

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის
სახელმწიფო უნივერსიტეტი



მაკრინე ნიკოლაიშვილი

მთავარი იონების და ზოგიერთი მძიმე მეტალის შემცველობის დადგენა
საქართველოს კომერციულ წყაროს და მინერალურ წყლებში მიკროტალღური
პლაზმის ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრის გამოყენებით

ქიმიური ექსპერტიზა

სამაგისტრო ნაშრომი შესრულებულია ქიმიის მაგისტრის
აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელები: აკადემიკოსი ბეჟან ჭანკვეტაძე
ასისტენტ-პროფესორი ნინო თაყაიშვილი

თბილისი

2023

სარჩევი

I ანოტაცია	3
II შესავალი	5
III ლიტერატურის მიმოხილვა	7
3.1 კომერციული წყაროს და მინერალური წყლების შემადგენელი მაკროკომპონენტები და მათი განსაზღვრის მეთოდები	7
IV ექსპერიმენტული ნაწილი	18
4.1 გამოყენებული აპარატურა	18
4.2 გამოყენებული ხსნარები და რეაქტივები	22
V მიღებული შედეგები და მათი განსჯა	23
5.1. საქართველოს კომერციული წყაროს წყლების ჰიდროქიმიური გამოკვლევა მთავარი იონების და ზოგიერთი მძიმე მეტალის შემცველობაზე.....	23
5.2. საქართველოს კომერციული მინერალური წყლების ჰიდროქიმიური გამოკვლევა მთავარი იონების და ზოგიერთი მძიმე მეტალის შემცველობაზე.....	30
5.3. ტყვიის განსაზღვრა კომერციულ მინერალურ წყლებში MP-AES-ის მეშვეობით. ლიტერატურული მიმოხილვა, პრობლემატური შედეგების კვლევა და სავარაუდო მიზეზთა ძიება.....	31
5.4. ჰიდროკარბონატ იონის გავლენა ტყვიის განსაზღვრის შედეგზე	34
5.5. ფტორი საქართველოს კომერციულ წყაროს და მინერალურ წყლებში.....	35
VI დასკვნები	37
VII გამოყენებული ლიტერატურა	38

I ანოტაცია

წყალი გარემოს შემადგენელი ძირითადი და უნიკალური კომპონენტია. ის არა მარტო ადამიანის, ცხოველთა სამყაროსა და მცენარეული საფარისთვის არის სასიცოცხლო მნიშვნელობის, არამედ ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებასაც დიდწილად განაპირობებს. ამის გათვალისწინებით, ქვეყანაში წარმოებული კომერციული წყლების კვლევა მუდმივად რელევანტურია, რათა უზრუნველყოფილ იქნას მათი მულტიკომპონენტური შემცველობის თანხვედრა ტექნიკური რეგლამენტით დაწესებულ კონდიციებთან.

ჩვენი კვლევის მიზანს წარმოადგენდა საქართველოში წარმოებული და მთელი მსოფლიოს მასშტაბით მრავალ ქვეყანაში ექსპორტირებული 5 დასახელების ბუნებრივი მინერალური წყლისა („ლიკანი“, „ბორჯომი“, „ნაბეღლავი“, „საირმე“, „კობი“) და 8 წყაროს წყლის („სნო“, „ეს წყალი“, „ჯეო ნატურა“, „ჯეო ნატურა ბასტი ბუბუ“, „ნაკადული“, „ბახმარო“, „ბაკურიანი“, „მთის წყალი“) კვლევა მათში არსებული ძირითადი იონებისა და მძიმე მეტალების კონცენტრაციების დასადგენად მიკროტალღური პლაზმის ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრის გამოყენებით.

კვლევის ფარგლებში განისაზღვრა pH, ძირითადი იონები (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), ზოგიერთი მძიმე მეტალი (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Mn), ჟანგვადობა და F^- . მიღებული შედეგები მეტწილად ეტიკეტზე მითითებული ნორმის ფარგლებში იცვლებოდა. ადგილი ჰქონდა მცირე გადახრებს HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ შემცველობასთან დაკავშირებით ზოგიერთ წყაროს წყალში.

Summary

Water is an essential and unique component of the environment. It is not only of utmost importance for human beings, animals and plants, but it also largely determines optimal economic growth and stability of the country. Due to these reasons, conducting research on commercially produced waters maintains constant relevance in order to ensure its accordance with the respective technical regulations in terms of multicomponent composition.

The main goal of our study was to analyze Georgia-based commercially produced 5 natural mineral waters („Likani“, „Borjomi“, „Nabeghlavi“, „Sairme“, „Kobi“) and 8 non-carbonated spring waters („Sno“, „Es wyali“, „Geo natura“, „Geo natura Basti bubu“, „Nakaduli“, „Bakhmaro“, „Mtis wyali“, „Bakuriani“). We aimed to determine the concentrations of essential ions and several heavy metals contained in the mentioned waters by employing Microwave-plasma atomic emission spectrometry method.

Within this research, we have determined pH, following essential ions (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), heavy metals (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Mn), oxidizability and F^- . The results mostly ranged within the limits given on the labels, although, there were a few instances of higher concentrations concerning HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ ions in several natural mineral waters.

II შესავალი

საქართველოში 730-ზე მეტი სახეობის მინერალური წყალი მოიპოვება, რომლებიც ბალნეოლოგიური მიზნით და სამრეწველო ჩამოსხმისათვის გამოიყენება. მათი სამკურნალო თვისებები უძველესი დროიდან არის ცნობილი და ფართოდ განაპირობებს მოხმარების პოპულარობას ქვეყნის ფარგლებს გარეთაც.

სანამ უშუალოდ აღვწერთ კვლევის მიზნებსა და მეთოდოლოგიას, გავცნოთ ზოგიერთ მინერალურ/წყაროს წყალს და მათ უნიკალურ თვისებებს, რაც კიდევ ერთხელ წარმოაჩენს არსებული კვლევის მნიშვნელობასა და რელევანტურობას.

„ბორჯომი“ საშუალო მინერალიზაციის, ნატრიუმის ჰიდროკარბონატული სამკურნალო მინერალური წყალია. სხვა ანალოგიური წყლებისგან განსხვავებით ის მიწის ზედაპირთან „გაცივებას“ ვერ ასწრებს და თბილ მდგომარეობაში ამოდის (38°C - 41°C). „გზადაგზა“ იგი ბუნებრივად იფილტრება, განიცდის მინერალიზაციას და მდიდრდება 60 სხვადასხვა ქიმიური ელემენტით.

„ნაბელავი“ ნახშირორჟანგით გამდიდრებული, ჰიდროკარბონატული ნატრიუმ-კალციუმის ტიპის წყალია. მას ახასიათებს მაგნიუმის მაღალი შემცველობა რაც გულ-სისხლძარღვთა და ნერვულ სისტემაზე დადებითად აისახება. მნიშვნელოვანია ასევე სულფატების დიდი რაოდენობა, რაც კუჭ-ნაწლავის დაავადებათა სამკურნალოდ გამოიყენება.

„საირმე“ ნარზანის ტიპის ნახშირმჟავა ჰიდროკარბონატული კალციუმ-ნატრიუმის წყალია, რაც მისი სამკურნალო მოქმედების ძირითად განმსაზღვრელ კომპონენტს წარმოადგენს. 1930-იან წლებში საირმეს ოფიციალურად მიენიჭა კურორტის სტატუსი და აშენდა პირველი სანატორიუმები.

„ბაკურიანი“ ბუნებრივი დაბალმინერალიზებული წყალია, გაჯერებული ოპტიმალური რაოდენობის მინერალური კომპლექსებით. იგი ხასიათდება კალციუმის, ნატრიუმისა და მაგნიუმის მინიმალური კონცენტრაციით და უმნიშვნელო რაოდენობით შეიცავს ფტორსა და იოდს. რეკომენდირებულია ბავშვთა კვებაში.

„ლიკანი“ უნიკალურია ჰიდროკარბონატების, მაგნიუმისა და კალციუმის თანაფარდობის გამო. ნახშირორჟანგის დახმარებით ის 1500 მეტრის სიღრმიდან ამოდის.

„ბახმარო“ დაბალმინერალიზებული სასმელი წყალია, რომლის ქიმიურ შემადგენლობაში ჭარბობს ორგანიზმისთვის სასარგებლო კალციუმი და ჰიდროკარბონატი. ის მდიდარია ბუნებრივი ჟანგბადით.

ზემოთ მოყვანილი მოკლე აღწერილობების გათვალისწინებით შეგვიძლია მკაფიო წარმოდგენა შეგვექმნას საქართველოში წარმოებული წყლების გამოკვლევის აუცილებლობისა და რელევანტურობის შესახებ. რადგან ჩვენ მიერ შერჩეული წყლები სამკურნალო თვისებებითაც ხასიათდება, მით უფრო გასაგები ხდება მათი ქიმიური შედგენილობის ანალიზისა და შესწავლის საჭიროება.

კვლევის ფარგლებში, ჩვენს ძირითად მიზანს წარმოადგენდა კომერციულ წყაროს და მინერალურ წყლებში ძირითადი იონების (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) კონცენტრაციების დადგენა სტანდარტული ანალიზური მეთოდებით და ზოგიერთი მძიმე მეტალის (Cd , Pb , Zn , Cu , Ni , Mn) განსაზღვრა მიკროტალღური პლაზმის ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრით. ცალკეული განსაზღვრის სახით გამოყენებულ იქნა იონ სელექტიური მეთოდი ფთორის კონცენტრაციის დასადგენად.

III ლიტერატურის მიმოხილვა

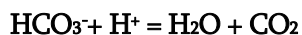
3.1 კომერციული წყაროს და მინერალური წყლების შემადგენელი მაკროკომპონენტები და მათი განსაზღვრის მეთოდები

წყლებში შემავალი მაკროკომპონენტები იყოფა ძირითად კათიონებად (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) და ანიონებად (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-). ქვემოთ მოცემულია მათი შემცველობის დასადგენი სტანდარტული ანალიზური მეთოდოლოგია.

ანიონები

HCO_3^- განსაზღვრა

ბუნებრივ წყლებში HCO_3^- ისაზღვრება ნეიტრალიზაციის მეთოდით (აციდიმეტრულად) [1-4, 6, 7]. მეთოდს საფუძვლად უდევს შემდეგი რეაქცია:



გამოყოფილი CO_2 -ის გამო ეკვივალენტობის წერტილში ხსნარს სუსტი მჟავა რეაქცია აქვს (pH 4-5), ამიტომ მიზანშეწონილია ინდიკატორად მეთილნარინჯის ან მეთილწითელის გამოყენება.

გამოყენებული რეაქტივები:

- 0.1 ან 0.01 N HCl რომლის ტიტრი შემოწმებულია შესაბამისად 0.1 ან 0.01 N Na_2CO_3 -ის გამოყენებით.
- მეთილწითელის 1%-იანი სპიტრხსნარი ან მეთილნარინჯის 0.1%-იანი წყალხსნარი.

ანალიზის მსვლელობა:

10.0-25.0 მლ წყალს ათავსებენ კონუსისებრ კოლბაში, ამატებენ 2-3 წვეთ ინდიკატორს და ტიტრავენ HCl-ის ხსნარით ყვითელი ფერის ნარინჯისფერში გადასვლამდე.

შედეგების გაანგარიშება:

$$\text{HCO}_3^- \text{ მგ/ლ} = N \cdot V \cdot \Xi \cdot 1000 / a$$

სადაც, N- HCl-ის ნორმალობაა;

V - გატიტრებულ დახარჯული HCl -ის მოცულობა;

Ξ - HCO_3^- -ის ეკვივალენტი (61);

a - საანალიზოდ აღებული წყლის მოცულობა (ალიქვოტი).

Cl⁻ განსაზღვრა

Cl⁻ ბუნებრივი წყლების მუდმივი შემადგენელი კომპონენტია, რომლის კონცენტრაცია დიდ დიაპაზონში მერყეობს. როგორც სხვა იონის, ისე მისი შემცველობა წყალში იცვლება წყლის წარმოშობის მიხედვით. სასმელ წყლებში Cl⁻-ს შემცველობა ნორმირებულია. საქართველოში მოქმედი სასმელი წყლების ტექნიკური რეგლამენტის მიხედვით Cl⁻-ს ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია 250 მგ/ლ-მდეა [9, 10].

