

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Környezetmérnöki Tanszék



Szürkevízen termesztett mikroözledek fogyaszthatóságának vizsgálata

Készítette: **Nusser Gyöngyvér Boglárka III. éves
környezetmérnöki BSc szakos hallgató**

Témavezető: Izbékiné Szabolcsik Andrea, egyetemi tanársegéd

Tanszékvezető: Dr. Kocsis Dénes László

Debrecen
2024.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés, célkitűzések	4
2.	Irodalmi áttekintés	5
2.1.	A szürkevíz fogalma.....	5
2.2.	Szürkevizek kezelése.....	5
2.3.	Mikroöldségek	6
2.4.	A vizsgált mikroöldségek	8
2.5.	Növényanalízis, fogyaszthatósági vizsgálat	9
2.5.1	Fogyaszthatósági vizsgálat	9
3.	Anyag és módszer	11
3.1.	Az öntözővizek.....	11
3.1.1	A szürkevíz kezelésének optimalizálása	11
3.1.2	Öntöző vizek létrehozása	11
3.2.	Öntöző vizek minősítése	12
3.2.1	A pH-érték mérése	12
3.2.2	Zavarosság mérése	13
3.2.3	Zéta-potenciál és fajlagos vezetőképesség mérése.....	14
3.2.4	Szervesanyag-tartalom mérése	15
3.3.	Mikroöldségek termesztésének lépései	18
3.4.	Mikroöldségek minősítése.....	20
3.4.1	Tömegmérés	20
3.4.2	Nedvességtartalom meghatározása	20
3.4.3	Növényhossz mérése	20
3.4.4	Elemanalitikai mérés ICP-OES készülékkel	20
3.4.5	Fogyaszthatósági vizsgálat	22
4.	Eredmények és kiértékelésük	24
4.1.	A szürkevíz kezelésének optimalizálásáa.....	24
4.2.	Az öntöző víz paraméterei.....	24
4.3.	Öntözővizek eredmények összehasonlítása:	25
4.3.1	A pH érték	25
4.3.2	Zavarosság érték.....	25
4.3.3	Vezetőképesség értéke	26
4.3.4	Szervesanyag-tartalom	26

4.3.5	Öntözővizek makro- és mikroelem-tartalma.....	27
4.4.	A kifejlett mikroöldségek paraméterei	28
4.4.1	A búza paraméterei.....	29
4.4.2	A brokkoli paraméterei.....	33
4.4.3	A lucerna paraméterei	37
4.4.4	A vöröskáposzta paraméterei	42
5.	Következtetések, javaslatok	47
6.	Összefoglalás.....	50
7.	Köszönetnyilvánítás	51
8.	Irodalomjegyzék.....	52
9.	Melléklet.....	54

1. Bevezetés, célkitűzések

A globális populáció növekedésével a tiszta édesvízkészletünk csökken az élelmezési problémáink pedig növekednek. A TDK dolgozatom során erre a problémára kerestem megoldást.

Bár hazánk nagymértékben rendelkezik édesvízzel, mégis a klímaváltozás hatására egyre többször és egyre hosszabb ideig tapasztalhatunk aszályos időszakokat. Ezen kívül az antropogén szennyezések miatt is jelentősen fogynak az édesvíz-készleteink. Emiatt egyik célom a kutatás során egy olyan lehetőség feltárása, amely elősegítené mind a meglévő édesvízkészleteink védelmét, mind a körkörös vízgazdálkodásra való törekvéseinket.

Az egyik potenciális megoldás a szürkevíz alkalmazása. Már számos kutatás foglalkozik a szürkevíz kezelésével és annak újrahasználatának lehetőségeivel. Jelen tanulmányban az élelmezési oldalról közelítem meg a szürkevíz újrahasználatának lehetőségét, ez azonban különböző élelmiszerbiztonsági és egészségügyi kockázatokat vet fel.

Az utóbbi években egyre nagyobb népszerűségnek örvendenek a mikrozöldek – másnéven mikrozöldségek –, azonban még mindig kevesen tudnak róluk és jótékony hatásaikról. Rövid termesztési ciklusuknak, és magas tápanyagtartalmuknak köszönhetően megoldást nyújthatnak arra, hogy gyorsan és egyszerűen vihessünk be szervezetünkbe számunkra fontos vitaminokat, ásványianyagokat és antioxidánsokat. Mivel a mikrozöldségek nem igénylik a földet, mint tápanyagforrást vagy tartóközeget, ezáltal olyan területeken is elérhető lehet termesztésük, ahol esetleg a teljes zöltség kifejlődésére nincs lehetőség.

Jelen tanulmánnyal másik célom a mikrozöldségek fogyasztásának népszerűsítése, ugyanis úgy gondolom, hogy mind a fejlett, de kifejezetten a fejlődő országokban szükség van egy olyan élelmiszerre, amely mind tápanyagdús, mind megfizethető.

A kutatásom alkalmával megvizsgálom a szürkevízen, mint alternatív vízforráson termesztett mikrozöldségek fogyaszthatósági és élelmiszerbiztonsági kockázatait. Ezzel azt értékelem, hogy a kezelt vagy kezeletlen szürkevíz alkalmazása milyen hatással van a mikrozöldségek mikro- és makroelem-koncentrációjára és ezáltal azt vizsgálom, hogy a szürkevízben található szennyeződések felhalmozódnak-e a növényekben. Az eredmények hozzájárulhatnak a víztakarékos, környezettudatos élelmiszertermelési technológiák fejlesztéséhez.

2. Irodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben bemutatom a kutatómunkámhoz kapcsolódó fogalmakat. Ezek a szürkevíz és típusai, kezelési eljárások és maguk a mikroöldségek. A mikroöldségek esetében bemutatom általánosan a jótékony hatásait és utána növény-specifikusan a vizsgált növények tulajdonságait.

2.1. A szürkevíz fogalma

Háztartási szürkevíznek nevezzük azon egyszer használt vizeket, amelyek a háztartásokban keletkeznek. A szürkevíz fogalma nem vonja magába a toalett öblítéséből származó fekete vizet, ugyanis annak mikrobiális szennyezettsége kimagasló, emiatt az emberi egészségre káros. Szürkevíz a fürdés, mosás, takarítás és főzés során keletkező használt víz, azonban ezeket is külön kategóriákba soroljuk szennyezettségük alapján. Ez a két kategória a világos, azaz „light-greywater” (LGW) és a sötét, azaz „dark-greywater” (DGW). A sötét frakcióba tartozik a mosás, takarítás, és főzés során keletkezett szürkevíz, ugyanis ezekben magasabb számban találhatók meg detergensok, elhalt hámsejtek, olajok és akár ételmaradékok is. Világos szürkevíznek a fürdésből és kézmosásból származó vizet nevezzük, ugyanis bár ezek is tartalmaznak detergensokat, elhalt hámsejteket és olajokat, jóval kisebb koncentrációban, emiatt a tisztításuk is könnyebb. Mivel Magyarországon az átlagos vízfogyasztásunknak közel a felét a fürdővíz teszi ki emiatt a kutatásom során szintetikus fürdővízzel dolgoztam, amely jól reprezentálja a háztartásokban keletkező fürdővizet [1].

2.2. Szürkevizek kezelése

A víz a mindennapi életünk részét képezi és vízigényünk folyamatosan növekszik, azonban édesvíz-készleteink végesek, és egyre kevesebb van az antropogén szennyezések miatt is. Emiatt egyre nagyobb igényt látunk a víz újrahasználásával kapcsolatban. Ilyen például az Egyesült Nemzetek Szövetsége által meghatározott 17 fenntartható fejlődési célok 6. pontja, amely a tiszta vízről és közegészségügyről szól [2].

A szürkevíz felhasználásával csökkenthetjük a tiszta ivóvízfogyasztásunkat és a körforgásos gazdaságot és elősegítjük. Vannak olyan területek, ahol a szürkevizet akár kezelés nélkül is alkalmazhatjuk, ilyen például a toalett öblítése, autó mosása, vagy akár tűzoltás is. Azonban azokon a területeken, ahol fontos, hogy tisztább legyen a víz, de nem szükséges, hogy ivóvíz-tisztaságú legyen, ott a szürkevizet kezelni tudjuk, hogy elérje a kellő tisztaságot.

Az Európai Parlament és Tanács 2020/741 rendelete [3] a víz újrafelhasználására vonatkozó minimumkövetelményekről és az Európai Tanács 91/271/EGK irányelve [4]

a települési szennyvízkezeléséről alapján ahhoz, hogy a víz újrafelhasználható legyen – az általam vizsgált paramétereket tekintve –, a kezelt szennyvíz biológiai oxigénigénye 25 mg/l, a kémiai oxigénigénye pedig 125 mg/l alatt kell, hogy legyen, ezek felett további kezelésre van szükség. A kifejezetten mezőgazdasági öntözés esetében pedig biológiai oxigénigénynek 10 mg/l alatt, és a zavarosságnak 5 NTU alatt kell lennie, hogy korlátozások nélkül használható legyen a kezelt szürkevíz.

A szürkevizet fel lehet használni kezelés nélkül, vagy kezelés után. Kezelés során több opcióval is rendelkezünk. A szürkevizet kezelhetjük szűréssel, amely során a vizet átengedjük egy porózus anyagon, egy szűrőközegen (például homok, aktív szén, kókuszshéj, fenyőkéreg), és ezzel eltávolítjuk a vízben található oldhatatlan részecskéket. Kezelési módszer még a biológiai tisztítás, ahol főleg a biológiailag lebomló szennyezőket tudjuk eltávolítani a vízből. Ilyen módszer például a biofilmes szennyvíztisztítás, vagy akár a membrán bioreaktorok. Kémiai tisztításra is van lehetőségünk, ilyen a koagulálás és flokkulálás. Ebben az esetben a kolloid méretű részecskéket távolítjuk el a vízből, ugyanis a koagulálás során vegyszer segítségével az eddig egymást taszító részecskék irreverzibilisen összetapadnak, majd utána flokkulálás során ezeket az összetapadt pelyheket vesszük rá az ülepedésre. Kémiai tisztítás még a különböző oxidatív eljárások, ahol a víz fertőtlenítése zajlik. Ezeket a módszereket kombinálni is lehet [1], én a kutatás során a koagulálást és flokkulálást ötvöztem a homokon való szűréssel.

2.3. Mikrozöldségek

A globális populáció folyamatosan növekszik, és ezzel együtt nő az emberek igénye a fenntartható, egészséges és elérhető ételmezésre. Erre a problémára megoldást nyújthatnak a mikrozöldségek/mikrozöldek (microgreens). Mikrozöldségeknek nevezzük azon fiatal növényeket, amik általában zöldségek vagy fűszernövények, amelyek a csírázáson túl vannak és kifejlett sziklevelekkel rendelkeznek. A számunkra fontos vitaminok a sziklevelekben halmozódnak fel, és mennyiségük többszöröse található meg bennük, mint a kifejlett növényben. Míg a zöldségek elfogyasztására akár hónapokat is várunk kell, a mikrozöldségek általánosságban 7–10 nap alatt kifejlődnek és sok növényfajta akár már 4–5 nap alatt is fogyasztható. Emiatt sokkal könnyebben, gyorsabban termesztethetők, akár beltérben is. A mikrozöldségek kifejlődéséhez elegendő a magokban található tápanyag, nincsen kifejezetten szükségük talajra, csupán vízre. Ráadásul egészségügyi szempontból is kimagasló tulajdonságokkal rendelkeznek. Általánosan a mikrozöldségek magas vitamintartalommal és ásványi anyagokkal rendelkeznek, ezen kívül fitokemikáliákban gazdagok, beleértve

a karotinoidokat és a fenolos vegyületeket, amelyek antioxidánsként hatnak az emberi szervezetben. Az antioxidánsok pedig megkötik a szervezetünkben lévő karcinogén anyagokat, ezzel megelőzve a rákos elváltozásokat [5].

Már régóta tudható, hogy a gyümölcsben és zöldségben gazdag étrend ápolja egészségünket és korábbi kutatások kimutatták, hogy a rák megelőzésében is segítenek. Ebből kiindulva a bioaktív vegyületekben gazdag mikrozöldségek is hasonló tulajdonságokkal rendelkezhetnek. Kimutatták például, hogy a brokkoli mikrozöld négyszer több rákellenes alifás glükozinolátot tartalmaz, mint a kifejlett növény. Egy másik kutatás során felismerték, hogy a Brassicaceae mikrozöldségek a rákos sejtekre jelentős sejtszaporodás-gátló hatást gyakoroltak. Ennek a mikrozöldségcsaládnak nagy az aszkorbinsav és az antioxidáns tartalma, emiatt érnek el ilyen jó eredményeket, hisz azon mikrozöldségek, amelyek nem rendelkeznek ilyen mennyiségekkel, a rákos elváltozások gátlásában sem vesznek ilyen szinten részt. Azonban más útvonalak is vannak, hogy a mikrozöldségek, hogyan segíthetik a rákos elváltozások gátlását, amik még további kutatásra várnak (például az étrendi polifenolok) [6].

Azonban a mikrozöldségek jótékony hatásai nem merülnek ki a rák elleni hatásukban. Kimutatták, hogy a vöröskáposzta mikrozöldségek javítják a zsír- és koleszterinszintet, csökkentik a súlygyarapodást, a triglicerideket, a máj koleszterinészter-szintjeit, valamint a májban található gyulladásos citokineket egereknél. Kutatások során azt is meghatározták, hogy egyes mikrozöldségek antidiabetikus hatást mutattak. Azok a mikrozöldségek, amelyek polifenolokban és glükozinolátokban gazdagok, segíthetnek az immunrendszer szabályozásában és a gyulladásos betegségek kezelésében [6].

Fontos, hogy megkülönböztessük a mikrozöldségeket és a csírákat. A csírák 2–3 nap alatt nőnek meg, még rendelkeznek a magházukkal, és fogyasztásuk során az egész növényt fogyasztjuk, gyökerestől, magházastól. A mikrozöldségek azonban fajtától függően 5–21 nap alatt fejlődnek ki, (átlagosan 7–10) rendelkeznek sziklevelekkel, és már elhagyták magházukat. Amikor fogyasztjuk azokat, akkor gyökerüket már nem esszük meg, hanem a szárukat és a szikleveleiket. Ezen külsőségeken kívül a belső tartalmuk is különbözik. A mikrozöldségek több rosttal rendelkeznek, több C, E, és K vitamin található meg bennük, és az antioxidáns tartalmuk is szignifikánsabb, mint a csíráknak. A csírák fogyasztása is ajánlott, hisz bennük is sok tápérték található, azonban, íz kérdésében szintén a mikrozöldségek dominálnak, ugyanis a csírák nem rendelkeznek erős ízvilággal, mondhatni ízetlenek [6].

2.4. A vizsgált mikroöldségek

Kutatásom során búzát, brokkolit, lucernát és vöröskáposztát vizsgáltam. A növények különböző hatóanyagokkal rendelkeznek, így a szervezetünkre gyakorolt hatásaik is eltérőek lehetnek. Természetesen vannak olyan területek, ahol hasonló hatást produkálnak, mégis fontos, hogy kiemeljük az egyes növények specialitását.

Búza: A búzának különlegessége a magas klorofill- és rosttartalma, ezek miatt hozzájárul a bél egészségéhez, a méregtelenítéshez és a vércukorszint szabályozásához. Gazdag az A-, és C-vitaminokban, amik erősítik az immunrendszert. Emellett javítja a látást, és segít a mellrák megelőzésében. A rákmegelőző hatás a mikroöldségekre jellemző magas antioxidáns tartalomnak köszönhető [6] [7].

Brokkoli: A brokkoli antioxidáns hatásai a fitonutriensekben, különösen szulforafánban mutatkozik meg, ami különösen a tüdő- és a bélrák megelőzésében játszik nagy szerepet, ezen kívül a szív egészségének megőrzéséhez és a gyulladások csökkentéséhez is hozzájárul. A magas vitamin- és ásványianyag-tartalma támogatja az immunrendszert és a bélflóra működését is. [6] [7].

Lucerna: Az utóbbi években több tanulmány is kimutatta, hogy a lucerna flavonoidokat, szaponinokat, élelmi rostokat, vitaminokat, ásványi anyagokat, szerves savakat és poliszacharidokat tartalmaz. Ezek a bioaktív összetevők számos jótékony hatással rendelkeznek, például antioxidáns, gyulladáscsökkentő, daganatellenes tulajdonságokkal, valamint támogatják az immunrendszer működését. Ezen kívül olyan elemekben gazdag, mint például a kalcium, magnézium és vas, amelyek mind a csontok erősségében, mind a vérképzésben fontos szerepet játszanak [8] [9].

