

## თამარ ნიკურაძე

მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო  
წყალმომარაგების სისტემად გამოყენების ეკოლოგიური მდგომარეობის  
შეფასება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია  
შიფრი --0410

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
2020 წელი

საავტორო უფლება © 2020 თამარ ნიკურაძე

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავაცანით ნიკურაძე თამარის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემად გამოყენების ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება და ვამლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

-----,----- 2020 წელი

თანახელმძღვანელები: პროფესორი ლეილა გვერდწითელი  
ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა  
დოქტორი ალექსანდრე სურმავა

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2020 წელი

**ავტორი:** თამარ ნიკურაძე

**დასახელება:** მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემად გამოყენების ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება

**სადოქტორო პროგრამა:** ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია

**ხარისხი:** დოქტორი

**სხდომა ჩატარდა:** -----

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ მოყვანილი დასახელების ნაშრომის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში, მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

-----  
ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომი განეკუთვნება მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემად გამოყენების ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასებას. საქართველოს კანონში „წყლის შესახებ“ 53-ე მუხლი მოიცავს სპეციალური წყალსარგებლობის ძირითად მიზნებსა და პირობებს, სადაც განხილულია სპეციალური წყალსარგებლობის განხორციელებისას, მოსახლეობის სასმელი და საყოფაცხოვრებო, ასევე სასოფლო-სამეურნეო წყალმომარაგების მიზნებისთვის გამოყენებული ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლები უნდა იქნას დაბინძურებისა და დანაგვიანებისაგან საიმედოდ დაცული, რომელთა ხარისხი ბუნებრივ მდგომარეობაში ან სათანადო დამუშავების შემდეგ შეესაბამება საქართველოს სახელმწიფო სტანდარტებით დადგენილ ნორმებს. ამ ნორმების დაცვით უზრუნველყოფილი იქნება ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო გარემო, ეკოლოგიური და ეკონომიკური ინტერესების შესაბამისად გარემოს დაცვა, მათ შორის წყლის დაცვა.

საქართველოში მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა წყლებს იყენებენ ქალაქ რუსთავისა და მისი მიმდებარე რეგიონების მოსახლეობის წყალმომარაგების სისტემად. ქ.რუსთავის მოსახლეობის და სამრეწველო ზონის ზრდასთან ერთად დღის წესრიგში დგება წყალმომარაგების განვითარების აუცილებლობა. სასმელი წყლის წყალმომარაგების წყალამღები მდებარეობს მდინარე ხრამსა და მდინარე დებედას აუზებს შორის. სასმელ-სამეურნეო მიზნებისათვის წყალმომარაგება ხორციელდება მდინარე ხრამისა და დებედას მიმდებარედ განლაგებული ექსპლოატაციაში მყოფი 8 ჭაბურღილითა და 7 შახტური ჭით. ლიტერატურული მონაცემებით ორივე მდინარის წყალი ბინძურდება სამრეწველო ჩამდინარე წყლებით. მიწისქვეშა წყლების მარაგის შევსება ხდება უპირატესად ატმოსფერული ნალექებითა და ზედაპირული წყლებით. გამოკვლეული ლიტერატურული წყაროებიდან გამომდინარე მდინარე ხრამის მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმიური და მიკრობიოლოგიური კვლევის მონაცემები უმწირესია, ამიტომ მოსახლეობის სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემისათვის, მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების ხარისხის დასადგენად მეტად აქტუალურია მდინარე ხრამის აუზის ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება ჰიდროქიმიური და მიკრობიოლოგიური კომპონენტების კონცენტრაციებისა და აგრეთვე ფსკერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის დადგენის გათვალისწინებით. ხოლო სამუშაოს სიახლეს წარმოადგენს მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემად გამოყენებისათვის, ეკოლოგიური მდგომარეობის სრული შეფასებისათვის, მდინარის ხრამის აუზის წყალსა და ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების კონცენტრაციათა განაწილების რიცხვითი მოდელირება.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა მდინარე ხრამის აუზის ეკოლოგიური მდგომარეობის შესწავლა და შეფასება. დასახული ამოცანების შესასრულებლად 2018-2019 წლებში ხუთჯერ ჩატარდა ექსპედიცია, რომლის დროსაც შესწავლი იქნა მდინარე ხრამის ფიზიკურ-გეოგრაფიული მდებარეობა, აგრეთვე შერჩეული იქნა მიწისქვეშა წყლების, ზედაპირული წყლებისა და ფსკერული დანალექების სინჯების აღების წერტილები.

წყლისა და ფსკერული დანალექების სინჯის აღება, დაკონსერვება, ეტიკეტირება, შენახვა და ტრანსპორტირება, სტაციონალურ ლაბორატორიაში წყლის სინჯების ქიმიური, მიკრობიოლოგიური და ფსკერული ანალიზი წარმოებდა საერთაშორისო სტანდარტული ორგანიზაციის (ISO) სტანდარტული მეთოდის მიხედვით. ორგანოლექტიკური მაჩვენებლების განსაზღვრა განხორციელდა საველე პორტატული აპარატურით. მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის ქიმიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე დადგინდა, რომ მდინარე ხრამის წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-კალციუმიან წყალს, ხოლო მდინარე მაშავერა და დებედას წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმიან ტიპის წყალს. მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის pH-ის მნიშვნელობა იმყოფება მდინარის წყლისათვის დამახასიათებელ ზღვარში (6.5-8.5), ხოლო გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაცია შეესაბამება ზედაპირული წყლების ხარისხის განსაზღვრულ კლასს-სუფთას. მდინარე ხრამის წყლის სიხისტე დასაწყისში წყლის კლასიფიკაციის სიხისტის მაჩვენებლის მიხედვით შეესაბამება რბილს, ხოლო შემდეგ სოფელ ლეჟბადინთან მდინარე დებედას შერთების შემდეგ წყლის სიხისტე მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს. მდინარე მაშავერასა და დებედას წყლის სიხისტეც შეესაბამება საშუალოდ ხისტს. მდინარე ხრამისა და დებედას წყლების ჟანგვადობა არ აღემატება დასაშვებ ნორმების დონის სიდიდეს, ხოლო მდინარე მაშავერას წყალი ჟანგვადობის მნიშვნელობის მიხედვით მიეკუთვნება დაბინძურებულს.

მდინარე ხრამის წყლის მინერალიზაცია სოფელ ლეჟბადინამდე შეესაბამება დაბალ მინერალიზებულს, ხოლო მდინარე დებედას მიერთების შემდეგ კი საშუალოდ მინერალიზებულს. მდინარე მაშავერასა და დებედას წყლების მინერალიზაციაც მიეკუთვნება საშუალოდ მინერალიზებულს. შესაბამისად, მდინარე ხრამის წყლის ელექტროგამტარობა იცვლება 202.0–375.0 მიკრო სიმ./სმ. ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა ყველა მდინარის სინჯის წყალში არ აღემატება ნორმატივით დასაშვებ მნიშვნელობებს. მძიმე მეტალთა კონცენტრაციები მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყალში არ აღემატება ზღვრულ დასაშვებ ნორმებს. გამონაკლისს წარმოადგენს ალუმინის, რკინისა და მანგანუმის კონცენტრაციები, რომელთა მნიშვნელობები აღემატება ზღვ-ს მნიშვნელობებს.

მდინარე მაშავერას წყალში ალუმინის, რკინისა და მანგანუმის შემცველობა შესაძლებელია განპირობებული იყოს სამთოგამამდიდრებელი საწარმოს სს “მადნეულის“ ჩამდინარე წყლებით.

მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლების მიკრო-ბიოლოგიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე სალმონელა მდინარის წყლის არცერთ სინჯში არ იქნა აღმოჩენილი, ხოლო დანარჩენი მიკრო-ბიოლოგიური მაჩვენებლები ბევრად აღემატება ზედაპირული წყლის ნორმატივებით დასაშვებ სიდიდეებს.

წყლის ძირითად იონებს შორის და ძირითად მახასიათებლებს შორის კონცენტრაციათა ცვლილების ამსახველი დიაგრამები კორელაციური ანალიზის კორექტულობაზე მიუთითებს. ჩატარებული კორელაციური სტატისტიკური ანალიზის მიხედვით კორელაციის მაღალი ხარისხით ხასიათდება შემდეგი წყვილები: სიხისტე და კალციუმი, სიხისტე და მინერალიზაცია, აგრეთვე ელექტროგამტარობა და მინერალიზაცია.

