

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის  
სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ნინო გიორგაძე

ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდების ფოტომეტრული  
განსაზღვრა ბუნებრივ ობიექტებში

ფიზიკური და ანალიზური ქიმია

სამაგისტრო ნაშრომი შესრულებულია ქიმიის მაგისტრის  
აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელი - ასისტ. პროფესორი ნინო თაყაიშვილი  
კონსულტანტი - ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორი  
გურამ სუპატაშვილი

თბილისი

2017

## ანოტაცია

ბუნებრივ ობიექტებში მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდების კლასიკური მოცულობითი მეთოდებით განსაზღვრა რთული და ხანგრძლივი პროცესია. ჩვენი მიზანი იყო შეგვესწავლა ბუნებრივ ობიექტებში ( წყლები, ნიადაგი, საკვები პროდუქტები, ქვანახშირი და სხვა ) ქლორიდების ფოტომეტრული მეთოდებით განსაზღვრის შესაძლებლობა. ამ მიზნით შევარჩიეთ ტურბიდიმეტრული ( საანალიზო ფორმა  $AgCl$  ) და ფოტომეტრული ( რეაგენტი ვერცხლისწყლის დიფენილკარბაზონატი ) მეთოდები. მეთოდების მგრძობიარობისა და განმეორებადი შედეგების მიღების მიზნით შევისწავლეთ ვერცხლისწყლის დიფენილკარბაზონატის და ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე ხსნარის მჟავიანობის, რეაგენტების და ეთანოლის რაოდენობის გავლენა, აგრეთვე მისი მდგრადობა დროში. მიღებული შედეგების გათვალისწინებით ქლორიდების ფოტომეტრული განსაზღვრის შერჩეული ვარიანტები 50-100 - ჯერ უფრო მგრძობიარეა, ვიდრე მიკრო მერკურიმეტრული მეთოდი.

სტანდარტული სინჯების ანალიზის, პარალელური განსაზღვრებისა და დანამატის მეთოდით მიღებულმა შედეგებმა გვიჩვენა, რომ ბუნებრივ ობიექტებში მიკრორაოდენობა ქლორიდების განსაზღვრის ფოტომეტრული მეთოდების ფარდობითი ცდომილება 5 %-ზე ნაკლებია. დასაშვებ ზღვრებშია საშუალო, სტანდარტული და საშუალო ფარდობითი გადახრები.

## Summary

Determination of the number of micro and ultra-micro chlorides under the classical volume methods in the natural objects in the complicated and long lasted process. Our aim was to study the ability of determination of chlorides in the natural objects (waters, soil, food products, coal etc) under photometric methods. For this aim we have selected turbidimetric ( analyze form  $\text{AgCl}$  ) and photometric ( reagent mercury - diphenylcarbazone ) methods. In order to obtain the repetitive results and sensitivity of the methods we have studied impact of acidity of the solution, reagents and quantity of ethanol on optical density of mercury chloride and mercury-diphenylcarbazone, as well as its durability in time. Taking into consideration the obtained results, the selected versions of photometric determination of chlorides is 50-100 times sensitive than micro mercurimetric method.

The results obtained under the method of parallel determination, adjunct and analyze of standard samples showed that the relative error of photometric methods of determination of micro number chlorides in natural objects is less 5%. Average, standard relative errors are in the permissible limits.

## სარჩევი

I. შესავალი -----	6
II. ლიტერატურის მოძიება	
2.1. ქლორიდების გავრცელება ბუნებაში. ნორმატივები და ეკოლოგიური როლი -----	7
2.2. ქლორიდების განსაზღვრის კლასიკური მეთოდები -----	8
2.3. ქლორიდების განსაზღვრის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები -----	10
2.4. ქლორიდების ფოტომეტრული განსაზღვრა ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატის გამოყენებით -----	11
III. ექსპერიმენტული ნაწილი	
3.1. გამოყენებული, რეაგენტები, ხსნარები და აპარატურა	
3.1.1. გამოყენებული აპარატურა -----	13
3.1.2. გამოყენებული ხსნარები -----	13
IV. ქიმიური ფაქტორების გავლენა ვერცხლისწყლის (II) და დიფენილკარბაზონის კომპლექსის ოპტიკურ თვისებებზე	
4.1 დიფენილკარბაზონის სპირტხსნარისა და ვერცხლისწყლის (II) და დიფენილკარბაზონის მდგრადობა დროში -----	15
4.2. დიფენილკარბაზონის რაოდენობის გავლენა Hg - DC კომპლექსის ოპტიკურ სიმკვრივეზე -----	16
4.3. Hg - DC კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულება ხსნარის pH - ზე -----	17
4.4. ეთანოლის გავლენა Hg - DC კომპლექსის ოპტიკურ სიმკვრივეზე -----	18
4.5. Hg - DC და Hg - Cl - DC სისტემების ოპტიკური სიმკვრივის შესაბამისობა ლამბერტ - ბერის კანონებთან -----	19

V. ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკური თვისებების გამოკვლევა

5.1. ქლორიდ-იონის ტურბიდიმეტრული განსაზღვრა ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის სახით ----- 23

5.2. რეაგენტის ( $\text{AgNO}_3$ ) რაოდენობის გავლენა ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე ----- 24

5.3. ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივის მდგრადობა დროში ----- 25

5.4. მჟავის კონცენტრაციის გავლენა ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე ----- 26

5.5. ეთანოლის კონცენტრაციის გავლენა ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე ----- 26

5.6. მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდების ტურბიდიმეტრული განსაზღვრა ----- 27

VI. მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდიონის განსაზღვრა ბუნებრივ ობიექტებში

6.1. ქლორიდ-იონის განსაზღვრა ბუნებრივ წყლებში ----- 29

6.2. საერთო ქლორის განსაზღვრა მარცვლეულ კულტურებში ----- 31

6.3. საერთო ქლორის განსაზღვრა ქვანახშირში ----- 32

6.4. მოძრავი ქლორის განსაზღვრა ნიადაგში ----- 33

6.5. ქლორიდ-იონის ფოტომეტრული განსაზღვრა ღვინოში ----- 34

VII. დასკვნები ----- 35

VIII. გამოყენებული ლიტერატურა ----- 37

## I. შესავალი

ანალიზური ქიმიის განვითარების ერთ-ერთი სტრატეგიული მიმართულებაა მაკრო- და მიკრომეთოდებიდან ანალიზის ულტრამიკრო მეთოდებზე გადასვლა. ანიონოგენური ელემენტებისგან განსხვავებით, კატიონოგენური ელემენტების ულტრამიკრო რაოდენობების განსაზღვრა თანამედროვე ინსტუმენტული მეთოდებით პრაქტიკაში ფართოდაა დანერგილი. მათგან განსხვავებით მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ანიონოგენური ელემენტების ანალიზურ ქიმიაში ჯერ კიდევ ფართოდაა გამოყენებული ფოტომეტრული მეთოდები.

ანიონოგენურ ელემენტებს შორის ბუნებაში გავრცელებით და გამოყენებით ქლორს ერთ-ერთი წამყვანი ადგილი უკავია. ქიმიურ ელემენტებს შორის, დედამიწის ქერქში გავრცელებით, ქლორი მე-17 ადგილზეა. ქლორი და მისი ნაერთები გამოყენებულია ქიმიურ ნედლეულად, მინერალურ სასუქად, კულინარიაში, სასმელი წყლის სადებიზინფექციოთ, ქლორორგანული ნაერთების ( მათ შორის პესტიციდების ) წარმოებაში და სხვა. ქლორისა და მისი ზოგიერთი ნაერთის ტოქსიკურობის გამო მათი შემცველობა ნორმირებულია. აქედან გამომდინარე ანალიზური ქიმიის პრაქტიკაში აუცილებელია გარემოში, სასმელ წყალში, მყარ და თხევად სათბობში და სხვა ობიექტში ქლორშემცველი ნაერთების კონტროლი.

ბუნებაში ქლორის ძირითადი ( თუ ერთადერთი არა ) ფორმაა ქლორიდები. ქლორიდიონი ფოტომეტრულად ვარგის შეფერილ ნაერთს არ იძლევა. ამიტომ მისი განსაზღვრისათვის გამოყენებულია არაპირდაპირი მეთოდები. ამ მიზნით მოწოდებული ვარიანტებიდან მგრძნობიარობით და სიმარტივით გამორჩეულია მეთოდი, რომელსაც საფუძვლად უდევს ქლორიდიონით ინტენსიურ იისფრად შეფერილი ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატის გაუფერულება.

ჩვენი მიზანი იყო ქლორიდების განსაზღვრის არაპირდაპირი ფოტომეტრული მეთოდის ზოგიერთი საკითხის დაზუსტება და ბუნებრივ ობიექტებში მეთოდის გამოყენების შესაძლებლობის შემოწმება.

## II. ლიტერატურის მიმოხილვა

### 2.1. ქლორიდების გავრცელება ბუნებაში. ნორმატივები და ეკოლოგიური როლი

დედამიწის ქერქში გავრცელების მიხედვით ქლორს შუალედური ადგილი უკავია მაკრო- და მიკროკომპონენტებს შორის. მისი კლარკი ( საშუალო შემცველობა დედამიწის ქერქში ) 0,017 %-ის ტოლია [ 1, 2 , 3 ]. სხვადასხვა მკვლევარის შეფასებით ეს სიდიდე 0,013-სა 0,020 % შორის მერყეობს [ 1 ]. შედარებით ნაკლებია ქლორის შემცველობა ნიადაგებში (კლარკი 0,01 % [ 1, 2 ] ). ქანებში და ნიადაგებში, ჩვეულებრივ, ქლორი გვხვდება ქლორიდების სახით.

მცენარეების სახეობის, ადგილმდებარეობის და ვეგეტაციური პერიოდის მიხედვით მათში ქლორის შემცველობა 0,01-0,30 % ფარგლებში იცვლება [ 1, 2 ,3 ]. მცენარულ საკვებში ( მარცვლეული, ბოსტნეული, ხილი ) ქლორის შემცველობა 20-156 მგ შეადგენს 100 გ პროდუქტში [ 6, 7 ].

ბუნებრივ წყლებში ქლორიდების კონცენტრაცია 0,1-1 მგ/ლ-დან ( ატმოსფერული და მყინვარული წყლები ) ასობით გ/ლ ( მლაშე ტბები, წითელი ზღვის თერმული ნაკადები ) ფარგლებში მერყეობს [ 4, 5 ]. დიდი კონცენტრაციული დიაპაზონით ქლორიდიონი გამორჩეულია ჰიდროსფეროში, რაც მისი ბუნებაში გავრცელებული მარილების ( NaCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub> ) კარგი ხსნადობით ( 264-425 გ/ლ 20<sup>0</sup> C ) აიხსნება [ 2 ].

ქლორიდიონი ზღვებისა და ოკეანის წყლების ძირითადი შემადგენელი კომპონენტია ( ოკეანეში 19,55; შავ ზღვაში 9,63 გ/ლ ) [1, 2, 5 ]. დიდ ზღვრებში მერყეობს ქლორიდების შემცველობა მინერალურ წყლებში. ქლორიდების მაღალი კონცენტრაციით უნიკალურია მინერალური წყალი ლუგელა ( 32,7 გ/ლ ) [ 2, 4 ].