Vöröskáposzta: A vöröskáposzta antioxidáns tartalma az antocián vegyületnek köszönhető, ez a vegyület erősen gyulladáscsökkentő, segíti a szív- és érrendszeri betegségek megelőzését, javítja az immunválaszt, és hozzájárul a sejtvédelemhez az oxidatív stressz ellen. Ezen kívül javítja a zsír- és koleszterinszintet, ami csökkenti a súlygyarapodást. Magas vitamin- és ásványianyagtartalma van, kifejezetten az C- és K-vitamin esetében, ami elősegíti a bélflóra és a csontok egészségét [6] [7].

2.5. Növényanalízis, fogyaszthatósági vizsgálat

A növényanalízis során megvizsgáljuk, hogy milyen eltérések szerepelnek a kontrollminta, és a többi minta között. Emiatt olyan paramétereket kell választanunk, amelyek ezeket a különbségeket lefedik és megfelelően kimutatják. A mikroöldségek esetében az alábbi paramétereket vizsgáltam:

- Nedvességtartalom: a gyökér nedvességfelszívó képességéről és állapotáról ad adatot, illetve a növény állapotáról.
- Átlagos növényhossz és produktum tömege: mindkét paraméter a növény fejlődéséről szolgáltat információval.

2.5.1 Fogyaszthatósági vizsgálat

A fogyaszthatósági vizsgálat egy átfogó értékelőrendszer, amely alapján biztonságosan el tudjuk dönteni, hogy az adott élelmiszer, ital, vagy bármilyen fogyasztási termék káros-e az emberi szervezetnek. A vizsgálat során számos mérést és elemzést végezhetünk, legyen az a termék összetevőinek kémiai, mikrobiológiai vagy toxikológiai jellemzőinek a vizsgálata. Az elemzés során a termékekben lévő káros anyagokat vizsgáljuk, például fémeket, nehézfémeket [10] [11].

A THQ (Target Hazard Quotient), avagy célveszélyességi hányados egy tudományosan elfogadott indikátor, amely egy adott toxikus anyagnak való kitettségének az egészségügyi kockázatát méri. Ennek az értéknek a kiszámításához szükség van egy referenciadózis értékre, amelyet az Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége (USEPA) határozott meg, és közzétett. Ez az adott vegyület maximális, hosszútávú kitettségi szintje, amely még biztonságosnak tekinthető emberi fogyasztás szempontjából. A THQ érték 1 alatt biztonságosnak tekinthető, 1 felett viszont potenciális kockázattal jár a fogyasztás. A THQ értéket nem csak a szűrkevízzel való öntözés során alkalmazzák, hanem például akkor is, amikor azt vizsgálják, hogy a talajba került nehézfémzennyezés mennyire károsította meg az ott termelt gyümölcsöket, zöldségeket [10] [11].

A HRI (Health Risk Index), avagy egészségkockázati index egy másik kockázati mérőszám, amelyet a fogyaszthatósági vizsgálatokban használhatunk. Ez az egyén expozíciójának, és az adott anyag referenciadózisának arányát fejezi ki. Hasonlóan, mint a THQ esetében, itt is azt figyeljük, hogy az érték mikor éri el az 1-et. Alatta biztonságosnak mondható a fogyasztás, felette azonban potenciális egészségkárosító hatással jár.

A THQ és a HRI közötti különbség az, hogy a THQ főként az akut toxikológiai kockázatok mérésére alkalmas, a HRI az összesített kitettség hosszútávú hatásainak felmérésére szolgál.

Emiatt a THQ inkább az azonnali, míg a HRI a krónikus, kumulatív egészségügyi kockázatok meghatározásában játszik fontos szerepet. [10] [11].

Egy másik mutatószám a HI (Hazard Index), azaz a veszélyességi index. Ennek számítása során feltételezzük, hogy az adott élelmiszer fogyasztásánál egyszerre több, potenciálisan mérgező elemnek vagyunk kitéve. Emiatt – bár az egy-egy elemre nézett THQ érték nem éri el a kritikus számot –, az élelmiszer fogyasztása során a kumulatív hatás okozhat egészségügyi károkat. A HI érték esetében is az 1-es a kritikus szám, amely alatt biztonsággal, de felette nem ajánlott a fogyasztás [10].

3. Anyag és módszer

Ebben a fejezetben bemutatom a kutatómunkám során végzett méréseket, mérési módszereket, és az eszközöket, amelyek használtam.

3.1. Az öntözővizek

A kutatás során három különböző víztípussal dolgoztam, ivóvízzel, kezelt szürkevízzel és kezeletlen szürkevízzel. Az ivóvizet a vezetékes ivóvízhálózathoz vettem, míg a szürkevizet szintetikusán állítottam elő a Környezetmérnöki Tanszék korábbi évek során kifejlesztett [12] ivóvízalapú, állandó és határozott összetételű szintetikus úton előállított fürdővízparaméterét használva. Ez a víz összetételében jól jellemzi a háztartásokban fürdés során keletkező szürkevizet.

3.1.1 A szürkevíz kezelésének optimalizálása

Mielőtt a vizsgálatok során készítettem volna a kezelt szürkevizet, meg kellett határoznom a használandó koaguláló szer mennyiségét. A kezelés során 25 g/l $\text{FeCl}_3 \times \text{H}_2\text{O}$ –ot használtam koagulálás-flokkulálásra, utána pedig mechanikus szűrőn szűrtem át a vizet. A vasklorid mennyiségének optimalizálásához több vizsgálatosorozatot végeztem, ahol különböző arányokban adagoltam a koaguláló szert, és a megfelelő kevertetés után vizsgáltam a zéta-potenciál értékét. A kapott eredmények alapján megkaptam a megfelelő dózist.

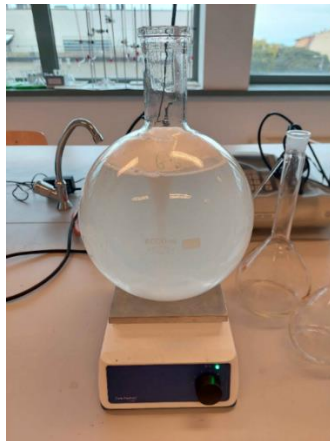
3.1.2 Öntözővizek létrehozása

Ahogy említésre került, már kutatás során szintetikus fürdővizet készítettem. Ez a szintetikus fürdővíz volt a kezeletlen szürkevízmintám. Ennek elkészítéséhez a tanszék – korábbi kutatásaiban kifejlesztett – receptúráját használtam [12].

Az ivóvízhez az alábbi anyagokat adtam hozzá:

- 0,1 g/l kukoricaolaj,
- 0,15 g/l növényi tápanyag,
- 0,05 g/l sampon,
- 0,2 g/l tusfürdő.

A homogenizálás érdekében 15 percig magas fokozaton kevertettem a vizet mágneses keverőn, utána pedig lassú fokozaton hagytam, hogy folyamatosan keveredjen a víz, elkerülve, hogy bármiféle ülepedés megvalósuljon, ahogyan azt az 1. ábra is szemlélteti.



1. ábra: Szürkevíz homogenizálása (saját fotó)

A kezelt szürkevíz elkészítéséhez a kezeletlen szürkevíznek vettem ki részletét és azzal dolgoztam tovább. Az optimalizálás során meghatározott vas(III)-klorid mennyiséget hozzáadtam a vízhez magas kevertetési fokozaton, és 30 másodpercig kevertettem ezen a szinten, ez volt a koagulálás folyamata, majd a kevertetési fokozatot csökkentettem a legalacsonyabbra, és azon hagytam 5 percig, ez a folyamat pedig a flokkulálás volt. Utána leállítottam a kevertetést és 5 percig hagytam ülepedni a vizet. Ülepedés után mechanikai szűrést alkalmaztam, azaz egy homokszűrőn engedtem át a vizet [12].

A kutatás során 3 alkalommal készítettem vízmintát és ezeket hűtőben tároltam 4 °C-on.

3.2. Öntözővizek minősítése

Az ivóvizet, a kezeletlen és kezelt fürdővizet, az alábbi paraméterek szerint jellemeztem:

- pH-érték,
- zavarosság (röviden: TURB),
- zéta-potenciál (röviden: ZP),
- vezetőképesség (röviden: EC),
- szervesanyag-tartalom (kémiai- (röviden KOI), biológiai oxigénigény (röviden BOI), teljes szerves széntartalom (röviden TOC)).

3.2.1 A pH-érték mérése

A pH-érték egy dimenzió nélküli paraméter, amely az oldat kémhatásáról ad információt, azaz megmutatja, hogy az adott oldat mennyire savas vagy lúgos. Ezt egy 0-tól 14-ig tartó skálán teszi, ahol 0-tól 7-ig savas, 7-től 14-ig pedig lúgos kémhatással rendelkezik az adott oldat. A 7-esre pH-semlegesként tekintünk. Az oldat minél jobban eltér a 7-es pH-értéktől, annál erősebben savas vagy lúgos. Számítása során a hidrogénion-koncentráció negatív előjelű

tízes alapú logaritmusát használjuk. A logaritmus miatt, a savasság vagy lúgosság értéke egységenként 10-szeresére változik [13].

A pH-érték mérésére különböző eszközöket használhatunk, attól függően, hogy mennyire pontos eredményt szeretnénk elérni. A leggyorsabb és legegyszerűbb módszer az indikátor papír, amely a pH-érték alapján színt vált, amint az oldattal érintkezik. Azonban ez nem fog pontos értéket mutatni. A legpontosabb értéket azok az elektrokémiai mérések biztosítják, ahol egy kombinált üvegelektrod (2. ábra) segítségével mérjük a pH-értéket. Ez az érzékelő egy olyan speciális galvánelem, amelynek az elektromotoros ereje, egy adott tartományon belül, egyenesen arányosan változik a H^+ -koncentrációjával [13].



2. ábra: SenTix 41 kombinált pH elektróda (saját fotó)

A vízminősítések során a tanszéki laboratóriumban található MultiLine4 mérőbőröndjében lévő SenTix 41 kombinált pH elektródát (2. ábra) használtam, és a minta elemzésekor három párhuzamos mérést végeztem.

3.2.2 Zavarosság mérése

A zavarosságot (TURB) kolloid méretű, oldhatatlan, szerves és szervetlen részecskék okozzák. A részecskék jelenléte miatt a fény nem jut át egészében a folyadékon, hanem egy része elnyelődik, vagy pedig visszaverődik. Ennek mérésére két módszert használhatunk, nefelometriás módszert, amely a szórt fény intenzitását méri, vagy turbidimetriás módszert, amely az áthaladó fény intenzitását méri. A kutatás során nefelometriás módszerrel mértem a zavarosságot, ugyanis ez a módszer bebizonyította, hogy különösen alacsony méréstartományokban is remekül működik, és emiatt nemzetközileg elismert módszerré vált a zavarosság mérése során [13].



3. ábra: Turb 555-IR zavarosságmérő (saját fotó)

A vizsgálataim során a 3. ábrán látható Turb 555-IR típusú készüléket használtam. Ennek a készüléknek kivételesen nagy a méréstartománya, ugyanis 6 nagyságrendet fog át (0,01-9999 NTU). Minden minta elemzésekor három párhuzamos mérést végeztem.

3.2.3 Zéta-potenciál és fajlagos vezetőképesség mérése

A zéta-potenciál (ZP) mérése során a diszpergált nanoszemcsék, vagy kolloidok felületén lévő töltést vizsgáljuk. Emiatt a töltés miatt a részecskék felületén kettősréteg keletkezik, hiszen a diszpergáló közegből szemcsék felületi töltését ellenionok egyenlítik ki. Ezen a kettősrétegen belül kialakuló elektromos potenciált mérjük a zéta-potenciál mérése során. A zéta-potenciál értéke jó közelítés ahhoz, hogy mennyire stabil az adott oldat, és mivel könnyebben meghatározható, mint maga a stabilitás, gyakran használjuk annak mérésére [14].

A fajlagos vezetőképesség (EC) mérése során az oldat ionkoncentrációját vizsgáljuk, hiszen minél több ion található az oldatban, annál nagyobb a vezetőképessége. Emiatt a fajlagos vezetőképesség az oldat tisztaságáról is ad információt. A legtisztább vizek fajlagos vezetőképessége átlagosan 0,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$, míg az ivóvizeink, felszíni vizeink 100 és 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között mozognak [15].



4. ábra: Zetaseizer NanoZ zéta-potenciál- és fajlagos vezetőképesség mérő (saját fotó)

A méréseim során a Zetaseizer NanoZ készüléket (lásd 4. ábra) használtam, mind a zéta-potenciál mind a fajlagos vezetőképesség méréséhez. Ez az eszköz a mérések során három párhuzamos mérést végez, majd azoknak az átlagát adja meg.

3.2.4 Szervesanyag-tartalom mérése

A szervesanyag-tartalmat 3 különböző módszer segítségével vizsgáltam, a kémiai és a biológiai oxigénigény, valamint a teljes szerves széntartalom alapján.

3.2.4.1 Kémiai oxigénigény

A kémiai oxigénigény (KOI) az az oxigénmennyiség, amely a szerves anyagok kémiai úton való lebontásához szükséges. Meg lehet határozni klasszikus analitikai és műszeres módon is. A klasszikus analitikai módszer során különböző oxidáló szerekkel dolgozhatunk. A mérés során a vízmintát a kiválasztott oxidálószerrel felforraljuk. Ekkor a szerves anyag egy része reakcióba lép az oxidálószerrel, így a mérés során az oxidálószer mennyiségét figyeljük, és ebből számoljuk a vele egyenértékű oxigén mennyiségét. Különböző erősségű oxidálószerrel különböző eredményeket produkálnak, emiatt az eredmény közlésekor fontos, hogy feltüntessük a használt oxidálószerünket is [15].

A műszeres vizsgálatok során az eredményt gyorsabban, egyszerűbben és biztonságosabban kapjuk meg, emiatt méréseim során én is műszeresen vizsgáltam a kémiai oxigénigényt.



5. és 6. ábra: NANOCOLOR Vario 2 roncsoló és NANOCOLOR Linus KOI mérőegység
(saját fotó)

Ehhez a NANOCOLOR Linus (6. ábra) KOI mérőegységet használtam, amely fotometriás úton határozza meg a kémiai oxigénigényt. Ezt egy úgynevezett roncsolási folyamat előzi meg. Ez a roncsolás egy termikus kezelés, amely során a testcsövekben lévő, előre elkészített reagenshez (kálium-dikromát és kénsav) hozzáadunk a vizsgálandó folyadékból 2 ml-t. Ezt alaposan összerázzuk, majd pedig 160 °C-on 30 percig roncsoljuk egy termoblokk (5. ábra) segítségével. Ezután spektrofotométer segítségével mérjük a kémiai oxigénigény értékét. Ezt az értéket mg/l-ben kapjuk meg.

3.2.4.2 Biológiai oxigénigény

„A biológiai oxigénigény (BOI) az az oldott oxigénmennyiség, amely a vízben levő szerves anyagok aerob baktériumok általi lebontásához bizonyos időtartam és hőmérséklet mellett szükséges” [15]. Ezen érték alapján következtethetünk a vizsgált minta szervesanyag-tartalmának mértékére. Elméletben a biológiai lebomlás végtelen hosszúságú idő alatt megy végbe, azonban a gyakorlatban az bizonyosodott, hogy 20 nap alatt lezajlik. Ennek ellenére a leggyakoribb biológiai oxigénigény mérése a BOI₅-öt alkalmazzuk, amely 5 napig mér, ugyanis bebizonyosodott, hogy öt nap alatt a szervesanyag-tartalom 70-80%-a elbomlik, így egy egyszerű számítással megadhatjuk a BOI₂₀-at, az (1.) egyenlet segítségével:

$$BOI_{20}=1,25 \times BOI_5 \quad (1.)$$

A biológiai oxigénigény nagy spektrumon mozoghat. Minél tisztább egy víz, annál kisebb lesz az értéke, például az ivóvíz, vagy a tisztított szürkevíz értéke 5–15 mg/l O₂ körül mozog, míg a kommunális szennyvíz 100–200 mg/l O₂, az ipari szennyvíz értéke pedig akár 400-tól több ezer mg/l O₂ is terjedhet. Ezen nagy különbségek miatt a szennyezés mértékétől függően különböző mennyiségeket kell bemérnünk [15].

