

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Környezetmérnöki Tanszék



Tisztított szennyvízzel történő öntözés talajra gyakorolt hatásának vizsgálata

Szerző: **Kerekes Panna** IV. évfolyamos
környezetmérnöki szakos BSc hallgató

Témavezető: Izbékiné Szabolcsik Andrea tanársegéd
Tanszékvezető: Dr. Kocsis Dénes László

Debrecen
2024.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. Víz és öntözés	5
2.2. Szennyvíztisztítás	7
2.3. Szennyvízzel történő öntözés	8
2.4. Talaj	13
2.5. Öntözés és talaj kapcsolata	14
2.6. Körforgásos gazdálkodás	15
3. Anyag és módszer	16
3.1. Víztisztítási vizsgálatok	16
3.1.1. Kémhatás mérése	16
3.1.2. Zavarosság mérése	17
3.1.3. Lúgosság mérése	17
3.1.4. Vezetőképesség és sótartalom mérése	17
3.1.5. Szervesanyagtartalom mérése	18
3.1.6. Ionkromatográfiás vizsgálat	20
3.1.7. Elemanalitikai vizsgálatok	21
3.2. Talajminősítési vizsgálatok	22
3.2.1. Nedvességtartalom meghatározása	22
3.2.2. Szín meghatározása	23
3.2.3. Kémhatás meghatározása	23
3.2.4. Vízmegkötő, vízáteresztőképesség meghatározása	24
3.2.5. Arany-féle kötöttség, vezetőképesség meghatározása	24
3.2.6. Humusz stabilitási szám meghatározása	25
3.2.7. Humusz mennyiségének meghatározása	26
3.2.8. Pufferkapacitás meghatározása	27

3.2.9. Összes karbonáttartalom meghatározása.....	27
4. Eredmények és kiértékelésük	29
4.1. Víztisztítás eredményei	29
4.1.1. Kémhatás	29
4.1.2. Zavarosság	30
4.1.3. Lúgosság értékek	30
4.1.4. Vezetőképesség és sótartalom.....	30
4.1.5. Szervesanyag tartalom.....	31
4.1.6. Ionkromatográfia.....	32
4.1.7. Elemanalitika.....	34
4.2. Talajtisztítás eredményei	35
4.2.1. Nedvességtartalom meghatározása	36
4.2.2. Szín meghatározása	36
4.2.3. Kémhatás meghatározása.....	37
4.2.4. Vízmegkötő, vízáteresztőképesség meghatározása	38
4.2.5. Arany-féle kötöttség, vezetőképesség meghatározása	39
4.2.6. Humusz stabilitási szám meghatározása	39
4.2.7. Humusz mennyiségének meghatározása.....	40
4.2.8. Pufferkapacitás meghatározása	41
4.2.9. Összes karbonáttartalom meghatározása.....	41
4.2.10. Elemanalitika.....	42
5. Következtetések és Javaslatok.....	45
6. Összefoglalás	47
7. Irodalomjegyzék	48

1. Bevezetés

A 21. században az egyik problémát a folyamatosan növekvő népesség okozza. Miért? Mert, ezáltal nő az ivóvízfelhasználás, nő a mezőgazdasági területek felhasználása, kizsigereljük a talajokat, hiszen folyamatos termelésre van szükség ezen igények kielégítésére. Ezek globális problémák, melyre fontos megoldást találni. Gondoljunk bele, hogy számtalan tevékenység során használjuk az ivóvízkészletünket, mint például a mezőgazdasági területeken történő öntözés során.

Hazánkban a mezőgazdasági területek főleg az alföldi területeken aszályérzékenyek. Ezt részben a földrajzi elhelyezkedéssel lehetne magyarázni, hiszen száraz nyarakkal jellemzett Kárpát-medencei klíma jellemzi a területeket. A magyar mezőgazdászoknak tehát szembe kell nézni a szárazsággal és az aszály veszélyével. [1]

A dolgozatom témája érinti a vízminősítést, öntözést és talajminősítést. A kutatásnál saját talajmintát használtam, illetve vizsgáltam. Első lépésként a talajminősítést végeztem el, mely a talaj fizikai-, kémiai tulajdonságait írja le. Következő lépés volt a vetés, majd a különböző típusú öntözővizek talajra kifejtett hatását figyeltem, amelybe lucernát, illetve pázsitfűvet ültettem. Öntözővízként háromtípusú vizet használtam: ivóvizet, tisztított szennyvizet, kevert vizet, amely 1/3 arányban tisztított szennyvíz, 2/3 arányban pedig ivóvizet jelentett. Összesen 6 mintám volt, amelynek a folyamatos öntözése és megfigyelése következett. Öntözés során a vizek többszöri minősítését végeztem el. A vízminősítés során meghatároztam pH, vezetőképesség, zavarosság, lúgosság értékét, szervesanyag tartalmát, sótartalmát, valamint elemösszetételét. A több hétig tartó nevelést utolsó lépésként talajminősítéssel zártam, amikor is meghatároztam a talajminták nedvességtartalmát, színét, kémhatását, pufferkapacitását, vízmegkötő és vízmegtartó képességét, vezetőképesség értékét, Arany-féle kötöttségi számát, a humusz minőségét, és mennyiségét, kalcium-karbonát tartalmát, és elemösszetételét.

Tehát a kutatásom elvégzése után megállapíthatom, hogy a tisztított szennyvizet a vizsgált talajtípuson (szántóföldi talaj), alkalmazhatjuk-e öntözési célokra. Ezzel esetlegesen támogathatjuk a körforgásos vízgazdálkodást és mérsékelhetjük az aszályos időszakok okozta vízhiányt a mezőgazdasági területeken.

2. Szakirodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben szeretném bemutatni a dolgozatom két legfontosabb környezeti elemét a vizet és a talajt. Részletezni fogom a víz fontosságát, a Debreceni Vízmű Zrt. szennyvíztisztító telepének a működését, a tisztított szennyvíz felhasználását, valamint magát a talajt és talajdegradációt is.

2.1. Víz és öntözés

A víz a földi élet alapja, a Föld felületén előforduló leggyakoribb anyagok egyike. Gazdasági oldalról is értékes, hiszen a vízi úton történő szállítás fontos, a gazdaság és a kereskedelem részéről is. A Földet 71% víz borítja, melynek 2,5%-a édesvíz, a maradék sós víz, amelyek tengerek és óceánok között oszlik el. A gleccserek és a hótakaró részét nem számítva az édesvíz 98%-a felszín alatti víz, ezért nélkülözhetetlen a felszín alatti vizek védelme.

Jelenkori problémáink közé tartozik az ivóvízhiány. 2006-ban a széleskörű vízfogyasztás mintegy 80%-ért a mezőgazdaságot mondhatjuk felelősnek. [2]

A népesség gyors növekedése és a városiasodás, a kimerítő vízfogyasztás és az éghajlatváltozás súlyos tényezői a víz kimerülésének. [3]

A 21. században a vízhiány az egyik legnagyobb széleskörű probléma, mely valamennyi társadalmat érinti. A világ népességének majdnem 20%-a valós, fizikai vízhiánnyal sújtotta területen él, a lakosság negyede ökonómiai vízhiánnyal néz szembe, vagyis nem rendelkezik olyan infrastruktúrával, amellyel megtörténhetne a vízkitermelés, akár felszíni, akár felszín alatti készletből. [4]

A növekvő lakosság, továbbá a változó klíma a vízigények növekedését eredményezi. Ez, valamint a korlátozott hozzáférés a vízhez, ezen kívül az ennek kapcsán kialakuló vízért folyó éles versenyhelyzet megteremtette a szükségességét annak, hogy mára már az úgynevezett nem-hagyományos vízforrásokat, pl. alacsony hozamú kutak, valamint források, esővíz, zivatarok csapadékvize, városi csapadékvizek, továbbá szennyvíz újrahasznosítása is előtérbe kerüljön a vízgazdálkodás kapcsán.

Különösen nagyméretű vízfelhasználó a mezőgazdaság, mely az öntözéses gazdálkodás alkalmával az édesvízkészlet 70%-át alkalmazza. Emiatt a vízhiány problémájának megoldása elsődlegesen az effektív vízfelhasználásban, a víztakarékos

öntözési technológiák kidolgozásában, továbbá a szennyvizek újrafelhasználásában rejlik. [4]

Mivel a népesség egyre jobban bővül, ezért az élelmiszerigény is megnövekedett. Az öntözés segítségével emelhetjük a mezőgazdasági termelékenységet, amely a gyarapodó népesség mellett elengedhetetlen. Az öntözött területek a világ szántóföldjeinek 17%-a, valamint az ezekről a földterületekről a termelés 34%-át teszi ki. [5]

Amikor az öntözővizek minőségéről beszélünk és értékeljük, fontos szem előtt tartani a csapadék mennyiségét, eloszlását, az öntözött területen a vízelvezetés lehetőségét, és a talaj sajátosságait. Az öntözendő talaj minőségénél figyelembe kell venni a víz minőségének talajra gyakorolt és várható hatását, majd ezekkel együtt kell értékelni. [6]

Az öntözővizek minőségét a lebegőanyag-tartalmuk, valamint a kémiai összetételük befolyásolja. Figyelembe kell venni a víz alkalmazásának módját/körülményét, mint például öntözendő talaj tulajdonságait (szerkezet, szemcseösszetétel, sótartalom), öntözés módját/gyakoriságát, éghajlati adottságait, a termesztett növény élettani sajátosságait. [7]

A víz bármikor felhasználható öntözésre, ha az összes sókoncentráció nem haladja meg az 500 mg/l értéket. Ha a sótartalom ettől magasabb, akkor különböző korlátozások bevezetésével tehető alkalmassá az öntözési célokra, de amennyiben a nátriumsó tartalma magas, akkor ezek a vizek öntözésre alkalmatlanná válnak, hiszen a talajban másodlagos szikesedés jöhet létre. [8]

A Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK) szerint [9], az öntözővíz minősége hatással van közvetett módon a fogyasztók egészségére. Emiatt minden olyan tényező vagy körülmény, amely negatívan befolyásolja az emberi egészséget azt vizsgálni kell. Fontos kiemelni, hogy általánosító határértéket nem lehet ebben az esetben alkalmazni, hiszen az, hogy mennyire nagy a kockázat az öntözővíz felhasználásában függ például, hogy a növény mely része kerül fogyasztásra, történik-e hőkezelés, mennyi idő telt el az utolsó öntözés és fogyasztás között. [9]

Két fő paramétert kell kiemelni a mikrobiológiai terheltséget és a kémia paramétereit. A mikrobiológiai paraméter kiterjednek az E. coli és Enterococcus, valamint a coliform baktériumok jelenlétének a vizsgálatára. Az első két kórokozó fekális szennyezést jelez, így az öntözővizekben szintén közegészségügyi kockázatot jelentenek.

A kémiai paraméterek vizsgálatát akkor végzik, ha indokolt a nitrát, nitrit vizsgálata, valamint peszticidek vizsgálata abban az esetben, ha a nitrát koncentrációja: a) talajvíz esetén 50 mg/l feletti, b) egyéb felszín alatti vízre (a talajvízen kívül) 25 mg/l feletti. [9]

A hazai öntözés az 1960-70-es években optimálisabb volt, mint manapság. Az elmúlt évtizedekben az öntözésre berendezett területek nagysága folyamatosan mérséklődött. Az ország eltérő pontjain, vármegyéiben az öntözés eltérő mértékben figyelhető meg. Az oka valószínűleg a változatos növénykultúra, és a területenkénti csapadékmennyiség/vízigény. [10]

2.2. Szennyvíztisztítás

Magyarországon a szennyvíztisztítás követelményeit a 28/2004 (XII.25.) KvVM rendelet tartalmazza, amely a vízszennyező anyagok kibocsátására vonatkozó határértékektől és azok alkalmazásának szabályairól rendelkezik. [11] Többek között kiterjed még a csapadékvíz és szennyvíz elvezetésére, zárt gyűjtőben gyűjtött szennyvíz közcsatornába, vagy közös üzem szennyvíz elvezető hálózatba bocsátására.

A kutatásom alkalmával a Debreceni Vízmű Zrt. biztosította a tisztított szennyvizet, ezért részletesebben bemutatom a vállalatot, és a szennyvízkezelési eljárását.

A Debreceni Vízmű Zrt. szennyvíztisztító telepére Debrecen és környékéről érkezik a szennyvíz nap, mint nap, melynek első megállója a mechanikai tisztítás. Először a szennyvizet végig vezetik a durva-, illetve finomrácson, melyek a különböző méretű lebegőanyagokat tartanak vissza, védve ezzel a berendezéseket is. Ezt követően homok- és zsíreltávolítás következik. A homokfogó esetében hosszanti átfolyású műtárgyról beszélünk, ahol a kiüledő homokot zagyszivattyúk segítségével távolítják el. További művelet a foszfortartalom előkicsapátása, ahol a vas(III) kloridot alkalmazzák. Ennek a vegyszernek több szerepe is van, hiszen fontos funkciót lát el a nehezen ülepedő, lebegő anyagok leválasztásában, illetve a flokkuláció elősegítésében. A mechanikai eljárások utolsó fázisa az előülepítés. A szennyvíztisztító telepen két Dorr ülepítő található, ahol a nyersiszap és a víz szegregálódik egymástól, a leülepedett iszap pedig az ülepítők alján található zsompban gyűlik össze.

A mechanikai eljárásokat, biológiai tisztítósor követi, ahol többek között nitrifikálásra, denitrifikálásra és a foszfor tartalmának eltávolítása is megvalósul két biológiai tisztítósoron. A régebbi biológiai tisztítósoron a biológiai tisztítás egy lóversenypálya alakú reaktortérben folyamatos kevertetés mellett zajlik. Első szakaszában történik az előülepített szennyvíz denitrifikálása, melyek segítségével szerves anyag lebontását végző baktériumok állnak rendelkezésre. Következő szakaszban egyszerre nitrifikációs és denitrifikációs folyamatok mennek végbe a nitrogén eltávolításának érdekében. Utolsó lépésben a levegőztetés történik,

ahol a denitrifikációból visszamaradó szerves anyag, illetve ammónium bomlik le, oxidálódik.

Az új biológiai tisztítósornál először anaerob folyamatokhoz ér az előülepített szennyvíz, ahol szintén baktériumok végzik a szerves anyag csökkentését és a nitrátban lévő oxigén elfogyasztását is. Következő térrészben a denitrifikációs folyamatokat helyezik előtérbe. Utolsó lépésként szintén levegőztetés történik, amelynél aerob szakaszban megy végbe a denitrifikáció során visszamaradt szerves anyag és ammónium bomlása, oxidálódása.

A biológiai eljárások végén ismét adagolható vas(III)-klorid vegyszer a megfelelő hatékonyságú foszfor eltávolítása érdekében. Ezután Dorr-típusú utóülepítőbe kerül a szennyvíz, melyeknek a működése ugyanaz, mint az előülepítők esetében, csak a tartózkodási időben van eltérés. A tisztított szennyvíz legutolsó fázisaként, a berendezések és tisztítások után a Tóció vízfolyásába vezetik. [12] A tisztított szennyvíz élővízfolyásba történő beocsátásakor az 1. táblázatban szereplő határértéknek kell megfelelnie.

1. táblázat: A kibocsátott tisztított szennyvízre vonatkozó követelmények a befogadóba történő bevezetés előtti helyen [11]

Kiépített terhelési kapacitás [Leé]	Szennyező komponensek határértékei koncentrációban (mg/l) vagy minimális eltávolítási hatásfokban (%) kifejezve									
	Dikromátos oxigén-fogyasztás (KOI _k)		Biokémiai oxigén-igény (BOI ₅)		Összes lebegő-anyag (öLA)		Összes foszfor (öP)		Összes nitrogén (öN)	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	V. 1-jétől XI. 15-ig mg/l	XI. 16-tól IV. 30-ig mg/l
< 600	300	70	80	75	100	-	-	-	-	-
601-2000	200	75	50	80	75	-	-	-	-	-
2001-10000	125	75	25	70-90	35	90	-	-	-	-
10001-100000	125	75	25	70-90	35	90	2	80	15	25
> 100000	125	75	25	70-90	35	90	1	80	10	20

2.3. Szennyvízzel történő öntözés

A víz újrafelhasználása nem új keletű dolog, viszont az elmondható, hogy nem volt megfelelő módon hasznosítva. I.e. 3200-1100 között háztartási szennyvizet a mezőgazdasági növények öntözésére alkalmazták. Az ókorban az emberek a háztartási szennyvizüket egy tárolókamrába gyűjtötték, majd ezt hasznosították tovább szintén öntözésre, valamint trágyaként is hasznát vették a gyümölcsösök számára. A szennyvíz közvetlen

mezőgazdasági felhasználását elsők között Angliában, Skóciában és Németországban alkalmazták a 16-17. században. Az 1800-as évektől kezdve kedvelt öntözési forma volt a szennyvízzel történő öntözés valamennyi amerikai és európai városban is, mint például Boston, Párizs vagy London. Ugyanebben az időszakban Ausztráliában is megtörtént az első szennyvízzel történő mezőgazdasági öntözés. Fontos kiemelni, hogy ebben az időszakban a szennyvizeket kezeletlenül szállították, így a vízzel terjedő betegségek aránya megnőtt, például kolera- és tífuszjárványok. A biztonságos felhasználásának alapja, hogy megfelelő minőségű vizet alkalmazzunk ami, a környezetre és emberre nem káros.