საქართველოს ატმოსფერული ნალექები შეიცავს 1-3 მგ/ლ Cl⁻-ს, მდინარეები და ზედაპირული წყლები 5-10 მგ/ლ, მიწისქვეშა წყლები და მარილიანი ტბები 100 - ბით მგ/ლ [5, 8]. დიაპაზონი ცვალებადობის ძალიან დიდია. ზღვები და ოკეანეები გ/ლ Cl⁻-ს შეიცავს. შეიმჩნევა ერთი საინტერესო კანონზომიერება, რაც უფრო მარილიანია წყალი მით მეტია Cl⁻ ხვედრითი წილი ანიონებში.

განსაზღვრის მეთოდები

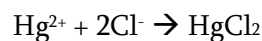
თავდაპირველად Cl⁻ ბუნებრივ წყლებში ისაზღვრებოდა გრავიმეტრული მეთოდით AgCl-ის სახით. მეთოდი ხანგრძლივი და დაბალმგრძობიარეა [3].

ჩვეულებრივ Cl⁻ განსაზღვრისათვის იყენებენ მოცულობით მეთოდებს. ტიტრანტებად გამოყენებულია AgNO₃ ან Hg(NO₃)₂.

ჰიდროქიმიკაში AgNO₃-ით Cl⁻ განსაზღვრის რამდენიმე ვარიანტია გამოყენებული, იმის მიხედვით, თუ რომელი ინდიკატორი და გატიტრის რა წესი გვექნება არჩეული.

დღეისათვის უფრო მოხერხებულად ითვლება Cl⁻ განსაზღვრა მერკურიმეტრული მეთოდით [1-4, 6, 7]. ვერცხლისწყლის (II) ხსნადი მარილების უმეტესობა კომპლექსური ბუნებისაა და არ არის დისოცირებული. გამონაკლისია მხოლოდ ნიტრატები და პერქლორატები. მათი ანომალური თვისება უდევს საფუძვლად მერკურიმეტრისას. მერკურიმეტრიაში სამუშაო ხსნარად გამოყენებულია Hg(NO₃)₂, რომელიც უფრო ხელმისაწვდომია, ვიდრე Hg(ClO₄)₂.

სუსტ აზოტმჟავა არეში Hg²⁺ Cl⁻-თან წარმოქმნის არადისოცირებულ HgCl₂-ს (უმდგადობის მუდმივას მაჩვენებელი 14).



მერკურიმეტრული მეთოდი გამოყენებულია ბუნებრივ და ჩამდინარე წყლებში, ნიადაგის ხსნარებში, ბიოგენური ნივთიერებების დანაცრების პროდუქტებში და სხვა ობიექტებში ქლორიდ-იონის განსასაზღვრავად. ინდიკატორად გამოყენებულია დიფენილკარბაზონი, რომელიც საშუალებას იძლევა 0.1 – 0.001 N Hg(NO₃)₂ ხსნარებით ვიმუშაოთ.

დიფენილკარბაზონატის წარმოქმნის რეაქცია დამოკიდებულია ხსნარის pH-ზე. ეკვივალენტობის წერტილის ზუსტად ფიქსირებისათვის რეკომენდირებულია ოპტიმალური pH-ის 2.5 - 3.0 - მდე დაცვა. უფრო დაბალ pH-ზე მიიღება გადიდებული, ხოლო pH > 4-ზე - შემცირებული შედეგები. სათანადო მჟავიანობას ქმნიან განზავებული HNO₃-ით და გარე (უნივერსალური ინდიკატორის ქაღალდი) ან შიდა (მაგ. ბრომფენოლლურჯი ან β - დინიტროფენოლი) ინდიკატორის საშუალებით მიიღწევა სათანადო pH.

ბუნებრივ ობიექტებში ქლორიდ-იონის განსაზღვრის მერკურიმეტრული მეთოდი პრაქტიკულად სპეციფიურია. ხელის შემშლელი ანიონებიდან ბუნებრივ ობიექტებში CN⁻ და SCN⁻ არსებობა გამორიცხულია, Br⁻ და I⁻-ის კონცენტრაციები კი 100-ჯერ და 1000-ჯერ ნაკლებია Cl⁻-ის შემცველობაზე.

გამოყენებული რეაქტივები :

- Hg(NO₃)₂-ის 0.1 N ხსნარი. 8.5 გ Hg(NO₃)₂ · 0.5H₂O-ს ხსნიან 100-150 მლ გამოხდილ წყალში, რომელსაც დამატებული აქვს ერთი მლ კონცენტრირებული HNO₃ და ავსებენ 0,5 ლ-მდე. ხსნარის ზუსტ კონცენტრაციას ადგენენ NaCl-ის სტანდარტული ან HCl-ის სამუშაო ხსნარით. ძირითადი სამუშაო ხსნარის 10-ჯერადი განზავებით ამზადებენ Hg(NO₃)₂-ის 0.01 N სამუშაო ხსნარს;
- დიფენილკარბაზონის 1%-იანი სპირტხსნარი;
- განზავებული HNO₃.

ანალიზის მსვლელობა :

10.0 - 25.0 მლ საანალიზო წყალს ათავსებენ კონუსისებრ კოლბაში, ამჟავებენ HNO₃-ის განზავებული ხსნარით pH 2.5-3.0 -მდე (სინჯი უნივერსალური ინდიკატორის ქაღალდით), ამატებენ 2-3 წვეთ ინდიკატორ დიფენილკარბაზონის სპირტხსნარს და ტიტრავენ 0.01 N Hg(NO₃)₂ - ის ხსნარით სუსტი ყვითელი ფერის იისფერში გადასვლამდე.

შედეგების გაანგარიშება :

$$\text{Cl}^- \text{ მგ/ლ} = N \cdot V \cdot \Xi \cdot 1000 / a$$

სადაც, N - $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ -ის ნორმალობაა;

V - გატიტვრაზე დახარჯული $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ -ის მოცულობა;

Ξ - Cl^- -ის ეკვივალენტი (35.5);

a - საანალიზოდ აღებული წყლის მოცულობა (ალიქვოტი).

თუ საანალიზო სინჯში Cl^- -ის შემცველობა 3-5 მგ/ლ-ზე ნაკლებია, საჭირო ხდება მისი კონცენტრირება აორთქლებით K_2CO_3 -ის თანაობისას და კონცენტრატის გასატიტრად მიკრობიურეტის გამოყენება.

მცირე რაოდენობა Cl^- განსაზღვრისათვის იშვიათად, მაგრამ მაინც იყენებენ ტურბიდიმეტრულ მეთოდს. მეთოდი დაფუძნებულია HNO_3 -ის არეში AgCl სუსპენზიის მიღებაზე.

SO_4^{2-} განსაზღვრა

სულფატ-იონი ბუნებრივი წყლების ერთ-ერთი მთავარი ანიონია, რომელიც ო. ალექსინის კლასიფიკაციით განსაზღვრავს წყლის ტიპს. მიუხედავად იმისა, რომ SO_4^{2-} არ მიეკუთვნება ტოქსიკურ ნივთიერებათა ჯგუფს, მისი შემცველობა სასმელ წყლებში მაინც ნორმირებულია. ჯანმრთელობის დაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის რეკომენდაციით და საქართველოში მოქმედი სტანდარტით სასმელ წყლებში დასაშვებია 250 მგ/ლ-მდე SO_4^{2-} [9, 10].

საქართველოს ატმოსფერულ ნალექებში SO_4^{2-} -ის საშუალო შემცველობა 1.8-7.1 მგ/ლ ფარგლებში მერყეობს. ცალკეულ სინჯებში (თბილისი, რუსთავი) მისი კონცენტრაცია $n \cdot 10$ მგ/ლ-ს აღწევს [5, 8].

საქართველოს ზედაპირულ წყლებში (მდინარეები, წყალსაცავები, მტკნარი ტბები) SO_4^{2-} -ის საშუალო შემცველობა 2-340 მგ/ლ ფარგლებში იცვლება, თუმცა 75% შემთხვევაში < 30 მგ/ლ-ზე. ამასთან აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეებში სულფატების შემცველობა რამდენადმე მეტია (ალგეთა, ვერე, მტკვრის ქვემო დინება), ვიდრე დასავლეთ საქართველოს მდინარეებში. ეს გამოწვეულია მშრალი კლიმატით, გათბაშირებული ქანების გავრცელებით და აგრეთვე მძლავრი ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენით [5, 8].

SO₄²⁻-ის მაღალი შემცველობით - ასეული და ათასეული მგ/ლ, გამოირჩევა მარილიანი ტბები.

განსაზღვრის მეთოდები

სულფატების განსაზღვრა ერთ-ერთი პრობლემატური საკითხია ჰიდროქიმიაში. ამიტომაც, რომ არც ერთი იონის განსაზღვრის შესახებ არ არის გამოქვეყნებული იმდენი მეთოდი რამდენიც SO₄²⁻-ის შესახებ. განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი. უძველესი და დღემდე შემორჩენილია გრავიმეტრული განსაზღვრა. მეთოდი დაფუძნებულია მჟავა არეში სულფატების გამოყოფაზე BaSO₄-ის ნალექის სახით, რომელსაც ფილტრავენ, რეცხავენ, გააშრობენ ან გაახურებენ მასის მუდმივ მნიშვნელობამდე. მეთოდი პრაქტიკულად სპეციფიური, ზუსტი, ხელმისაწვდომი, მაგრამ დაბალმგრძობიარე, ხანგრძლივი და შრომატევადია. თუ SO₄²⁻-ის შემცველობა < 10-20 მგ/ლ-ზე აუცილებელია წინასწარი კონცენტრირება, რაც კიდევ უფრო ახანგრძლივებს ანალიზის მსვლელობას.

ბუნებრივ წყლებში სულფატების განსაზღვრის მეთოდების დიდ ჯგუფს შეადგენს მოცულობითი მეთოდები, რომლებიც გრავიმეტრულთან შედარებით სწრაფია [1-3].

ბუნებრივ წყლებში სულფატების განსაზღვრისათვის გამოიყენება აგრეთვე ანალიზის ინსტრუმენტული მეთოდები: პირდაპირი და არაპირდაპირი ფოტომეტრული განსაზღვრა, პოტენციომეტრული მეთოდი იონსელექტიური ელექტროდების გამოყენებით, იონქრომატოგრაფია, რომელიც დაფუძნებულია ანიონების ქრომატოგრაფულ დაყოფაზე და ელუენტებში მათი კონცენტრაციის კონდუქტომეტრულ განსაზღვრაზე. მეთოდი სპეციფიური და მგრძობიარეა (ისაზღვრება > 0.01 მგ/ლ SO₄²⁻), მაგრამ მის პრაქტიკაში გამოყენებას აძნელებს აპარატურის სიძვირე და ანალიზის შედარებითი ხანგრძლივობა.

დღეისათვის სულფატების განსაზღვრისათვის ხელმისაწვდომი მეთოდია ტურბიდიმეტრია. მეთოდი სწრაფი და მგრძობიარეა, მაგრამ როგორც ყველა ტურბიდიმეტრული განსაზღვრა საჭიროებს დიდ ყურადღებას. შეცდომის მთავარი მიზეზი შეიძლება იყოს წარმოქმნილი BaSO₄-ის სუსპენზიის მარცვლების განსხვავებული ზომები. ეს კი თავისთავად დამოკიდებულია სუსპენზიის მიღების პირობებზე. ნაწილაკთა ზომაზე და სუსპენზიის ოპტიკურ თვისებებზე მოქმედებს : ნალექწარმოქმნელი იონების კონცენტრაცია, რეაგენტების შერევის რიგი და სიჩქარე, გამხსნელის გვარობა, დრო, რომელიც საჭიროა მაქსიმალური სიმღვრივის მისაღებად, სუსპენზიის სტაბილურობა დროში, გარეშე

ელექტროლიტების და არაელექტროლიტების თანაობა, ტემპერატურა, დამცველი კოლოიდების სიჭარბე. $BaSO_4$ -ის სუსპენზიის მდგრადობაზე და ოპტიკურ თვისებებზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ხსნარის pH.

