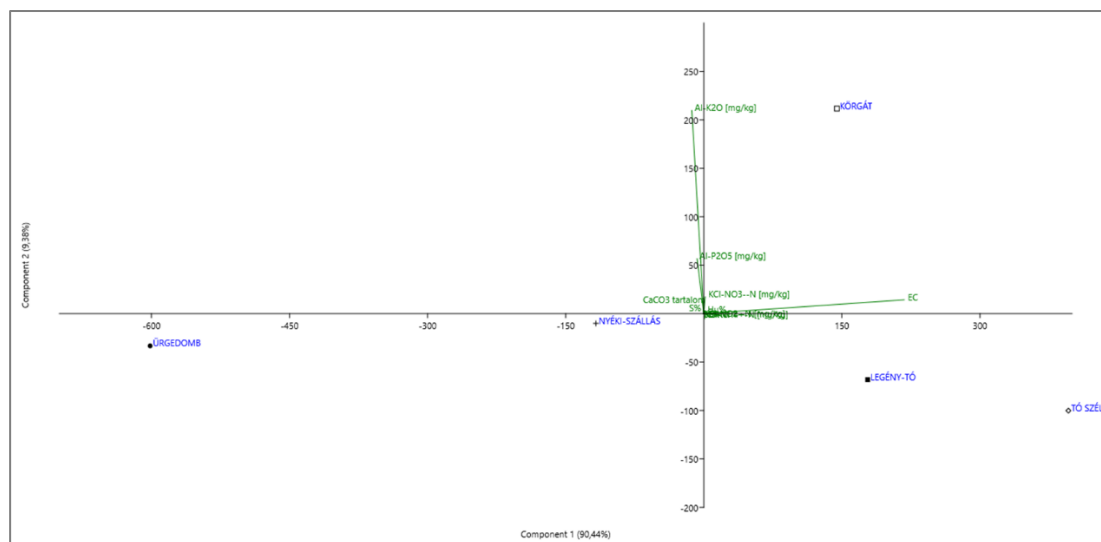
(sötétebb pirossal az igen szoros negatív, narancssárgával a szoros negatív, világos kékkel a szoros pozitív, sötétebb kékkel az igen szoros pozitív kapcsolatokat jelöltük.

*: a korreláció 0,05-ös szinten szignifikáns, **: a korreláció 0,01-es szinten szignifikáns)

5.5 A mintaterületek közötti kapcsolatok vizsgálatának eredményei

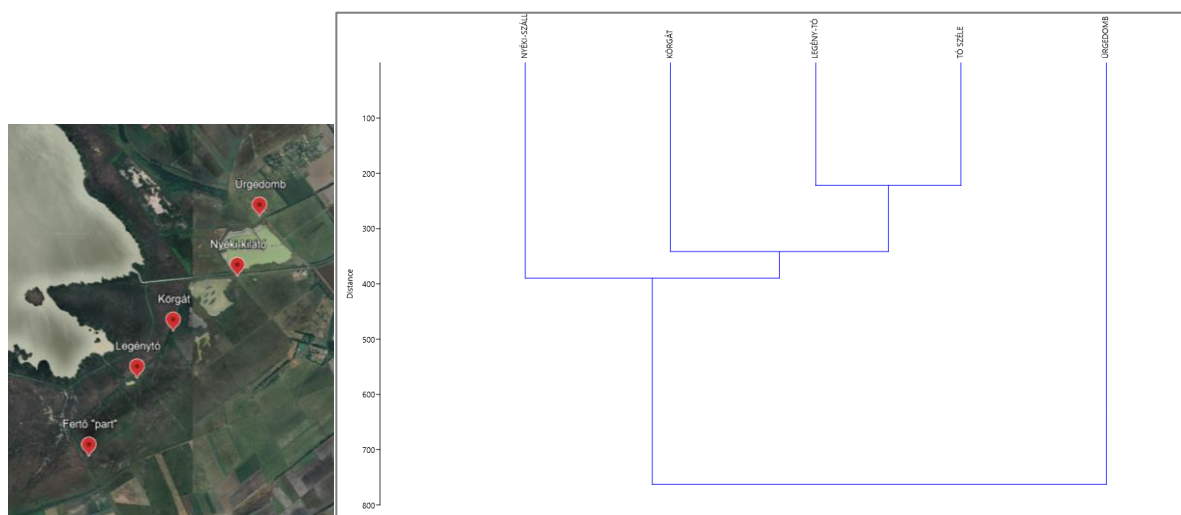
A PCA elemzés eredménye a 24. ábrán látható. A tengelyeket alkotó variancia összege 99,82%-os. A PC1 tengely varianciája 90,44%, amit a grafikon alján tüntettünk fel. A PC2 tengely varianciája 9,38%. A mintaterületek jól elkülöníthetők egymástól. A PC1 tengely mentén melyre a legnagyobb hatást az elektromos vezetőképesség gyakorolja- a mintaterületek a pozitívtól a negatív irányba ugyanazt az elrendeződést követik, amit a területi elhelyezkedésük, vagyis a tóhoz legközelebbi Tó széle nevű mintapontot a Legény-tó követi, mely a valóságban is legközelebb van hozzá. A Körgát nevű mintapont a Legény-tó és a Nyéki-szállás között fekszik, míg a tótól legtávolabb valóban az Ürgedomb van.

