

XXXVII. ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

Kémiai és vegyipari szekció

2025

SZÉKELYFÖLDI ÁSVÁNYVÍZFORRÁSOK KÉMIAI, GEOKÉMIAI ÉS MIKROBIOLÓGIAI JELLEMZÉSE

Szerző:

András Bernadett

Témavezetők:

Dr. Zsigmond Andreea-Rebeka egyetemi adjunktus

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem

Kolozsvári Kar, Környezettudomány Tanszék

Dr. Máthé István egyetemi docens

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem

Csíkszeredai Kar, Biomérnöki Tanszék

Tartalomjegyzék

Kivonat	3
Bevezetés	4
Célkitűzések	9
Anyag és módszer	9
Adatgyűjtés, mintavétel és helyszíni mérések	9
A minták laboratóriumi elemzése	11
Víz kémia vizsgálatok	11
Víz mikrobiológiai vizsgálatok	11
Adatfeldolgozás	12
Eredmények és az eredmények tárgyalása	13
Helyszíni mérések	13
A vizek geokémiai jellemzése	15
A vizek kémiai összetétele	18
Az ásványvizek mikrobiológiai jellemzése	22
Az ásványvizek egészségügyi hatásai	24
Következtetések	27
Könyvészet	29
Melléklet	33

Kivonat

Az utóbbi évtizedben Székelyföld több régiójában található ásványvízforrásokról alapos kémiai és geokémiai vizsgálatok folytak. Jelen kutatásunkban 42 széles körben használt forrást vizsgáltunk meg Korondon, az Alcsíki-, Középcsíki- és Felcsíki-medencékben, valamint Erdővidéken. A mintázást 2022 szeptemberében történt. Helyszíni méréseket végeztünk (hőmérsékletet, pH-t, elektromos vezetőképességet, oxido-redukciós potenciált), bórsav, kóvasav, valamint számos kation (Na^+ , K^+ , Li^+ , Rb^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+}) és anion (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) mennyiségét határoztuk meg különféle laboratóriumi módszerekkel. A vizek Ca-Mg- HCO_3 , Na-Ca-Mg- HCO_3 típusúak voltak. A vizek általában alacsony pH-val rendelkeztek, az elektromos vezetőképesség viszont széles tartományban változott. A hierarchikus klaszteranalízis a vizeket négy nagyobb csoportba sorolta a makroösszetevők alapján. Néhány forrás különleges összetételűnek minősült, például a korondi Árcsó forrás és a Székelyudvarhely mellett levő Szejke forrás kitűnt a magas kalcium-szulfát tartalommal, a felcsíki Sörkertesi és Szederjesi forrás pedig a magas magnéziumtartalommal (> 240 mg/l). A nyomelemek szempontjából a hargitafürdői Vallató forrásnak magas volt az alumíniumtartalma, ami meghaladta a megengedett 0,2 mg/l határértéket ivóvizekre, és ezért nem ajánlott a rendszeres fogyasztása.

A forrásvizekből meghatároztuk a baktériumok összcsíraszámát 22 °C-on és 37 °C-on, illetve vizsgáltuk a higiéniai szempontból fontos baktériumok (coliformok, *Escherichia coli*, fekális *Enterococcus*-ok, *Clostridium*-ok) jelenlétét. Mikrobiológiai szempontból több forrás kiváló minőségű víznek tekinthető, de voltak olyan források is, amelyekben többféle baktériumot is kimutattunk. Elmondhatjuk, hogy a rendszeres gondozás hiánya miatt az ásványvizek higiéniai állapota egyre inkább romlik, és kimutatható hogy felszíni, nem ritkán fekális eredetű szennyezések kerülnek be a források vizébe.

Bevezetés

Az ásványvíz olyan természetes víz, amelynek eredete az ásványi anyagokban gazdag földkéreg vízáadó rétegeiből származik, és lehet mesterségesen előállított (fűrt kutakból) vagy természetesen felszínre kerülő (forrásokból származó) víz (Szép és mtsai. 2021).

A természetes ásványvizek azáltal különböznek a hagyományos ivóvíztől, hogy azokkal a természetben található ásványi anyagokkal dúsítják, amelyeket a víz felszín alatti ásványi rétegeken keresztül haladva szerez. Ezek az ásványi anyagok és nyomelemek számos egészségügyi előnnyel járhatnak az emberi szervezet számára. Egy víz akkor tekinthető ásványvíznek, ha az oldott ásványianyag mennyisége legalább 1000 mg/l (Feru 2012).

„A föld belsejének titokzatos laboratóriumában állandóan folyó érdekes és roppant komplikált vegyi munkának legjobb regisztrálói a felszínen az ásványvizek” (Bányai 1941).

A vízkészletek és az ásványvízkészletek szempontjából, Európában a legfontosabb területek egyike a Keleti-Kárpátok vulkáni láncolata. A neogén vulkáni tevékenységek jelentős szerepet játszottak az ásványvizek kialakulásában, és Székelyföldön több ásványvízforrás és CO₂-dominálta gázfeltörés is előfordul (Kis és mtsai. 2011).

Számos település hírnevét az általuk kínált borvizek adják. Ezek a vizek magas ásványianyag-tartalmukkal és a szén-dioxid hatásával kellemes ízelményt nyújtanak, így a lakosok szívesen fogyasztják őket, akár több kilométert is megtesznek azért, hogy mindennap hozzájussanak a kedvenc ásványvizeikhez (Éltető 2004).

Székelyföld földtani felépítését három jelentős tényező határozza meg. Először, a Kárpátok vonulata az egész terület alapját képezi. Ez a hegyvonulat a régióban található legmagasabb hegyekkel és hegyvidéki területekkel rendelkezik. Másodszor, Székelyföldet egy harmadkori sós zónával jellemzett medencekitöltés is megkülönbözteti. Ez a sós zóna a régió központjában található, és jelentős mennyiségű sótartalmú kőzetből áll, ami az ottani földtani felépítés meghatározó része. Harmadszor, az andezites Hargita-hegység erupciós vonala az andezit vulkáni tevékenység nyomait hordozza magán. Az andezit az egyik leggyakoribb vulkáni kőzet a régióban. E három jelentős tényező együttesen határozzák meg a Székelyföld földtani felépítését (Bányai 1941).

A Székelyföldön található ásványvizek közül a legjellemzőbb típusúak a savanyúvizek, melyek eredetét az egykori vulkanizmusra lehet visszavezetni (Jánosi és mtsai. 2008). A geológiai folyamatok során, amelyeket a vulkáni tevékenység okozott, több fázis is nyomot hagyott Székelyföld területén. Ezek a folyamatok a vulkáni utóhatások különböző stádiumait

mutatják be, egészen a mai helyzetig, az utóhatások legutolsó és végleges szakaszáig, azaz a széndioxid-gázömlésekig és az ezekkel kapcsolatos savanyúvizek keletkezéséig (Bányai 1934).

A természetes ásványvizek különböző összetétellel rendelkeznek, attól függően, hogy milyen ásványi rétegen haladnak keresztül, és milyen talaj- és kőzeti formációkkal érintkeznek. Reduktív jellegűek, mivel a föld mély rétegeiből törnek fel, CO_2 -ban gazdagok, és az O_2 szinte teljes vagy teljes mértékben hiányzik belőlük. Agresszív vizekként, a kőzetekkel érintkezve jelentős mennyiségű ásványi anyagot képesek kioldani, legnagyobb mértékben Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ionokat, ezen kívül viszont nem elhanyagolható a Fe^{2+} , Mn^{2+} , néhány esetben pedig az Al^{3+} mennyisége sem (Langmuir és mtsai. 2004).

Az emberi test több mint felét víz alkotja, ami számos szerepet tölt be az élő szervezetben. A víz oldószere a sejtekben és a sejten kívül pedig a tápanyagok szállításában játszik kiemelkedő szerepet. Továbbá, a víz nagy hőkapacitása lehetővé teszi, hogy a testben zajló hőtermelő folyamatok ne emeljék jelentősen a testhőmérsékletet. A párolgás segíti a szervezet hőleadását, így hozzájárul a testhőmérséklet szabályozásához (Pankotai és Varga 2010).

A megfelelő mennyiségű vízfogyasztás elengedhetetlen a betegségek megelőzése szempontjából. Egy kutatás szerint a természetes ásványvizek közül azok, amelyek nagyobb mennyiségű bikarbonátot tartalmaznak, csökkenthetik az LDL-koleszterinszintet és azon keresztül a szív- és érrendszeri betegségek kockázatát (Toxqui és Vaquero 2016). Egy svájci kutatás – amelyet fiatal, egészséges nők bevonásával végeztek – kimutatta, hogy a bikarbonátban gazdag víz (~2000 mg/l) fogyasztása napi 1,5 liter mennyiségben egy hónapon át szignifikánsan csökkentette a csontszövet visszaoldódását, és emelte a vizelet pH-szintjét (Wynn Dumartheray és mtsai. 2007).

Az ásványvizek jelentős mennyiségben tartalmaznak kationokat (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) és anionokat (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), amelyek makro-összetevőknek tekinthetők. Ezek általában 1 mg/l feletti mennyiségben találhatók az ásványvizekben, de akár 100 mg/l feletti koncentrációban is előfordulhatnak. Emellett nyomokban jelen lehetnek más ionok és szervesetlen vegyületek is, például Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2SiO_3 (metakovasav), HBO_2 (metabórsav), valamint nyomokban Li^+ , Rb^+ , Ba^{2+} , Sr^{2+} , F^- , Br^- és I^- . Ritka esetekben, az ásványvizekben As és/vagy Hg is megtalálható.

A nátrium fontos szerepet játszik a sav-bázis egyensúlynak a fenntartásában, a felnőttek a nátriumot elsősorban a konyhasóval viszik be a szervezetbe (Pankotai és Varga 2010). A nátrium az extracelluláris testfolyadékokban található fő kation, csak kis mennyiségben található sejtekben. Bizonyos mennyiségű nátrium megtalálható a csontokban is, ahol a vér pH-értékének fenntartásában nátriumtárolóként szolgál (WHO 1996). A nátriumion az egyik fontos

alkotóeleme a földkéregnek és a tengervíznek is. A földkéregben elsősorban a szilikátokban található, különösen a földpátokban, ami a magmás kőzetek színtelen összetevőjeként jelenik meg (Nagy 2017).

A *kálium* szükséges a gyomorsav termelődésében és a vércukorszint szabályozásához, az sejten belüli folyadékban található leggyakoribb ionféleség. A legjobb forrásai közé tartoznak a banán, a paradicsom, a krumpli, a sárgabarack. Az étkezési sók változó mennyiségben káliumot tartalmaznak. Az optimális ion-arányok kialakításához és fenntartásához azonban lényeges a nátrium és a kálium bevitelének a megfelelő aránya (Pankotai és Varga 2010). Az ásványvizek elsősorban alumino-szilikátokból oldják ki a káliumot (például káliföldpátokból és csillámokból), ezen kívül a kősónak egyik kísérő ionja (Borszéki 1979).

A *kalcium* az idegimpulzusok továbbításához és a véralvadáshoz nélkülözhetetlen elem (Ling és mtsai. 2019). Elengedhetetlen az ember számára, mivel segít a sejtmembrán stabilizálásában, a véralvadásban és a csontok egészséges állapotának a megtartásában (Vormann 2003). Az ivóvízminőségi szabvány szerint a káliumra és a kalciumra nincs maximálisan elfogadható érték. Ennek oka, hogy az ivóvízben a kálium- és kalciumkoncentráció jóval alacsonyabb, mint ami az emberi egészségre nézve aggályos lenne (Ling és mtsai. 2019). A kalciumion elsősorban mészkőből (CaCO_3) származik, amit a szénsavas víz jól tud oldani.

A *magnézium* az emberi testben a negyedik leggyakoribb ásványi elem. Szerepet játszik a nukleinsavak szintézisében, az ATP képzésében és a csontok mineralizációjában (Pankotai és Varga 2010). A magnéziumhiány zavart okozhat a szívizom működésében és izomgyengeség alakulhat ki. A magnéziumhiány egyik leggyakoribb következménye a csontszövet leépülése, ami csonttritkulásban nyilvánulhat meg, mivel a szervezet elsősorban a csontokból pótolja a hiányzó magnéziumot (Vormann és Anke 2002). A földkéregben a magnéziumion fő forrása a dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), amely hasonlóan a mészkőhöz jól oldódik szénsavas vízben, és magnézium-bikarbonát formájában kerül az ásványvizekbe. Másik forrása lehet a gipsz ($\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ami lényegesen jobban oldódik vízben, mint a dolomit, elsősorban tengeri üledékekben fordul elő, hiszen az első só, ami kiválik a vízből.

A *hidrogénkarbonát*- vagy bikarbonácion pH szabályozó hatással rendelkezik, jelentősen növeli a víz pufferkapacitását. Az emberi szervezetben hasonló jelentőséggel bír, mint a Cl^- úgy a vérben, mint az emésztőnedvekben. Fontos szerepet játszik a vékonybélben a lúgos kémhatás kialakításában és fenntartásában (Pankotai és Varga 2010). Az ásványvizek a karbonátos ásványok oldása során gazdagodnak bikarbonátionokban. Hasonlóan fontos

folyamat a szilikátásványokkal való kölcsönhatás, amely során főleg NaHCO_3 , kisebb mértékben KHCO_3 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ kerül a vizekbe.

Az Európai Parlament és Tanács 2009/54 Irányelve szerint az emberi fogyasztásra szánt ásványvizek a következő szempontok szerint csoportosíthatók:

- hidrogénkarbonát-tartalmú ($\text{HCO}_3^- > 600 \text{ mg/l}$);
- szulfát-tartalmú ($\text{SO}_4^{2-} > 200 \text{ mg/l}$);
- klorid-tartalmú ($\text{Cl}^- > 200 \text{ mg/l}$);
- nátrium-tartalmú ($\text{Na}^+ > 200 \text{ mg/l}$);
- kalcium-tartalmú ($\text{Ca}^{2+} > 150 \text{ mg/l}$);
- magnézium-tartalmú ($\text{Mg}^{2+} > 50 \text{ mg/l}$);
- vas-tartalmú ($\text{Fe}^{2+} > 1 \text{ mg/l}$).