Az elmúlt években több ország is gondolkodik alternatív vízellátásként a víz újrafelhasználásra. Ezzel csökkenteni tudná a vizekbe jutó szennyezést, valamint az édesvizeket is kevésbé terhelnék. A mai modern szennyvíztisztítási technológiáknak köszönhetően a 2010-2015 közötti években az újrahasznosított víz mennyisége 33,7 millió m³-ról 54,5 millió m³/napra nőtt. [6] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22].

Az egyik alapelv a víz újrahasznosítás alkalmával, hogy a mennyiségi nehézségek megoldása nem vezethet vízminőségi problémákhoz. A víz újrahasznosítás - biztonságos, továbbá költséghatékony feltételek mellett - értéket jelenthet hazánk részére. Az aszály, valamint vízhiány által veszélyeztetett területeken javasolják a víz újrahasznosítás lehetőségeinek differenciáltabb feltárását. A tisztított szennyvíz újrahasznosítás előnyeinek, továbbá hátrányainak teljes skáláját fel kell tárni, amik jellemzően a lokális adottságoktól függenek, emiatt mindig eseti alapon szükséges meghatározni őket.

A megfelelőképpen tisztított szennyvíz számos célra felhasználható. A hasznosítási módok közötti prioritás, a terület egyedi igényeitől függ. A potenciális hasznosítási alternatívák többféleképpen kategorizálhatók a hasznosítás típusa szerint, úgymint mezőgazdasági, ipari, esetleg települési használat.

A tisztított szennyvíz mezőgazdasági hasznosításában rejlő alternatívák kihasználásához két elengedhetetlen feltételnek szükséges egyúttal teljesülni: ez a biztonságosság, és a költséghatékonyság.

Ezek a feltételek kizárólag akkor megvalósíthatók meg, ha mezőgazdasági hasznosításra alkalmas területen létesítjük a beruházásunkat. [23]

A tisztított szennyvíz és az ivóvíz közötti különbség a sótartalmat tekintve 1,5-2-szeresre tehető, emiatt a jelenlévő sók minősége és mennyisége fontos szerepet tölt be. Az öntözésnél észrevehető különbség nem feltétlenül a talaj pH értékeinél figyelhető meg, hanem a konduktivitást vizsgálva 12,4% és 84,2% közé emelkedhet. Ebből következik az a megállapítás, hogy felgyorsítja a talajok kilúgzását, szikesedését, szerkezeti romlások

következhethetnek be, valamint a terméshozam csökkenését idézheti elő. Nagymértékű veszélynek vannak ezáltal kitéve a száraz területek, ezért is fontos lehet a különböző adalékanyagok használata például szalma, szervestrágya vagy gipsz, ha szennyvízzel öntözünk. [24]

A szennyvíz mezőgazdasági célú újrafelhasználásának számos előnye is lehetnek. Például ezzel Izrael növelte a termelését, és a világ viszonyítási pontjává vált. Továbbá az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) is szorgalmazza a szennyvíz újrafelhasználását az egész világon, hogy teljesüljenek a Fenntartható Fejlesztési Célok 2030-ig. Mindemellett a szennyvízkibocsátás minimalizálásával, a szennyvíz öntözési célú használata elősegítheti a vízi környezetvédelmét. A pozitív és negatív következményei a hasznosításnak a tisztított szennyvíz öntözőanyagként való felhasználásának lehetőségét világszerte széles körben tanulmányozták, mind laboratóriumokban, mind nagyobb léptékben. [3]

India körülbelül 62 000 milliárd szennyvizet termel csak a városokból, amelyek kizárólag 27%-át kezelik a szennyvíztisztítóban és a kezeletlen szennyvíz 70%-a folyóvízbe kerül. A városkörnyéki régiókban a vízhiány, a szennyvíz mezőgazdasági felhasználásának növekedését okozza. Indiában mintegy 73000 hektárnyi területet öntöznek szennyvízzel. Egy tanulmány szerint mintegy 40 000 hektár mezőgazdasági területet öntöztek hígított szennyvízzel és a Musi folyó tiszta vizével. [3]

A szennyvízzel, illetve tisztított szennyvízzel történő öntözésnek vannak nemzeti és nemzetközi szabályai, előírásait, amelyeket a teljességigénye nélkül a következőkben ismertetek:

„7/2023. (I. 12.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet és a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szóló 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet módosításáról”

"h) mezőgazdasági felhasználás: olyan tevékenység, ami szennyvíznek, szennyvíziszapnak, valamint szennyvíziszap-komposztnak mezőgazdasági terület talajára történő kijuttatását, talajba való bedolgozását, továbbá az (EU) 2020/741 európai parlamenti és tanácsi rendelet alapján meghatározott D. minőségi osztálya szerinti terménykategória visszanyert vízzel történő öntözését célozza;"

A tisztított szennyvíz, vagy ahogyan a 7/2023. (I. 12.) Korm. rendelet 2§ k) pontja [25] is nevezi visszanyert víz mezőgazdasági öntözéshez kapcsolódó minőségéről szóló nemzeti és

nemzetközi követelményeket, illetve határértékeket a .2., 3. és 4. táblázatokban foglalom össze.

2.táblázat: *A visszanyert víz minőségére vonatkozó követelmények mezőgazdasági öntözés esetében [25] [26]*

A visszanyert víz minőségi osztálya	Tájékoztató jellegű technológiai célkitűzés	Minőségi követelmények				
		E.coli (egyedszám / 100 ml)	BOI ₅ (mg/l)	Összes lebegőanyag (mg/l)	Zavarosság (NTU)	Egyéb
A.	Másodlagos kezelés, szűrés és fertőtlenítés	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 cfu/l, amennyiben fennáll az aeroszolizáció veszélye
B.	Másodlagos kezelés és fertőtlenítés	≤ 100	A 91/271/EG K irányelvvel összhangban	A 91/271/EG K irányelvvel összhangban	-	Bélrendszeri fonalférgek (bélféregpeték): ≤ 1
C.	Másodlagos kezelés és fertőtlenítés	≤ 1 000			-	pete/l legelő vagy takarmánynövénye
D.	Másodlagos kezelés és fertőtlenítés	≤ 10 000			-	k öntözésénél

3. táblázat: *Öntözővizekben az elemek megengedhető maximum koncentrációja (µg/l) [5]*

Elem	Határérték (µg/l)
Al	5000
Cd	10
Co	50
Cr	100
Cu	200
Fe	5000
Li	2500
Mn	200
Ni	200
Zn	2000

4. táblázat: Szennyvízminőségének határértékei mezőgazdasági felhasználásra [5]

	A felhasználás korlátozásának mértéke		
	Nincs szükség korlátozásra (1. kategória)	Enyhe vagy közepes (2. kategória)	Súlyos (3. kategória)
Sótartalom			
EC	EC < 700 $\mu\text{S/cm}$	EC = 700 - 3000 $\mu\text{S/cm}$	EC > 3000 $\mu\text{S/cm}$
SAR	< 3	3-9	> 9
Beszivárgás esetén			
SAR			
0 – 3	EC > 700 $\mu\text{S/cm}$	EC = 700 - 200 $\mu\text{S/cm}$	EC < 200 $\mu\text{S/cm}$
3-6	EC > 1200 $\mu\text{S/cm}$	EC = 1200 - 300 $\mu\text{S/cm}$	EC < 300 $\mu\text{S/cm}$
6-12	EC > 1900 $\mu\text{S/cm}$	EC = 1900 - 500 $\mu\text{S/cm}$	EC < 500 $\mu\text{S/cm}$
12-20	EC > 2900 $\mu\text{S/cm}$	EC = 2900 - 1300 $\mu\text{S/cm}$	EC < 1300 $\mu\text{S/cm}$
20-40	EC > 5000 $\mu\text{S/cm}$	EC = 5000 - 2900 $\mu\text{S/cm}$	EC < 2900 $\mu\text{S/cm}$
Specifikus paraméterek			
pH	Normál érték 6.5-8		
Cl⁻	4 mgeé/l	4-10 mgeé/l	10 mgeé/l
B	< 0,7 mg/l	0,7 – 3,0 mg/l	> 3,0 mg/l
NO₃-N	< 5 mg/l	5-30 mg/l	> 30 mg/l
HCO₃²⁻	< 1,5 mgeé/l	1,5 -8,5 mgeé/l	> 8,5 mgeé/l

Ha a 4. táblázat alapján az öntözővizünk az 1. kategóriába tartozik, akkor nincs szükség semmilyen korlátozás bevezetésére, mivel az öntözővizek nem okoznak talaj vagy termesztési problémákat. A 2. kategóriába tartozó öntözővizek esetében a teljes terméspotenciál eléréséhez fokozatosan növekvő gondosságra van szükség. Másrészt, ha olyan öntözővizet használunk, amely eléri vagy meghaladja a súlyos korlátozásoknál (3. kategória) feltüntetett értékeket, a vízhasználónak talaj- és termesztési problémákat vagy természsökkenést tapasztalnak, de meg kell jegyezni, hogy a „felhasználási korlátozás” azt jelzi, hogy a termesztett növény megválasztása korlátozva lehet, vagy különleges kezelésre lehet szükség a teljes termelési képesség fenntartásához. A „felhasználási korlátozás” nem jelenti azt, hogy a víz alkalmatlan a mezőgazdasági felhasználásra [5] [27].

2.4. Talaj

A Föld száraz területeinek legnagyobb részét laza szerkezetű, heterogén természeti képződmény, azaz talaj fedi el. A felszíne sötétebb, míg a mélyebb részek fokozatosan világosulnak, melynek magyarázata a fizikai-kémiai tulajdonságok, valamint az eltérő anyagminőségek. A talaj fogalmának a meghatározására többféle fogalom is létezik, ezek közül a legismertebb amikor, mint mezőgazdasági legfontosabb termelési feltételként . kategóriamutatjuk be. [28]

„A talaj a szilárd földfelszín laza, termékeny takarója. Sajátos természeti képződmény, mely a rajta élő növényeket folyamatosan el tudja látni vízzel és tápanyagokkal”. [29]

Megkülönböztetjük fizikai, kémiai és biológiai oldalról a talaj fogalmát: *„A talaj háromfázisú (halmazállapotú) anyagi rendszer.” „A talaj számos alrendszerből álló, összetett, nyílt rendszer.”*

Geoszféra oldaláról pedig *„A talaj bonyolult – fizikai, kémiai, illetve biológiai folyamatok sokaságában megnyilvánuló – kölcsönhatásrendszer által kialakított aktív réteg, amelyet globális léptékben önálló földi szférának, pedoszféranak, talajburoknak nevezünk.”* [28]

Mint a környezet része fogadja a földfelszínre érkező energia- és anyagáramlásokat; képes ezeket tárolni, illetve átalakítani azokat. A termőtalaj természeti erőforrás, amelynél ha zavartalan körforgás megy végbe, akkor képes az élővilággal szoros kapcsolatban és kölcsönhatásban megújulni. Ha azonban az anyagforgalomban nehézség van, vagy a talaj megsemmisül, akkor, mint erőforrás meg nem újítható. A Föld felszínén a pedoszféra,- a talajképződés által irányított földkéreg-, szoros kapcsolatban van a litoszférával, a bioszférával, és az atmoszférával [30].

Talajdegradáció, azon folyamat, amely a talaj minőségét, termékenységét rontja, illetve funkcióinak betöltését nehezíti. Okai lehetnek természeti erők, mint (erózió, defláció), valamint antropogén tevékenységek is.

Ember okozta talajkárosítás közé tartozik a helytelen mezőgazdasági művelés. A helytelen talajművelés erózióhoz vezethet, abban az esetben, ha a lejtős területeken nem megfelelő irányban művelik a talajt. Probléma lehet még a rendszeresen végzett, azonos mélységű szántás, melynél kialakul egy tömődött réteg, amit eketalpnak hívunk. Védekezni ezellen művelési mélység megváltoztatásával lehet.

Kemikáliák nem megfelelő használata szintén gondot okoznak. Idetartoznak a növényvédőszer, valamint a műtrágyák is. A műtrágya hatása kedvezőnek mondható,

hiszen az elemek körforgása fokozódik, több szervesanyag-képződést tesz lehetővé, és növeli a növényi asszimilációt. Azonban a túladagolt műtrágya növeli a kilúgzást, hiánybetegségek lépnek fel, talajsavanyodást okoz, felszín alatti vizek nitrásodásához vezet, valamint a felszíni vizek eutrofizációját fokozza.

Antropogén tevékenységek közé sorolható még a helytelen öntözés. Ha nem jól határozzák meg az öntözés módját, akkor romlik a talaj levegő-és vízgazdálkodása, a talajszerkezet tömődötté válhat. A rossz minőségű öntözővíz képes akár másodlagos szikesedést is okozni. A nem megfelelő mennyiségű víz másodlagos rétiesedéshez is vezethet, ami azt jelenti, hogy a hidromorf jelleg lesz az uralkodó állapot. [8]

2.5 Öntözés és talaj kapcsolata

Az öntözés fontossága a megfelelő vízpótlás azért, hogy a gazdaság nyereségét növelni tudják. Ez egy tudatos folyamat, mivel nem kapcsolódik az éghajlat aktuális állapotához. Az öntözés tervezésénél, kivitelezésénél szem előtt kell tartani a víz kémiai jellemzőit, hatását a növényzetre és a talaj tulajdonságaira. [31]

Az öntözés közvetlen hatásai a talaj nedvességtartalmába mutatható ki. Az öntözés miatt a talaj hasznos víztartalma magasabb lesz, ez pozitívan hat a növényzet vízellátására, az oldódási folyamatokra, valamint növeli a biológiai aktivitását is. Közvetett hatása is van az öntözésnek, amelyek a levegő-, hő-, tápanyaggazdálkodásának a megváltozását eredményezi. Természetesen ki kell emelni, hogy a közvetlen és közvetett hatások által a talaj mikrobiológiai élete is átalakul, amely befolyásolja a felvehető tápanyag mennyiségét, talajszerkezet tartósságát, illetve a szervesanyag tartalmát.

Az öntözés egyik negatív hatásához tartozik a másodlagos szikesedés, ami sófelhalmozódást jelent és a mezőgazdaságban nagy kockázattal járhat, akár a talaj felszínén is észrevehető lehet ez a jelenség. Ahhoz, hogy a másodlagos szikesedést megelőzzük, szükséges lehet az adott talaj bevizsgálására. Fontos megemlíteni, hogy bizonyos sókoncentráció nem káros a talajra vagy a növényre, hiszen adott mértékben a talajvíz is tartalmaz sót. Azonban, ha átlépi azt a bizonyos mértéket, akkor ez ártalmas mind a talajra, mind a növény fejlődésére. [10]

Hazánkban a kiemelt, öntözés szempontjából fontos területek nagyjából agyagos, agyagos-vályog összetételű. Ezeknek a típusú talajoknak a fizikai, valamint vízgazdálkodási jellemzőit jelentősen megváltoztatják, és irreverzibilis folyamatokhoz eredményez, a nátrium-karbonátos és nátrium-hidrogénkarbonátos talajvíz okozta másodlagos szikesedés.

