



ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის  
სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ნინო მერებაშვილი

ბორის კომპლექსური ნაერთების გამოყენება მისი  
განსაზღვრისათვის ბუნებრივ ობიექტებში

ფიზიკური და ანალიზური ქიმია

სამაგისტრო ნაშრომი შესრულებულია ქიმიის მაგისტრის  
აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელები: ქიმიის დოქტორი ნელი თელია  
ქიმიის დოქტორი ნანა მგალობლიშვილი

თბილისი

2019

# სარჩევი

ანოტაცია.....	3
ANNOTATION.....	4
შესავალი .....	5
თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა .....	7
1.1 ბორის გავრცელება ბუნებაში, მისი გამოყენება და ბიოლოგიური როლი .....	7
1.2. ბორის დაცილების მეთოდები.....	9
1.2.1. დისტილაციური მეთოდი .....	9
1.2.2. ექსტრაქციული მეთოდები.....	10
1.2.3. ქრომატოგრაფიული მეთოდები.....	11
1.2.4. ბორის დაცილება ხელისშემშლელი კატიონებისაგან დალექვის რეაქციით.....	12
1.3. ბორის განსაზღვრის მეთოდები .....	13
1.3.1. წონითი მეთოდები.....	13
1.3.2. ტიტრიმეტრული მეთოდები .....	14
1.3.3. სპექტროსკოპული მეთოდები .....	17
1.3.4. ფლუორომეტრული მეთოდები.....	19
1.3.5 ელექტროქიმიური მეთოდები .....	19
თავი II. ექსპერიმენტული ნაწილი .....	21
2.1. სამუშაო ხსნარები, რეაგენტები და გამოყენებული აპარატურა .....	21
2.2. ბორის განსაზღვრის ტიტრიმეტრული მეთოდი.....	22
2.3. მეთოდის სისწორე და განმეორებადობა.....	24
2.4. ბორის განსაზღვრა სასმელ წყლებში .....	29
დასკვნა.....	32
გამოყენებული ლიტერატურა.....	34

## ანოტაცია

### ბორის კომპლექსური ნაერთების გამოყენება მისი განსაზღვრისათვის ბუნებრივ ობიექტებში

მოდიფიცირებულია სასმელ წყლებში ბორის განსაზღვრის კლასიკური-ტიტრიმეტრული მეთოდი. დადგენილია ბორის განსაზღვრის ოპტიმალური პირობები. ხელისშემშლელი კატიონების მოსაცილებლად პირველად გამოყენებული ჰიდროლიზური დალექვის მეთოდი. დაცილებისა და ტიტრიმეტრული მეთოდების კომბინირებული ვარიანტით ბორი განსაზღვრულია სასმელ წყლებში. მეთოდის სისწორე და განმეორებადობა შემოწმებულია „აღებულია-მიღებულია“ მეთოდით და ბორის განსაზღვრის შედეგები შედარებულია სტანდარტული-ფლუორომეტრული მეთოდით მიღებულ შედეგებთან. მიღებულია დამაკმაყოფილებელი შედეგები.

## **ANNOTATION**

The use of boron complex compounds in the natural objects for its  
determination

A classic-titrimetric method of boron determination is modified in drinking waters. The optimal conditions of boron determination determined. Hydrolysis sedimentation method is used to remove hamstring cations. Boron in drinking waters is defined by the combined version of removal and titrimetric methods. The correctness and recurrence of the method is tested by „taken-received” method and the results of boron determination are compared to the results obtained by standard-fluorometric method. The satisfactory results are obtained.

## შესავალი

ბუნებრივი წყლის თვისებები და ხარისხი განსაზღვრავს მისი გამოყენების შესაძლებლობას სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში. ამიტომ აუცილებელია ბუნებრივი წყლის ქიმიური და ბაქტერიოლოგიური შედგენილობის კვლევა. მინერალური წყლებისთვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მიკროელემენტების რაოდენობის დადგენა, რადგან ისინი წყლის სპეციფიკურ თვისებებს განაპირობებენ. ასეთ ელემენტთა რიცხვს მიეკუთვნება ბორი. [1]

ბორი პირობითად მიეკუთვნება ესენციალურ მიკროელემენტს. იგი ამ რაოდენობით მუდმივად ადამიანის ორგანიზმში. მისი ბიოლოგიური როლი სრულყოფილად არ არის შესწავლილი, მაგრამ დადგენილია, რომ იგი მონაწილეობას იღებს კალციუმის, მაგნიუმის და ფოსფორის მეტაბოლიზმის პროცესებში და აუცილებელია ორგანიზმის ძვლოვანი ქსოვილების ნორმალური მდგომარეობის შესანარჩუნებლად.

ბორის ნაერთები არ მიეკუთვნება ტოქსიკურ ნივთიერებათა რიცხვს, მაგრამ მისი შემცველობა სასმელ წყლებში ლიმიტირებულია და იგი 0.3 მგ/ლ-ია.

ბორის განსაზღვრის მრავალი მეთოდი არსებობს, მაგრამ ანალიზური ქიმიისათვის დღესაც აქტუალურია, როგორც ახალი მეთოდის შემუშავება, ასევე ცნობილი მეთოდების მოდიფიცირება მათი პრაქტიკაში გამოყენების მიზნით. ბორის განსაზღვრისთვის მოწოდებულია : გრავიმეტრული, ტიტრიმეტრული, ფოტომეტრული, ექსტრაქციულ-ფოტომეტრული, ელექტროქიმიური, ფლუორომეტრული და სხვა მეთოდები. [1.2.3]

წინამდებარე ნაშრომის მიზანს შეადგენდა ბორის განსაზღვრის ტიტრიმეტრული მეთოდის მოდიფიცირება მისი ანალიზური მახასიათებლების გაუმჯობესების მიზნით და მისი გამოყენება სასმელ წყლებში ბორის განსაზღვრისათვის.

ბორის მჟავას პირდაპირი გატიტრება ტუტით შეუძლებელია, რადგან იგი მიეკუთვნება სუსტ მჟავათა რიცხვს ( $pK_1=9.15$ ,  $pK_2=12.74$ ,  $pK_3=13.18$ ). ბორის მჟავა მრავალატომიან სპირტებთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნის ძლიერ კომპლექსურ მჟავებს, რომელიც იტიტრება ტუტით. [4.5]

კომპლექსწარმომქმნელებად ვიყენებდით: მანიტს და გლიცერინს. თანმხლები, ხელისშემშლელი კატიონების გავლენას ვიცილებდით ჰიდროლიზური გამოყოფის მეთოდით, დამლექავად ვიყენებდით კალციუმის კარბონატს. სისწორე და

განმეორებადობა შემოწმებული იქნა „აღებულია-მიღებულია“ მეთოდით და ბორის განსაზღვრის შედეგები სასმელ წყლებში შედარებულია სტანდარტული (ГОСТ-51210-98) ფლორესცენტრული მეთოდით მიღებულ შედეგებთან. მიღებულია დამაკმაყოფილებელი შედეგები.

# თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა

## 1.1. ბორის გავრცელება ბუნებაში, მისი გამოყენება და ბიოლოგიური როლი

ბორი ფართოდ გავრცელებული ელემენტია. დედამიწის ქერქში ბორის შემცველობა  $1.2 \cdot 10^{-3} \%$ -ია. ბუნებაში ბორი თავისუფალი სახით არ არის, იგი გავრცელებულია ბორის მჟავას ხსნადი და უხსნადი მარილების: ბორატების, პოლიბორის მჟავას და მისი მარილების-პოლიბორატების სახით. ბორი ბუნებაში გვხვდება სილიკატებისა და ალუმოსილიკატების: დოლომიტი- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ , დანბერიტი- $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ , ტურმალინი- $\text{H}_3(\text{BOH})_3 \cdot \text{Si}_4\text{O}_{19}$  და ბუნებრივი მინერალების: ბურა- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , კერნიტი- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , ულექსიტი- $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  სახით.