მტკნარ ზედაპირულ წყლებში, იშვითი გამონაკლისით, ქლორიდიონის კონცენტრაცია ნაკლებია 100 მგ/ლ [ 1, 2, 4 ]. საქართველოს მდინარეების, წყალსაცავებისა და მტკნარი ტბების წყლებში მისი შემცველობა არ აღემატება 50 მგ/ლ [ 2, 4 ]. ამ მახასიათებლით ისინი აკმაყოფილებენ სასმელი წყლებისადმი წაყენებულ მოთხოვნას. მოქმედი ნორმატივებით ქლორიდ იონის ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია სასმელ წყალში ნაკლები უნდა იყოს 250-350 მგ/ლ [ 2, 12, 31 ]. ქლორიდიონის უფრო მაღალი შემცველობის შემთხვევაში შესამჩნევი ხდება მომწარო-მლაშე გემო.

ეკოლოგიური თვალთახედვით აქტუალური საკითხია ქლორის შემცველობა მყარ სათბობში. დადგენილია, რომ თუ ქვანახშირში ქლორის მასური წილი აღემატება 0,3-0,7 %, წვის პროცესში მოსალოდნელია ქლორწყალბადის და ზეტოქსიკური დიოქსინების წარმოქმნა [ 8, 9 ]. საქართველოს ( ტყიბულის ) ქვანახშირში ქლორის შემცველობა ამ სიდიდეზე ნაკლებია ( 0,10-0,27 % ) [ 8 ]. ლიტერატურაში არსებული ინფორმაციით სახადასხვა საბადოს ქვანახშირში ქლორის მასური წილი 0,01 – 0,50 %-ის ფარგლებშია [ 8 ]. შედარებით დაბალია მისი შემცველობა ნავთობში ( 0,16-0,80 გ/კგ ) [ 8 ].

ქლორის და მისი ნაერთების მნიშვნელოვანი რაოდენობა ხვდება გარემოში ანთროპოგენური წყაროებიდან ( სასმელი წყლების ქლორირება, მინერალური სასუქები, სამრეწველო და კომუნალური ჩამდინარე წყლები და სხვა ). ცნობილია, რომ კულინარიაში გამოყენებული სუფრის მარილის დღიური ნორმა ერთ სულზე, საშუალოდ 10 გ შეადგენს. გარემოსთვის განსაკუთრებით საზიანოა ქლორშემცველი პესტიციდები [ 5 ].

ლიტერატურაში არსებული ინფორმაციის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ზოგიერთ ბუნებრივ ობიექტში ( ატმოსფერული და მყინვარული წყლები, მცენარეული საკვები პროდუქტები, მყარი და თხევადი სათბობი და სხვა ) ქლორიდების შემცველობა საკმაოდ დაბალია და მათი განსაზღვრა კლასიკური მეთოდებით პრაქტიკულად შეუძლებელია. მაღალმგრძობიარე მეთოდების გამოყენება საჭირო ხდება ზესუფთა რეაქტივების და გამოხდილი წყლის კონტროლის შემთხვევაშიც ( ქლორიდიონის ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია გამოხდილ წყალში 0,02 მგ/ლ ) [ 2, 11 ], აგრეთვე საანალიზო სინჯების შეზღუდული წონაკის შემთხვევებში.

## 2.2. ქლორიდების განსაზღვრის კლასიკური მეთოდები

ბუნებრივ ობიექტებში ქლორიდიონის მაღალი შემცველობის შემთხვევაში გამოყენებულია გრავიმეტრული მეთოდი. საანალიზო ხსნარიდან ქლორიდიონის გამოლექვა ხდება ვერცხლის ნიტრატით სუსტ აზოტმყავა არედან [ 3, 14, 15, 17 ]. ნალექის გამოშრობით 105-110° C მიიღება ასაწონი ფორმა ( AgCl ). მეთოდი დაბალმგრძობიარეა. საიმედო



შედეგის მისაღებად ალიქვოტში ქლორიდიონის შემცველობა არ უნდა იყოს 100-150 მგ-ზე ნაკლები.

ზომიერი რაოდენობა ქლორიდების ( 5-150 მგ/ლ ) განსაზღვრისათვის გამოყენებულია არგენტომეტრული მეთოდის სხვადასხვა ვარიანტი [ 3, 15, 17, 19, 20 ]. მორის მეთოდით ქლორიდიონი იტიტრება ვერცხლის ნიტრატის 0,1 ან 0,01 N ხსნარით ინდიკატორ  $K_2CrO_4$ -ის თანაობისას. ეკვივალენტობის წერტილში წარმოიქმნება ვერცხლის ქრომატის აგურისფერი ნალექი. მორის ვარიანტი საფუძვლად უდევს წყლებში ქლორიდების განსაზღვრის საერთაშორისო სტანდარტს ( ISO 9297 ) [ 18, 25 ]. საანალიზოდ იღებენ 100,0 მლ წყლის სინჯს.

ეკვივალენტობის წერტილის ფიქსირება გაცილებით ადვილია ფოლჰარდის ვარიანტში. საანალიზო ხსნარს ჭარბად ემატება ვერცხლის ნიტრატის ტიტრიანი ხსნარი, რომელსაც უკუტიტრავენ კალიუმის როდანიდის ხსნარით ( ინდიკატორი რკინის (III) ქლორიდი ) [ 3, 15 ].

არგენტომეტრულ ვარიანტებთან შედარებით, მაღალმგრძობირობით გამორჩეულია მერკურიმეტრული მეთოდი ( ტიტრანტი ვერცხლისწყლის (II) ნიტრატი, ინდიკატორი დიფენილკარბაზონი, სუსტი აზოტმჟავა არე, pH 2,5-4,6 [ 3, 15, 19, 22, 24, 25 ]. დამხმარე ინდიკატორად გამოყენებულია ბრომფენოლლურჯი [ 19, 26 ]. მცირე რაოდენობა ქლორიდების განსაზღვრისას რეკომენდებულია გატიტვრა ჩატარდეს წყალ-ეთანოლ არეში [27]. ვ. ხუხიას მიერ ნაჩვენები იყო, რომ მერკურიმეტრული გატიტვრა შეიძლება ჩავატაროთ წყალფაზაშიც [ 27 ]. მეთოდი საშუალებას იძლევა ვიმუშაოთ 0,005-0,001 N ტიტრანტით და ქლორიდიონის განსაზღვრავი მინიმუმი მეთოდის მიკროვარიანტში დავწიოთ 0,01-0,02 მგ/ლ-მდე. ამ შემთხვევაში მიკრობიურეტზე დახარჯული ტიტრანტის მოცულობის ( 0,2-0,3 მლ ) ათვლის ცდომილება იქნება მინიმუმ 10-15 % (მიკროწვეთის მოცულობა 0,02 მლ).

ქლორიდიონის განსაზღვრის გრავიმეტრული და მოცულობითი მეთოდები არასპეციფიურია. განსაზღვრას ხელს უშლიან ბრომიდ-, იოდიდ-, ციანიდ- და როდანდიონები [ 3, 21 ]. ციანიდ და როდანდიონები ბუნებრივ ობიექტებში არ გვხვდება (გამონაკლისია სამრეწველო ჩამდინარე წყლები), ხოლო ბრომიდ და იოდიდიონების შემცველობა 100-ჯერ და 1000-ჯერ ნაკლებია ქლორიდიონის კონცენტრაციაზე [ 2, 4 ]. გამონაკლის შემთხვევაში ( მინერალური და ნავთობის თანმხლები წყლები ) შესაძლებელია მათი წინასწარი დაჟანგვა კალიუმის პერმანგანატით და წარმოქმნილი ბრომის და იოდის ექსტრაქცია ბენზოლით ან ქლოროფორმით [ 21 ].

### 2.3. ქლორიდების განსაზღვრის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები

მცირე რაოდენობა ქლორიდების განსაზღვრის ფიზიკურ-ქიმიურ მეთოდებს შორის ნეფელომეტრული და ტურბიდიმეტრული მეთოდები უძველესია [ 3, 15 ]. ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივე მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, ამიტომ განმეორებადი შედეგების მიღება გაძნელებულია [ 21 ]. მიუხედავად ამისა, სიმარტივისა და მაღალი მგრძობიარობის გამო ( განსასაზღვრავი მინიმუმი 0,01 მგ 100 მლ-ში [ 22 ] ), ტურბიდიმეტრული ვარიანტი გამოყენებულია გამოხდილ წყალში ქლორიდების კონტროლისათვის. მეთოდის განსასაზღვრავი მინიმუმი 0,2 მგ/ლ ქლორიდიონია, ზედა ზღვარი კი 4,0 მგ/ლ [ 23 ].

ქლორიდების ფოტომეტრული განსაზღვრის ზოგიერთი არაპირდაპირი მეთოდი დაფუძნებულია ქლორიდიონით  $PO_4^{3-}$  და  $CrO_4^{2-}$  გამოძვევებაზე მცირედხსნადი ნალექებიდან (  $Ag_3PO_4$ ,  $Ag_2CrO_4$  ) [ 3, 22, 28 ]. ხსნარში გადასული ქლორიდიონის ეკვივალენტური რაოდენობა ფოსფატ- ან ქრომატიონები ისაზღვრება ფოტომეტრულად. მეთოდების ნაკლია ნელი, ზოგჯერ კი არასრულად მიმდინარე იონმიმოცვლის პროცესი მყარ და თხევად ფაზებს შორის.

მაღალმგრძობიარობით გამოირჩევა ქლორიდების განსაზღვრის ფოტომეტრული მეთოდი ( განსასაზღვრავი მინიმუმი 0,05 მგ/ლ  $Cl^-$  [ 3, 28, 29 ] ), რომელიც დაფუძნებულია ქლორიდიონით ვერცხლისწყლის ( II ) როდანიდიდან როდანიდიონის გამოძვევებაზე [ 3, 15, 28 ]. ვერცხლისწყლის კომპლექსიდან გამოძვევებული როდანიდიონი ფოტომეტრულად ისაზღვრება რკინის ( III ) როდანიდის სახით. საიმედო შედეგის მისაღებად აუცილებელია რეკომენდებული პირობების მკაცრი დაცვა, რადგან ფოტომეტრული ფორმის ოპტიკური სიმკვრივე დამოკიდებულია რეაგენტების კონტაქტის ხანგრძლივობაზე, ხსნარის pH-ზე, ტემპერატურაზე და განათებაზე [ 29 ].

მცირე რაოდენობა ქლორიდების განსაზღვრის სხვა ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებიდან ანალიზური ქიმიის პრაქტიკაში გამოყენებულია იონსელექტიური და იონური ქრომატოგრაფიის მეთოდები [ 19, 30 ].