მიუხედავად აღნიშნული სირთულეებისა SO_4^{2-} -ის განსაზღვრის ტურბიდიმეტრული მეთოდი სიმარტივის და სისწრაფის გამო გამოყენებულია ჰიდროქიმიურ პრაქტიკაში. საიმედო, მეტროლოგიურად გამართული შედეგების მისაღებად აუცილებელია ანალიზის პირობების შერჩევა და მკაცრი დაცვა [7].

$BaSO_4$ -ის სუსპენზიის მისაღებად გამოიყენება $BaCl_2$ -ის შემცველი დამლექავი რეაგენტი. სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივე იზომება ფოტომეტრით (ტალღის სიგრძე $\lambda=400$ ნმ, კიუვეტის ფენის სისქე $l=20$ მმ).

გამოყენებული რეაქტივები :

- დამლექავი რეაგენტი, რომლის შედგენილობაშიც შედის 5 % -იანი ბარიუმის ქლორიდი, ეთილენგლიკოლი და 96 % - იანი ეთანოლი მოცულობითი თანაფარდობით 1 : 3 : 3. ნარევის pH განზავებული HCl-ით მიყვანილია 2.5-3 მდე;
- K_2SO_4 -ის სტანდარტული ხსნარი ($T SO_4^{2-} = 100$ მკგ/მლ);
- განზავებული HCl-ის ხსნარი

ანალიზის მსვლელობა :

საანალიზოდ იღებენ 5.0 მლ სინჯს (თუ საანალიზო სინჯში SO_4^{2-} -ის კონცენტრაცია 40-50 მგ/ლ-ს აღემატება იღებენ 1-2 მლ ხსნარს და ავსებენ 5.0 მლ-მდე გამოხდილი წყლით), გადააქვთ 12-15 მლ ტევადობის სინჯარაში, ამჟავებენ განზ. HCl-ის ხსნარით, ამატებენ 5.0 მლ დამლექავ რეაგენტს, ურევენ ბურთულიანი წკირით, 3-5 წთ-ის შემდეგ გადააქვთ კიუვეტაში ($l = 20$ მმ) და ფოტო-ელექტრო-კოლორიმეტრზე ზომავენ სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეს ($\lambda = 400$ ნმ). შედეგებს აითვლიან საკალიბრო გრაფიკზე.

საკალიბრო გრაფიკის აგება:

12-15 მლ ტევადობის სინჯარებში ათავსებენ K_2SO_4 -ის სტანდარტული ხსნარის მზარდ მოცულობებს : 0.0; 0.3; 0.5; 1.0; 2.0 მლ. ყველა მათგანს 5.0 მლ-მდე ავსებენ გამოხდილი წყლით, ამატებენ 5.0 მლ დამლექავ რეაგენტს, ურევენ ბურთულიანი წკირით, 3-5 წთ-ის შემდეგ

გადააქვთ კიუვეტაში ($l = 20$ მმ) და ფოტო-ელექტრო-კოლორიმეტრზე ზომავენ სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეს ($\lambda = 400$ ნმ).

კათიონები

Na⁺-ის განსაზღვრა

ნატრიუმის იონი წყლების ძირითადი შემადგენელია. ატმოსფერულ ნალექებში 1-3 მგ/ლ ფარგლებშია, სასმელ წყლებში ნატრიუმის ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია 200 მგ/ლ-მდეა.

ნატრიუმის განსაზღვრის ქიმიური მეთოდები ემყარება მის დალექვას ნატრიუმ-თუთია ურანილ აცეტატის სახით - $\text{NaZn}(\text{UO}_2)_3(\text{CH}_3\text{COO})_9$. ნალექი საკმაოდ ხსნადია, ამიტომ სრული დალექვის მისაღწევად საჭიროა რეაგენტის სიჭარბე, ორგანული რეაგენტების გამოყენება და გაციება. ნალექს რეცხავენ თუთია ურანილ აცეტატის გაჯერებული, გაციებული ხსნარით. ამის შემდეგ განსაზღვრა მთავრდება გრავიმეტრულად, ან მოცულობითი მეთოდით. ამ უკანასკნელის გამოყენების შემთხვევაში ნალექს ხსნიან განზავებულ მჟავაში, უმატებენ მცირე რაოდენობით Na_2CO_3 -ს, ურანილი იზოქება კომპლექსის სახით და Zn იტიტრება კომპლექსონომეტრულად. შედეგებს გადაითვლიან ნატრიუმზე (მოლი-მოლზე მოდის). მეთოდი საიმედოა, მაგრამ დალექვის პროცესი შრომატევადია [1, 2].

პრაქტიკაში ფართოდ არის დანერგილი Na⁺-ის გაანგარიშების მეთოდი ანიონებისა და კათიონების ეკვივალენტების ჯამიდან. მაგრამ ამ შემთხვევაში ვანგარიშობთ არა Na^+ , არამედ $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. ვარაუდობენ, რომ Na^+ -ის და K^+ -ის თანაფარდობა წყალში არის 3:1 ან 4:1. ამ მეთოდის ნაკლია ის, რომ თუ რომელიმე იონის განსაზღვრისას დაშვებულია შეცდომა, ეს აისახება Na^+ -ის გათვლის შედეგშიც [1-3].

$$\text{მაგალითად, } \text{Na}^+ \text{ მგ/ლ} = [(\sum \text{Cl}^- + \sum \text{SO}_4^{2-} + \sum \text{HCO}_3^-) - (\sum \text{Ca}^{2+} + \sum \text{Mg}^{2+})] \cdot 23$$

სადაც, 23 Na⁺-ის ეკვივალენტია.

დღეისათვის Na⁺-ის განსაზღვრისთვის გამოყენებულია ალის ფოტომეტრია, იონმეტრია, ატომურ-აბსორბციული მეთოდი, ინდუქციურად შეუღლებული პლაზმის ატომურ სპექტროსკოპული მეთოდი, მიკრო ტალღური პლაზმის ატომურ-ემისიური მეთოდი [4, 10]. იონმეტრია საკმაოდ სწრაფია. გამოყენებულია ნატრიუმის სელექტიური ელექტროდი,

განსაზღვრის ტექნიკა pH-ის განსაზღვრის ანალოგიურია, მაგრამ მეთოდის ნაკლია შედარებით დაბალმგრძობიარობა.

ბუნებრივ და ჩამდინარე წყლებში Na^+ -ის განსაზღვრის მგრძობიარე მეთოდია ალის ფოტომეტრია. მეთოდი სპეციფიურია, მგრძობიარეა, ვინაიდან 10^{-2} - 10^{-3} მკგ/მლ ფარგლებში ისაზღვრება Na^+ , სწრაფია და ზუსტი [4].

Ca^{2+} და Mg^{2+} -ის განსაზღვრა

ბუნებრივ წყლებში Ca^{2+} და Mg^{2+} ისაზღვრება კომპლექსონომეტრული მეთოდით. წყლის ერთ სინჯში საზღვრავენ Ca^{2+} და Mg^{2+} -ის ჯამურ შემცველობას, მეორეში - Ca^{2+} - ს. სხვაობით ითვლიან Mg^{2+} -ის რაოდენობას. ტიტრანტებად გამოყენებულია ეთილენდამინტეტრამმარმჟავა (EDTA, კომპლექსონ II) ან მისი ორჩანაცვლებული ნატრიუმის მარილი (TE, კომპლექსონ III). აღნიშნული ნივთიერებები Ca^{2+} და Mg^{2+} - თან ტუტე არეში წარმოქმნის მდგრად, წყალში ხსნად კომპლექსებს. ინდიკატორების (ერიოქრომ შავი, მურექსიდი და სხვა) თანაობისას ეკვივალენტობის წერტილის დადგენა ადვილია [7, 8] .

თუ საანალიზო წყალი შეიცავს მძიმე ლითონებს (Cu^{2+} , Zn^{2+} და სხვა), საჭიროა მათი მოცილება, შენიღბვა ტრიეთანოლამინით ან სხვა სუსტი კომპლექსარმომქმნელით.

Ca^{2+} და Mg^{2+} -ის ჯამურ შემცველობით შესაძლოა წყლის საერთო სიხისტის დადგენა. სიხისტე - სასმელად და ტექნიკური მიზნებისათვის განკუთვნილი წყლის ხარისხის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. არსებული ნორმატივებით სასმელი წყლის საერთო სიხისტე არ უნდა აღემატებოდეს 7 მგ-ეკვ/ლ [9, 10] .

ამრიგად, კომპლექსონმეტრული მეთოდით წყლის საერთო სიხისტის დასადგენად ისაზღვრება Ca^{2+} და Mg^{2+} - ის საერთო შემცველობა და გატიტვრაზე დახარჯული $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ -ის მოცულობით (V_1) ანგარიშობენ საერთო სიხისტეს:

$$\text{საერთო სიხისტე} = N \cdot V_1 \cdot 1000 / a \text{ მგ-ეკვ/ლ}$$

სადაც, N და V_1 $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ -ის ნორმალობა და მოცულობაა, a - საანალიზოდ აღებული წყლის მოცულობა მლ-ში.

Ca²⁺ და Mg²⁺-ის ჯამური შემცველობის განსაზღვრა

გამოყენებული რეაქტივები :

- 0.1N ან 0.01 N TB (კომპლექსონ III) ხსნარი;
- ამიაკური ბუფერი (NH₄OH+ NH₄Cl, pH=10.5)
50 გ სუფთა NH₄Cl-ს ხსნიან გამოხდილ წყალში, უმატებენ 250 მლ 20%-იან NH₄OH-ს და ავსებენ გამოხდილი წყლით 1 ლ-მდე.
- ინდიკატორი ერიოქრომშავი (ფხვნილის ან უკეთეს შემთხვევაში ხსნარის სახით).

ანალიზის მსვლელობა :

10.0 - 25.0 მლ საანალიზო წყალს უმატებენ 4-5 მლ ამიაკურ ბუფერს, ინდიკატორ ერიოქრომშავს და ტიტრავენ TB-ს ხსნარით ვარდისფერის ლურჯ-ცისფერში გადასვლამდე. TB-ს დახარჯულ მოცულობას აღნიშნავენ V₁-ით.

Ca²⁺-ის განსაზღვრა

კალციუმი ბუნებრივი წყლების მუდმივი შემადგენელი კომპონენტია. სასმელ წყლებში მისი ზღვრული დასაშვები ნორმა <140 მგ/ლ-ზე [9, 10] .

ჰიდროკარბონატულ მინერალურ წყლებში Ca²⁺-ის განსაზღვრის გართულების მიზეზი შეიძლება გახდეს CaCO₃-ის გამოლექვა სინჯში NaOH-ის დამატების შემდეგ. ჰიდროკარბონატ-იონის გავლენა შეიძლება ავიცილოთ HCl-ით მისი წინასწარი განეიტრალებით [7, 8].

გამოყენებული რეაქტივები :

- 0.1N ან 0.01 N TB (კომპლექსონ III) ხსნარი;
- 2N NaOH-ის ხსნარი;
- ინდიკატორი მურექსიდი (მყარი ან სუსპენზია ეთილენგლიკოლში).

ანალიზის მსვლელობა :

10.0 - 25.0 მლ საანალიზო წყალს უმატებენ 2 მლ 2N NaOH-ს, ინდიკატორ მურექსიდს და ტიტრავენ TB-ს ხსნარით ვარდისფერის იისფერში გადასვლამდე. TB-ს დახარჯულ მოცულობას აღნიშნავენ V₂-ით.

შედეგების გაანგარიშება :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ მგ/ლ} = N \cdot V_2 \cdot \vartheta \cdot 1000 / a$$

$$\text{Mg}^{2+} \text{ მგ/ლ} = N (V_1 - V_2) \cdot \vartheta \cdot 1000 / a$$

სადაც, V_1 და V_2 - გატიტვრაზე დახარჯული კომპლექსონის მოცულობებია;

N - კომპლექსონის ნორმალობაა;

ϑ - ეკვივალენტური მასა (Ca^{2+} -20.0 და Mg^{2+} -12.16);

a - საანალიზოდ აღებული წყლის მოცულობა (ალიქვოტი).