Az öntözésnél kiemelt fontosságú talajtulajdonságok: fizikai féleség, egyes szemcsefrakciók százalékos értékei, humusztartalom, mésztartalom, porozitás, talajvíz mélysége és a talajvíz össz sótartalma, azon belül a Na és Mg %, K és k értékek (vízvezető képesség), pF – vízkapacitás értékek (víztározó képesség), vízzáró, illetve vízvezető rétegek jelenléte. [1]

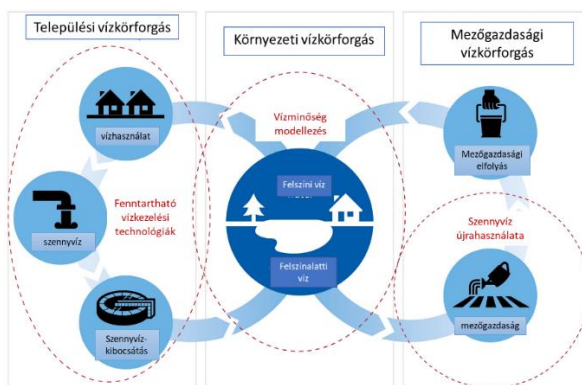
Az előbbieken felsorolt talajtulajdonságokból a tanszék laboratóriumában nekem is sikerült néhányat meghatároznom, illetve még ezeken kívül más paramétereket is vizsgáltam, amelyeket a következő főfejezetben ismertetek majd.

2.6. Körforgásos gazdálkodás

A körkörös/ körforgásos gazdaság célja, hogy a különböző termékek, egyes termékek részei a gazdaságban minél több ideig maradjanak körforgásban és emellett minimalizálja a keletkezett hulladékok mennyiségét. Ennek több pozitív előnye lenne, hiszen új munkahelyek jönnének létre, nőne az innováció és versenyképesség, optimalizálnák a hozamokat, a természeti tőkét pedig nem csak megőrizné, de gazdagítaná is. [32]

A körforgásos gazdaság esetében a lineáris életciklus helyett körforgásossá válik a gazdaság újrahasznosítással, újragyártással, valamint újrahasználattal. Ennek az összetett rendszernek a fő eleme a víz. A fenntarthatóság felé az egyik legnagyobb lépés az lenne, ha a vizeinkkel tudatosan gazdálkodnánk és bevonnánk a körforgásos gazdaságba, mivel ez a modell kevesebb, okosabb vízfelhasználásra ösztönöz. [33]

Elsődlegesen a legnagyobb vízfelhasználó hazánkban a mezőgazdaság, ezért ezt az irányt kellene kihasználni a vízkészletekkel kapcsolatos felhasználásban, ahogy azt a 1. ábrán látható körkörös vízrendszerek alapsémája mutatja.



1. ábra: A körkörös vízrendszer alapsémája [33]

Az elkövetkezendő években célravezető lenne kutatást folytatni, hogy a hazai mezőgazdaságban mennyire elfogadók a tisztított szennyvíz újrahasznosításában, illetve melyek a megnehezítő tényezők. [34]

3. Anyag és módszer

Ebben a fejezetben szeretném bemutatni a laboratóriumban végzett vizsgálatokat. Először a vízminősítési analitikai méréseket fejtem ki, majd a fejezet második felében a talajminősítéshez kapcsolódó módszerekre térek ki.

3.1. Vízminősítési vizsgálatok

A méréseket folyamatosan öntözések előtt végeztem el, vízminősítés során 3 féle vizet vizsgáltam: tisztított szennyvizet, lakossági ivóvizet, illetve ennek a két típusú víznek a 1:3 arányú keverékét. Ezen vizeknek meghatároztam pH, vezetőképesség, zavarosság, lúgosság értékét, szervesanyagtartalmát, sótartalmát, és elemösszetételét is.

3.1.1. Kémhatás mérése

A pH-érték megmutatja, mennyire savas vagy lúgos egy adott minta. Hozzávetőlegesen semlegesnek számít a friss vezetékes ivóvíz. $\text{pH}=7$ alatt a minta savasnak minősül, ilyen lehet a citromlé vagy a sósav, lúgosnak mondható a $\text{pH}=7$ feletti érték, mint például az állott vezetékes víz.

A pH meghatározására többféle módszer létezik: indikátorpapírok, kolometriás módszerek, a legpontosabb eredményekhez pedig az elektrokémiai mérések vezetnek. Ebben az esetben elektródát (2. ábra) használunk, amely egy elektrokémiai érzékelő, egy mérő-, és egy referencia elektródából tevődik össze.



2.ábra: pH és EC mérés [Saját készítésű]

Minden mérés előtt kalibrálást végeztem a $\text{pH}=4,01$ és a $\text{pH}=7,00$ kalibráló oldatok segítségével. Ezután tudtam kezdeni a vizsgálatot, belemerítettem a vizsgálandó oldatba az elektródát, pár percet vártam, amíg stabilizálódott az érték, majd feljegyeztem a kapott eredményt. A pH-elektrodát minden minta után desztillált vízzel leöblítettem, majd szárazra töröltem. [35]

3.1.2. Zavarosság mérése

Zavarosságnak nevezzük azt, amikor a folyadék oldatlan részeket tartalmaz és a rajta áthaladó fény szétszóródik és elnyelődik. Mértéke függ az oldatlan részek mennyiségétől, valamint befolyásolja ezeknek az alakja, összetétele. A zavarosságot okozhatja mikroorganizmus, iszap vagy akár alga is. Mértékegysége: NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

A vizsgálat során Turb 555-IR zavarosságmérő műszert használtam, mely átfogó mérettartományt képes mérni. A mérésnél adott vízmintával kiöblítettem a küvétát, majd feltöltöttem és lezártam. A mintatartó edényt megtöröltem, majd a kupakon található jelzés megfelelő irányba állításával a műszerbe helyeztem. A legmagasabb értéket, majd 10 perccel későbbi értéket is felírtam, így kaptam meg a zavarosság mértékét. Minden esetben 3 párhuzamos mérést végeztem. [35]

3.1.3. Lúgosság mérése

Vizek lúgosságát lúgosan hidrolizáló sók és bázisok okozzák. A lúgosság meghatározását titrálással végeztem, mérőoldatként pedig erős savat, jelen esetben sósavat (HCl) alkalmaztam. Különbséget kell tennünk az összes és szabad lúgosság között. Összes lúgosság (m') kifejezi, hogy 1 dm^3 vízmintához, hány mmol HCl-t kell adni, hogy elérje a $\text{pH}=4,5$ -ös értéket. A szabad lúgosság (p') pedig azt jelenti, hogy 1 dm^3 vízmintához, hány mmol HCl szükséges ahhoz, hogy elérje a $\text{pH}=8,3$ -as értéket.

Első lépésként a HCl pontos koncentrációját határoztam meg. Erlenmeyer-lombikba kimértem $0,1\text{--}0,2\text{ g}$ KHCO_3 -at és körülbelül 50 cm^3 ioncserélt vízben feloldottam, majd metil-narancs indikátor cseppentettem hozzá. Ezután $0,1\text{ mol/dm}^3$ névleges koncentrációjú mérőoldat segítségével megtitráltam. Következő lépésként a vizsgálandó mintából pipettáztam 100 cm^3 -t, majd 2 csepp fenolftalein indikátort adtam hozzá és figyeltem, hogy rózsaszínné válik-e a minta. Ez jelzi a szabad lúgosságot. Mivel minden esetben színtelen maradt a vízmintám, ezért metil-narancs indikátor cseppentettem a mintába, majd megtitráltam hagymahéj színűre $0,1\text{ mol/dm}^3$ sósav mérőoldattal. Három párhuzamos mérést végeztem, és a fogyások értékeit minden esetben feljegyeztem. [36]

3.1.4. Vezetőképesség és sótartalom mérése

A vezetőképesség (EC) érték a vizsgálandó oldat ion-koncentrációjára jellemző gyűjtőparaméter. Egy mintának annál nagyobb a vezetőképessége, minél több savat, lúgot vagy sót tartalmaz. Mértékegysége: Siemens/méter (S/m).

Mérése elektrokémiai ellenállásméréssel történik, ahol a mérőcella két egyforma elektródából áll. Az elektródák között annál nagyobb az átfolyó áram, minél több ion van jelen a mintában. Minden vizsgálat előtt TetraCon 325 vezetőképességmérő elektródát (2.ábra) kalibráltam 0,01 mol/l koncentrációjú KCl kalibráló oldat segítségével. Az elektródát az oldatba merítettem, majd vártam, hogy stabilizálódjon az érték és felírtam a mért értéket, valamint a hőmérsékletet is. Kalibrálás után következhetett a mérés. Az elektródát a mintába merítettem, vártam, majd a kapott értéket feljegyeztem. Minden mérés után az elektródát desztillált vízzel leöblítettem, majd szárazra töröltem. [35]

3.1.5. Szervesanyagtartalom mérése

A vízminták szervesanyagtartalmát három féle módos határozhatjuk meg. Ezen három módszert ismertetem a következőkben.

Biológiai oxigénigény (BOI): A biológiai oxigénigény az az oldott oxigénmennyiség, amely az aerob baktériumoknak szükséges ahhoz, hogy a vízben lévő szerves anyagokat lebontsa bizonyos hőmérséklet és időtartam alatt. Tehát a mikroorganizmusok által elhasznált oxigén mennyiséget mérjük, így ügyelni kell arra, hogy a mikroorganizmusok életfunkcióit ne zavarjuk meg és a szükséges körülményeket biztosítsuk nekik. Nélkülözhetetlen paraméter a vízgazdálkodásban. [35]

A mintakészítés (3.ábra) során minden mérőüvegbe 9 csepp NTH 600 nitrifikáció gátló reagenst tettem, majd 432 ml-t mértem mérőlombik segítségével a vízmintákból. Az



üvegek aljába mágneset csúsztattam, a palack nyakára gumikosarat helyeztem, amibe 4 db NaOH kapszulát tettem. Utolsó lépésként mérőfejet tekertem az üvegekre és elindítottam az 5 napos mérési folyamatot. Minden mintát 20°C-on megvilágítás nélküli temperáló szekrénybe helyeztem, majd 5. nap letelte után leolvastam a kapott értékeket napra lebontva. Az eredmények ismertetésekor az 5. napi BOI értéket ismertetem, azaz a BOI₅ értékeit mg/l-es mennyiségben. A különböző típusú vízminták vizsgálata során minden esetben 3 párhuzamos mérést végeztem.

3. ábra: BOI₅ előkészítése [Saját készítésű]

Kémiai oxigénigény (KOI): A kémiai oxigénigény, az az oxigénmennyiség, amely a vízben lévő szervesanyag kémiai oxidálásához szükséges. Alapja, hogy minden szerves vegyület, néhány kivétellel széndioxiddá és vízzé oxidálható erős oldószer segítségével. A KOI érték mindig nagyobb, mint a BOI, hiszen oxidálás közben a szervesanyag biológiai lebonthatóságát a vizsgálat nem szűri ki. Előnye a biológiai oxigénigénnyel szemben, hogy ehhez rövid időtartam szükséges. [35]

A vizsgálatot NANOCOLOR UV/VIS (4.ábra) típusú spektrofotométerrel végeztem el. Első lépésként a küvetákba, már a gyártó által bemért kálium-dikromátra és kénsavra 2 ml mintát automata pipetta segítségével óvatosan hozzáadagoltam. Ezután jól összeráztam, majd a xy típusú roncsolóba helyeztem minden küvetát. A roncsolóba a minták 160 °C-on 30 percet töltöttek, 10 perccel később egyszer felfordítottam őket, majd hagytam kihűlni. Utolsó lépésként spektrofotométer segítségével megkaptam mg/l-ben a KOI értéküket.



4. ábra: NANOCOLOR UV/VIS
spektrofotométer [Saját készítésű]

Az ivóvízminták KOI értékének meghatározásakor 2-40 mg/l tartományban lévő M985.027 típusú tesztet használtam, a másik két minta típusnál pedig a M985.026 típusú tesztet, amely 10-160 mg/l koncentrációtartományban használható.

Összes szerves széntartalom (TOC): $TOC = POC + NPOC$. Ez azt jelenti, hogy az összes szerves széntartalom a kiűzhető szerves széntartalomból (POC), illetve a nem kiűzhető szerves széntartalomból (NPOC) áll. A mérés során Shimadzu TOC-V_{CPN} készüléket (5.ábra) használtam. A mintákat 0,45 µm pórusméretű membránszűrőn leszűrtem a mintatartó edényekbe. Szükség volt ultratiszta vízzel feltöltött küvetákra is, ezek vakmintaként szolgáltak. A méréseknél NPOC üzemmódot használtam, amely katalitikus égetésen és a nem diszperzív infravörös (NDIR) gáz analízisen alapszik, azaz a mintákban lévő szervesszén tartalmát magas hőmérsékleten (680 °C-on) vivőgáz jelenléte mellett égettjük, majd az így keletkezett CO₂ gáz mennyiségét mérjük NDIR detektorral. [37]

A készülék a minták vizsgálatát automatikusan végzi, körülbelül egy minta vizsgálati ideje 20 percet vesz igénybe. [38]



5.ábra: Shimadzu TOC-V_{CPN} készülék
[Saját készítésű]

3.1.6. Ionkromatográfias vizsgálat

Az ionkromatográfias készülékek segítségével a mintákban egymás mellett előforduló anionokat és kationokat tudjuk mérni. Egyetlen mintából az ionok, akár 15-20 perc alatt is meghatározhatók. A vizsgálatok alkalmával DIONEX ICS-3000 dual ionkromatográfias készülék képes gyenge és erős savak anionjait ionelnyomással, ezen kívül egy- és kétértékű kationokat meghatározni. A méréshez használt vezérlő, CHROMELEON Chromatography Management szoftver multifunkcionális, a használt készülék pedig rendelkezik szükséges és megfelelő PC-illesztésekkel. A hardver komponensek monitorozását a vezérlő és adatgyűjtő, illetve feldolgozó szoftver végzi. Ionkromatográfias vizsgálatok során mért anionok: NO₂⁻, F⁻, Cl⁻, Br⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, és a mért kationok: Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺.

A mérések előtt műanyag tároló edényekbe 0,45 µm pórusátmérőjű membránszűrőn átszűrtem, majd közvetlenül a mérések előtt hígítottam őket. [24] Az ionkromatográfias mérések során az alkalmazott szabványok MSZ EN ISO 10304-1:2009 és a MSZ EN ISO 14911:2000 vízminőségi szabványok. [39] [40]

Az ionösszetétel vizsgálata az öntözővizek minősítése során elengedhetetlen, mivel az öntözővíz talajra gyakorolt kémiai hatása függ a sótartalomtól, a benne lévő sók

minőségétől, valamint befolyásolja a talaj tulajdonságai is, ahogyan ezt korábban már ismertettem. Elengedhetetlen kiemelni, hogy az öntözés hosszabb idő múlva se váltson ki káros sófelhalmozódást a talajban. Kémiai szempontból ezek miatt több paramétert használunk. Ezek közül részletesen ismertetem a nátriumszázalékot (Na%), az effektív nátrium százalékot (eff. Na%), a nátriumadszorpciós arányt (SAR), és az effektív nátriumadszorpciós arányt (eff. SAR).

A Na% értéke függhet az öntözendő talaj tulajdonságától, valamint a víz sókoncentrációjától. Mért Na%, Magyarországon maximum értéke 40-45% körül lehet.

$$Na\% = \frac{Na}{Ca+Mg+Na+K} \quad (1.)$$

Effektív Na% értéke nagyobb, az előzőekben említett egyenletnél, hiszen a (HCO_3+CO_3) koncentrációjuk eltérő. Ezzel az értékkel pontosabban ki tudjuk mutatni, hogy az adott öntözővizünk milyen szikességi jelleggel bír.

$$eff. Na\% = \frac{Na}{(Ca+Mg+Na+K)-0,25(HCO_3+CO_3)} * 100 \quad (2.)$$

Mért koncentrációkból számított SAR érték, az összes sókoncentrációtól függ. Megmutatja, hogy az oldatok koncentrációjának emelkedésével megnő a szikesítő hatásuk.

$$SAR = \frac{NA}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (3.)$$

Az effektív SAR érték feltételezi a kicsapódott Ca+Mg-ionok egy részét [7].

$$eff. SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)-0,25(HCO_3+CO_3)}{2}}} \quad (4.)$$

A különböző öntözővíz tulajdonságok meghatározásakor a mg/l értékben megkapott ionkoncentrációkat átszámítottam milligramm egyenérték per literbe (mgeé/l).

3.1.7. Elemanalitikai vizsgálatok

A minták elemtartalmának vizsgálatát a Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológia Kar, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék laboratóriumában végezték el.