Az Európai Bizottság 2003/40 Irányelve szerint az emberi fogyasztásra szánt természetes ásványvizekre a következő maximális határértékek érvényesek a fontosabb összetevőkre:

- bárium 1 mg/l ;
- mangán $0,5 \text{ mg/l}$;
- nitrátok 50 mg/l ;
- nitritek $0,1 \text{ mg/l}$.

A báriumion gyakorisága nagyon változó a természetes ásványvizekben, de általában nem haladja meg az 1 mg/l értéket. Egy lengyelországi felmérés során a Tátrából származó palackozott ásványvizekben vizsgálták a báriumkoncentrációt, ami $0,014\text{--}1,12 \text{ mg/l}$ között változott (Garboś és Świącicka 2013). Tudorache és mtsai. (2010) vizsgálták több Hargita és Kovászna megyei ásványvízforrás báriumion-tartalmát. Egyes forrásoknál, mint például a Kovászna település területén levő forrásoknál, bodoki, előpataki, bilbori források egy részénél magas báriumkoncentrációkat jeleztek. A források között szerepeltek olyanok is, amelyeket a jelen kutatásban is elemeztünk, például a bibarcfalvi, zsögödi források. Ezek közül egyikben sem haladta meg a báriumkoncentráció az 1 mg/l értéket.

A lítiumra, stronciumra és bórra jelenleg nincs hivatalos határérték az ásványvizekre sem az Európai Unióban, sem Romániában. Egy japán kutatás bizonyította, hogy a lítium és a bór jól ürül a szervezetből, a bevitt mennyiségnek több, mint 90%-a eltávozik a vizelettel 24 órán belül. Mind a két elem fiziológiás szerepet tölt be a szervezetben. A lítium-karbonátot pszichés megbetegedések (depresszió, bipoláris szindróma) kezelésére használják, a bórnak pedig szerepe van a kalciumion felszívódásában. Ezzel szemben a stronciumion nagyrésze a szervezetben marad, csupán 17-20%-a távozik a vizelettel (Usuda és mtsai. 2007). Az Amerikai Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége (USEPA) 2014-ben javaslatot tett a

stronciumtartalom szabályozására ivóvízben. A javaslatra azért került sor, mert a stronciumion kémiai hasonlóságot mutat a kalciumionnal, és mint ilyen, bizonyítottan be tud épülni a csontokba és fogakba kiszorítva a kalciumiont. A javaslat szerint a stronciumion mennyisége nem kellene, hogy meghaladja az 1,5 mg/l koncentrációt ivóvízben (USEPA 2014). Ennek ellenére, az utóbbi évek kutatásai arra a következtetésre jutottak, hogy a stronciumion egy esszenciális ásványianyag az emberi szervezetre nézve, amely jótékonyan hat a csontokra, serkentve a csontképződést (Kołodziejska és mtsai. 2021, You és mtsai 2022).

A szilícium egy geológiai eredetű elem, amely a szilikátásványok mállásából ered, és általában metakovasav formájában van jelen az ásványvizekben. Egészségügyi hatását már a 1990-es években jelezték, miszerint elősegíti az erősen mérgező alumíniumion kiválasztását a vesék által (Birchall 1992). Pár kutatás az ásványvizek hatását vizsgálta Alzheimerben, ill. szklerózis multiplexben szenvedő betegekre, és megállapították, hogy a betegeknél jelentősen nagyobb arányban távozott az alumínium a vizelettel, ha napi 1-1,5 liter kovasavat tartalmazó (~10 mg/l Si) ásványvizet fogyasztottak. Úgy tűnik, hogy a fokozott alumíniumkiválasztás ásványvíz hatására a nőkre inkább jellemző, mint a férfiakra (Davenward és mtsai. 2013, Jones és mtsai. 2017). A szilícium hosszútávú fogyasztása hasznos lehet olyan időskori degeneratív betegségek megelőzésében, amelyekben szerepet játszik az alumínium (Miu 2006).

A közegészségügy már évtizedek óta felelős az ásványvizek, kútvizek, gyógyfürdők és termálvizek mikrobiológiai vizsgálatáért. Az ilyen vizsgálatok azért fontosak, mert a legtöbb fertőző betegség vízzel terjed, ezért elengedhetetlen az indikátorszervezetek kimutatására irányuló higiéniai elemzések elvégzése (György és mtsai. 2007). Az ásványvizek természetes állapotukban mikrobiológiai szempontból általában jó minőségűek. Első lépésként meghatározzák a 20 °C-on és 37 °C-on kitenyészthető baktériumok csíraszámát 1 ml vízmintában. Ha a baktériumok száma magas, az arra utalhat, hogy külső szennyezés történt, és további vizsgálatokra van szükség, amelyek a fekális baktériumok jelenlétére fókuszálnak (Máthé és mtsai. 2005).

Mikrobiológiai szempontból az ásványvizekre ugyanazok a közegészségügyi előírások vonatkoznak, mint az ivóvízre (2009/54/EK Irányelv, HG 1020/2005). A fekális coliformok (például az *Escherichia coli*) és a fekális *Enterococcus*-ok a legfontosabb indikátorok a fekális szennyeződés jelenlétének vizsgálatában. A szaprofita baktériumok, amelyek nem kifejezetten a székletből, hanem a növényekből vagy a talajból származnak, általában elkülöníthetők a fekális coliformoktól (György és mtsai. 2006).

Célkitűzések

Székelőföld az ásványvizek és gyógyvizek hazája, mivel közel 2000 természetes ásványvízforrás található a vidéken, amelyek ivóvízként vagy fürdőkúrákra is alkalmasak. A helyi lakosság jelentős része napi szinten fogyasztja ezeket a vizeket. Jelen kutatásban célul tűztük ki Hargita és Kovászna megye több területén (Korond, Alcsík, Középcsík, Felcsík és Erdővidék) levő, széles körben fogyasztott ásványvízforrásnak kémiai és mikrobiológiai vizsgálatát. Összesen 42 forrást vizsgáltunk meg és hasonlítottunk össze 2022 őszén. Az összehasonlítást a helyszíni fizikai-kémiai paraméterek, a makroösszetevők és néhány mikro- és nyomelem alapján végeztük. Célunk volt felmérni azt is, hogy az irodalmi adatok alapján, lehet-e egészségügyi haszna az ásványvizek hosszútávú fogyasztásának.

Anyag és módszer

Adatgyűjtés, mintavétel és helyszíni mérések

Kutatásunk során olyan ásványvizeket gyűjtöttünk be, amelyeket a helyi lakosok előszeretettel és gyakran fogyasztanak. Ezek a vizek különböző geológiai képződményekkel érintkezve kerülnek a felszínre. A geológiai csoportokat a Romániai Geológiai Intézet oldalán közzétett térkép alapján állapítottuk meg (<https://geoportal.igr.ro/viewgeol1M>). A források népi nevei, a földrajzi elhelyezkedésük (helység és GPS koordinátáik), valamint a geológiai típusuk az 1. táblázatban láthatók. Egyes források vizét csővön vezették ki, a kisebb hozamúaknak többnyire fából készült hengeres medencét készítettek, amit a helyiek küpünek neveznek.

A mintákat 2022 szeptemberében és októberében gyűjtöttük be. Helyszíni méréseket végeztünk, egy hordozható multiméterrel (WTW2230, Németország) meghatároztuk a hőmérsékletet (°C), a kémhatást (pH), a redoxpotenciált (ORP) és a fajlagos elektromos vezetőképességet (EC). A fémionok meghatározásához 50 ml vízmintát vettünk egy műanyag edénybe, és a helyszínen 1 ml 65%-os HNO₃-val (Merck, Suprapur) kezeltünk. Az anionok mennyiségi meghatározásához 3 x 0,5 liter mintát gyűjtöttünk be műanyagpalackba, légmentesen zárva. Ezeket a mintákat hűtőszekrényben tároltuk a laboratóriumi elemzésig.

A mikrobiológiai vizsgálatok céljából 2 liter vízmintát vettünk, amelyeket steril üvegedényekbe gyűjtöttünk és hűtőtáskában szállítottuk a laboratóriumba. Minden forrásnál felmértük a hely tisztaságát, a forrás állapotát, közeli szennyezőforrásokat (pl. szemetes, házak, kertek közelsége, lótrágya jelenléte stb.).

1. táblázat. Az ásványvízforrások helyszíni és geológiai adatai.

Kód	Név	Helység	GPS N	GPS E	Kifolyás típusa	Forrás típusa	Geológiai típus*
MW1	Cseredombi	Korond	46.492861	25.177222	küpi	természetes	1
MW2	Árcsó - jobb	Korond	46.485555	25.167222	cső	természetes	1
MW3	Árcsó - bal	Korond	46.485555	25.167222	cső	természetes	1
MW4	Dióvápai	Korond	46.468333	25.200000	cső	természetes	1
MW5	Szejke	Székelyudvarhely	46.334083	25.271683	cső	természetes	1
MW6	Klotild	Homoródfürdő	46.349363	25.469886	cső	természetes	1
MW7	Mária	Homoródfürdő	46.349527	25.470916	cső	természetes	1
MW8	Lobogó	Homoródfürdő	46.350361	25.473333	cső	természetes	1
MW9	Felszegi	Kápolnásfalu	46.368833	25.526361	küpi	természetes	1
MW10	Lobogó	Szentegyháza	46.323250	25.506861	cső	fűrt	1
MW11	Csatószege	Csatószege	46.240417	25.897765	cső	fűrt	2
MW12	András Pista	Csikszentkirály	46.310400	25.883025	cső	természetes	2
MW13	Nagy borvíz	Csiksomlyó	46.377750	25.828800	cső	természetes	2
MW14	Taplócai	Csikszereda	46.376300	25.791830	cső	fűrt	2
MW15	Délő	Lövete	46.312616	25.539283	küpi	természetes	1
MW16	Hargita gyöngye	Lövete	46.311200	25.536516	cső	természetes	1
MW17	Nádasszéki	Lövete	46.293700	25.528050	küpi	természetes	1
MW18	Tábori	Kirulyfürdő	46.300283	25.576500	cső	természetes	1
MW19	Festő	Kirulyfürdő	46.316916	25.597099	cső	természetes	1
MW20	Vallató	Hargitafürdő	46.387030	25.638360	cső	természetes	4
MW21	Bagoly	Tusnádfalu	46.204530	25.916030	cső	fűrt	2
MW22	Ifjúági	Tusnádfürdő	46.143920	25.852940	cső	természetes	4
MW23	Apor	Tusnádfürdő	46.143040	25.859870	cső	természetes	3
MW24	Faluvégi	Száldobos	46.119960	25.586690	küpi	természetes	3
MW25	Bibarcfalvi	Bibarcfalva	46.091480	25.649560	cső	természetes	3
MW26	Ágostonhidi	Magyarhermány	46.146800	25.704700	cső	természetes	4
MW27	Alszege	Magyarhermány	46.128510	25.707640	cső	természetes	4
MW28	Rezes	Kisbacon	46.117650	25.707190	cső	természetes	4
MW29	Nagybaconi	Nagybacon	46.093300	25.710330	cső	természetes	3
MW30	Bedő	Mikóújfalva	46.049980	25.826920	cső	természetes	3
MW31	Zsögödi-F326	Zsögödfürdő	46.337610	25.802290	cső	fűrt	2
MW32	Gyilkossarki	Csikszenttamás	46.584532	25.837247	küpi	természetes	3
MW33	Vadkéstővi	Csikjenőfalva	46.591261	25.695892	küpi	természetes	4
MW34	Madicsai	Csikkarfalva	46.549048	25.708407	cső	természetes	2
MW35	Kisló	Csikkarfalva	46.554543	25.590847	küpi	természetes	4
MW36	Nagylo	Csikkarfalva	46.549175	25.639346	küpi	természetes	4
MW37	Dugásfürdő	Csikdánfalva	46.512878	25.740452	cső	fűrt	2
MW38	Bogáti	Csikrákos	46.453853	25.746048	cső	fűrt	2
MW39	Borvízutcai	Madéfalva	46.431987	25.760814	cső	fűrt	2
MW40	Sörkerti	Csikmadaras	46.493954	25.752683	cső	természetes	2
MW41	Nagyegeri	Csikmadaras	46.501129	25.747540	cső	fűrt	2
MW42	Szederjesi	Csikmadaras	46.499284	25.639019	cső	természetes	4

*Geológiai típusok: 1 – Erdélyi-medence miocén üledékek és neogén vulkanitok, 2 – Olt-menti holocén folyami és teraszüledékek, 3 – Holocén-pleisztocén medence üledékek, neogén piroklaszt és kárpáti kréta flis üledékek, 4 – Neogén vulkanitok és piroklaszt üledékek.

A források jelentős része gondozott állapotban volt, egyeseket nem rég javítottak fel. Általános megfigyelésünk volt, hogy a helyi közösségek többsége értékeli ezeket a vizeket. Akadtak viszont olyan források is, amelyek rendszeres gondozásra szorulnának. A karbantartás

sokat javítana a vizek mikrobiológiai minőségén, hiszen általában felszíni szennyezések jelentkeznek, nem ritkán fekális eredetű baktériumok jelennek meg bennük.

A mikrobiológiai vizsgálatokat a mintavétel napján végeztük el, egyes kémiai összetevőket (bikarbonát, szulfát, klorid, foszfát) pedig a mintavételt követő pár napban végeztük, a fémionok elemzését pedig pár héten belül.

A minták laboratóriumi elemzése

Vízkémia vizsgálatok

A Sapiientia EMTE Kolozsvári Karának Környezettudomány Tanszékén végzett kémiai laborvizsgálatok során azonosításra kerültek a fontosabb makro-, mikro-, és nyomelemek, valamint a főbb kationok és anionok.