## 2.4. ქლორიდების ფოტომეტრული განსაზღვრა ვერცხლისწყლის (II)

### დიფენილკარბაზონატის გამოყენებით

1924 წელს ი. კოლტგოვის მიერ დამუშავებული იყო ქლორიდების ფოტომეტრული განსაზღვრის ორიგინალური მეთოდი, რომელსაც საფუძვლად ედო ქლორიდიონით ვერცხლისწყლის ( II ) დიფენილკარბაზონატის კომპლექსის გაუფერულება [ 22 ]. მას შემდეგ მეთოდმა მრავალჯერადი მოდიფიცირება განიცადა, მაგრამ ზოგიერთი საკვანძო საკითხი დღემდე რჩება დასაზუსტებელი.

დიფენილკარბაზონი ვერცხლისწყლის ( II ) იონთან წარმოქმნის ინტენსიურ იისფრად შეფერილ შიგალკომპლექსურ ნაერთს ( შთანთქმის მოლური კოეფიციენტი  $6,5 \cdot 10^4$  [ 2, 13, 31 ] ). მეთოდი მაღალმგრძობიარეა და საშუალებას იძლევა განისაზღვროს 0,05 - 0,1 მგ/ლ ქლორი [ 3, 16, 29 ]. კომპლექსის შთანთქმის მაქსიმუმი სხვადასხვა ავტორის მონაცემით განსხვავებულია ( 525 ნმ [ 3, 22 ], 530-550 ნმ [ 3 ], 540-552 ნმ [ 32 ], 562 ნმ [ 31 ], 560-574 ნმ [ 2 ] ). სხვა ფაქტორებთან ერთად კომპლექსის შეფერილობის ინტენსივობა დამოკიდებულია ხსნარის pH-ზე და რეაგენტების კონტაქტის ხანგრძლიობაზეც [ 13, 29 ].

სხვადასხვა მკვლევარის მიერ ქლორიდების ფოტომეტრული განსაზღვრისათვის რეკომენდებული მჟავიანობა და ოპტიმალური pH საკმაოდ განსხვავებულია ( 1,5-2,0 [ 21, 30 ], 2,0-2,5 [ 32 ], 3,0-3,5 [ 19 ], 3,4 [ 28 ], 3,5-4,0 [ 3 ], 5,0-6,5 [ 21 ], 6,5 [ 31 ] ). საკმაოდ დიდი აპაზონში მერყეობს ( 0,02-0,2 N HNO<sub>3</sub> ) აზოტმჟავას ოპტიმალური კონცენტრაციაც [ 30, 32 ].

ვერცხლისწყალ-დიფენილკარბაზონის კომპლექსი არ გამოირჩევა მდგრადობით [ 3, 28 ]. უმდგრადობის მიზეზებია ტემპერატურა ( > 25° C [ 3, 31 ], მზის სინათლე და სხვა [ 3, 29, 31 ] ). ამიტომ რეკომენდებულია ექსტრაქციულ-ფოტომეტრული მეთოდის გამოყენება. კომპლექსის ექსტრაქციას ახდენენ ბენზოლით ან ქლოროფორმით [ 3, 28 ].

სამუშაოდ გამოყენებულია დიფენილკარბაზონის ახლად დამზადებული 0,1-2 % ეთანოლხსნარები, რომლის შენახვა უმჯობესია ცივად, სიბნელეში [ 3 ], ასევე ვარგისად ითვლება ჩვეულებრივ პირობებში შენახული რეაგენტიც [ 3, 13 ]. დიფენილკარბაზონი ვერცხლისწყლის გარდა შეფერილ კომპლექსებს წარმოქმნის კადმიუმთან, სპილენძთან სხვა [ 17, 30 ]. ხელისშემშლელი გავლენის აცლება შეიძლება მათი წინასწარი ექსტრაქციით ქლოროფორმით, ანდა შენიღბვით ტრიეთანოლამინით [ 3 ].

ლიტერატურაში [ 3, 15, 16, 21, 22 ] ქლორიდების ფოტომეტრული მეთოდით განსაზღვრის რამდენიმე ვარიანტია მოცემული.

ი. ლურიეს [ 16, 21 ] მოწოდებული აქვს სტანდარტული სერიის მომზადების ორიგინალური ხერხი. სინჯარებში შეაქვთ 10,0 მლ ორჯერ გამოხდილი წყალი, კლებადი რაოდენობა ( 0,97; 0,94 და ა.შ. მლ  $Hg(NO_3)_2$ -ის ხსნარის ( ტიტრი 0,1 მგ  $Hg^{2+}$  ), გამოხდილი წყლით მოცულობები მიჰყავთ 11,0 მლ-მდე და უმატებენ 2-2 წვეთ დიფენილკარბაზონის 1 %-იან ეთანოლხსნარს. პირველი სინჯარის შეფერილობა შეესაბამება 1 მკგ  $Cl^-$ , მეორესი 2 მკგ  $Cl^-$  და ა.შ. სტანდარტული სერიის მე-10 სინჯარის შეფერილობა, რომელშიც 0,72 მლ  $Hg(NO_3)_2$  იყო შეტანილი, 10,0 მკგ  $Cl^-$ -ის შესაბამისია. საკვლევი ხსნარის და სტანდარტული სერიების შეფერილობების შედარებას, ან ფოტომეტრირებას ახდენენ დიფენილკარბაზონის ხსნარის დამატებიდან 10-15 წუთის შემდეგ.

[ 22 ] - ის მიხედვით სამუშაოდ გამოყენებულია  $Hg(NO_3)_2$ -ს 0,025 % ხსნარი 0,008 მოლურ აზოტმჟავაში და დიფენილკარბაზონის 1 % ეთანოლხსნარი.

100 მლ საზომ კოლბებში შეაქვთ 10.0-10,0 მლ  $Hg(NO_3)_2$  5,0; 10,0 და 15,0 მლ 0,02 მგ/მლ კონცენტრაციის  $NaCl$ -ის ხსნარი. მომდევნო კოლბებში ათავსებენ საკვლევ ხსნარებს ( pH 5-6 ). ხსნარებს ემატება 5-5 მლ დიფენილკარბაზონი და გამოხდილი წყლით მოცულობები მიჰყავთ 100,0 მლ-მდე. 18-20 წუთის შემდეგ 525 ნმ ტალღაზე ზომავენ ხსნარების ოპტიკურ სიმკვრივეს.

ჩვენთვის ხელმისაწვდომ ლიტერატურაში არსებული ინფორმაციის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ფოტომეტრული მეთოდი, რომელსაც საფუძვლად უდევს ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატის გაუფერულება, შეიძლება წარმატებით იქნეს გამოყენებული ბუნებრივ ობიექტებში მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლოიდების განსაზღვრისათვის. ამასთან განმეორებადი და საიმედო შედეგების მისაღებად აუცილებელი იქნება ანალიზის შედეგზე მოქმედი ფაქტორების შერჩევა - დაზუსტება.

ჩვენი მიზანი იყო ვერცხლისწყალი (II) - დიფენილკარბაზონი - ქლორიდიონის სისტემის ოპტიკურ სიმკვრივეზე სხვადასხვა ფაქტორის ( pH, ორანული გამხსნელები, ტემპერატურა, სინათლე, რეაგენტების კონტაქტის ხანგრძლიობა და სხვა ) გავლენის შესწავლა და მიღებული შედეგების საფუძველზე მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდების ფოტომეტრული განსაზღვრის მეთოდის ოპტიმალური პირობების შერჩევა. დადებითი შედეგების მიღების შემთხვევაში შესაძლებელი იქნება მიკრორაოდენობა ქლორიდების საიმედო განსაზღვრა ჩატარდეს ვერცხლისწყალ-დიფენილკარბაზონის კომპლექსის ექსტრაქციის გარეშე.

### III. ექსპერიმენტული ნაწილი

#### 3.1. გამოყენებული რეაგენტები, ხსნარები და აპარატურა

##### 3.1.1. გამოყენებული აპარატურა

ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატის ოპტიკურ სიმკვრივეს ვზომავდით 20 და 50 მმ ფენის სისქის მქონე კიუვეტებში, 540 ნმ სიგრძის (მწვანე შუქვილტრი) ტალღაზე, KΦK-2M მარკის ფოტომეტრის გამოყენებით.

წყალბადიონების კონცენტრაციას ვაკონტროლებდით პოტენციომეტრული მეთოდით pH-673.M მარკის pH მეტრით. ხელსაწყოს ჩვენებას ვამოწმებდით სათანადო ბუფერული ხსნარებით.

ორგანული წარმოშობის სინჯების (მარცვლეული კულტურები, ქვანახშირი) მინერალიზებისათვის ვიყენებდით თერმოლეგულატორით აღჭურვილ ელექტროდუმელს.

##### 3.1.2. გამოყენებული ხსნარები

**ორჯერ გამოხდილი წყალი.** წყლის გამოსახდელი კუბიდან მიღებულ დისტილატს მეორეჯერ ვხდიდით პირექსის მინისგან დამზადებულ კოლბაში. მიღებულ ბიდისტილატს ვერცხლის ნიტრატით ვამოწმებდით ქლორიდიონის შემცველობაზე.

**აზოტმჟავით შემჟავებული ორჯერ გამოხდილი წყალი.** 250-300 მლ ორჯერ გამოხდილ წყალს განზავებული აზოტმჟავით ვამჟავებდით pH 3-4-მდე ( სინჯი უნივერსალური ინდიკატორის ქაღალდით ).

**ნატრიუმის ქლორიდის 0,1 N ხსნარი.** ნატრიუმის ქლორიდის 0,1 N სტანდარტულ ხსნარს ვამზადებდით შესაბამისი ფიქსანალიდან. ძირითადი ხსნარის 10-ჯერ და 100-ჯერ განზავებით ვღებულობდით 0,01 და 0,001 N ხსნარებს.

საკალიბრო გრაფიკის ასაგებად 0,1 N ნატრიუმის ქლორიდის სტანდარტული ხსნარიდან ვამზადებდით ხსნარს, რომლიც შეიცავდა 0,1000 მგ/მლ ქლორიდიონს. ამისთვის 2,82 მლ 0,1 N NaCl ვათავსებდით 100 მლ საზომ კოლბაში და ორჯერ გამოხდილი წყლით

ვავსებდით ჭდეშდე. სათანადო განზავებით ვღებულობდით 0,01 და 0,001 მგ/მლ სამუშაო ხსნარებს.

**დიფენილკარბაზონის 1 %-იანი სპირტხსნარი.** 0,5 გ დიფენილკარბაზონს ვათავსებდით მიხეხილსაცობიან კოლბაში და ვუმატებდით 50 მლ ეთანოლს.

**ვერცხლისწყლის (II) ნიტრატის 0,1 N ხსნარი.** ქიმიურად სუფთა პრეპარატიდან ვიღებდით გათვლილ რაოდენობა წონაკს, ვუმატებდით რამდენიმე მლ განზავებულ აზოტმჟავას, ხსნარი გადაგვქონდა 0,5 ლ საზომ კოლბაში და ორჯერ გამოხდილი წყლით ვავსებდით 500 მლ-დე. მიღებული ხსნარის ზუსტ კონცენტრაციას ვადგენდით მერკურიმეტრული მეთოდით ნატრიუმის ქლორიდის სტანდარტული ხსნარით, ინდიკატორად დიფენილკარბაზონის გამოყენებით. ძირითადი ხსნარის სათანადო განზავებით ვამზადებდით 0,01 და 0,001 N ხსნარებს.