ICP-OES: Induktív csatolású plazma optikai atomemissziós módszer, mely akár 80 elem mennyiségi meghatározására is képes. Ehhez ismert koncentrációjú oldatokkal szükséges kalibrálni a műszert. [41]

ICP-OES készülék fő egységei: plazma sugárforrás, rádiófrekvenciás generátor és illesztő egység, gázadagoló egység, mintabeviteli egység, leképző egység, fényfelbontó egység, optikai detektor, számítógépes adatgyűjtő és vezérlőegység. [42]

A vízminták esetében először 0,45 µm pórusátmérőjű membránszűrőn átszűrtem a mintákat, majd salétromsavval tartósítottam. [24]

A szilárd minták oldatba viteléhez mikrohullámú roncsolóberendezést alkalmaztak, roncsolószerként pedig 6 ml cc. HNO₃ és 2 ml 30%-os H₂O₂ elegyet használtak. Az így elroncsolt mintákat 25 ml-re töltöttük centrifugacsövekben ultratiszta vízzel, melyeket a mérésig szobahőmérsékleten tároltak. [41]

Minden minta esetében a vizsgált elemek a következők voltak: Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Sr, Zn, amelyek kimutatási határt (LoD) 5. táblázatban foglalom össze.

5.táblázat: *A mért elemek LoD értékei ICP-OES módszerrel [43]*

Elemek	LoD (µg/l)	LoD (mg/kg)		Elemek	LoD (µg/l)	LoD (mg/kg)
Al	0,4	0,04		K	0,3	0,03
B	0,23	0,023		Li	0,01	0,001
Ba	0,01	0,001		Mg	0,02	0,002
Bi	2,2	0,22		Mn	0,1	0,01
Ca	0,04	0,004		Na	0,1	0,01
Cd	0,1	0,01		Ni	0,9	0,09
Co	0,6	0,06		Pb	2,2	0,22
Cr	0,2	0,02		Sr	0,01	0,001
Cu	0,2	0,02		Zn	0,2	0,02
Fe	0,2	0,02				

3.2. Talajminősítési vizsgálatok

A különböző öntözővizek talajra gyakorolt hatásainak a megállapításához elengedhetetlen a talajok minősítése, amikor is meghatároztam a talajok nedvességtartalmát, színét, kémhatását, pufferkapacitását, vízmegkötő és vízmegtartó képességét, vezetőképesség értékét, Arany-féle kötöttségi számát, a humusz minőségét, és mennyiségét, kalcium-karbonát tartalmát, és elemösszetételét a korábban ismertet ICP-OES eljárással.

3.2.1. Nedvességtartalom meghatározása

A vizsgálatot szárítószekrényes eljárással végeztem el az MSZ-08 0205-78 szabvány [44] alapján, melynek lényege, hogy előzetesen lemerít nedves talajt 105 °C-on

súlyállandóságig szárítottam, majd ismételten lemértem a tömegét. A talajban lévő víz mennyiséget, azaz a talaj nedvességtartalmát az (1) egyenlet segítségével határoztam meg. Minden esetben öt párhuzamos mérést végeztem.

$$n = \frac{a-b}{b-c} * 100 \quad (5.)$$

ahol n = a talaj nedvességtartalma százalékos értékben [%]; a = a tálka és a bemért nedves talaj együttes tömege szárítás előtt [g], b = a tálka és a szárított talaj együttes tömege [g]; c = tálka tömege [g].

3.2.2. Szín meghatározása

A talajok színének meghatározását két féle módon végeztem el. Az első esetben meghatároztam az alapszínt, amely dominál és hozzárendeltem egy árnyalatot. A második esetben Munsell skálát alkalmaztam. Ennél a módszernél a különböző talajokhoz kódokat rendelünk, mely tájékoztatást ad a mintánk árnyalatáról (mely alapszín keveréke), értékéről (színek mélysége), illetve telítettségéről (színkeverékek telítettsége) is. [45] Meghatározásánál először kiválasztottam a megfelelő színskála lapot, majd az ehhez tartozó kódszám alapján következtettem a minták színére. A színmeghatározást elvégeztem nedves, illetve száraz talajmintán is egyaránt.

3.2.3. Kémhatás meghatározása

A talajok kémhatását, pH meghatározással állapíthatjuk meg. A pH a talajoldat hidrónium-ion-aktivitásának negatív logaritmus. A talajoldatban lévő fölös hidrogén (H^+), illetve hidroxil (OH^-) ionok miatt lesznek a talajok savas vagy lúgos kémhatásúak. [30] Megállapítása történhet helyszínen, melyhez a talajmintán kívül szükség van még brómtimolkék indikátorra, ioncserélt vízre, kémcsőre, parafilmre és egy színskálára (6. táblázat) a beazonosításhoz.

6. táblázat: *Helyszínen történő pH mérés során használatos színskála* [46]

pH	Szín
6,0 alatt	sárga
6,0-6,5	sárgászöld
6,5-7,0	zöld
7,0-7,5	kékeszöld
7,5 fölött	kék

Megállapíthatjuk a kémhatást elektróda segítségével is. Ebben az esetben vizes, illetve 1 mol/dm³ KCl-oldattal történő pH-t megvizsgáljuk. Mindkét esetben 20,0 g talajt mértem

ki, majd ehhez 50 ml ioncserélt vizet vagy KCl-oldatot adtam. Ezután 1 órát állni hagytam, kalibráltam a pH-mérő elektródát, végül mértem a kivonatok kémhatását. [46] A mért pH értékeket összevetettem az 7. táblázatban található adatokkal, és így megnevezhettem a talajok kémhatását. [30]

7. táblázat: pH értékekhez tartozó kémhatások [46]

Megnevezés	pH érték
erősen savanyú	4,5 alatt
savanyú	4,5-5,5
gyengén savanyú	5,5-6,8
közömbös (semleges)	6,8-7,2
gyengén lúgos	7,2-8,5
lúgos	8,5-9,0
erősen lúgos	9,0 felett

3.2.4. Vízmegkötő, vízáteresztőképesség meghatározása

Vízmegkötő képességnek nevezzük azt a vízmennyiséget, amelyet a talaj megtartani képes, ez minden talajnál eltérő lehet, és kiszámítása a (6.) egyenlet alkalmazásával történhet. [46]

A megkötött víz mennyisége [ml] =

$$A \text{ talajmintára öntött víz mennyisége [ml]} - \text{az átfolyt víz mennyisége [ml]} \quad (6.)$$

A meghatározás során kimértem 100 g talajt táramérlegen. Egy üvegtölcsérbe vattát helyeztem, majd beleállítottam egy 100 ml-es mérőhengerbe és ráöntöttem a kimért talajt. Ezután 100 ml ioncserélt vizet töltöttem rá és mértem az átfolyási időt illetve az átfolyt ioncserélt víz mennyiségét is.

3.2.5. Arany-féle kötöttség, vezetőképesség meghatározása

Az Arany-féle kötöttségi szám (K_A), a 100 g légszáraz talaj mennyi vízmennyiséget képes felvenni a képlékenységi felső határáig. Megállapításához fonalpróbát használtam, melynek jelentése, hogy a hirtelen kirántott keverőboton még alaktartó, de oldalirányba elhajló talaj tapad. Táramérlegen 50 g talajt kimértem dörzsmozsárba, majd homogenizáltam. A bűrettát ioncserélt vízzel feltöltöttem, majd jelre állítottam és cseppenként adagoltam a mintához addig, amíg el nem éri a képlékenységi felső határát. A fogott víz térfogatát 100 grammra vonatkoztattam (8.táblázat). [46] [47]

8. táblázat: *Kötöttségi számhoz tartozó talajféleség* [46]

Kötöttségi szám (K_A)	
< 25	Durva homok
25 – 30	Homok
30 – 37	Homokos vályog
37 – 42	Vályog
42 – 50	Agyagos vályog
50 – 60	Agyag
> 60	Nehéz agyag

Az Arany-féle kötöttségi szám meghatározásakor kapott mintát használtam a talaj vezetőképesség értékének a meghatározásához, mivel a pép készítésekor a talaj sói oldhatóságuknak megfelelően oldatba mennek, ionjaikra disszociálnak. A vízben oldható sók mennyisége, minősége, a nedvességtartalom, a talaj hőmérséklete befolyásolja a talaj vezetőképességét. A vezetőképesség mérését ellenállásmérésre vezetjük vissza, a méréshez konduktométert használunk. A sótartalmat g/100 g talajban adjuk meg.

Mérés előtt az elektródát kalibrálnom kellett, illetve a cellaállandót is szükség volt felírni. Ezután minden mérésnél feljegyeztem a fajlagos vezetőképességet, illetve a hozzátartozó hőmérsékletet is. Kiértékelése során elektromos vezetőképességre kellett átszámolnom a kapott értékeket a (7.) egyenlet alkalmazásával:

$$G = \frac{\kappa}{C} \quad (7.)$$

ahol: G = elektromos vezetőképesség [$S = 1/\Omega$]; κ = fajlagos vezetőképesség [S/m]; C = cellaállandó [$1/m$] [46]

Majd ezután meghatározható a talajok sótartalma az MSZ -08 0206/2-78 szabványban [48] található 3. táblázatot segítségével. Így meghatározhattam adott hőmérsékleten és vezetőképesség értékek mellett hány %-a a talajban az összes vízben oldható só mennyisége.

3.2.6. Humusz stabilitási szám meghatározása

Az eltérő talajok humusza közötti minőségi eltérések a belőlük előállított kivonatok és a fénymélyítés segítségével kimutatható. Leggyakrabban extinkciót alkalmaznak.

A vizsgálat során 10-10 g talajt kimértem, az egyikre 1 %-os NaF oldatot, a másikra 0,5 %-os NaOH oldatot öntöttem. A NaOH-dal a gyengébb minőségű humuszt, míg az NaF segítségével a jó minőségű humuszt vagyunk képesek mérni. Jól összeráztam, majd 48 órán

át ülepedni hagytam. Végül 480, 540, 670 nm hullámhosszon fotométer segítségével megmértem őket, majd stabilitási számot számoltam. Minden esetben három párhuzamos mérést végeztem. [46]

A spektrofotometria az optikai módszerek közé sorolható, amelynél a monokromatikus fény intenzitásváltozását mérjük, ebben az esetben az adszorbeálódó anyagon, vagyis a készített mintán halad át a fény. Attól függően, hogy milyen hullámhossztartományban szeretnénk mérni, úgy kell megválasztani a fényforrásunkat. Például: UV-tartományánál (200-400 nm) deutériumlámpát, IR-tartományánál (400-1000 nm) wolframlámpát. [41] A korábban ismertete NANOCOLOR UV-VIS típusú fotométert használtam.

$$Q_{480} = \frac{E_{NaF}}{E_{NaOH}} \quad Q_{540} = \frac{E_{NaF}}{E_{NaOH}} \quad Q_{670} = \frac{E_{NaF}}{E_{NaOH}}$$

$$Q_{\text{átlag}} = \frac{Q_{480} + Q_{540} + Q_{670}}{3} \quad (8.) - (11.)$$

ahol: Q= stabilitási szám adott hullámhosszra nézve; E= extinkció adott oldatra nézve. [46]

A szervesanyagtartalom százalékos értékének segítségével meghatározható a stabilitási koefficiens (K) a 12. egyenlettel. Ebből az értékből következtetünk a humusz minőségéről.

$$K = \frac{E_{NaF}}{E_{NaOH} * Hu\%} \quad (12.)$$

ahol K= stabilitási koefficiens; Hu%= szervesanyagtartalom.

3.2.7. Humusz mennyiségének meghatározása

Ezzel a módszerrel a talaj szervesanyag-tartalmának a meghatározására vagyunk képesek. Az osztályozása alapján magas, közepes vagy alacsony szervesanyag-tartalmú talaj lehet. A humuszmennyiségi meghatározásakor lúgos-EDTA módszer használtam. [49] [50] A vizsgálathoz szükséges eszközök: kémcsövek, szűrőpapír, tölcsér, főzőpohár, üvegfiolák. A vizsgálat előtt egy extrakciós oldatot kell készíteni, az első oldat készítéséhez kimértem és összekevertem 10 g nátrium-hidroxidot (NaOH 0,25 mol/dm³) egy liter vízzel. Egy másik, egy literes mérőlombikban elkevertem 18,6 g-ot EDTA dinátriumsót (Na_2EDTA 0,05 mol/dm³) 1 liter vízzel. Majd mindkét oldatból 500-500 ml egységet kimértem és összekevertem őket. Meghatározás során 0,5 g légszáraz talajt kimértem, majd az extrakciós oldatból 20 ml-t adtam hozzá. Ezt követte 30 másodperc intenzív rázás, végezetül pedig szűrőpapíron történő szűrés. Körülbelül 10 ml szűrletet használtam 520nm hullámhosszhoz tartozó transzmisszió és extinkció értékek meghatározásakor. A méréseket NanoColor UV/VIS spektrofotométerrel végeztem el. Minden esetben három párhuzamos mérést végeztem.

3.2.8. Pufferkapacitás meghatározása

A talajok pufferelő képességének hívjuk azt, amikor az őket érő külső hatásokat csökkentik, mérsékelten reagálnak. Fontos szerepet tölt be a pH-szabályozásban. A talajok képesek enyhíteni a talajkörnyezet kémhatásalakulását, a talajkolloidok eltérő polaritású töltéseinek jóvoltából. A toxikus elemeket és tápelemeket az állandó és változó pozitív töltések miatt képesek megkötni, valamint puffer hatást létrehozni. [46]

A mérés során mintánként 13 db Erlenmeyer-lombikba kimértem 10-10 gramm talajt, majd 10-10 ml ioncserélt vizet. Büretta segítségével 6 mintához 0,1 M NaOH-oldatot, 6 mintához pedig 0,1 M HCl-oldatot adtam. A mennyiségek: 2, 4, 6, 8, 10, 12 ml. Ezután kiegészítettem a mintákat ioncserélt vízzel 100 ml-re, majd a 13. mintához csak 100 ml ioncserélt vizet öntöttem. Összerázás után 24 órán át ülepedni hagytam. Utolsó lépésként megmértem a minták pH értékeit, feljegyeztem és ábrázoltam. [46]

3.2.9. Összes karbonáttartalom meghatározása

A talajtípusoknál tájékoztatást ad a talajban lévő CaCO_3 mennyisége, felhalmozódása, kilúgzás, jelenléte vagy hiánya. Mennyisége hozzávetőlegesen 3 %-ig ideálisan hat a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaira, javítja a szerkezetét, akadályozza a savanyodást, valamint jelentősen befolyásolja a puffer képességet. A helyszínen történő meghatározás esetében 2,5 gramm talajt óraüvegre tettem, majd 1 ml 4 mol/dm^3 -es HCl-oldatot automata pipetta segítségével rácsepegtettem. A reakciókat feljegyezzük és ezt felhasználva mérjük ki a kalciméteres méréshez szükséges mennyiségeket, és 9. táblázat adatait használva megállapíthatjuk a kalciméteres méréshez szükséges talaj mennyiségét. [46]

9. táblázat: Helyszíni karbonátmérés és a kalciméteres vizsgálat összefüggése [46]

Jelek	Karbonáttartalom	Kalciméteres vizsgálatnál kimért talaj
Pezsgést nem látunk	karbonát nincs	10,0 g
Fülünkhöz tartva serceg	nagyon kevés: <1%	10,0 g
Gyengén pezseg	kevés: 1-2%	5,0g
Erősebb pezsgés	közepes: 2-10%	5,00 g
Erős pezsgés	sok: >10%	2,5 g

A kalciméterrel történő meghatározásnál a sósav adagolását követően keletkezett szén-dioxid gáz mennyiségét mérjük. Ebben az esetben a 2 mm-nél kisebb szemcse nagyságú

talajt használtam, az első Erlenmeyer lombikba az előzőekben meghatározott talaj mennyiséget kimértem és 20 ml ultratiszta vizet hozzáadtam. Egy kémcsőbe automata pipettával 7 ml 4 mol/dm³-es HCl oldatot pipettáztam, végül csipesz segítségével a lombikba állítottam. A bürettában lévő folyadékszintet a puffertartály mozgatásával 3 ml-re állítottam, végül a buretta alján található dugóval bedugaszoltam a lombikot. Felírtam a folyadékszint változását, melyet V_{kezdeti} értéknek jelöltem. A második Erlenmeyer-lombikba 0,200 g, a harmadikba 0,400 g kalcium-karbonátot kimértem és 20-20 ml ultratiszta vizet hozzáadtam. Ezek lesznek a standard minták. A vakminták esetében két lombikba csak 20-20 ml ultratiszta vizet tettem. Mindegyik lombikba egy-egy sósavat tartalmazó kémcsövet tettem, majd a standard minták esetében szintén beállítottam a puffertartályt 3 ml-re és dugaszolás után felírtam a kezdeti térfogatot. A vakmintáknál a negyedik és ötödik bürettát használtam. A negyedik puffertartályt 20 ml-re állítottam be, majd a reagenstartályt bedugaszolva felírtam a kezdeti értéket, az ötödik buretta esetében 80 ml-hez mozgattam a puffertartályt és szintén bedugaszolás után felírtam a kezdeti térfogatot. Körkörös mozdulattal óvatosan felborítottam a sósavat tartalmazó kémcsövet a lombikba, majd a szén-dioxid keletkezés miatt a folyadékszint változását követve mozgattam a puffertartályt. Végezetül felírtam a $V_{\text{végső}}$ értéket és ezek alapján történt a kiértékelés, és a (13). egyenlet használatával kiszámítottam a talajminták Kalcium-karbonát tartalmát. Minden esetben három párhuzamos mérést végeztem. [46]

$$W_{CaCO_3} = 1000 * \frac{m_2 * (V_1 - V_3)}{m_1 * (V_2 - V_3)} * \frac{100 + w_{H_2O}}{100} \quad (13.)$$

ahol: w_{CaCO_3} = a tömegállandóságig szárított talajminta karbonát tartalma [g/kg]; m_1 = a vizsgált talaj tömege [g]; m_2 = a kalcium-karbonát standardok átlagos tömege [g]; V_1 = a vizsgált talaj során keletkező CO₂ mennyisége [ml] ($V_{\text{végső}}$ - V_{kezdeti}); V_2 = a kalcium-karbonát standardok által termelt átlag CO₂ mennyisége [ml]; V_3 = a vak minták által mért átlag CO₂ mennyisége [ml]; w_{H_2O} = a vizsgált talajminta nedvességtartalma [%].