1. táblázat: BOI₅ bemérési táblázat

Mérési tartomány [mg/l]	Bemérendő minta térfogata	Digitszorzófaktor	NTH csepp
1-40	432	1	9
10-400	164	10	3
20-800	97	20	1



7. ábra: BOI OXITOP IS 12 manometrikus mérőüvegek (saját fotó)

A mérést manometrikus elven működő OxiTop IS 12 típusú berendezéssel (lásd 7. ábra) végeztem, amely az alábbi részegységekkel rendelkezik:

- OxiTop mérőfej, PF 600 barna mérőüveg, GK 600 gumikosár, RST 600 keverőpálca, keverőegység hálózati adapterrel, REF 600 keverőpálca-kiemelő, NHP 600 NaOH tabletta, NTH 600 nitrifikáció gátló reagens, MK 164/600 ill. MK 432/600 túlfolyós mérőlombik [15].

A mérés során – mindegyik vízmintából – párhuzamos méréseket végeztem. A mérés során az 1. táblázatnak megfelelő mennyiséget mértem be a túlfolyós mérőlombikok segítségével. Ezt úgy végeztem el, hogy először átöblítettem a mérőlombikokat a mintával, utána pedig púposra töltöttem őket, és tölcsér segítségével beletöltöttem a barna mérőüvegbe. Ezután mágneset helyeztem az üvegbe és a száraz gumikosarat is a helyére tettem, amibe pedig 3 db NaOH tablettát helyeztem, ami megköti a keletkező CO_2 -ot. Végezetül ráhelyeztem a mérőfejet, elindítottam a mérést, elhelyeztem az üvegeket egy termosztátszekrénybe, és öt nap elteltével leolvastam a BOI_5 értékeket.

3.2.4.3 Teljes szerves széntartalom

A teljes szerves széntartalom (TOC) a vízben lévő különböző szerves anyagokban található szén jelenlétét jelenti. Ennek mérése során a vegyületekben lévő széntartalom oxidálódik, emiatt a szénből CO_2 lesz, amelyet pedig infravörös detektálással mérünk [16].



8. ábra: Shimadzu TOC-VCN szervesanyag mérőegység (saját fotó)

A méréseim során a Shimadzu TOC-VCN (lásd 8. ábra) típusú készülékkel dolgoztam, amely 4 különböző paraméter mérésére alkalmas, amik az alábbiak:

- TC: összes széntartalom,
- TOC: összes szerves széntartalom,
- TIC: összes szervetlen széntartalom,
- NPOC: összes nem kiűzhető szerves anyagtartalom.

Az NPOC és a TOC a gyakorlatban megegyezik, ha a vizsgálandó anyag nem tartalmaz illékony szerves vegyületet. Mivel a vizsgálandó vízmintáim nem tartalmaztak illékony szerves vegyületet, emiatt az NPOC mérésmódot alkalmaztam. Az eredmények kiértékelésére a TOC

Control-V nevű szoftvert használtam. A mérés előtt a vízmintákat 0,45 µm pórusátmérőjű membránszűrőn szűrtem át. [15] [16].

3.3. Mikrozöldek termesztésének lépései

A mikrozöldek termesztésénél az elsődleges célunk egy olyan környezet megteremtése, ahol a mag kicsírázik. Legelső lépésként minden felületet lefertőtlenítettünk 3%-os hidrogén-peroxid oldattal, ezzel elkerülve azt, hogy a növények a fejlődésük során nem kívánatos anyagokkal érintkezzenek, esetleg beépítsék őket.

1. A fertőtlenítést követően ültetőtálcákba helyeztünk rostlapokat és azokat alaposan átnedvesítettük azzal a víztípussal, amellyel a kísérlet során öntözve lesz.
2. Kimértük a rostlapra javasolt mag mennyiségét tömeg alapján, ezt a rostlap webáruházában találtuk meg. (A webáruházi rostlapokat negyedeltük, emiatt a javasolt tömegeket is negyedeltük)



9. ábra: Magok elvetése (saját fotó)

3. A magokat egységesen eloszlattuk a nedves rostlapokon (lásd 9.ábra) és víztípus alapján összecsoportosítottuk az ültetőtálcákat.
4. Spriccelővel benedvesítettük a magokat, majd a párás környezet megtartása érdekében műanyag burákkal fedtük le őket.

A mikrozöldek nevelése során – a csírázás folyamata alatt –, napi kétszer spricceltük őket, reggel és késő délután. A csírázás alatt végig búra alatt voltak a növények.



10. ábra: Csírázó magok (saját fotó)

Miután elkezdtek kifejlődni a növények (lásd 10. ábra) megnőtt a vízigényük, és csökkent az igényük a párára, emiatt eltávolítottuk a műanyag burákat. A locsolás során a spriccelés mellett automata pipettával adagoltuk nekik az öntözővizet, szintén napi kétszer. Az adagolt víz mennyisége arányosan nőtt a fejlettségük szintjével. Míg kisebbek voltak 10 ml vizet kaptak, a teljes fejlettségi szinten (lásd 11. ábra) pedig 50 ml vízre is szükségük volt.



11. ábra: Kifejlett mikrozöldségek (saját fotó)

A 10. nap arattuk le a növényeket előzetesen lefertőtlenített olló segítségével (lásd 12. ábra).



12. ábra: Lemetszett mikrozöldségek (saját fotó)

A vizsgálat során a rostlapokat a legeldle.hu webáruházból rendeltem. A magok közül a búza és a vöröskáposzta magját szintén erről a webáruházból rendeltem, míg a lucerna az „Organic sprout” márka csíráztatáshoz ajánlott magja, a brokkolit pedig a Rédei Kertimág Zrt. által forgalmazott, szintén csíráztatáshoz ajánlott brokkolimagjából neveltem.

3.4. Mikroöldségek minősítése

Ebben a fejezetben külön a mikroöldségek minősítése kerül bemutatásra, kifejezett hangsúlyt adva az elemanalitikai mérésnek, és a fogyaszthatósági vizsgálatnak.

3.4.1 Tömegmérés

A tömegmérést analitikai mérlegen végeztem el. A kutatás során lemértem a magok tömegét, a nedves biomassza tömegét, és a száraz biomassza tömegét is. Ez a mérés jó rálátást ad arról, hogy mekkora tömegű mag mekkora tömegű biomasszát tud szolgáltatni, megmutatja a különböző víztípusokon növesztett mikroöldségek közötti különbséget, ezen kívül alapköve a nedvességtartalom meghatározásának.

3.4.2 Nedvességtartalom meghatározása

A nedvességtartalom meghatározása során a nedves és a száraz biomassza tömegét vettem alapul. Ehhez a frissen levágott mikroöldségek tömegét megmértem analitikai mérleg segítségével, majd szárítószekrénybe raktam őket, és 50 °C-on tömegállandóságig szárítottam a növényeket. A száradás után újból megmértem a tömegüket, és az eredményekből kiszámoltam a nedvességtartalmat a (2.) képlettel:

$$\text{Nedvességtartalom [\%]} = \frac{\text{nedves biomassza [g]} - \text{száraz biomassza [g]}}{\text{nedves biomassza [g]}} * 100 \quad (2.)$$

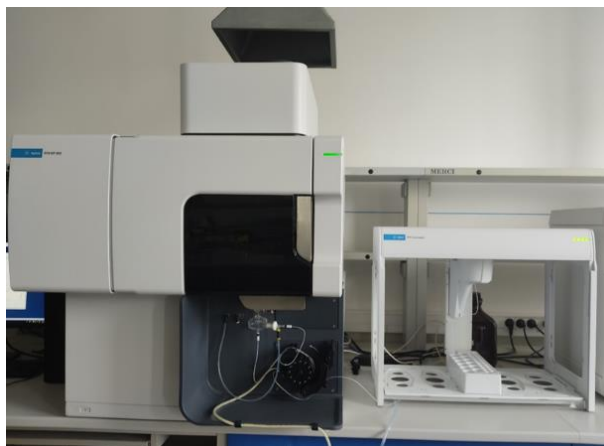
3.4.3 Növényhossz mérése

A növényhossz mérése során frissen vágás után egy vonalzó segítségével mértem meg a növényeknek a hosszát. A „bokrosabb”, sok kis magból kinőtt növények esetében 20-20 szálát mértem meg. Abban az esetben, amikor nagyobb magból és ezáltal kevesebb egyedszámmal növesztettem, akkor az összes egyed mérésre került. Ezeket az értékeket utána átlagoltam, és így megkaptam a növények átlagos hosszát.

3.4.4 Elemanalitikai mérés ICP-OES készülékkel

Az ICP-OES a rövidítése az induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrográfiának. Ez, a nevéből adódóan is, egy optikai emissziós módszer, amelynek a fő célja az elemanalitikai meghatározás, azaz, hogy meghatározzuk az adott minta elemösszetételét. A használata során a mintát be kell juttatnunk a sugárforrásba, ott fog a minta elpárologni, atomjaira bomlani, gerjesztett állapotba lépni, és ionizálódni. Ezután a gerjesztett állapotból való visszatérés során a felszabadult energiát az atomok fény formájában adják le, a rájuk jellemző hullámhosszon. Ezt a fényt egy optikai ráccsal vagy prizmával hullámhossz szerint kell felbontani és így tudjuk detektálni, hogy melyik anyag mennyi fényt emittált. Ebből az adatból meghatározható az adott atomok mennyisége a mintában [17].

ICP-OES részei: plazma sugárforrás, rádiófrekvenciás generátor és illesztő egység, gázadagoló egység, mintabeviteli egység, leképező egység, fényfelbontó egység, optikai detektor, számítógépes adatgyűjtő és vezérlő egység [17].



12. ábra: ICP-OES készülék

A kutatás során az elemanalitikai vizsgálatokat a társlaborunk végezte el a Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékén, és Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Zn elemek kerültek meghatározásra. Ezen elemekhez kapcsolódó kimutatási értékeket a 2. táblázatban foglaltam össze [18].

2.táblázat: A mért elemek LoD értékei ICP-OES módszerrel [19]

Elemek	LoD ($\mu\text{g/l}$)	LoD (mg/kg)		Elemek	LoD ($\mu\text{g/l}$)	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				

A vízminták elemanalitikai vizsgálata előtt 0,45 μm pórusátmérőjű membránszűrőn szűrtem át a mintákat, majd tömény salétromsavval tartósítottam. A növényi minták

oldatbaviteléhez mikrohullámú roncsolóberendezést alkalmaztak a Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék laboratóriumában, ahol is 6 ml tömény salétromsav és 2 ml 30%-os hidrogén-peroxid elegyet használtak, amelyet utána 25 ml-es centrifugacsőbe töltöttek, és szobahőmérsékleten tároltak a vizsgálat idejéig.

3.4.5 Fogyaszthatósági vizsgálat

A fogyaszthatósági vizsgálat során az a célunk, hogy meghatározzuk, hogy az adott élelmiszer fogyasztása káros-e az egészségünkre. Ennek meghatározása során főleg a fémek és nehézfémek mennyiségét vesszük figyelembe, amelyet egy elemanalitikai vizsgálat során tudunk meg [10] [18]. Ezen vizsgálat során 20 különböző elem koncentrációját határozzák meg ICP-OES segítségével, és az eredményeket mg/kg mértékegységben közlik. Azaz ez a vizsgálat megmutatja, hogy az adott elem hány mg-ot tesz ki 1 kg-ból. Ennek a vizsgálatnak a segítségével meghatározhatjuk a célveszélyességi hányadost (THQ), és az egészségkockázati indexet (HIR). A szakirodalomban [20] fogyaszthatósági vizsgálat során mikrobiológiai vizsgálatokat is előírnak, viszont mivel a kutatásom során szintetikus fürdővízmintával dolgoztam, emiatt erre nekem nem volt szükségem.

A fogyaszthatósági vizsgálat során a célveszélyességi hányadost, azaz a THQ-t határoztam meg. A célveszélyességi hányados egy arányszám, amely a nehézfém-koncentráció és az orális referenciadózis aránya, továbbá még súlyozva van az expozíció időtartalmával, gyakoriságával, és a testtömeggel. Ha a $THQ > 1$ akkor az adott élelmiszer fogyasztása kockázattal jár a magas nehézfém-koncentrációból adódóan [11]. Kiszámításához a (3.) képletet használjuk:

$$THQ = \frac{EF \times ED \times IR \times C_m \times 10^{-3}}{RfD \times BW \times TA} \quad (3.)$$

ahol: EF: expozíciós gyakoriság (nap/év), ED: expozíció időtartama (év), IR: növény lenyelési aránya (g), C_m : nehézfém koncentráció (mg/kg), RfD: referenciadózis (mg/kg/nap), BW: felnőttkori átlagtesttömeg (kg), TA: átlagos expozíciós idő (nap) [11].

A referenciadózis egy számított érték, amelyet az USEPA közölt le a kockázati paraméterlistában [20].

3. táblázat: Nehézfémek referenciadózisa (RfD) [20]

	A vizsgált elemek								
Elemek	Al	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
RfD	1	0,001	0,003	0,04	0,7	0,14	0,02	0,0035	0,3

A számításaim során azt a maximális értéket szerettem volna meghatározni, amelyet még biztonsággal elfogyaszthatunk. Emiatt a 4. táblázatban szereplő adatokkal számoltam.

4. táblázat: A THQ, HRI és HI számításához felhasznált értékek

Jelölések	Paraméterek	Használt értékek
EF	expozíciós gyakoriság (nap/év)	365
ED	expozíció időtartama (év)	70
BW	felnőttkori átlagtesttömeg (kg)	70
IR	növény lenyelési aránya (g)	10

Az IR, azaz a növény lenyelési aránya esetében átlagosan napi 10 grammot fogyasztunk, amely tudományos szakcikk alapján lett meghatározva, azonban a maximális fogyasztható mennyiség meghatározása miatt a THQ értéket fokozatosan növekvő IR értékeket használva számoltam ki [21].

Amikor fogyaszthatóságról beszélünk, nem csak a THQ-t kell kiszámolnunk, hanem a HRI értéket is, azaz az egészségkockázati indexet. Ez az index meghatározza a nem rákkeltő hatások egészségügyi kockázatát. Hasonlóan, mint a THQ értéknél, itt is az 1-es szám a kritikus érték. Ha a HRI eléri az egyet, akkor problémát okozhat az adott növény fogyasztása.

A HRI kiszámításához előbb a DIR értéket kell meghatároznunk. A DIR megbecsüli, az adott testtömegű ember testrendszerének átlagos napi fémterhelését [10]. Számítása során a (4.) képletet használjuk:

$$DIR = \frac{C_m \times C_f \times IR}{BW} \quad (4.)$$

Ahol: C_m : nehézfém koncentráció (g/kg), C_f : konverziós faktor, amely a nedves tömeget száraz tömeggé alakítja, IR: növény lenyelési aránya (g), BW: felnőttkori átlagtesttömeg (kg) [10]

A HRI az (5.) képlettel állapítható meg:

$$HRI = \frac{DIR}{RfD} \quad (5.)$$

Ahol: DIR: napi beviteli arány (mg/kg/nap); RfD: referenciadózis (mg/kg/nap) [10]

A THQ és HRI értékek mellett a HI veszélyességi indexet is meghatározom, amely alapján a külön elemekre kiszámolt THQ értékeket adjuk össze (lásd 5. képlet), mivel ennél az értéknél azt feltételezzük, hogy a különböző elemek együttesen hatnak a szervezetben. A HI számolása az alábbi (6.) képlettel végezhető el [10]:

$$HI = \sum_{N=1}^i THQ_n \quad (6.)$$

4. Eredmények és kiértékelésük

Az alábbi fejezetben bemutatom, és értékelem a kutatás során kapott eredményeket, mind a víz, mind a mikroöldségek esetében.

4.1. A szürkevíz kezelésének optimalizálásálsa

Az optimalizálás során a célom a koagulálószer mennyiségének pontos meghatározása volt. Ez a folyamat még a mikroöldségek nevelése előtt zajlott le. A mérés során 3 különböző alkalommal készítettem szürkevizet, ezzel a szürkevíz készítésének módszerét is elsajátítva. A vizekből 100 ml-es egységeket mértem ki, és különböző mennyiségű koagulálószerrel adtam hozzá. Ezután a zéta-potenciál értékeket figyeltem, hogy melyik mennyiség közelít leginkább a 0 mV értékhez.

5. táblázat: Zéta-potenciál értékek különböző koagulálószer-mennyiség adagolása mellett

Vas(III)klorid mennyisége [μl/100 ml]	1. mérés átlaga szórással	2. mérés átlaga szórással	3. mérés átlaga szórással
0	-39,6 ± 0,67	-23,7 ± 0,95	-25,53 ± 0,64
700	-8,02 ± 1,24	-7,01 ± 0,65	-7,43 ± 0,51
800	-3,96 ± 0,40	-3,93 ± 1,77	-1,36 ± 0,08
900	-1,70 ± 0,17	-0,37 ± 0,38	0,76 ± 0,44
1000	4,97 ± 0,95	4,20 ± 0,37	6,47 ± 0,10

Az 5. táblázatban láthatjuk, hogy abban az esetben voltunk a legközelebb a 0 mV-hoz, amikor 100 ml szürkevízhez 900 μl vas(III)kloridot adtam. Ezekből az eredményekből adódóan ennek az aránynak megfelelően kezeltem a szürkevizet, majd ezt követően homokszűrőn szűrtem át.