ჟანგვადობის განსაზღვრა

წყლის პერმანგანატული ჟანგვადობის განსაზღვრის კუბელის მეთოდი დაფუძნებულია გახსნილი ორგანული ნივთიერებების დაჟანგვაზე კალიუმის პერმანგანატით გოგირდმჟავა არეში და რეაქციაში შეუსვლელი რეაგენტის უკუგატიტვრაზე [1-3, 6, 7].

100 მლ წყალს, რომლის ჟანგვადობა არ უნდა აღემატებოდეს 10 მგO/ლ, უმატებენ 10,0 მლ 0,01 N KMnO_4 -ის ხსნარს, 5 მლ 1:4 განზავებულ გოგირდმჟავას, აცხელებენ ელექტროქურაზე და ადუღებენ 10 წუთს. თუ პერმანგანატი საკმარისი აღმოჩნდება გახსნილი ორგანული ნაერთების დასაჟანგად (ხსნარმა დუდილის შემდეგ შეინარჩუნა ვარდისფერი) ცხლადვე უმატებენ 10,0 მლ 0,01 N $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, რომლის სიჭარბეს უკუტიტრავენ 0,01 N KMnO_4 [6, 7]. თუ წყლის ჟანგვადობა სავარაუდოზე მეტი აღმოჩნდება, საანალიზოდ თავიდან იღებენ წყლის ნაკლებ მოცულობას, რომელსაც 100 მლ-მდე ავსებენ ორჯერ გამოხდილი წყლით. როგორც წესი წყლის ჟანგვადობას საზღვრავენ ახლად აღებულ სინჯში, ანდა ახდენენ მის კონსერვირებას გოგირდმჟავით.

ჟანგვადობის განსაზღვრის კუბელის მეთოდი არ არის სპეციფიური. განსაზღვრას ხელს უშლის დიდი რაოდენობა ქლორიდები და ადვილად ჟანგვადი კომპონენტები (Fe^{2+} , NO_2 და H_2S) [1-3]. თუ წყალში ქლორიდიონის კონცენტრაცია აღემატება 300 მგ/ლ, სინჯს უმატებენ ვერცხლისწყლის (II) სულფატს, ანდა ჟანგვადობას საზღვრავავენ ტუტე გარემოში [12]. სხვა ხელისშემშლელი კომპონენტების გავლენის ასაცილებლად, მათ შემცველობას წინასწარ ადგენენ და ანალიზის შედეგში შეაქვთ სათანადო შესწორება, ან მათ წინასწარ ჟანგავენ ცივად 0,01 N პერმანგანატის ხსნარით. მოდელურ ხსნარებზე ჩატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ

ჟანგვადობის განსაზღვრის პერმანგანატული მეთოდებით რეკომენდებულ პირობებში გახსნილი ორგანული ნივთიერებების დაჟანგვის სისრულე არ აღემატება 60 % [12].

საანალიზო სინჯში ქლორიდების მაღალი შემცველობის შემთხვევაში (> 300 მგ/ლ) პერმანგანატულ ჟანგვადობას საზღვრავენ ტუტე გარემოში [12]. მჟავა არისაგან განსხვავებით, ტუტე არეში პერმანგანატის ჟანგვის ნორმალური პოტენციალი დაბალია (1,51 და 0,60 v შესაბამისად [3]) და ქლორიდ იონი პერმანგანატით არ იჟანგება.

ორგანული ნივთიერებებით დაბინძურებული სინჯების (ჭაობის და ჩამდინარე წყლები) უპირატესობით სარგებლობს ჟანგვადობის განსაზღვრის ბიქრომატული მეთოდი [8]. პერმანგანატული მეთოდისაგან განსხვავებით, ბიქრომატული მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში, წყალში გახსნილი ორგანული ნივთიერების 95-97 % იჟანგება. ორგანული ნაერთების პრაქტიკულად სრული დაჟანგვა განპირობებულია საანალიზო სინჯის მცირე მოცულობით (2-10 მლ) და კალიუმის ბიქრომატის მაღალი კონცენტრაციით (0,25-0,40 N).

ანალიზურ პრაქტიკაში ბიქრომატული ჟანგვადობის ფართო გამოყენებას აფერხებს ანალიზის მსვლელობის სირთულე, ხანგრძლივობა და განმეორებადი შედეგების მიღების სიძნელე.

IV ექსპერიმენტული ნაწილი

გამოყენებული აპარატურა, რეაქტივები, ხსნარები და მეთოდები.

4.1 გამოყენებული აპარატურა

კომერციულ წყაროს და მინერალურ წყლებში Cu, Zn, Mn, Pb, Na, Ka-ის განსაზღვრისათვის გამოვიყენეთ Agilent ფირმის მიკროტალღური პლაზმის ატომურ ემისიური სპექტრომეტრი. SO_4^{2-} ის კონცენტრაციის დასადგენად გაზომვები ჩავატარეთ ფოტო-ელექტრო-კოლორიმეტრზე. pH-ისა და F-ის განსაზღვრისათვის გამოვიყენეთ pH meter და ISE - იონ სელექტიური ელექტროდი.



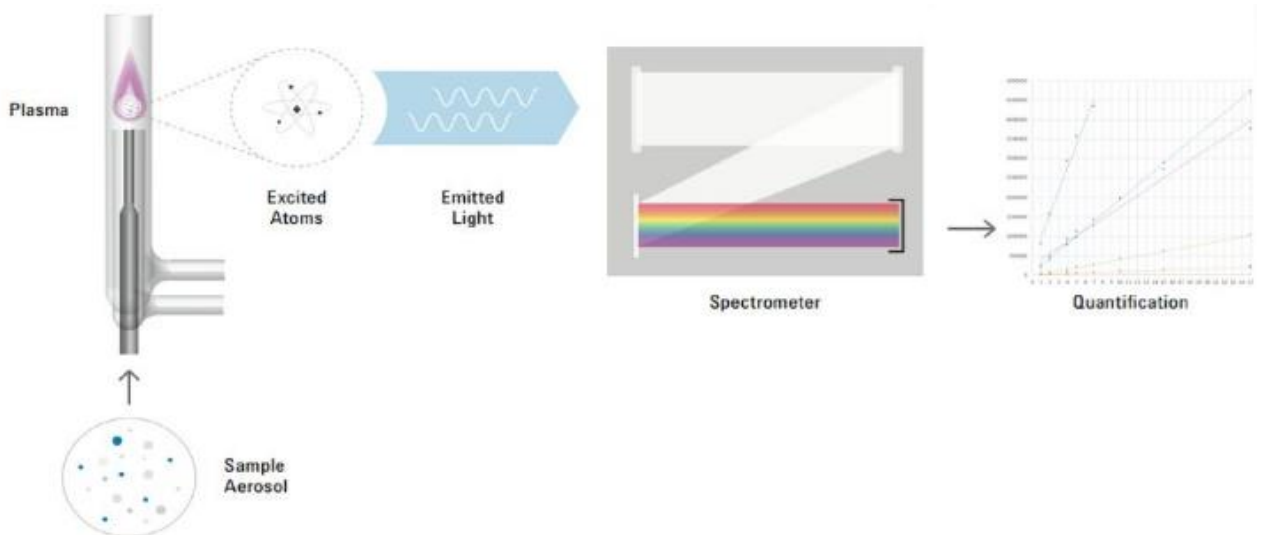
მიკროტალღური პლაზმის ატომურ ემისიური სპექტრომეტრი (MP-AES)

მიუხედავად იმისა, რომ მძიმე მეტალების განსაზღვრისას უპირატესობას ანიჭებენ ანალიზის ატომურ-აბსორბციულ მეთოდს, მიკროტალღური პლაზმის ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრი მნიშვნელოვანი უპირატესობებით გამოირჩევა მასთან შედარებით. ხელსაწყოს ენერჯის წყარო აზოტის მიკროტალღური პლაზმაა, რაც გაცილებით უფრო მომგებიანია ფინანსური თვალსაზრისით, ვიდრე არგონზე მომუშავე ინდუქციურად შეუღლებული სპექტრომეტრი. ზოგადად, ხელსაწყო ჰაერზე მუშაობს, ნაცვლად საწვავი გაზებისა. ეს დეტალი მკვეთრად ზრდის მის უსაფრთხოებას [14, 15].

MP-AES-ის ძირითადი უპირატესობები:

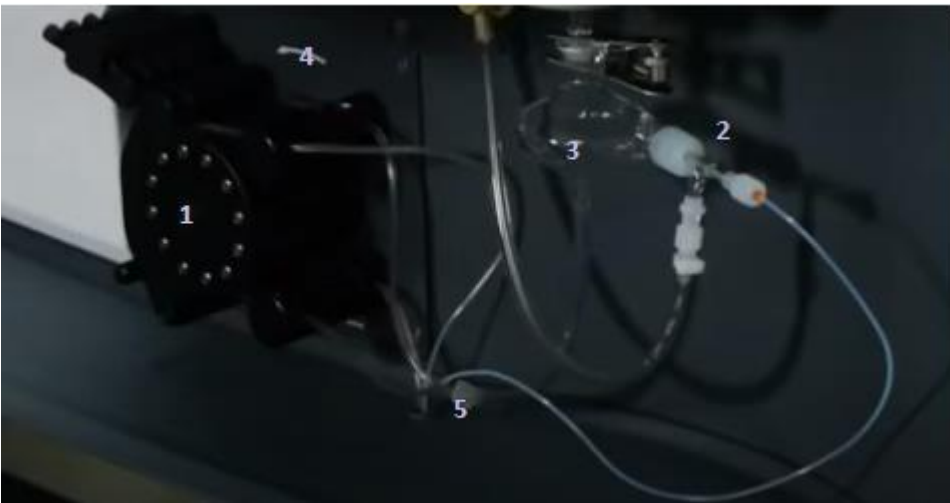
- ყოველდღიური ოპერირების ფინანსური ხელმისაწვდომობა, რაც განპირობებულია აზოტის ენერჯის წყაროთი და ღრუკათოდური/დეიტერიუმის ნათურების საჭიროების არქონით;
- წარმადობის მაღალი მაჩვენებელი - გააჩნია წრფივობის დიდი დიაპაზონი და ბევრი მეტალისათვის აღმოჩენის გაციელებით დაბალი ზღვარი ვიდრე ასს მეთოდს;
- არ იმართება მანუალურად და არ გამოიყენება აალებადი გაზები, რაც უზრუნველყოფს მეთოდის უსაფრთხოებას;
- ექსპერიმენტის ჩატარების სიმარტივე, ნიმუშის შეყვანის მარტივი სისტემითა და პროგრამით, რომელიც ავტომატური ოპტიმიზაციის შესაძლებლობას იძლევა;
- ფოსფორისა და გოგირდი განსაზღვრის შესაძლებლობა;
- მრავალი კომპონენტის ერთდროული განსაზღვრის შესაძლებლობა.

სურათ 1-ზე მოცემულია ხელსაწყოს დიაგრამა. ნივთიერება პლაზმაში მოხვედრისას ატომიზაციას განიცდის. ატომების აღზნებულ ელექტრონულ მდგომარეობაში გადასვლის გამო ემისია ხდება ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სახით, რის შედეგადაც ატომები საწყის, ნულოვან ენერგეტიკულ დონეს უბრუნდება. თითოეული საანალიზო ელემენტისათვის გამოსხივებული სინათლის სპექტრი უნიკალურია, ხოლო ამ სინათლის ინტენსივობა აღზნებულ მდგომარეობაში მყოფი ატომების რიცხვის პირდაპირპროპორციულია. ამრიგად, ელემენტის იდენტიფიკაციის საშუალებას იძლევა ემისიის ტალღის სიგრძე, ხოლო ელემენტის რაოდენობრივ განსაზღვრას განაპირობებს ემისიის ინტენსივობა.