4. Eredmények és kiértékelésük

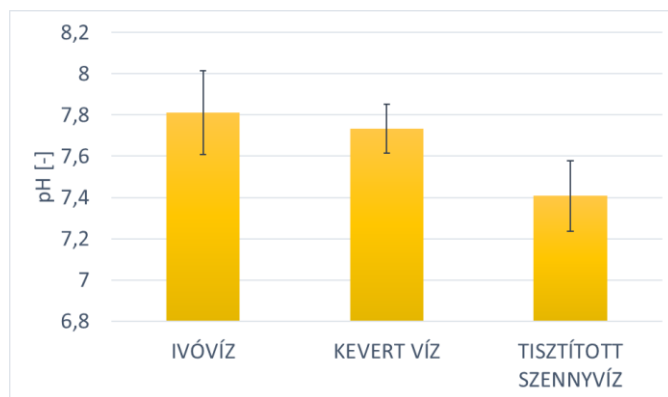
Ebben a fejezetben kerülnek bemutatásra, és értékelésre a kutatásom során kapott eredmények. Idetartozik a 7 hetes növényneveléshez kapcsolódó vizsgálatok a talajról, növényekről, öntözővizekről, valamint kiértékelésre kerül a kiindulási talaj minősége is.

4.1. Vízminősítés eredményei

Vízminősítés során több paramétert is elemeztem: kémhatás, zavarosság, lúgosság, vezetőképesség, sótartalom, szervesanyag tartalom, ionkromatográfia, elemanalitika. Mivel 3 különböző öntözővízzel dolgoztam, így ezek összehasonlítása volt a cél, valamint figyelni hatásukat a talajra és a növény fejlődésére. A 7 hetes vizsgálati idő alatt 4 alkalommal minősítettem az öntözővizeket (ezek minden esetben friss minták voltak), és a kapott eredményem esetében az átlag értékeket ismertetem, és minden esetben feltüntettem a szórás mértékét is.

4.1.1. Kémhatás

A pH-érték megmutatja, mennyire savas vagy lúgos egy adott minta. Az öntöző vizek pH értékeinek meghatározásakor kapott eredményeimet a 6. ábra szemlélteti.



6.ábra: Különböző vizek pH átlagolt értékei és szórásai

A vizsgált vizeknél megfigyelhető, hogy a legmagasabb pH-val az ivóvíz minták, míg a legalacsonyabb pH értékkel a tisztított szennyvíz minták rendelkeznek. A határértékeket megnézve, amelyet a 4. táblázat (lásd 12. oldal) tartalmaz az ivóvíznél 6,5-9,5 közötti érték a megfelelő, míg a tisztított szennyvíz esetében ez 6,0-9,5 közé tehető. Ezek alapján tehát elmondható, hogy határérték túllépés egy esetben sem történt meg.

4.1.2. Zavarosság

A zavarosság nagyságát befolyásolja a mintában lévő oldatlan részek mennyisége, alakja illetve összetétele is. [35]

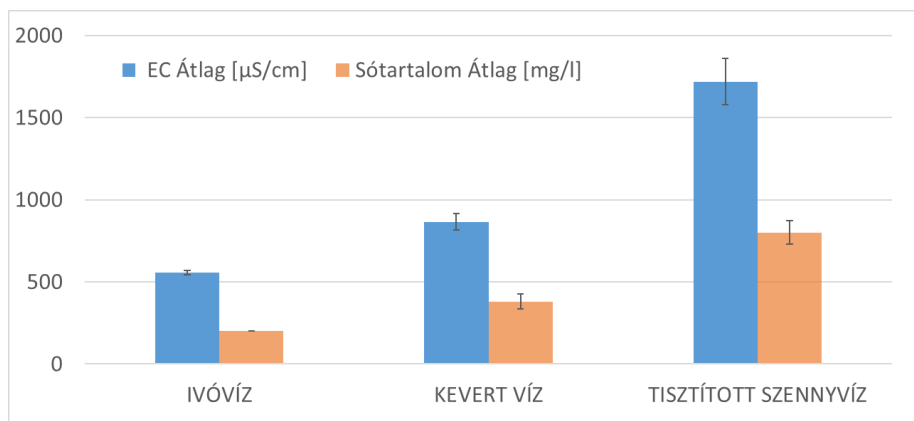
A mérés során mintánként kétszer lett mérve az értéke, 10 perc különbséggel. Az ivóvíznél az átlagolt eredmény $0,69 \pm 0,55$ NTU, 10 perccel később azonban lecsökkent $0,27 \pm 0,08$ NTU értékre. A kevert öntözővíz esetében a kapott eredmény $0,93 \pm 0,68$ NTU, ennél a mintánál szintén megfigyelhető az eredmény csökkenése várakozás után, mely $0,72 \pm 0,29$ NTU lett. A legmagasabb értékeket a tisztított szennyvíz mérése során kaptam $0,82 \pm 0,84$ NTU, mely 10 perc várakozás után növekedett $1,17 \pm 0,32$ NTU-ra. Megfigyelhető, hogy a három különböző típusú öntözővíz zavarosságértékei között szignifikáns különbség nem tapasztalható, hiszen az eredmények 1,00 NTU körüliek.

4.1.3. Lúgosság értékek

A vizek lúgosságából következtetünk a minták változó keménység nagyságára is a hidroxidok, karbonátok és hidrogénkarbonátok mennyiségük mellett, mert a vizek lúgosságát ugyanazon ionok okozzák, mint a keménységet (kivéve a nátrium-iont). [51] Ivóvíznél $6,06 \pm 0,28$ mmol/l, a kevert minta esetében $6,16 \pm 0,43$ mmol/l, míg a tisztított szennyvíznél $6,54 \pm 0,83$ mmol/l mértem. A lúgosság értéke MSZ 448/11-86 szabvány [52] szerint szabad-, és összes lúgosságból áll, melyből kiszámítható a CO_3^{2-} és HCO_3^- mennyisége. Ezek alapján az ivóvíz minták átlagolt értéke $369,85 \pm 17,35$ mg/l, kevert mintánál $375,99 \pm 26,33$ mg/l, a tisztított szennyvíz esetében $399,12 \pm 50,58$ mg/l, mivel szabad lúgosságot nem mértem, így csak a HCO_3^- mennyisége kiszámítható, a CO_3^{2-} értéke 0, azaz megállapítható, hogy öntözővizek az alkálifémek és alkáliföldfémek karbonátjai é hidroxidjai nem tartalmazzák. A 4. táblázat adatit figyelembe véve az öntözővizeim a 2. kategóriába tartozik, mivel bikarbonát mennyisége mgé/l-ben kifejezve az ivóvízben $6,06 \pm 0,28$, a kevert vízben $6,16 \pm 0,43$; és a tisztított szennyvízben $6,54 \pm 0,83$ adódott.

4.1.4. Vezetőképesség és sótartalom

Egy minta minél több savat, lúgot vagy sót tartalmaz, annál nagyobb a vezetőképessége. [35]

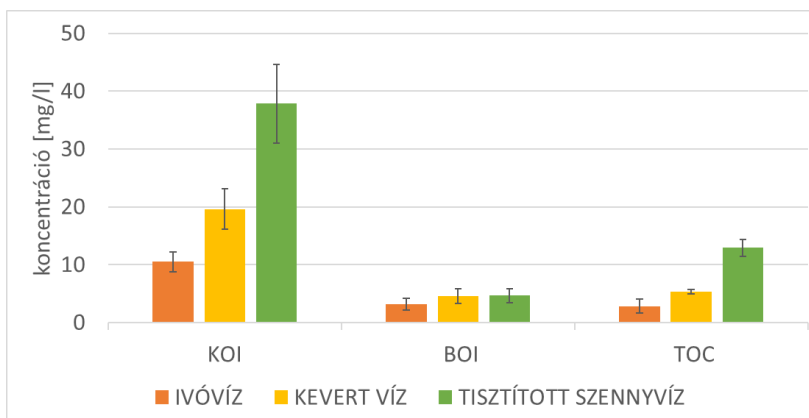


7. ábra: Különböző vizek átlagolt vezetőképessége és só tartalma, valamint szórás értékei

A fent említett összefüggés különösen látványos a tisztított szennyvíz esetében, ahol az átlagolt vezetőképesség értéke $1719 \pm 139 \mu\text{S}/\text{cm}$, a hozzá tartozó só tartalom pedig $800 \pm 71 \text{ mg}/\text{l}$. Az 7. ábrán látható diagramról leolvasható, hogy a legalacsonyabb vezetőképesség és só tartalma az ivóvíznek van, majd ezt követi a kevert víz átlagolt értéke. Nagyobb szórás érték egyik esetben sem figyelhető meg. A vezetőképesség alapján az ivóvíz az 1. kategóriába, még a másik két öntözővíz típus a 2. kategóriába sorolható a 4. táblázat (lásd 12. oldal) adatai alapján.

4.1.5. Szervesanyag tartalom

Az 8. ábrán összesített diagramként láthatóak a szervesanyag tartalomhoz kapcsolódó eredmények a különböző öntözővizek esetében. Ezen diagramon a mért KOI, BOI₅, és TOC átlageredményeket mutatom be.



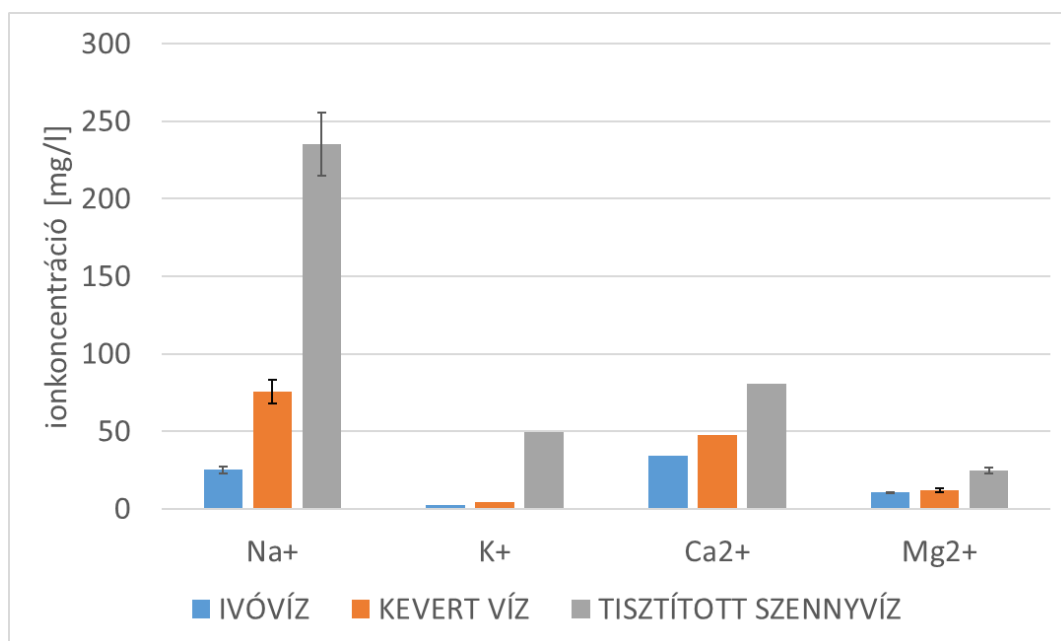
8. ábra: Különböző vizek szervesanyag tartalmainak az átlagolt és szórás értékei

A legnagyobb átlag értékeket, ahogy a diagramról is leolvasható a KOI mérésénél kaptam. Elmondható, hogy a KOI esetében a tisztított szennyvíznél háromszor nagyobb értéket mértem, mint az ivóvíznél. Ez a kiemelkedően magasabb érték azonban nem csak a KOI-nál, hanem a TOC eredményénél is megfigyelhető, ahol a kevert vízhez hasonlítva több

mint kétszeres értéket mutat a tisztított szennyvíz értéke. A BOI_5 paraméternél nagyon hasonló eredmények állapíthatóak meg, kevert víz, illetve tisztított szennyvíz vizsgálata során. A KOI/BOI_5 aránya alapján leírható, hogy a vizsgált vízmintának hanyadrésze bomlik le biológiailag. Ez alapján tehát elmondható, hogy ivóvíznél 3,35, kevert mintánál 4,32, míg a tisztított szennyvíz esetében 8,17 része bontható le, amely azt jelenti a tisztított szennyvíz szervesanyagtartalmának nagyobb része nem bontható biológiailag.

4.1.6. Ionkromatográfia

Az ionkromatográfiás vizsgálat során a különböző mintákban lévő anionokat és kationokat tudjuk mérni. [24]



9.ábra *Vízmintákban előforduló kationok*

9.ábrán összesítettem a különböző vízmintákban előforduló kationokat. A mérés során mértem az NH_4^+ is, viszont ebben az esetben az ivóvíz mintáknál egyszer sem volt kimutatható mennyiségben, a kevert vízmintáknál 5-ből 4 esetben volt mérhető, ezeknek az átlaga $0,52 \pm 0,28$ mg/l, a tisztított szennyvíznél $2,15 \pm 0,97$ mg/l értéket kaptam. A Na^+ a legdominánsabb ion a kevert víz, illetve tisztított szennyvíznél, az ivóvíz mintáknál a legnagyobb koncentrációban előforduló ion pedig a Ca^{2+} .

Továbbá a 10.táblázatban található az az öntözővíz minősítéséhez kapcsolódó számított értékek, melyeket a kationok, a HCO_3^- és CO_3^{2-} segítségével számíthatók ki. Ezek az értékek meghatározása azért fontosak, mert ezen eredmények segítségével vizsgálhatjuk, hogy az öntözővíz a talajban okozhat-e problémát, azaz sófelhalmozódást.

10.táblázat: Az öntözővizek számított SAR és Na% átlag értékei

mintaneve		SAR	Na%	eff.Na%	eff. SAR
ivóvíz	átlag	0,44	29%	50%	1,53
	SD	0,02	2,2%	6,4%	0,2
kevert víz	átlag	1,22	48%	63%	3,43
	SD	0,09	1,49%	1,8%	0,2
tisztított szennyvíz	átlag	2,71	58%	64%	6,86
	SD	0,3	3,5%	3,0%	0,7

Filep György [7] szerint négy csoportba tudjuk besorolni az öntözővizeket a SAR illetve sókoncentráció segítségével. Az I. csoportba az ≤ 500 mg/l sókoncentrációval, ≤ 2 SAR értékkel rendelkező öntözővizek tartoznak. Az ivóvíznél a sókoncentráció 200 mg/l, SAR értéke 0,44, és ezek alapján *I.a. Kiváló minőségű* csoportba sorolható. Kevert víz tekintetében a sókoncentráció 380 mg/l, SAR 1,22, így elmondható, hogy az *I.b. Jó minőségű* öntözővizekhez sorolható. Tisztított szennyvíznél a sókoncentráció 800 mg/l, míg SAR értéke 2,71 volt, így *II.c. Nem szikes talajok öntözésére, csak hígítás és/vagy kémiai javítás után alkalmas* vizek kategóriájába tartozik. Ennél a csoportnál Filep György [7] kiemeli, hogy a sókoncentráció 350-1000 mg/l között van, SAR 2-4, Na% pedig 50% feletti. Ezek mind megfigyelhetők a tisztított szennyvíz esetében, így a három öntözővíz besorolása három eltérő csoportba került.