ლიტერატურული მონაცემებით მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების შესახებ მონაცემები უმწირესია. 2018 წლის ნოემბერის თვეში აღებული მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის ფსკერული დანალექების სინჯების ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე სპილენძის, თუთიის, მანგანუმის, ტყვიის, ნიკელის, კობალტის, რკინის კონცენტრაციების მნიშვნელობები, განპირობებული ბუნებრივი პირობებიდან გამომდინარე, შეესაბამება ფონურ მნიშვნელობებს. მხოლოდ კადმიუმის კონცენტრაცია აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ მნიშვნელობას, ასევე სოფელ ლეჟბადინთან აღებულ მდინარე დებედას ფსკერული დანალექის სინჯში თუთიის კონცენტრაცია ბევრად აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ მნიშვნელობებს.

2019 წლის აპრილის თვეში ჩატარებული ექსპედიციისას აღებულ იყო შერჩეული საანალიზო წერტილებიდან ექსპლუატაციაში მყოფი 8 ჭაბურღილისა და 7 შახტური ჭის წყლის სინჯები. ეკოქიმიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე, ძირითადად წყალი მიეკუთვნება ჰიდრო-კარბონატულ-სულფატურ-კალციუმიანი ტიპის წყალს, რაც დადგინდა თვალსაჩინოების მიზნით აგებული სულფატ-იონების, კალციუმის იონებისა და ჰიდროკარბონატების კონცენტრაციათა მნიშვნელობების ცვლილებების ამსახველი დიაგრამებითაც.

ყველა ჭაბურღილის და შახტური ჭის სიხისტე ძირითადად შეესაბამება სიხისტის ნორმატივებით დასაშვები ნორმების მიხედვით ზომიერად ხისტს. ძირითადი იონების, ბიოგენური კომპონენტების, მიკრო-და მაკრო ნივთიერებების შემცველობა ნორმატივებით დასაშვები ნორმების ფარგლებშია.

ჭაბურღილის და შახტური ჭის წყლების სინჯების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგად გამომდინარე მიკრობიოლოგიური დაბინძურება არ დაფიქსირებულა.

2019 წლის აპრილის და სექტემბერის თვეში საანალიზოდ აღებული იქნა მარნეულის მუნიციპალიტეტში, სოფელ დიდი მულანდლოს მიმდებარე ტერიტორიაზე, ლეჟბადინთან განთავსებული სასმელ-სამეურნეო წყლისათვის მოსამზადებელი რეზერვუარებიდან (ხრამი I და ხრამი II) ქლორირებით დამუშავებული წყლის სინჯები, აგრეთვე ქალაქ რუსთავის ქაშაკაშვილის ქუჩისა (ხრამი I რეზერვუარი) და მარნეულის მუნიცი-

პალიტიკის სოფელი ქუთლიარის (ხრამი II რეზერვუარი) მოსახლეობის სასმელი წყლის სინჯები.

ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარებიდან, ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის რეგიონის მოსახლეობიდან აღებული სასმელ წყლის სინჯების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგად დადგინდა რომ იგი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმიან ტიპის წყალს. ორგანოლეპ-ტიკური მაჩვენებლები და წყალბადის მაჩვენებელი არის ნორმატიულად დასაშვები ნორმების ფარგლებში. წყლის ჟანგვადობა ნორმატიულად დასაშვები სიდიდის მიხედვით მიეკუთვნება ძალიან სუფთას, ხოლო წყლის სიხისტის მნიშვნელობა სიხისტის კლასიფიკაციის მიხედვით მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს.

მაკრო- და მიკროელემენტების, ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა და თავისუფალი ქლორის ნარჩენი რაოდენობაც წყლის სინჯებში სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტის მიხედვით ნორმატიულად დასაშვები ნორმის ფარგლებშია. მინერალიზაცია შეესაბამება საშუალოდ მინერალიზირებულს, ხოლო ელექტროგამტარობა შეადგენს, შესაბამისად, 526.0 - 579.0 მიკრო სიმ./სმ.

ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების, ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სოფელი ქუთლიარის მოსახლეობის სასმელი წყლის სინჯის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე სასმელი წყლის სინჯებში მიკრობიოლოგიური დაბინძურება არ დაფიქსირებულა.

უწყვეტ გარემოში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური წრფივი სამგანზომილებიანი განტოლების გამოყენებით მოდელირებულია მდინარე ხრამის წყალში და ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების განაწილება სოფელი თამარისიდან მდინარე მტკვართან მის შეერთებამდე.

მძიმე მეტალების წყაროს წარმოადგენს ანტროპოგენული წყაროებით დაბინძურებული მდინარე მაშავერასა და დებედას წყლები. მოდელირებისათვის მდინარე ხრამი სოფელ თამარისიდან მდინარე მტკვართან მის შეერთების ადგილამდე დაყოფილა 3 პირობით ერთგვაროვან უბნად. თითოეული უბისათვის გამოყენებულია მდინარის მახასიათებელი ჰიდროლოგიური პარამეტრების საშუალო წლიური მნიშვნელობები და ექსპედიციური კვლევის შედეგების მონაცემები. მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით, მდინარე მტკვართან შეერთებამდე რკინის, ალუმინისა და მანგანუმის კონცენტრაციები მცირდება და შესაბამისად არ აღემატება ნორმატიულად დასაშვებ სიდიდეებს.

ერთი დღე-ღამის განმავლობაში გამოთვლილი იქნა მდინარე ხრამის ფსკერზე დალექილი მანგანუმისა და რკინის ზედაპირული კონცენტრაციები. ორივე მეტალის ზედაპირული სიმკვრივეები მაქსიმალურია სოფელ თამარისთან მდინარე მაშავერას შეერთებისას, შემდეგ იკლებს მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით და კვლავ იზრდება მდინარე დებედას დაბინძურებული წყლის მდინარე ხრამში ჩადინების შედეგად

სოფელ ლეჟბადენტან. ხოლო შემდეგ კვლავ მცირდება მდინარე ხრამის დინების გასწვრივ მდინარე მტკვართან შეერთების პუნქტამდე.

მდინარე ხრამში მიღებული მძიმე მეტალების კონცენტრაციის განაწილების სურათის მიხედვით სოფელი თამარისიდან მდინარე მტკვართან შეერთების ადგილამდე დადგენილია, რომ მდინარე მაშავერას წყალი არის მდინარე ხრამის ძირითადი დამაბინძურებელი წყარო.

უწყვეტ გარემოში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური წრფივი სამგანზომილებიანი განტოლების საფუძველზე მდინარე ხრამის აუზის დამაბინძურებელ ნივთიერებების კონცენტრაციათა გავრცელების მოდელირების შედეგები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას მდინარეების წყლებისა და მათ ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების კონცენტრაციათა განაწილების დასადგენად.

ამრიგად მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემად გამოყენებისათვის ჩატარებული ჰიდოქიმიური და მიკრობიოლოგიური და ფსკერული ნალექების ეკოქიმიური კვლევის, აგრეთვე მდინარის ხრამის აუზის წყალსა და ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების კონცენტრაციათა განაწილების რიცხვითი მოდელირების საფუძველზე მიღებული ეკოლოგიური მდგომარეობის სრული შეფასების შედეგად დადგინდა, რომ წყლის ხარისხი სავსებით შეესაბამება სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტით გათვალისწინებულ ნორმატიულად დასაშვებ ნორმებს.



## Abstract

The thesis paper covers assessment of the ecological state of use of Khrami catchment underground waters as potable-domestic water supply system. Article 53 of the Law of Georgia on Water involves basic goals and conditions of special water supply and addresses reliable protection from pollution and contamination of surface and underground waters used for potable-domestic and, also, agricultural purposes, when water special consumption, and their quality complies with the norms of Georgian state standards in their natural state or after corresponding treatment. Such norms will ensure safe environment for human health, protection of the environment, including water, observing ecological and economic interests.

The underground waters of the rivers Khrami and Debeda are used as the water supply system for the city of Rustavi and its neighbouring regions. Together with increasing of Rustavi population and its industrial zone development of water supply becomes crucial issue. The potable water supply intake is located between the catchments of Khrami and Debeda rivers. Water supply for potable-domestic purposes is carried out with the help of operating 8 boreholes and 7 shaft wells located in the vicinity of Khrami and Debeda rivers.

According to literature data, waters of the both rivers are polluted with industrial waste waters. The underground waters are resupplied mainly by atmospheric precipitation and surface waters. Resulting from the investigated literature sources, the data of hydro-chemical and microbiological research of Khrami underground waters is extremely scarce and that is why assessment of the Khrami catchment ecological state urgently needs consideration of concentration of hydro-chemical and microbiological components and identification of chemical contents of bed sediments. Numerical modeling of distribution of heavy metals concentration in the Khrami catchment water and bed sediments for complete assessment ecological state with the purpose of using the Khrami catchment underground waters for potable-domestic water supply is the novelty in this work. Studying and assessment of the Khrami catchment ecological situation was the goal of this work.

To fulfill the task, five expeditions were organized in 2018-2019. The expeditions studied physical-geographical location of the river Khrami and the sample taking points for underground and surface waters and bed sediments were selected.