სასმელ წყალში ბორის შემცველობა დაახლოებით 0.01 მგ/ლ-ია. მიწისქვეშა წყლებში ბორის შემცველობა განპირობებულია ბორშემცველი დანალექი (ბორაციტი, ბურა, კოლემანიტი, აზარიტი, კალიბორიტი, ულექსიტი) და ვულკანური წარმოშობის ქანების გავლენით. ბორი გროვდება მცენარეებში, განსაკუთრებით ბოსტნეულსა და ხილში.

ბორის ნაერთები დიდი ხანია გამოიყენება სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში: ხის გადამამუშავებელ წარმოებაში-იცავს ხეს სოკოვანი დაავადებებისაგან, კოროზიისა და ტემპერატურისადმი მდგრადი შენადნობების დასამზადებლად. უკანასკნელ წლებში ბორის ნაერთები გამოიყენეს ბირთვულ ტექნიკაში რაკეტული საწვავის დანამატად, აგრეთვე ბორსილიკატური ოპტიკური მინების მისაღებად, კომპოზიციური მინანქრისა და ლაქ-საღებავების წარმოებაში, ბორი გამოიყენება კატალიზატორად, მედიცინაში-სადეზინფექციო საშუალებად. იგი სამკურნალო პრეპარატების შემადგენელი ერთ-ერთი კომპონენტია, შედის ზოგიერთი სარეცხი საშუალების შემადგენლობაში და კოსმეტიკურ მასალებში. ბორს შეიცავს მრავალი სამკურნალო ტალახი და მიწისქვეშა წყლები. მცირე რაოდენობა ბორის შეტანა ნიადაგში ძალიან ზრდის მრავალი კულტურის მოსავლიანობას. მაგალითად, შაქრის ჭარხალის, სიმინდის, ბამბის, თამბაქოს და ა.შ. [2]

ნიადაგში ბორი 2-6 მგ/კგ-მდე მერყეობს. იგი ეწერ ნიადაგებში უფრო დიდი რაოდენობით არის. ბორის მაღალი შემცველობით გამოირჩევა ბიცობი ნიადაგები, სადაც ეს უკანასკნელი 50-80 მგ/კგ-მდეა. ბორი მცირე რაოდენობითაა მჟავე ნიადაგებში. ნიადაგში ბორის უკმარისობისას, მაგალითად, ვაზის ფოთლებში მიმდინარეობს მონოსაქარიდების რაოდენობის გაზრდა საქაროზას შემცირების ხარჯზე. ლერწამში შეინიშნება თავისუფალი ამინომჟავების რაოდენობის მომატება. ამ დროს ნაყოფში შაქრის რაოდენობა მკვეთრად ეცემა, მტევანზე მარცვალი არ იზრდება და არ მწიფდება. ჭარბი ბორის შემცველობისას მცენარეში შეინიშნება დაავადებები: გიგანტიზმი და ქონდროზი. ბორით დამლაშებულ ნიადაგებზე მცენარე არ ხარობს და ეს მიუთითებს ბორის საბადოს არსებობაზე. მისი გადაჭარბებული რაოდენობა საკვებში ცხოველისა და ადამიანის ორგანიზმის მძიმე ინტოქსიკაციით მთავრდება. ღვინოში დასაშვები კონცენტრაცია 14 მგ/ლ-მდეა. [4]

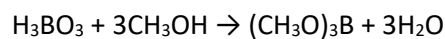


## 1.2. ბორის დაცილების მეთოდები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული ბორის ნაერთები საკმაოდ გავრცელებულია გარემოსა და ტექნიკურ ობიექტებში, ამიტომ მისი განსაზღვრა ამ ობიექტების რთული შედგენილობიდან გამომდინარე ანალიზური თვალსაზრისით საკმაოდ რთულია. ასეთი ობიექტების ანალიზისას საჭიროა ბორის დაცილება თანმხლები ელემენტებისაგან. დაცილებისათვის გამოყენებულია დისტილაციური, ექსტრაქციული, ქრომატოგრაფიული და დალექვის მეთოდები. [6]

### 1.2.1. დისტილაციური მეთოდი

დისტილაციური მეთოდი წარმოადგენს სტანდარტულ მეთოდს. იგი გამოიყენება როგორც მაკრო-, ასევე მიკრორაოდენობა ბორისათვის. ამ მეთოდით ბორს გადადენიან მჟავა ხსნარებიდან მეთანოლის თანაობისას. ბორის მჟავა მეთილის სპირტთან წარმოქმნის ეთერს, რომლის დუდილის ტემპერატურაა 65°C:

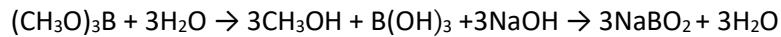


გადადენილი ეთერი შთაინთქმება ტუტის ხსნარით, სპირტის მოცილების შემდეგ ბორს განსაზღვრავენ რომელიმე ცნობილი მეთოდით.

ბორმეთილის ეთერის დისტილაციას ყველაზე ხშირად ახდენენ კონცენტრირებული გოგირდმჟავას ან ფოსფორმჟავას თანაობისას. მარილმჟავისა და აზოტმჟავის გამოყენების შემთხვევაში იზრდება დისტილატის მჟავიანობა, რაც ხელს უშლის ბორის განსაზღვრას.

თუ ბორს განსაზღვრავენ ტიტრირებულად ან სპექტროფოტომეტრულად კურკუმინის გამოყენებით, დისტილაციის პროცესი შეიძლება ჩატარდეს მარილმჟავა გარემოდანაც. გადადენილი ბორმეთილის ეთერი აუცილებლად უნდა შეგროვდეს თავდახურულ ჭურჭელში, რადგან დისტილატის შეხება ჰაერთან ოთახის ტემპერატურაზეც კი შესაძლებელია ბორის დაკარგვის მიზეზი გახდეს. ეთერის

შესაპვნისათვის, ბორის მოცულობითი მეთოდით განსაზღვრისას, ძირითადად გამოიყენება ნატრიუმის ტუტე; ფოტომეტრულ მეთოდში კი გამოიყენებენ როგორც ნატრიუმის ტუტეს, ასევე კალციუმის ოქსიდის სუსპენზიას წყალში. ბრომეთილის ეთერი წყალთან ურთიერთქმედების შედეგად მთლიანად ჰიდროლიზდება და ქარბი ტუტის მოქმედებით გარდაიქმნება ნატრიუმის მეტაბორატად.



ბორის დისტილაციის დროს ბრომეთილის ეთერთან ერთად გადაიდენება ზოგიერთი აქროლადი მრავალი ნივთიერება, ამიტომ აუცილებელია წინასწარ მოცილდეს ისინი საანალიზო ხსნარიდან ან უნდა გადავიყვანოთ არააქროლად ნაერთებში. მაგალითად: ფტორიდებს ბოჭავენ ალუმინის კომპლექსის სახით, დარიშხანოვან მჟავას ჟანგავენ წყალბადის ზეჟანგით. მიუხედავად იმისა რომ, დაცილების ეს მეთოდი საჭიროებს სპეციალურ აპარატურას, ამავე დროს რთული და ხანგრძლივია, მაინც ფართოდაა გამოყენებული, რადგან იძლევა ზუსტ და განმეორებად შედეგებს. მეთოდი გამოიყენება ბორის განსაზღვრისათვის : ნიადაგებში, წყლებში, მთის ქანებში და სხვა. [2.5.6]

### 1.2.2. ექსტრაქციული მეთოდები

ბორის დაცილების ექსტრაქციული მეთოდების ნაწილი დამყარებულია ტეტრაფტორბორატ-იონის მაღალმოლეკულურ ფუძეებთან, ანუ ფუძე საღებავებთან წარმოქმნილი კომპლექსების გახსნის უნარზე ორგანულ გამხსნელებში.