სურათი 1: ხელსაწყოს დიაგრამა

სურათი 2-ზე ნაჩვენებია ნიმუშის შეყვანის სისტემა. აუცილებელია ნიმუში იყოს თხევად მდგომარეობაში. პერისტალტური ტუმბოს 1 საშუალებით მისი მიწოდება ხდება ნებულაიზერში 2, სადაც ის წვეთების კამერაში შხეფდება აზოტის ნაკადის საშუალებით. მცირე ზომის წვეთები პლაზმაში 3 გადაიტანება აზოტის ნაკადით, ხოლო მსხვილი წვეთები, რომელთა პლაზმაში მოხვედრაც არასასურველია, ნარჩენების სახით გამოდის 5 (კვლავ პერისტალტური ტუმბოს საშუალებით). აღსანიშნავია, რომ ნიმუშის შემყვანი და ნარჩენების გამომყვანი მილები ხელსაწყოზე არსებული ისრის 4 მიმართულებით უნდა იყოს შეერთებული, რადგან ტუმბო ხსნარს მხოლოდ ამ მიმართულებით "გადაიტანს" [17].



სურათი 2 - ნიმუშის შეყვანის სისტემა

სურათი 3-ზე ნაჩვენებია ფოტო-ელექტრო-კოლორიმეტრი, რომლის მეშვეობითაც განისაზღვრა წყლებში სულფატის შემცველობა. კოლორიმეტრია ანალიზის სწრაფი, მარტივი და ხელმისაწვდომი მეთოდი. ფოტომეტრული ფორმის შეფერვის ინტენსივობის შეფასება ხდება ვიზუალურად. ამ მიზნით გამოყენებულია სტანდარტული სერიების, კოლორიმეტრული გატიტვრის და გათანაბრების ვარიანტები [16]. სურათი 4-ზე მოცემულია ფერთა სელექცია რომელიც ხელსაწყოში არსებული მაკონტროლებლით ხორციელდება.



სურათი 3



სურათი 4



სურათი 5 pH meter



სურათი 6 ISE

4.2 გამოყენებული ხსნარები და რეაქტივები

HCO₃⁻-ის განსაზღვრა : 0.01N HCl, მეთილწითელის 1% სპირტხსნარი, მეთილნარინჯის 0.1% წყალხსნარი.

Cl⁻ -ის განსაზღვრა: განზავებული HNO₃, დიფენილკარბაზონის 1% სპირტხსნარი, Hg(NO₃)₂ 0.01N ხსნარი, NaCl-ის სტანდარტული ხსნარი.

SO₄²⁻-ის განსაზღვრა: დამლექავი რეაგენტი 5% BaCl₂, ეთილენგლიკოლი და 96% ეთანოლი 1:3:3 თანაფარდობით, K₂SO₄-ის სტანდარტული ხსნარი, განზავებული HCl.

Ca²⁺-Mg²⁺ განსაზღვრა: 0.01N კომპლექსონ III ხსნარი, ამიაკური ბუფერი, ერიოქრომშავი, 2N NaOH, მურექსიდი.

ჟანგვადობის განსაზღვრა: 0.01N KMnO₄, 1:4 H₂SO₄, 0.01N H₂C₂O₄.

მძიმე მეტალებისა და Na, Ka -ის განსაზღვრა: 1% HNO₃, 100 მგ/ლ სტანდარტები Cd, Cu, Zn, Pb, Ni, Mn-ისთვის.

მძიმე მეტალთა მულტი სტანდარტები - მზადდებოდა სამუშაო სტანდარტული ხსნარებიდან, საანალიზო ნიმუშში განსაზღვრავი კომპონენტების კონცენტრაციიდან გამომდინარე.

დეიონიზირებული ან ორჯერ გამოხდილი წყალი.

V მიღებული შედეგები და მათი განსჯა

5.1. საქართველოს კომერციული წყაროს წყლების ჰიდროქიმიური გამოკვლევა მთავარი იონების და ზოგიერთი მძიმე მეტალის შემცველობაზე

საანალიზოდ გამოყენებული საქართველოს კომერციული წყაროს (8 ნიმუში) და მინერალური წყლის (5 ნიმუში) სახელწოდებები მოცემულია 1 ცხრილში.

ცხრილი 1

საქართველოს კომერციული წყაროს და მინერალური წყლების დასახელება

სინჯი №	სახელწოდება
1	ნაკადული (კომპანია „საირმე“)
2	ბახმარო (კომპანია „წყალი მარგებელი“, სოფ.ნაბეღლავი)
3	ჯეონატურა (კომპანია „წყალი მარგებელი“, სოფ.ნაბეღლავი)
4	ჯეონატურა ბასტი - ბუბუ (კომპანია „წყალი მარგებელი“, სოფ.ნაბეღლავი)
5	ეს წყალი (სნო, კომპანია „აქვა გეო“)
6	სნო (კომპანია „აქვა გეო“)
7	ბაკურიანი (კომპანია „ბორჯომი“)
8	მთის წყალი (კომპანია „კოკა-კოლა“)
9	ბორჯომი
10	ლიკანი (კომპანია „ბორჯომი“)
11	ნაბეღლავი (კომპანია „წყალი მარგებელი“)
12	საირმე
13	კობი (კომპანია „აქვა გეო“)

საქართველოს კომერციული წყაროს წყლების ქიმიური შედგენილობა
(მთავარი იონების შემცველობა მგ/ლ)

№	pH		HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		K ⁺	
	ჩვ.	ეტვიკ.	ჩვ.	ეტვიკ.	ჩვ.	ეტვიკ.	ჩვ.	ეტვიკ.	ჩვ.	ეტვიკ.	ჩვ.	ეტვიკ.	ჩვ.	ეტვიკ.	ჩვ.	ეტვიკ.
1	7.93	-	97.6	90-160	2.84	<15	10.84	<15	26.4	15-40	5.76	<15	5.7	<15	0.07	-
2	8.01	-	103.7	42-70	2.84	0.6-8	3.84	0.8-4	14.4	7-20	5.28	2-6	18.4	<8	0.18	-
3	7.74	-	107.4	40-160	1.42	0.4-9	2.84	0.5-4.5	13.6	6-22	4.80	1.5-15	18.3	1.5-10	0.18	-
4	7.73	-	103.7	40-160	1.42	0.4-9	2.84	0.5-4.5	13.6	6-22	5.28	1.5-15	18.3	1.5-10	0.20	-
5	7.96	6.5-8.5	164.7	150-220	5.68	<15	20.84	16-25	46.4	43-65	6.24	6-10	8.5	<15	0.83	0.7-1.2
6	8.02	6.5-8.5	170.8	150-220	5.68	<15	20.84	16-25	48.0	43-65	6.72	6-10	8.5	<15	0.82	0.7-1.2
7	7.93	-	219.5	150-200	4.26	-	50.84	-	54.4	25-80	16.80	<20	21.2	-	0.94	-
8	7.86	7.1-7.9	183.0	160-210	15.62	15-24	174.2	57-109	68.0	46-69	20.16	8-22	44.6	21-32	1.59	1-2
ზღვ	6-9		-		250		250		140		85		200		-	

მეორე ცხრილში წარმოდგენილი საქართველოს კომერციული წყაროს წყლების მთავარი იონების ანალიზის შედეგებიდან ჩანს, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში ეტიკეტზე დატანილი მთავარი იონების შემცველობა არ არის თანმთხვევაში ჩვენს მიერ ჩატარებულ ანალიზის შედეგებთან. მაგალითად, „ბახმაროს“ წყალში ჰიდროკარბონატ იონის შემცველობა არ ემთხვევა ეტიკეტზე დატანილ მნიშვნელობას. ასევე შეუსაბამოა „მთის წყალში“ სულფატების რაოდენობა ეტიკეტზე არსებულ სიდიდესთან. რაც შეეხება ნატრიუმის შემცველობას ბახმაროს, ჯეონატურას, ჯეონატურა ბასტი-ბუბუს და მთის წყალში ჩვენი ჩატარებული ანალიზის შედეგები და შესაბამისი კომპანიების მიერ მოწოდებული მნიშვნელობები არათანმთხვევადია (ცხრილი 2).

საქართველოში მოქმედი დაფასოებული წყაროს წყლის ტექნიკური რეგლამენტის მიხედვით (დადგ. 58), ეტიკეტზე დატანილი მნიშვნელობები უნდა შეესაბამებოდეს პროდუქტს. ჩვენს მიერ ჩატარებული ანალიზის შედეგებით თუ ვიმსჯელებთ, ზოგიერთ შემთხვევაში გვაქვს შეუსაბამობა ეტიკეტთან, თუმცა არც ერთ შემთხვევაში ცალკეული კომპონენტების ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციაზე მაღალი მნიშვნელობები არ ფიქსირდება [10].

ჩვენს მიერ ჩატარებული მთავარი იონების ანალიზის შედეგების შემოწმების მიზნით, ჰიდროქიმიურ პრაქტიკაში დანერგილი მეთოდით, დათვლილია მთავარი ანიონების და კათიონების (მგ-ეკვ/ლ) ჯამი. შედეგები საკმაოდ თანმთხვევადია ერთმანეთთან და ცდომილება 7.6 % არ აღემატება (ცხრილი 3).

საქართველოს კომერციული წყლების ჰიდროქიმიური ანალიზის (მთავარი იონები)

შედეგების დამუშავება

სინჯი №	მგ-ეკვ/ლ									ცდომ. %	წყლის ინდექსი
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	ჯამი	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	ჯამი		
1	1.60	0.08	0.23	1.91	1.32	0.48	0.25	0.002	2.052	6.92	C _{II} ^{Ca}
2	1.70	0.08	0.08	1.86	0.72	0.26	0.8	0.005	1.785	0.83	C _I ^{Na}
3	1.76	0.04	0.06	1.86	0.68	0.24	0.8	0.005	1.725	7.26	C _I ^{Na}
4	1.70	0.04	0.06	1.8	0.68	0.26	0.8	0.005	1.745	3.05	C _I ^{Na}
5	2.70	0.16	0.59	3.45	2.32	0.52	0.37	0.021	3,231	6.35	C _{II} ^{Ca}
6	2.80	0.16	0.59	3.55	2.4	0.56	0.37	0.021	3.351	5.60	C _{II} ^{Ca}
7	3.50	0.12	1.06	4.68	2.72	1.4	0.92	0.024	5.064	7.58	C _{II} ^{Ca}
8	3.00	0.44	3.63	7.07	3.4	1.68	1.94	0.041	7.061	0.13	C _{II} ^{Ca}

გამოკვლეული კომერციული წყაროს წყლების უმეტესობა, როგორცაა საირმე, ნაკადული, სნო, ბაკურიანი და მთის წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატული კლასის, კალციუმის ტიპის, მეორე ინდექსის მქონე წყლებს, მათში საერთო სიხისტე იცვლება 1.8-5.08 მგ-ეკვ/ლ ფარგლებში. მხოლოდ კომპანია „წყალი მარგებელის“ მიერ ჩამოსხმული წყლები: ბახმარო, ჯეონატურა და ჯეონატურა ბასტი-ბუბუ არის ჰიდროკარბონატული კლასის ნატრიუმისა და კალციუმის წყლები (ცხრილი 3).

სასმელ წყლებში მთავარი იონების პარალელურად ტარდებოდა წყალში გახსნილი ორგანული ნივთიერებების პერმანგანატული ინდექსის (წყლის ჟანგვადობა) დადგენა. საქართველოში მოქმედი ნორმატივებით სასმელ წყალში პერმანგანატული ინდექსი არ უნდა აღემატებოდეს 3 მგO₂/ლ [9, 10].

პერმანგანატული ინდექსის მიხედვით შესაძლებელია შევავასოთ წყალში გახსნილი ორგანული ნივთიერებების ჯამური შემცველობა. მეთოდი გამოყენებულია წყალმომარაგებასა და გარემოს კონტროლის სფეროში.

ჩვენს მიერ ჩატარებული ანალიზის შედეგებიდან ჩანს (ცხრილი 4), რომ აღნიშნულ წყლებში ორგანული ნივთიერებების შემცველობა არ აღემატება სასმელი წყლებისთვის ნორმატიულ დოკუმენტში (დადგ. 719) მოცემულ ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციას 3 მგO₂/ლ-ს [9, 10].