Anionok elemzése

A bikarbonácion meghatározását klasszikus sav-bázis titrálással végeztünk, 0,1 N-os HCl mérőoldat felhasználásával, brómkrezolzöld indikátor jelenlétében.

A kloridiontartalmat potenciometriás titrálással határoztuk meg Alpha Plus titrálókészülék segítségével, egy Ag_2S -csapadékelektóddal. A mérőoldat 0,01 N-os AgNO_3 -oldat volt.

A szulfácion mennyiségét turbidimetriás módszerrel határoztuk meg. Szilárd, porított BaCl_2 -t adtunk a mintákhoz, amely során a SO_4^{2-} ionok rosszul oldódó BaSO_4 formájában kicsapódtak, és a minta zavarossá vált. A minta fényelnyelését a Jenway 6400 típusú UV-VIS spektrofotométerrel határoztuk meg, az elnyelést 420 nm-en mértük.

A foszfácion meghatározása UV-VIS spektrofotometriás módszerrel történt, kénsavas ammónium-molibdát színeképző reagenssel és aszkorbinsav redukálószer használatával. A kék oldatok abszorbanciáját 630 nm mértük.

Kationok elemzése

A fémionok meghatározását mikrohullámú plazmás atomabszorpciós spektrométerrel (MP-AES 4210, Agilent Technologies, USA) történt. Az atomizáló és gerjesztő közeg egy 4500 K fokos hőmérsékletű N_2 -plazma volt. Ionizációs szupresszorként CsCl -t használtunk. A Ca, Mg, K és Na meghatározását 10-szeres és 100-szoros hígítás mellett végeztük. A mikro- és nyomelemek (Al, B, Ba, Li, Fe, Mn, Rb, Si, Sr) meghatározása a hígítatlan mintákból történt.

Vízmikrobiológiai vizsgálatok

A Sapiientia EMTE Csíkszeredai Kar Biomérnöki Tanszékén végeztük a mikrobiológiai elemzéseket. Az aerob mezofil telepképző baktériumok összcsíraszámát Nutrient agar (Fluka)

tápközeg felhasználásával határoztuk meg 22 és 37 °C-on, 1 ml vízmintával történő lemezöntéssel.

Az ún. indikátor baktériumok vizsgálatakor előzetesen 100-100 ml vízmintát szűrtünk át 0,45 µm pórusátmérőjű steril membránszűrőn, majd a kapott szűrőpapírokat különböző szelektív tápközegekre helyeztük és egy-két napig 37 °C-on inkubáltuk. A különböző tápközegek alkalmasak voltak a vízhygiéniai szempontból fontos baktériumcsoportok kimutatására.

A *fekálkóli* (*Escherichia coli*) és *coliform baktériumok* kimutatására HiCrome Coliform Agar (Himedia) tápközeget használtunk. A coliform baktériumok lilás színű telepeket, míg az *Escherichia coli* baktériumok kék színű telepeket alkotnak a szűrőpapíron.

A *fekális Enterococcus* baktériumok csíraszámát a Slanetz-Bartley (Oxoid) táptalajon határoztuk meg. Az *Enterococcus* baktériumok vörös színű telepeket hoznak létre a szelektív táptalajon.

A *Pseudomonas aeruginosa* kimutatására a Pseudomonas Liquid Media (Merck, Millipore) szelektív tápközeget használtuk. Ez a baktérium zöld színű telepeket képez a tápközegen, mivel zöldes színű pigmentanyagot termelnek, amely 365 nm-es hullámhosszú UV fényben zölden fluoreszkál.

Az anaerob, spóráképző szulfit-redukáló baktériumok (*Clostridium* sp.) jelenlétének a vizsgálata Clostridial Differential Broth (Fluka) táplevest tartalmazó, parafinnel lezárt kémcsövekben történt, amelyeket előzetesen 10 percig 80 °C-os vízfürdőbe tettünk. A pozitív csövek esetében fekete színű vas-szulfid csapadék keletkezett.

Adatfeldolgozás

Az adatok statisztikai feldolgozását R szoftverrel (R Core Team, 4.1.2. verzió) végeztük. A főösszetevők alapján hierarchikus klaszteranalízist végeztünk. Ennek érdekében az adatsorokat standardizáltuk nulla középre és egységnyi szórásra, majd euklideszi-távolságokat számoltunk a mintákra. A klasztereket a Ward-módszerrel kapcsoltuk össze. Az elemek közti összefüggést Spearman-féle rang korrelációs együtthatókkal vizsgáltuk. Azért választottuk ezt a korrelációs együtthatót, mert robusztus a kiugró értékekre, és monoton kapcsolatot vizsgál két változó között. A Piper-diagram elkészítésére a GW_Charts ingyenes számítógépes programot használtuk (USGS, 1.30.0 verzió), a többi ábrát pedig a Microsoft Excel Office 2016 programcsomaggal készítettük.

Eredmények és az eredmények tárgyalása

Helyszíni mérések

A helyszíni mérések eredményei a 42 ásványvízforrásra a 2. táblázatban láthatók. A források enyhén savas jellegűek voltak, ami a bennük oldott szénsavnak tulajdonítható. A magasabb pH-jú vizekben nagyobb részarányban fordult elő a bikarbonát. A legsavasabb források a csíkszenttamási Gyilkossarki (MW32), a csíkkarcfalvi Kisloki (MW35), valamint a hargitafürdői Vallató (MW20) voltak 4,86-os, 4,67-es és 5,12-es pH-val. A legmagasabb pH-val rendelkező források a lövétei Hargita gyöngye (MW16) és a szentegyházi Nagy-borvíz (MW10) voltak, amelyeknél 6,44 és 6,38 pH értéket mértünk. A források vizének vezetőképessége 0,167 mS/cm és 5,928 mS/cm között változott. A legkisebb vezetőképessége a legsavasabb vizeknek volt (MW20, MW35), a legnagyobb pedig a lövétei forrásoknak (MW15-17). Ezek a források a leggazdagabbak voltak oldott ásványianyag-tartalomban.

A legmagasabb redoxpotenciállal rendelkezett a tusnádfürdői Tábori-forrás (133,3 mV), ami nagyban különbözött a székelyudvarhelyi Szejke-forrástól (-2,1 mV). Az utóbbi forrás vize keveredik egy sós, metánt tartalmazó mélyfúrás vizével, ami eredményezheti ezt a redukzív jelleget. A források általában redukzív jellegűeknek bizonyultak, ami várható volt, hiszen a vizek a földkéregből törnek fel, és nem érintkeznek oxigénnel. A bennük levő oldott gázok nagy részét a CO₂ teszi ki.

A források egy kivétellel hideg vizeknek minősültek, hőmérsékletük nem haladta meg a 20 °C-ot. A csíkdánfalvi Dugás-forrás (MW37) hőmérséklete meghaladta a 20 °C-ot, így hipotermál víznek minősült. Ez a forrás egy fűt kút, ami magyarázatot ad a magas hőmérsékletre, hiszen nagy mélységből, viszonylag rövid idő alatt tör fel a víz.

Mivel ezeket a vizeket emberek fogyasztják, a 18 °C feletti vizek már kevésbé hűsítő hatásúak. A leghidegebb források a csíkkarcfalvi Kisloki és Nagyloki források, valamint a hargitafürdői Vallató voltak, melyeknek a hőmérséklete 6,1–7,9 °C között változott.

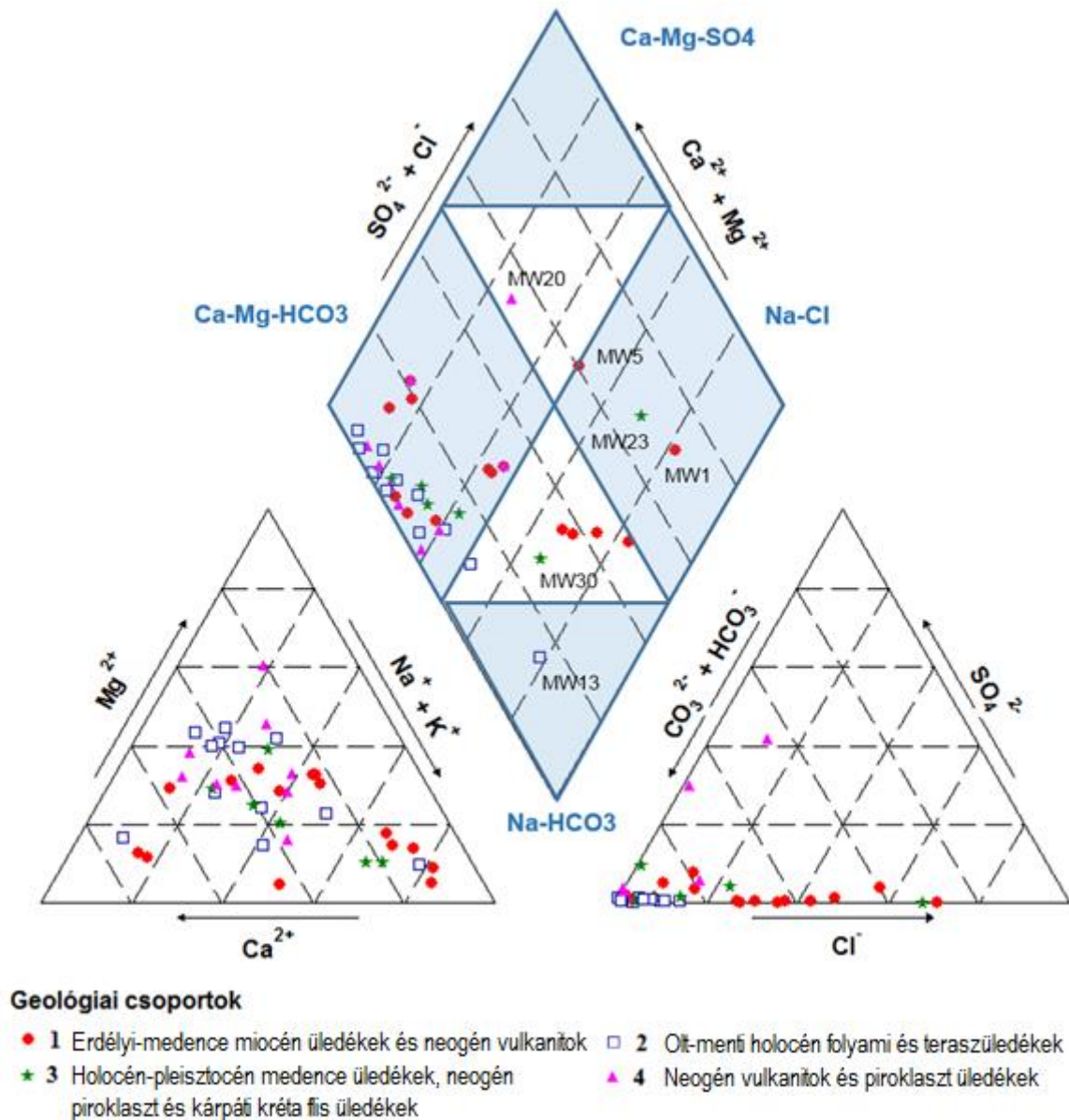
A források hozama 0,91 és 97,0 l/perc érték között változott. A legkisebb hozama a korondi Cseredombi (MW1) forrásnak volt, ami egy küpös forrás. Hasonlóan kis hozama volt az MW3, MW9, MW17, MW17 forrásoknak, amelyek az MW3 kivételével mind küpös források. Legnagyobb hozama a szentegyházi MW10-es forrásnak volt, ami egy mélyfúrás, és ahol több csövön keresztül tör fel a víz. A következő nagyhozamú forrásoknak a hozama (MW25, MW40) csupán 30,4, ill. 33,3 l/perc volt. A források medián hozama 6,5 l/perc, átlagos hozama pedig 12,2 l/perc.

2. táblázat. A 42 ásványizforrás helyszíni méréseinek eredményei.

Kód	t (°C)	pH	EC (μ S/cm)	ORP (mV)	Hozam (L/min)
MW1	10,7	5,74	2,87	50,0	0,91
MW2	9,0	6,23	2,49	41,7	5,07
MW3	9,1	6,22	2,34	43,1	1,80
MW4	10,4	5,70	0,58	45,0	3,45
MW5	10,7	6,13	3,67	-2,1	6,52
MW6	10,4	6,05	2,34	38,9	2,72
MW7	10,9	6,16	2,60	39,5	3,89
MW8	12,9	6,20	2,74	35,7	19,0
MW9	8,8	5,44	0,25	105	1,53
MW10	17,2	6,12	2,41	30,3	97,0
MW11	10,2	6,13	1,85	25,3	30,4
MW12	14,5	5,81	0,83	76,9	7,65
MW13	13,5	6,38	2,86	18,6	13,3
MW14	17,1	6,14	1,49	39,2	11,1
MW15	10	6,35	4,27	28,1	2,28
MW16	13,5	6,44	5,93	6,3	23,9
MW17	8,3	6,15	4,40	61,6	1,03
MW18	11,5	5,97	1,10	67,8	10,0
MW19	9,7	5,99	1,30	84,2	1,84
MW20	6,6	5,12	0,17	127	3,95
MW21	11,6	6,05	1,52	50,6	23,5
MW22	9,9	5,22	0,32	133	1,75
MW23	15,4	5,63	2,47	86,3	5,34
MW24	10,9	6,09	1,46	49,3	5,78
MW25	13,4	6,29	2,49	36,6	30,4
MW26	11,8	5,76	0,66	76,9	1,33
MW27	11,8	5,77	0,92	71,1	20,3
MW28	11,4	6,05	1,47	44,9	12,7
MW29	9,2	5,94	0,88	72,8	7,09
MW30	10,7	6,13	2,43	45,7	10,8
MW31	16,1	6,01	1,75	37,0	21,1
MW32	9,43	4,86	1,24	89,6	3,62
MW33	9,08	5,29	1,27	77,1	–
MW34	13,13	5,45	1,14	83,0	–
MW35	6,07	4,67	0,30	133	–
MW36	7,90	5,37	0,84	93,1	14,3
MW37	23,13	6,03	1,40	68,4	17,9
MW38	19,43	6,32	1,56	61,6	9,23
MW39	18,75	5,77	2,30	114	3,27
MW40	17,05	6,32	3,18	71,7	1,78
MW41	18,33	5,69	1,23	65,5	33,3
MW42	15,60	5,72	2,98	48,3	4,13

A vizek geokémiai jellemzése

A fő összetevőkre (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) kapott koncentrációk a 3. táblázatban (mellékletben) láthatók. A Piper-diagramon (1. ábra) látható a vizek csoportosulása a kationok és anionok ekvivalens-koncentrációinak százalékos aránya szerint.