ტეტრაფტორბორატ-იონი ორგანულ კატიონებთან წარმოქმნის ნაერთებს, რომლებიც ადვილად ექსტრაგირდებიან ორგანული გამხსნელებით. ბორის დაცილება ამ მეთოდით მოიცავს ორ სტადიას: 1) ბორის მჟავას გადაყვანა ტეტრაფტორბორატ-იონში; 2) ტეტრაფტორბორატ-იონის მიერ ორგანულ კატიონებთან წარმოქმნილი კომპლექსების ექსტრაქცია. ტეტრაფენილარსონის იონი  $BF_4^-$  -თან pH=3-ზე წარმოქმნის ნაერთს  $As(C_6H_5)_4BF_4$ , რომელიც კარგად ექსტრაგირდება ქლოროფორმით. ექსტრაქციული მეთოდით ბორის დაცილებისთვის გამოყენებულია აგრეთვე  $[BF_4]^-$ -ის კომპლექსი

როდამინ B-თან ან ბუთილოდამინთან ( $\text{pH}=4$ ). მაგრამ ეს მეთოდები არ არის სპეციფიკური ბორისთვის, რადგან მრავალი კატიონი და ანიონი, რომლებიც წარმოქმნიან მდგრად ფტორიდულ კომპლექსებს, ხელს უშლიან მის დაცილებას. ტეტრაფტორბორატი-ონი მეთილისფერთან ( $\text{pH}=3-4$ ) წარმოქმნის კომპლექსს, რომელიც ექსტრაგირდება ბენზოლით. ექსტრაქციის ხარისხი დაახლოებით 80%-ს აღწევს. მეთილისფერის ნაცვლად ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნას კრისტალისფერი, ბრილიანტის მწვანე და სხვა.

სასუქებიდან ბორის ხსნადი ფორმები ექსტრაგირდება 2-ეთილჰექსან-1,3-დიოლის 20%-იანი ხსნარით მეთილიზობუთილკეტონში. ორგანულ ფაზას ანალიზებენ ატომურ აბსორბციული სპექტროსკოპიის მეთოდით. ექვსი და მეტი ნახშირბადის ატომის შემცველი ალიფატური 1,3-დიოლები წარმოადგენენ უფრო ეფექტურ ექსტრაგენტებს დიკეტონებთან და ჰიდროქსიკეტონებთან შედარებით. [2.6.7]

### 1.2.3. ქრომატოგრაფიული მეთოდები

ბორშემცველ მასალებში ბორის დასაცილებლად თანმხლები ელემენტებისაგან ხშირად გამოიყენება იონგაცვლითი ქრომატოგრაფიის მეთოდი. გამოყენებული სორბენტების ხასიათის მიხედვით მეთოდები იყოფა სამ ჯგუფად:

მეთოდების პირველ ჯგუფში ახდენენ კატიონების დაცილებას კატიონიტების გამოყენებით, სუსტ მჟავათა ხსნარებში ბორი იმყოფება ანიონის სახით, კატიონების: Fe(II), Fe(III), Cu(II), Al(III), Ni(II), Co(II) და ა.შ. მოცილების მიზნით ხსნარს ატარებენ კატიონიტში, ბორის მჟავა გადის ელუატში, ხოლო კატიონები სორბირდებიან კატიონიტზე. ამ მიზნით ყველაზე ხშირად გამოიყენება მონოფუნქციონალური სორბენტები, როგორცაა კატიონიტი KY-2.

კატიონური მიმოცვლის მეთოდი წარმატებითაა გამოყენებული სხვადასხვა შენადნობის ანალიზისას, ამავე მეთოდით აცილებენ ერთმანეთს მიკრო რაოდენობა ბორსა და ალუმინს.

მეთოდების მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება ანიონური მიმოცვლის მეთოდები, ამ მიზნით გამოყენებულია ფისები, ჰიდროქსილის ან კარბონატის ფორმაში. ბორის სორბცია ანიონიტებზე დამოკიდებულია ანიონიტის ფუძიანობის ხარისხზე და ხსნარის მჟავინობაზე. ბორის მაღალი სორბციის ეფექტი შეიმჩნევა ძლიერ ფუძე ანიონიტებში. მონოფუნქციონალურ ანიონიტზე AB-17-ზე შთანთქმის უნარი მაღალია ტუტე გარემოში, როცა  $\text{pH} < 5$ -ზე სორბცია პრაქტიკულად უკვე აღარ მიმდინარეობს.

ანიონური მიმოცვლის მეთოდი გამოყენებულია ბორის მჟავას კონცენტრირებისათვის კარბონატული ხსნარებიდან ასევე გასასუფთავებლად და მისი განსაზღვრისათვის სხვადასხვა ობიექტებში.

მეთოდების მესამე ჯგუფი დამყარებულია შერეული იონიტური სვეტების გამოყენებაზე. ეფექტური დაცილება ბორატ-იონისა ძლიერი ელექტროლიტების იონებისაგან მიიღწევა საანალიზო ხსნარის გატარებით ნარევიში, რომელიც შეიცავს ანიონიტს- ამბერლიტ LR-45,  $\text{OH}^-$ -ფორმაში და კატიონიტს-ნალციტი HCR,  $\text{H}^+$ -ფორმაში. ამ გზით შესაძლებელია ბორს მოვაცილოთ დიდი რაოდენობა შემდეგი იონები:  $\text{Fe(III)}$ ,  $\text{Sn(IV)}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  და სხვა. [2.3.6]

#### **1.2.4. ბორის დაცილება ხელისშემშლელი კატიონებისაგან დალექვის რეაქციით**

ყველაზე ხშირად კატიონებს ლექავენ ფუძეებით და კარბონატებით. ამ მიზნით გამოიყენება  $\text{Ba(OH)}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{BaCO}_3$  და  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . ზოგიერთი ავტორი მიუთითებს, რომ კარბონატების გამოყენება ხელისშემშლელი იონებისგან დასაცილებლად იწვევს ბორის დანაკარგს, რადგან კარბონატით განეიტრალების დროს ბორი თანდაილექება ნახევარჟანგეულებთან ერთად, ამ დანაკარგის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა გამოყოფილი ჰიდროქსიდები გავხსნათ და თავიდან დავლექოთ. დაცილებისთვის პრაქტიკაში უფრო ხშირად გამოიყენება  $\text{CaCO}_3$ . ეს გამოწვეულია იმით, რომ კალციუმის ბორატები 10-ჯერ უფრო ხსნადია ვიდრე ბარიუმის.

### 1.3. ბორის განსაზღვრის მეთოდები

ბორის განსაზღვრისათვის მოწოდებულია სხვადასხვა ქიმიური და ინსტრუმენტალური მეთოდები. ქიმიური მეთოდებიდან იშვიათად გამოიყენება გრავიმეტრული მეთოდი, ძირითადად განსაზღვრისათვის მიმართავენ ტიტრიმეტრულ მეთოდებს, ხოლო ინსტრუმენტალური მეთოდებიდან გამოიყენებულია სპექტროსკოპული მეთოდები. [2.6]

#### 1.3.1. წონითი მეთოდები

შემუშავებულია ბორის განსაზღვრის რამდენიმე გრავიმეტრული მეთოდი. ამ მეთოდით ბორის განსაზღვრის სირთულეს წარმოადგენს ის, რომ ბორის მჟავას ნაერთების უმეტესობა ხსნადია და მათი გამოყენება წონითი მეთოდით ბორის განსაზღვრისათვის შეუძლებელია.