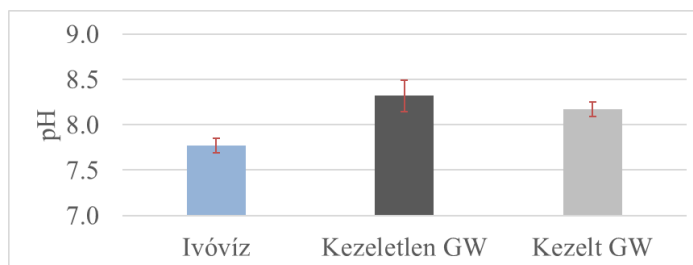
4.2. Az öntözővíz paraméterei

A kutatás során három különböző alkalommal készítettem szintetikus kezelt és kezeletlen szürkevizet, és ehhez igazodva 3 alkalommal vettem csapvízmintát is. A vizek paramétereit típusonként átlagolva mutatom be diagrammok segítségével, és ezeket hasonlítom össze. A kapott mérési eredményeim táblázatos formában megtalálhatók a 9. melléklet 9.1 táblázatában (lásd 53. oldalon).

4.3. Öntözővizek eredmények összehasonlítása:

4.3.1 A pH érték

A pH értékek esetében a kémhatást mérjük. Ez a kémhatás megmutatja, hogy az adott minta mennyire savas vagy lúgos.

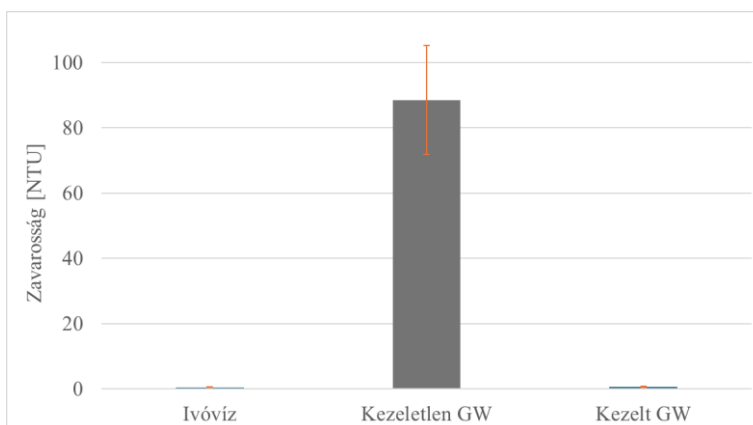


13. ábra: Az öntözővizek pH-értékei

A 13. ábrán látható diagrammot figyelve láthatjuk, hogy a legmagasabb pH-értékkal rendelkező minta a kezeletlen szűrkevíz, amíg a legalacsonyabb az ivóvízé. Fontos azt is megjegyezni, hogy az ivóvíz pH-értéke alapvetően magasabb a semlegesnél, hiszen 7 helyett 7,77. Ez csupán azt jelenti, hogy a csapvíz, amivel dolgoztam, lúgosabb hatású. Azt is megfigyelhetjük, hogy a kezelt szűrkevíz pH-értéke a kezelés során csökkent, azaz kezdett közelíteni az ivóvízminta értékéhez. Ez azt jelenti, hogy a kezelés során sikerült azoknak a tényezőknek egy részétől megtisztítani a vizet, amelyek a pH-érték emelkedését szolgálják, anélkül, hogy kifejezetten savat alkalmaztunk volna a pH-érték csökkentéséhez.

4.3.2 Zavarosság értéke

A zavarosságmérésnél a kolloid méretű, oldhatatlan, szerves vagy szervetlen részecskék jelenlétét vizsgáljuk. Minél nagyobb a zavarosság értéke, annál több oldhatatlan részecskét tartalmaz az adott minta. Ebből kiindulva láthatjuk a 14. ábrán, hogy a legtöbb kolloidot a kezeletlen szűrkevíz tartalmazza. Ez az érték kimagaslóan nagy, mind az ivóvízéhez, mind a kezelt szűrkevízéhez képest.

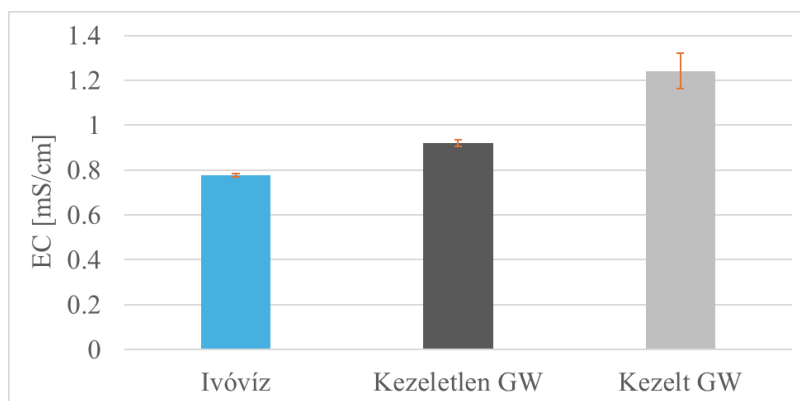


14. ábra: Az öntözővizek zavarosság értékei

Nagy pozitívum, hogy a kezelt szürkevíz értéke közel megegyezik az ivóvíz értékével. Emiatt következtethetünk arra, hogy a kezelés során sikerült megtisztítani a vizet az oldhatatlan részecskéktől.

4.3.3 Vezetőképesség értéke

A vezetőképesség során az oldott ionkoncentrációt vizsgáljuk. A három különböző vízminta átlag vezetőképesség értékeit a 15. ábrán mutatom be.

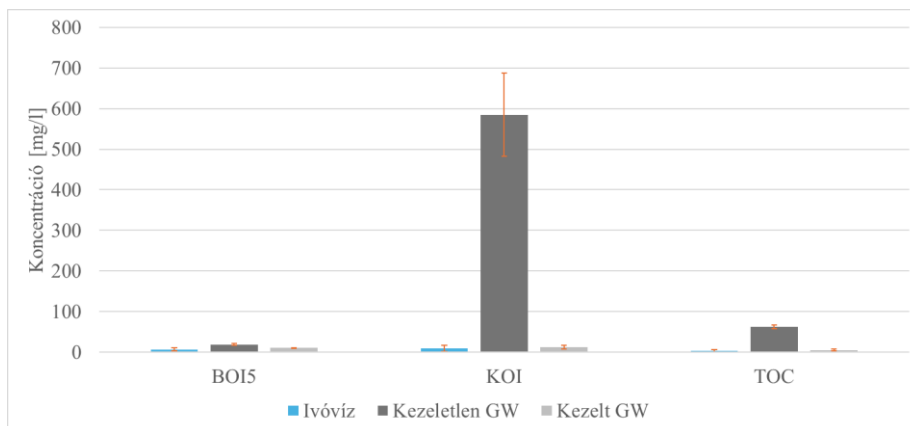


15. ábra: Az öntözővizek vezetőképesség értékei

A 15. ábra elemzése során megállapítható, hogy a legkisebb oldott ionokat az ivóvíz tartalmazza. A szürkevíz kezelése során az ionkoncentráció megemelkedett, majd a kezelés során ez a folyamat tovább folytatódott. Feltételezhetjük, hogy a kezelés során alkalmazott vas(III)-klorid oldat miatt emelkedett a kezelés után a vezetőképesség értéke.

4.3.4 Szervesanyag-tartalom

A szervesanyag-tartalom vizsgálata során a biológiai és kémiai oxigénigény mellett a teljes szerves széntartalmat vizsgáltam. Ez a három érték többértéken mutatja meg a vizek szervesanyag-tartalmát.



16. ábra: Az öntözővizek szervesanyag-tartalma

A biológiai oxigénigény esetében az értékeket figyelve (16. ábra) láthatjuk, hogy a BOI_5 értékek alacsonyabbak, mint a KOI értékek. Ez azt jelenti, hogy jóval kevesebb biológiailag lebomló szerves anyag található meg a vízmintákban mint kémiaiilag lebomló szerves anyag. Ebben az esetben is az ivóvíz tartalmazza a legkevesebbet, a kezeletlen szürkevíz a legtöbbet, és a kezelt szürkevíz értéke pedig a kettő között helyezkedik el.

A kémiai oxigénigény (KOI) érték során meghatározzuk azon szerves alkotók számát, amelyek kémiaiilag lebonthatóak. Azt láthatjuk, hogy a kezeletlen szürkevíz olyan kimagasló eredményt mutat, hogy mind az ivóvíz, mind a kezelt szürkevíz értékei elenyészőek mellette.

A teljes szerves széntartalom esetében ismét azt látjuk, hogy a kezeletlen szürkevíz rendelkezik a legtöbb szerves anyaggal, míg az ivóvíz és a kezelt szürkevíz értéke lényegesen alacsonyabb.

Mindhárom jelző megmutatja, hogy bár a kezeletlen szürkevíz esetén megemelkedik a szervesanyag-tartalom a kezelés során sikerült ezt lecsökkenteni, ami jelzi a BOI_5 esetében $95,1 \pm 1,4\%$ -kal, a KOI-nál $97,9 \pm 0,3\%$ -kal és a TOC tekintetében $97,2 \pm 3,1\%$ -kal, ami azt jelzi, hogy a kezelés sikeres volt.

4.3.5 Öntözővizek makro- és mikroelem-tartalma

Az ICP-OES készülékkel is elemzésre került az öntözővizek makroelem-tartalma (6. táblázat) és mikroelem-tartalma (7. táblázat).

6. táblázat: A vizek makroelem-tartalma mg/l mennyiségben

		Ca	K	Mg	Na	P	S
Ivóvíz	átlag	69,77	2,27	18,67	38,83	0,04	0,98
	szórás	2,20	0,03	0,57	1,53	0,02	0,52
Kezeletlen GW	átlag	69,3	3,92	19,13	65,27	0,57	2,38
	szórás	0,7	0,10	0,21	2,90	0,16	0,22
Kezelt GW	átlag	106,27	4,44	22,6	54,43	0,08	1,83
	szórás	5,62	0,35	4,55	2,05	0,04	0,42

A 6. táblázatban látható, hogy amíg az ivóvíz és a kezeletlen szürkevíz esetében közel azonos mennyiségben volt megtalálható a kalcium, addig a kezelt szürkevízben egy jóval nagyobb érték került detektálásra. A kálium és magnézium értékei közel azonosak voltak a vízmintában, mindkettő esetében csak egy kis emelkedés vélhető fel a szürkevíz készítése,

majd kezelése után. A nátrium, foszfor és kén esetében pedig a kezeletlen szürkevíz-mintában megemelkedik, majd a kezelés után pedig lecsökken a koncentráció.

7. táblázat: A vizek mikroelem-tartalma

		Al [µg/l]	B [µg/l]	Ba [µg/l]	Cu [µg/l]	Fe [µg/l]	Sr [µg/l]	Zn [µg/l]
Ivóvíz	átlag	7,5	150	145	49	<LoD	351	306
	szórás	2,1	19	6	7,5	-	9	61
Kezeletlen GW	átlag	13	150	150	66	12*	347	264
	szórás	2,5	16	7	16	-	6	54
Kezelt GW	átlag	15	168	48	12	<LoD	418	10
	szórás	6	10	8	1	-	66	3

Megjegyzés: * Egy alkalommal volt detektálható mennyiségben.

A mikroelemek közül a kadmium, kobalt, króm, lítium, mangán, nikkel és ólom kimutatási határ alatt volt, míg a vas éppen, hogy kimutatható volt egy mintában. Az alumínium és a stroncium esetében a koncentráció emelkedett mind a szürkevíz készítése után, mind annak kezelése után. A bór és bárium tartalom alig változott a kezeletlen szürkevíz esetében az ivóvízéhez képest, azonban a kezelés után a bór megemelkedett, míg a bárium lecsökkent. A réz esetében a kezeletlen szürkevíz értéke megemelkedett az ivóvízéhez képest, utána pedig lecsökkent a kezelés után az ivóvíz értéke alá. A cink legmagasabb koncentrációban az ivóvízben volt kimutatható, majd fokozatosan csökkent a szürkevíz készítése után, és drasztikusan tovább csökkent a kezelés során.

4.4. A kifejlett mikroöldségek paraméterei

A mikroöldségeket 10 napig hagytam növekedni, és összesen 4 fajta növényt vizsgáltam, 3 különböző víztípuson, ezek a kontrollként használt ivóvíz, a kezelt és a kezeletlen szürkevíz. A 10 nap eltelte után olló segítségével eltávolítottam őket a rostlapról és nedvességtartalmat, növényhosszt és produktumot mértem, ezen kívül pedig vizsgáltam ezen növények fogyasztathatóságát.

4.4.1 A búza paraméterei



17. ábra: Kifejlett búza mikroöldség

A 17. ábrán láthatjuk a kifejlett búza mikroöldségeket, balról jobbra haladva az ivóvízen, kezeletlen szürkevízen és kezelt szürkevízen nevelkedetteket. A búza adatait az alábbi, 8. táblázat mutatja be.

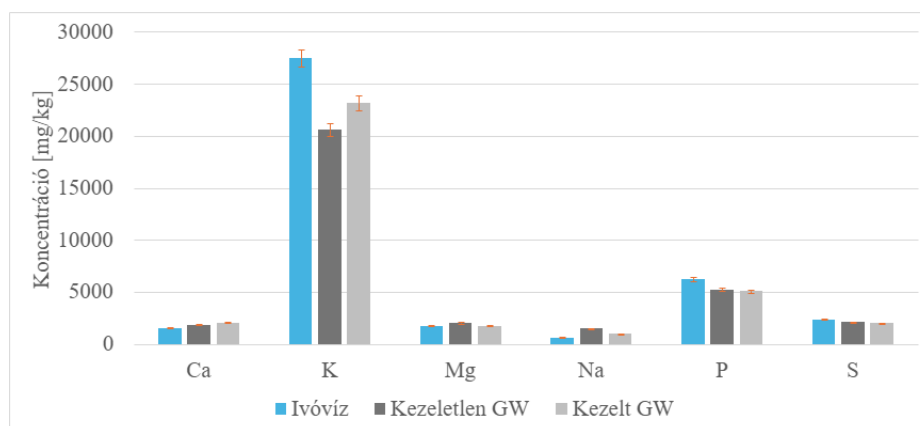
8. táblázat: A búza adatai

	Ivóvíz	Kezeletlen GW	Kezelt GW
Mag tömeg [g]	4,2	4,2	4,2
Darabszám	77	82	72
Átlaghossz [cm]	$7,29 \pm 2,50$	$12,12 \pm 4,10$	$10,02 \pm 2,78$
Nedves biomassa [g]	3,67	6,43	4,70
Száraz biomassa [g]	0,47	0,91	0,59
Nedvességtartalom [%]	87	86	87

A búza értékelése során minden egyes szál külön lett lemérve, mivel szemmel láthatólag a szálak között nagy differencia vélhető fel.

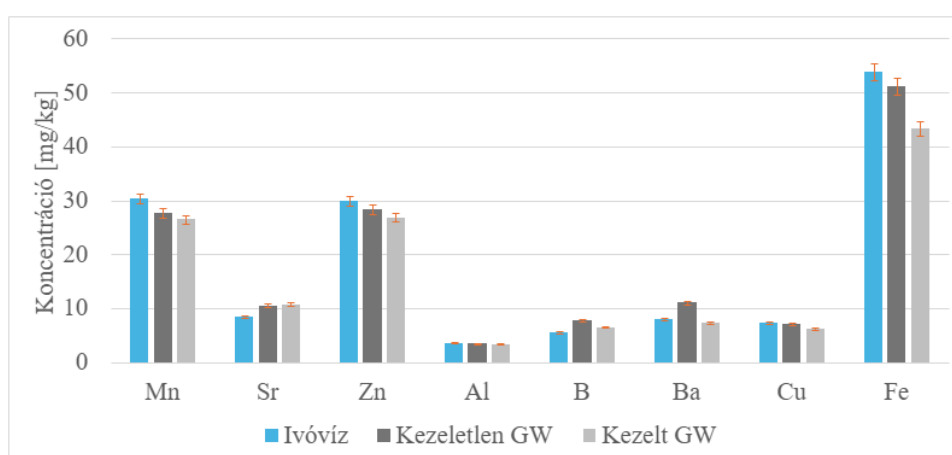
A búza mikroöldség esetében láthatjuk, mind a darabszámból, mind a nedves és a száraztömegből adódóan, hogy a kezeletlen szürkevízen növekedett a leginkább. A búza kifejezetten gyorsabban és magasabbra növekedett a kezeletlen víz használatával, mint az ivóvíz esetében. A kezelt szürkevíz pedig közel második helyen van. Az átlaghossza közel 2 centiméterrel kisebb, mint a kezeletlen szürkevízen termesztett növényé. Az ivóvíz átlaghossza közel 5 centiméterrel kisebb, mint a kezeletlen szürkevízé. A száraz biomassa tömeg esetében a kezeletlen szürkevízen nevelkedett majdnem kétszer akkora, mint az ivóvízen.