A PC2-es tengelyt a növények számára felvehető kálium-oxid és foszfor-pentoxid határozza meg. Ezen tápanyag paraméterek alapján is szétválnak a mintapontok. Az egyetlen mintaterület, amely a tengely pozitív oldalán helyezkedik el a Körgát, hiszen ennek a felvehető kálium-oxid és foszfor-pentoxid tartalma magasabb a többi terület talajának mért értékeinél.



24. ábra: A Főkomponens analízis eredménye

A 25. ábrán a hierarchikus klaszterezés látható. A mintaterületeim közül egymáshoz legközelebb a Tó széle és a Legény-tó állnak a vizsgált paramétereket tekintve. Távoltság szerint a következő a Körgát, majd a Nyéki-szállás volt a Tó széléhez. A paraméterek szerint legtávolabb az Ürgedomb áll tőle. A valóságban is az Ürgedomb helyezkedik el legtávolabb a Tó szélétől. Köztük az Ürgedomb felől nézve a Nyéki-szállás, majd a Körgát és a Tó széléhez közelebb a Legény-tó található, ahogyan az alábbi térképen is látható.



25. ábra: A mintaterületek térképe és a hierarchikus klaszterezés eredménye grafikonon ábrázolva

6. Következtetések és javaslatok

A vizsgált kémiai, fizikai és biológiai talaj paraméterek alapján az alábbi következtetéseket tudtam levonni a Fertő magyar oldalán található szikes talajokat illetően a tóhoz való helyzetük véve az összehasonlítás alapjául:

A Mexikópuszta elnevezésű terület, melyen az 5 mintaterület elhelyezkedik CaCO_3 -ban gazdag, minden mérési ponton 30 % feletti CaCO_3 tartalommal. Ezen eredményem egybevág a szakirodalmi forrásokkal (Szabolcs és Ábrahám 1957, Kárpáti és Fally 2012).

A talajok szikes jellegét az elektromos vezetőképesség és az ebből számított sótartalom segítségével vizsgáltam. A Fertő esetében a tó szélét nehéz meghatározni, hiszen sekély tó lévén a nádas öve kifejezetten kiterjedt. Bár a csatornázás, többek között maga a Körgát is határokat hivatottak szabni a víznek. Az elektromos vezetőképesség mérés eredményei azt mutatták, hogy a tótól távolodva az csökken. Vagyis az összes sótartalom azokon a területeken magasabb, melyek a tó vize által jobban érintettek (tó széle, Legény-tó, Körgát), tótól távolabbi mintaterületeken a sótartalom csökkenése folytatódik.

Az 5 mintaterület közül a tápanyag értékek -különösen a foszfor-pentoxid és kálium-oxid-alapján kiemelkedik a Körgát elnevezésű. A mintavétel során, bár aktuálisan nem legeltek ott állatok, mégis a szürkemarhák nyomait láthattam. Mivel ösvényeiket kitaposták és trágyájuk is nagy mennyiségben a területen maradt, így a magas tápanyag értékek valószínűleg a hosszabb legeltetésnek köszönhetőek.