Taking of samples of water and bed sediments, their conservation, labeling, storage and transportation, chemical, microbiological and bed analyses of water samples in the stationary laboratory were carried out in compliance with the ISO (International Organization for Standardization) methodology. The organoleptic indicators were defined using portable field devices.

Based on the results of chemical analyses of waters of the rivers Khrami, Mashavera and Debeda it has been discovered that the Khrami water belongs to

hydro carbonate-calcic waters and the waters of Mashavera and Debeda rivers belong to the hydro carbonate-sulphatic-calcic type of waters. The pH value of the Khrami, Mashavera and Debeda waters is in the range characteristic to river waters (6.5-8.5) and the concentration of diluted oxygen corresponds to the specific class of surface water quality – “Clean”. The river Khrami water hardness in the beginning, according to the water classification hardness indicator, is soft and later, after joining Debeda river near the village of Lezbadini, the water hardness becomes “medium”. Oxidization of Khrami and Debeda waters does not exceed the permissible norms, but the Mashavera river water, according to the oxidization value, belongs to the polluted ones.

Mineralization of the Khrami river water up to the village of Lezbadini corresponds to low mineralization, but after joining Debeda river mineralization becomes medium. Mineralization of the Mashavera and Debeda rivers also belongs to medium class. Respectively, electric conductivity of the Khrami river water changes between 202.0-375.0 micro S/cm. Content of biogenic substances in the water samples of all rivers does not exceed the permissible values. Concentrations of heavy metals in the waters of Khrami, Mashavera and Debeda rivers do not exceed the permissible threshold norms. Concentrations of aluminum, iron and manganese represent an exception. Their values exceed the permissible threshold concentration values.

Concentration of aluminum, iron and manganese in the Mashavera river water may be caused by the waste waters from JSC Medneuli mining and beneficiation plant.

Resulting from the microbiological analyses of the Khrami, Mashavera and Debeda waters salmonella has not been detected in any of the samples, but the rest of the microbiological indicators largely exceed the values permissible for surface waters.

The diagrams reflecting the changes of concentrations between the basic water ions and basic characteristics indicates correctness of correlation analysis. According to the fulfilled static correlation analysis the following pairs are characterized by high correlation quality: hardness and calcium, hardness and mineralization and, also, electric conductivity and mineralization.

According to the literature, the data on heavy metals in bed sediments of Khrami, Mashavera and Debeda rivers are extremely scarce. Resulting from the analysis of the samples of Khrami, Mashavera and Debeda waters bed sediments, the values of copper, zinc, manganese, lead, nickel, cobalt, iron concentrations, caused by natural conditions, correspond to background rates. Only cadmium exceeds the permissible value. Besides the zinc concentration in the Debeda river bed sediment sample near the village of Lezbadini largely exceeds the permissible value.

During the expedition in April, 2019 the water samples were taken from analyses points of operating 8 boreholes and 7 shaft wells. Resulting from eco-chemical analysis, the water, basically, belongs to hydro-carbonate-sulphatic-calcic type, that was determined also by means of the diagrams reflecting the

changes of values of sulphate-ions, calcium ions and hydro-carbonates concentrations drawn up for illustration purposes.

Hardness of all boreholes and shaft wells, basically, according to the permissible hardness norms, is “medium”. Content of basic ions, biogenic components, micro- and macro substances is in the limits of the permissible norms.

Microbiological analyses of the water samples from the boreholes and shaft wells did not identify any resulting microbiological pollution.

In April and September 2019, chlorinated water samples were taken from the reservoirs (Khrami-1 and Khrami-2) prepared for potable-domestic water in Marneuli municipality, in the vicinity of the village Didi Muganlo, close to Lezbadini; also, the potable water samples were taken in Rustavi, Kashakashvili street (Khrami-1 reservoir) and the village of Kutliari (Khrami-2 reservoir) in Marneuli municipality.

As a result of eco-chemical analysis of the potable water samples taken for Khrami-1 and Khrami-2 reservoirs and Marneuli region population it was discovered that it belongs to hydro-carbonate-sulphatic-calcic type of water. The organoleptic and hydrogen indicators are in the limits of permissible norms. Oxidization of water, according to the permissible norms, belongs to “very clean” and the water hardness value, according to hardness classification, belongs to medium hardness.

Content of macro- and micro elements, biogenic substances and, also, residual volume of free chlorine in the water samples, according to the potable water technical regulations, is in the limits of the permissible norms. Mineralization corresponds to medium mineralization and electric conductivity equals, respectively, 526.0-579.0 micro S/cm.

Resulting from the microbiological analysis of the Khrami-1 and Khrami-2 reservoirs, the potable water of the city of Rustavi and Marneuli municipality village of Kutliari, microbiological pollution has not been identified.

Using non-stationary linear three dimensional equation of a substance conveying-diffusion in uninterrupted environment, distribution of heavy metals in the Khrami river water and bed sediments has been modeled from the village of Tamarisi up to its joining the river Mtkvari.

The waters of the Mashavera and Debeda rivers polluted by anthropogenic springs represent the source of heavy metals. For the modeling purposes the Khrami river, from the village of Tamarisi up to its joining with the Mtkvari river, is divided into 3 conditionally similar sections. For each section there are used average annual values of hydrological parameters characteristic to the river and the data of the research made by the expeditions. Downstream the river Khrami, up to joining with the Mtkvari river, the iron, aluminum and manganese concentration are reducing and, correspondingly, it does not exceed the permissible values.

The surface concentrations of manganese and iron deposited in the river Khrami bed were calculated during twenty-four hours. The surface hardness of the both metals are maximal at the village of Tamarisi in the joining point with the

river Mashavera, then it reduces downstream the Khrami river and increases again as a result of flowing of the polluted Debeda river water into the Khrami river near the village of Lezbadini; then it reduces again along the Khrami river up to the joining point with the Mtkvari river.

According to the picture of distribution of the concentration of heavy metals directed to the Khrami river from the village of Tamarisi up to the joining point with the Mtkvari river it has been discovered that the river Mashavera water is the basic pollution source for the Khrami river.

Based on the non-stationary linear three dimensional equation of a substance conveying-diffusion in uninterrupted environment, the result of modeling of distribution of pollutants of the Khrami river catchment can be used for identification of distribution of concentration of heavy metals in the river waters and their bed sediments.

So, as a result of complete assessment of the ecological situation obtained based on hydro-chemical and microbiological and eco-chemical research for the bed sediments and, also, the numerical modeling of distribution of the concentrations of heavy metals in the Khrami river catchment water and bed sediments carried out for usage of the Khrami river catchment underground waters as a potable-domestic water supply system, it was discovered that the water quality fully corresponds to the permissible norms set forth under the potable water technical regulations.

## შინაარსი

შესავალი.....	20
1. ლიტერატურის მიმოხილვა.....	36
1.1. საქართველოს წყლის რესურსები .....	36
1.2. მდინარე ხრამის აუზის ფიზიკურ-გეოგრაფიული მდგომარეობის დახასიათება .....	37
1.3. მიწისქვეშა წყლების დახასიათება .....	41
1.4. მიწისქვეშა წყლების სანიტარული ზონები .....	46
1.5. მდინარე ხრამისა და დებედას მიმდებარედ განლაგებული მიწისქვეშა წყლების შახტური ჭებისა და ჭაბურღილების ჰიდროლოგიური დახასიათება .....	48
1.6. მდინარე ხრამის აუზის ჰიდროქიმიური კვლევა .....	52
1.7. რიცხვითი მოდელირება .....	63
2. კვლევის შედეგები და მათი განსჯა .....	65
2.1. მდინარე ხრამის აუზის წყლის ეკოქიმიური კვლევა .....	65
2.2. მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით ძირითადი იონების კონცენტრაციათა ცვლილების დიაგრამები .....	85
2.3. მდინარე ხრამისა და დებედას წყლის ძირითადი მახასიათებლების კორელაციური სტატისტიკური ანალიზი .....	88
2.4. მდინარე ხრამის აუზის წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა .....	93
2.5. მდინარე ხრამისა და მისი ძირითადი შენაკადების მაშავერასა და დებედას ფსკერული დანალექების ანალიზის შედეგები .....	96
2.6. მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა ჭაბურღილებისა და შახტური ჭის წყლების ეკოქიმიური კვლევა .....	99
2.7. მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა ჭაბურღილებისა და შახტური ჭების წყლებში ძირითადი იონების კონცენტრაციათა ცვლილება ..	111
2.8. მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა ჭაბურღილებისა და შახტური ჭების წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა .....	114
2.9. ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების წყლის ეკოქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები .....	117
2.10. ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სასმელი წყლის ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები .....	122
2.11. მდინარე ხრამის წყალსა და ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების განაწილების რიცხვითი მოდელირება .....	127