**ვერცხლის ნიტრატის 1 N ხსნარი.** ქიმიურად სუფთა პრეპარატიდან ვიღებდით 4.25 გრამ წონაკს და ორჯერ გამოხდილი წყლით ვავსებდით 25 მლ-მდე.

## IV. ქიმიური ფაქტორების გავლენა Hg - DC კომპლექსის ოპტიკურ სიმკვრივეზე

### 4.1. დიფენილკარბაზონის სპირტხსნარისა და ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატის მდგრადობა დროში

დიფენილკარბაზონის სპირტხსნარის დროში მდგრადობის შესახებ მკვლევართა აზრი განსხვავებულია [ 3, 13 ]. საკითხში გარკვევის მიზნით დიფენილკარბაზონის ხსნარის დამზადებიდან გარკვეული დროის გასვლის შემდეგ ვლებულობდით და ვზომავდით Hg - DC კომპლექსის ოპტიკურ სიმკვრივეს. ამ მიზნით 10 მლ შემჟავებულ გამოხდილ წყალში შეგვქონდა 0,5 მლ 0,001 N Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ხსნარი, ვურევდით და ვუმატებთ 0,5 მლ დიფენილკარბაზონის 1 %-იან სპირტხსნარს. ხუთი წუთის შემდეგ ვზომავდით ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს. მიღებული შედეგები გვიჩვენებს, რომ დიფენილკარბაზონატის 1 %-იან სპირტხსნარი დამზადებიდან 2 დღის შემდეგ სტაბილურ შედეგებს იძლევა (ცხრილი 1).

ცხრილი 1

დიფენილკარბაზონის სპირტხსნარის მდგრადობა დროში

დღე - ღამე	A	დღე - ღამე	A
0	0,80	3	0,90
1	0,75	7	0,90
2	0,90	15	0,90

შევისწავლეთ აგრეთვე ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატის მდგრადობა დროში. ამ მიზნით ზემოთ აღწერილ პირობებში ვლებულობდით ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატს, რომლის ოპტიკურ სიმკვრივეს ვზომავდით 5, 10, 30 და ა.შ. წუთის შემდეგ. მიღებულმა შედეგებმა გვიჩვენა, რომ კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივე დროში მდგრადობით არ გამოირჩევა. ამიტომ განმეორებადი შედეგების მისაღებად საჭიროა კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივის კონტროლი მისი მიღებიდან ზუსტად განსაზღვრულ დროში.

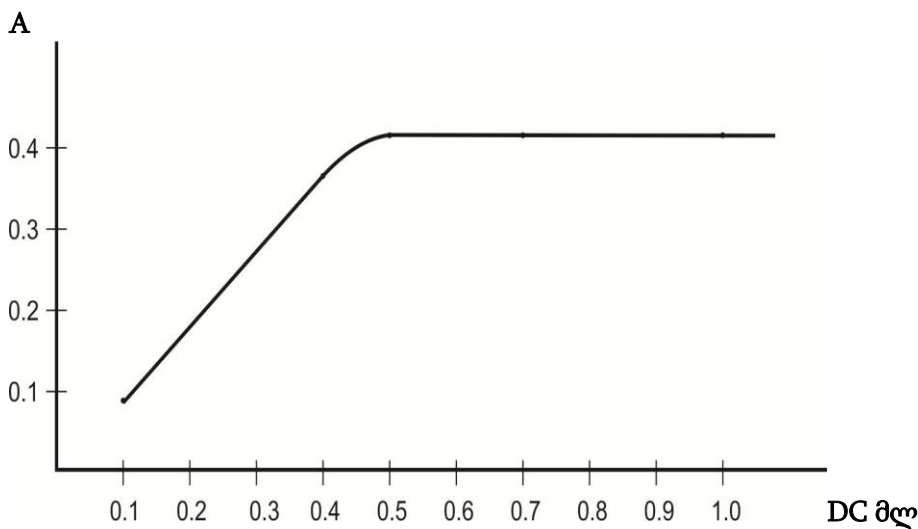
#### 4.2. დიფენილკარბაზონის რაოდენობის გავლენა Hg – DC კომპლექსის ოპტიკურ სიმკვრივეზე

დიფენილკარბაზონის 1 %-იანი ეთანოლხსნარის ოპტიმალური რაოდენობის დადგენის მიზნით 0,3 მლ 0,001 N Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> შემცველ ხსნარს ( საერთო მოცულობა 10,0 მლ ) ვუმატებდით მზარდ რაოდენობა DC-ის 1 % ეთანოლხსნარს და 5 წუთის შემდეგ 540 ნმ ტალღაზე ვზომავდით კომპლექსის ოპტიკურ სიმკვრივეს. მიღებული შედეგებიდან (ცხრილი 2, ნახ. 1), ჩანს. რომ DC-ს რაოდენობის გაზრდით 0,5 მლ-მდე, კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივე იზრდება, შემდეგ კი სტაბილური ხდება. აქედან გამომდინარე 1%-იანი დიფენილკარბაზონის ეთანოლხსნარის ოპტიმალურ რაოდენობად უნდა ჩაითვალოს 0,5 მლ. თუ საანლიზო ხსნარის საერთო მოცულობა გაიზრდება 20,0 მლ-მდე, DC-ის რაოდენობა შესაბამისად გაიზრდება 1,0 მლ-მდე.

#### ცხრილი 2

1 %-იანი დიფენილკარბაზონის (DC) ეთანოლხსნარის რაოდენობის გავლენა ვერცხლისწყლის დიფენილკარბაზონატის კომპლექსის ოპტიკურ სიმკვრივეზე (0,3 მლ 0,001 N Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, V<sub>(საერთო)</sub> = 10,0 მლ, λ = 540 ნმ, l = 2 სმ)

DC, მლ	A	DC, მლ	A
0,1	0,09	0,5	0,42
0,2	0,15	0,7	0,42
0,3	0,35	1,0	0,42
0,4	0,37		



ნახ. 1. DC-ის რაოდენობის გავლენა Hg – DC კომპლექსის ოპტიკურ სიმკვრივეზე



### 4.3. Hg – DC კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულება ხსნარის pH -ზე

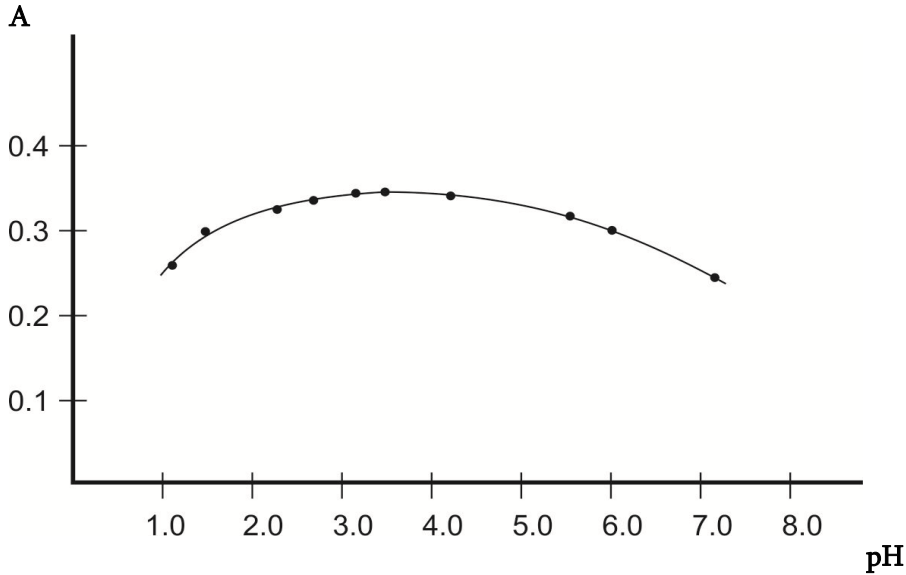
ლიტერატურაში არსებული ინფორმაციით, დიფენილკარბაზონის თანაობისას ქლორიდიონის მოცულობითი მერკურიმეტრული მეთოდით განსაზღვრისათვის რეკომენდებული pH-ის სიდიდეები ფართე ზღვრებში (1,5 – 6,5) ვარირებს. მკვლევართა აზრი განსხვავებულია აგრეთვე დიფენილკარბაზონით ვერცხლისწყლის (II) ფოტომეტრული მეთოდით განსაზღვრისათვის საჭირო pH - ის შესახებაც [ 3, 22 ]. აქედან გამომდინარე საჭიროდ ჩავთვალეთ დაგვეზუსტებინა pH-ის ზღვრები, რომელშიც მიიღება სტაბილური, მაქსიმალური ოპტიკური სიმკვრივის მქონე ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატის კომპლექსი. ამ მიზნით კლებადი კონცენტრაციის აზოტმჟავას ხსნარებში შეგვეკონდა 0,3 მლ 0,001 N Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> და 1 მლ დიფენილკარბაზონის 1 %-იანი სპირტხსნარი. ხსნარის მოცულობა გამოხდილი წყლით მიგვეყავდა 25,0 მლ-მდე და 5 წუთის შემდეგ 540 ნმ სიგრძის ტალღაზე 5 სმ კიუვეტებში ვზომავდით ოპტიკურ სიმკვრივეს. მოდელურ ხსნარებში ნეიტრალური არის შესაქმნელად ვიყენებდით 0,1 N NaHCO<sub>3</sub>-ის ხსნარს. ხსნარების pH გათვლილია (pH < 2) ან გაზომილია პოტენციომეტრული მეთოდით.

მიღებული შედეგებიდან ( ცხრილი 3, ნახ. 2 ) ჩანს, რომ Hg – DC კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივე მაქსიმალური და სტაბილურია 2,5 – 4 pH-ის ზღვრებში.

#### ცხრილი 3

Hg – DC კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე

pH	A	pH	A
1,1	0,26	3,52	0,35
1,5	0,30	4,21	0,34
2,24	0,33	5,45	0,32
2,70	0,34	6,08	0,30
3,12	0,35	7,20	0,27



**ნახ. 2. Hg – DC კომპლექსის ფარდობითი ოპტიკური სიმკვრივის (მაქსიმალური შედეგი ჩათვლილია 100-ის ტოლად) დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე**

ამრიგად დადგენილია, რომ მაქსიმალური, სტაბილური ოპტიკური სიმკვრივის მქონე Hg – DC კომპლექსი ფიქსირდება 2,5 – 4 pH-ის ზღვრებში.

#### 4.4. ეთანოლის გავლენა Hg – DC კომპლექსის ოპტიკურ სიმკვრივეზე

მერკურიმეტრული მეთოდით მიკრორაოდენობა ქლორიდების განსაზღვრის მეთოდის მგრძობიარობის გაზრდის მიზნით რეკომენდებული იყო წყალ-ეთანოლ არის გამოყენება [ 3, 27 ]. მიკრო - და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდების ფოტომეტრული მეთოდით განსაზღვრის შედეგებზე ეთანოლის გავლენის დადგენის მიზნით, შევისწავლეთ ეთანოლის მზარდი კონცენტრაციის ( 0, 10, 30 და 50 % ) გავლენა Hg – DC კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივეზე ( ცხრილები 4 და 5 ).