ავტორთა ჯგუფის მიერ (აკიმოვი, ბუსევი, ანჯაფარიძე) ბორის გრავიმეტრული მეთოდით განსაზღვრისათვის მოწოდებულია ანტიპირინის ნაწარმები: 1.1-დიანტიპირილბუტანი და  $\alpha$ - $\alpha$ -დიანტიპირილტოლოლი. მეთოდი საშუალებას იძლევა განსაზღვროს 0.5-37 მგ ბორი 0.05 M ფტორწყალბადმჟავას ხსნარში. ფარდობითი ცდომილება 1.1-დიანტიპირილბუტანის გამოყენებით შეადგენს 2%-ს, განსაზღვრას ხელს არ უშლის: ალუმინი, თუთია, კადმიუმი, ტიტანი, რკინა, სპილენძი, კობალტი, ნიკელი. ხოლო ხელს უშლის: ნიობიუმი, სტიბიუმი და ტანტალი. ამ რეაგენტების გამოყენებით მოწოდებულია აგრეთვე ტიტრიმეტრული მეთოდებიც.

ჩედვიკის მიერ მოწოდებულია ბორატის განსაზღვრის გრავიმეტრული მეთოდი 2.4.6-ტრიფენილპირილქლორიდის გამოყენებით. ბორატის ხსნარს ამჟავებენ მარილმჟავით, უმატებენ რეაგენტს და შემდეგ ფტორწყალბადმჟავას. ბორატი გადადის ტეტრაფტორბორატ-იონში, რომელიც შემდეგ ურთიერთქმედებს რეაგენტთან, წარმოქმნილ ნალექს აყოვნებენ მოსამწიფებლად 20 სთ-ის განმავლობაში ოთახის

ტემპერატურაზე, შემდეგ 3 სთ 0°C-ზე, ფილტრავენ, რეცხავენ, აშრობენ 110°C-ზე და წონიან. გადამყვანი კოეფიციენტი ტოლია 0.1561.

აღსანიშნავია, რომ ბორის განსაზღვრის გრავიმეტრულმა მეთოდებმა პრაქტიკული გამოყენება ვერ ჰპოვა და ისინი მეორე ხარისხოვან მეთოდებად ითვლებიან ტიტრიმეტრულ მეთოდებთან შედარებით. [4.6]

### 1.3.2. ტიტრიმეტრული მეთოდები

ბორის განსაზღვრის ქიმიურ მეთოდებს შორის ყველაზე ხშირად იყენებენ ალკალიმეტრული განსაზღვრის მეთოდს, რომელიც ემყარება ბორის მჟავას მიერ მრავალატომიან სპირტებთან და შაქრებთან წარმოქმნილი კომპლექსური მჟავების გატიტვრას ტუტის ხსნარით.

ბორის მჟავა ძალიან სუსტი მჟავაა ( $K_a=6.4 \cdot 10^{-10}$ ), ამიტომ მისი პირდაპირი გატიტვრა ტუტით არ ხდება, რადგან ექვივალენტობის წერტილი მდებარეობს  $pH=11$ -ზე და  $pH$ -ის ამ ზღვრებში ძალიან ძნელია ისეთი ინდიკატორის მოძებნა, რომელიც მოგვცემს შეფერილობის მკვეთრ გადასვლას. ამ მიზნით მოწოდებულია ტიმოლფტალეინი, მაგრამ ამ ინდიკატორმა გამოყენება მაინც ვერ ჰპოვა.

ტიტრიმეტრული მეთოდების ძირითადი ნაწილი დამყარებულია ბორის მჟავას მიერ მრავალატომიან სპირტებთან და შაქრებთან ძლიერი კომპლექსური მჟავების ( $K_a \approx 10^{-4}$ ) წარმოქმნაზე, რომლებიც იტიტრება ტუტით. ძირითადად იყენებენ მანიტს.

ბორის ალკალიმეტრული განსაზღვრისათვის გარდა მანიტისა შეიძლება გამოვიყენოთ აგრეთვე : გლიცერინი, სორბიტი, ინვერსიული შაქარი, ფრუქტოზა, გლუკოზა და სხვა. ქვემოთ მოცემულია ბორის მჟავასთან ზოგიერთ კომპლექსწარმოქმნელთა 1 M ხსნარების მიერ წარმოქმნილი კომპლექსების დისოციაციის კონსტანტები. (pK)



მრავალატომიანი სპირტების ან შაქრების დამატების შემდეგ წარმოქმნილი ბორის კომპლექსური მჟავა შეიძლება გაიტიტროს ფენოლფტალეინის თანაობისას.

ზოგიერთი ავტორის მიერ ბორის განსაზღვრისათვის მოწოდებულია ინდიკატორთა ნარევიც, იყენებენ აგრეთვე ფლუორესცენტრულ ინდიკატორებსაც. მაგალითად, ფლუორესცეინს.

ალკალიმეტრული განსაზღვრის მეთოდის ერთ-ერთი ნაკლია კომპლექსწარმოქმნელების მრავალჯერადი დამატების აუცილებლობა. მდგრადი შეფერილობის მისაღებად.

ბორის მჟავას ალკალიმეტრულ განსაზღვრას ხელს უშლის სუსტი მჟავები ( $H_2CO_3$ ,  $H_2SiO_3$ ,  $HCOOH$ ,  $CH_3COOH$ ), აგრეთვე ფუძეები ( $Al(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_3$ ), ამონიუმის მარილები და ფტორიდები. ალუმინს ბოჭავენ ციტრატული კომპლექსის სახით, ტიტანს და ქრომს ღვინის მჟავას კომპლექსის სახით. ტყვიას, თუთიას, მანგანუმს, ალუმინს და რკინას ტრილონ-ბ-თი,  $H_2CO_3$ -ს იცილებენ შემჟავებული ხსნარების დუღილით.

ალკალიმეტრული მეთოდი გამოყენებულია ბორის განსაზღვრისათვის ნიადაგებში, მცენარეებში, სასუქებსა და შენადნობებში.

ტიტრიმეტრული მეთოდებიდან ცნობილია ბორის იოდმეტრული განსაზღვრის მეთოდი, რომელიც ემყარება ბორომანიტის მჟავას შემცველ ხსნარზე  $KI$ -ის და  $KIO_3$ -ის ნარევის დამატების შემდეგ გამოყოფილი თავისუფალი იოდის გატიტვრას თიოსულფატის ხსნარით. არსებობს განსაზღვრის მეორე ვარიანტიც, სადაც გამოყოფილ იოდს კი არ ტიტრავენ, არამედ უმატებენ ჭარბი, განსაზღვრული რაოდენობით თიოსულფატის ხსნარს და ჭარბ თიოსულფატს უკუტიტრავენ იოდით. განსაზღვრას ხელს არ უშლის :  $Zn$ ,  $Pb$ ,  $Al$ ,  $As$ ,  $SiO_3^{2-}$ .

არსებობს აგრეთვე ბორის განსაზღვრის კომპლექსონომეტრული მეთოდი. განსაზღვრა ხდება არაპირდაპირი გატიტვრით, ბორის მჟავას ლექავენ ჭარბი, განსაზღვრული რაოდენობის ბარიუმის ქლორიდის ხსნარით და ფილტრავენ. ფილტრატში საზღვრავენ ბარიუმის სიჭარბეს. ამისათვის ქმნიან ტუტე არეს ამიაკით, უმატებენ ფენოლფტალეინის სპირტხსნარს და ტიტრავენ კომპლექსონ-III-ის გამოყენებით. ზოგიერთ შემთხვევაში გასატიტრ ხსნარს უმატებენ ჭარბად კომპლექსონ-III-ის ხსნარს, რომელსაც შემდეგ უკუტიტრავენ  $MgCl_2$ -ით . [2.3.6]



### 1.3.3. სპექტროსკოპული მეთოდები

ბორი ბუნებაში ფართოდ გავრცელებული ელემენტია. მიუხედავად ამისა, იგი ძირითადად მაინც მცირე კონცენტრაციებით გვხვდება, რაც მოითხოვს მიკრო რაოდენობა ბორის განსაზღვრის მეთოდების გამოყენებას. ამ მიზნით ხშირად გამოიყენება სპექტროსკოპული მეთოდები.