ცხრილი 4

საქართველოს კომერციულ სასმელ წყლებში ჟანგვადობა (მგO₂/ლ)

სინჯი №	ჟანგვადობა
1	1.28
2	0.96
3	0.96
4	1.04
5	1.28
6	1.28
7	1.60
8	1.20

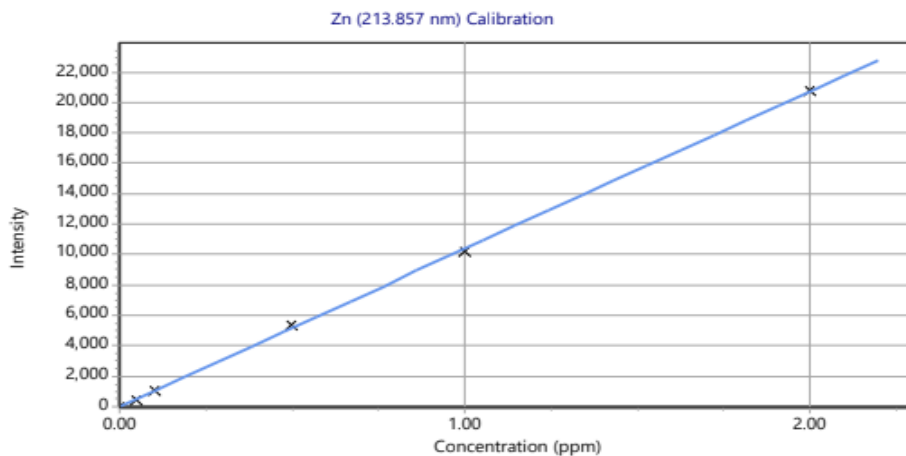
მძიმე მეტალთა შემცველობა საქართველოს კომერციულ წყაროს წყლის ეტიკეტებზე არ არის დატანილი. აღნიშნულ წყლებში მძიმე მეტალთა (Cu, Zn, Mn, Pb) კონცენტრაცია დავადგინეთ მიკროტალღური პლაზმის ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრის საშუალებით. შედეგები მოცემულია მეხუთე ცხრილში. საიდანაც ჩანს, რომ მძიმე მეტალთა შემცველობა არც ერთ შემთხვევაში არ აღემატება წყაროს წყლის ტექნიკური რეგლამენტით - დადგენილება 719, მოწოდებულ მნიშვნელობებს (ცხრილი 5) [9].

ცხრილი 5

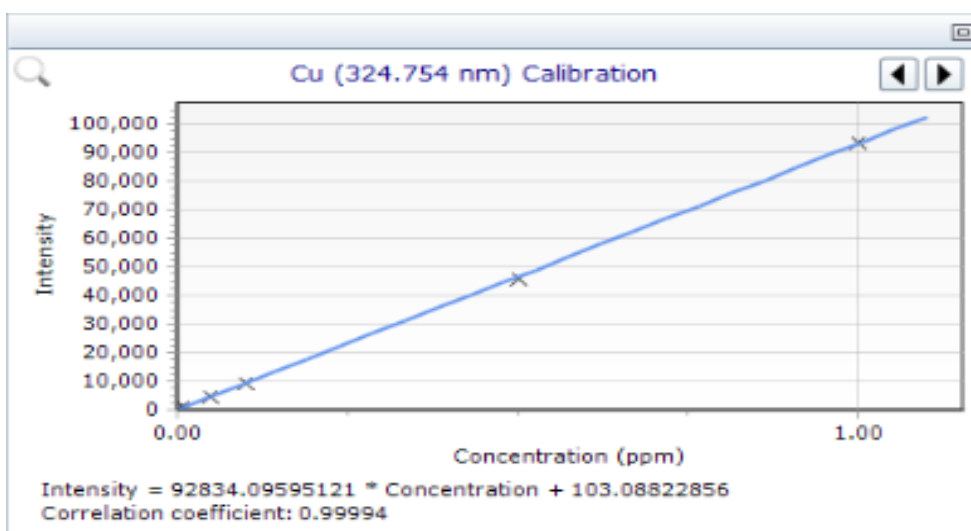
საქართველოს კომერციულ წყაროს წყლებში ზოგიერთი მძიმე მეტალის განსაზღვრის შედეგები (მგ/ლ) მიკროტალღური პლაზმის ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრის გამოყენებით

სინჯი №	დასახელება	მგ/ლ			
		Cu	Zn	Pb	Mn
1	ნაკადული	0.006	0.008	0.007	0.003
2	ბახმარო	0.008	0.011	0.006	0.003
3	ჯეონატურა	0.008	0.008	0.005	0.005
4	ჯეონატურა ბასტი-ბუბუ	0.008	0.007	0.005	0.002
5	ეს წყალი	0.010	0.013	0.003	0.001
6	სნო	0.010	0.009	0.003	0.001
7	ბაკურიანი	0.009	0.007	0.003	0.001
8	მთის წყალი	0.009	0.015	0.006	0.001
ზღვ		1	3	0.01	0.5

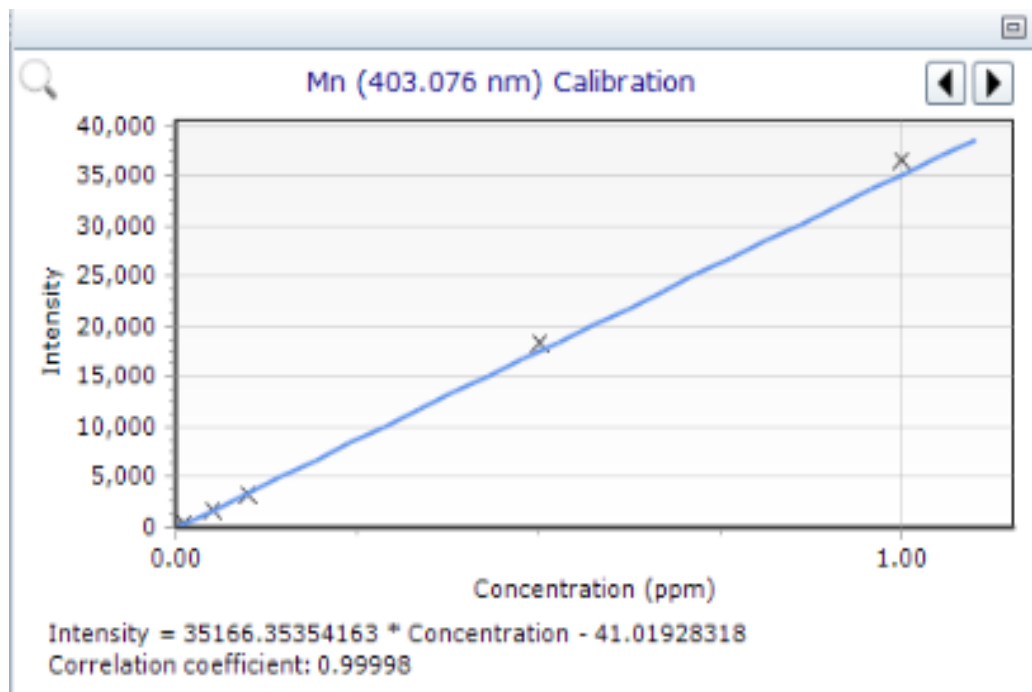
თითოეული მეტალის შესაბამისი საკალიბრო გრაფიკი მოცემულია ქვემოთ წარმოდგენილ ნახაზებზე.



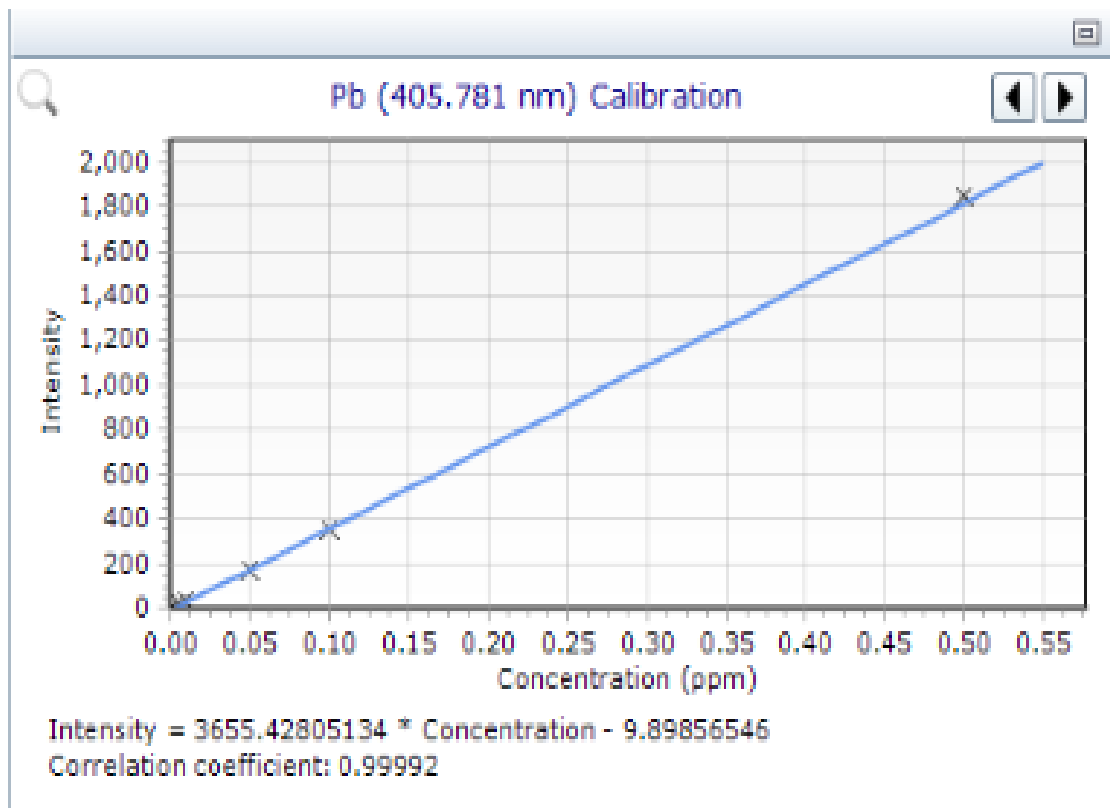
ნახ. 1. თუთიის საკალიბრო გრაფიკი



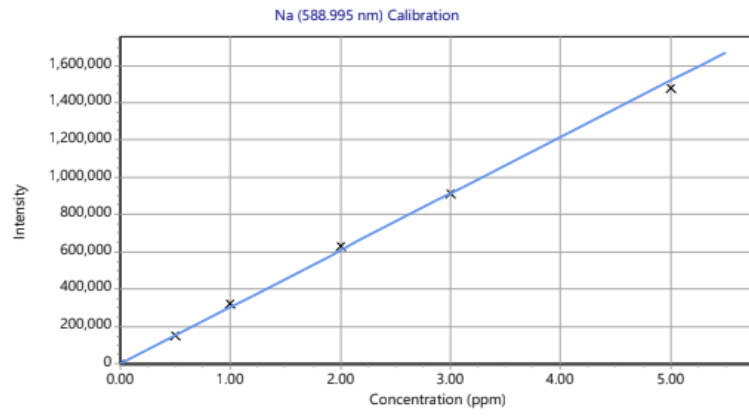
ნახ. 2. სპილენძის საკალიბრო გრაფიკი



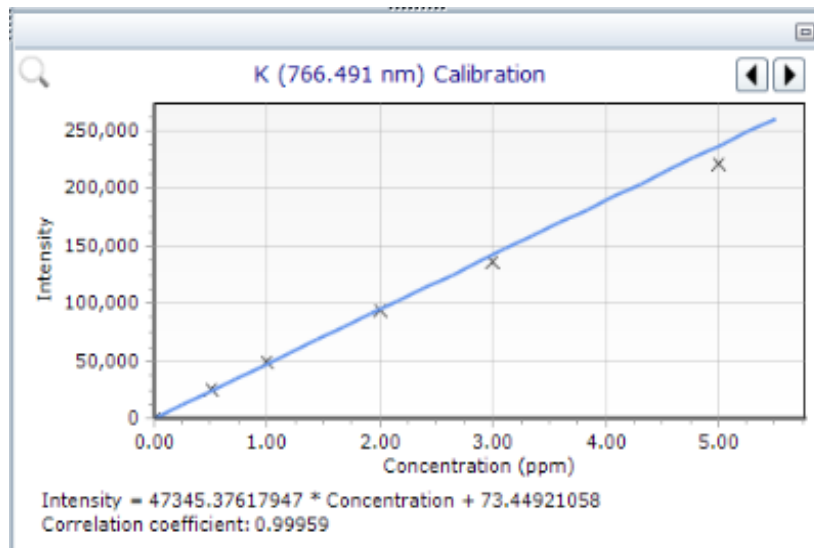
ნახ. 3. მანგანუმის საკალიბრო გრაფიკი



ნახ. 4. ტყვიის საკალიბრო გრაფიკი



ნახ. 5 ნატრიუმის საკალიბრო გრაფიკი



ნახ. 6. კალიუმის საკალიბრო გრაფიკი

**5.2. საქართველოს კომერციული მინერალური წყლების ჰიდროქიმიური გამოკვლევა
მთავარი იონების და ზოგიერთი მძიმე მეტალის შემცველობაზე**

მინერალური წყლების თავისებურებებიდან გამომდინარე საქართველოს კომერციული მინერალური წყლების ცალკეული კომპანია თვითონ ადგენს სტანდარტს თავიანთი ჩამოსხმული წყლებისთვის. ჩვენს მიერ მიღებული შედეგები - ჰიდროქიმიური გამოკვლევა მთავარი იონების შედგენილობაზე ემთხვევა კომპანიების მიერ სტანდარტით დადგენილ მონაცემებს (ცხრილი 6).