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ სისტემაში ეთანოლის კონცენტრაციის გაზრდით Hg – DC კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივე და მისი მდგრადობა დროში შესამჩნევად კლებულობს. აქედან გამომდინარე შემდგომი განსაზღვრები ტარდებოდა წყლფაზაში.

ცხრილი 4

Hg – DC კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივის მდგრადობა დროში წყალ - ეთანოლ არეში  
(0,5 მლ 0,001 N Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0,5 მლ DC, V<sub>(საერთო)</sub> = 10,0 მლ)

ეთანოლი, მლ	5 წუთი	10 წუთი	15 წუთი	20 წუთი
0	0,75	0,70	0,62	0,58
1	0,70	0,66	0,60	0,58
3	0,64	0,54	0,52	0,48
5	0,60	0,40	0,35	0,33

ცხრილი 5

Hg – DC კომპლექსის ფარდობითი ოპტიკური სიმკვრივის მდგრადობა დროში წყალ -  
ეთანოლ არეში. კომპლექსის საწყისი ოპტიკური სიმკვრივე ( 5 წუთი )  
ჩათვლილია 100 %-ად

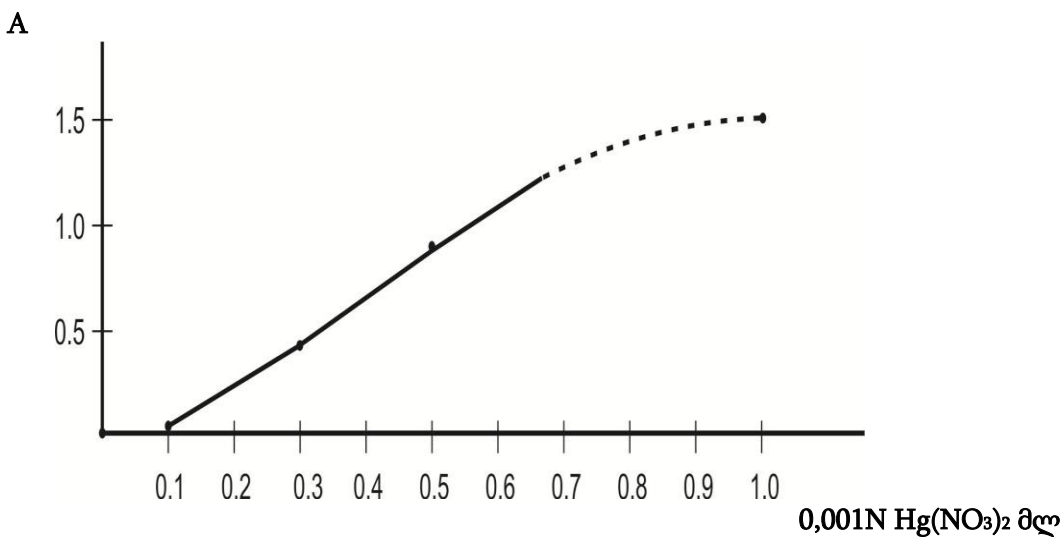
ეთანოლი, მლ	5 წუთი	10 წუთი	15 წუთი	20 წუთი
0	100	93	83	77
1	100	94	85	83
3	100	84	81	75
5	100	67	58	55

4.5. Hg – DC და Hg –Cl – DC სისტემების ოპტიკური სიმკვრივის შესაბამისობა  
ლამბერტ-ბერის კანონებთან

ქლორიდიონის ფოტომეტრული მეთოდით განსაზღვრისათვის საჭირო საკალიბრო გრაფიკების ასაგებად საჭირო იყო Hg – Cl – DC სისტემაში Hg<sup>2+</sup> მაქსიმალური კონცენტრაციის დადგენა, რომლის თანაობისას კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივე ემორჩილება ლამბერტ - ბერის კანონს. ამ მიზნით მოდელოვანი ხსნარებში, სხვა კომპონენტების (აზოტმჟავა, დიფენილკარბაზონი, წყალი) სტაბილური შემცველობის პირობებში, თანდათან ვზრდით 0,001 N Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> მოცულობას 0-დან 1,0 მლ-მდე. მიღებული შედეგების ( ცხრილი 6, ნახაზი 3) ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სისტემაში (v = 10 მლ) > 0,5 მლ 0,001 N Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-ის ( მკგ Hg<sup>2+</sup>) შემცველობის შემთხვევაში, კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივე აღარ ემორჩილება ფოტომეტრიის ძირითად კანონებს.

Hg – DC კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულება Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-ის რაოდენობაზე (λ = 540 ნმ, l = 2,0 სმ)

0,001 N Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , მლ	H <sub>2</sub> O, მლ	DC, მლ	A
0,00	10,0	0,5	0,000
0,10	9,9	0,5	0,035
0,30	9,7	0,5	0,420
0,50	9,5	0,5	0,850
1,00	9,0	0,5	1,500



ნახ. 3. Hg – DC კომპლექსის ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულება Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> რაოდენობაზე

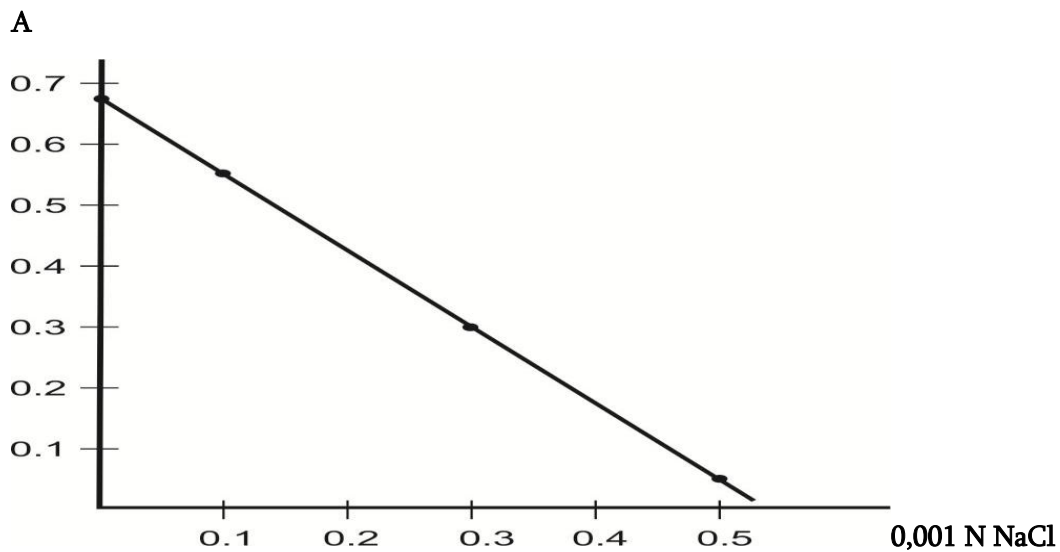
მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდების ფოტომეტრული მეთოდით განსაზღვრისათვის საკალიბრო გრაფიკის ასაგებად საჭირო მონაცემების მისაღებად სინჯარაში ან კოლბებში თანმიმდევრულად შეგვქონდა ორჯერ გამოხდილი წყალი (რაოდენობები მოცემულია ცხრილში 7), 0,5 მლ 0,001 N Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0,5 მლ განზავებული აზოტმჟავა, ნატრიუმის ქლორიდის სტანდარტული ხსნარის მზარდი რაოდენობა, 0,5 მლ დიფენილკარბაზონის სპირტხსნარი და 5 წუთის შემდეგ ვზომავდით ოპტიკურ სიმკვრივეს (λ= 540 ნმ, l=2 სმ კიუვეტი). მეორე, ანალოგიურ ვარიანტში ( ხსნარის საერთო მოცულობა 25 მლ, 5 სმ კიუვეტი ) დიფენილკარბაზონის რაოდენობა ორმაგდებოდა. მიღებული შედეგებით ( ცხრილები 7 ) აგებულია საკალიბრო გრაფიკი ( ნახ. 4 ).

მონაცემები საკალიბრო გრაფიკის ასაგებად (სისტემა Hg – Cl – DC)  
 ა.  $v = 10,0$  მლ

0,001 N Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ,მლ	0,001 N NaCl, მლ	Cl <sup>-</sup> , მკგ	H <sub>2</sub> O, მლ	DC, მლ	A
0,50	0,00	0,0	10,0	0,5	0,750
0,50	0,10	3,5	9,9	0,5	0,520
0,50	0,30	10,5	9,7	0,5	0,280
0,50	0,50	17,5	9,5	0,5	0,050

ბ.  $v = 25,0$  მლ

0,001 N Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ,მლ	0,001 N NaCl, მლ	Cl <sup>-</sup> , მკგ	H <sub>2</sub> O, მლ	DC, მლ	A
0,50	0,00	0,0	24,0	1,0	0,675
0,50	0,10	3,5	23,9	1,0	0,560
0,50	0,30	10,5	23,7	1,0	0,300
0,50	0,50	17,5	23,5	1,0	0,050



ნახ. 4. Hg – Cl – DC სისტემის ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულება Cl<sup>-</sup> რაოდენობაზე

მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ფოტომეტრული მეთოდით შესაძლებელია 0,2-0,3 მკგ ქლორიდის განსაზღვრა. სისტემაში 1 მკგ  $\text{Cl}^-$  შეტანით ოპტიკური, სიმკვრივე საშუალოდ 0,15 ერთეულით იცვლება. მიკრო მოცულობითი მერკურიმეტრული მეთოდის მგრძობიარობა კი 10 - 20 მკგ ქლორიდიონს შეადგენს ( 0,3-0,5 მლ 0,001 N სამუშაო ხსნარის შესაბამისი რაოდენობა). ამრიგად, ქლორიდების განსაზღვრის ფოტომეტრული მეთოდი ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატის გამოყენებით, მერკურიმეტრულ მეთოდთან შედარებით, თითქმის 50-100 - ჯერ მგრძობიარეა.

ამასთან, განმეორებადი შედეგების მისაღებად აუცილებელია რეაგენტების კონტაქტის ხანგრძლიობის მკაცრი დაცვა, რადგან ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატის ოპტიკური სიმკვრივე დროში არ არის მდგრადი. გარდა ამისა, დაყოვნებისას კოლბისა და კიუვეტის კედლებზე ხდება შეფერილი კომპლექსის გამოლექვა, რაც დამატებით სირთულეებს ქმნის.

## V. ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკური თვისებების გამოკვლევა

### 5.1. ქლორიდიონის ტურბიდიმეტრული განსაზღვრა ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის სახით

მიუხედავად გარკვეული სირთულეებისა არაქრომოფორული იონების ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$  და სხვა) განსაზღვრისათვის ანალიზური ქიმიის პრაქტიკაში გამოყენებულია მაღალმგრძობიარე ნეფელომეტრული და ტურბიდიმეტრული მეთოდები [ 3, 14, 22, 23 ]. ტურბიდიმეტრული მეთოდის ძირითადი ნაკლის - ანალიზის შედეგების დაბალი განმეორებადობის მთავარი მიზეზებია პოლიდისპერსული სუსპენზიების წარმოქმნა და მათი სედიმენტაცია. სულფატ-იონების ტურბიდიმეტრული განსაზღვრის ახალი ვარიანტის დამუშავებისას ნაჩვენებია იყო, რომ ეთანოლარეში მიიღება შედარებით მონოდისპერსული სუსპენზია, რომლის სედიმენტაციის სიჩქარე ეთილენგლიკოლის ან გლიცერინის თანაობისას დაბალია [ 14, 33 ]. ამ ეტაპზე ჩვენი ამოცანა იყო შეგვესწავლა სხვადასხვა ფაქტორის, მათ შორის ეთანოლის და ეთილენგლიკოლის გავლენა ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ თვისებებზე.