A búza makroelem-tartalmát a különböző víz típusokon a 18. ábra mutatja, míg a mikroelem-tartalmát a 19. ábra demonstrálja.



18. ábra: A búza makroelem-tartalma

A makroelem-tartalom esetében nagyobb differenciát a káliumtartalomban láthatunk. Az ivóvízen nevelkedett minta több káliummal rendelkezik, mint a kezeletlen és kezelt szűrkevízen, azzal ellentétben, ahogy a 6. táblázatban láthatjuk, az ivóvíznek volt a 3 víztípus közül legalacsonyabb a káliumtartalma. A magas káliumtartalom miatt látható, hogy mind a magnézium, mind a kalcium jóval kisebb mértékben került felvételre. Ez azért van, mert a kálium reaktívabb, mint a magnézium és a kalcium, és ezáltal kiszorítja a növényből őket azokat [22]. A kalciumhiány a növekedésben gátolja a növényeket, míg a magnéziumhiány sárgulást okoz a régebbi levelekben [22].



19. ábra: A búza mikroelem-tartalma

A mikroelem-tartalom esetében (19. ábra) azt figyelhetjük meg, hogy bár az ivóvízben és a kezeletlen vízben kimutatási határ alatt volt a vastartalom (lásd 6. táblázat), a növényben mégis a legnagyobb mennyiségben kimutatható mikroelem lett, és az ideális tartományban

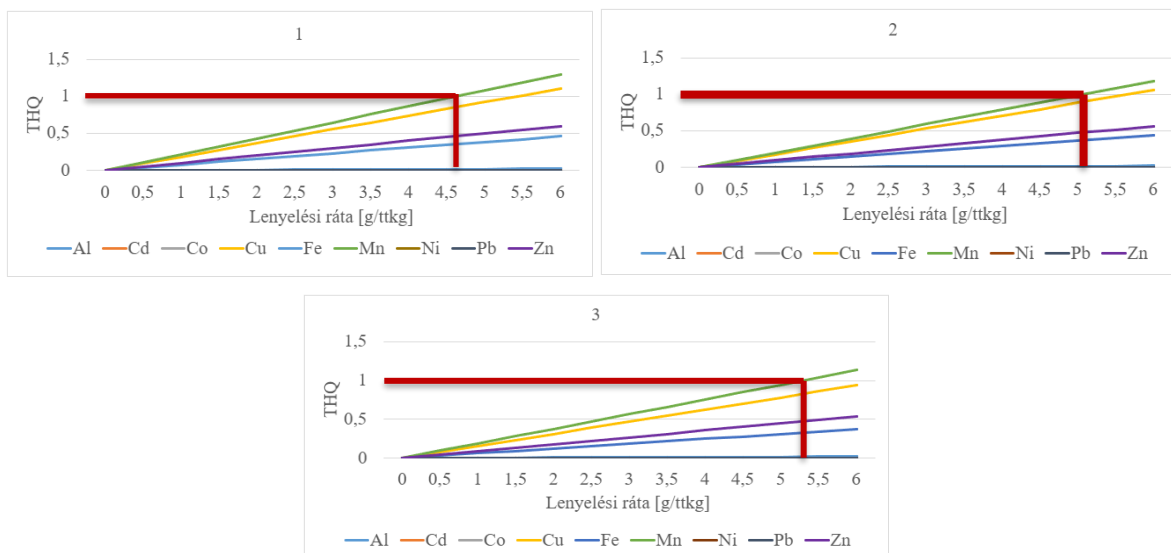
tartózkodik (50–75 mg/kg) [22]. A három víztípusban szintén nem volt kimutatható a mangán, azonban mindegyik vízen növesztett mikroöldségben megtalálható. A búza esetében kimutatási határ alatt volt a kadmium, kobalt, króm, lítium, nikkel és az ólom mennyisége. A mikroelem-tartalom alapján meghatároztam a fogyaszthatósági hányadosokat, amelyek az alábbi, 9. táblázatban kerültek összefoglalásra.

9. táblázat: A búza HRI és THQ értékei 10 g/365 nap fogyasztása esetén

		Ivóvíz	Kezeletlen GW	Kezelt GW
Al	HRI	0,00006550	0,00006980	0,00006010
	THQ	0,0005114	0,0004914	0,0004771
Cu	HRI	0,003383	0,003596	0,002817
	THQ	0,02643	0,02532	0,02236
Fe	HRI	0,001405	0,001483	0,001113
	THQ	0,01098	0,01045	0,008837
Mn	HRI	0,003958	0,004014	0,003407
	THQ	0,03092	0,02827	0,02704
Zn	HRI	0,01280	0,01340	0,01126
	THQ	0,01429	0,01348	0,01276
	Σ HRI	0,02161	0,02256	0,01266
	HI	0,08313	0,07801	0,07147

Megfigyelhetjük, hogy mindegyik víztípus esetén fogyasztható a mikroöldség abban az esetben, ha napi 10 gramm kerül fogyasztásra az év minden napján. Azt is láthatjuk, hogy az összes érték esetén messze vagyunk a kritikus értéktől (THQ=1), emiatt további kiértékelést végeztem a maximális fogyaszthatóság meghatározása érdekében.

Először meghatároztam a kritikus THQ értéket mindegyik víztípuson nevelkedett növény esetében. Az ivóvízen, kezeletlen szürkevízen és a kezelt szürkevízen nevelkedett búza értékeit a 20. ábra ábrázolja.



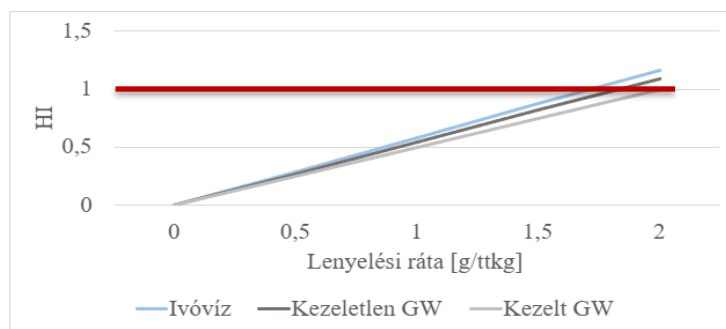
20. ábra: Az ivóvízen (1), kezeletlen szűrkevízen (2), és kezelt szűrkevízen (3) nevelkedett búza THQ értékei

Az ivóvíz (20/1. ábra) esetében a kritikus elem a mangán volt, ez érte el leghamarabb az 1-es THQ értéket, mégpedig a 4,62 g/ttkg lenyelési ráta értéknél. Ez azt jelenti, hogy a 4. táblázat alapján meghatározott átlagos testtömeggel (70 kg) számolva a napi maximális bevitel, amelynél emberi szervezetre gyakorolt károsító hatás nem jelentkezik 32 gramm lehet.

Hasonlóan, mint az ivóvízes kontrollminta esetében, a kezeletlen szűrkevíz THQ diagramján (20/2. ábra) is az látható, hogy a mangántartalom érte el leghamarabb a THQ=1-es értéket 5,06 g/ttkg lenyelési ráta értéknél. Emiatt ebből a THQ érték alapján többet fogyaszthatunk, mint az ivóvízen nevelkedett mikrozöldségből, mégpedig egy átlagos, 70 kg testtömeggel rendelkező ember maximálisan napi 354 grammot fogyaszthat az év 365 napján.

A kezelt szűrkevízen nevelkedett búza THQ értékeit a 20/3. ábra mutatja be. Itt ismét a mangán szabja meg a fogyaszthatósági korlátot. Ebben az esetben azonban még többet fogyaszthatunk a búzából, mint az előző kettőben, ugyanis itt a THQ=1-es értéket az 5,29 g/ttkg lenyelési rátánál éri el, azaz egy átlagos testtömegű ember naponta 370 grammot fogyaszthat kockázat nélkül a THQ érték alapján.

A THQ értéken kívül a HI értéket is meghatároztam. Ezt az értéket a (6.) képlet segítségével kaptam meg, ahol THQ értékeket összeadtam. Ennek az ábrázolását a 21. ábra mutatja meg.



21. ábra: A különböző vizeken nevelkedett búza HI értékei

A 21. ábrán láthatjuk, hogy a kritikus HI értéket leghamarabb az ivóvíz éri el 1,77 g/ttkg, majd a kezeletlen szürkevíz 1,83 g/ttkg és végül a kezelt szürkevíz 2,00 g/ttkg lenyelési ráta értékénél. Ez napi maximális fogyasztható mennyiségben azt jelenti, hogy az ivóvízen fejlődött növényből egy átlagos testtömeggel (70 kg) rendelkező ember 124 grammot, a kezeletlen szürkevízen nevelkedettből 128 grammot, a kezelt szürkevízen nevelkedettből pedig 140 grammot fogyaszthat el egészségügyi kockázatmentesen.

Ezek az értékek mind meghaladják az átlagos napi fogyasztást, emiatt kijelenthető, hogy a búza, mint mikroöldség biztonságosan fogyasztható jelen tanulmány alapján, akár kezelt, akár kezeletlen szürkevízen termesztett. Azonban ha visszatekintünk a biomasszatömegekre (lásd 8. táblázat), akkor láthatjuk, hogy a búza esetében, a kezeletlen szürkevízen való termesztés a legkifizetődőbb módszer.

4.4.2 A brokkoli paraméterei



22. ábra: Kifejlett brokkoli mikroöldségek

A 24. ábrán láthatóak a kifejlett brokkoli mikroöldségek, balról jobbra haladva az ivóvízen, kezeletlen szürkevízen és kezelt szürkevízen nevelkedetteket. A brokkoli adatait az alábbi, 10. táblázat mutatja be.

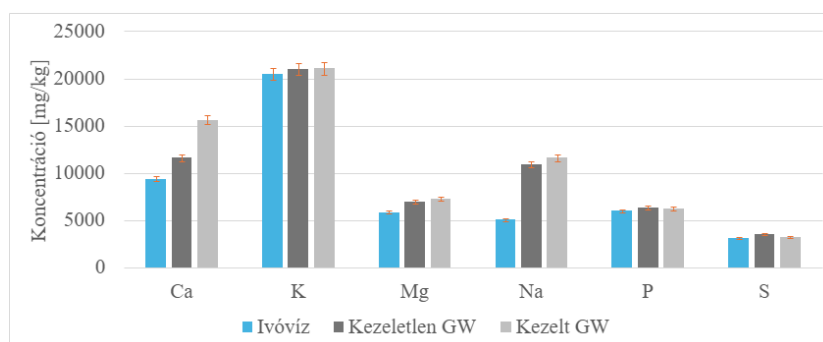
10. táblázat: A brokkoli adatai

	Ivóvíz	Kezeletlen GW	Kezelt GW
Mag tömeg [g]	1,25	1,25	1,25
Lemért darabszám	20	20	20
Átlaghossz [cm]	4,43 ± 0,75	5,00 ± 1,13	5,96 ± 0,63
Nedves biomassa [g]	8,53	13,29	10,43
Száraz biomassa [g]	0,71	0,80	0,75
Nedvességtartalom [%]	92	94	93

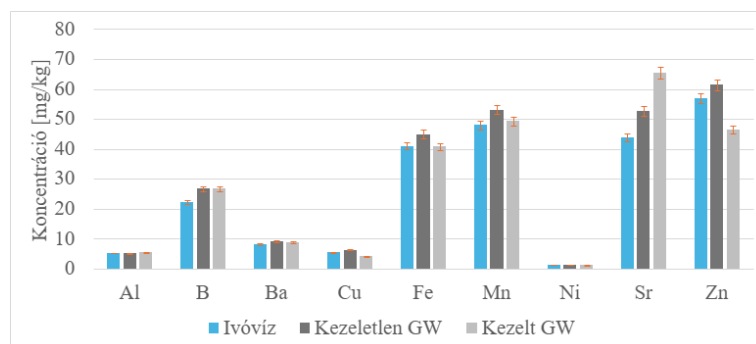
A hossz mérése során mindegyik mintából 20-20 szálat mértünk le, mivel nem volt a szálak között nagy differencia. A 10. táblázat adatait elemezve láthatjuk, hogy a leghosszabb átlaghosszal a kezelt szürkevízen növekedett mikrozöldség rendelkezik, míg a legrövidebbel az ivóvízen nevelkedett, azonban mind a nedves, mind a száraz biomasszatömeg esetében a kezeletlen szürkevízen nevelkedett minta jár az élen, majd a kezelt szürkevízen nevelkedett követi, végül pedig az ivóvízen nevelkedett zárja a sort. A nedvességtartalomnál is ugyanez a sorrend figyelhető meg.

A brokkoli makroelem-tartalmát a 23. ábra a mikroelem-tartalmát pedig a 24. ábra mutatja meg. A makroelem-tartalom vizsgálata közben látható a kalciumkoncentráció emelkedése, kifejezetten a kezelt szürkevízen nevelkedett mikrozöldség esetében, azonban a 6. táblázatban megfigyelhető, hogy ebben a víztípusban nagyobb a kalcium mennyisége. A brokkoli esetében a kálium, kalcium és magnézium aránya megfelelő, nem történt szignifikáns kiszorítás.

Nagyobb emelkedést tapasztalható a nátrium esetén is mindkettő szürkevízen nevelt mikrozöld tekintetében, azonban ismét magában a vízben volt nagyobb mennyiségű a nátrium a növények számára.



23. ábra: A brokkoli makroelem-tartalma



24. ábra: A brokkoli mikroelem-tartalma

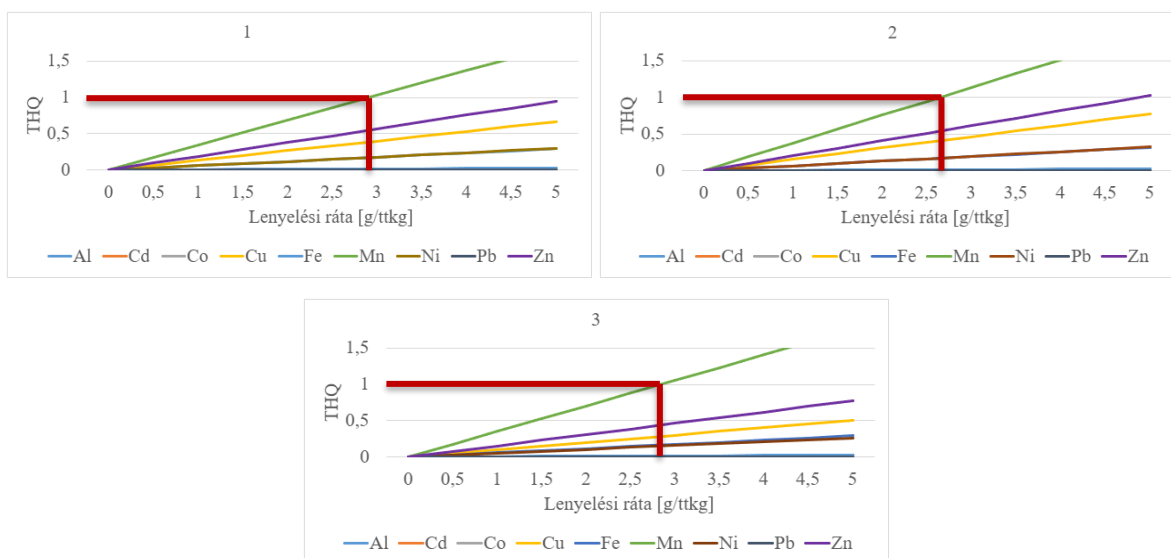
A mikroelemeken megfigyelhető (24. ábra), hogy bár a vízben (7. táblázat) egyik mintában sem volt kimutatható mennyiségben a mangán és a nikkelt, a növényekben felhalmozódtak. Látható még, hogy a stronciumszint a kezeletlen szürkevízen nevelt mikroöldségnél megemelkedett, majd a kezelt szennyvízen fejlődött növények esetében még tovább nőtt (lásd 7. táblázat), azonban ugyanez a tendencia magában a vizek elemvizsgálásánál is látható. A vas értéke enyhén kisebb, mint az ideális tartomány. A brokkoli esetében kimutatási határ alatt volt a kadmium, kobalt, króm, lítium és az ólom mennyisége. A mikroelemek mennyiségének meghatározása az alapkőve a fogyaszthatósági vizsgálatnak. A fogyaszthatósági vizsgálat eredményét 10 g/365 nap fogyasztás alapján a 11. táblázat tartalmazza.