3.	ექსპერიმენტული ნაწილი .....	136
3.1	წყლის სინჯის აღება ქიმიურ-მიკრობიოლოგიური ანალიზისთვის	136
3.2.	წყლის ქიმიური ანალიზის მეთოდების მიმოხილვა .....	137
3.2.1.	მეტალების განსაზღვრა წყალში ატომურ ემისიური სპექტრომეტრული მეთოდით .....	140
3.2.2.	მეტალების განსაზღვრა მდინარის ფსკერულ დანალექებში ატომურ ემისიური სპექტრომეტრული მეთოდით .....	141
3.2.3.	ნავთობპროდუქტების ჯამური ინდექსის, ქლორორგანული პესტიციდებისა და ქლოროფორმის განსაზღვრა ქრომატოგრაფიული მეთოდით .....	142
3.2.4.	არაორგანული ანიონებისა და ბიოგენური კომპონენტების შემცველობის განსაზღვრა წყალში იონური ქრომატოგრაფიული მეთოდით .....	144
3.2.5.	ამონიუმის იონის, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისა და ციანიდების განსაზღვრა სპექტროფოტომეტრული მეთოდით .....	145
3.2.6.	სიხისტის, ჰიდროკარბონატ-იონისა და ჟანგადობის განსაზღვრა ტიტრიმეტრული მეთოდით .....	146
3.3.	წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზი .....	146
	დასკვნა.....	150
	გამოყენებული ლიტერატურა.....	155

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. მდინარე ხრამის წყლის ქიმიური შემადგენლობა . . . . .	52
ცხრილი 2. მდინარე დებედას წყლის ქიმიური შემადგენლობა . . . . .	52
ცხრილი 3. მდინარე ხრამისა და მაშავერას წყლების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები . . . . .	70
ცხრილი 4. მდინარე ხრამისა და დებედას წყლების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები . . . . .	72
ცხრილი 5. მდინარე ხრამისა და დებედას წყლის ანალიზის შედეგები სეზონური ცვლილების მიხედვით . . . . .	90
ცხრილი 6. მდინარე ხრამისა და მაშავერას წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა . . . . .	94
ცხრილი 7. მდინარე ხრამისა და დებედას წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა . . . . .	95
ცხრილი 8. ფსკერული დანალექების ანალიზის შედეგები . . . . .	98
ცხრილი 9. ჭაბურღილების წყლების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები . .	103
ცხრილი 10. შახტური ჭების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები . . . . .	106
ცხრილი 11. ჭაბურღილების წყლების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები . . . . .	115
ცხრილი 12. შახტური ჭების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები. .	116
ცხრილი 13. ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების წყლის ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები . . . . .	118
ცხრილი 14. ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები . . . . .	120
ცხრილი 15. ქალაქ რუსთავის და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სასმელი წყლის ქიმიური ანალიზის შედეგები . . . . .	123
ცხრილი 16. ქალაქ რუსთავის და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სასმელი წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები . . . . .	125
ცხრილი 17. მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას უბნები და მახასიათებელი ჰიდროლოგიური პარამეტრების მნიშვნელობები . . . . .	130
ცხრილი 18. დამაბინძურებელ ინგრედიენტთა მნიშვნელობები მდინარეთა უბნების საწყის წერტილებში . . . . .	131
ცხრილი 19. ექსერიმენტული კვლევის შედეგებით მიღებული დამაბინძურებელ ინგრედიენტთა მნიშვნელობები ფსკერული დანალექებში . . . . .	135

## ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. ელექტროგამტარობისა და მინერალიზაციის ცვლილება მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით . . . . .	86
ნახაზი 2. კალციუმისა და ჰიდროკარბონატ-იონების კონცენტრაციათა ცვლილება მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით . . . . .	86
ნახაზი 3. კალციუმისა და ქლორიდ-იონების კონცენტრაციათა ცვლილება მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით . . . . .	86
ნახაზი 4. ნატრიუმისა და სულფატიონების კონცენტრაციათა ცვლილება მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით . . . . .	87
ნახაზი 5. მაგნიუმისა და სულფატიონების კონცენტრაციათა ცვლილება მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით . . . . .	87
ნახაზი 6. კორელაცია ორ ცვლადს შორის . . . . .	88
ნახაზი 7. მდინარე ხრამის წყალში კორელაცია სიხისტესა და კალციუმის იონებს შორის . . . . .	91
ნახაზი 8. მდინარე დებედას წყალში კორელაცია სიხისტესა და კალციუმის იონებს შორის . . . . .	91
ნახაზი 9. მდინარე ხრამის წყალში კორელაცია სიხისტესა და მინერალიზაციას შორის . . . . .	92
ნახაზი 10. მდინარე დებედას წყალში კორელაცია სიხისტესა და მინერალიზაციას შორის . . . . .	92
ნახაზი 11. მდინარე ხრამის წყალში კორელაცია მინერალიზაციასა და ელექტროგამტარობას შორის . . . . .	92
ნახაზი 12. მდინარე დებედას წყალში კორელაცია მინერალიზაციასა და ელექტროგამტარობას შორის . . . . .	93
ნახაზი 13. ჭაბურღილების წყლის სინჯში სულფატ-იონების კონცენტრაციათა ცვლილება . . . . .	111
ნახაზი 14. შახტური ჭების წყლის სინჯში სულფატ-იონების კონცენტრაციათა ცვლილება . . . . .	112
ნახაზი 15. ჭაბურღილების წყლის სინჯში კალციუმის იონების კონცენტრაციათა ცვლილება . . . . .	112
ნახაზი 16. შახტური ჭების წყლის სინჯში კალციუმის იონების კონცენტრაციათა ცვლილება . . . . .	113
ნახაზი 17. ჭაბურღილების წყლის სინჯში ჰიდროკარბონატების კონცენტრაციათა ცვლილება . . . . .	113



<b>ნახაზი 18.</b> შახტური ჭების წყლის სინჯში ჰიდროკარბონატების კონცენტრაციათა ცვლილება .....	114
<b>ნახაზი 19.</b> მდინარის უბნების განლაგების სქემა .....	128
<b>ნახაზი 20.</b> მდინარის დინების სქემატიური გამოსახულება ვერტიკალურ ჭრილში და ზედხედში .....	130
<b>ნახაზი 21.</b> მანგანუმის კონცენტრაციის C (მგ/ლ) განაწილება მდინარე ხრამის, მამავერასა და დებედას წყალში .....	131
<b>ნახაზი 22.</b> რკინის კონცენტრაციის C (მგ/ლ) განაწილება მდინარე ხრამში მამავერასა და დებედაში .....	132
<b>ნახაზი 23.</b> ალუმინის კონცენტრაციის C (მგ/ლ) განაწილება მდინარე ხრამში, მამავერასა და დებედაში .....	133
<b>ნახაზი 24.</b> დალექილი მანგანუმის ზედაპირული სიმკვრივის D(მგ/მ <sup>2</sup> ) განაწილება მდინარე ხრამის ფსკერულ დანალექში .....	133
<b>ნახაზი 25.</b> დალექილი რკინის ზედაპირული სიმკვრივის D(მგ/მ <sup>2</sup> ) განაწილება მდინარე ხრამის ფსკერულ დანალექში .....	134

## სურათების ნუსხა

სურათი 1. მდინარე ხრამი .....	37
სურათი 2. მდინარე დებედა .....	39
სურათი 3. მდინარე მაშავერა .....	40
სურათი 4. მდინარე ხრამისა და მაშავერას შეერთება .....	41
სურათი 5. ჭახტური ჭებისა და ჭაბურღილების განლაგება .....	50
სურათი 6. შახტური ჭების კონსტრუქცია .....	51
სურათი 7. მდინარე მაშავერა ბოლნისთან (რაჭისუბანი) .....	68
სურათი 8. მდინარე ხრამი [თამარისი]; მდინარე ხრამისა და მაშავერას შეერთება; მდინარე მაშავერა [თამარისი]. .....	68
სურათი 9. მდინარე ხრამი [ლეჟბადინი]; მდინარე ხრამისა და დებედას შეერთება; მდინარე დებედა [ლეჟბადინი] .....	69
სურათი 10. მდინარე ხრამის მიწისქვეშა შახტური ჭა .....	101
სურათი 11. მდინარე ხრამის მიწისქვეშა ჭაბურღილები .....	101
სურათი 12. მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა ჭებისა და ჭაბურღილების სინჯის აღების ადგილები .....	102
სურათი 13. ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარები .....	118
სურათი 14. კონდუქტომეტრი ელექტროდებით Aqualytic AL15 .....	136
სურათი 15. ტურბიდიმეტრი AL250 T-IR .....	137
სურათი 16. ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრი ICP-OES 710 .....	138
სურათი 17. გაზური ქრომატოგრაფი. Agilent GC- MS- FID .....	139
სურათი 18. სპექტოფოტომეტრი Hach DR-6000 .....	140
სურათი 19. იონური ქრომატოგრაფი DIONEX ICS-1100 .....	144

## მადლიერება

წარმოდგენილი სადოქტორო ნაშრომის შესრულებაში დიდი წვლილი მიუძღვის ჩემს უშუალო სამეცნიერო ხელმძღვანელებს პროფესორ ლეილა გვერდწითელსა და ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს ალექსანდრე სურმავას, რომელთა მიმართაც გამოვხატავ მადლიერებას. მათი რეკომენდაციები, რჩევები და თანადგომა დიდად დამეხმარა კვლევითი სამუშაოს შესრულებაში.