სუსპენზიის მიერ გაფანტული სინათლის ენერგია, რელეის კანონის მიხედვით, დამოკიდებულია ნაწილაკების რაოდენობაზე, მოცულობაზე და ტალღის სიგრძეზე [ 14 ]. ტალღის სიგრძის შემცირებით იზრდება სუსპენზიის მიერ გაფანტული სინათლის ინტენსივობა და შესაბამისად მისი ოპტიკური სიმკვრივე. სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულება ნალექის მარცვლის ზომაზე რთულია. ბარიუმის სულფატის მაგალითზე ნაჩვენებია იყო, რომ ნაწილაკების საშუალო ზომის გაზრდით 1-1,5 მკმ-მდე სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივე ჯერ იზრდება, შემდეგ კი მცირდება [ 14 ].

$$NV^2$$

$$I_r = K I_0 \text{-----}$$

$$\lambda^4$$

სადაც  $K$  პროპორციულობის კოეფიციენტია,  $I_0$  და  $I_r$  სუსპენზიაზე დაცემული და გაფანტული სინათლის ენერგიაა,  $N$  და  $V$  ნაწილაკების რაოდენობა და მოცულობა,  $\lambda$  ტალღის სიგრძე.

**5.2. რეაგენტის (AgNO<sub>3</sub>) რაოდენობის გავლენა ვერცხლის ქლორიდის  
სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე**

ვერცხლის ნიტრატის ოპტიმალური რაოდენობის დადგენის მიზნით ( შეფასების კრიტერიუმი - სუსპენზიის მაღალი, მდგრადი ოპტიკური სიმკვრივე ) 1,00 მლ 0,001 N NaCl და 1,0 მლ 1,0 N აზოტმჟავა შეგვქონდა დაახლოებით 20 მლ ორჯერ გამოხდილ წყალში, ვუმატებთ მზარდ რაოდენობა 10 %-იანი ვერცხლის ნიტრატის ხსნარს, ვავსებდით 25,0 მლ-მდე, ვურევდით და 20 წუთის შემდეგ 5 სმ ფენის სისქის კიუვეტში ვზომავდით სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეს ( ლურჯი შუქფილტრი ). მიღებული შედეგები მოტანილია 8 ცხრილში.

**ცხრილი 8**

**ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულება  
დამლექავი რეაგენტის რაოდენობაზე**

1 N AgNO <sub>3</sub> , მლ	A		1 N AgNO <sub>3</sub> , მლ	A	
0,1	0,33	0,34	0,50	0,28	0,28
0,3	0,29	0,30	1,00	0,26	0,27

დამლექავი რეაგენტის რაოდენობის გაზრდით ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივის კლების მიზეზად განსხვავებული დისპერესობის ხარისხის ნაწილაკების წარმოქმნა უნდა ჩაითვალოს [ 14 ]. მიღებული შედეგებიდან რეაგენტის ოპტიმალურ რაოდენობად 0,5 -1,0 მლ 10 %-იანი ვერცხლის ნიტრატი უნდა ჩაითვალოს, რომლის თანაობისას შედარებით სტაბილური შედეგები მიიღება.



**5.3. ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივის  
მდგრადობა დროში**

ტურბიდიმეტრულ მეთოდში განსასაზღვრავი ნივთიერების საანალიზო ფორმა სუსპენზიაა, რომლის ოპტიკური სიმკვრივე სედიმენტაციისა და ნალექის მომწიფების პროცესში მისი დისპერსობის ხარისხის ცვლილების გამო დროში არამდგრადია. ნალექის მომწიფების დაჩქარების მიზნით ზოგიერთი მკვლევარი ურჩევს მიღებული სუსპენზიის გათბობას 40° C-მდე [ 3, 22 ]. ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივის დროში მდგრადობის შემოწმების მიზნით ახლადმიღებული სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეს ვზომავდით დროის გარკვეულ მონაკვეთებში ( ცხრილი 9 ).

**ცხრილი 9**

**ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის მდგრადობა დროში. აღებულია 0,5 (A<sub>1</sub>) მლ და 1,0 (A<sub>2</sub>)  
მლ 0,001 N NaCl**

დრო, წუთი	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	დრო, წუთი	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
0	0,09	0,17	10	0,13	0,22
3	0,11	0,19	20	0,14	0,25
5	0,12	0,20	30	0,15	0,25

დაყოვნების პროცესში სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივის ზრდის მიზეზები სუსპენდირებული ნაწილაკების დისპერსობის ხარისხის ცვლილება და ქლორიდ-იონის დაბალი კონცენტრაციით გამოწვეული ნალექწარმოქმნის დაბალი სიჩქარე უნდა ჩაითვალოს. დამლექავი რეაგენტის დამატებიდან 20–25 წუთის შემდეგ ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივე სტაბილური ხდება ( ცხრილი 9 ). აქედან გამომდინარე სუსპენზიის სტაბილიზირებისათვის ეთილენგლიკოლის, ან გლიცერინის გამოყენება საჭირო არ არის.

**5.4. მჟავას კონცენტრაციის გავლენა ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე**

ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე აზოტმჟავას კონცენტრაციის გავლენის შესწავლის მიზნით 20 მლ ორჯერ გამოხდილ წყალში შეგვქონდა 1,00 მლ 0,001 N NaCl, მზარდი რაოდენობა აზოტის მჟავა, 1,00 მლ 1 N AgNO<sub>3</sub>, ვავსებდით 25,0 მლ-მდე და 20 წუთის შემდეგ ვზომავდით სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეს.

მიღებული შედეგებიდან ( ცხრილი 10 ) ჩანს, რომ სარეაქციო არეში აზოტმჟავის კონცენტრაციის გაზრდით იცვლება ნალექის დისპერსობის ხარისხი, რაც აისახება სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივეზე. მჟავის მაღალი კონცენტრაციის შემთხვევაში (> 0,5 მლ 1 N HNO<sub>3</sub>, pH < 2,3) სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივე შედარებით სტაბილიზირდება. სამუშოს შემდგომ ეტაპზე ოპტიმალურად ჩავთვალეთ სარეაქციო არეში 1,0 მლ 1 N აზოტმჟავის შეტანა.

**ცხრილი 10**

**აზოტმჟავის კონცენტრაციის გავლენა ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე**

1 N HNO <sub>3</sub> , მლ	pH	A	1 N HNO <sub>3</sub> , მლ	pH	A
0,0	5,55	0,18	0,5	2,30	0,25
0,1	2,70	0,22	1,0	2,10	0,26
0,3	2,45	0,22	2,0	1,85	0,27

**5.5. ეთანოლის კონცენტრაციის გავლენა ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე**

25,0 საზომ კოლბაში შეგვქონდა 1.00 მლ 0,001 N NaCl-ის ხსნარი, 1 მლ 1 N HNO<sub>3</sub>, მზარდი რაოდენობა ეთანოლი, ორჯერ გამოხდილი წყლით ვავსებდით დაახლოებით 20 მლ-მდე, ვუმატებდით 1,00 მლ 1 N AgNO<sub>3</sub>-ს ხსნარს, ვავსებდით 25,0 მლ-მდე და 10, 20 და 30 წუთის შემდეგ ვზომავდით სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეს.

**ეთანოლის კონცენტრაციის გავლენა ვერცხლის ქლორიდის  
სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე**

ეთანოლი, მლ	A (10 წუთი)	A (20 წუთი)	A (30 წუთი)
0	0,27	0,29	0,29
1	0,25	0,27	0,27
3	0,24	0,27	0,27
5	0,24	0,27	0,27
10	0,17	0,25	0,27

თავდაპირველად სუსპენზიის ფორმირების პროცესში, მისი ოპტიკური სიმკვრივე რეაგირებს ხსნარში ეთანოლის კონცენტრაციაზე. დამლექავი რეაგენტის დამატებიდან 20 – 30 წუთის შემდეგ სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივე სტაბილური ხდება ( ცხრილი 11 ).

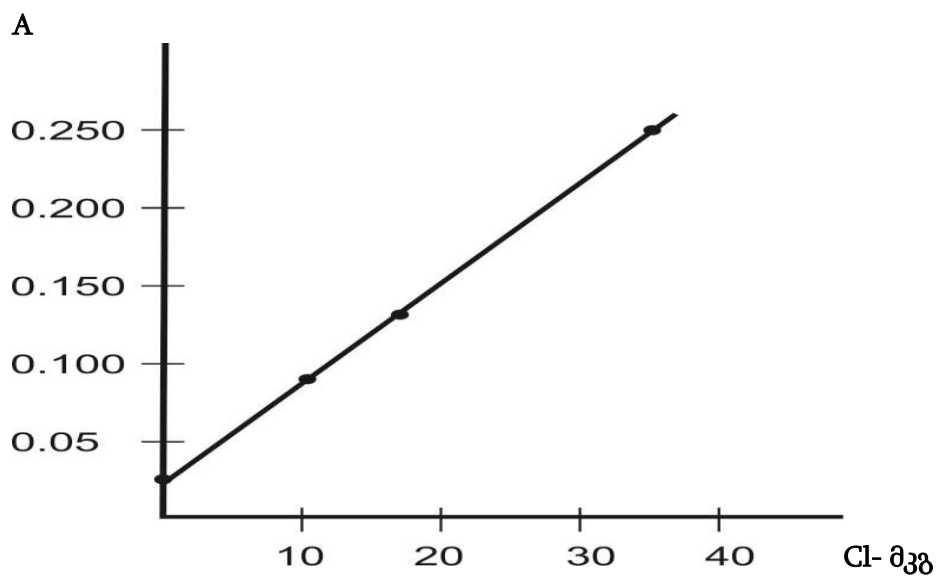
**5.6. მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდების  
ტურბიდიმეტრული განსაზღვრა**

ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ თვისებებზე სხვადასხვა ფაქტორის გავლენის შესწავლით მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე შერჩეული იყო ქლორიდ-იონის ტურბიდიმეტრული განსაზღვრის ვარიანტი.

საანალიზო სინჯს, რომელშიც ქლორიდ-იონის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 30 მკგ ათავსებენ 25,0 მლ საზომ კოლბაში, უმატებენ 20-22 მლ ორჯერ გამოხდილ წყალს, 1 მლ 1 N აზოტმჟავას და 1,00 მლ 10 % ვერცხლის ნიტრატს, ავსებენ 25,0 მლ-მდე, ურევენ და 20 წუთის შემდეგ 5,0 სმ ფენის სისქის კიუვეტში ზომავენ სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეს (ლურჯი შუქფილტრი). ანალიზის შედეგს აითვლიან საკალიბრო გრაფიკზე ( ნახ. 5 ), რომელიც აგებულია ანალოგიურ პირობებში მზარდი რაოდენობა 0,001 N ნატრიუმის ქლორიდის სტანდარტული ხსნარის დამუშავებით.