ბორის განსაზღვრის სპექტროფოტომეტრული რეაგენტებიდან მნიშვნელოვანია: იზომეთინ-H, ნატრიუმის მარილი, რეზორცინ-H, ხინალიზარინი, კარმინის მჟავა და დიანტრიმიდი. ეს რეაგენტები ბორთან წარმოქმნიან შეფერილ ნაერთებს კონცენტრირებული  $H_2SO_4$ -ის გარემოში, ხსნარების შეფერვის ინტენსივობა დამოკიდებულია: ტემპერატურაზე, ხსნარის მჟავიანობაზე და გაცხელების ხანგრძლივობაზე. [8.9.10]

ლიტერატურაში აღწერილია ბორის განსაზღვრისათვის მოწოდებული 21 ქრომოგენული რეაგენტი, მათი მახასიათებლები ერთნაირია. ფოტომეტრული განსაზღვრისათვის ერთ-ერთი ყველაზე გამოყენებული რეაგენტია კურკუმინი, მეთოდი შესასრულებლად საკმაოდ რთულია, მაგრამ ხასიათდება მაღალი მგრძობიარობით. მასთან შედარებით ხინალიზარინი და დიანტრიმიდი ნაკლებად მგრძობიარენი არიან. კურკუმინის გამოყენებით ბორი ისაზღვრება სხვადასხვა ობიექტებში. მაგალითად: შენადნობებში, ნიადაგებში, მცენარეებში, დანალექ ქანებში ბორის განსაზღვრისთვის ამ რეაგენტით, მას წინასწარ გამოყოფენ ბორომანიტის მჟავას სახით, დაცილებისთვის იყენებენ იონგაცვლით ქრომატოგრაფიას და შემდეგ ბორს საზღვრავენ კონცენტრირებული  $H_2SO_4$ -ის გარემოში.

მიკრორაოდენობა ბორის განსაზღვრისათვის: მინერალურ წყლებში, ნიადაგებში და სხვა გამოყენებულია კარმინის მჟავა. მეთოდის მგრძობიარობაა  $2.5 \cdot 10^{-5}$  %. აცეტილ-ხინალიზარინი გამოყენებულია 0.01-0.03 % ბორის განსაზღვრისათვის სილიციუმ-ალუმინის შენადნობებში. [2]

დიდ ყურადღებას იმსახურებს ბორის განსაზღვრის მეთოდები, რომლებიც დამყარებულია შეფერილი ასოციატების წარმოქმნაზე. ტეტრაფტორბორატ-იონი, ტრიარилმეთანის და დიანტიპირილის ჯგუფის საღებრებთან წარმოქმნის იონურ ასოციატებს, რომლებიც კარგად ექსტრაგირდებიან სხვადასხვა გამხსნელებით.

ნიადაგებისათვის, დანალექი და მთის ქანებისათვის ასევე შენადნობებისათვის გამოყენებულია მეთოდი, რომელიც ემყარება ტეტრაფტორბორატ-იონის ურთიერთქმედებას მეთილენის ლურჯთან. წარმოიქმნება ნაერთი, რომელიც ექსტრაგირდება დიქლორეთანით. მეთოდი საკმაოდ სწრაფი და მგრძობიარეა, ამ რეაგენტის გამოყენებით ბორის განსაზღვრისათვის, საანალიზო ობიექტს წინასწარ შლიან ფტორწყალბადმჟავისა და გოგირდმჟავას ნარევიტ.

მოწოდებულია აგრეთვე ძალიან მგრძობიარე რეაგენტი 1.1-ბის-(6-ქლორანტრახინოლ)ამინი. რეაქცია მიმდინარეობს გაცხელებით რეაგენტის 96%-იან გოგირდმჟავა ხსნარში და წარმოიქმნება იისფერი ნაერთი. ამ მეთოდით განსაზღვრისათვის ბორის მჟავას წინასწარ აცილებენ დამჟანგველებსა და მთელ რიგ კატიონებს გადადენით ან იონგაცვლითი ქრომატოგრაფიით. მეთოდი ძალიან მგრძობიარეა და მას იყენებენ მცენარეულ მასალებში ბორის განსაზღვრისათვის.

ტეტრაფტორბორატ-იონი კრისტალისფერთან მჟავა გარემოში წარმოქმნის კომპლექსს, რომელიც ექსტრაგირდება ბენზოლით, მეთოდი გამოყენებულია ნიადაგებსა და წყლებში ხსნადი ბორის განსაზღვრისათვის. მეთოდის მგრძობიარობაა 0.02 მკგ/მლ. განსაზღვრის ცდომილება არ აღემატება 10%-ს . [11]

მინერალურ წყლებში ბორის განსაზღვრისათვის გამოყენებულია ფლუორესცენტრული მეთოდები. ამ მიზნით მოწოდებულია რეაგენტები, ისინი წარმოქმნიან კომპლექსებს, რომლებიც განიცდიან ფლუორესცენციას. მაგალითად, დიბენზოილმეთანი. ამ რეაგენტით ბორი ისაზღვრება ნგ/ლ-ში .

ცნობილია აგრეთვე მეთოდი, რომლის გამოყენებით კონცენტრირებული გოგირდმჟავა გარემოში 2-ჰიდროქსი-4-მეთოქსი-4-ქლორბენზოინით ისაზღვრება  $10^{-6}$ - $10^{-5}$  % ბორი . [2.9.12]

### 1.3.4. ფლუორომეტრული მეთოდები

ბორის ფლუორომეტრული განსაზღვრის მეთოდი ხასიათდება მაღალი მგრძობიარობით და სელექტიურობით. ფლუოროგენულ რეაგენტად გამოიყენება ბენზონი, მასთან ბორის მჟავა წარმოქმნის კომპლექსს, სადაც B:R=1:1. იგი იძლევა ინტენსიურ ფლუორესცენციას 450-520 მმკ-ის ფარგლებში. შთანთქმის მაქსიმუმია 370 მმკ. ანალიზის შედეგებზე გავლენას ახდენს ბენზონის კონცენტრაცია, მისი მაღალი კონცენტრაციების დროს იზრდება სიგნალის ინტენსივობა. მაგრამ არ არის რეკომენდირებული მისი სიჭარბე. საუკეთესო შედეგები მიიღება ბენზონის 0.04-0.05%-იანი კონცენტრაციის დროს. [2]

ბოლო წლებში ფლუორომეტრული მეთოდით ბორის განსაზღვრისათვის ფართოდ გამოიყენება რეაგენტი ქრომოტროპის მჟავა. ეს მეთოდი ბორის განსაზღვრის სტანდარტულ მეთოდად არის მიღებული (ГОСТ-р 51210-98). [13]

მეთოდი დამყარებულია ბორატ-იონების მიერ ქრომოტროპის მჟავასთან, ტრილონ-ბ-ს თანაობისას, ფლუორესცენციური კომპლექსის მიღებაზე და მისი ფლუორესცენციის ინტენსივობის გაზომვაზე. ამ მეთოდით ბორის განსაზღვრას წყალში ხელს არ უშლის 1 გ/ლ ამონიუმის, ტუტე და ტუტემიწათა მეტალების, მაგნიუმის, ალუმინის იონები, 100 მგ/ლ-მდე ფოსფატი, 10 მგ/ლ-მდე თუთიის, ტყვიის, სპილენძის და რკინის იონები. მეთოდი საშუალებას იძლევა ბორი განისაზღვროს წყლებში 0.05-5.0 მგ/ლ კონცენტრაციის დიაპაზონში.