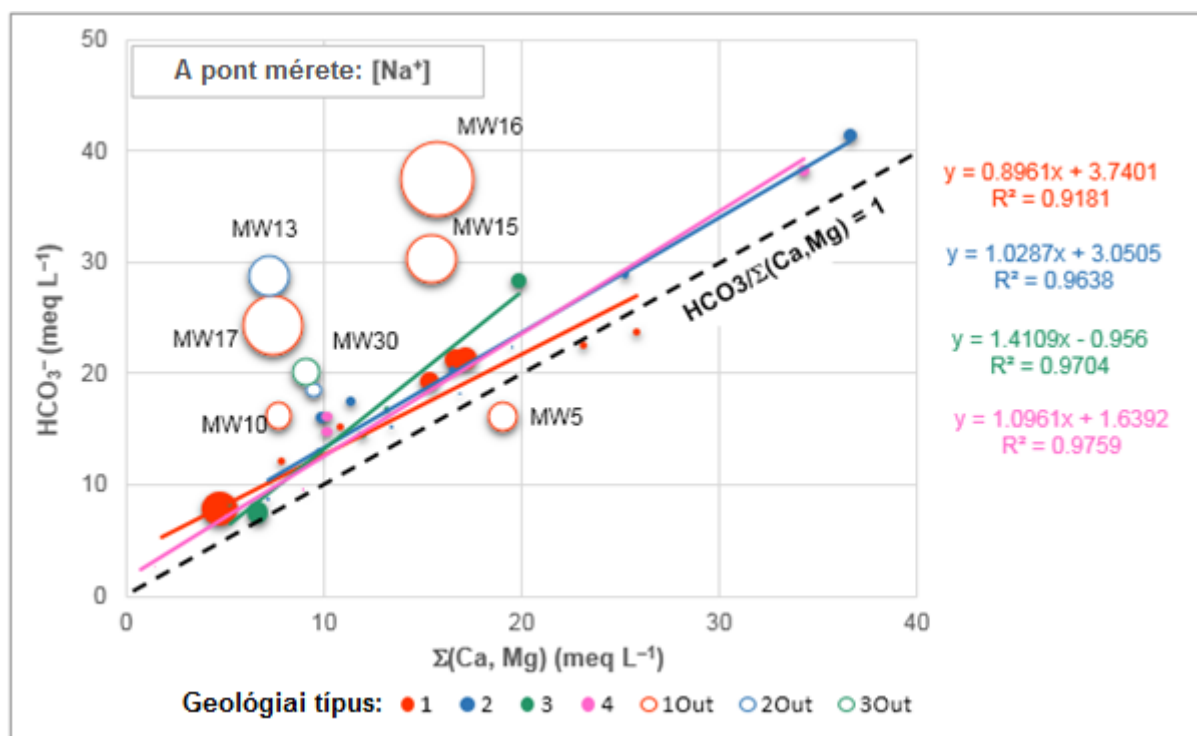


1. ábra. Piper-diagram a 42 ásványvízre.

Az ábra alapján elmondhatjuk, hogy az 1. és 3. geológiai típusba tartozó források változó bikarbonát és klorid tartalommal rendelkeznek, a szulfát pedig elenyésző mennyiségben van jelen bennük. Az Erdélyi-medence felső üledékes rétegei (1. típus) gazdagok sófeltörésekben, ezért az ásványvizek is gyakran tartalmaznak nagyobb mennyiségben NaCl -ot (pl. az MW1,

MW5, MW10, MW15-17). A 3. geológiai típusba tartoznak olyan vizek, amelyek a mélységi kárpáti flis zónából származnak, majd szilikátásványokkal is kapcsolatba kerülnek. Ebben a zónában a tengeri üledékekkel együtt betemetett tengervíz összetétele megmutatkozik a feltörő vizekben, amelyek az 1. típusba tartozó vizekhez hasonlóan gazdagok NaCl-ban (pl. MW23, MW30). A 2. típusba tartozó források szinte kizárólag HCO_3^- -t tartalmaznak, amely túlnyomóan Ca^{2+} és Mg^{2+} ionokhoz társul. Ezekkel a vizekkel a legnagyobb hasonlóságot mutatják a 4. típusba tartozó vizek. Mindkét geológiai típust a neogén vulkanitok, piroklasztok uralják, amelyekkel kapcsolatba lépve a CO_2 -ban gazdag vizek, a Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- ionok mellett NaHCO_3 -ban, kovasavban gazdagodnak. A 4. típusba tartozó vizek közül egyesek jelentős arányban tartalmaztak SO_4^{2-} -t is (pl. MW20, MW22).

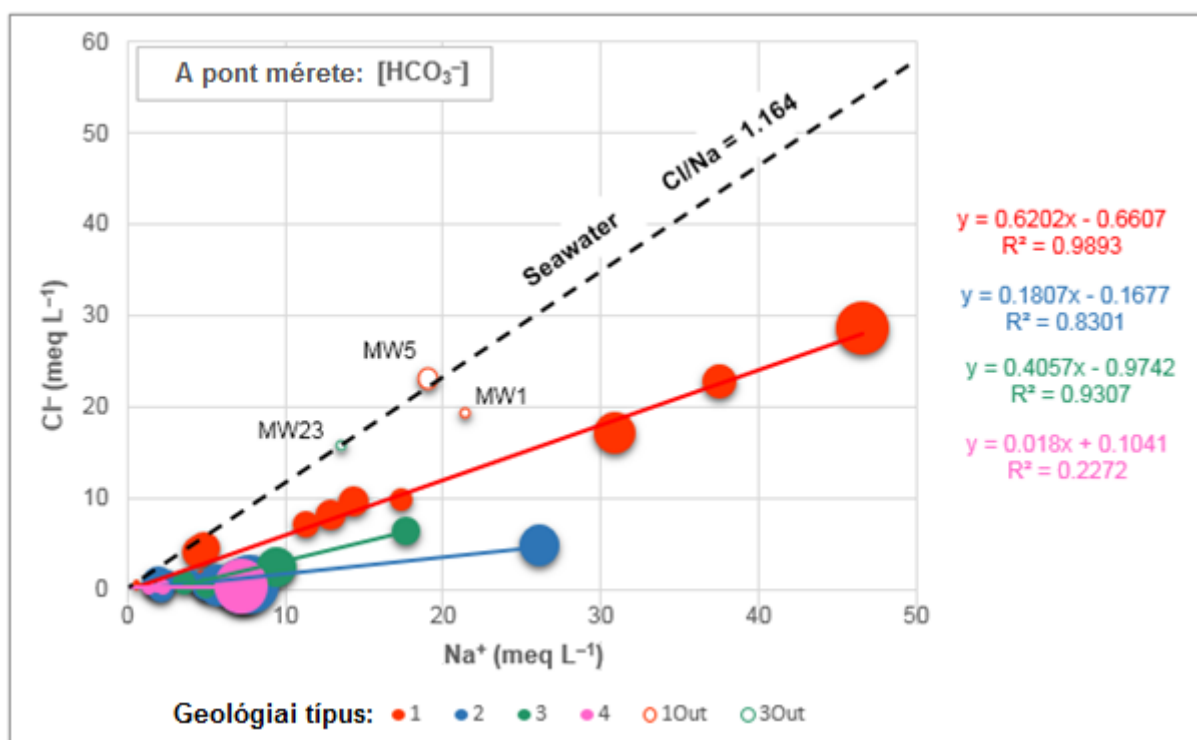
A 2. ábrán látható a négy csoportba tartozó vizek Ca^{2+} és Mg^{2+} összmenyisége és a HCO_3^- mennyiségének az ekvivalens tömegaránya. A szaggatott vonal jelzi a két kation és a bikarbonát 1:1 arányát. Amennyiben egy geológiai típusba tartozó minták erre a vonalra vagy ezzel párhuzamos vonalra esnek, azt jelzik, hogy a bikarbonáthoz elsősorban a Ca^{2+} és Mg^{2+} kapcsolódik.



2. ábra. A fő kationoknak (Ca^{2+} , Mg^{2+} és Na^+) a viszonyulása a HCO_3^- ionhoz. A szaggatott vonal a bikarbonát kalcium- és magnéziumhoz való kizárólagos kapcsolódását jelöli.

A 2. ábra alapján a 2. és a 4. geológiai típusba tartozó mintákra illesztett egyenesek közelítik meg a legjobban a $\Sigma(\text{Ca}, \text{Mg})$ és a HCO_3^- ekvivalens tömegarányának megfelelő 1,00 értéket. A pontok nagyságából az is látható, hogy ezeknek a mintáknak alacsony a Na^+ -ion tartalma, tehát a bikarbonát szinte kizárólag a Ca^{2+} -hoz és a Mg^{2+} -hoz kapcsolódik. Az MW13-as minta az egyedüli, ami erősen félreesik, ennek a mintának jóval nagyobb a HCO_3^- -tartalma, ami NaHCO_3 -ból származik. Az 1. geológiai típusba tartozó mintákhoz illesztett egyenes meredeksége a legkisebb (0,8961), ami Ca^{2+} - és Mg^{2+} -többletet jelent a HCO_3^- -hoz képest. Ezekre a vizekre a jelentős Cl^- -tartalom jellemző. Néhány forrásra (különösen a lövétei forrásokra, MW15-17) nagy Na^+ -tartalom jellemző. Ez a kation a kloridion mellett a bikarbonáthoz is kapcsolódik. A 3. geológiai típusba tartozó mintákhoz illesztett egyenesnek a meredeksége nagyobb 1-nél, ami bikarbonáttöbbletet jelent. A bikarbonát-felesleg ebben az esetben is a nátriumhoz kapcsolódik. Kiugró példa erre a mikóújfalui MW30-as forrás.

A 3. ábrán látható a négy minta-sorozat viszonyulása a tengervíz vonalához. Ennek a vonalnak a meredeksége 1,164. A pontok nagysága a bikarbonáttartalmat tükrözi a mintákban.



3. ábra. Az ásványvizek viszonyulása a tengervíz Cl/Na arányához. A pontok nagysága arányos a HCO_3^- -tartalommal.

Az 1. geológiai típusba tartozó források mutatták a legnagyobb hasonlóságot a tengervízzel, de több Na^+ -iont tartalmaztak, ami egyértelműen a bikarbonáthoz kötődik. Ugyanakkor ez a sorozat mutatta a legkonstansabb Cl/Na arányt ($R^2 = 0,9893$). A 2. és 4.

csoportba tartozó források tértek el a legjobban a tengervíz vonalától, ezek tartalmazták a legtöbb bikarbonátot, és a legkevesebb nátriumiont. A 3. csoport átmenetet képezett az 1. és a 2.-4. csoportok között. A NaHCO_3 tartalmuk nagyobb volt az 1. csoporthoz képest a NaCl rovására. A kiugró pontok alacsony bikarbonáttartalommal rendelkeztek (a pontok nagyon kis méretűek), az MW23 és az MW5 pedig rajta vannak a tengervíz vonalán jelezve, hogy a Na^+ és a Cl^- a tengervízi NaCl -ből származnak. Az MW5 szejkei forrás vizéről tudjuk, hogy nagymértékben keveredik a közelben levő sós forrás vizével.