ცხრილი 6

**საქართველოს კომერციული მინერალური წყლების ქიმიური შედგენილობა
(მთავარი იონების შემცველობა მგ/ლ)**

№	pH		HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		K ⁺	
	ჩვ.	ეტ.	ჩვ.	ეტკ.	ჩვ.	ეტკ.	ჩვ.	ეტკ.	ჩვ.	ეტკ.	ჩვ.	ეტკ.	ჩვ.	ეტკ.	ჩვ.	ეტკ.
9	6.83	-	3806	3500- 5000	317	-	6.84	-	80	20- 150	38	20- 150	1478	1000- 2000	33.1	-
10	6.94	-	3782	3000- 4500	241	-	0.84	-	72	40- 100	62	30-80	1381	1000- 1700	35.5	-
11	7.22	-	2464	2174- 3263	41	41-63	112. 1	88- 132	48	46-70	58	52-79	843	667- 1001	18.7 5	-
12	7.05	-	2513	2000- 3000	281	220- 360	110. 8	50- 115	21 6	150- 270	91	80- 130	759	550- 930	8.06	-
13	6.63	-	781	700- 1050	116	110- 175	13.8 4	<25	13 6	120- 190	34	<50	155	140- 220	4.27	<50

ცხრილი 7

**საქართველოს კომერციულ მინერალურ წყლებში ზოგიერთი მძიმე მეტალის განსაზღვრის
შედეგები (მგ/ლ) მიკროტალღური პლასმის ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრის გამოყენებით**

სინჯი №	დასახელება	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Mn
9	ბორჯომი	0.000	0.036	0.004	0.027	0.006	0.020
10	ლიკანი	0.000	0.037	0.002	0.022	0.005	0.032
11	ნაბეღლავი	0.001	0.046	-	0.031	0.006	0.066
12	საირმე	0.000	0.049	-	0.01	0.012	0.053
13	კობი	0.002	0.046	-	0.025	0.003	0.077
ზღვ		0.003	0.01	3	1	0.02	0.5

5.3. ტყვიის განსაზღვრა კომერციულ მინერალურ წყლებში MP-AES-ის მეშვეობით.

ლიტერატურული მიმოხილვა, პრობლემატური შედეგების კვლევა და სავარაუდო მიზეზთა ძიება

როგორც მეშვიდე ცხრილიდან ჩანს, MP-AES-ით გაზომილი ტყვიის კონცენტრაცია მინერალურ წყლებში დასაშვებ ზედა ზღვარს მკვეთრად აღემატება. შედეგების გადასამოწმებლად პარალელური განსაზღვრები ჩატარდა ICP-MS და AAS-ზე (ცხრილი 8). ასევე, აღნიშნული პრობლემის გადასაჭრელად ჩატარდა ანალიზი მრავალი საკალიბრო ვარიაციით. ჩვენ ექსპერიმენტი გავიმეორეთ არა მხოლოდ დანამატის მეთოდით, არამედ ნიმუშები გავზომეთ ხელსაწყოს კატალოგით ტყვიისათვის განპირობებულ ტალღის სიგრძის ყველა მაჩვენებელზე. ამით უზრუნველვყავით იმ მოსაზრების უსაფუძვლობა, რომელიც ტყვიის გაზრდილ კონცენტრაციას უკავშირებდა სხვა მძიმე მეტალების ინტერფერენციას. ქვემოთ მოყვანილ ცხრილებში (9, 10) შეჯამებულია ამ ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული მნიშვნელობები.

ცხრილი 8

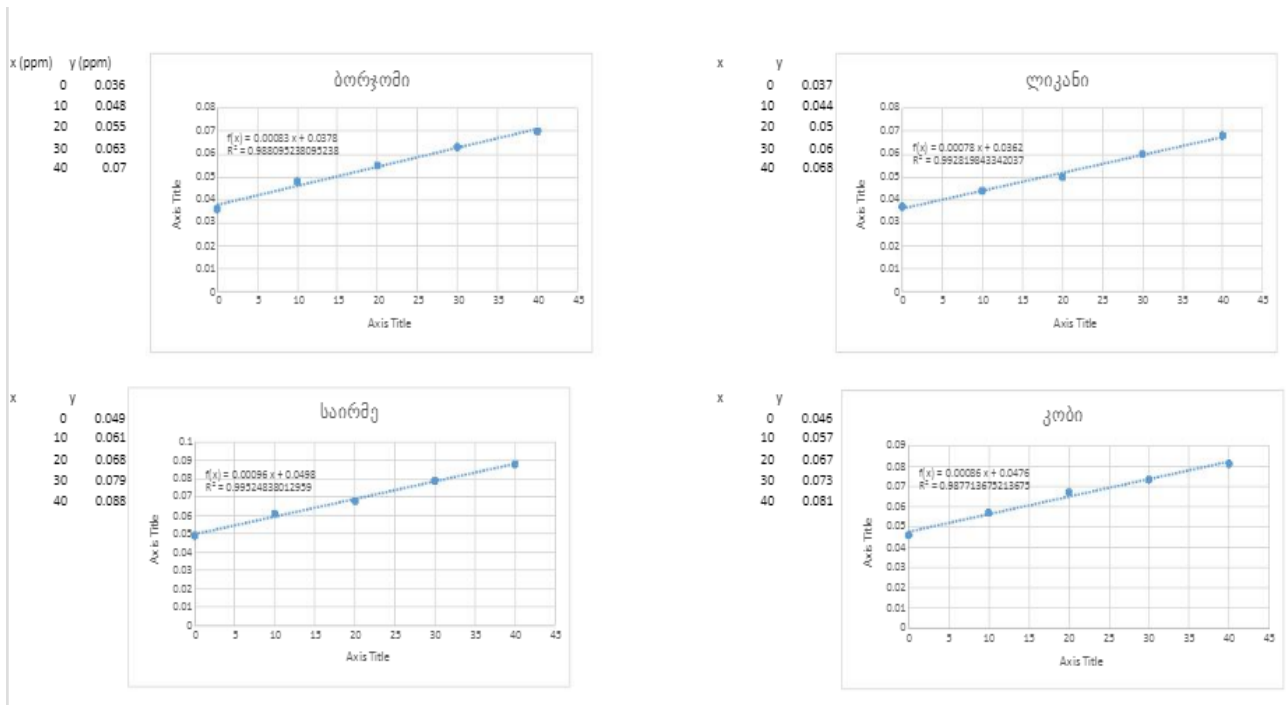
სამი ხელსაწყოს (ICP-MS, AAS, MP-AES) მიერ განსაზღვრული ტყვიის შედეგები (მგ/ლ) კომერციულ-მინერალურ წყლებში

№	დასახელება	ICP-MS		AAS	MP-AES
		აირის გარეშე	He-ით		
9	ბორჯომი	$0.263 \cdot 10^{-3}$	$0.270 \cdot 10^{-3}$	0.008	0.036
10	ლიკანი	$0.094 \cdot 10^{-3}$	$0.071 \cdot 10^{-3}$	0.008	0.037
11	ნაბეღლავი	$0.062 \cdot 10^{-3}$	$0.062 \cdot 10^{-3}$	0.006	0.046
12	საირმე	$0.014 \cdot 10^{-3}$	$0.012 \cdot 10^{-3}$	0.007	0.049
13	კობი	$0.086 \cdot 10^{-3}$	$0.085 \cdot 10^{-3}$	<0.005	0.046

ცხრილი 9

დანამატის მეთოდით მიღებული ტყვიის განსაზღვრის შედეგები (მგ/ლ)

ნიმუში	დანამატის გარეშე	+10 ppm Pb სტანდარტი	+20 ppm Pb სტანდარტი	+30 ppm Pb სტანდარტი	+40 ppm Pb სტანდარტი
ლიკანი	0.037	0.044	0.050	0.060	0.069
კობი	0.046	0.056	0.065	0.072	0.079
ბორჯომი	0.036	0.048	0.055	0.063	0.070
საირმე	0.049	0.061	0.068	0.079	0.088



ნახ. 7. კომერციულ მინერალურ წყლებში ტყვიის განსაზღვრა დანამატის მეთოდით

ცხრილი 10

კომერციულ მინერალურ წყლებში სხვადასხვა ტალღის სიგრძეზე გაზომილი ტყვიის შედეგები (მგ/ლ)

ნიმუში	λ ნმ					
	405	368	217	261	283	363
ბორჯომი	0.036	-0.183u	0.06	-0.28u	-0.131u	0.059
ლიკანი	0.037	-0.185u	0.13	-0.313u	-0.123u	0.058
ნაბეღლავი	0.046	-0.189u	0.22	-0.246u	-0.083u	0.047
საირმე	0.049	-0.2u	0.25	-0.206u	-0.1u	0.037
კობი	0.046	-0.115u	0.31	-0.102u	-0.053u	-0.007

ვისკონსინის უნივერსიტეტში 2018 წელს ჩატარებული კვლევით, რომელიც ეხებოდა სასმელ წყლებში ტყვიის აღმოჩენის ზღვარსა და მის გავლენას მიკროტალღური პლაზმის ატომურ-ემისიურ სპექტრომეტრზე, განისაზღვრა LOD მნიშვნელობები ტალღის სიგრძის ორ მაჩვენებელზე, 405 ნმ-სა და 368 ნმ-ზე. სასმელი წყლების ნიმუშებში ტყვია იმდენად მცირე რაოდენობით იყო, რომ აღმოჩენა ფაქტობრივად ვერ მოხერხდა. 11 ცხრილში მოცემულია აღმოჩენის ზღვრის მაჩვენებლები. ტყვიის დეტექტირება არცერთ ნიმუშში არ მოხდა [15].

ცხრილი 11. LOD 368 ნმ და 405 ნმ-ებზე [15]

MP-AES		
Sample	368nm LOD (ppm)	405nm LOD (ppm)
01	<0.37	<0.35
02	<0.26	<0.19
03	<0.07	<0.06
04	<0.13	<0.08
05	<0.13	<0.08
06	<0.13	<0.08
07	<0.13	<0.08
08	<0.13	<0.08
09	<0.13	<0.08
10	<0.13	<0.08
11	<0.10	<0.10
12	<0.08	<0.06

აღნიშნული კვლევით ასევე დადგინდა, რომ სასმელ წყლებში ტყვიის აღმოჩენის ზღვარზე უდიდესი გავლენა აქვს ნაკადის სიჩქარეს. ნაკადის სიჩქარის გაზრდილმა მნიშვნელობამ გამოიწვია გაზრდილი მნიშვნელობების დაფიქსირება, ისევე როგორც აღმოჩენის ზღვარის შემცირება.