### 1.3.5. ელექტროქიმიური მეთოდები

ცნობილია ბორომანტის მჟავას ტუტით გატიტვრის პოტენციომეტრული ვარიანტი, რომელიც გამოყენებულია ფარმაცევტული პრეპარატების ანალიზისათვის. ხელისშემშლელ იონებს წინასწარ აცილებენ იონიტ ამბერლიტ XE-43-ით, რომელიც სელექტიურია  $H_3BO_3$ -ის მიმართ. შემდეგ ბორატები გადაჰყავთ  $BF_4^-$ -ში, რომელსაც საზღვრავენ არაპირდაპირი პოტენციომეტრული მეთოდით.

კულონიმეტრული მეთოდი ხასიათდება განსაკუთრებით მაღალი სიზუსტით, ელექტროლიტად გამოყენებულია 1 M KCl-ისა და 0.75 M მანიტის ხსნარების ნარევი. მიკრო რაოდენობა ბორის განსაზღვრისას ფარდობითი სტანდარტული გადახრა 0.003%-ია. [6]

## თავი II. ექსპერიმენტული ნაწილი

### 2.1. სამუშაო ხსნარები, რეაგენტები და გამოყენებული აპარატურა

#### ბორის სტანდარტული ხსნარის მომზადება

ბორის სტანდარტული ხსნარის ( $T_B=1\text{მგ}$ ) დასამზადებლად ვიღებდით წინასწარ გადაკრისტალეზულ ბორის მჟავას (ქ.ს.) 1.1439 გ-ს და ვხსნიდით მცირე რაოდენობა წინასწარ ნადუღებ და გაცივებულ, გამოხდილ წყალში, გადაგვქონდა 200 მლ-იან გამზომ კოლბაში, ვავსებდით ჭდემდე გამოხდილი წყლით, კარგად ვურევდით და ვათავსებდით პოლიეთილენის ჭურჭელში. [12]

#### 0.1 N NaOH-ის ხსნარის დამზადება

ვწონდით 4გ NaOH-ს, ვხსნიდით წინასწარ ნადუღებ გამოხდილ წყალში, შემდეგ გადაგვქონდა 1 ლ-იან გამზომ კოლბაში და ვავსებდით ჭდემდე გამოხდილი წყლით. ტუტის ხსნარს ვინახავდით პოლიეთილენის ჭურჭელში.

ტიტრს ვადგენდით ფიქსანალიდან დამზადებული 0.1 N მარილმჟავას ხსნარით. ტუტის განზავებულ (0.02 N) ხსნარს ვამზადებდით სამუშაოს დაწყების წინ.

#### ინდიკატორების ხსნარების დამზადება

მეთილნარინჯის 0.1%-იანი ხსნარის დასამზადებლად ვწონდით 0.1 გ მეთილნარინჯს, ვხსნიდით ჯერ მცირე რაოდენობა გამოხდილ წყალში, შემდეგ გადაგვქონდა 100 მლ-იან გამზომ კოლბაში და ვავსებდით ჭდემდე გამოხდილი წყლით.

ფენოლფტალეინის 1%-იანი ხსნარის დასამზადებლად ვწონდით 1გ ფენოლფტალეინს, ვხსნიდით სპირტში და გადაგვქონდა 100 მლ-იან გამზომ კოლბაში და ვავსებდით ჭდემდე სპირტით.

### გამოყენებული რეაგენტები:

- 1  $H_3BO_3$  „ქ.ს.” ;
- 2 NaOH „ს.” ;
- 3 HCl კონც. (d=1.18) ; „ს” ;
- 4 კომპლექსწარმომქმნელები: გლიცერინი „ს” , მანიტი „ს” ;
- 5 ინდიკატორები: მეთილწარინჯი, ფენოლფტალეინი ;
- 6  $CaCO_3$  „ს”

### გამოყენებული აპარატურა:

pH-მეტრი pH-673M.

## 2.2. ბორის განსაზღვრის ტიტრიმეტრული მეთოდი

საანალიზო ნიმუშებში ბორის მილიგრამული რაოდენობით განსაზღვრისათვის ყველაზე ხშირად გამოყენებულია ტუტით გატიტვრა მანიტის თანაობისას. ეს მეთოდი პირველად გამოიყენეს 1899 წელს გუჩმა და ჯონსონმა, თუმცა ბორის მჟავას ურთიერთქმედება მრავალატომიან სპირტებთან ადრეც იყო ცნობილი. ბორის მჟავა სუსტი მჟავაა ( $K_a=6.4 \cdot 10^{-10}$ ), რომელიც ჩვეულებრივ პირობებში არ შეიძლება გაიტიტროს ტუტით. ბორის მჟავა მრავალატომიან სპირტებთან და შაქრებთან წარმოქმნის ძლიერ კომპლექსურ მჟავებს ( $K_a \approx 10^{-4}$ ). [6] ჩვენ კომპლექსწარმომქმნელებად გამოვიყენეთ: მანიტი და გლიცერინი.

ბორის მჟავას შემცველ საანალიზო ხსნარს ვუმატებდით კომპლექსწარმომქმნელს და ვტიტრავდით NaOH-ის ტიტრიანი ხსნარით. ექვივალენტობის წერტილს ვადგენდით ინდიკატორ ფენოლფტალეინის გამოყენებით. თუ ბორის მჟავასთან ერთად საანალიზო ხსნარში არის ძლიერი მჟავა, საჭიროა მისი წინასწარ განეიტრალება, ამ დროს ინდიკატორად ვიყენებდით მეთილწარინჯს ან მეთილწითელს. ბორის განსაზღვრას ხელს უშლის მთელი რიგი კატიონები, რომელთა მოცილება აუცილებელია ანალიზის დაწყების წინ. ხელისშემშლელი კატიონების მოსაცილებლად გამოვიყენეთ ჰიდროლიზური

გამოყოფის მეთოდი. დამლექავად ვიყენებდით კალციუმის კარბონატს. ანალიზს ვატარებდით შემდეგი მეთოდიკით: საანალიზო ხსნარის განსაზღვრულ მოცულობას წინასწარ ვამჟავებდით HCl-ით მეთილნარინჯის თანაობისას, ვუმატებდით კალციუმის კარბონატს ყვითელი შეფერილობის მიღებამდე და შემდეგ ჭარბად ვადულებდით, ნალექს ვფილტრავდით და ვრეცხავდით. ფილტრატს ვანეიტრალავდით 0.1 N HCl და 0.1 N NaOH-ის გამოყენებით (ინდიკატორი მეთილნარინჯი), ისევ ვამჟავებდით 0.1 N HCl-ით და ნახშირორჟანგის მოსაცილებლად ვადულებდით 10-15 წუთის განმავლობაში (დაბრით თავდახურულს), ვაცივებდით, ვანეიტრალავდით და ვტიტრავდით 0.02 N ნატრიუმის ტუტის ტიტრიანი ხსნარით, 7-10 წვეთი ფენოლფტალეინის თანაობისას ღია ჟოლოსფერის შეფერილობის მიღებამდე, შემდეგ ვუმატებდით კომპლექსწარმომქმნელს ხსნარის გაუფერულებამდე და ვაგრძელებდით გატიტვრას მდგრადი ჟოლოსფერის მიღებამდე (შეფერილობა არ უნდა გაქრეს ერთი წუთის განმავლობაში). თუ ხსნარი გაუფერულდა ისევ უნდა დაემატოს კომპლექსწარმომქმნელი და გატიტვრა გაგრძელდეს.