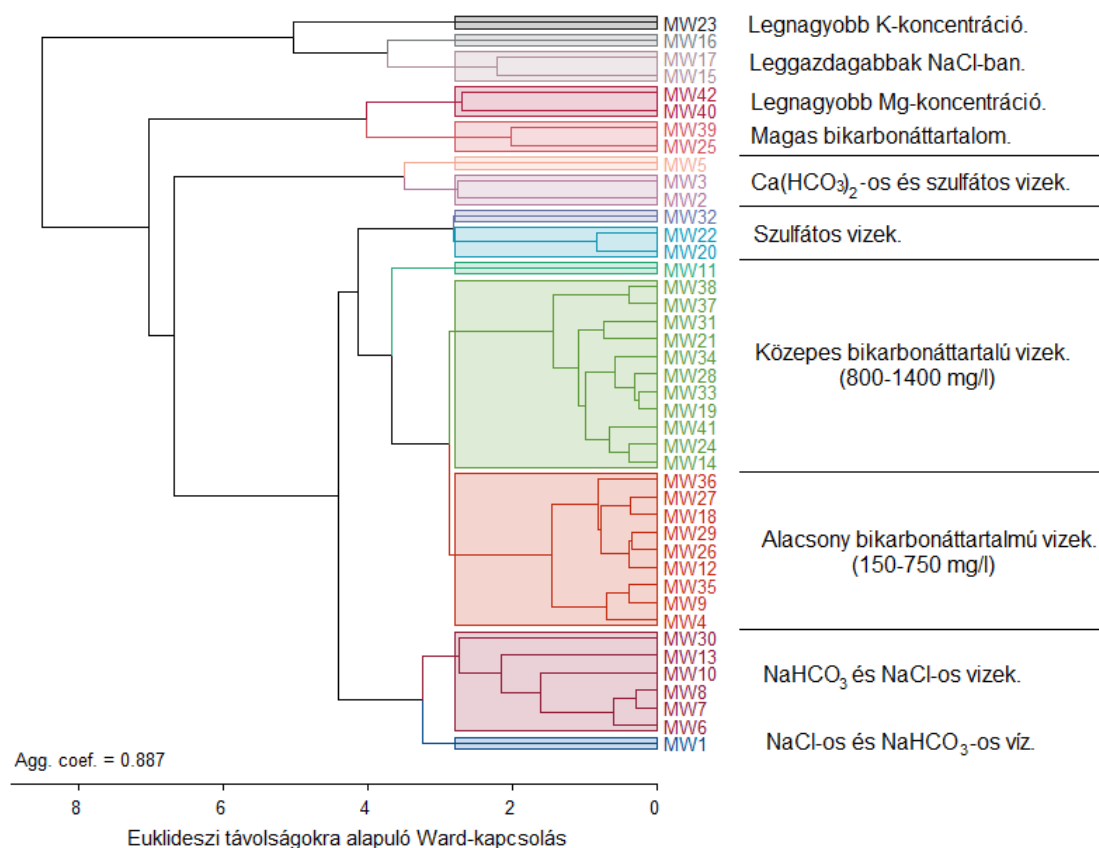
A vizek kémiai összetétele

A változatos geológiai eredet nagyon különböző kémiai összetételt kölcsönzött az ásványvizeknek. Az erdélyi-medence üledékeivel érintkező vizek (1. típus) voltak a leggazdagabbak kloridionban. A legnagyobb kloridion-tartalmú vizek a Lövete területén levő Szeltersz-völgy forrásai (MW15-17) voltak. Kloridiontartalmuk 806-1015 mg/l között változott. A legnagyobb bikarbonát-tartalmú vizek a neogén vulkanitokon feltörő források voltak (2. és 4. típus). Ezek közül a legnagyobb koncentrációkat a csíkmadarasi MW40 és MW42 forrásoknál mértük (2528 mg/l, ill. 2330 mg/l). Ugyanezek a források voltak a leggazdagabbak magnéziumban is (241 mg/l, ill. 308 mg/l). A korondi Árcsó források (MW2, MW3), valamint a szejkei forrás (MW5) különlegessége volt a viszonylag magas SO_4^{2-} tartalom. Ezek a források tartalmazták a legtöbb kalciumot is (> 340 mg/l). A hierarchikus klaszteranalízis szerint (4. ábra) három nagyobb csoport különült el: egy közepes (zöld) és egy alacsony (piros) bikarbonát-tartalmú csoport, valamint egy nátriumban gazdagabb csoport (lila). Az előbbi két nagy csoportba főleg a 2. és 4. geológiai típusba sorolt vizek kerültek, a nátriumban gazdagabb vizek közé pedig főleg az 1. geológiai csoportba tartozó vizek (homoródfürdői vizek – MW8-10, a szentegyházi forrás – MW10, valamint a csíksomlyói – MW13 és a mikóújfalui – MW30 források). A többi forrás valamilyen kémiai vonatkozásban egyedinek bizonyult. A tusnádfürdői Apor-forrás (MW23) tartalmazta a legtöbb káliumot (77 mg/l), a bibarcfalvi (MW25) és a madéfalvi (MW39) forrásoknak viszonylag magas volt a bikarbonát-tartalma (~1750 mg/l), a hargitafürdői Vallató (MW20) viszonylag magas szulfát-koncentrációval rendelkezett (25,7 mg/l), annak ellenére, hogy az egyik legkisebb fajlagos vezetőképességű forrás volt.

A források mikro- és nyomelemösszetételét tekintve szintén találtunk különlegesnek minősülő forrásokat. A koncentrációk a 4. táblázatban találhatók (mellékletben). Az MW4 (korondi) és MW11 (csatószegei) források tartalmazták a legnagyobb vaskoncentrációt (43,3 mg/l, ill. 57,3 mg/l) és mangánkoncentrációt (3,02 mg/l, ill. 5,01 mg/l). A többi forrásban

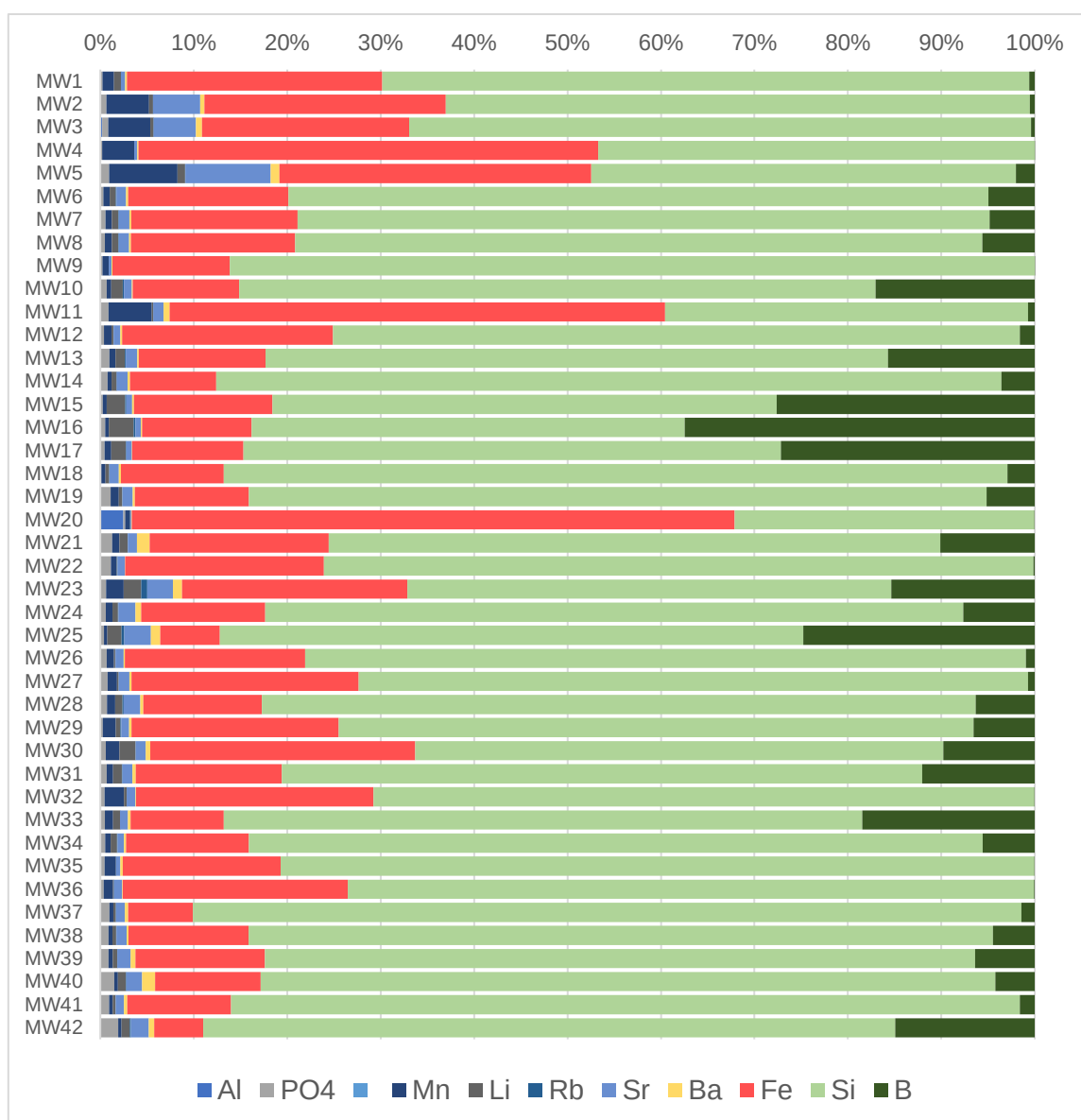
általában 23 mg/l alatt volt a vaskoncentráció, a mangánkoncentráció pedig nem érte el a 2 mg/l értéket. A legnagyobb Li^+ (1,7–3,0 mg/l) és bórkoncentrációval (20–40 mg/l) a nagy NaCl-tartalmú vizek rendelkeztek (MW15-17). A szilíciumkoncentráció viszonylag magas volt a forrásokban, négy minta kivételével (MW2, MW3, MW5, MW20) értéke 27–56 mg/l között változott. A legmagasabb értékeket az MW12 és MW31 forrásokban mértük (55,4 mg/l és 55,7 mg/l), a legalacsonyabbakat pedig az MW33 és MW35 forrásban (27,4 mg/l és 27,2 mg/l) mértük.

Az 1. geológiai típusba tartozó források mutatják a legnagyobb hasonlóságot a tengervízzel, de több Na^+ -iont tartalmaznak, ami egyértelműen a bikarbonáthoz kötődik. Ugyanakkor ez a sorozat mutatja a legkonstansabb Cl/Na arányt ($R^2 = 0,9893$). A 2. és 4. csoportba tartozó források térnek el a legjobban a tengervíz vonalától, ezek tartalmazzák a legtöbb bikarbonátot, és a legkevesebb nátriumiont. A 3. csoport átmenetet képez az 1. és a 2.-4. csoportok között. A NaHCO_3 tartalmuk nagyobb az 1. csoporthoz képest a NaCl rovására. A kiugró pontok alacsony bikarbonáttartalommal rendelkeznek (a pontok nagyon kis méretűek), az MW23 és az MW5 pedig rajta vannak a tengervíz vonalán jelezve, hogy a Na^+ és a Cl^- a tengervízi NaCl-ből származnak. Az MW5 szejkai forrás vizéről tudjuk, hogy nagymértékben keveredik a közelben levő sós forrás vizével.



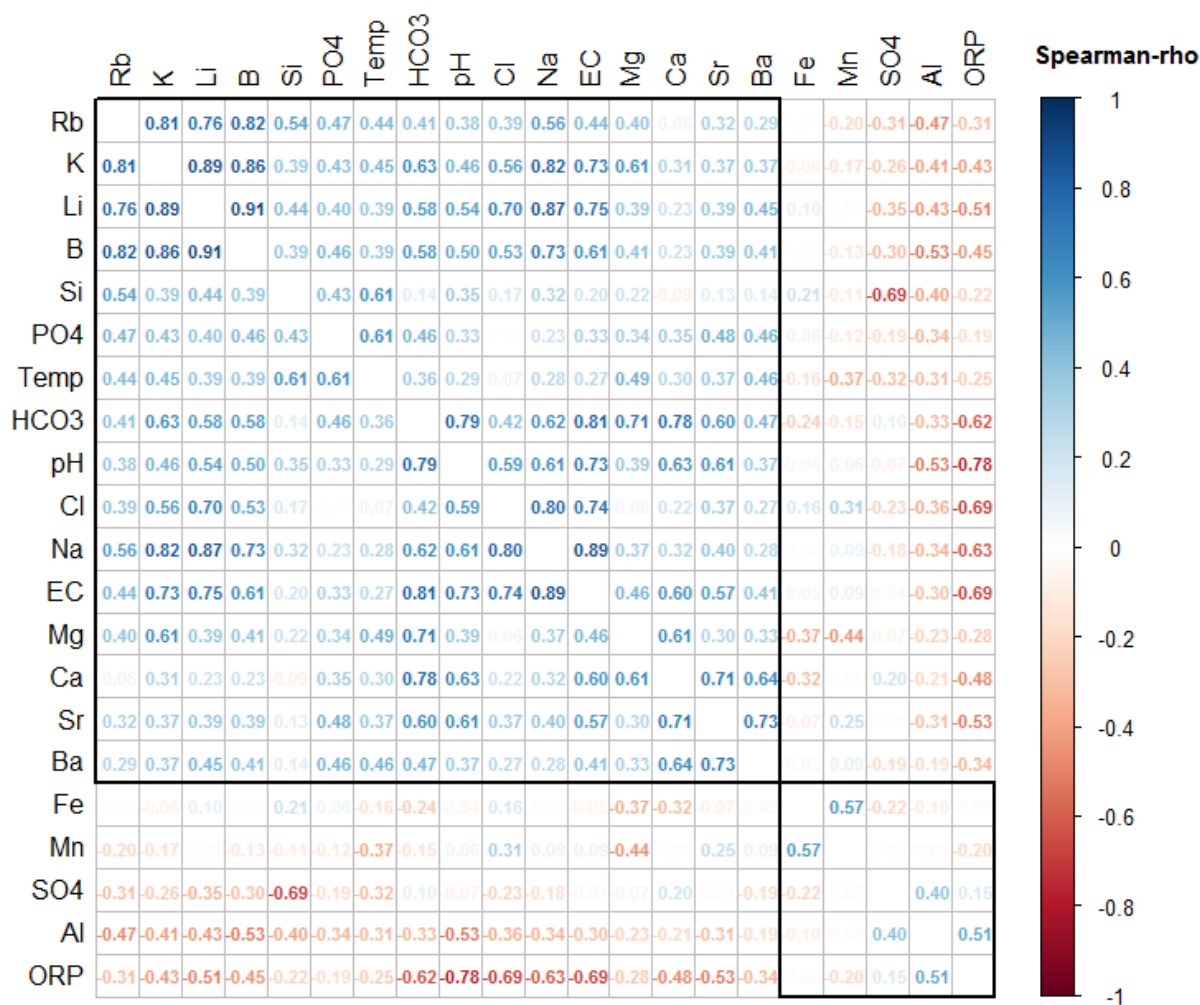
4. ábra. Hierarchikus klaszteranalízis a 42 ásványvízforrásra a főösszetevők alapján.

A mikro- és nyomelemek tömegszázalékos megoszlása látható az 5. ábrán. A vas, szilícium és bór teszi ki a 80-90%-át ezeknek az összetevőknek. A szilícium a legnagyobb arányban előforduló mikroösszetevőnek bizonyult (általában 70-80%). Azokban a forrásokban, amelyekben magas volt a vas aránya, a bór alacsony volt, és ez fordítva is igaz volt. Ez a megfigyelés összetett folyamatokra utalhat, hiszen nem magyarázható a geológiai háttérrel. Az erdélyi-medence üledékein átfolyó vizek egy részében szinte egyáltalán nem volt bór (MW1-5), míg más forrásokban nagyobb mennyiségben fordult elő, mint a vas (MW10, MW15-17). A legegységesebb képet a 4. geológiai típusba tartozó források adták a magasabb vaskoncentrációval és az alacsony bórkoncentrációval, viszont itt is volt két kivétel (MW33 és MW42).