პატივისცემასა და მადლიერებას გამოვხატავ „ჯორჯიან უოთერ ენდ ფაუერის“ მენეჯმენტის, წყლის ხარისხის მართვის დეპარტამენტის, ცენტრალური ქიმიურ-მიკრობიოლოგიური საგამოცდო ლაბორატორიის თანამშრომლების, ასევე განსაკუთრებით თემურ კოროშინაძის მიმართ, აგრეთვე გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა და დეპარტამენტის ყველა თანამშრომლის მიმართ, რომლებიც ხელს მიწყობდნენ და მორალურად მიჭერდნენ მხარს.

მადლიერების გრძნობა მინდა გამოვხატო გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის უფროსის მოადგილის ელინა ბაქრაძის მიმართ, რომლის კონსულტაციები დიდად დამეხმარე ჩემი კვლევითი ნაშრომის შესრულებაში.

## შესავალი

საქართველოს კანონში „წყლის შესახებ“ განხილულია წყლის, როგორც უმნიშვნელოვანესი ბუნებრივი რესურსის, ადამიანის, ცხოველთა სამყაროსა და მცენარეული საფარის არსებობისათვის აუცილებელი და საქართველოს ეკონომიკის განვითარებისთვის უნიკალური და უპირველესი, სასიცოცხლო მნიშვნელობა. 53-ე მუხლი მოიცავს სპეციალური წყალსარგებლობის ძირითად მიზნებსა და პირობებს, სადაც განხილულია სპეციალური წყალსარგებლობის განხორციელებისას მოსახლეობის სასმელი და საყოფაცხოვრებო, ასევე სასოფლო-სამეურნეო წყალმომარაგების მიზნებისთვის გამოყენებული უნდა იქნას დაბინძურებისა და დანაგვიანებისაგან საიმედოდ დაცული ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლები, რომელთა ხარისხი ბუნებრივ მდგომარეობაში ან სათანადო დამუშავების შემდეგ შეესაბამება საქართველოს სახელმწიფო სტანდარტებით დადგენილ ნორმებს. ამ ნორმების დაცვით უზრუნველყოფილი იქნება ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო გარემო, ეკოლოგიური და ეკონომიკური ინტერესების შესაბამისად გარემოს დაცვა, მათ შორის წყლის დაცვა.

სანიტარიული წესები და ნორმები შემუშავებულია საქართველოს კანონების შესაბამისად: „ჯანმრთელობის დაცვის შესახებ“, „გარემოს დაცვის შესახებ“ და „წყლის შესახებ“, „წიადის შესახებ“. მოსახლეობის სასმელ-სამეურნეო და საყოფაცხოვრებო დანიშნულების წყლის ობიექტების დაცვის წესების გამოყენება უზრუნველყოფს მოსახლეობის მოთხოვნების დაკმაყოფილებას სახელმწიფო სტანდარტების შესაბამისი ხარისხის წყლის მიმართ. კანონმდებლობის თანახმად მოსახლეობის სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების საჭიროებისათვის გამოყენებული წყლის ობიექტების დაცვის მიზნით თავდაპირველად დგინდება სანიტარიული დაცვის ზონები, რეგლამენტირებული საზღვრების ზონებისა და აუცილებლად ჩასატარებელი კომპლექსური სანიტარიულ-ჰიგიენური ღონისძიებების

მიხედვით. სანიტარიული წესები და ნორმები (სწდან) განსაზღვრავს წყალმომარაგების წყაროებისა და სასმელ-სამეურნეო დანიშნულების წყალსადენების სანიტარიული დაცვის ზონების (სდზ) მოწყობისა და ექსპლუატაციის სანიტარიულ-ეპიდემიოლოგიურ მოთხოვნებს.

მიწისქვეშა წყლები გამოიყენება სასმელ სამეურნეო მიზნებისათვის, ამიტომ დაცული უნდა იყოს მიწისქვეშა წყლის ობიექტების სანიტარული დაცვის ზონა საქართველოს კანონმდებლობის მიხედვით. სდზ-ის მოწყობა ხდება ყველა მიწისქვეშა წყაროების წყალსადენებზე. სდზ-ში რეჟიმის შექმნისა და უზრუნველყოფის ძირითადი მიზანია წყალმომარაგების წყაროების, წყალსადენის ნაგებობებისა და აგრეთვე იმ ტერიტორიების დაცვა გაბინძურებისაგან, სადაც ისინია განლაგებული. სდზ-ის საზღვრების დადგენა და აუცილებელი ორგანიზაციული, ტექნიკური, ჰიგიენური და ეპიდემიასაწინააღმდეგო ღონისძიებების კომპლექსური შემუშავება დამოკიდებულია წყალმომარაგების წყაროების სახეობაზე (მიწისქვეშა ან ზედაპირული), ასევე დასაპროექტებელი და მოქმედი სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების წყლების ბუნებრივი დაცვის ხარისხსა და შესაძლო მიკრობულ ან ქიმიურ დაბინძურებაზე.

საქართველოში მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა წყლებს იყენებენ ქალაქ რუსთავისა და მისი მიმდებარე რეგიონების მოსახლეობის წყალმომარაგების სისტემად. ქ.რუსთავის მოსახლეობის და სამრეწველო ზონის ზრდასთან ერთად დღის წესრიგში დგება წყალმომარაგების განვითარების აუცილებლობა. სასმელი წყლის წყალმომარაგების წყალამლები მდებარეობს მდინარე ხრამსა და მდინარე დებედას აუზებს შორის. სასმელ-სამეურნეო მიზნებისათვის წყალმომარაგება ხორციელდება მდინარე ხრამისა და დებედას მიმდებარედ განლაგებული 34 ჭაბურღილითა და 7 შახტური ჭით. ლიტერატურული მონაცემებით ორივე მდინარის წყალი ბინძურდება სამრეწველო ჩამდინარე წყლებით. მიწისქვეშა წყლების მარაგის შევსება ხდება უპირატესად ატმოსფერული ნალექებითა და ზედაპირული წყლებით. გამოკვლეული ლიტერატურული

წყაროებიდან გამომდინარე მდინარე ხრამის მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმიური და მიკრობიოლოგიური კვლევის მონაცემები უმწირესია, ამიტომ მოსახლეობის სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემისათვის მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების ხარისხის დასადგენად მეტად აქტუალურია მდინარე ხრამის აუზის ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება ჰიდროქიმიური და მიკრობიოლოგიური კომპონენტების კონცენტრაციებისა და აგრეთვე ფსკერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის დადგენის გათვალისწინებით. ხოლო სამუშაოს სიახლეს წარმოადგენს მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემად გამოყენებისათვის, ეკოლოგიური მდგომარეობის სრული შეფასებისათვის მდინარის ხრამის აუზის წყალსა და ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების კონცენტრაციათა განაწილების რიცხვითი მოდელირება.

ჩვენი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა მდინარე ხრამის აუზის ეკოლოგიური მდგომარეობის შესწავლა და შეფასება. ამიტომ კვლევის ძირითადი ამოცანა მოიცავდა ეკოქიმიური კვლევის ოთხ ეტაპს:

პირველი ეტაპი - საკვლევ ობიექტზე შესწავლილი იქნა მდინარე ხრამის აუზის და მისი ძირითადი შენაკადების ფიზიკურ-გეოგრაფიული მდებარეობისა და ლანდშაფტის ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები. დათვალიერებული და შერჩეული იქნა საკვლევ წყლის ნიმუშების აღების ადგილები;

მეორე ეტაპი - მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას ეკოლოგიური, ჰიდროქიმიური და მიკრობიოლოგიური მდგომარეობის გამოკვლევა და შეფასება, ასევე მათი ფსკერუკლი დანალექების ქიმიური ანალიზი;

მესამე ეტაპი - მიწისქვეშა წყლების შახტური ჭებისა და ჭაბურღილების ჰიდროლოგიური დახასიათება. ასევე შახტური ჭების, ჭაბურღილების, ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების ეკოქიმიური და მიკრობიოლოგიური კვლევა;

მეოთხე ეტაპი - ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის მუნიციპალიტეტის მოსახლეობის სასმელი წყლის სინჯების ეკოქიმიური და მიკრო-ბიოლოგიური კვლევა. მდინარე ხრამის, დებედასა და მაშავერას წყლებში და ფსკერულ დანალექებში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციების გავრცელების რიცხვითი მოდელირება.