ცხრილი 12. ხელსაწყოს პარამეტრების სხვადასხვა მანიპულაციები [15]

Experiment	368nm Wavelength LOD (ppm)	405nm Wavelength LOD (ppm)	Internal Standard (1.5 ppm)
Baseline	0.1132	0.076	1.57
Read Time (Increased)	0.0947	0.088	1.58
Read Time (Decreased)	0.1053	0.084	1.58
Flow Rate (Increased)	0.0743	0.062	1.47
Flow Rate (Decreased)	0.0864	0.061	1.58
Average	0.0948	0.073	1.55

5.4 ჰიდროკარბონატ იონის გავლენა ტყვიის განსაზღვრის შედეგზე

ჩვენს მიერ გამოკვლეულ მინერალიზებულ წყლებში (ცხრილი 6) ანიონებიდან ყველაზე მაღალი შემცველობით გამოირჩევა ჰიდროკარბონატები. კერძოდ, ჰიდროკარბონატის მინიმალური რაოდენობა დაფიქსირდა კობის წყალში - 781 მგ/ლ-ია, ხოლო მაქსიმალური რაოდენობა ბორჯომის წყალში - 3806 მგ/ლ. ტყვიის განსაზღვრის შედეგზე ჰიდროკარბონატის გავლენის შესასწავლად თავდაპირველად დეიონიზირებულ წყალს დავამატეთ 1N NaHCO₃ მზარდი რაოდენობა და გაზომვები ჩავატარეთ ტყვიის საკალიბროზე. ხსნარები მოვამზადეთ 10 მლ საზომ კოლბებში (DI+1N NaHCO₃). მე-13 ცხრილიდან ჩანს, რომ ჰიდროკარბონატის შემცველობა გავლენას ახდენს ტყვიის განსაზღვრის შედეგზე, კერძოდ, საანალიზო ხსნარში 0-3 გ/ლ-მდე HCO₃⁻ არსებობისას ტყვიის შემცველობა იზრდება, ჰიდროკარბონატის კონცენტრაციის შემდგომი გაზრდით კი კლებულობს.

ცხრილი 13

ჰიდროკარბონატის რაოდენობის გავლენა ტყვიის განსაზღვრის შედეგზე

(DI+1N NaHCO₃, λ=405 ნმ)

№	1N NaHCO ₃ მლ	HCO ₃ ⁻	DI მლ	Pb მგ/ლ
	მლ	გ/ლ		
1	0	0	10	0
2	0.01	0.061	9.99	0.0029
3	0.02	0.122	9.98	0.0058
4	0.05	0.305	9.95	0.0066
5	0.1	0.61	9.9	0.0086
6	0.5	3.05	9.5	0.0247
7	1.0	6.1	9.0	0.0212
8	2.0	12.2	8.0	0.0133

ამ ექსპერიმენტის შემდეგ 100 მლ კოლბებში მოთავსებულ თანაბარი რაოდენობა ტყვიის სტანდარტულ ხსნარს (0.005 და 0.01 მკგ/მლ) ვამატებდით მზარდ რაოდენობა HCO₃⁻. საანალიზო

ხსნარში ჰიდროკარბონატის რაოდენობის გაზრდით 0-1.22 გ/ლ-მდე ტყვიის განსაზღვრის შედეგები ჯერ მატულობს და შემდეგ კი იკლებს (ცხრილი 14).

ცხრილი 14

ჰიდროკარბონატის რაოდენობის გავლენა ტყვიის განსაზღვრის შედეგზე
(Pb სტანდარტული ხსნარი+1N NaHCO₃, λ=405 ნმ)

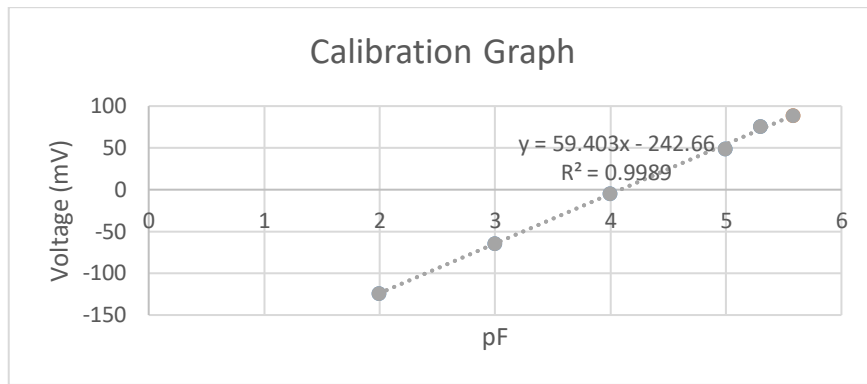
№	1N NaHCO ₃ მლ	HCO ₃ ⁻ გ/ლ	Pb მკგ/მლ	
			შეტანილი	მიღებული
1	0	0	0.005	0.005
2	1	0.61	0.005	0.0798
3	2	1.22	0.005	0.1105
4	3	1.83	0.005	0.1035
5	4	2.44	0.005	0.0877
6	0	0	0.01	0.01
7	1	0.61	0.01	0.180
8	2	1.22	0.01	0.189
9	3	1.83	0.01	0.150
10	4	2.44	0.01	0.106

5.5. ფტორი საქართველოს კომერციულ წყაროს და მინერალურ წყლებში

ცხრილი 13

საქართველოს კომერციულ წყაროს და მინერალურ წყლებში F⁻ განსაზღვრა
იონსელექტიური ელექტროდის გამოყენებით

სინჯი №	F ⁻ მგ/ლ		სინჯი №	F ⁻ მგ/ლ	
	ჩვენი მიღებული	ეტიკეტზე		ჩვენი მიღებული	ეტიკეტზე
1	0.07	-	8	0.23	<0.4
2	0.11	<0.4	9	8.17	<10
3	0.12	<0.4	10	9.08	<10
4	0.10	<0.4	11	0.44	≤0.44
5	0.20	არ შეიცავს	12	0.33	-
6	0.18	არ შეიცავს	13	0.35	<1
7	0.17	არ შეიცავს			



ნახ. 8. ფტორის განსაზღვრის საკალიბრო გრაფიკი

საქართველოს კომერციულ წყაროს წყლებში ფტორის შემცველობა ჩვენს მიერ მიღებული შედეგებით 0.07-0.23 მგ/ლ ფარგლებში იცვლება და არ აღემატება საქართველოს ტექნიკურ რეგლამენტში მოცემულ სიდიდეს (5 მგ/ლ) (ცხრილი 12) [9, 13].

საქართველოს კომერციული დაფასოებული მინერალური წყლებიდან ფტორის შედარებით მაღალი მნიშვნელობით გამოირჩევა ბორჯომის (8.17 მგ/ლ) და ლიკანის (9.08 მგ/ლ) მინერალური წყლები. თუმცა არც ეს მნიშვნელობები აჭარბებს ტექნიკური რეგლამენტით გათვალისწინებულ სიდიდეს, ვინაიდან გაზირებული (კარბონიზებული) ნატურალური მინერალური წყლებისათვის, რომელთა საერთო მინერალიზაცია აღემატება 1500 მგ/ლ-ს, ფტორიდების (F) დასაშვები მაქსიმალური კონცენტრაცია შედგენს 10.0 მგ/ლ-ს [9, 13].

ნატურალური მინერალური წყლების ეტიკეტზე აუცილებელია ფტორიდების შემცველობის მითითება. თუ ნატურალურ მინერალურ წყლებში ფტორიდების შემცველობა აღემატება 1,5 მგ/ლ-ს, ეტიკეტირებისას უნდა მიეთითოს: „შეიცავს 1,5 მგ/ლ-ზე მეტ ფტორიდებს და არ არის რეკომენდებული მისი ხანგრძლივად მოხმარება 7 წლამდე ასაკის ბავშვებისათვის“ [13].

VI დასკვნები

- საქართველოში წარმოებული კომერციული წყაროს და მინერალურ წყლებში ძირითადი იონების კვლევის ფარგლებში, ცალკეული გამონაკლისების გარდა, ჩვენ მიერ მიღებული შედეგები შესაბამისობაშია ეტიკეტზე მითითებულ მნიშვნელობებთან. თუმცა, არათანმხვევადი შედეგებიდან არცერთი არ აღემატება ზღვრული დასაშვები კონცენტრაციის 58-ე დადგენილებით გათვალისწინებულ ლიმიტებს.
- გამოკვლეული წყლებიდან ჰიდროკარბონატული ტიპის, კალციუმის, მეორე ინდექსის მქონე წყლებს მიეკუთვნება: საირმე, ნაკადული, სნო, ბაკურიანი და მთლის წყალი. ბახმარო, ჯეონატურა და ჯეონატურა „ბასტი-ბუბუ“ ჰიდროკარბონატული ტიპის ნატრიუმიანი წყლებია.
- კომერციულ წყლებში ფტორის შემცველობა, რომელიც ჩვენ მიერ ჩატარებული განსაზღვრით 0.07-0.23 მგ/ლ ფარგლებშია, არ აღემატება საქართველოს ტექნიკურ რეგლამენტში მოცემულ სიდიდეს - 5 მგ/ლ.
- საანალიზო წყლებში ორგანული ნივთიერებების შემცველობა ნორმატიული დოკუმენტით გათვალისწინებულ ფარგლებს არ ცდება (3 მგO₂/ლ).
- მძიმე მეტალების (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Mn) განსაზღვრით მიღებული შედეგებიდან არცერთი არ აღემატება 719-ე დადგენილებით გათვალისწინებულ მნიშვნელობებს.
- კომერციულ წყაროს და მინერალურ წყლებში ტყვიის განსაზღვრის პრობლემატურობა სხვადასხვა მიზეზით შეიძლება იყოს ახსნილი. შესაბამისი ლიტერატურის კვლევისას ნათლად გამოჩნდა, რომ MP-AES-ის ხელსაწყოთა სრული ოპტიმიზაცია ტყვიის ეფექტური განსაზღვრისათვის პროგრესირებად მდგომარეობაშია [18, 19].

VII გამოყენებული ლიტერატურა

1. Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л., Гидрометиздат, 1973.
2. Резиков А. А. Методы анализа природных вод. М., Недра, 1970.
3. Лурье Ю. Ю. (Ред.) Унифицированные методы анализа вод. Химия, 1983.
4. Фомин Г.С. Фомин А.Г. Вода. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. М., 2004.
5. სუპატაშვილი გ. გარემოს ქიმია (ეკოქიმია), თსუ, 2009.
6. სუპატაშვილი გ. რაოდენობითი ანალიზი. თსუ 2011.
7. სუპატაშვილი გ. რაოდენობითი ანალიზის პრაქტიკუმი. თბილისი 2018.
8. Супаташвили Г.Д. Гидрохимия Грузии. ТБ. ТГУ. 2003
9. საქართველოს მთავრობის დადგენილება №719 - დაფასობული ნატურალური მინერალური წყლისა და წყაროს წყლის ტექნიკური რეგლამენტის დამტკიცების შესახებ.
10. საქართველოს მთავრობის დადგენილება №58 - სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტის დამტკიცების შესახებ.
11. Microwave plasma atomic emission spectroscopy (MP-AES), January 2021. Agilent.
12. ГОСТР 55684-2013. Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости.
13. სსტ 85:2019 საქართველოს სტანდარტი. წყლები ნატურალური მინერალური. საერთო ტექნიკური პირობები.
14. Balaram, V. (2020). Microwave plasma atomic emission spectrometry (MP-AES) and its applications—A critical review. *Microchemical Journal*, 159, 105483.
15. Smirnova, S. V., Samarina, T. O., Ilin, D. V., & Pletnev, I. V. (2018). Multielement determination of trace heavy metals in water by microwave-induced plasma atomic emission spectrometry after extraction in unconventional single-salt aqueous biphasic system. *Analytical Chemistry*, 90(10), 6323-6331.
16. Boltz, D. F. (1958). Colorimetric determination of nonmetals.
17. Masters, S., & Edwards, M. (2015). Increased lead in water associated with iron corrosion. *Environmental Engineering Science*, 32(5), 361-369.
18. Triantafyllidou, S., & Edwards, M. (2012). Lead (Pb) in tap water and in blood: implications for lead exposure in the United States. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(13), 1297-1352.
19. Berg, I. (2015). Validation of MP-AES at the Quantification of Trace Metals in Heavy Matrices with Comparison of Performance to ICP-MS.