5. ábra. A mikro- és nyomelemek tömegszázalékos megoszlása a 42 ásványvízforrásban.

A 6. ábrán láthatók a különféle ion-, valamint a fizikai-kémiai paraméter-párok Spearman-féle rangkorrelációs együtthatóinak az értékei. Látható, hogy a fajlagos vezetőképességet elsősorban a Na^+ , a HCO_3^- és a Cl^- koncentrációk határozzák meg. Erős pozitív korrelációt tapasztaltunk a K^+ , Li^+ , Rb^+ és B között, amelyek továbbá erősen korreláltak a Na^+ , HCO_3^- és Cl^- ionokkal.



6. ábra. A kémiai és fizikai-kémiai tényezők közötti Spearman-féle rangkorrelációs együtthatók értékei.

Ez a korreláció alátámasztja a lítiumnak, bórnak és rubídiumnak a tengeri sóüledékekből való elsődleges eredetét. A rubídium általában a K kísérelőjeként jelenik meg a különféle ásványokban, kőzetekben.

A pH a legerősebb pozitív korrelációt mutatta a Ca^{2+} -mal és a HCO_3^- -tal, ami egyértelműsíti a mészkő és a CO_2 -os víz erőteljes interakcióját. Minél több HCO_3^- kerül a vízbe, annál jobban csökken a víz savassága, és nő a pH. A Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , SO_4^{2-} és a redoxpotenciál

általában negatívan korrelált a többi ionféleséggel, pH-val és fajlagos vezetőképességgel. Viszonylag erős pozitív korreláció volt a Fe^{2+} és a Mn^{2+} között ($\rho = 0,57$), ami a két elem közös geológiai eredetét támasztja alá. A hőmérséklettel erősen korrelált a Si és a PO_4^{3-} . A kovásv oldhatósága erősen függ az oldat hőmérsékletétől, a foszfát előfordulása a magasabb hőmérsékletű vizekben azt sugallja, hogy a foszfáttartalmú ásványok oldhatósága is erősen hőmérsékletfüggő lehet.

Az ásványvizek mikrobiológiai jellemzése

A kutatásunk során elvégzett higiénia-mikrobiológiai vizsgálatok eredményeit az 5. táblázat (Melléklet) tartalmazza. A mezofil baktériumok összcsíraszama 22 °C-on négy forrásnál haladta meg az ivóvizekre vonatkozó törvényes határértéket (458/2002-es és 311/2004-es törvény), amely maximum 100 telepképző egység (TKE)/ml. Ezek a források a MW1 (145 TKE/ml,) MW5 (124 TKE/ml), MW9 (128 TKE/ml) és az MW17 forrás (287 TKE/ml). 37 °C-on a baktériumok megengedett összcsíraszama legfeljebb 20 telepképző egység (TKE/ml), ezt az értéket három forrásból származó vízminta haladta meg. Ezekben a forrásokban a baktériumok összcsíraszama meghaladta 22 °C-on is a megengedett határértékeket (MW5 - 47 TKE/ml, MW9 - 63 TKE/ml és az MW17 - 231 TKE/ml).

Az előírások szerint 100 ml vizsgált vízminta esetében nem szabad jelen lennie coliform, *Escherichia coli*, fekális *Enterococcus*, *Pseudomonas aeruginosa* és szulfit-redukáló *Clostridium* baktériumoknak.

A források több mint felében kimutatható volt a coliform baktérium. A legtöbb coliform baktérium az MW12 (csíkszentkirályi, >200 TKE/100 ml), az MW5 (székelyudvarhelyi, >150 TKE/100 ml) és az MW17 (lővétei, >100 TKE/100 ml) forrásokban voltak.

Tizenegy forrásból mutattunk ki *Escherichia coli* baktériumot, a legmagasabb csírszám az MW32 (35 TKE/100 ml) forrásban volt.

Fekális *Enterococcus* baktérium jelenlétét tizenhárom borvízforrás esetében mutattuk ki, a legnagyobb csírszámban a lővétei MW17 forrásban voltak (248 TKE/100 ml).

A *Clostridium* baktériumok jelenlétét illetően néhány vízminta pozitívnak bizonyult (fekete szín megjelenése), ezek a MW1 (Korond), MW12 (Csíkszentkirály), MW17 (Lővéte), és a két csíkmadarasi MW40 és MW41 forrás.

Az általunk vizsgált 42 ásványvízforrás mikrobiológiai eredményeit a 6. táblázatban osztályoztuk a higiéniai előírások értelmében. A források többségében a *coliform* baktériumok meghaladták a megengedett határértékeket. A legtöbb baktérium az MW17-es forrásban volt,

de nem elhanyagolható a többi forrás vize sem, amelyek meghaladják a törvényben előírt határértékeket.

Mikrobiológiai szempontból tizennyolc forrás vize kiváló minőségűnek nevezhető (MW3, 7, 10, 11, 13, 14, 18, 21, 23, 25, 28, 30, 31, 37, 38, 39, 41, 42), nem volt bennük higiéniai-mikrobiológiai szempontból fontos baktériumcsoportok. Megállapítottuk, hogy az összes fúrt kút ebbe a kategóriába tartozik, ami alátámasztja azt a feltételezést, hogy a baktériumok csak azokban a természetes forrásokban jelennek meg, amelyekbe szennyezett talajvíz áramlik be.

6. táblázat. Az ásványvizek osztályozása az egészségre káros baktériumok alapján (Európai Parlament és Tanács 2009/54 irányelv).

Forrás	Összcsőra 22 °C	Összcsőra 37 °C	Coliform	E. coli	Fecalis entero.	Ps. aerog.	Clostridium
MW1	++	–	+	–	+	–	+
MW2	–	–	+	–	–	–	–
MW3	–	–	–	–	–	–	–
MW4	–	–	+	+	+	–	–
MW5	+	++	++	+	+	++	–
MW6	–	–	–	–	+	–	–
MW7	–	–	–	–	–	–	–
MW8	–	–	+	–	–	–	–
MW9	+	++	+	+	+	–	–
MW10	–	–	–	–	–	–	–
MW11	–	–	–	–	–	–	–
MW12	–	–	+++	+	–	+	+
MW13	–	–	–	–	–	–	–
MW14	–	–	–	–	–	–	–
MW15	–	–	+	+	+	–	–
MW16	–	–	+	–	–	–	–
MW17	++	+++	++	++	+++	–	+
MW18	–	–	–	–	–	–	–
MW19	–	–	+	–	–	–	–
MW20	–	–	+	+	++	–	–
MW21	–	–	–	–	–	–	–
MW22	–	–	+	–	+	–	–
MW23	–	–	–	–	–	–	–
MW24	–	–	+	+	+	–	–
MW25	–	–	–	–	–	–	–
MW26	–	–	+	–	–	–	–
MW27	–	–	+	–	–	–	–
MW28	–	–	–	–	–	–	–
MW29	–	–	+	–	–	–	–
MW30	–	–	–	–	–	–	–
MW31	–	–	–	–	–	–	–
MW32	–	–	+	+++	+	–	–
MW33	–	–	+	+	–	–	–
MW34	–	–	+	–	–	–	–
MW35	–	–	+	–	–	–	–
MW36	–	–	+	+	+	–	–
MW37	–	–	–	–	–	–	–
MW38	–	–	–	–	–	–	–
MW39	–	–	–	–	–	–	–
MW40	–	–	+	–	+	–	+
MW41	–	–	–	–	–	–	+
MW42	–	–	–	–	–	–	–
+	≥ 100	≥ 20	> 0	> 0	> 0	> 0	pozitív
++	≥ 200	≥ 40	≥ 100	≥ 10	≥ 10	≥ 10	–
+++	≥ 300	≥ 100	≥ 200	≥ 20	≥ 100	–	–
–	< 100	< 20	0	0	0	0	negatív

További 8 forrás vizében (MW8, 16, 19, 26, 27, 29, 34, 35) csak coliform baktérium jelenléte mutatható ki (gyakran csak 1-2 telep), fekális szennyezésre utaló baktériumcsoportok pedig nem voltak jelen. Ezen coliform baktériumok jelenléte felszíni hatásra utal (talajból, talajvízből származhatnak). Elképzelhető, hogy ezeknek a baktériumoknak a többsége egészségügyi szempontból nem jelent veszélyt. Ennek megállapítására tiszta tenyészetbe lehetne vonni a kimutatott coliform baktériumokat, és az így izolált törzseket azonosítani (pl. DNS alapon, vagy sejtfalkomponensek elemzésével Maldi-Tof módszerrel). Ha az azonosítást követően kiderülne, hogy ezek a baktériumok nem hordoznak egészségügyi kockázatot, akkor ezeket a forrásokat ihatónak lehetne nyilvánítani. Mindenképp fontos lenne gyakran monitorizálni ezeket a forrásokat és meggyőződni arról, hogy a coliform baktériumok mellett más, akár fekális szennyező mikrobák nem kerülnek be a vízbe.

Az ásványvizek egészségügyi hatásai

Az általunk vizsgált ásványvizeket sokan fogyasztják, ezért a 7. táblázatban összegeztük a fontosabb jótékony és esetleges ártalmas összetevőik mennyiségét. A vizekben levő jótékony hatású összetevők közé tartozik a Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Mn^{2+} , Li^+ és a kóvasav. Az Al^{3+} , Cl^- , Ba^{2+} káros hatással lehetnek a szervezetre, a Sr^{2+} -ról pedig jelen pillanatban nem tisztázott a jótékony hatást kifejtő koncentrációtartomány. Az ásványvizek kiértékelésénél ezért az USEPA által javasolt 1,5 mg/l értéket vettük alapul, mint maximális koncentrációt rendszeres fogyasztás esetén (USEPA, 2014). Az ásványvizekben a K^+ általában elhanyagolhatóan kis mennyiségben fordul elő, a Fe^{2+} pedig a szerves formában csak kis mennyiségben hasznosul, ezért az ásványvizek nem tekinthetők egy jó vas-forrásnak (WHO, 2005). Figyelembe véve, hogy egy fejlett országban élő átlagos ember diétája általában nem biztosítja az elegendő Mg^{2+} -ot és HCO_3^- -ot, ellenben sokkal több NaCl -t tartalmaz a szükséges napi adaghoz képest, a legfontosabb összetevőknek tartjuk a Mg^{2+} -t és a HCO_3^- -ot (Kozisek 2020, Rosanoff 2013). Ez a két ionféleség nagyon jól tud hasznosulni a vízből, és jótékonyan hatnak a veseműködésre, csökkentik a vesekőképződés esélyét vesebetegeknél (Karagülle és mtsai. 2007, Sulaiman és mtsai. 2020), hatással vannak az emésztésre, a csontképződésre, ugyanakkor a Mg^{2+} hatásos a szív- és érrendszeri betegségek kezelésében is (Dahl és mtsai. 2013, Thiesen és mtsai. 2022). Ezek mellett több kutatás igazolta a NaHCO_3 -os ásványvizek jótékony hatását a zsírok metabolizmusára, koleszterinszint csökkentésére, epeműködés serkentésére (Schoppen és mtsai. 2005, Toxqui és Vaquero 2016). Ma már az is tisztázott, hogy a NaCl vérnyomásnövelő hatását nem maga a só okozza, hanem kizárólag a túlzott Cl^- bevitel (McCallum és mtsai. 2015).

Mivel a táplálékkal a szükségesnél több sót is bevisszük a szervezetbe, ezért a túl nagy NaCl-tartalmú vizeket (MW15-17) nem ajánljuk rendszeres fogyasztásra, inkább kúraszerűen használhatók, hiszen számos jótékony elemben gazdagok. A mikrobiológiailag is kifogástalan MW16-os forrás 1,7 g NaCl-ot tartalmaz literenként. Összevetve a mikrobiológiai jellemzőkkel (6. táblázat), a Nádasszéki-forrást (MW17) egyáltalán nem javasoljuk fogyasztásra.

A források közül kiemelhetünk 20-at (MW6-8, 14-16, 19, 24, 25, 28, 31-34, 37-42), amelyeknek magas a Mg^{2+} és a HCO_3^- tartalma, és ezek mellett szilíciumban is gazdagok. A mikrobiológiai minősítésük szerint ezek közül csak 10 kiváló: MW7, 14, 25, 28, 31, 37, 38, 39, 41 és 42. Ezek mellé bevehetjük azokat, amelyek csak coliform baktériumokat tartalmaztak, azaz még négy forrást: MW8, 16, 19, 34. Az MW8-as homoródfürdői Lobogó forrás nagyon ismert, és sokan fogyasztják. A Mg^{2+} és a HCO_3^- mellett még jelentős mennyiségben tartalmaz Ca^{2+} és Na^+ ionokat is, így hatása sokrétű.

7. táblázat. Az ásványvízforrások osztályozása a jótékony és egészségre nézve káros összetevőinek alapján. A referenciaértékek mg/l-ben vannak megadva az Európai Parlament és Tanács 2009/54 irányelve alapján.