მონაცემები ქლორიდ-იონის ტურბიდიმეტრული განსაზღვრისათვის საჭირო  
საკალიბრო გრაფიკის ასაგებად

0,001 N NaCl, მლ	Cl <sup>-</sup> , მკგ	A, v = 10,0 მლ	A, v = 25,0 მლ
0,00	0,00	0,010	0.025
0,30	10,5	0,035	0,090
0,50	17,8	0,055	0,130
1,00	35,5	0,100	0.250



ნახ. 5. საკალიბრო გრაფიკი ქლორიდ-იონის ტურბიდიმეტრული განსაზღვრისათვის

## VI. მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდ-იონის განსაზღვრა ბუნებრივ ობიექტებში

### 6.1 ქლორიდიონის განსაზღვრა ბუნებრივ წყლებში

ქლორიდ-იონი ბუნებრივი წყლების მუდმივი შემადგენელი კომპონენტია. წყლებში მისი შემცველობა დიდ ფარგლებში მერყეობს. შესაბამისად განსხვავებულია ქლორიდიონის ამა თუ იმ მეთოდით განსაზღვრისათვის შერჩეული წყლის მოცულობები.

როგორც ზემოთ იყო ნაჩვენები ფოტომეტრული მეთოდით ქლორიდიონის განსაზღვრის სამუშაო დიაპაზონი 1 -15 მკგ-ის ფარგლებშია. საჭიროების შემთხვევაში შესძლებელია მისი გაორმაგება სისტემაში 0,001 N Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-ის გაზრდით 1,00 მლ-მდე.

საანალიზოდ ასაღები წყლის მოცულობის შერჩევას უნდა გავითვალისწინოთ მისი სახეობა. მყინვარული წყლები, ჩვეულებრივ, შეიცავენ ერთ მგ/ლ-ზე ნაკლებ, ატმოსფერული და ზედაპირული წყლები - შესაბამისად 1-3 მგ/ლ და 10- 50 მგ/ლ ქლორიდიონს და ა.შ.

თუ საანალიზო სინჯში ქლორიდიონის საორიენტაციო შემცველობა უცნობია, მაშინ 1 მლ საანალიზო წყალი უნდა შევიტანოთ რამდენიმე მლ შემჟავებულ გამოხდილ წყალში და დავამატოთ 0,5 მლ 0,001 N Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. თუ ნარევი გაუფერულდება - უნდა შევამციროთ საანალიზო ხსნარის მოცულობა ( განზავების მეთოდი ). თუ ნარევის შეფერილობა შესამჩნევად არ შეიცვალა მაშინ უნდა გავზარდოთ სინჯის მოცულობა.

ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე სხვადასხვა ფაქტორის გავლენის დაზუსტების შემდეგ მოდელურ ხსნარებში დანამატის მეთოდით განსაზღვრული იყო ქლორიდ-იონის შემცველობა. მიღებული შედეგები მოტანილია N 13 ცხრილში.

ცხრილი 13

მოდელურ ხსნარებში დანამატის მეთოდით ქლორიდ-იონის განსაზღვრის შედეგები  
(აღებულია 35,5 მკგ Cl<sup>-</sup>, საერთო v = 25,0 მლ, 1 მლ 1 N HNO<sub>3</sub>, 1,0 მლ 1 N AgNO<sub>3</sub>,  
კიუვეტის l = 5 სმ, ტალღის სიგრძე λ = 400 ნმ)

N	A	მიღებულია Cl <sup>-</sup>	სხვაობა, მკგ	სხვაობა, %
1	0,26	36,2	0,7	2,0
2	0,25	35,5	0,0	0,0
3	0,25	35,5	0,0	0,0
4	0,26	36,2	0,7	2,0
5	0,24	34,8	0,7	2,0
6	0,26	36,2	0,7	2,0

მე-13 ცხრილში მოტანილი მონაცემების მიხედვით მოდელურ ხსნარებში დანამატის მეთოდით ქლორიდ-იონის განსაზღვრის შედეგების საშუალო გადახრა d = 1,3 მკგ/ლ-ია, საშუალო კვადრატული გადახრა S = 1,6, ხოლო საშუალო ფარდობითი გადახრა (S<sub>r</sub> =S:x) 0,046-ის ტოლია. განსასაზღვრავი ნივთიერების რაოდენობის გათვალისწინებით ქლორიდ-იონის ტურბიდიმეტრული განსაზღვრის შედეგები მისაღებია.

მერკურიმეტრული მეთოდით ქლორიდიონის შემცველობა სოფელ ნორიოს ჭის წყალში 71 მგ/ლ აღმოჩნდა. ფოტომეტრული მეთოდით ნაპოვნია 70 და 68 მგ/ლ ქლორიდიონი ( ცხრილი 14 ). ფარდობითი სხვაობა ორი მეთოდით მიღებულ შედეგებს შორის ნაკლებია 5 %-ზე, რაც მიკროანალიზში დასაშვებია სიდიდეა.

ცხრილი 14

სოფ. ნორიოს ჭის წყალში ქლორიდ-იონის განსაზღვრის შედეგები

მეთოდი	სინჯის მოცულობა, მლ	ალიქვოტში, მკგ	მგ/ლ
მერკურიმეტრია	25,0	1770	71
ფოტომეტრია	2,00	140	70
ფოტომეტრია	2,00	136	68
ტურბიდიმეტრია	1,00	69	69

**ტურბიდიმეტრული მეთოდით ქლორიდ-იონის განსაზღვრის შედეგები**  
**სასმელ და მდინარის წყლებში (მგ/ლ)**

წყალი	უნდა იყოს	ნაპოვნია	სხვაობა
სასმელი, თბილისი	7,6	7,1 7,5 7,7	0,5 0,1 0,1
მდ. არაგვი, ანანური	4,0	3,9 3,9 4,1	0,1 0,1 0,1

14 და 15 ცხრილებში მოტანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ ტურბიდიმეტრული მეთოდით სასმელ, მდინარისა და მიწისქვეშა წყლებში მიკრორაოდენობა ქლორიდ-იონის განსაზღვრის შედეგები კარგ თანმთხვევაშია კლასიკური მეთოდით მიღებულ შედეგებთან.

### 6.2. საერთო ქლორის განსაზღვრა მარცვლეულ კულტურებში

მცენარეულ ობიექტებში ქლორი გვხვდება როგორც არაორგანული, ისე ორგანული ნაერთების სახით. მათი საანალიზო ფორმაში გადასაყვანად საჭიროა სინჯის მინერალიზება. ამ მიზნით ჰაერზე მშრალ სინჯს აქუცმაცებენ, ათავსებენ ფაიფურის ან პლატინის ჯამში და 500-600° C - ზე ანაცრებენ ელექტროლუმელში. მიღებულ ნაცარს უმატებენ მცირე რაოდენობა განზავებულ აზოტმჟავას, აყოვნებენ და ხსნარს ჩაფილტრავენ 25,0 მლ მოცულობის საზომ კოლბაში. ჯამში დარჩენილ ნაშთს ამუშავებენ შემჟავებული გამოხდილი წყლის მცირე ულუფებით, რომლითაც ხსნარის მოცულობა კოლბაში მიჰყავთ ჭდემდე. მიღებული ხსნარის ალიკვოტში ფოტომეტრული მეთოდით ისაზღვრება საერთო ქლორის შემცველობა.

ფოტომეტრული და მოცულობითი მეთოდით საერთო ქლორის შემცველობა ჩვენს მიერ განსაზღვრული იყო ხორბლის და წიწიბურას სინჯებში. მიღებული შედეგები (ცხრილი 16) შეესაბამება მარცვლეულ კულტურებში საცნობარო ლიტერატურაში არსებულ სიდიდეებს [ 6, 7 ].

საერთო ქლორის შემცველობა მარცვლეულ კულტურებში

სინჯი	Cl <sup>-</sup> გ/კგ ტურბიდიმეტრულად	Cl <sup>-</sup> გ/კგ მერკურიმეტრულად
ხორბალი	0.063	0.071
წიწიბურა	0.090	0.100

6.3. საერთო ქლორის განსაზღვრა ქვანახშირში

ქვანახშირში საერთო ქლორის განსაზღვრისათვის საანალიზო სინჯს აფხვიერებენ, იღებენ საჭირო რაოდენობა წონაკს, რომელსაც ელექტროლუმელში 800-900° C -ზე ანაცრებენ ეშკას ნარევის ( MgO + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> წონითი თანაფარდობით 1:2 ) თანაობისას. ნაცრიდან ქლორიდების გამორეცხვა ხდება ცხელი გამოხდილი წყლით. მიღებული ხსნარის ალიქვოტში ისაზღვრება ქლორიდიონის შემცველობა.

ტყიბულის ქვანახშირის რამდენიმე სინჯში განვსაზღვრეთ საერთო ქლორის შემცველობა. ტურბიდიმეტრული მეთოდით მიღებული შედეგები (0,2 – 1,3 მგ/გ) კარგ თანმთხვევაშია მერკურიმეტრული მეთოდით მიღებულ სიდიდეებთან ( ცხრილი 17 ).

საერთო ქლორის შემცველობა ქვანახშირში

სინჯი, №	სინჯის აღების ადგილი, თარიღი	Cl <sup>-</sup> გ/კგ ტურბიდი- მეტრულად	Cl <sup>-</sup> გ/კგ მერკური- მეტრულად
1	მინდელის სახელობის მაღარო, ახლად ამოღებული. 2014, აგვისტო	1.3	1.5
5	მინდელის სახელობის მაღარო, ნაყარი მასა. 2014, ივლისი	0.2	0.25



#### 6.4. მოძრავი ქლორის განსაზღვრა ნიადაგში

ნიადაგის 2 – 3 გრამ ჰაერზე მშრალ გაფხვიერებულ სინჯს ვათავსებდით 50 მლ ჭიქაში, ვუმატებდით 15–20 მლ ორჯერ გამოხდილ წყალს, ვურევდით მინის წკირით და ელექტროქურაზე ვაცხელებდით ადუღებამდე. 1-2 საათის შემდეგ ხსნარს ვფილტრავდით და სინჯის ნარეცხი წყლით ფილტრატის მოცულობა მიგვყავდა 25,0 მლ-მდე. მიღებული ხსნარის ალიქვოტში ფოტომეტრული მეთოდით ვსაზღვრავდით ქლორიდიონის შემცველობას.

ნიადაგის სინჯში საერთო ქლორის განსაზღვრისათვის საანალიზო სინჯს წინასწარ ალღობენ ნატრიუმის ან კალიუმის კარბონატთან და ნალღობის გამონატუტ ხსნარში საზღვრავენ ქლორიდიონს.