A talajlégzés is a Körgátnál volt a legmagasabb, mely paraméter a talaj biológiai aktivitására utal és a korrelációs analízis alapján szoros pozitív kapcsolatban van a magas nitrát-nitrogén, kén, foszfor-pentoxid, kálium-oxid és a szerves széntartalommal. A legelő állatok által kijutatott trágya, mint tápanyag a talajéletre pozitív hatást gyakorol. A Fertő-Hanság Nemzeti Park a Fertő-tájon a tájgazdálkodás megőrzésén túl a nádas terjedésének kontrollálása érdekében végzi a legeltetést. A mintavétel során a tóhoz közeledve a Körgát nevű mintaterületen nőtt meg a nád aránya jelentősen a növényzetben.

A vizsgált nitrogén, szerves széntartalom, kén és ammónium-nitrogén tartalomról egyaránt elmondható, hogy a Tó szélén magasak az értékek. A nitrit-nitrogén és nitrát-nitrogén tartalom a tótól távolabb eső területeken magasabb (Ürgedomb, Nyéki-szállás, Körgát).

A kémhatás minden esetben lúgos tartományba esik, 7,5 és 9 között változik.

A szakirodalom feldolgozása során többször is olvashattunk arról, hogy a tó hidrogeológiai értelemben vett medrében vettem a mintáimat (Székely 2007, Dragonits et al. 2006, Szontagh 1902). A hierarchikus klaszterezés eredménye is arra mutat, hogy a mintapontjaim a tóhoz közelebb jobban hasonlítanak egymásra, míg távolodva tőle egyre kevésbé. A főkomponens analízis és a hierarchikus klaszterezés segítségével bebizonyosodott, hogy a tótól való távolság kimutatható hatással van a talajok fizikai, kémiai és biológiai paramétereire, főként az elektromos vezetőképességen és összes sótartalmon keresztül.

Összefoglalva tehát a talajparaméterek között a tóhoz viszonyított helyzetük mellett a kezelésük is kimutatható eltéréseket okoz a vizsgált felszínhez közeli mélységben. A tótól távolabbi területeken a tó sós vizének hatása enyhébb, ugyanakkor az ott legeltetett racka juhok (Ürgedomb) és bivalyok (Nyéki-szállás) hatása a tápanyag tartalomra kevésbé kiemelkedő, mint a szürkemarhák hatása.

A továbbiakban érdemes lenne a feltalajnál mélyebb szinteket is vizsgálni, hiszen a tó évezredek óta formálja szeszélyes mivoltával ezeket a talajokat. A korábbi kiöntések vagy éppen kiszáradások nyomán keletkezett szerves anyagban gazdagabb vagy más textúrájú szintek a jelenkori tulajdonságokra is hatással lehetnek, ezért a területek közötti különbségek megértését elősegíthetik. Emellett a területhasználat és a vízborítottság adatainak bevonása is hasznos információkkal egészítené ki a kutatás későbbi szakaszát.

7. Összefoglalás

A Fertő-táj egy nagyon különleges része Magyarországnak, a Dunántúlon, az osztrák határ mentén. Jellemzőit a Fertő, mint szikes tó és az emberi hatások alakítják. A Fertő története hosszú és tele van szeszélyes változásokkal, hiszen szikes tó lévén kiszáradási periódusa meghatározó. A kialakult élőhelyek olyan állatok és növények otthonai, melyek a szélsőséges vízminőségi paraméterekhez, gyorsan változó körülményekhez képesek voltak alkalmazkodni. A Fertőt a Hanságtól, ami tőle keletre helyezkedik el és évszázadokon át egy vízrendszer részei voltak a Hanság-főcsatorna és a Mexikópusztai zsilip megépülése választotta el egymástól. A XX. századtól a Fertő vízszintje így szabályozhatóvá vált.

A tó körül kialakult talajok is természetesen ezen hatásoktól befolyásolva formálódtak és formálódnak ma is. Szakirodalmi forrásokból tudjuk, hogy a vizsgálandó Mexikópusztai terület talaja szikes, magas kalcium-karbonát és összes sótartalomra számíthatok (Szabolcs és Ábrahám 1957). A tó körül a XX. század kezdetén végeztek felmérést azzal a céllal, hogy lecsapolás után mezőgazdasági művelés alá vonják, azonban már ezek a felmérések is úgy találták, hogy nem megfelelőek a talaj tulajdonságai az ilyen művelésre (Szontagh 1902).