Továbbá, ha a 4. táblázatban szereplő ajánlásokkal hasonlítjuk össze a SAR értékeket, akkor az ivóvíz és a kevert víz az 1. kategóriába, még a tisztított szennyvíz a 2. kategóriába tartozik.

Az öntözővizek kation tartalma mellett vizsgáltam a különböző anionok koncentrációt is. Az anionok közül a 11. táblázatban összefoglalom az öntözővizek a klorid-, nitrát-, foszfát- és szulfát-ion tartalom átlag eredményeit.

A *-gal jelölt foszfát-ion utal arra, hogy nem minden minta esetében volt kimutatható mennyiségben így az ivóvíz mintáknál 4 alkalommal egyszer, a kevert víz mintáknál, valamint a tisztított szennyvíz mintáknál öt vizsgálatból 4 esetben volt kimutatható.

11. táblázat: Különböző vízmintákban előforduló anionok

mintaneve	Klorid-ion [mg/l]	Nitrát-ion [mg/l]	Foszfát- ion* [mg/l]	Szulfát-ion [mg/l]
ivóvíz	9,5 ± 2,2	2,94 ± 0,1	0,24 ± 0	4,6 ± 2,9
kevert víz	82 ± 11	6,35 ± 0,8	0,34 ± 0,2	21 ± 5
tisztított szennyvíz	250 ± 55	22,7 ± 2,6	1,48 ± 0,6	58 ± 10

Összehasonlítva a három különböző vízminták átlagait, észrevehető, hogy az értékek az ivóvízmintáknál a legalacsonyabbak, míg a tisztított szennyvíznél a legmagasabbak.

A klorid-ion alapján az ivóvíz ($0,27 \pm 0,06$ mg $\text{é}/\text{l}$) és a kevert víz ($2,34 \pm 0,3$ mg $\text{é}/\text{l}$) a 1. kategóriába, még a tisztított szennyvíz ($6,65 \pm 1,6$ mg $\text{é}/\text{l}$) a 2. kategóriába sorolható a 4. táblázat adatai alapján (lásd 12. oldal). $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációk tekintetében ugyanezen kategóriákat állapíthatom meg, mivel ivóvíz, kevert víz és a tisztított szennyvíz esetében a nitrátban lévő nitrogén mennyisége sorban $0,66 \pm 0,01$ mg/l, $1,43 \pm 0,17$ mg/l és $5,12 \pm 0,6$ mg/l.

4.1.7. Elemanalitika

Az elemanalitikai vizsgálat segítségével meghatározhatjuk a vízminták mikroelem tartamát. A vizsgálat során a Bi, Cd, Co, Cr, Ni elemek esetében mérés határ alatti (ezen értékeket a 5. táblázat tartalmazza) értékeket kaptam, ami azt jelenti, hogy nem volt kimutatható koncentráció mennyiségben. Pb-nál ivóvíz, illetve kevert mintáknál nem volt kimutatható koncentráció, azonban a tisztított szennyvíz esetében 5 minta közül 2-nél kimutatható volt az Pb mennyiség $0,047$ $\mu\text{g}/\text{l}$, valamint $0,015$ $\mu\text{g}/\text{l}$.

Megfigyelve a 12. táblázatot Al, B, Fe, Li, Mn, Sr esetében növekedés jellemzi az elemeket ivóvíz < kevert víz < tisztított szennyvíz. Azonban a Ba, Cu és Zn-nél csökkenő tendenciát mutatnak az eredmények. A kevert víz, valamint a tisztított szennyvíz mintáknál befolyásoló tényező a tisztított szennyvíz változó összetétele, ettől függetlenül egy esetben sem történt határérték (3. táblázat) túllépés. Továbbá a mért elemkoncentrációkhoz kapcsolódóan megállapítottam egy elemsorrendet, amely a következők lettek:

- Ivóvíz: $\text{Zn} > \text{Sr} > \text{Ba} > \text{B} > \text{Cu} > \text{Al} > \text{Li} > \text{Fe} > \text{Mn}$
- Kevert víz: $\text{Zn} > \text{Sr} > \text{B} > \text{Ba} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Al} > \text{Li} > \text{Fe}$
- Tisztított szennyvíz: $\text{B} > \text{Sr} > \text{Mn} > \text{Al} > \text{Li} > \text{Ba} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu}$.

Különböző vizek elemsorai láthatóak csökkenő sorrendben. Ezt vizsgálva megállapítható, hogy ivóvíz és kevert vízmintáknál a legmagasabb koncentráció a cink esetében figyelhető meg, míg a tisztított szennyvíznél ez a bórnál mutatható ki.

12.táblázat: Elemek koncentrációja a vízmintákban

Elemek		Ivóvíz	Kevert	Tisztított szennyvíz
		[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
Al	átlag	34	39	118
	SD	6	8	132
B	átlag	92	321	961
	SD	3	43	103
Ba	átlag	128	118	85
	SD	11	32	60
Cu	átlag	54	49	24
	SD	7	13	27
Fe	átlag	11	24	329
	SD	8	9	418
Li	átlag	11	27	87
	SD	8	3	14
Mn	átlag	7	49	180
	SD	3	7	46
Sr	átlag	332	339	357
	SD	24	19	52
Zn	átlag	492	385	72
	SD	48	94	23

A különböző öntözővizek bór tartalomértékeit összehasonlítjuk a 4. táblázat adataival, megállapítható, hogy 1. kategóriába sorolható az ivóvíz, és a kevert víz. A 2. kategóriába tartozik pedig a tisztított szennyvíz.

4.2. Talajminősítés eredményei

A talajminősítés során vizsgált paraméterek a következők: nedvességtartalom, szín, kémhatás, vízmegkötő képesség, pufferkapacitás, Arany-féle kötöttség, humusz stabilitási szám, humusz mennyisége, összes karbonáttartalom meghatározása. A talaj esetében a

kiértékelés a kiindulási talaj minősége és az öntözés, növénynevelés utáni talaj minőségének az összehasonlításaként történt. Meg szeretném jegyezni, hogy jelentanulmányban a növények (lucerna és fű) elemzésére nem térek ki, a fű és lucerna nevek használata során arra utalok, hogy a vizsgált vagy minősített talajban ezen növény volt termesztve. A dolgozatomban az eredmények értékelésekor 13. táblázatban található kódrendszert alkalmaztam.

13. táblázat: *Kódokhoz tartozó megjegyzések*

mintakód	megjegyzés
KP1	kezeletlen talaj
KP/L/1	lucerna termesztése, öntözés ivóvízzel
KP/F/1	fű termesztése, öntözés ivóvízzel
KP/L/2	lucerna termesztése, öntözés kevert vízzel
KP/F/2	lucerna termesztése, öntözés kevert vízzel
KP/L/3	lucerna termesztése, öntözés tisztított szennyvízzel
KP/F/3	lucerna termesztése, öntözés tisztított szennyvízzel

4.2.1. Nedvességtartalom meghatározása

A nedvességtartalom megadja, a talajban lévő víz mennyiségét. A nedvességtartalom értékeit az 14. táblázatban foglaltam össze:

14. táblázat: *Nedvességtartalom a különböző kezelt talajokon*

mintakód	KP1	KP/L/1	KP/F/1	KP/L/2	KP/F/2	KP/L/3	KP/F/3
n%	24,76	24,78	39,80	22,50	36,36	22,33	35,10

A százalékos értékeket megnézve, látványos, hogy mennyire befolyásoló tényező a növényzet. A fű esetében sokkal magasabb értékeket kaptam, mint a lucernánál, ez bizonyítja a növények vízmegtartóképességének közötti különbségét. Másik tényező, ami látványos a nedvességtartalomnál, hogy az értékek csökkennek az ivóvíz, kevert víz, illetve a tisztított szennyvíztől függően.

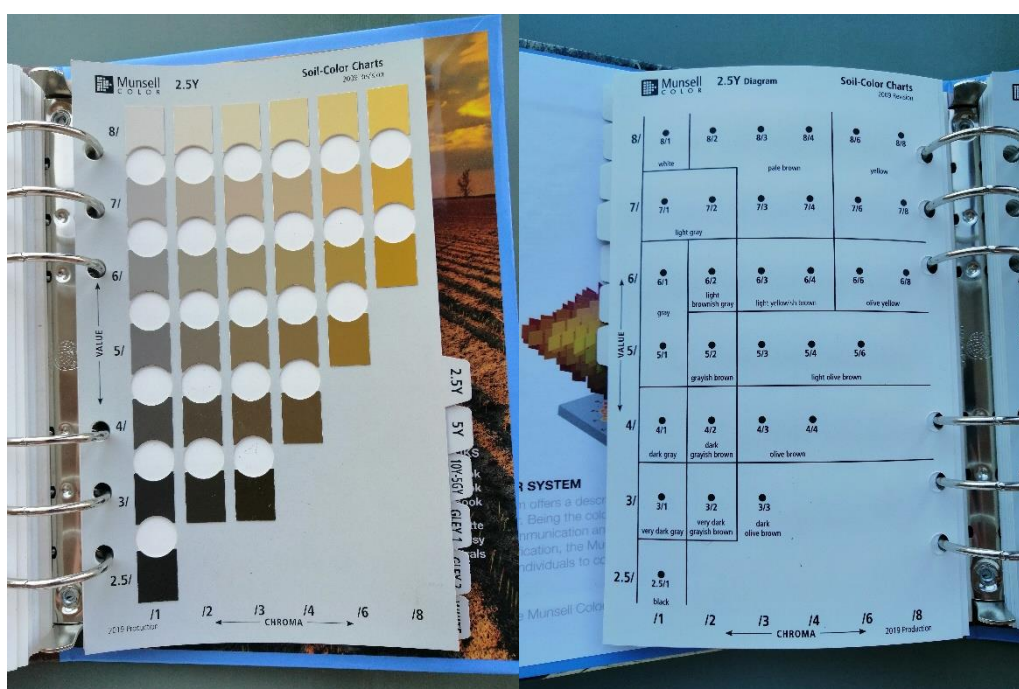
4.2.2. Szín meghatározása

A talajok színmeghatározása során tudunk következtetni a szervesanyag-tartalomra. A különböző talajokhoz tartozó értékeket a 15. táblázatban foglalom össze.

15. táblázat: Talajmintákhoz tartozó szín értékek

Mintakód	Munsell skála	
	száraz talaj	nedves talaj
KP1	2,5 Y 4/2	2,5 Y 3/1
KP/L/1	5/2	3/2
KP/L/2	5/2	3/1
KP/L/3	5/2	4/2
KP/F/1	6/1	2,5/1
KP/F/2	5/2	2,5/1
KP/F/3	6/2	2,5/1

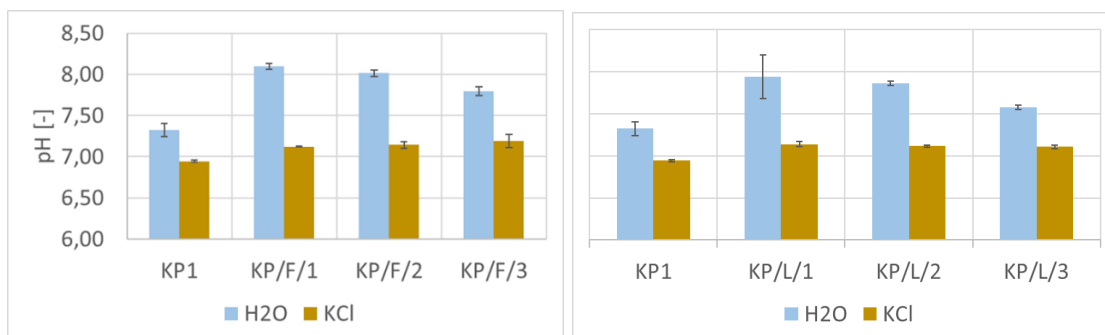
A kiindulási talajnál az érzékszervi vizsgálat alapján megállapítható, hogy száraz talaj esetében szürkés barna, míg nedves talaj esetében sötétszürkés barna színt kaptam. Minden mintánál Munsell skálával határoztam meg a talajok pontosabb színét, ezeket száraz és nedves mintákon egyaránt (10. ábra).



10. ábra: Munsell skála 2,5Y diagram [Saját készítésű]

4.2.3. Kémhatás meghatározása

A talajok esetében talajoldat készítés után mérhető a különböző minták kémhatása. Attól függően, hogy a talajoldatban hidrogén (H^+) vagy hidroxil (OH^-) ion van feleslegben, aszerint lesznek vagy savas vagy lúgos kémhatásúak a talajok. [30]



11.ábra: A kiindulás talajminta, fűvel (11/A. ábra), és lucernával (11/B. ábra) vetett talajminta kapott pH értékei különböző öntözővizek használatakor

Az 11/A. és 11/B. ábrákon látványos, hogy a kezeletlen talajhoz (KP1) képest az értékek minden esetben nőttek. Ugyanazon minta esetében a H₂O-es oldat kémhatása nagyobb lesz, mert a KCl K⁺ ionjai kicserélik a savasságot okozó ionok egy részét. [53] A növény szerinti összehasonlítást megvizsgálva, azok a minták, amelyiken fű volt nevelve magasabb pH értékekkel rendelkeznek, mint a lucerna esetében. Az öntözővizeket megnézve viszont látható, hogy a folyamatos csökkenés történt, tehát a talajok lúgos irányba mutatnak tendenciát. A 7. táblázat alapján minden minta a gyengén lúgos osztályba sorolható.

4.2.4. Vízmegkötő, vízáteresztőképesség meghatározása

Azt a vízmennyiséget, amelyet a talaj képes megtartani vízmegkötő képességnek nevezzük. [46]

16.táblázat: Különböző talajminták vízmegkötő-képességük

mintakód	Vízmegkötőképesség
KP1	65 ml
KP/L/1	64 ml
KP/L/2	64 ml
KP/L/3	64 ml
KP/F/1	60 ml
KP/F/2	58 ml
KP/F/3	56 ml

A kutatás során 7 mintát hasonlítottam össze, minden esetben a kiindulási talajhoz néztem a változást. Ahogy azt 16. táblázat is mutatja lucerna esetében nem figyelhető meg változás, azonban a fűnél látványosan csökkenő tendenciát mutat. Ezeknél a mintáknál kimutatható a vizek terheltsége. A változás mértéke kiszámítható, ami azt jelenti, hogy a

KP1 talajhoz képest a lucernánál 1,5%-os, KP/F/1-nél 8%-os, KP/F/2-nél 11%-os, KP/F/3-nál 14%-os csökkenés jellemzi.