ბიურეტზე ვითვლიდით დახარჯული ტუტის მილილიტრების რაოდენობას, რომელიც დაიხარჯა კომპლექსწარმომქმნელის დამატების შემდეგ და ვანგარიშობდით ბორის შემცველობას. პარალელურად ვატარებდით ბრმა ცდას. ბრმა ცდაზე დახარჯული ტუტის რაოდენობას ვაკლებდით ნიმუშის გატიტვრაზე დახარჯულ ტუტის მილილიტრების რაოდენობას და ბორის შემცველობას ბუნებრივი წყლებისათვის ვანგარიშობდით ფორმულით:

$$B \text{ მგ/ლ} = N_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot M_{-\text{ЭB}} \cdot a$$

სადაც

$N_{\text{NaOH}}$ - NaOH-ის ნორმალობა ;

$V_{\text{NaOH}}$ -გატიტვრაზე დახარჯული 0.02 N NaOH ხსნარის მოცულობა მლ-ში ;

$M_{-\text{ЭB}}$ - ბორის მოლი ეკვივალენტი ;

$a$ -ალიქვოტური ნაწილი .

### 2.3. მეთოდის სისწორე და განმეორებადობა

მეთოდის სისწორე და განმეორებადობა შემოწმებულია „აღებულია-მიღებულიას“ მეთოდით. ამ მიზნით ვიღებდით ბორის სტანდარტული ხსნარის სხვადასხვა რაოდენობებს, ვანზავებდით -50 მლ-მდე წინასწარ ნადუღები გამოხდილი წყლით. ხსნარის ნეიტრალობას ვამოწმებდით ინდიკატორ მეთილნარინჯის თანაობისას, ვუმატებდით კომპლექსწარმომქმნელს და ფენოლფტალეინის თანაობისას ვტიტრავდით ნატრიუმის ტუტის ტიტრიანი ხსნარით მდგრადი ჟოლოსფერის მიღებამდე. ბიურეტზე ვითვლიდით გატიტვრაზე დახარჯული 0.02 N ტუტის მილილიტრების რაოდენობას და ვანგარიშობდით ბორის რაოდენობას ფორმულით:

$$B, \text{ მგ} = N_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot \Xi B$$

ანალიზის შედეგები მანიტისა და გლიცერინის გამოყენებით მოცემულია ცხრილებში (№1 და № 2):



ცხრილი №1

ბორის განსაზღვრის შედეგები მოდელურ ხსნარებში (კომპლექსწარმოქმნელი მანიტი) :

ცდის №	B მგ		$\bar{C}$	Sr	$\bar{C} \pm \delta$	ფარდობითი ცდომილება, %
	აღებულია	მიღებულია				
1	1	1.05	0.99	0.05	$0.99 \pm 0.12$	5.0
2	1	0.97				
3	1	0.97				
1	5	5.10	4.93	0.03	$4.93 \pm 0.37$	2.0
2	5	4.90				
3	5	4.80				
1	10	10.40	10.26	0.01	$10.26 \pm 0.3$	4.0
2	10	10.20				
3	10	10.20				
1	15	15.30	15.36	0.008	$15.36 \pm 0.3$	2.0
2	15	15.50				
3	15	15.30				
1	20	20.21	20.14	0.003	$20.14 \pm 0.15$	1.05
2	20	20.13				
3	20	20.10				

ცხრილი №2

ბორის განსაზღვრის შედეგები მოდელურ ხსნარებში (კომპლექსწარმოქმნელი გლიცერინი) :

ცდის №	B მგ		$\bar{C}$	Sr	$\bar{C} \pm \delta$	ფარდობითი ცდომილება, %
	აღებულია	მიღებულია				
1	1	1.05	1.04	0.01	1.04 ± 0.02	5.0
2	1	1.05				
3	1	1.03				
1	5	5.20	5.06	0.03	5.06 ± 0.37	4.0
2	5	5.10				
3	5	4.90				
1	10	10.20	10.1	0.03	10.1 ± 0.65	2.0
2	10	10.30				
3	10	9.80				
1	15	14.70	14.96	0.02	14.96 ± 0.57	2.0
2	15	15.10				
3	15	15.10				
1	20	20.10	20.13	0.003	20.13 ± 0.15	0.5
2	20	20.21				
3	20	20.10				

ცხრილი №3

დამლექავი რეაგენტების ბუნების (კალციუმისა და ბარიუმის კარბონატი) გავლენა ბორის განსაზღვრის შედეგებზე მოდელურ ხსნარებში მანიტის გამოყენებით :

ცდის №	B მგ/ლ			ფარდობითი ცდომილება	
	აღებულია	მიღებულია		%–ში	
		BaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	BaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
1	5	4.43	4.46	11.40	10.80
1 <sup>1</sup>	5	4.49	5.13	10.20	2.60
1 <sup>2</sup>	5	4.54	4.90	9.20	2.00
2	10	9.29	9.83	7.10	1.70
2 <sup>1</sup>	10	9.40	9.89	6.00	1.10
2 <sup>2</sup>	10	9.51	9.92	4.90	0.80
3	20	19.24	20.21	3.80	1.05
3 <sup>1</sup>	20	19.30	20.13	3.50	0.65
3 <sup>2</sup>	20	19.35	20.10	3.25	0.50

ცხრილი №4

დამლექავი რეაგენტების ბუნების (კალციუმისა და ბარიუმის კარბონატი) გავლენა ბორის განსაზღვრის შედეგებზე მინერალურ წყლებში :

№	ნიმუშის დასახელება	B მგ/ლ			
		მანიტი		გლიცერინი	
		BaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	BaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
1	ბორჯომი	6.60	8.00	6.40	8.00
2	ნაბეღლავი	6.20	7.56	6.10	6.91
3	ლიკანი	6.25	7.78	6.18	7.78

## 2.4. ბორის განსაზღვრა სასმელ წყლებში

ვიღებდით საანალიზო წყლის განსაზღვრულ მოცულობას (100 მლ). ვუმატებდით 1-2 წვეთ ინდიკატორ მეთილნარინჯს, განზავებულ მარილმჟავას (1:2) ყვითელი შეფერილობის წითელში გადასვლამდე, კალციუმის კარბონატს, ხსნარის ყვითელი შეფერილობის მიღებამდე და შემდეგ ჭარბად. ვადულებდით 10-15 წუთის განმავლობაში, ცხლადვე ვფილტრავდით და ნალექს ვრეცხავდით ცხელი, გამოხდილი წყლით. ფილტრატს ვამჟავებდით 0.1 N HCl-ით და კვლავ ვადულებდით 10-15 წუთის განმავლობაში (CO<sub>2</sub>-ის მოსაცილებლად). ფილტრატს ვაცივებდით და ვანეიტრალავდით 0.1 N NaOH-ისა და 0.1 N HCl-ის ხსნარებით. განეიტრალების შემდეგ ვამატებდით 7-10 წვეთ ფენოლფტალეინს, ვტიტრავდით 0.02 N ტუტით ღია ჟოლოსფერის მიღებამდე. ვუმატებდით მანიტს ან გლიცერინს, რის შედეგადაც ხსნარი უფერულდებოდა და ვაგრძელებდით ტიტვრას ხსნარის მდგრად ჟოლოსფერში გადასვლამდე. ისევ ვუმატებდით კომპლექსწარმომქმნელს. შეფერილობა არ უნდა შეიცვალოს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ვაგრძელებდით გატიტვრას. ვანგარიშობდით ბორის რაოდენობას. პარალელურად ვატარებდით ბრმა ცდას. ანალიზის შედეგები მოყვანილია ცხრილებში ( № 5 და №6 ).

საანალიზოდ აღებული გვექონდა შემდეგი ნიმუშები, რომლებშიც განვსაზღვრეთ ბორის შემცველობა:

1. სავაჭრო ქსელებში გაყიდვაში არსებული მინერალური წყლები: ბორჯომი, ნაბეღლავი, ლიკანი, საირმე, კობი და სნო ;
2. წყაროს წყალი: მცხეთის რაიონი სოფ. ნიჩბისის წყაროს წყალი;
3. ონკანის წყალი: ქ. თელავი, ქ. ყვარელი.