კვლევითი სამუშაოს ამოცანების შესასრულებლად ჩვენს მიერ 2018-2019 წლებში ხუთჯერ ჩატარდა ექსპედიცია, რომლის დროსაც შესწავლილი იყო მდინარე ხრამის აუზის და მისი ძირითადი შენაკადების ფიზიკურ-გეოგრაფიული მდებარეობისა და ლანდშაფტის ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები. ლიტერატურული მონაცემებით, ასევე ჩვენს მიერ საკვლევ ობიექტზე 2018 წლის ოქტომბრის თვეში ჩატარებული ექსპედიციისას შესწავლი იქნა მდინარე ხრამის ფიზიკურ-გეოგრაფიული მდებარეობა. ხრამ-ქციას სათავე აქვს აღმოსავლეთ საქართველოში თრიალეთის ქედის სამხრეთ კალთაზე, მთა შავიკლდის აღმოსავლეთით. მდინარე ხრამი ერთვის წალკის წყალსაცავს და ჩამოუდის წალკის, დმანისის, თეთრიწყაროს, ბოლნისისა და მარნეულის რაიონებს. ერთვის მტკვარს აზერბაიჯანის ტერიტორიაზე საქართველოს საზღვართან. მდინარის ფართობია 1060 კმ<sup>2</sup>, საშუალო წლიური ხარჯი წყალსაცავთან შეადგენს 12მ<sup>3</sup>/წმ, მაქსიმალური ხარჯია 249მ<sup>3</sup>/წმ, მინიმალური-3,6მ<sup>3</sup>/წმ. მდინარის სიგრძე შეადგენს 117 კმ, მთლიანი აუზის ფართობია 6280 კმ<sup>2</sup>. მთავარი შენაკადებია: შავწყაროსწყალი, მაშავერა, შულავერი, დებედა. საზრდოობს თოვლის, წვიმისა და მიწისქვეშა წყლებით. მდინარის საშუალო ხარჯი შესართავთან შეადგენს 65,2 მ<sup>3</sup>/წმ, მაქსიმალური ხარჯია 872მ<sup>3</sup>/წმ, ხოლო მინიმალური-5,23მ<sup>3</sup>/წმ. მდინარეზე აგებულია ხრამჰესი-1 და ხრამჰესი-2 აგრეთვე გამოიყენება სარწყავად .

მდინარე ხრამის შენაკადებიდან სამრეწველო ანთროპოგენური ზემოქმედებით გამოირჩევა მდინარე მაშავერა და დებედა. მდინარე დებედა მოედინება სომხეთის რესპუბლიკიდან საქართველოში, მარნეულის რაიონში. სათავე აქვს ჯავახეთის ქედის აღმოსავლეთ კალთაზე, ზღვის

დონიდან 2091 მ-ზე. საქართველოს ტერიტორიაზე სოფელ სადახლოს მიდამოებში გამოდის და ერთვის მდინარე ხრამს მარჯვნიდან. მდინარის სიგრძეა 178კმ, აუზის ფართობი 4,1 ათასი კმ<sup>2</sup>. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე, წყალმცირობა ზამთარსა და შემოდგომაზე. მდინარის საშუალო წლიური ხარჯი სოფელ სადახლოსთან შეადგენს 29,7 მ<sup>3</sup>/წმ. იყენებენ სარწყავად, მის მიწისქვეშა წყლებს იყენებენ სასმელ-სამეურნეო მიზნებისთვის.

მდინარე მაშავერას სათავე აქვს ქვემო ქართლში, ჯავახეთის ქედის აღმოსავლეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან 2125 მ სიმაღლეზე. მდინარე მაშავერა წარმოიქმნება მდინარე სარფდერე და მდინარე ნაზიკლიჩის შეერთების შედეგად. ეს მდინარეები ჩაედინებიან ემლიკიის მთის აღმოსავლეთ ფერდობიდან 3053,6 მ-ზე ზღვის დონიდან. მთა თავის მხრივ განლაგებულია ქედზე, რომელსაც ეწოდება სველი მთები (კეჩუტი), სოფელ პანტიანზე 0,2 კმ-ით დაბლა, ზღვის დონიდან 1358 მ სიმაღლეზე.

მდინარე მაშავერა ერთვის მდინარე ხრამს მარჯვნიდან სოფელ არუხლოსთან. მდინარის სიგრძეა 66 კმ, აუზის ფართობი 1390 კმ<sup>2</sup>, საზრდობს თოვლის, წვიმისა და მიწისქვეშა წყლებით. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე წყალმცირობა-ზამთარში. ზაფხულ-შემოდგომაზე წყალ-მოვარდნა ახასიათებს. ზამთრობით მდინარეზე აღინიშნება ყინულ-ნაპირისი და თოში. საშუალოდ წყლის ხარჯია 7,78 მ<sup>3</sup>/წმ. იყენებენ სარწყავად. ყველა შენაკადი ჩაედინება მდინარე მაშავერაში წყალშემკრები აუზის მთიან ნაწილში სოფელ კვეშამდე. მდინარის ქვედა ნაწილში 27კმ-ის მანძილზე მას არ უერთდება არცერთი მსხვილი შენაკადი, გარდა მდინარე ფოლადაურისა (სიგრძე-42 კმ).

აგრეთვე დათვალიერებული და შესწავლილი იქნა მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემის 14 ჭაბურღილი და 7 შახტური ჭა. აქედან ექსპლუატაციაშია 8 ჭაბურღილი, ხოლო 6 სარეზერვოა. შახტური ჭებიდან კი შვიდივე ექსპლუატაციაშია.



2018 წლის ოქტომბერში ჩატარებული ექსპედიციისას შერჩეული 7 წერტილიდან აღებულ იქნა წყლისა და ფსკერული დანალექების საანალიზო სინჯები: 1. მდინარე ხრამი თამარისთან; 2. მდინარე ხრამთან მაშავერას შეერთების შემდეგ; 3. მდინარე ხრამი ლეჟბადინთან; 4. მდინარე ხრამთან დებედას შეერთების შემდეგ; 5. მდინარე მაშავერა ბოლნისთან (რაჭისუბანი); 6. მდინარე მაშავერა თამარისთან; 7. მდინარე დებედა ლეჟბადინთან (ხრამთან შეერთებამდე).

წყლისა და ფსკერული დანალექების სინჯის აღება, დაკონსერვება, ეტიკეტირება, შენახვა და ტრანსპორტირება ხდებოდა საერთაშორისო სტანდარტული ორგანიზაციის (ISO) სტანდარტული მეთოდიკით. წყლის ტემპერატურა, pH, სიმღვრივე, ელექტროგამტარობა, გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა განისაზღვრა საველე პორტატული აპარატით: კონდუქტომეტრი MultiMeter Instrument Aqualytic AL15(სამი ელექტროდით) და სიმღვრივის მზომი AQUA LYTIC-AL250 T-IR. სტაციონალურ ლაბორატორიაში წყლის სინჯების ქიმიური, მიკრობიოლოგიური და ფსკერული ანალიზი წარმოებდა ISO სტანდარტული მეთოდიკებით.

ვინაიდან მაკროკომპონენტები წარმოადგენენ ძირითად ქიმიურ მახასიათებლებს და განსაზღვრავენ წყლების ტიპსა და ხარისხს, ამიტომ მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის ქიმიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე დადგინდა, რომ მდინარე ხრამის წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-კალციუმის წყალს, ხოლო მდინარე მაშავერა და დებედას წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმის ტიპის წყალს ( $SO_4^{2-}=96.48-134.27$ მგ/ლ;  $HCO_3^{-}=255,6-361.1$ მგ/ლ;  $Ca^{2+}=79,08-100.98$ მგ/ლ). მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის pH-ის მნიშვნელობა იმყოფება მდინარის წყლისათვის დამახასიათებელ ზღვარში (6,5-8,5), ხოლო გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაცია შეესაბამება ზედაპირული წყლების ხარისხის განსაზღვრულ კლასს-სუფთას (12.3-15,9 მგ/ლ). წყლის სიხისტე იცვლება ფართო ზღვრებში( 2.75- 6.8 მგ.ექვ/ლ). მდინარე ხრამის წყლის სიხისტე შეადგენს

2,75 მგ-ექვ/ლ, მდინარე მაშავერას შეერთების შემდეგ სოფელ თამარისთან არ იცვლება ( 2,93 მგ-ექვ/ლ ), რაც შეესაბამება რბილს ( 4 მგ-ექვ/ლ-მდე), ხოლო შემდეგ სოფელ ლეჟბადინთან მდინარე დებედას შეერთების შემდეგ წყლის სიხისტე იზრდება 4,58 მგ-ექვ/ლ -მდე, რაც წყლის კლასიფიკაციის სიხისტის მაჩვენებლის მიხედვით მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს (4-8 მგ-ექვ/ლ). მდინარე მაშავერას წყლის სიხისტე შეესაბამება საშუალოდ ხისტს ( 6,8-6,68 მგ-ექვ/ლ), ასევე მდინარე დებედას წყლის სიხისტეც მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს( 5,4 მგ-ექვ/ლ). მდინარე ხრამის წყლის სიხისტის მნიშვნელობები განპირობებულია კალციუმისა და მაგნიუმის იონთა შედარებით დაბალი კონცენტრაციით.