11. táblázat: A brokkoli HRI és THQ értékei 10 g/356 nap fogyasztása esetén

		Ivóvíz	Kezeletlen GW	Kezelt GW
Al	HRI	0,0000608	0,0000433	0,0000547
	THQ	0,0007329	0,0007214	0,0007600
Cu	HRI	0,001583	0,001333	0,001034
	THQ	0,01907	0,02221	0,01436
Fe	HRI	0,0006945	0,0005498	0,0005980
	THQ	0,008367	0,009163	0,008306
Mn	HRI	0,004065	0,003251	0,003622
	THQ	0,04898	0,05418	0,05031
Ni	HRI	0,0006996	0,0005529	0,0005400
	THQ	0,008429	0,009214	0,007500
Zn	HRI	0,002249	0,001754	0,001591
	THQ	0,02710	0,02924	0,02210
	ΣHRI	0,009352	0,007484	0,007440
	HI	0,1127	0,1247	0,1033

A 11. táblázat megmutatja, hogy abban az esetben, ha az év minden napján 10 grammot fogyasztunk belőlük, akkor az összes víztípuson növesztett mikrozöldség biztonsággal fogyasztható. Ahhoz, hogy meghatározzam a maximálisan fogyasztható mennyiséget a lentebb található ábrákat (25., 26. ábrák) alkalmaztam.

Először is a THQ, azaz a célveszélyességi hányados kritikus értékeit határoztam meg. Mindhárom vízminta esetében a mangán értéke határozta meg a fogyaszthatósági mennyiséget, ugyanis az érte el leghamarabb a kritikus értéket. Azonban az, hogy a lenyelési ráta mennyi az mindhárom esetben különböző.



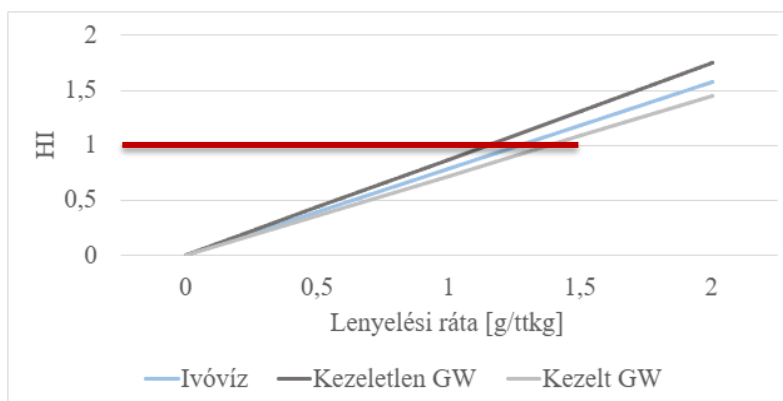
25. ábra: Az ivóvízen (1), kezeletlen szürkevízen (2), és kezelt szürkevízen (3) nevelkedett brokkoli THQ értékei

Az ivóvízen nevelkedett brokkoli esetében (lásd 25/1. ábra) a THQ 1-et 2,92 g/ttkg lenyelési ráta esetén érte el. Ez az jelenti, hogy egy átlagos tömegű ember (70 kg) 204 grammot fogyaszthat el.

A kezeletlen szürkevízen nevelt brokkoli esetében (lásd 25/2. ábra) a kritikus THQ értéket a 2,64 g/ttkg lenyelési ráta érték során érte el. Ez alapján kiszámolható, hogy egy 70 kg-os átlagos testtömeggel rendelkező ember 185 grammot fogyaszthat el naponta az év minden napján. Ez egy csökkenés az ivóvízhez képest, azonban így is több mint 18-szorosa annak az értéknek, amelyet 1 fogyasztás alkalmával beviszünk a szervezetünkbe.

A kezelt szürkevízen termesztett brokkoli esetében (lásd 25/3. ábra) 2,84 g/ttkg lenyelési ráta esetén érte el a kritikus THQ 1 értéket. Ez alapján kiszámoltam a fogyasztható mennyiséget, amely 199 gramm az év minden napján.

A fogyaszthatóság vizsgálatánál a HI veszélyességi indexet is meghatároztam a 26. ábra segítségével. Ezt az értéket a (6.) képlet segítségével kaptam meg, ahol THQ értékeket összeadtam.



26. ábra: A különböző vizeken nevelkedett brokkoli HI értékei

A diagrammon megfigyelhető, hogy bár a THQ érték az ivóvízen nevelkedett minta esetében fogyaszthattunk a legtöbbet, a HI értéknél a kezelt szűrkevíz esetében lett a legnagyobb a fogyaszthatóság. A kezelt szűrkevízen nevelt brokkoliból 97 grammot, az ivóvízen neveltől 89 grammot és a kezeletlen szűrkevízen neveltől pedig 81 grammot fogyaszthat maximálisan egy átlagos testtömeggel rendelkező ember naponta az év összes napján.

Ezek az értékek mind meghaladják az átlagos napi fogyasztást (10 grammot), ezáltal kijelenthető, hogy a brokkoli mikroöldség fogyasztható kezelt és kezeletlen szűrkevízen való termesztés során is, és ha megfigyeljük a biomassa tömegeket (lásd 10. táblázat) a kezeletlen szűrkevízen való termesztése a brokkolinak, jelen eredmények alapján, a legjobb módszernek mondható.

4.4.3 A lucerna paraméterei



27. ábra: Kifejlett lucerna mikroöldségek

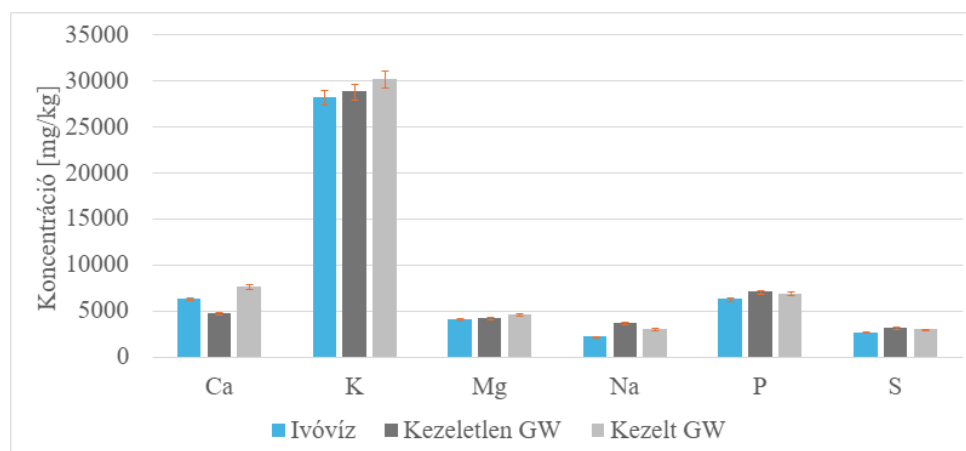
A 27. ábra szemlélteti a kifejlett lucerna mikroöldségeket, balról jobbra haladva az ivóvízen, kezeletlen szűrkevízen és kezelt szűrkevízen nevelkedetteket. A lucerna adatait a 12. táblázat mutatja be.

12. táblázat: *A lucerna adatai*

	Ivóvíz	Kezeletlen GW	Kezelt GW
Mag tömeg [g]	0,80	0,80	0,80
Lemért darabszám	20	20	20
Átlaghossz [cm]	4,73 ± 0,72	3,99 ± 1,14	3,88 ± 0,79
Nedves biomassa [g]	6,28	4,28	5,75
Száraz biomassa [g]	0,53	0,43	0,51
Nedvességtartalom [%]	91	90	91

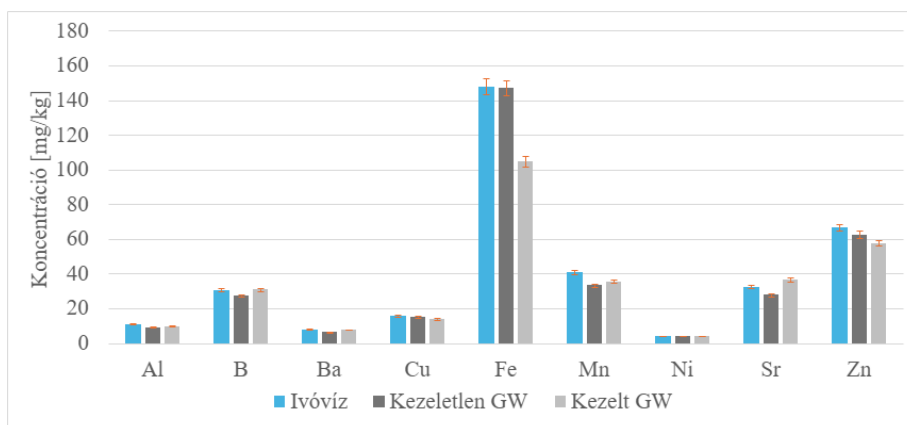
Az átlaghossz mérése során, mivel az egyes mikroöldségek hossza közel azonos volt, 20-20 darab került le mérésre. Az átlaghosszok alapján a leghosszabbra nőtt lucerna az ivóvízen termesztett lucerna, a legrövidebb pedig a kezelt szűrkevízen termelt lucerna, azonban a nedves és a száraz biomassa esetében más sorrend alakult ki. Bár a tömegek tekintetében is az ivóvízen nevelkedett minta volt a legtermékenyebb, a kezelt szűrkevízen termelt közel második helyen van, míg a kezeletlen szűrkevízen termelt – szignifikánsabb különbséggel – a legkevesebb biomasszatömeget érte el. Mivel a mikroöldség egy része lett hossz alapján le mérve, de tömeg alapján mindegyik darab beleszámít az értékbe ezért produktum alapján biztosabb érték a tömeg által felállított sorrend. A nedvességtartalomnál közel azonos eredményeket értek el, egyedül a kezeletlen szűrkevízen termesztett lucerna értéke kisebb a többinél.

A különböző vizeken termesztett lucerna makroelem-tartalmát a 28. ábra, míg a mikroelem-tartalmát a 29. ábra mutatja be.



28. ábra: *A lucerna makroelem-tartalma*

A 28. ábrán látható, hogy a különböző víztípuson nevelkedett mikroöldségek közel azonos mennyiségben építették be a makroelemeket. A kálium értéke kimagasló mindhárom mintában, míg a kalcium és magnézium értéke pedig aránylag alacsony. Ez azt mutatja meg, hogy a makroelem-felvétel során a kálium kiszorította a kalciumot és a magnéziumot. A kalcium esetében a kezeletlen szűrkevízen nevelkedett minta kevesebbet tartalmaz, mint az ivóvízen vagy a kezelt vízen növekedett lucerna. Ez a kalciumhiány hozzájárulhatott a kisebb produktumhoz, ugyanis a kalcium erősen hozzájárul a növények növekedéséhez [22].



29. ábra: A lucerna mikroelem-tartalma

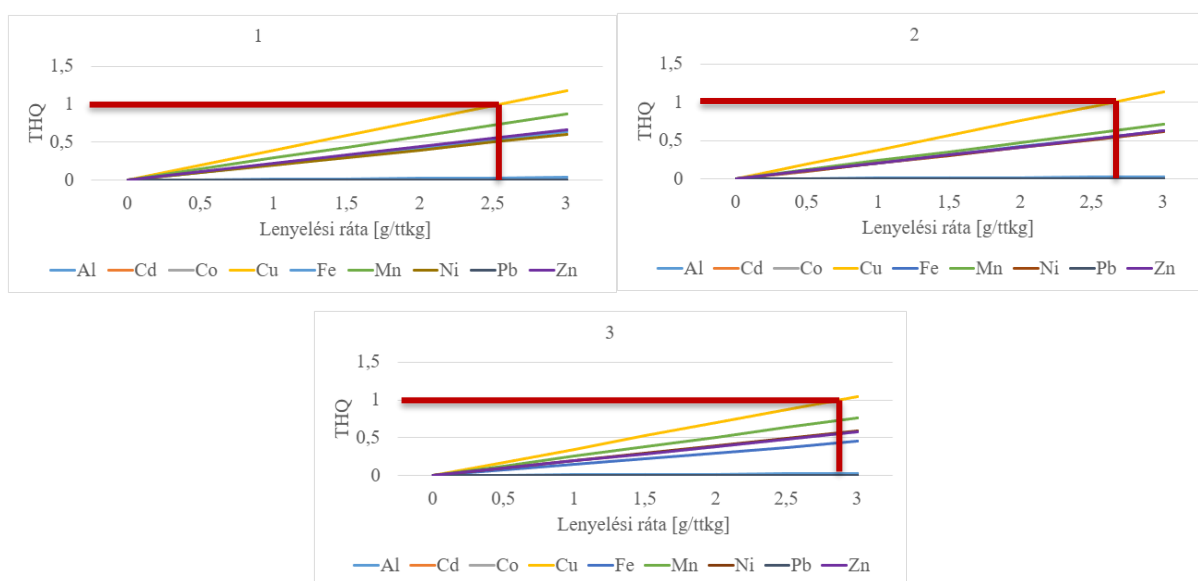
A 29. ábrán kiemelkedő csúcsként jelenik meg a vas koncentrációja mindhárom mintában. Bár a vas ideális koncentrációját meghaladja a csúcsok értéke, egyes növények akár 300–400 mg/kg értéket is elérhetnek anélkül, hogy negatív hatást gyakoroljon rájuk a vas koncentrációja. Ha a növényre negatívan hatna, akkor a levelek bronzos színt vennének fel, és barna foltok jelennének meg rajtuk, ez a 27. ábrán látható, hogy nem valósult meg, így feltételezhető, hogy a lucernára nem gyakorolt negatív hatást a magas vaskoncentráció. A lucerna esetében is felhalmozódott mind a mangán mind a nikkelt, holott a vizek esetében kimutatási határ alatt volt a koncentrációjuk (lásd 7. táblázat). A növények esetében kimutatási határ alatt volt a kadmium, kobalt, króm, lítium és az ólom.

A mikroelemek koncentrációt felhasználva tudtam kiszámolni a fogyaszthatósági értéket. A 13. táblázat bemutatja a HRI és THQ értékeket átlag napi 10 gramm az év minden napján való fogyasztás esetén.

13. táblázat: A lucerna HRI és THQ értékei 10 g/356 nap fogyasztása esetén

		Ivóvíz	Kezeletlen GW	Kezelt GW
Al	HRI	0,0001348	0,0001321	0,0001254
	THQ	0,001586	0,001321	0,001409
Cu	HRI	0,004766	0,005429	0,004450
	THQ	0,05607	0,05429	0,05000
Fe	HRI	0,002567	0,003000	0,001907
	THQ	0,03020	0,03000	0,02143
Mn	HRI	0,003530	0,003398	0,003233
	THQ	0,04153	0,03398	0,03633
Ni	HRI	0,002429	0,0029214	0,002486
	THQ	0,02857	0,02921	0,02793
Zn	HRI	0,002696	0,002986	0,002450
	THQ	0,03171	0,02986	0,02752
	Σ HRI	0,01612	0,01787	0,01465
	HI	0,1897	0,1787	0,1646

A 13. táblázatban látható, hogy 10 gramm esetén egyik érték sem éri el a kritikus számot, azaz átlagos napi fogyasztásra mindegyik vízmintán nevelkedett lucerna alkalmas. Ahhoz, hogy meghatározzam a maximálisan fogyasztható mennyiséget, először víztípusonként kiszámoltam a kritikus THQ értéket. Ezeket az értékeket a 30. árba ábrázolja.