4.2.5. Arany-féle kötöttség, vezetőképesség meghatározása

Az Arany-féle kötöttségi szám (K_A) során fonalpróba segítségével állapítható meg, hogy 100 g légszáraz talaj mennyi vízmennyiséget képes a képlékenységi felső határáig felvenni. Ehhez kapcsolódik az EC, illetve sótartalom is, melyet befolyásol a nedvességtartalom, a talaj hőmérséklete. [46] [47]

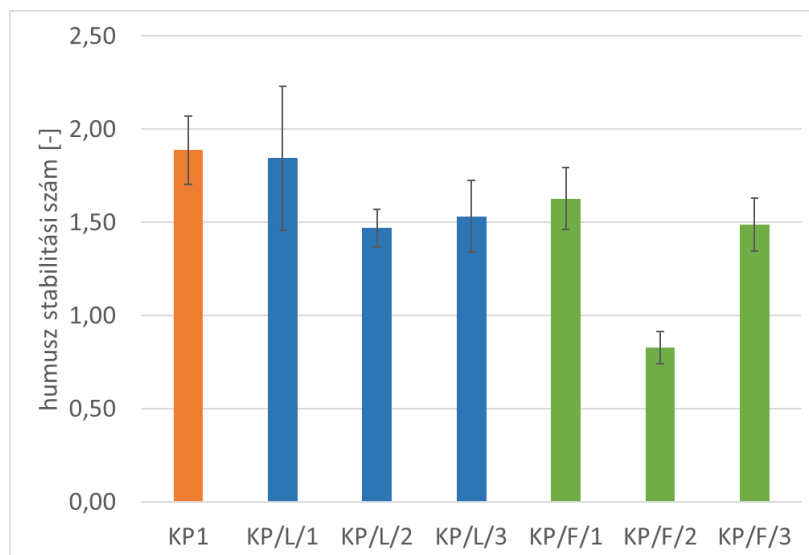
17. táblázat: Különböző talajminták K_A , EC, sótartalom értékei

mintakód	K_A [ml]	EC [μ S/cm]	Sótartalom [%]
KP1	42,00 $\pm$ 0	441,67 $\pm$ 18,48	<0,02
KP/L/1	43,43 $\pm$ 1,25	308 $\pm$ 9,54	<0,02
KP/L/2	42,87 $\pm$ 0,64	650 $\pm$ 17,00	<0,02
KP/L/3	43,40 $\pm$ 1,06	1476,67 $\pm$ 36,91	0,9
KP/F/1	33,63 $\pm$ 0,59	249,67 $\pm$ 3,51	<0,02
KP/F/2	39,20 $\pm$ 0,60	501,67 $\pm$ 4,04	<0,02
KP/F/3	40,40 $\pm$ 3,81	1385,67 $\pm$ 41,04	0,8

Az 17.táblázatban összefoglalom a kutatás során kapott K_A , EC és sótartalom értékeket az eltérő talajminták esetében. A K_A eredményeket megvizsgálva azon a talajon, amelyen lucerna növekedett nagyon hasonló eredményeket kaptam a kiindulási talajmintához képest, a különböző öntözővíz miatt sem történt változás. A fűvel bevetett és nevelt talajoknál viszont megmutatkozik az öntözővíz befolyásoltság, hiszen az eredmények folyamatosan nőnek. Ugyanez jellemzi a mintákat az EC, illetve sótartalom esetében is. A százalékos sótartalomnál a tisztított szennyvízzel történő öntözésnél figyelhető meg nagyobb sószázalék.

4.2.6. Humusz stabilitási szám meghatározása

A humusz stabilitási számnál a különböző talajok közötti humuszminőség mutatható ki fényelnyelés segítségével.

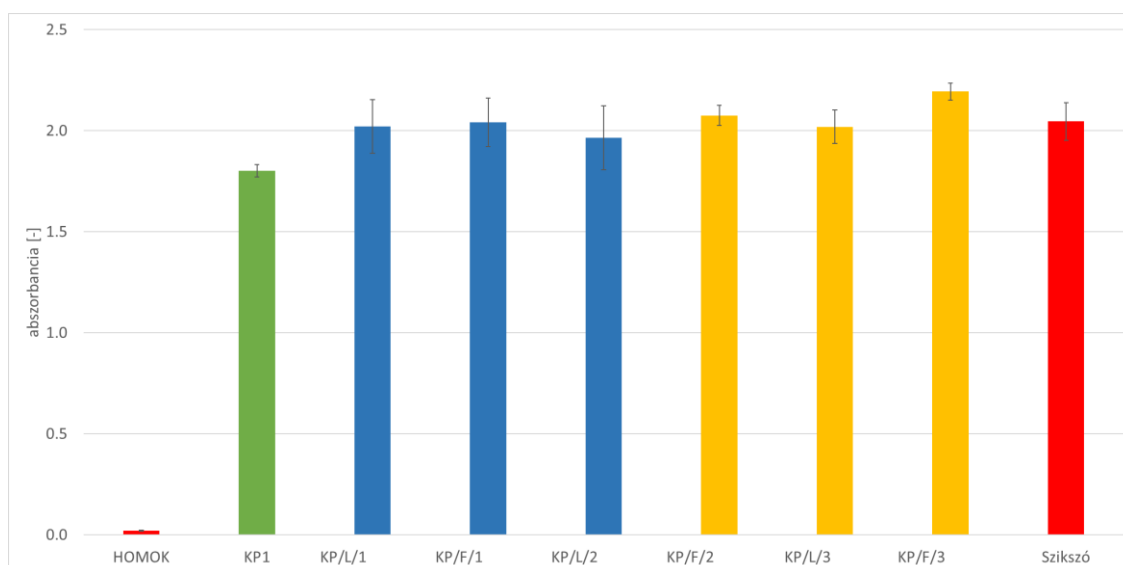


12.ábra *Különböző minták humusz stabilitási számai*

A humusz stabilitási szám a KP1 mintához képest, mint ahogy azt 12. ábra is mutatja csökkentek. Érdekeség, hogy a lucerna és fű talajminták közül is a kevert vízzel öntözött talajoknál kaptam a legkisebb humusz stabilitási értéket. Ebből tudunk következtetni arra, hogy KP/L/2, illetve KP/F/2 mintáknál kevésbé stabil a humusz értéke, ezzel szemben a legjobb eredményt a KP/L/1 mintánál kaptam.

4.2.7. Humusz mennyiségének meghatározása

A kutatás során a talaj szervesanyag-tartalmának mennyiségi meghatározására is sor került. Ebben az esetben alacsony, közepes vagy magas osztályozási csoportba sorolhatók be a talajok.

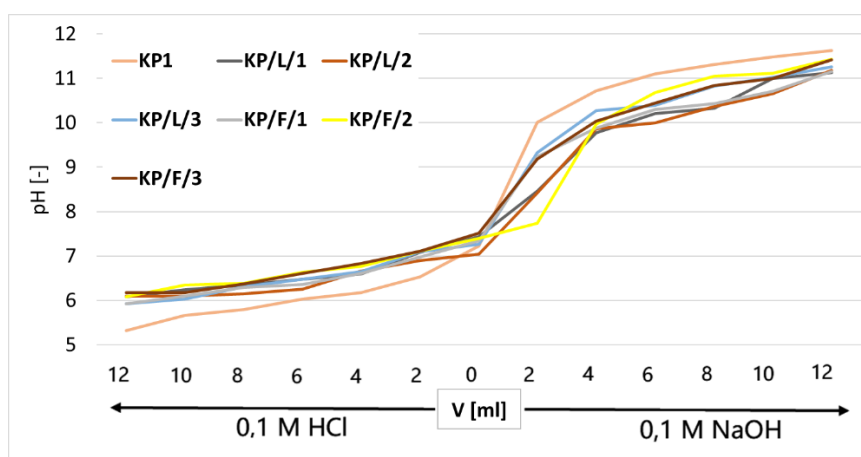


13. ábra: *Talajminták abszorbancia értékei*

A HOMOK-nál laboratóriumi tisztaságú homokot értünk, tehát annak a szervesanyag-tartalma megközelítőleg 0. Ezzel szemben a Szikszó mintám esetében egy akkreditált talajvizsgáló laborban lemért 2%-os szervesanyag-tartalommal rendelkező talajról van szó. A 13. ábráról leolvasható, hogy a kezelt mintáim közül hasonló abszorbancia értékeket kaptam, mint a Szikszó mintámnál, így kijelenthető, hogy a szervesanyag-tartalmuk 2% körüli értékek. A mérés során transzmisszió szintén 520 nm hullámhosszon megállapítható, hogy követi az abszorbancia során mért eredményeket.

4.2.8. Pufferkapacitás meghatározása

A pufferkapacitás fontos szerepet játszik a pH-szabályozásban. A pufferelő képességnek nevezzük azt, amikor a külső hatásokra mérsékelten reagálnak. [46]



14. ábra: Pufferkapacitás mérési eredménye

A pufferkapacitás során (14.ábra) minden talajmintánál hasonló eredmények figyelhetők meg, mint a kiindulási minta esetében. Különbség kis mértékben, de észrevehető, ugyanis a sav adagolása során a pH 6 körüli értékig csökkent, míg a maximális lúg adagolása során ez az érték 11-ig emelkedett.

4.2.9. Összes karbonáttartalom meghatározása

Az összes karbonáttartalomnál a CaCO_3 mennyiséget vizsgálhatjuk, és kapott eredményekből következtethetünk, arra milyen mértékű a kilúgzása, jelenléte vagy hiánya. Ideális mennyisége kb 3 %-ig tehető, mely még pozitívan javítja a talaj szerkezetét. A 18.táblázat összefoglalja az összes karbonát értékeket g/kg-ban megadva. [46]

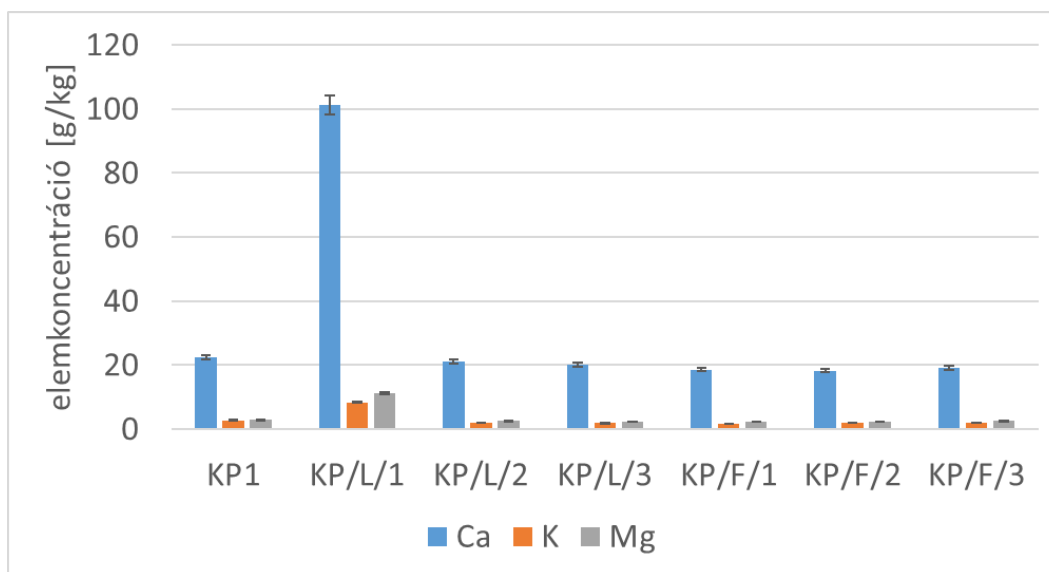
18. táblázat: Talajminták összes karbonáttartalmuk

Összes karbonát [g/kg]	mintakód						
	KP1	KP/L/1	KP/L/2	KP/L/3	KP/F/1	KP/F/2	KP/F/3
átlag	19,76	23,66	23,64	23,05	26,71	24,52	28,3
szórás	0,4	0,2	0,3	0,5	1,8	0,1	0,6

A kiindulási talajhoz képest az eredmények minden esetben nőttek. A lucernával vetett talajmintáknál közel hasonló értékeket kaptam, viszont a fűvel ültet talajmintáknál magasabb és változó eredmények születtek. Összességében elmondható tehát, hogy a legmagasabb karbonáttartalommal a KP/F/3 minta, míg a kezelt minták közül a legalacsonyabb értékkel a KP/L/3 minta rendelkezik.

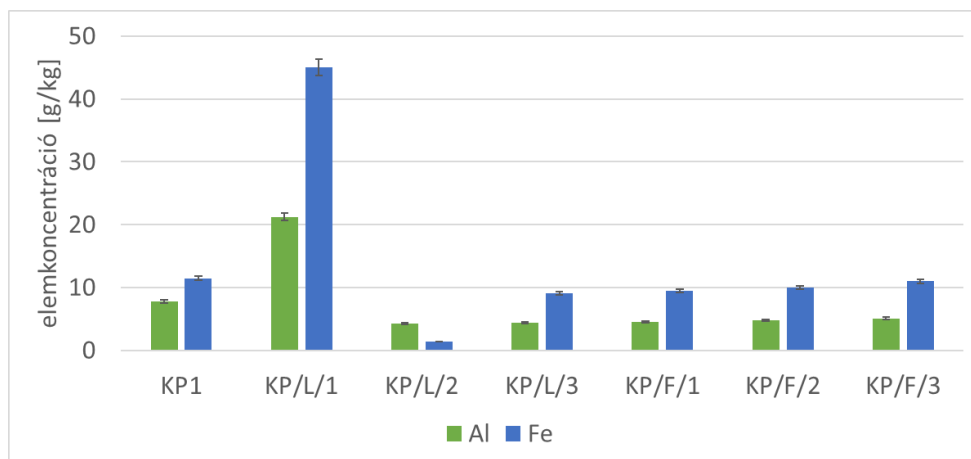
4.2.10. Elemanalitika

Az elemanalitikai vizsgálat segítségével meghatározhatjuk a talajminták makro- és mikroelem tartamát. Az eredményeket 15-18.ábrákon szemléltetem.



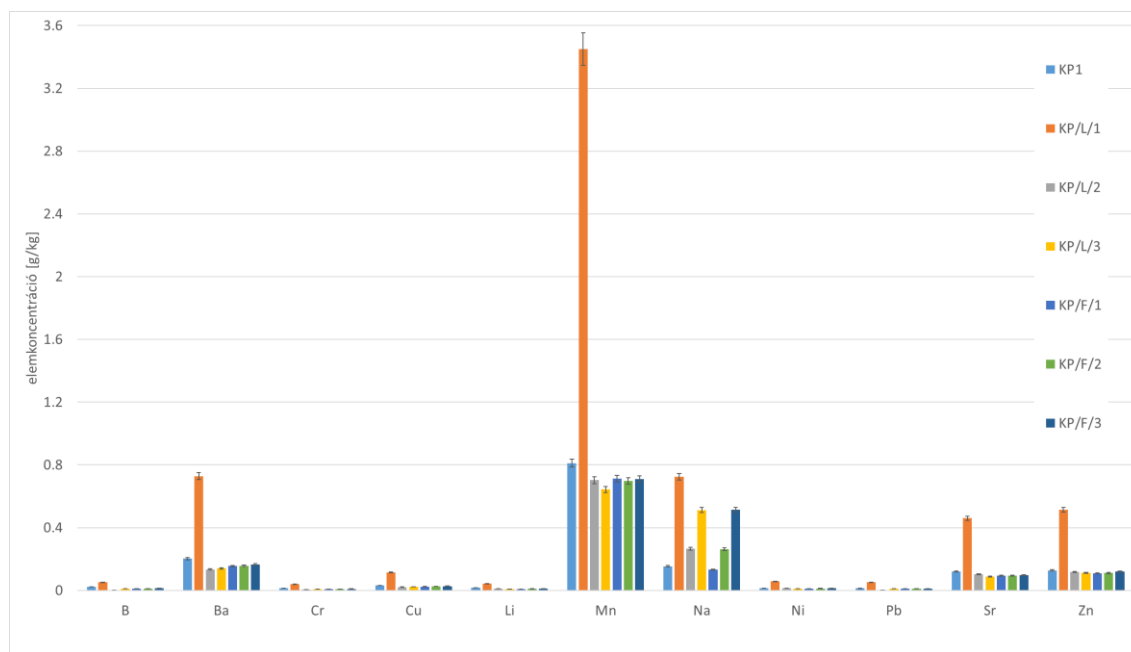
15.ábra Makroelemek koncentráció értékei a különböző talajmintákon

A makroelemek közül kiemelkedően magas eredmények lettek Ca esetében, mely a KP/L/1 mintánál a legjelentősebb. A K, illetve Mg elemeknél minden mintánál megfigyelhető, hogy a K-ból kevesebb található meg a talajban, mint Mg-ből. Legmagasabb érték ezeknél az elemeknél szintén a KP/L/1 talajmintánál kaptam.



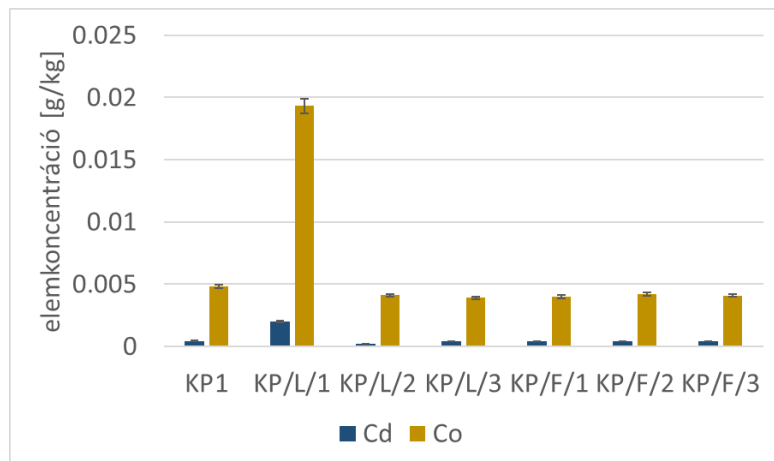
16. ábra: Mezoelemek 1000 [g/kg] feletti koncentrációban kimutatott elemek mennyiségei

A mezoelemeket megvizsgálva szintén látványos, hogy a legmagasabb eredmények a KP/L/1 mintánál mértek. A KP/L/2 esetében kivétel volt, hogy az Al nagyobb koncentrációban van jelen, mint a Fe.