ცხრილი №5

ბორის განსაზღვრის შედეგები სასმელ წყლებში მანიტის გამოყენებით:

№	ნიმუშის დასახელება	C <sub>x</sub> მგ/ლ	$\bar{C}$	S <sub>r</sub>	C±δ
1	ბორჯომი	9.20 9.08 9.08	9.12	0.008	9.12 ± 0.17
2	ნაბეღლავი	7.56 7.60 7.80	7.65	0.02	7.65 ± 0.32
3	ლიკანი	7.70 7.72 7.68	7.7	0.003	7.7 ± 0.05
4	საირმე	5.75 5.80 5.82	5.79	0.007	5.79 ± 0.1
5	ნიჩბისის წყაროს წყალი	1.08 1.2 1.08	1.12	0.06	1.12 ± 0.17
6	თელავის წყალი	0.86 0.86 1.08	0.93	0.44	0.93 ± 1.2
7	ყვარლის წყალი	ნაკლებია მეთოდის მგრძნობიარობა			
8	კობი	ნაკლებია მეთოდის მგრძნობიარობა			
9	სნო	ნაკლებია მეთოდის მგრძნობიარობა			

ცხრილი №6

ბორის განსაზღვრის შედეგები სასმელ წყლებში გლიცერინის გამოყენებით :

№	ნიმუშის დასახელება	C <sub>x</sub> მგ/ლ	$\bar{C}$	S <sub>r</sub>	$\bar{C} \pm \delta$
1	ბორჯომი	9.15 9.08 9.08	9.10	0.004	9.10 ± 0.1
2	ნაბეღლავი	9.08 9.29 9.08	9.15	0.01	9.15 ± 0.3
3	ლიკანი	9.20 9.30 9.15	9.21	0.009	9.21 ± 0.2
4	საირმე	5.83 5.83 5.83	5.83	0	5.83 ± 0
5	ნიჩბისის წყაროს წყალი	2.16 1.95 2.16	2.09	0.06	2.09 ± 0.3
6	თელავის წყალი	1.25 1.2 1.2	1.21	0.02	1.21 ± 0.07
7	ყვარლის წყალი	ნაკლებია მეთოდის მგრძნობიარობა			
8	კობი	ნაკლებია მეთოდის მგრძნობიარობა			
9	სნო	ნაკლებია მეთოდის მგრძნობიარობა			

## დასკვნა

1. დადგენილია ბორის მჟავას მრავალატომიან სპირტებთან წარმოქმნილი კომპლექსური მჟავების გამოყენების შესაძლებლობა საქართველოს სასმელ წყლებში მაკრორაოდენობა ბორის განსაზღვრისათვის დაცილებისა და ტიტრიმეტრული მეთოდების კომბინირებული ვარიანტით;
2. მოდიფიცირებულია ბორის განსაზღვრის ტიტრიმეტრული მეთოდი. მატრიცული ელემენტების დაცილებისათვის გამოყენებულია ჰიდროლიზური გამოყოფის მეთოდი, დამლექავად-კალციუმის კარბონატი;
3. დაცილებისა და ტიტრიმეტრული მეთოდების კომბინირებული ვარიანტით ბორის განსაზღვრის შედეგების სისწორე და განმეორებადობა შემოწმებულია „აღებულია-მიღებულიას“ მეთოდით.  
მანიტის გამოყენების შემთხვევაში მოდელურ ხსნარებში:  
 $S_r=0.003$ -დან  $0.05$ -მდე;  $\bar{C}_{\pm\delta}=0.99\pm 0.12$ -დან  $20.14\pm 0.15$ -მდე; ფარდობითი ცდომილება არის  $0.5\%$ -დან  $5\%$ -მდე.  
გლიცერინის გამოყენების შემთხვევაში მოდელურ ხსნარებში:  
 $S_r = 0.003$ -დან  $0.03$ -მდე;  $\bar{C}_{\pm\delta}=1.04\pm 0.02$ -დან  $20.13\pm 0.15$ -მდე; ფარდობითი ცდომილება არის  $0.5\%$ -დან  $5\%$ -მდე.
4. ბორი განსაზღვრულია საქართველოს სასმელ წყლებში. ანალიზის შედეგები შედარებულია ფლუორომეტრული მეთოდით (ГОСТ-51210-58) მიღებულ შედეგებთან. შედეგები დამაკმაყოფილებელია.  
მანიტის გამოყენების შემთხვევაში სასმელ წყლებში:  $S_r = 0.003$ -დან  $0.44$ -მდე ;  
 $\bar{C}_{\pm\delta}=0.93\pm 1.2$ -დან  $9.12\pm 0.17$ -მდე;  
გლიცერინის გამოყენების შემთხვევაში სასმელ წყლებში:  $S_r = 0$ -დან  $0.06$ -მდე ;  
 $\bar{C}_{\pm\delta}=1.21\pm 0.07$ -დან  $9.21\pm 0.2$ -მდე;
5. მინერალურ წყლებში: ბორჯომი, ნაბეღლავი, ლიკანი და საირმე ბორის შემცველობა  $5-10$  მგ/ლ-ია. კობში, სნოში და ქ. ყვარლის ონკანის წყალში ბორის შემცველობა მეთოდის მგრძნობიარობის ზღვარს ქვემოთ არის. ქ. თელავის ონკანის წყალში და მცხეთის რაიონი სოფ. ნიჩბისის წყაროს წყალში ბორის შემცველობა დაახლოებით  $1$  მგ/ლ-ია.



6. ჩვენს მიერ შემუშავებული მეთოდი, ბუნებრივ წყლებში ბორის განსაზღვრისათვის, შესასრულებლად სწრაფია, მარტივია, არ მოითხოვს ძვირადღირებულ რეაქტივებსა და აპარატურას. ანალიზის შედეგები საიმედოა.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. В.И. Посыпаико, Н.А. Козирева, Ю.П. Логачева, <<Химические методы анализа>>. М., „Высшая шкл“ 1989г. -447 с.
2. А.А. Немодрук, Э.К. Каралова, <<Аналитическая химия Бора>> М., <<Наука>>, 1964г. -283 с.
3. Унифицирование методы анализа вод. Под обшийредакций д-ра хим. наук, Ю.Ю. Лурье. М., Химия, 1973г. -376 с.
4. Ю.Я. Харитонов, В.Ю. Григорьева. Аналитическая химия. Издательская группа „ГЭОТАР-Медиа“ 2009г. -293с.
5. Т.И. Хаханина, Н.Г. Никитина, Аналитическая химия. Москва „юраит“ 2016г. -277с.
6. У. Дж. Уилиямс, <<Определение Анионов>>. Перевод с английского. М., <<Химия>>1982г. 622с.
7. Акимов В.К., Бусев А.И., Анджапаридзе, Жах, Т•26 1971г. С. 2434 <<Определение Бора с применением производних пирозолона>>.
8. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. М., <<Недра>> 1970г. -485с.
9. А.К. Бабко, А. Т.Пилипенко. Фотометрический анализ. Методи определения неметаллов. М., Мир, 1981г. -408с.
10. Фомин Г. С. Контролхимической, бактериальной и радиоационной безопасности по международным стандартам энциклопедический справочник. М., выпуск 2, 2002, 24. Овчиников А.М. минеральные воды. М. изд. <<Химия>> 1973.

11. მ.აბრამიშვილი, თ.მაცაბერიძე, მიკრორაოდენობა ბორის განსაზღვრის ახალი ვარიანტი. „საქართველოს ქიმიური ჟურნალი“ 5(3) 2005, 226-227გვ.
12. З. Марченко, Фотометрические определение элементов. М., Мир, 1971г. -502с
13. <<Государственный контроль качество воды>> М., ИПК. Издательство стандартов 2001г. - 687с