Forrás	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	Mn^{2+}	Li^+	Si	Sr^{2+}	Ba^{2+}	Al^{3+}	Cl ⁻
MW1	-	-	++	-	-	+	+++	-	-	-	+++
MW2	++	-	-	++	+	-	-	-	-	-	-
MW3	++	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-
MW4	-	-	-	-	+++	-	++	-	-	-	-
MW5	++	-	++	+	+	-	-	+	-	-	++++
MW6	-	++	+	+	-	-	++	-	-	-	+
MW7	-	++	+	++	-	-	++	-	-	-	+
MW8	+	++	+	++	-	-	++	-	-	-	+
MW9	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-
MW10	-	-	+	+	-	+	++	-	-	-	+
MW11	++	-	-	++	+++++	-	++	-	-	-	-
MW12	-	-	-	-	-	-	+++	-	-	-	-
MW13	-	-	+++	++	-	+	+++	-	-	-	-
MW14	-	+	-	+	-	-	+++	-	-	-	-
MW15	-	++	+++	+++	-	+++	++	-	-	-	+++
MW16	-	++	+++++	+++	-	+++++	+++	-	-	-	+++++
MW17	-	-	++++	++	-	++	++	-	-	-	++++
MW18	-	-	-	+	-	-	++	-	-	-	-
MW19	-	+	-	+	-	-	++	-	-	-	-
MW20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	-
MW21	-	-	-	+	-	+	++	-	+	-	-
MW22	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-
MW23	-	-	+	-	+	+++	+++	+	+	-	++
MW24	+	+	-	+	-	-	++	-	-	-	-
MW25	+	+	+	++	-	++	++	+	-	-	-
MW26	-	-	-	-	-	-	+++	-	-	-	-
MW27	-	-	-	+	-	-	++	-	-	-	-
MW28	-	+	-	+	-	-	++	-	-	-	-
MW29	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-
MW30	-	-	++	++	+	++	++	-	-	-	+
MW31	-	+	+	+	-	+	+++	-	-	-	-
MW32	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-
MW33	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
MW34	-	+	-	+	-	-	++	-	-	-	-
MW35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MW36	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
MW37	+	++	-	+	-	-	++	-	-	-	-
MW38	+	++	-	++	-	-	+++	-	-	-	-
MW39	+	+++	-	++	-	-	++	-	-	-	-
MW40	++	++++	-	+++	-	+	+++	-	+	-	-
MW41	-	+	-	+	-	-	++	-	-	-	-
MW42	+	+++++	-	++	-	-	+	-	-	-	-
+	≥ 150	≥ 50	≥ 200	≥ 600	≥ 1,0	≥ 0,5	≥ 30	≥ 1,5	≥ 0,9	≥ 0,2	≥ 200
++	≥ 300	≥ 100	≥ 400	≥ 1200	≥ 2,0	≥ 1,0	≥ 40	≥ 3,0	> 1,0	≥ 0,4	≥ 400
-	< 150	< 50	< 200	< 600	< 1,0	< 0,5	< 30	< 1,5	< 0,9	< 0,2	< 200

NaHCO₃-ban gazdag, de NaCl-ban csak mérsékelt vizeknek tekinthetjük az MW10, 13, 25, 30 és 31 forrásokat. Ezek a vizek Li⁺-ban is gazdagok, különösen a bibarcfalvi (MW25) és a mikóújfalui Bedő (MW30) forrás. Mind az öt forrás mikrobiológiai szempontból kiváló minőségű.

Egyetlen forrás van, amelynek vizét nem ajánljuk fogyasztásra kémiai szempontból, a hargitafürdői Vallatóét (MW20), a magas alumíniumkoncentrációja miatt, ami háromszorosan meghaladta a megengedett 0,2 mg/l értéket. Három forrásnál (MW21, MW23 és MW40) felhívjuk a figyelmet a megengedett határértékhez (1 mg/l) közeli Ba²⁺-koncentrációkra (0,90–0,97 mg/l).

Egyes források több szempontból is különlegeseek, ugyanakkor mikrobiológiailag is elfogadható minőségűek. A korondi Árcsó források (MW2, MW3) egyediek a viszonylag magas CaSO₄- és Ca(HCO₃)₂-tartalommal. A magas kalcium-tartalom serkentőleg hat a gyomorsav-termelésre (Constantino és mtsai. 2020). A csíkszeredai MW11-es forrás szintén Ca(HCO₃)₂-ban gazdag, és mangántartalma is jelentős. A homoródfürdői Mária (MW7) és Lobogó (MW8) kalcium-, magnézium- és nátrium-bikarbonátban gazdagok. Hasonló a bibarcfalvi forrás is (MW25), amiben viszont lítium is nagy mennyiségben fordul elő (< 1 mg/l), és a klorid elenyésző mennyiségben van benne.

A madéfalvi Borvízutcai forrás (MW39), a csíkmadarasi Sörkerti (MW40) és Szederjesi (MW42) források egyedisége abban áll, hogy a legnagyobb magnézium- és bikarbonát-koncentrációval rendelkeznek az összes vizsgált forrás közül. Emellett viszonylag magas a kalcium-tartalmuk is, és szinte egyáltalán nem tartalmazznak NaCl-ot. Sajnos a Csíkmadaras központjában elhelyezkedő Sörkerti forrás több baktériumfélét is tartalmaz, ami a felszíni talajszennyezés eredménye. Ennek a forrásnak a különleges kémiai értékei komoly indokot jelenthetne a helyi közösségnek és önkormányzatnak, hogy a forrás környékét megtisztítsák, és magát a forrást rendszeresen karbantartsák.

Következtetések

1. Korond, Erdővidék, Alcsíki, Középcsíki- és Felcsíki-medencék ásványvízforrásai enyhén savas ($\text{pH} = 4,67\text{--}6,44$), változatos fajlagos vezetőképességű ($0,17\text{--}6,44 \text{ mS/cm}$), redukív ($-1,2\text{--}133 \text{ mV}$) és hideg ($6,6\text{--}17,1 \text{ }^\circ\text{C}$) vizeknek számítanak. Egyetlen forrás, a Felcsíki-medencében levő csíkdánfalvi Dugás-forrás hőmérséklete ($23,1 \text{ }^\circ\text{C}$) haladta meg a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot. Legkisebb fajlagos vezetőképességű és egyben a legsavasabb forrás volt a hargitafürdői Vallató (MW20), a legnagyobb vezetőképességű és a legkevésbé savas források a lövéteiek (MW15-17) voltak.
2. A változatos geológiai eredet nagyon különböző kémiai összetételt kölcsönzött az ásványvizeknek. Az erdélyi-medence üledékeivel érintkező vizek voltak a leggazdagabbak kloridionban (különösen a lövétei MW15-17 források). Kloridion-tartalmuk $806\text{--}1015 \text{ mg/l}$ között változott. A legnagyobb bikarbonát-tartalmú vizek a neogén vulkanitokon feltörő források voltak. Ezek közül a legnagyobb koncentrációkat a csíkmadarasi MW40 és MW42 forrásoknál mértük (2528 mg/l , ill. 2330 mg/l). Ugyanezek a források voltak a leggazdagabbak magnéziumban is (241 mg/l , ill. 308 mg/l).
3. Mikrobiológiai szempontból tizennyolc forrás kiváló minőségű vizeknek mondható. További nyolc forrás vizében csak coliform baktérium jelenléte mutatható ki, fekális eredetű mikrobacsoportok pedig nem, így ezek potenciálisan még iható vízminőségűek lehetnek, de ennek megállapításához azonosítani kellene a coliform baktériumokat, és meggyőződni, hogy nem jelentenek egészségügyi kockázatot. A fennmaradó huszonkét forrás vizében egy vagy több higiéniai-mikrobiológiai szempontból fontos baktériumcsoport csíraszámát meghaladta a törvénybe előírt határértékeket, így ezek nem alkalmasak fogyasztásra.
4. Egészségügyi szempontból 20-at (MW2, 3, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 19, 25, 28, 30, 31, 34, 37, 38, 39, 41, 42) ajánlunk hosszútávú fogyasztásra, amelyeknek magas a $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, vagy a $\text{Na}_2(\text{HCO}_3)_2$, vagy a $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ tartalma, és mikrobiológiai szempontból is megfelelnek. Ezek közül a lövétei Hargita gyöngye (MW16) forrás vizét kúraszerű fogyasztásra ajánljuk a magas NaCl -tartalma miatt.

5. Egészségügyi szempontból 14 (MW1, 4, 5, 9, 12, 15, 17, 20, 22, 24, 32, 33, 36, 40) forrásnak nem felelt meg a mikrobiológiai minősége. A legszennyezettebbek az MW1, 5, 12, 17, 20, 33 források voltak, túlnyomóan küpös források. Kutatásunk alapján javasoljuk a küpök felszámolását, hiszen a víz sokáig áll bennük, és így könnyebben el tudnak szaporodni a vízben a baktériumok.
6. Egyetlen forrás van, amelynek vizét nem ajánljuk fogyasztásra kémiai szempontból, a hargitafürdői Vallatóét (MW20), a magas alumíniumkoncentrációja (0,73 mg/l) miatt, ami háromszorosan meghaladta az ivóvizekre megengedett 0,2 mg/l értéket.
7. A rendszeres gondozás hiánya miatt a források higiéniai állapota egyre inkább romlik. Több figyelmet kellene fordítani az ásványvízforrások tisztán tartására, hangsúlyozni kell értéküket és legfőképp védelmüket.

Könyvészet

- Bányai, J. 1934. Székelyföld ásványvizeinek eredete és forrásfoglalásai, Erdélyi Múzeum, 39. évforduló, 7-12, 349-359.
- Birchall, J.D. 1992. The interrelationship between silicon and aluminium in the biological effects of aluminium, Ciba Foundation Symposium, 169, 50–61.
- Borszéki, B. 1979. Ásványvizek és gyógyvizek. Mezőgazdasági kiadó, Budapest.
- Constantino, M., Izzo, V., Conti, V., Manzo, V., Guida, A., Filippelli, A. 2020. Sulphate mineral waters: A medical resource in several disorders. Journal of Traditional and Complementary Medicine, 10, 320–326.
- Dahl, C., Sogaard, A.J., Tell, G.S., Flaten, T.P., Hongve, D., Omsland, T.K., Holvik, K., Meyer, H.E., Aamondt, G. 2013. Nationwide data on municipal drinking water and hip fracture: Could calcium and magnesium be protective? A NOREPOS study. Bone, 57, 84–91.
- Davenward, S., Bentham, P., Wright, J., Crome, P., Job, D., Polwart, A., Exley, C. 2013. Silicon-rich mineral water as a non-invasive test of the ‘Aluminum Hypothesis’ in Alzheimer’s Disease. Journal of Alzheimer’s Disease, 33, 423–430.
- Éltető, Cs. 2004. Hargita megye palackozott ásványvizeinek közegészségügyi helyzete. A Kárpát-Medence Ásványvizei Tudományos Konferencia, Csíkszereda, 172-180.
- Feru, A. 2012. Ghidul apelor minerale naturale. Patronatului Apemin, Bucuresti, 4-7.
- Garboś, S., Świącicka, D. 2013. Determination of barium in natural waters by ICP-OES technique. Part II: Assessment of human exposure to barium in bottled mineral and spring waters produced in Poland. Rocznik Panstw Zakl Hig, 64, 91–96.
- Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva, 1996.
- György, É., Máthé, I., Lőrinczi, L., Buzás, A., Kémenes, L. 2007. Gyógyújfalu ásványvizek és kútvek mikrobiológiai vizsgálata. Orvostudományi Értesítő, 80(1): 67-69.
- György, É., Máthé, I., Balázs, E., Lőrinczi, L. 2006. Csíkszereda és Szentegyháza környéki ásványvizek mikrobiológiai vizsgálata. Orvostudományi Értesítő, 79(1): 133-136.

HG 2005/1020. Hotărârea Guvernamentală Nr. 1020 din 1 septembrie 2005 pentru aprobarea normelor tehnice de exploatare si comercializare a apelor minerale naturale.

Jánosi, Cs., Péter, É., Berszán, J., Jánosi, K. 2008. A Felcsíki-medence és Gyimes ásványvizei és gázömlései. In: A Csíki Székely Múzeum Évkönyve 2007-2008. Csíki Székely Múzeum-Pro- Print Kiadó, Csíkszereda, 219-221, 224.

Jones, K., Linhart, C., Hawkins, C., Exley, C. 2017. Urinary excretion of aluminium and silicon in secondary progressive multiple sclerosis. *EBioMedicine*, 26, 60–67.

Karagülle, O., Smorag, U., Candir, F., Gundermann, G., Jonas, U., Becker, A.J., Gehrke, A., Gutenbrunner, C. 2007. Clinical study on the effect of mineral waters containing bicarbonate on the risk of urinary stone formation in patients with multiple episodes of CaOx-urolithiasis. *World Journal of Urology*, 25, 315-323.

Kis, B-M., Czellecz, B., Baciú, C., Kékedy-N., L. 2012. Hydrogeochemical features of some mineral waters at the contact between Harghita Mts. (Eastern Carpathians) and the Transylvanian Basin. *Procedia Environmental Sciences*, 14, 195-206.

Kołodziejska, B., Stępień, N., Kolmas, J. 2021. The influence of strontium on bone tissue metabolism and its application in osteoporosis treatment. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 6564.

Kozisek, F. 2020. Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 112, 104589.

Langmuir, D., Chrostowski, P., Vigneault, B., Chaney, R. 2004. Issue paper on the environmental chemistry of metals. USEPA Risk Assessment Forum, Washington, DC.

Ling Wang Jing, M., (Siti Marwanis Anua1, Nurzafirah Mazlan). 2019. Concentrations of Magnesium, Calcium and Potassium in Drinking Water; A Comparison between Tap Water and Bore Water

Máthé, I., György, É., Balázs, E. 2005. Néhány Hargita-megyei ásványvízforrás higiéniai vizsgálata., „A Kárpát-medence ásványvizei” II. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Csíkszereda. Konferenciakötet, 91-97.

McCallum, L., Lip, S., Padmanabhan, S. 2015. The hidden hand of chloride in hypertension. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*, 467, 595–603.