A mintaterületeket úgy jelöltem ki, hogy képet kapjak arról, a tótól való távolság mely paramétereket befolyásol, illetve a Fertő-Hanság Nemzeti Park állatai (szürkemarka, racka juh, bivaly) által legelt részeket választottam. Vizsgáltam a feltalajból vett minták textúráját, nedvességtartalmát, a kémhatásukat, CaCO_3 tartalmukat, elektromos vezetőképességét, a növények számára felvehető foszfor-pentoxid és kálium-oxid, a nitrit-nitrogén, a nitrát-nitrogén és az ammónium-nitrogén tartalmát, továbbá a nitrogén, kén, szerves szénttartalmát, illetve végeztem talajlégzés vizsgálatot.

A statisztikai kiértékelés alapján eredményeim alátámasztják, hogy a tótól távolodva a feltalaj elektromos vezetőképessége és egyúttal összes sótartalma nő. A mintaterületek közül a tápanyag értékek tekintetében kiemelkedik a Kőrgát elnevezésű, melyen a szürkemarkák legeltek a mintavétel előtt, illetve az év első felében a vízborítottsága sokat változott, így a területhasználat nyomait is ki tudtam mutatni. A talajlégzés vizsgálatot a tápanyag értékekkel összehasonlítva egyértelműen látható, hogy ezek szoros kapcsolatban vannak. A legelő állatok által kijutatott trágya, mint tápanyag a talajéletre pozitív hatást gyakorol.

8. Irodalomjegyzék

- 1 Buzás I. (1988): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerek 2. INDA 4231 Kiadó, Budapest 243 pp.
- 2 Buzás I. (1993): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerek 1. INDA 4231 Kiadó, Budapest 357 pp.
- 3 Csorba Péter (2021): Magyarország kistájai, Meridián Táj- és Környezetföldrajzi Alapítvány, Debrecen, pg. 158-159
- 4 Dinka Mária, Ágoston-Szabó Edit, Berczik Árpád, Kutrucz Gyula (2004): nfluence of water level fluctuation on the spatial dynamic of the water chemistry at Lake Fertő/Neusiedler See, Limnologia, volume 34., issues 1-2, pg. 48-56
- 5 Dokucsajev V. V. (1883): Russian Chernozem. Selected works of V.V. Dokuchaev, vol. I, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem
- 6 Draganits E., A. Zámolyi, B. Hodits, S. Gier, B. Grasemann, C. Janda, B. Schiel, A. Rohatsch és F. Popp (2006): Neusiedlersee/Fertő Tó area (Austria/Hungary): landscape change through time constrained by geomorphology, lithostratigraphic sections, archaeology and historical maps. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 09995, 2006
- 7 Egnér, H., Riehm, H. and Domingo, W.R. (1960) Untersuchungen uber die chemische Bodenanalyse als Grundlage fur die Beurteilung des Nahrstoffzustandes der Boden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphorund Kaliumbestimmung. Kunglia Lantbrukshogskolans Annaler, 26, 199-215.
- 8 Érdiné Szekeres Rozália (szerk.) (2002): Nemzeti Ökológiai Hálózat 4. Szikes tavak, a Környezetvédelmi Minisztérium Természetvédelmi Hivatala, 2002
- 9 Freiler Á. (2009): A Fertő tó környezeti problémái és a védelmi intézkedések bemutatása. TDK dolgozat, Témavezető: Szabó Mária, Budapest, 2009.

- 10 Fülekgy György (szerk.) Bidló András, Bíró Borbála, Csákiné Tombácz Etelka, Fülekgy György, Kristófné Horváth Erzsébet, Michéli Erika, Pápay László, Tóthné Farsang Andrea (2011): Környezetmérnöki Tudástár, 3. kötet Talajvédelem, talajtan, 2. bővített kiadás – 2011 Első kiadás: 2008 Veszprém Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet
- 11 Hackl P., Ledolter J. (2023): A Statistical Analysis of the Water Levels at Lake Neusiedl, Austrian Journal of Statistics, volume 52, pg. 87-100
- 12 Horusitzky Henrik (1929): Sopron vármegye északi részének föld- és talajtani arculata. Jelentés az 1925— 1928. évi felvételekről.
- 13 ISO – International Standard ISO16072, 2002. Soil quality — Laboratory methods for determination of microbial soil respiration. Reference number: ISO 16072-2002. First edition.
- 14 Kárpáti L. (2002): Jelentés a Fertő-Hanság Nemzeti Park Igazgatóság 2002. évi tevékenységéről.
- 15 Kárpáti L., Fally J. (szerk.) (2012): Fertő-Hanság - Neusiedler See-Seewinkel Nemzeti Park. Monografikus tanulmányok a Fertő és a Hanság vidékéről, Fertő-Hanság Nemzeti Park Ig.; Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, pg. 11 (Fersch Attila), pg. 37-49 (Berczik András, Bidló András), pg. 241 (Takács Gábor), pg. 251-254 (Kárpáti László, Pellinger Attila), pg. 258-270 (Gömöri János, Hannes Herdits), pg. 309-315 (ifj. Sarkady Sándor)
- 16 Kulcsárné Roth M. (2024): Jelentés a Fertő-Hanság Nemzeti Park Igazgatóság 2023. évi szakmai tevékenységéről.
- 17 Löffler H. (1991): Paleolimnology of Neusiedlersee, Austria. Hydrobiologia 214. pg. 229-238.