30. ábra: Az ivóvízen (1), kezeletlen szürkevízen (2), és kezelt szürkevízen (3) nevelkedett lucerna THQ értékei

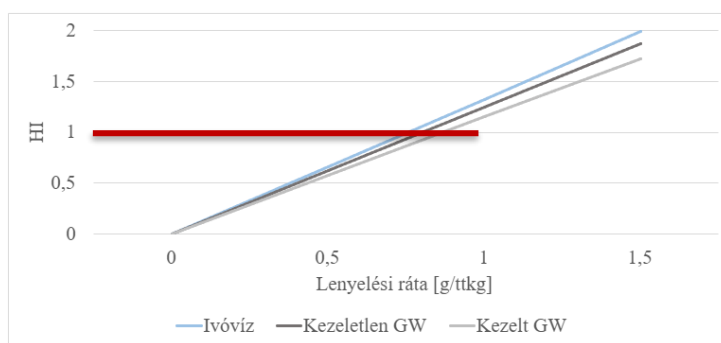
A 30. ábrán látható, hogy mindhárom vízmintán növekedett lucerna esetében a réz érte el leghamarabb a kritikus koncentrációt, azonban, hogy mekkora lenyelési rátánál történt ez meg, az mintánként változik.

Az ivóvízen nevelkedett mintánál (lásd 30/1. ábra) 2,55 g/ttkg lenyelési ráta egyezik meg a THQ 1 értékkel, amely alapján egy átlagos, 70 kg-mal rendelkező ember 179 grammot fogyaszthat el mindennap egész évben.

A kezeletlen szűrkevízen nevelkedett minta esetében (lásd 30/2.) a kritikus értéket 2,63 g/ttkg lenyelési ráta értéknél éri el a réz. Ez alapján egy átlagos, 70 kg testtömeggel rendelkező ember az év 365 napjában fogyaszthat 184 grammot a kezeletlen szűrkevízen termesztett lucernából.

A kezelt szűrkevízen termesztett lucerna esetében (lásd 30/3.) a THQ 1 érték 2,86 g/ttkg lenyelési ráta értéknél került eléérésre, ez alapján egy átlagos testtömeggel (70 kg) rendelkező ember az év minden napján fogyaszthat 200 grammot.

A THQ érték mellett a HI veszélyességi indexet is kiszámoltam a (6.) képlet segítségével, majd a kapott eredményeket használva elkészítettem a 31. ábrát.



31. ábra: A különböző vizeken nevelkedett lucerna HI értékei

A HI érték esetében a legkisebb mértékben fogyasztható az ivóvíz mintán nevelkedett lucerna. A lenyelési ráta értéke a kritikus értéknél 0,76 g/ttkg, ez átszámolva azt jelenti, hogy egy átlagos testtömeggel rendelkező ember 53,2 grammot fogyaszthat el naponta az év minden napján anélkül, hogy egészségügyi kockázatnak legyen kitéve. Ez az érték a kezeletlen szűrkevízen növekedett lucerna esetében 0,80 g/ttkg, azaz egy átlagos, 70 kg-mal rendelkező ember napi 56 grammot fogyaszthat el mindennap. A legjobb értékkel pedig a kezelt szűrkevízen nevelt lucerna rendelkezik, ugyanis a HI 1 értéket 0,87 g/ttkg lenyelési ráta esetén érte el, amely alapján egy 70 kg-os ember az év minden napján elfogyaszthat 61 grammot.

A lucerna esetében a fogyaszthatóságot nemhogy negatívan, hanem pozitívan befolyásolta a szürkevíz használata a termesztés során, azonban, ha a produktum tömegét (lásd 12. táblázat) figyeljük, érdemes a kezelt szürkevizet választani a két szürkevíztípus közül.

4.4.4 A vöröskáposzta paraméterei



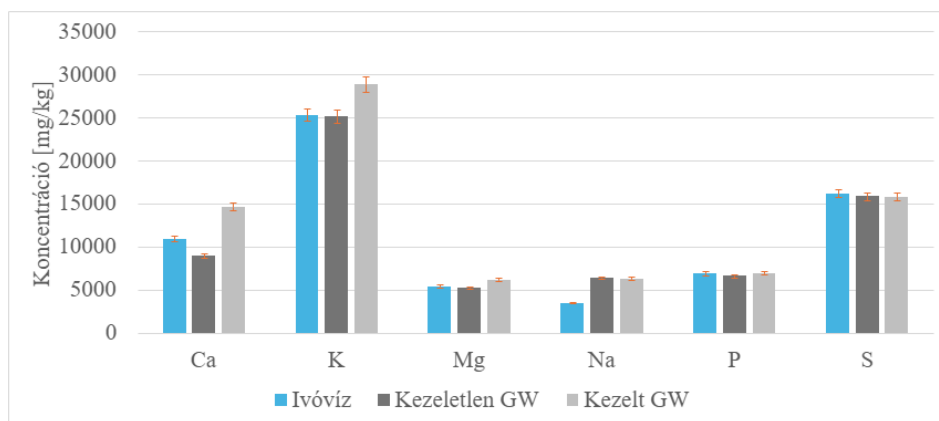
32. ábra: Kifejlett vöröskáposzta mikrozségek

A 32. ábrán láthatjuk a kifejlett vöröskáposzta mikrozségeket, balról jobbra haladva az ivóvízen, kezeletlen szürkevízen és kezelt szürkevízen növesztett. A vöröskáposzta adatait a 14. táblázat mutatja be.

14. táblázat: A vöröskáposzta adatai

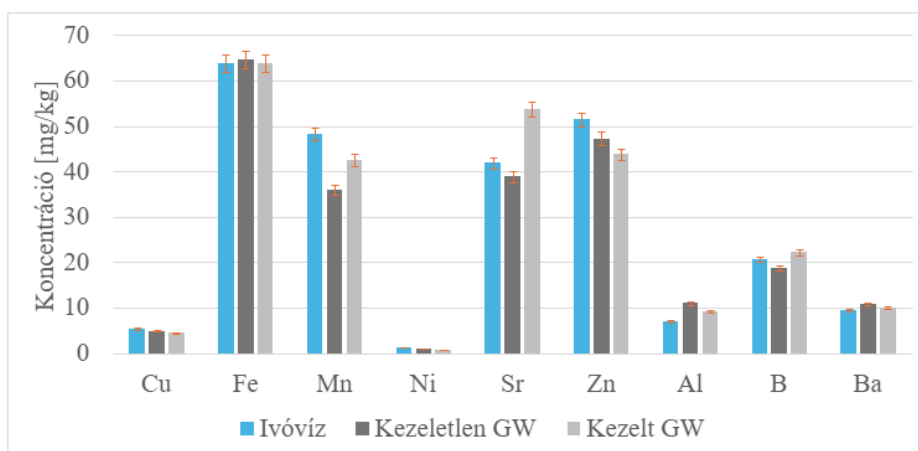
	Ivóvíz	Kezeletlen GW	Kezelt GW
Mag tömeg [g]	1,25	1,25	1,25
Lemért darabszám	20	20	20
Átlaghossz [cm]	2,44 ± 0,54	2,52 ± 0,62	3,01 ± 0,72
Nedves biomassza [g]	3,80	3,51	6,10
Száraz biomassza [g]	0,37	0,34	0,47
Nedvességtartalom [%]	90	90	92

A vöröskáposzta átlaghossz mérése során, mivel a különálló növények hosszai között nem volt nagy differencia, ezért 20-20 darabot mértem le mintánkként. Mind a 32. ábrán, mind a 14. táblázatban láthatjuk, hogy a kezelt szürkevízen növesztett minta magasabbra nőtt, és biomassza tekintetében is lényegesen nagyobb, mint az ivóvízen vagy kezeletlen szürkevízen növesztett párja. Ezeken kívül a nedvességtartalma is nagyobb, míg a másik kettő mintáé megegyezik. Átlaghossz tekintetében az ivóvízen és a kezeletlen szürkevízen nevelt minta közel hasonló eredményt ért el, azonban biomassza tekintetében látható, hogy az ivóvízen nevelkedett minta jobban növekedett. Ennek az oka lehet a 33. ábrán látható makroelem-tartalom.



33. ábra: A vöröskáposzta makroelem-tartalma

A 33. ábrán jól megfigyelhető, hogy bár a kálium, magnézium, kalcium arány nem tolódott el, azonban a kalcium értéke a három különböző víztípuson reprezentálja a biomassza eloszlását. A kalcium nagyban hozzájárul a növény növekedéséhez, és a diagrammon látható, hogy legnagyobb kalciummennyiséggel a kezelt szürkevízen nevelt vöröskáposzta, míg a legkevesebbel a kezeletlen szürkevízen nevelkedett vöröskáposzta rendelkezik. A makroelem- mellett a mikroelem-tartalmat is megvizsgáltam, amelyet a 34. ábra mutat be.



34. ábra: A vöröskáposzta mikroelem-tartalma

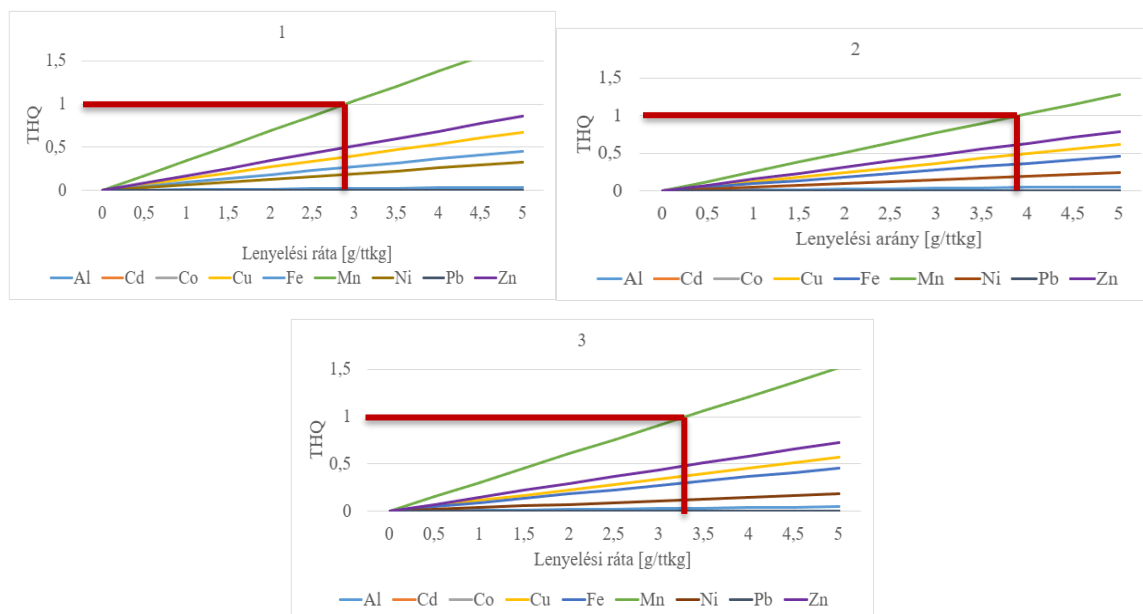
A 34. ábrán kapott eredményeket elemezve megállapítható, hogy a különböző mikroelemek eloszlása esetén kisebb-nagyobb differenciák alakultak ki. Bár a mangán és a nikkel méréshatár alatti mennyiségben volt csak jelen a vizekben (lásd 7. táblázat), a vas pedig csak a kezeletlen szürkevízben volt kimutatható 12 $\mu\text{g/l}$ mennyiségben, a mikroöldségekbe mégis beépültek. A mangántartalom eloszlásában nagyobb eltérés tapasztalható. A legtöbb mangán az ivóvízen nevelkedett vöröskáposztában, míg a legkevesebb

a kezeletlen szürkevízen nevelkedett mintában akkumulálódott. A stroncium tekintetében hasonló eloszlás vélhető fel, mint a 33. ábrán látható kalcium esetén, a cinktartalommal pedig egy csökkenő sorrend alakult ki, ahol a legtöbb cink az ivóvízen, a legkevesebb pedig a kezelt szürkevízen nevelkedett növények esetében került felvételre. Ezek a különbségek a fogyaszthatósági vizsgálat során további elemzésre kerültek. A vöröskáposzta HRI és THQ eredményei abban az esetben, ha naponta 10 gramm kerül fogyasztásra az év minden napján egy átlagos testtömegű, 70 kg-os ember által a 15. táblázatban kerültek bemutatásra.

15. táblázat: A vöröskáposzta HRI és THQ értékei 10 g/356 nap fogyasztása esetén

		Ivóvíz	Kezeletlen GW	Kezelt GW
Al	HRI	0,00009630	0,0001509	0,0001012
	THQ	0,0009929	0,001571	0,001571
Cu	HRI	0,001864	0,001690	0,001249
	THQ	0,01921	0,01761	0,01621
Fe	HRI	0,001263	0,001268	0,001002
	THQ	0,01302	0,01320	0,01302
Mn	HRI	0,004781	0,003517	0,003339
	THQ	0,04929	0,03663	0,04337
Ni	HRI	0,0008938	0,006562	0,0003977
	THQ	0,009214	0,006836	0,005164
Zn	HRI	0,002379	0,002162	0,001606
	THQ	0,02452	0,02252	0,02086
	Σ HRI	0,01128	0,01535	0,007695
	HI	0,1163	0,09837	0,1002

A 15. táblázat bemutatja, hogy 10 gramm fogyasztása esetén biztonságosan fogyasztható mindegyik víztípuson termesztett vöröskáposzta mikroözöldség. Azonban ahhoz, hogy a maximálisan fogyasztható mennyiséget meghatározhassam, mindegyik vízmintán nevelkedett növény esetében meghatároztam a kritikus THQ értéket. Ehhez a 35. ábrát használtam.



35. ábra: Az ivóvízen (1), kezeletlen szürkevízen (2), és kezelt szürkevízen (3) nevelkedett vöröskáposzta THQ értékei

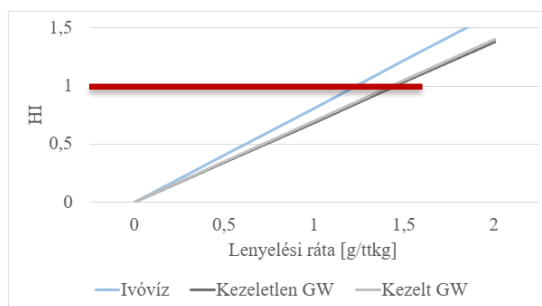
A 35. ábrán látható, hogy mindhárom víz típuson növekedett vöröskáposzta esetén a kritikus $THQ=1$ értéket a mangán érte el a leghamarabb, azonban különböző lenyelési ráta értékeknél.

Az ivóvízen nevelkedett minta esetén (35/1. ábra) a $THQ=1$ -et 2,9 g/ttkg lenyelési ráta értéknél érte el. Ez alapján meghatározható, hogy egy átlagos testtömeggel rendelkező ember 203 grammot fogyaszthat el mindennap.

A kezeletlen szürkevízen növekedett mikroöldség esetén (35/2. ábra) 3,9 g/ttkg lenyelési ráta érték érte el a $THQ=1$ -et. Ebből adódóan az átlagos, 70 kg-mal rendelkező ember naponta 273 grammot fogyaszthat el az év minden napján.

A kezelt szürkevízen termesztett növény esetén (35/3. ábra) a lenyelési ráta értéke 3,3 g/ttkg a kritikus THQ értéknél, amely azt jelenti, hogy egy átlagos testtömeggel rendelkező ember 231 grammot fogyaszthat el maximálisan 365 nap alatt.

A THQ érték mellett a HI értéket is meghatároztam, amelyhez a (6.) képletet használtam, ahol a THQ értékeket összeadtam. Ez alapján kaptam meg a 36. ábrát.



36. ábra: A különböző vizeken nevelkedett vöröskáposzta HI értékei

A 36. ábrán látható a HI érték, azaz a veszélyességi hányados. Ez alapján a legkisebb mértékben fogyasztható vöröskáposzta az ivóvízen nevelkedett. Ez a kritikus értéket 1,23 g/tkg, míg a kezelt szűrkevízen termesztett 1,43 g/tkg, a kezeletlen szűrkevízen termesztett pedig 1,45 g/tkg lenyelési ráta értékénél érte el. Ezek alapján az ivóvízen nevelkedett mintából egy átlagos testtömeggel rendelkező ember 86 grammot, a kezelt szűrkevízen nevelkedett mintából 100 grammot, a kezeletlen szűrkevízen nevelkedett mikroöldségből pedig 102 grammot fogyaszthat az év minden napján.

Ezen adatok alapján kijelenthető, hogy a vöröskáposzta esetében a fogyaszthatóság nem csökken, hanem nő szűrkevízen való mikroöld-termesztés során. Azonban a biomasszára visszatekintve (lásd 14. táblázat) kijelenthető, hogy bár fogyaszthatóság szempontjából mondhatni legjobb eredményt érte el a kezeletlen szűrkevízen termesztett mikroöldség, a növekedés során korlátozott volt. Emiatt fogyaszthatóság szempontjából a második legjobb minta, és a biomassza alapján (lásd 14. táblázat) a legjobb minta a kezelt szűrkevízen termesztett vöröskáposzta mikroöldség volt a legsikeresebb.