წყლის ჟანგვადობა დამოკიდებულია ჰიდროლოგიურ და ჰიდრო-ბიოლოგიურ რეჟიმზე, ორგანული ნივთიერებების მინერალიზაციაზე, ასევე ანთროპოგენურ ფაქტორებზე. მდინარე ხრამის წყლის ჟანგვადობა ( 2,6-2,8 მგO<sub>2</sub>/ლ) და მდინარე დებედას წყლის ჟანგვადობა არ აღემატება დასაშვებ ნორმების დონის სიდიდეს (2,4 მგO<sub>2</sub>/ლ) და შეესაბამება სუფთას. ხოლო მდინარე მაშავერა წყლის ჟანგვადობის მნიშვნელობის მიხედვით შეიძლება მიეკუთვნოს დაბინძურებულს(4,2- 5,1 მგO<sub>2</sub>/ლ).

ზედაპირული წყლები წარმოადგენს ძლიერ ელექტროლიტთა ხსნარებს, ამიტომ კუთრი ელექტროგამტარობის სიდიდე წარმოადგენს ელექტროლიტების კონცენტრაციის მიახლოებით მაჩვენებელს, ძირითადად არაორგანულის. რადგანაც წყლის მთავარი იონები წარმოადგენს მინერალურ ნაწილს, ამიტომ ელექტროგამტარობით ხდება წყლის მინერალიზაციის შეფასება. სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების, ასევე მრავალი სამრეწველო და სასოფლო-სამეურნეო წარმოების მიერ ხდება წყლის ხარისხისა და ნაწილობრივ მინერალიზაციის მიმართ გარკვეული მოთხოვნების წაყენება. მდინარე მაშავერას წყლის ელექტროგამტარობა იცვლება 439,0-535,0 მიკრო სიმ./სმ, მდინარე დებედას წყლის ელექტროგამტარობა კი შეადგენს 475,0 მიკრო სიმ./სმ, ამიტომ მდინარე ხრამის წყლის ელექტროგამტარობა იცვლება 202.0 – 375.0 – მიკრო

სიმ./სმ.

მდინარე ხრამის წყლის მინერალიზაცია იცვლება 173,3-295,9 მგ/ლ, რომელიც შესაძლებელია მივაკუთვნოთ დაბალ მინერალიზებულს. მდინარე მაშავერასა და დებედას წყლების მინერალიზაცია შესაბამისად შეადგენს 425,2-437,9 მგ/ლ და 400,6 მგ/ლ, რაც მიეკუთვნება საშუალოდ მინერალიზებულს.

ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა ყველა მდინარის სინჯის წყალში არ აღემატება ნორმატივით დასაშვებ მნიშვნელობებს .

მძიმე მეტალთა კონცენტრაცია მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყალში, არ აღემატება ზღვრულ დასაშვებ ნორმებს. გამონაკლისს წარმოადგენს ალუმინის, რკინისა და მანგანუმის კონცენტრაციათა მნიშვნელობები. მდინარე ხრამის წყალში ალუმინის შემცველობა (0.7 მგ/ლ - 0.8 მგ/ლ), მცირედ აღემატება ზღვ-ს(0.5 მგ/ლ). მდინარე დებედას წყალში კი უტოლდება ზღვ-ს მნიშვნელობას. მნიშვნელოვანია მდინარე მაშავერას წყალში ალუმინის შემცველობა, რომელიც მაქსიმუმს აღწევს ბოლნისთან - რაჭისუბანთან ( 2.61 მგ/ლ) და აღემატება ზღვ-ს.

მდინარე ხრამის წყლის სინჯებში რკინის შემცველობა შეადგენს 0.47-0.65 მგ/ლ, მდინარე დებედას წყალში უტოლდება 0.5მგ/ლ, რაც მცირედ აღემატება რკინის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას (ზ ღვ-ს ) - 0.3 მგ/ლ. ხოლო მდინარე მაშავერას წყალში რკინის კონცენტრაციის მნიშვნელობა ( 1.31მგ/ლ-1.54მგ/ლ) მკვეთრად აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას .

მდინარე ხრამის წყლის სინჯებში მანგანუმის კონცენტრაციის მნიშვნელობა ((0.05-0.09 მგ/ლ), აგრეთვე მდინარე დებედას წყალში ( 0.05 მგ/ლ) დაბალია ზღვ-ზე (0.1 მგ/ლ), ხოლო მაშავერას წყლის სინჯში (0.55-0.26 მგ/ლ) კი აღემატება ზღვ-ს მნიშვნელობას.

მდინარე მაშავერას წყალში ალუმინის, რკინისა და მანგანუმის შემცველობა შესაძლებელია განპირობებული იყოს სამთო-გამამდიდრებელი საწარმოს სს “მადნეულის“ ჩამდინარე წყლებით.

მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის მიკრო-ბიოლოგიური ანალიზების შედეგებიდან გამომდინარე საერთო კოლიფორმული ბაქტერიების რაოდენობა 1 ლიტრში , ასევე მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობების რაოდენობა 1 მლ-ში ბევრად აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ სიდიდეებზე. ასევე „E-coli“-სა და „Streptococcus faecalis“-ის მნიშვნელობებიც საკმარისად მაღალია ნორმატიულად დასაშვებ ნორმების სიდიდეებზე. სალმონელა მდინარის წყლის არცერთ სინჯში არ იქნა აღმოჩენილი, ხოლო კოლიფაგები დასაშვებ ნორმას აღემატება ბოლნისთან- რაჭისუბანთან აღებულ მდინარე მაშავერას წყლის სინჯში (280 ნკწ/ლ).

მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით აგებული იქნა ელექტროგამტარობასა და მინერალიზაციას შორის, კალციუმისა და ჰიდროკარბონატ-იონებს შორის, კალციუმისა და ქლორიდ-იონებს შორის, ნატრიუმისა და სულფატ-იონებს შორის, ასევე მაგნიუმისა და სულფატ-იონებს შორის კონცენტრაციათა ცვლილების ამსახველი დიაგრამები. ელექტროგამტარობისა და მინერალიზაციის მნიშვნელობები, ნატრიუმისა და სულფატ იონების, აგრეთვე მაგნიუმისა და სულფატ იონების კონცენტრაციათა მნიშვნელობა თანმიმდევრობით იცვლება მდინარის დინების მიმართულებით, მხოლოდ ელექტროგამტარობის შედარებით მაღალი მნიშვნელობა (375.0  $\mu$ S/სმ და 386.0  $\mu$ S/სმ), ასევე სულფატების კონცენტრაციის მაღალი მნიშვნელობა (59.31მგ/ლ და 58.88მგ/ლ) გამოწვეულია მდინარე მაშავერასა და დებედას მდინარე ხრამთან შეერთების შედეგად. კალციუმისა და ჰიდროკარბონატის იონების, აგრეთვე კალციუმისა და ქლორიდ-იონების კონცენტრაცია მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით სინქრონულად იცვლება, რაც კორელაციური ანალიზის კორექტულობაზე მიუთითებს.

ჩატარებული კორელაციური სტატისტიკური ანალიზის მიხედვით კორელაციის მაღალი ხარისხით ხასიათდება შემდეგი წყვილები: სიხისტე

და კალციუმი, სიხისტე და მინერალიზაცია, აგრეთვე ელექტროგამტარობა და მინერალიზაცია.

მდინარის ფსკერული დანალექები წარმოიქმნება მასში შეტივტივებულ ნივთიერებათა სედიმენტაციისას მდინარის წყლის მიერ მათი ტრანსპორტირებისას, აგრეთვე წყალშემკრები აუზის ამგები ქანებისა და მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგის საფარის გამოფიტვისა და გამორეცხვის შედეგად. ლიტერატურული მონაცემებით მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალბის შესახებ მონაცემები უმწირესია.