- 18 Lőkös K. (2009): Statisztikai alapismeretek 2. kötet: Következtetési statisztika egyetemi jegyzet, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, pp.163-168
- 19 Mühlhauser H. (1990): Organic Matter Mineralization in the Littoral and open Lake Sediments of the Shallow Neusiedlersee, Österreich. Acta Hydrochimica et Hydrobiologica 18. pg: 421-431.
- 20 Nagy P. T. (2000): Égetéses elven működő elemanalizátor alkalmazhatósága talaj-és növényvizsgálatokban. Agrokémia és Talajtan 49. pp: 521-534.
- 21 MSZ 21470/2-81 KÖRNYEZETVÉDELMI TALAJVIZSGÁLATOK Talajminta előkészítése, nedvességtartalom, elektromos vezetés és pH meghatározása, 1981
- 22 Pannonhalmi M. és Sütheő L. (2007): A Fertő tó múltja, jelene és jövője. ÉDUVIZIG Győr, 2007.
- 23 Szabolcs I., Ábrahám L. (1957): A Fertő tó menti szikes talajok. MTA Agrokémiai Kutatóintézet Szikgenetikai Csoport, Budapest, Agrokémia és Talajtan Tom. 6. No. 2. 1957.
- 24 Szekendi F. (1938): A Hanság és a Fertő lecsapolási kísérleteinek története – A „Mosonvármegye” könyvnyomdája, Magyaróvár. pp. 3-5.
- 25 Székely B. (2009): Rediscovering the old treasures of cartography — What an almost 500-year-old map can tell to a geoscientist. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 44(1). pg: 3-16.
- 26 Szontagh T. (1902): A Magyar Kir. Földtani Intézet évi jelentése III. egyéb jelentések. 1. A Fertő-tó geológiai tanulmányozása. pg. 180-184.
- 27 Thirring G. (1886): A Fertő és vidéke. Földrajzi közlemények, tizennegyedik kötet, a Magyar Tudományos Akadémia Pártfogása mellett kiadja a Magyar Földrajzi Társaság Budapest, 1886. pg:469-508.

28 Varga L. (1931): Adatok a Fertő-tó fizikai és kémiai viszonyainak évi változásához. Hidrológiai Közlöny 1931 (11. évfolyam) pg: 25-41.

29 Waiser M. J., Robarts R.D. (2009): Saline Inland Waters - Encyclopedia of Inland Waters. Academic Press, Oxford, pg: 634-644.

Internetes hivatkozások:

30 http1: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600053.tv>

31 http2: <https://www.ferto-hansag.hu/hu/termeszetvedelem/termeszetvedelmi-teruletek/nemzeti-park.html>

32 http3: <https://www.ferto-hansag.hu/hu/okoturizmus/bemutatohelyek/bemutato-majorsag,-laszlomajor.html>

9. Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretnék köszönetet mondani a konzulenseimnek- Dr. Szegi Tamás Andrásnak és Dr. Simon Barbarának - a TDK dolgozatom elkészítéséhez nyújtott útmutatásukért és fáradhatatlan munkájukért. Ugyanakkor köszönettel tartozom Döbröntey Réka Erikának is, hogy a mintavételezésben segítségemre volt. Hálás vagyok Dr. Takács Anitának, Dr. Dálnoki Anna Boglárkának és Dr. Sebők Andrásnak a laboratóriumi mérések, különösen a tápanyag paraméterek és a CNS analízis kiértékelése során nyújtott segítségéért és jótanácsaiért. Köszönöm a segítségét Szénásiné Demeter Gyöngyinek és Gergely Ildikónak a laboratóriumi feladataim koordinálásában.