5. Következtetések, javaslatok

A kutatás során vizsgáltam a kezelt és kezeletlen szürkevíz újrahasználásának lehetőségét mikrozöldségek termesztésére. A kezelésként alkalmazott koaguláció, flokkuláció és mechanikai szűrés megtisztította a szürkevizet a szerves szennyeződésektől, és az oldhatatlan kolloidméretű részecskéktől. Mikrobiológiai vizsgálatot nem végeztem, mivel szintetikus vizet alkalmaztam.

A mikrozöldségek vizsgálatánál kijelenthető, hogy a szürkevíz használata rendkívül növény-specifikus. A jelen tanulmányban vizsgált 4 mikrozöldség mind különbözően reagáltak a szürkevíz használatára. A búza termesztése során rendkívül pozitív eredményt értem el a szürkevíz használatával, kifejezetten a kezeletlen szürkevíz esetében, ugyanis a nedves biomassza tömege 75%-kal megnőtt az ivóvízen nevelkedett mintához viszonyítva és a fogyaszthatósága sem csökkent, hanem nőtt.

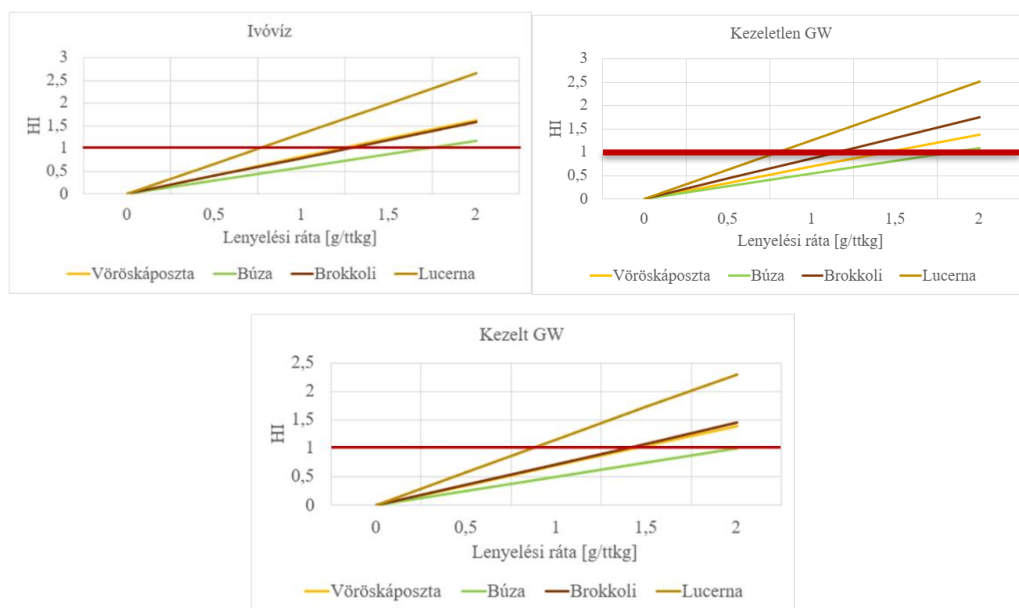
A brokkoli nevelése során a biomassza tömege szintén a kezeletlen szürkevíz esetében volt a legkiemelkedőbb, ugyanis 56%-kal volt nagyobb, mint az ivóvízen nevelkedett minta esetében. A fogyaszthatósága viszont csökkent mindkét szürkevíz használatával, azonban mind a kezelt és kezeletlen szürkevízen nevelkedett minta esetében még mindig többszörösét fogyaszthatjuk, mint a napi átlag. Emiatt kijelenthető, hogy bár a fogyaszthatóság csökkent, még mindig egészségügyi kockázatmentesen lehet fogyasztani a szürkevízen termesztett brokkolit.

A lucerna esetében azonban azt tapasztaltam, hogy mind a biomassza tömege, mind a fogyaszthatóság esetében a HI érték csökkent a szürkevizek használata során. Azonban ismét az látható, hogy bár csökkent a fogyaszthatóság, mind a kettő szürkevíz-mintán növekedett minta olyan értéket ért el, amely alapján a napi átlagfogyasztás nem akadályozott. A kezeletlen szürkevíz esetén a biomassza 32%-kal csökkent, míg a kezelt szürkevíz esetében csupán 8%-kal csökkent. Emiatt, bár nem a legideálisabb módszer, mégis lehet alkalmazni a kezelt szürkevizet, mint alternatív öntözővizet, a lucerna termesztése során is.

A vöröskáposzta termesztése alkalmával, míg a kezeletlen szürkevíz használatával a biomassza tömege 8%-kal csökkent, a kezelt szürkevíz használatával 60%-kal nőtt a biomassza tömege. A fogyaszthatóságot vizsgálva mind a HI mind a THQ értékek alapján a kezeletlen szürkevízen termesztett minta a legfogyaszthatóbb, utána pedig a kezelt szürkevízen termesztett minta. Összeségében a vöröskáposzta esetében a legideálisabb termesztési módszer a kezelt szürkevízen való termesztés.

A THQ értékek esetében a kritikus elemek különböznek a mikroöldségek esetében. A búza esetében a mangán volt a kritikus elem és közel másodikként a réz, a többi elem jóval kisebb veszélyt jelentett. A brokkoli vizsgálatakor szintén a mangán volt a kritikus elem, de itt a második elem a cink és szintén közel megjelenik harmadikként a réz. A lucerna esetében a sorrend megváltozott, első helyen a réz áll, utána jelenik meg a mangán és harmadikként egy csoportban áll a cink, a vas és a nikkel. A vöröskáposzta vizsgálata során ismét a mangán a legkritikusabb elem utána másodikként a cink áll, majd harmadikként pedig a réz jelenik meg. Ez az eloszlás azért különleges, mert a mangán mindegyik mintánál megjelenik, mint kritikus elem, holott a vízminták esetében nem volt kimutatható mennyiségben. Kijelenthető, hogy ha a mangán értékét csökkentenénk akkor a mikroöldségek fogyaszthatósága megnövekedne, azonban a mangántartalom több esetben is az ivóvízmintán növekedő mintában volt a legnagyobb mennyiségben, így magát az ivóvizet kellene tisztítani, hogy a mikroöldségek fogyaszthatósága növekedjen.

Jobb összehasonlítás végett elkészítettem a 37. ábrán lévő diagramokat, amelyekenél víztípusonként a négy vizsgált növény HI eredményét különböző lenyelési ráta mellett ábrázoltam.



37. ábra: Az ivóvízen (1), kezeletlen szürkevízen (2), és kezelt szürkevízen (3) nevelkedett mikroöldségek HI értékei

A 37. ábra elemzése során megállapítható, hogy kezelt és kezeletlen szürkevíz-mintán a megegyezik a fogyaszthatósági sorrend. Az ivóvízen nevelkedett mintán (37/1. ábra) vöröskáposzta előrébb van, mint a brokkoli, de a HI veszélyességi index alapján mindegyik

víztípuson a búza a legfogyaszthatóbb, és a lucerna a legkevésbé fogyasztható. Ebből a diagramból az szűrhető le, hogy a fogyaszthatóságot a mikroöldségek esetében leginkább az ivóvíz elem tartalma befolyásolja, ugyanis ugyanabból az ivóvízből lett készítve a szürkevíz, mint amivel az ivóvízes minták lettek öntözve. A fogyaszthatóság enyhén változik a különböző vízminták között, de drasztikus különbségek nem alakulnak ki. Emiatt elmondható, hogy jelen tanulmány szerint a kezelt és kezeletlen szintetikus fürdővízzel való mikroöldség termesztés nem befolyásolja drasztikusan a fogyaszthatóságot, azonban a produktum mennyiségét igen.

Mivel ezek az adatok szintetikus fürdővíz használatával készültek, a jövőben további vizsgálatokat igényel a valós fürdővízminta használatával való mikroöldség termesztés.

6. Összefoglalás

Az édesvízkészletek globális csökkenése és a fenntartható élelmiszertermelés iránti növekvő igény kihívást jelent az emberiség számára. A vízhiány egyre inkább arra készítet minket, hogy alternatív vízforrásokkal dolgozzunk. Ilyen módszer az egyszer használatos víz, a szürkevíz használata. Ezt a vizet többértűen fel lehet használni, például tűzoltásra, autómosásra vagy toalett öblítésére, azonban jelen kutatásban mezőgazdasági szempontból közelítettem meg a szürkevíz felhasználását, mégpedig a mikroöldségek termesztése során.

A mikroöldségek olyan fiatal növényi hajtások, amelyek már sziklevelekkel rendelkeznek. Ezek a növények számunkra fontos tápanyagokat hordoznak, kifejezetten pont a sziklevelekben. A sziklevelekben nagyobb koncentrációban halmozódnak fel a számunkra fontos vitaminok, ásványi anyagok és antioxidánsok, mint a kifejtett növényben. A mikroöldségek nagy tápértékűek, és rövid termesztési idejük miatt kiváló eszközök ahhoz, hogy gyorsan és megfizethetően hozzájuthassunk egészséges és fenntartható tápanyagforráshoz.

A kutatás során először szintetikus fürdővizet állítottam össze. Ennek a fürdővíznek egy frakcióját tisztítottam mechano-kémiai módszerrel, ezzel megkaptam a kezelt és a kezeletlen szürkevizet, amelyet a kutatás során felhasználtam.

Mikroöldségként a búzát, brokkolit, lucernát és vöröskáposztát választottam. Ezeken a mikroöldségeken bemutattam, hogy a kezeletlen és a kezelt szürkevíz hogyan befolyásolja a kapott biomassa tömegét, makro- és mikroelem-tartalmát. A mikroelem-tartalom meghatározásával több szempontból értékeltem a fogyaszthatóságot. Főképpen a THQ, célveszélyességi hányadosra és a HI veszélyességi hányadosra koncentrálna.

Eredményül azt kaptam, hogy a négy növény esetében a fogyaszthatóságot nem befolyásolta drasztikusan a szürkevízek használata, azonban a produktum tömegét igen. A különböző növények különféle módon reagáltak a szürkevízek használatára, például a búza fejlődésére nagy pozitívumként hatott a kezeletlen szürkevíz használata, míg a lucerna esetében az ellenkező történt. Emiatt a növény-specifikusság miatt ahhoz, hogy biztonsággal kijelenthető legyen a kezelt vagy kezeletlen szürkevíz használatának sikeressége a mikroöldségek esetén további növények vizsgálatát igényli.

Bár az általam használt szintetikus fürdővíz jól reprezentálja a régióban keletkező átlagos fürdővízminták összetételét ahhoz, hogy kijelenthessem a szürkevíz biztonsággal való használhatóságát, további vizsgálatokat kell, hogy végezzek valós vízminták alkalmazásával.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Izbékiné Szabolcsik Andrea egyetemi tanársegédnek, témavezetőmnek a dolgozat kialakításában, a vizsgálatok elvégzésében nyújtott odaadó segítségét és ezenkívül, hogy lehetőséget kaptam, hogy a minták vizsgálatát a Környezetmérnöki Tanszék Víztisztaságvédelmi Laboratóriumában végezzem el.

Köszönöm Dr. Baranyai Edinának és Dr. Sajtos Zsófinak, hogy a vízminták és a növényminták elemanalízise során a Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai Laboratóriumában segítséget nyújtottak.

„A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM EKÖP-24-1 KÓDSZÁMÚ EGYETEMI KUTATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT”



8. Irodalomjegyzék

- [1] Y.-P. V.-A. M. Boyjoo, „A review of greywater characteristic and treatment processes.,” in *Water Scien. and Techn.*, 2013, pp. 67, 1403-1424.
- [2] Központi statisztikai hivatal, „Fenntartható fejlődési célok.”, [Online]. Available: <https://www.ksh.hu/sdg>.
- [3] E. U. H. Lapja, „AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2020/741 RENDELETE (2020. május 25.) a víz újrafelhasználására vonatkozó minimumkövetelményekről.”, [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741&from=EN..>
- [4] EUR-LEX, „A Tanács irányelve (1991. május 21.) a települési szennyvíz kezeléséről (91/271/EGK),”, 1991.. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/HU/TXT/?uri=celex%3A31991L0271..>
- [5] R. Vanessa Fuchs-Tarlovsky Ph.D., „Role of antioxidants in cancer therapy,” *Nutrition*, %1. kötet29, %1. szám1, pp. 15-21, 2013..
- [6] D. S. D. H. M. T. V. V. U. B. B. Mahinder Partap, „Microgreen: A tiny plant with superfood potential,” *Journal of Functional Foods*, %1. kötet107, 2023..
- [7] Z. X. E. A. L. K. Yanqi Zhang, „Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture,” *Journal of Future Foods*, %1. kötet1, %1. szám1, pp. 58-66, 2021..
- [8] X. L. X. L. N. W. Q. A. X. M. Y. Z. T. Z. M. Z. Y. H. K. H. O. W. J. W. Si Chen, „Investigation of Chemical Composition, Antioxidant Activity, and the Effects of Alfalfa Flavonoids on Growth Performance,” *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020..
- [9] T. T. H. P. M. M. O. T. P. J. Š. Jiří Sojka, „Overexpression of SIMK in menadione-treated alfalfa enhances antioxidant machinery and leads to oxidative stress resistance,” *Plant Stress*, %1. kötet14, 2024.
- [10] L. A. H. F. C. N. G. Johann M.R. Antoine, „Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica,” *Toxicology Reports*, %1. kötet4, pp. 181-187, 2017.

- [11] A. K. M. Z. A. U. I. Ghazala Yaqub, „Determination of Concentration of Heavy Metals in Fruits, Vegetables, Groundwater, and Soil Samples of the Cement Industry and Nearby Communities and Assessment of Associated Health Risks,” *Journal of Food Quality*, 2021.
- [12] I. B. I. F. Andrea Szabolcsik-Izbéki, „The removal of pollutants from synthetic bathroom greywater by coagulation-flocculation and filtration as a fit-for-purpose method,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, %1. kötet12, 2024.
- [13] D. B. Ildikó, *OKTATÁSI SEGÉDLET a Környezetmérnöki mérés technika, monitoring II. vagy Környezeti analízis II. c. tantárgyhoz kapcsolódó laboratóriumi gyakorlat feladataihoz*, DE-MK, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék , 2004-2017. .
- [14] M. P. Characterization. [Online]. Available: <https://www.microtrac.hu/hu/termek/zeta-potencial/>.
- [15] B. Ildikó, *Oktatási segédlet a Vízgazdálkodás- és vízminőség védelem II. c. tantárgy laboratóriumi gyakorlatához*, 2016.
- [16] K. BME, „Összes szerves széntartalom (TOC) meghatározása,” [Online]. Available: <http://kkft.bme.hu/attachments/article/43/TOC.pdf>.
- [17] D. B. László, „Az ICP-OES készülékek fő egységei és azok kapcsolata,” 2009.
- [18] P. H. S. H. E. B. Zsófi Sajtos, „Elemental analysis of Hungarian honey samples and bee products by MP-AES method,” *Microchemical Journal*, p. 149, 2019.
- [19] A. 5100/5110, „ICP-OES Typical Detection Limit Performane, 2. táblázat”.
- [20] U. S. E. P. Agency, „Integrated Risk Information,” [Online]. Available: <https://www.epa.gov/iris>.
- [21] L. F. C. E.-N. A. Z. M. G. S. D. P. M. K. Y. R. Michele Ciriello, „Iodine biofortification of four microgreens species and its implications for mineral composition and potential contribution to the recommended dietary intake of iodine,” *Scientia Horticulturae*, %1. kötet320, 2023.
- [22] H. A. M. Gretchen M. Bryson, *Plant Analysis Handbook IV*, Athens, Georgia: Micro-Macro Publishing.

9. Melléklet

9.1. táblázat: Az öntözővíz minták minőségi jellemzői

	Mérték- egység		Ivóvíz	Kezeletlen GW	Kezelt GW
pH	-	Átlag	7,77	8,32	8,17
		Szórás	0,08	0,18	0,08
TURB	NTU	Átlag	0,48	88,48	0,52
		Szórás	0,18	16,68	0,20
EC	mS/cm	Átlag	0,78	0,92	1,24
		Szórás	0,01	0,02	0,08
KOI	mg/l	Átlag	9,22	584,78	12,33
		Szórás	2,51	102,21	4,30
BOI ₅	mg/l	Átlag	6,83	188,33	10,40
		Szórás	3,43	7,05	2,88
TOC	mg/l	Átlag	3,05	62,03	5,22
		Szórás	0,70	3,89	2,24
ZP	mV	Átlag	-5,21	-36,46	-13,00
		Szórás	3,18	1,80	2,49