- Miu, A.C. 2006. The silicon link between aluminium and Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, 10, 39–42.
- Nagy, M.N. 2017. Ioncsere-folyamatok az agyagásványok „nanolaboratóriumában”. *Magyar Kémiai Folyóirat*, 123: 25-32.
- Pankotai, M. és Varga, Zs. 2010. A magyar ásványvizek összetételéről és szerepéről az emberi szervezetben. *Semmel Weis Egyetem ETK, Dietetikai és Táplálkozástudományi Tanszék*, Budapest, 6, 9-14.
- Rosanoff, A. 2013. The high heart health value of drinking-water magnesium. *Medical Hypotheses*, 81, 1063–1065.
- Schoppen, S., Pérez-Granados, A.M., Carbajal, Á., Sarriá, B., Sánchez-Muniz, F.J., Gómez-Gerique, G.A., Vaquero, M.P. 2005. Sodium bicarbonated mineral water decreases postprandial lipaemia in postmenopausal women compared to a low mineral water. *British Journal of Nutrition*, 94, 582–587.
- Sulaiman, S.K., Enakshee, J., Traxer, O., Somani, B.K. 2020. Which Type of Water Is Recommended for Patients with Stone Disease (Hard or Soft Water, Tap or Bottled Water): Evidence from a Systematic Review over the Last 3 Decades. *Current Urology Reports*, 21, 6.
- Szép, S., György, É., Szilágyi, J. 2021. Ásványíz palackozás technológiája. *Editura CERMI, Iași*, 14-15.
- Theisen, C.F., Wodschow, K., Hansen, B., Schullehner, J., Gislason, G., Ersboll, B.K., Ersboll, A.K. 2022. Drinking water magnesium and cardiovascular mortality: A cohort study in Denmark, 2005–2016. *Environment International*, 164, 107277.
- Toxqui, L., Vaquero, P.M. 2016. An intervention with Mineral Water Decreases Cardiometabolic Risk Biomarkers. A Crossover, Randomised, Controlled Trial with Two Mineral Waters In Moderately Hypercholesterolaemic Adults. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 72, 635–641.
- Tudorache, A., Marin, C., Badea, I.A., Vlădescu, L. 2010. Barium concentrations and speciation in mineral natural waters of central Romania. *Environmental Monitoring and Assessment*, 165, 113–123.

- Usuda, K., Kono, K., Dote, T., Watanabe, M., Shimizu, H., Tanimoto, Y., Yamadori, E. 2007. An overview of boron, lithium, and strontium in human health and profiles of these elements in urine of Japanese. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 12, 231–237.
- USEPA. 2014. Announcement of Preliminary Regulatory Determinations for Contaminants on the Third Drinking Water Contaminant Candidate List. *Federal Register*, 79, 62716–62750.
- WHO. 2008. WHO Guidelines for drinking-water quality, 3rd ed. Geneva: World Health Organization, vol. 1, Annex 4, pp. 472-475.
- Vormann, J., Anke, M. 2002. Dietary magnesium: supply, requirements and recommendations—results from duplicate and balance studies in man. *Journal of Clinical and Basic Cardiology*, 5, 49-53.
- Vormann, J. 2003. Magnesium: nutrition and metabolism. *Molecular Aspects of Medicine*, 24, 27-37.
- WHO (World Health Organization). 2005. *Nutrients in Drinking Water*. Genf, Svájc.
- Wynn Dumartheray, E., Krieg, M.A., Burckhardt, P. 2007. Bicarbonate from mineral water lowers bone resorption even in calcium sufficiency. *International Congress Series*, 1297, 303-309.
- You, J., Zhang, Y., Zhou, Y. 2022. Strontium functionalized in biomaterials for bone tissue engineering: A prominent role in osteoimmunomodulation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 928799.

Melléklet

3. táblázat. A 42 ásványvízforrás makroelem összetevőinek koncentrációja.

Kód	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
MW1	48.6	28.1	492	9.7	482	683	1.9
MW2	441	46.8	103	7.1	1450	146	113
MW3	399	39.5	111	5.7	1379	160	45
MW4	53	16.4	13.2	2.7	340	18.8	15.3
MW5	346	21.7	438	7.9	982	821	78
MW6	131	107	260	19.2	1180	253	3.5
MW7	138	119	296	21.4	1299	287	2.5
MW8	150	118	330	23.2	1299	338	3.4
MW9	20.9	9.2	12.6	3.8	158	1.0	2.6
MW10	79	45.7	399	29.0	990	346	3.1
MW11	320	43.2	44.3	7.0	1366	25.6	5.2
MW12	91	32.5	50.0	7.2	529	15.3	4.9
MW13	79.3	39.5	600	18.1	1759	169.5	5.9
MW14	141	52.6	144	9.9	1066	26.1	1.6
MW15	145	100	711	37.5	1848	609	3.9
MW16	141	106	1072	66	2285	1015	6.7
MW17	103	27.5	862	22.3	1481	806	28.3
MW18	86	43.9	108	9.7	741	38.0	7.6
MW19	110	64.5	105	12.7	924	17.5	5.7
MW20	5.7	5.6	5.6	1.3	93	8.0	25.7
MW21	148	30.1	152	14.9	983	61.7	2.9
MW22	21.3	5.4	27	5.2	159	2.2	53.2
MW23	88	27.3	311	77	459	558	1.3
MW24	164	60.4	83	11.5	1022	25.0	2.7
MW25	248	91.7	216	37.8	1727	85.2	20.9
MW26	60	25.4	43.1	5.9	444	5.5	3.3
MW27	95	37.2	52	7.3	654	6.4	8.7
MW28	109	57.3	150	12.2	987	47.5	6.5
MW29	68.1	22.4	83.9	8.2	510	47.3	6.9
MW30	127	33.9	405	15.0	1228	228	58
MW31	102	53.5	221	16.5	1132	80	2.7
MW32	105	81.7	113	14.7	889	4.3	73
MW33	95	65.9	141	12.7	906	38	9.0
MW34	77	72.1	94	13.6	793	22.5	5.7
MW35	33.4	12.1	10.2	1.2	189	0.9	10.2
MW36	101	48.0	32.2	3.3	584	1.1	16.2
MW37	171	101	50	8.9	1111	8.5	11.3
MW38	160	104	113	10.7	1238	16.3	10.0
MW39	252	154	132	13.1	1770	18.6	8.1
MW40	336	241	179	20.7	2528	34.1	8.2
MW41	139	79.1	59	12.1	928	11.5	6.3
MW42	180	308	165	35.0	2330	34	49

4. táblázat. A 42 ásványvízforrás mikro- és nyomelem összetevőinek koncentrációja.

Kód	Al ³⁺ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)	Mn ²⁺ (mg/l)	Li ⁺ (mg/l)	Rb ⁺ (mg/l)	Sr ²⁺ (mg/l)	Ba ²⁺ (mg/l)	Si (mg/l)	B (mg/l)
MW1	0.02	0.15	19.7	0.87	0.54	< 0.01	0.33	0.13	49.9	0.43
MW2	0.01	0.18	7.6	1.34	0.12	< 0.01	1.48	0.14	18.4	0.16
MW3	0.06	0.19	6.6	1.34	0.10	< 0.01	1.35	0.19	19.8	0.12
MW4	0.01	0.15	43.3	3.02	< 0.003	< 0.01	0.29	0.11	41.1	< 0.03
MW5	0.01	0.16	5.8	1.27	0.14	< 0.01	1.59	0.16	7.9	0.35
MW6	0.00	0.21	10.9	0.44	0.40	0.04	0.66	0.14	47.6	3.15
MW7	0.00	0.37	11.7	0.45	0.44	0.05	0.73	0.14	48.7	3.17
MW8	0.00	0.33	11.8	0.50	0.45	0.05	0.75	0.13	49.4	3.77
MW9	0.03	0.10	7.0	0.38	< 0.003	0.01	0.15	0.06	48.0	< 0.03
MW10	0.00	0.48	8.1	0.36	0.87	0.09	0.59	0.08	48.4	12.1
MW11	0.00	0.95	57.3	5.01	0.18	< 0.01	1.18	0.69	42.0	0.77
MW12	0.00	0.29	17.0	0.60	0.16	0.03	0.53	0.14	55.4	1.21
MW13	0.00	0.72	10.2	0.50	0.76	0.06	0.92	0.12	50.0	11.8
MW14	0.00	0.47	5.6	0.27	0.32	0.01	0.70	0.17	51.1	2.17
MW15	0.00	0.24	13.1	0.38	1.74	0.10	0.56	0.15	47.7	24.4
MW16	0.00	0.59	13.0	0.42	2.95	0.20	0.65	0.13	51.3	41.5
MW17	0.00	0.35	9.2	0.54	1.21	0.05	0.45	0.03	44.5	21.0
MW18	0.00	0.05	5.5	0.23	0.19	0.02	0.51	0.11	42.0	1.46
MW19	0.00	0.64	7.2	0.52	0.21	0.03	0.65	0.12	46.6	3.04
MW20	0.73	0.05	19.1	0.16	< 0.003	< 0.01	0.03	0.02	9.5	< 0.03
MW21	0.00	0.90	13.5	0.53	0.62	0.02	0.68	0.96	46.1	7.12
MW22	0.02	0.66	12.8	0.38	0.02	0.03	0.47	0.03	45.7	0.08
MW23	0.01	0.59	23.7	1.85	1.84	0.64	2.70	0.97	50.9	15.1
MW24	0.00	0.36	8.1	0.44	0.34	0.04	1.11	0.37	45.6	4.66
MW25	0.00	0.28	4.8	0.29	1.14	0.21	2.14	0.75	46.9	18.6
MW26	0.00	0.45	12.8	0.53	0.08	0.01	0.58	0.10	51.2	0.62
MW27	0.00	0.51	15.9	0.66	0.10	0.02	0.74	0.14	46.8	0.47
MW28	0.00	0.44	7.8	0.53	0.48	0.08	1.09	0.21	47.0	3.90
MW29	0.01	0.17	15.0	0.94	0.34	0.05	0.58	0.17	46.0	4.44
MW30	0.01	0.42	20.3	1.04	1.23	0.02	0.77	0.33	40.4	7.01
MW31	0.03	0.54	12.7	0.54	0.76	0.06	0.86	0.29	55.7	9.78
MW32	0.04	0.16	11.6	0.95	0.13	0.01	0.42	0.04	32.3	< 0.03
MW33	0.02	0.18	4.0	0.34	0.30	0.01	0.33	0.12	27.4	7.4
MW34	0.01	0.27	7.1	0.31	0.38	0.03	0.36	0.13	42.4	3.01
MW35	0.04	0.12	5.7	0.40	0.006	< 0.01	0.15	0.09	27.2	< 0.03
MW36	0.02	0.17	12.7	0.52	0.05	< 0.01	0.47	0.02	38.7	0.04
MW37	0.01	0.52	3.8	0.21	0.14	0.02	0.51	0.18	47.2	0.77
MW38	0.01	0.58	8.7	0.29	0.26	0.02	0.76	0.12	53.9	3.03
MW39	0.01	0.49	7.9	0.27	0.27	0.01	0.81	0.30	43.4	3.65
MW40	0.02	0.93	7.2	0.25	0.53	0.05	1.06	0.90	50.2	2.69
MW41	0.01	0.51	6.1	0.22	0.16	0.02	0.48	0.19	46.4	0.87
MW42	0.01	0.98	2.7	0.19	0.45	0.07	0.98	0.30	38.2	7.7

5. táblázat. Az ásványvízforrások higiénia-mikrobiológiai vizsgálatainak eredményei.

Források nevei (egyes paraméterek határértékei)	Összcsofíraszám 22°C- on (max. 100 TKE/ ml)	Összcsofíraszám 37°C- on (max. 20 TKE/ ml)	Coliform baktériumok (0 TKE/ 100 ml)	<i>Escherichia coli</i> (0 TKE/ 100 ml)	Fekális <i>Enterococcus</i> (0 TKE/ 100 ml)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (0 TKE/ 100 ml)	<i>Clostridium</i> sp. (0 TKE/ 100 ml)
MW1	145	14	2	0	1	0	pozitív
MW2	2	1	2	0	0	0	negatív
MW3	0	3	0	0	0	0	negatív
MW4	17	11	24	5	5	0	negatív
MW5	124	47	>150	8	7	14	negatív
MW6	4	0	0	0	1	0	negatív
MW7	0	0	0	0	0	0	negatív
MW8	0	0	1	0	0	0	negatív
MW9	128	63	5	1	2	0	negatív
MW10	0	0	0	0	0	0	negatív
MW11	1	0	0	0	0	0	negatív
MW12	13	11	>200	4	0	7	pozitív
MW13	2	1	0	0	0	0	negatív
MW14	0	0	0	0	0	0	negatív
MW15	27	20	37	3	1	0	negatív
MW16	1	3	5	0	0	0	negatív
MW17	287	231	>100	18	248	0	pozitív
MW18	1	0	0	0	0	0	negatív
MW19	0	2	11	0	0	0	negatív
MW20	16	3	31	2	13	0	negatív
MW21	0	0	0	0	0	0	negatív
MW22	37	2	13	0	2	0	negatív
MW23	0	0	0	0	0	0	negatív

5. táblázat (folytatás). Az ásványvízforrások higiénia-mikrobiológiai vizsgálatainak eredményei.

Források nevei (egyes paraméterek határértékei)	Összesírászám 22°C- on (max. 100 TKE/ ml)	Összesírászám 37°C- on (max. 20 TKE/ ml)	Coliform baktériumok (0 TKE/ 100 ml)	<i>Escherichia coli</i> (0 TKE/ 100 ml)	Fekális <i>Enterococcus</i> (0 TKE/ 100 ml)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (0 TKE/ 100 ml)	<i>Clostridium</i> sp. (0 TKE/ 100 ml)
MW24	71	11	11	2	4	0	negatív
MW25	0	0	0	0	0	0	negatív
MW26	0	0	1	0	0	0	negatív
MW27	0	0	2	0	0	0	negatív
MW28	2	1	0	0	0	0	negatív
MW29	0	0	9	0	0	0	negatív
MW30	0	0	0	0	0	0	negatív
MW31	0	0	0	0	0	0	negatív
MW32	5	0	46	35	6	0	negatív
MW33	3	1	11	4	0	0	negatív
MW34	0	1	1	0	0	0	negatív
MW35	0	1	1	0	0	0	negatív
MW36	0	0	1	1	1	0	neagtív
MW37	0	0	0	0	0	0	negatív
MW38	0	0	0	0	0	0	negatív
MW39	0	0	0	0	0	0	negatív
MW40	0	0	5	0	1	0	pozitív
MW41	1	0	0	0	0	0	pozitív
MW42	0	0	0	0	0	0	negatív