მოძრავი ქლორის შემცველობა ტურბიდიმეტრული მეთოდით განვსაზღვრეთ ნიადაგის სტანდარტულ სინჯებში ( ცხრილი 18 ). მიღებული შედეგები შეესაბამება არგენტომეტრული მეთოდით მიღებულ მონაცემებს. ყვითელმიწა ნიადაგებში ( სინჯები N 1 და 2 ) მოძრავი ქლორის შემცველობა 0,02 – 0,03 მგ/გ-ის ტოლი აღმოჩნდა. მლაშე ნიადაგებში (სინჯები N 3 და 4), როგორც მოსალოდნელი იყო, გაცილებით მაღალია.

#### ცხრილი 18

ნიადაგის სინჯებში მოძრავი ქლორის განსაზღვრის შედეგები (მგ/გ)

სინჯი N	უნდა იყოს	ნაპოვნია	სინჯი N	უნდა იყოს	ნაპოვნია
1	0,03	0,02	3	0,45	0,48
2	0,03	0,03	4	0,16	0,14

## 6.5. ქლორიდ-იონის ფოტომეტრული განსაზღვრა ღვინოში

საცნობარო ლიტერატურის მიხედვით ქლორიდინის შემცველობა ღვინოში 50 – 300 მგ/ლ ფარგლებშია [ 6, 34 ]. აქედან გამომდინარე ფოტომეტრული მეთოდით მისი განსაზღვრისათვის საკმარისი იქნება < 1 მლ სინჯი. ასეთი მოცულობის სინჯის 10 – 25-ჯერ განზავებით მიღებული ხსნარის შეფერილობამ გავლენა არ უნდა მოახდინოს ანალიზის შედეგზე. თუ საანალიზო ხსნარი შეფერილი იქნება, მაშინ სინჯის საკუთარი ოპტიკური სიმკვრივით გამოწვეული ცდომილება შეიძლება ავიცილოთ ორი გზით:

ა. გავზომოთ განზავებული, შემჟავებული და 25,0 მლ-დე შევესებული საანალიზო ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე ( $A_1$ ), შემდეგ დავამატოთ დამლექავი რეაგენტი და 20 წუთის შემდეგ ისევ გავზომოთ ოპტიკური სიმკვრივე ( $A_2$ ).  $A_2-A_1$ -ის სხვაობით ქლორიდ-იონის შემცველობა ავითვალთ საკალიბრო გრაფიკზე.

ბ. შესადარებელ ხსნარად, გამოხდილი წყლის ნაცვლად, გამოვიყენოთ 25,0 მლ-მდე განზავებული და შემჟავებული საანალიზოდ აღებული ღვინის ხსნარი.

ქლორიდ-იონის განსაზღვრის კლასიკურ მეთოდებთან (არგენტომეტრია, მერკურიმეტრია) ტურბიდომეტრული მეთოდის უპირატესობა სიმარტივე და მაღალი მგრძობიარობაა. ამ შემთხვევაში საჭირო არ არის სინჯის ამოშრობა მშრალ ნაშთამდე, ნაშთის მინერალიზება ნატრიუმის კარბონატის თანაობისას, ნაცრის გამორეცხვა გამოხდილი წყლით და ა.შ.

ღვინოში ქლორიდ - იონის განსაზღვრის ტურბიდომეტრული და მერკურიმეტრული მეთოდები კარგ თანმთხვევაშია ერთმანეთთან ( ცხრილი 19 ).

ცხრილი 19

### ქლორიდ-იონის განსაზღვრის შედეგები ღვინოში

სინჯი	Cl <sup>-</sup> მგ/ლ ტურბიდომეტრულად	Cl <sup>-</sup> მგ/ლ მერკურიმეტრულად	სხვაობა მგ/ლ	სხვაობა %
რქაწითელი (გურჯაანის)	40.0	39.76	0.2	0.5
რქაწითელი (ლაგოდეხის)	37.0	38.34	1.3	3.4
მანავის მწვანე	55.0	56.8	1.8	3.2

## VII. დასკვნები

1. ექსპერიმენტით მიღებული შედეგებისა და თეორიული გათვლების საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ მიკრორაოდენობა ქლორიდების განსაზღვრის ფოტომეტრული მეთოდები ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატისა და ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის გამოყენებით 50-100-ჯერ უფრო მგრძნობიარეა მიკრომოცულობით მერკურიმეტრულ მეთოდთან შედარებით.

2. ქლორიდ-იონის განსაზღვრის ფოტომეტრული მეთოდით მიღებული შედეგების საიმედოობის გაზრდის მიზნით, შესწავლილია მორიაგრე რეაგენტების რაოდენობების, ხსნარის მჟავიანობის და ეთანოლის კონცენტრაციის გავლენა ვერცხლისწყლის (II) დიფენილკარბაზონატის კომპლექსის ოპტიკურ სიმკვრივეზე. დადგენილია კომპლექსის მდგრადობა დროში და მისი ოპტიკური სიმკვრივის შესაბამისობა ლამბერტ-ბეერის კანონთან.

3. მიღებული შედეგების საფუძველზე შერჩეულია მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდ-იონის ფოტომეტრული განსაზღვრის ოპტიმალური ვარიანტი.

4. მოდელურ ხსნარებში დანამატის მეთოდით მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდ-იონის ფოტომეტრული განსაზღვრის შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მათი მეტროლოგიური მახასიათებლები ( საშუალო გადახრა, სტანდარტული და ფარდობითი სტანდარტული გადახრები ) მიკროანალიზში მიღებულ ზღვრებშია.

5. შესწავლილია ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკურ სიმკვრივეზე ვერცხლის ნიტრატის, აზოტმჟავისა და ეთანოლის კონცენტრაციების გავლენა, დადგენილია სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივის მდგრადობა დროში და მისი ოპტიკური სიმკვრივის შესაბამისობა შუქშთანთქმის ძირითად კანონებთან .

ნაჩვენებია, რომ ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივისა და დროში მისი მდგრადობის გაუმჯობესების მიზნით ეთანოლის და ეთილენგლიკოლის გამოყენება საჭირო არ არის.

6. დადგენილია  $> 1 - 30$  მკგ ქლორიდ-იონის ტურბიდიმეტრული განსაზღვრის ოპტიმალური პირობები.

7. ბუნებრივ ობიექტებში ( ბუნებრივი წყლები, ნიადაგის სტანდარტები, მარცვლეული, ღვინო, ქვანახშირი ) მიკრორაოდენობა ქლორიდების კლასიკური მერკურიმეტრული და ფოტომეტრული მეთოდებით განსაზღვრის შედეგები თანმთხვევადია.

8. მიკრო- და ულტრამიკრო რაოდენობა ქლორიდების განსაზღვრის ფოტომეტრული მეთოდები გამოირჩევიან მაღალი მგრძობიარობით ( განსასაზღვრავი მინიმუმი < 1 მკგ  $Cl^-$  ). სიმარტივისა და განმეორებადი შედეგების მიღების მეტი ალბათობით უპირატესობა უნდა მიენიჭოს ტურბიდიმეტრულ მეთოდს ფოტომეტრულ ფორმად ვერცხლის ქლორიდის სუსპენზიის გამოყენებით.

## VIII. გამოყენებული ლიტერატურა

1. Войткевич Г. В. и др. Краткий справочник по геохимии. М., Недра, 1990.
2. სიდამონიძე შ., სუპატაშვილი გ., ადამია ს. ქიმიის მოკლე ცნობარი. თბ., თსუ, 1976.
3. Фрумина Н. С., Лисенко Н. Ф., Чернова М. А. Аналитическая химия элементов. Хлор. М., Наука, 1983.
4. Супаташвили Г. Д. Гидрохимия Грузии. Тб., ТГУ, 2003.
5. სუპატაშვილი გ. გარემოს ქიმია (ეკოქიმია). თბ., თსუ, 2009.
6. Химический состав пищевых продуктов. Справочник, М., 1979.
7. Хлор в пищевых продуктах. Интернет, 2016.
8. გორგაძე ნ. ტყიბულის ქვანახშირის გამოკვლევა ქლორის შემცველობაზე. საბაკალავრო ნაშრომი. თსუ, 2015.
9. Ламзина И. В., Голдов А. В. Получение и использование альтернативного топлива из твердых бытовых отходов. Инженерный вестник Дона. 2015, N 2.
10. Парфенюк А. С., Антонюк С.И. Проблемы переработки углеродосодержащих отходов. Интернет, твердое топливо, хлор. 2013.
11. ГОСТ 6709-72. Вода дистиллированная.
12. სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტი. საქართველოს იუსტიციის სამინისტრო, ბრძანება N 349. 18.12.2007.
13. Давыдюк Л. А. Изучение окрашенных соединений дифенилкарбазида и дифенилкарбазона с металлами и их применение в колориметрии. Авт. на соискание уч. степени канд. хим. наук. Киев, Институт общей и неорг. химии, 2004.
14. სუპატაშვილი გ. რაოდენობითი ანალიზი. თსუ, 2011.
15. Уильямс У. Дж. Определение анионов. М., Химия, 1982.
16. Лурье Ю.Ю., Рыбников А. И. Химический анализ производственных сточных вод. М., Химия, 1984.
17. Основы аналитической химии, т. 2. Ред. Золотов Ю. А. М., Высшая школа, 2004.
18. ISO 9297, 2004. Water quality. Determination of chloride – silver nitrate titration with chromate indication.
19. Hutter I. A. Wasser und Wasseruntersuchung. Frankfurt am Main, 1992.

20. Die Unterzuchung fon Wasser. Merk, Darmstadt, 1990.
21. Шарло Г. Методы аналитической химии. М., Химия, 1959.
22. Колориметрические методы определения неметаллов. Ред. Бусев А. И. М., 1963.
23. ГОСТ 26449.2-85. Методы химического анализа дистиллята.
24. Унифицированные методы анализа вод. М., ИЛ, 1983.
25. Фомин Г. С. Вода. Контроль качества и радиационной безопасности по международным стандартам. М., 2004.
26. ГОСТ4245-72. Определение хлоридов в природных водах.
27. ხუხია ვ., ხინთიბიძე ლ. ქლორის მერკურიმეტრული მეთოდით განსაზღვრისათვის. თსუ შრომები, 1961, ტ. 80, 207-211.
28. Бабко А.К., Кириленко А. Т. Фотометрический анализ. Методы определения неметаллов. М., Химия, 1974.
29. Elsheimer H. N. Anal. Chem., 1969, vol. 38, N 1, 145-147. ციტ. [ 3 ] - ის მიხედვით.
30. Сырбу К. А., Ревельский И. А. Прямое определение общего содержания хлор- и серусодержащих неорганических и органических примесей. Вестник МГУ, серия 2. Химия, 1998, т. 39, N 3 189-191.
31. გორგაძე ნ. ტყიბულის ქვანახშირის გამოკვლევა ქლორის შემცველობაზე. თსუ, საბაკალავრო ნაშრომი, 2015.
32. EPA:s Drinking Water Standarts, 2001.
33. თაყაიშვილი ნ. სულფატ-იონების ტურბიდიმეტრული განსაზღვრა გარემოს ობიექტებში. ქიმიის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი დისერტაციის ავტორეფერატი. თბ., თსუ, 2002.
34. Кишковский З. Н., Скурихин И. М. Химия вина. М., 1976.