17. ábra 10-1000 g/kg közötti koncentrációban kimutatott elemek mennyiségei

10-1000 g/kg közötti elemeket vizsgálva kiemelkedően magas értékeket kaptam a Mn, illetve a Na-nál. Minden elemnél megfigyelhető, hogy a KP/L/1 mintában nagyobb koncentrációban van. A Na-nál még két esetben KP/L/3, KP/F/3-nál mutat magasabb koncentráció értékeket a diagram.



18.ábra *Kobalt és kadmium mennyisége a különböző talajmintákban*

Két elemnél Cd és Co esetében az elemkoncentráció kisebb, mint 0,02 g/kg volt. Összeségében kijelenthető, hogy a legnagyobb elemkoncentráció értékeket a KP/L/1 mintánál figyelhető meg, Cd és Co koncentrációban szintén igaz. A többi mintánál hasonló g/kg koncentráció értékeket kaptam.

5. Következtetések és Javaslatok

A kutatásom során a fő célom az volt, hogy reprezentáljam a tisztított szennyvízzel történő öntözés előnyét, hátrányát vagy akár megoldását.

A 7/2023. (I. 12.) Korm. rendelet [25] szerint a mezőgazdasági felhasználás során a visszanyert víz D. minőségi osztályba tartozik az engedélyezett mezőgazdasági felhasználási és öntözési módok alapján [26], ami azt jelenti, hogy ezek a vizek a jelenlegi szabályozás szerint nem élelmezési és nem takarmányozási célú ipari növények, energianövények és vetőmagkultúrák öntözésére használható fel.

Azonban, ha megnézzük a visszanyert víz minőségére utaló 2. táblázatot a BOI₅ és zavarosság értékeit összevetem, a tisztított szennyvíz az A. osztályba tartozik. Ez azt jelenti, hogy ezzel a tisztított szennyvízzel „*Valamennyi nyersen fogyasztandó élelmezési célú termék, amelyek ehető része közvetlen kapcsolatba kerül a visszanyert vízzel, valamint a nyersen fogyasztandó gyökérnövények*” öntözése megengedett lehet. [25]

Az öntözővíz minőségére a 3-4. táblázatból - amely táblázatok nemzetközi ajánlásokat tartalmaznak - is következtettem. Ezek alapján elmondható, hogy az elemkoncentrációk, valamint pH esetében határérték túllépés nem történt. A többi paraméter kapcsán azt a megállapítást tehetem, hogy a különböző vizeket öntözővízként korlátozások bevezetése mellett használhatjuk, mivel minden víztípus esetében van minimum egy paraméter ami alapján a 2. kategóriába sorolható az öntözővíz.

Az, hogy a különböző típusú öntözővizek, milyen talajokon használhatók fel és hogyan a 90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet [54] 2. táblázata írja le. Ezen táblázat [54] adatainak a figyelembevételével 1,2,3,4,5,6 talajvízgyadálkodási kategóriákon használható az ivóvíz, illetve kevert víz. A tisztított szennyvíz értékeit megnézve hígítással vízjavítás után használható 1,2,3,4,5,6 talajvízgyadálkodási kategóriákon, ezt is alátámasztja az, hogy a használt kevert víz, már használható ezen talajvízgyadálkodási kategóriákon. A meghatározást egyik alapja 90/2008. (VII. 18.) FVM rendeletben szereplő 3. táblázat [54], ahol is az anionok és kationok mennyiségi, azaz oldott só mennyiségi és minőségi vizsgálatával megállapítható, hogy az ivóvíz kationok szempontjából kalciumos víztípusba tartozik, az anionok szempontjából pedig karbonát-hidrogén-karbonát víztípusba sorolható, a kevert víz valamint tisztított szennyvíz kationok szerint nátriumos-kalciumos víztípusba tartozik, viszont anionok alapján a kevert víz karbonát-hidrogén-karbonát víztípusba, még a tisztított szennyvíz nem sorolható be a táblázat szerint egyik víztípusba sem, de tulajdonságai nagyon közel találhatóak hidrogén-karbonát-klorid-szulfátos víztípushoz.

Ezen túlmenően az összes lúgosság (4.3.1. fejezet; 30. oldal), EC (7. ábra, 31. oldal), és a SAR tényező (10. táblázat; 33. oldal) adatainak a figyelembe vételével történt.

Az öntözővizek talajra gyakorolt hatásait tekintve, megállapíthatjuk, hogy a vizsgált szántóföldről származó talajon az öntözés után a talajok kémhatása emelkedtek. A talaj oldott sótartalma minden esetben növekedett, legnagyobb mértékben akkor, amikor tisztított szennyvizet használtam. Továbbá megállapítható azt is, hogy amikor lucernát vetettem, akkor minden öntözővíztípusnál a talaj oldott ionmennyisége nagyobb mértékben emelkedett mint mikor pázsitfűvet ültettem. A talajok humusztartalma jelentősen nem változott, de a kiindulási talajhoz képest minden esetben növekedett a kalcium-karbonát tartalma a talajnak, ez az öntözővíz víztípus besorolásával magyarázható.

A konklúzió tehát, hogy a tisztított szennyvízzel történő öntözés megvalósítható a megfelelő minősítési paraméterek ismerete esetén, esetlegesen megoldás lehet az ivóvízzel történő hígítás. Ezzel a megoldással az ivóvízkészletünk mezőgazdasági felhasználása jelentősen csökkenne.

6. Összefoglalás

A folyamatosan csökkenő vízkészletünk miatt muszáj alternatív, környezetkímélőbb megoldásokat keresnünk az élet különböző területein. A mezőgazdasági öntözéssel vízfelhasználásunk jelentős részét kiteszi, melynek csökkentése hatalmas előrelépés lenne.

A kutatásom alatt három különböző öntözővizet vizsgáltam két különböző növény esetén. Az eredményekről elmondhatók, hogy különbséget mutatnak az öntözővizeknél, viszont az értékek jelentős része határértékeken belül voltak tisztított szennyvíz esetén is. A talajmintáknál és öntözővizük közötti összefüggés jól látható, az értékek közötti növekvő sorrend „ivóvíz<kevert víz< tisztított szennyvíz” megfigyelhető.

A mérések során szabványokat, jogszabályokat követtem, valamint ezek segítségével értékeltem ki a kapott eredményeimet. Ezek miatt gondolom egy jó megoldásnak a tisztított szennyvizet mezőgazdasági öntözés felhasználására, viszont fontos kiemelni, hogy további kutatás szükséges a témában, esetleg több párhuzamos mérés, különböző kiindulási talajokon történő öntözés, illetve más növényeket is érdemes alapul venni.

Jövőbeni kutatási céljaim közé tartozik a növényekre gyakorolt hatásainak részletes bemutatása, valamint mivel a tisztított szennyvíznek volt talajkárosító hatása pl.: magas sótartalom, EC, ezért ezeknek a hatásoknak a csökkentésére különböző talajjavítási módszerek kipróbálása, fejlesztése.

7.Irodalomjegyzék

- [1] agronaplo, „AZ ÖNTÖZÉS ÁLTALÁNOS TALAJTANI ALAPJAI,” <https://www.agronaplo.hu/agrofokus/20231214/az-ontozes-altalanos-talajtani-alapjai-39993> Megtekintve: 2024.07.08.
- [2] É. R. V. Zrt., „A Föld vízkészlete,” <https://www.ervzrt.hu/a-vizrol/a-fold-vizkeszlete/> Megtekintve: 2024.07.08.
- [3] Soma, M. and Rakesh, K. and Manish K., „Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes- Environmental, health, and economic impacts,” 2023.
- [4] Bodáné Kendrovics Rita „A SZENNYVÍZ MEZŐGAZDASÁGI FELHASZNÁLÁSÁNAK INDOKAI,” 2017.
- [5] M.B.Pescod, Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47, Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 1992.
- [6] Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnök Tanszék, „A szürkevizek, mint visszanyert vizek biztonságos mezőgazdasági hasznosíthatóságának átfogó vizsgálata,” *SZAKMAI BESZÁMOLÓ*, 2022.
- [7] Filep György, „AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN,” Debrecen, Agrártudományi Egyetem, 1999, p. 49–63.
- [8] Váltainé Báldos Éva és társai, Környezetvédelmi alapismeretek II., Budapest: Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft, 2020.
- [9] NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI KÖZPONT KÖZEGÉSZSÉGÜGYI LABORATÓRIUMI ÉS MÓDSZERTANI FŐOSZTÁLY, „Öntözővizek higiénés követelményei,” 2023.
- [10] Helyes Lajos, „Az öntözés szerepe, jelentősége,” *GAZDÁLKODÁS: Scientific Journal on Agricultural Economics*, %1. kötet49, p. 78–84, 2005.
- [11] „28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól,” <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0400028.kvv>. Megtekintve: 2024.10.31.

- [12] Ungvári Levente, „A szennyvíztisztításhoz szükséges vegyszerek felhasználásának csökkentése technológiai átalakítással,” 2018.
- [13] Angelakis, A.N.; Gikas, P., „Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states,” 2014., pp. 67-78.
- [14] Jaramillo, M.F.; Restrepo, I., „Wastewater Reuse in Agriculture: A Review about Its Limitations and Benefits. Sustainability,” 2017., p. 1734..
- [15] Tzanakakis, V.E.; Paranychianaki, N.V.; Angelakis, A.N., „Soil as a wastewater treatment system: Historical development. Water Sci. Technol. Water Supply,” 2007., pp. 67-75..
- [16] Tzanakakis, V.; Koo-Oshima, S.; Haddad, M.; Apostolidis, N.; Angelakis, A., „The history of land application and hydroponic systems for wastewater treatment and reuse,” 2014., p. 457..
- [17] N. Khan, „Natural Ecological Remediation and Reuse of Sewage Water in Agriculture and Its Effects on Plant Health,” 2018..
- [18] Eslamian, S, Urban Water Reuse Handbook, 2016..
- [19] A. Lazarova, Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass, USA, 2004..
- [20] Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications, New York, 2007..
- [21] Pearce, G.K., „UF/MF pre-treatment to RO in seawater and wastewater reuse applications: a comparison of energy costs,” 2008., pp. 66-73..
- [22] Shoushtarian, F.; Negahban-Azar, M., Worldwide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse, 2020..
- [23] Tóth Tamás „A TISZTÍTOTT SZENNYVÍZ MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSÁRA ALKALMAS TERÜLETEK MEGHATÁROZÁSA MAGYARORSZÁGON,” *Hadmérnök*, kötet13, p. 326–338, 2018.
- [24] Mustos Martin, „Tisztított szennyvíz öntözési célú hasznosíthatóságának komplex vizsgálata,” 2023.
- [25] „7/2023. (I. 12.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet és a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló

tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szóló 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet módosításáról,” <https://njt.hu/jogszabaly/2023-7-20-22>. Megtekintve: 2024.09.29.

- [26] „AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2020/741 RENDELETE (2020. május 25.) a víz újrafelhasználására vonatkozó minimumkövetelményekről,” <https://jogkodex.hu/doc/8763624>. Megtekintve: 2024.09.29.
- [27] Ayers, R.S. and Westcot, D.W., „Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage, Paper 29,” *Food and Agriculture Organization*, 1985.
- [28] Szalai Zoltán, Jakab Gergely BEVEZETÉS A TALAJTANBA KÖRNYEZETTANOSOKNAK, S. Zoltán, Szerk., Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, 2011.
- [29] Dr. Filep, György, TALAJTANI ALAPISMERETEK I., Debrecen: DEBRECENI AGRÁRTUDOMÁNYI EGYETEM MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR, 1999.
- [30] Dr. Fülekgy György, Talajvédelem, talajtan, Veszprém: Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, 2011.
- [31] Agroforum „Az öntözés és hatása a talajra,” <https://agroforum.hu/szakcikkek/talajmuvelés/az-öntözés-es-hatása-talajra/> Megtekintve: 2024.07.11.
- [32] Dr. Kovács László, Szőke Viktória, „Hogyan járulhat hozzá a mezőgazdaság 4.0 a körkörös mezőgazdaság kialakulásához?,” *V. TURIZMUS ÉS BIZTONSÁG NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIA*, 2020.
- [33] Dr. habil Vértessy László, „Körforgásos gazdaság: A körforgásos vízgazdálkodás általános kérdései,” Gödöllő, MATE Press, 2023..
- [34] Tóth Tamás „A körforgásos gazdaság koncepciójának integrálása a magyarországi öntözésfejlesztésbe,” *Hadmérnök*, 2021..
- [35] Dr. Bodnár Ildikó, „Oktatási segédlet a Vízgazdálkodás- és vízminőség védelem laborgyakorlathoz,” *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék*, 2024.
- [36] Dr. Bodnár Ildikó, „LABORATÓRIUMI OKTATÁSI SEGÉDLET a Környezetmérnöki mérés technika, monitoring I. laborgyakorlathoz,” *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék*, 2023..

- [37] Pécsi Tudományegyetem, Műszaki- és Informatikai Kar, Környezetmérnök Tanszék, „TELJES SZERVES SZÉNTARTALOM (TOC) MEGHATÁROZÁSA,” https://witch.mik.pte.hu/oktatas/Tanszeki_anyagok/Kornyeztmernok_Tanszek/Tant%20E1rgyak/K%20F6rnyezetv%20delmi%20m%20r%20stechnika,%20monitoring/10a_TOC%20m%20r%20s.pdf. Megtekintve: 2024.10.31.
- [38] Dr. Bodnár Ildikó, „OKTATÁSI SEGÉDLET a Környezetmérnöki mérés technika, monitoring II. laborgyakorlatához,” *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék*, 2024..
- [39] MSZ EN ISO 10304-1:2009, „Vízminőség. Az oldott anionok meghatározása ionkromatográfiával. 1. rész: A bromid, a klorid, a fluorid, a nitrát, a nitrit, a foszfát és a szulfát meghatározása,” *Magyar Szabványügyi Hivatal*, 2009..
- [40] MSZ EN ISO 14911:2000, „Vízminőség. Az oldott Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} és Ba^{2+} meghatározása ionkromatográfiás módszerrel. Víz- és szennyvízvizsgálati módszer,” *Magyar Szabványügyi Hivatal*, 2000..
- [41] Dr. Bodnár Ildikó, „KÖRNYEZETMÉRŐKI MÉRÉSTECHNIKA, MONITORING I. előadás anyag,” *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék*, 2023..
- [42] Dr. Bezur László, „Makro és mikro elemeinek meghatározása AAS, ICP-OES és ICP-MS módszerekkel,” 2009..
- [43] Agilent Technologies, User's Guide, „Agilent 5100 and 5110 ICP-OES,” Australia.
- [44] MSZ-08 0205-78, „A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata”.
- [45] Munsell SOIL-COLOR CHARTS with genuine Munsell color chips, x-rite, 2022..
- [46] Izbékiné Szabolcsik Andrea, Dr. Truzsi Alexandra „Talajvédelem I. tantárgyhoz kapcsolódó laborgyakorlat segédanyaga,” 2023..
- [47] Filep György Talajvizsgálat, Debrecen: DE, Mezőgazdaságtudomány Kar, Talajtani és Mikrobiológiai Tanszék, 1995..
- [48] MSZ -08 0206/2-78, „A talaj egyes kémiai tulajdonságainak vizsgálata”.
- [49] Tóth Tibor, Szabó Brigitta „Módszer a talaj szerves-C-tartalmának gyors helyszíni meghatározására,” 2003., p. 409–426.

- [50] Suzanne Card „Evaluation of Two Field Methods to Estimate Soil Organic Matter In Alberta Soils,” *Alberta Agriculture, Food and Rural Development Conservation and Development Branch*, 2004..
- [51] Dr. Kun Róbert „Kémiai technológia,” *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék*.
- [52] MSZ 448/11-86, „Lúgosság meghatározása titrálással,” *Magyar Szabványügyi Hivatal*.
- [53] TALAJREFORM, „A pH értékek értelmezése egy talajvizsgálatban,” <https://talajreform.hu/tudasbazis/a-ph-ertekek-ertelmezese-egy-talajvizsgalatban/> Megtekintve: 2024.11.04.
- [54] „90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet a talajvédelmi terv készítésének részletes szabályairól,” <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0800090.fvm>. Megtekintve: 2024.11.07.
- [55]