2018 წლის ნოემბერის თვეში აღებული მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის ფსკერული დანალექების სინჯების ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე სპილენძის, თუთიის, მანგანუმის, ტყვიის, ნიკელის, კობალტის, რკინის კონცენტრაციების მნიშვნელობები, განპირობებული ბუნებრივი პირობებიდან გამომდინარე, შეესაბამება ფონურ მნიშვნელობებს. მხოლოდ კადმიუმის კონცენტრაცია აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ მნიშვნელობას, რაც სოფელ თამარისთან და ლეჟბადინთან აღებულ მდინარე ხრამის ფსკერული დანალექების სინჯებში შეადგენს, შესაბამისად, 1.0 მგ/კგ და 1.25 მგ/კგ, ხოლო სოფელ ლეჟბადინთან აღებულ მდინარე დებედას ფსკერული დანალექის სინჯში შეადგენს 0.75 მგ/კგ. გამონაკლისს წარმოადგენს სოფელ ლეჟბადინთან აღებულ მდინარე დებედას ფსკერული დანალექის სინჯში თუთიის კონცენტრაცია (246.99 მგ/კგ), რომელიც ბევრად აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ მნიშვნელობებს.

2019 წლის აპრილის თვეში ჩატარებული ექსპედიციისას შესწავლილი იქნა შახტური ჭებისა და ჭაბურღილების ჰიდროლოგიური მაჩვენებლები და აღებული იყო წყლის სინჯები. წყალამღებზე განლაგებულია 7 ერთეული შახტური ჭა. აღნიშნული 7 შახტური ჭიდან, ხუთი მათგანი განთავსებულია მდინარეებს - ხრამსა და დებედას შორის, ხოლო დანარჩენი ორი შახტური ჭა განლაგებულია მდინარე ხრამის

მარცხენა ნაპირზე. შახტური ჭების ძირითად ნაწილს წარმოადგენს დაახლოებით 20 -22 მეტრი სიღრმის ჭა. შახტური ჭების დიამეტრი შეადგენს 5.2 მეტრს. შახტური ჭის დებიტი დაახლოებით შეადგენს 4,305.3 ლ/წ (371,974 მ<sup>3</sup>/დღ-ღ).

წყალამღებზე ასევე განთავსებულია ჭაბურღილები. სულ საბადოზე მიმდინარე ეტაჰზე არსებობს 34 ერთეული ჭაბურღილი. 24 ჭაბურღილი განთავსებულია ხაზოვანი წყალამღების (მარნეულის წყალმომარაგება) უბანზე, ხოლო დანარჩენი 8 ჭაბურღილი კი მდინარის მარცხენა ნაპირზე, შახტურ ჭებს შორის და მიმდებარე ტერიტორიაზე. მათი სიღრმე შეადგენს 30 მეტრს, ხოლო დიამეტრი შეადგენს 345 მმ. თითოეული ჭაბურღილის დებიტი შეადგენს 80 ლ/წმ (6192 მ<sup>3</sup>/დღ-ღ).

ექსპლუატაციაში მყოფი, შერჩეული საანალიზო წერტილებიდან აღებულ იყო, 8 ჭაბურღილისა და 7 შახტური ჭის წყლის სინჯები. მათი აღება, დაკონსერვება, შენახვა და ტრანსპორტირება, ასევე საველე და ლაბორატორიულ პირობებში წყლის ჰიდროქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზის ჩატარება განხორციელდა საერთაშორისო ISO სტანდარტების მიხედვით.

მდინარე ხრამის აუზის ყველა ჭაბურღილიდან და შახტური ჭიდან აღებულ წყლის სინჯების ეკოქიმიური და მიკრობიოლოგიური კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ძირითადად წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმიანი ტიპის წყალს. რაც დადგინდა ჭაბურღილებისა და შახტური ჭების წყლის სინჯში თვალსაჩინოების მიზნით აგებული სულფატ-იონების, კალციუმის იონებისა და ჰიდროკარბონატების კონცენტრაციათა მნიშვნელობების ცვლილებების ამსახველი დიაგრამებითაც.

ყველა ჭაბურღილის და შახტური ჭის სიხისტე ძირითადად შეადგენს 4.52- 5.73 მგ-ექვ/ლ, რაც შეესაბამება სიხისტის ნორმატივებით დასაშვები ნორმების მიხედვით ზომიერად ხისტს (3.01-6.0 მგ-ექვ/ლ). ძირითადი იონების შემცველობა მიწისქვეშა წყლების ნორმატივებით დასაშვები

ნორმების ფარგლებშია, თუმცა სულფატ-იონების კონცენტრაცია ( 77,08-192,72 მგ/ლ) შედარებით მაღალია, მაგრამ არ აღემატება სასმელი და მიწისქვეშა წყლის ტექნიკური რეგლამენტით დასაშვებ ნორმატიულ სიდიდეს (250 მგ/ლ).

ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა ყველა სინჯის წყალში ნაკლებია ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებზე. მიკრო- და მაკრო ნივთიერებების კონცენტრაციათა მნიშვნელობებიც არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციის მნიშვნელობებს.

მიკრობიოლოგიური კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ყველა სინჯის წყალში საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები, „E.coli“-ს კლასის ბაქტერიები, კოლიფაგები, სალმონელა და „Streptococcus faecalis“-ის ბაქტერიები არ იყო აღმოჩენილი. ხოლო დაფიქსირებული მეზოფილური აერობებისა და ფაკულტატური ანაერობების მნიშვნელობები 37°C-ზე( 0-17კწე/მლ) და 22°C-ის პირობებში (0,5-40კწე/მლ) ბევრად ნაკლებია ნორმატივებით დასაშვებ ნორმების სიდიდეებზე ( 37°C - 20კწე და 22°C - 100კწე/მლ).

2019 წლის აპრილის და სექტემბერის თვეში საანალიზოდ აღებული იქნა მარნეულის მუნიციპალიტეტში, სოფელ დიდი მულანდლოს მიმდებარე ტერიტორიაზე, ლეჟბადინთან განთავსებული სასმელ-სამეურნეო წყლისათვის მოსამზადებელი რეზერვუარებიდან (ხრამი I და ხრამი II) ქლორირებით დამუშავებული წყლის სინჯები, აგრეთვე ქალაქ რუსთავის ქაშაკაშვილის ქუჩისა (ხრამი I რეზერვუარი) და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სოფელი ქუთლიარის (ხრამი II რეზერვუარი) მოსახლეობის სასმელი წყლის სინჯები. მათი აღება, დაკონსერვება, ეტიკეტირება, შენახვა და ტრანსპორტირება ხდებოდა საერთაშორისო სტანდარტული მეთოდით. წყლის სინჯების ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზი წარმოებდა ISO სტანდარტული მეთოდით.

ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარებიდან, ქალაქ რუსთავისა და

მარნეულის რეგიონის მოსახლეობიდან აღებული სასმელ წყლის სინჯების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგად დადგინდა რომ იგი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმიან ტიპის წყალს. რადგანაც ჰიდროკარბონატ-იონების შემცველობა შეადგენს 188.5 მგ/ლ და 185.4 მგ/ლ ხოლო სულფატ-იონების კონცენტრაცია ქლორ-იონების კონცენტრაციასთან (22.78 მგ/ლ და 31.42 მგ/ლ) შედარებით ბევრად მაღალია და შეადგენს 145.04 მგ/ლ და 166.47 მგ/ლ , მაგრამ არ აღემატება სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტით დასაშვებ ნორმატიულ სიდიდეს (250 მგ/ლ).

საანალიზოდ აღებულ წყლის სინჯებში ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები და წყალბადის მაჩვენებელი (pH=7.12, 7.24) არის ნორმატიულად დასაშვები ნორმების ფარგლებში.

პერმანგანატული ჟანგადობა შეადგენს 0.64 მგO<sub>2</sub>/ლ, რაც ნორმატიულად დასაშვები სიდიდის მიხედვით მიეკუთვნება ძალიან სუფთას (1 მგO<sub>2</sub>/ლ). წყლის სიხისტის მნიშვნელობა (3.95 - 6.51 მგ-ეკვ/ლ ) სიხისტის კლასიფიკაციის მიხედვით მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს (4-8 მგ-ეკვ/ლ).

ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა წყლის სინჯებში არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს. მაკრო- და მიკროელემენტების კონცენტრაციებიც ნაკლებია სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტის მიხედვით ნორმატიულად დასაშვები სიდიდეების მნიშვნელობებზე.

ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარებიდან, ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის რეგიონის მოსახლეობიდან აღებული სასმელ წყლის სინჯების ქიმიური ანალიზის მიხედვით მინერალიზაცია იცვლება 276,9 - 429.8 მგ/ლ, რაც შეესაბამება საშუალოდ მინერალიზირებულს, ხოლო ელექტროგამტარებლობა შეადგენს, შესაბამისად, 526.0  $\mu$ S/სმ და 579.0  $\mu$ S/სმ.

თავისუფალი ქლორის ნარჩენი რაოდენობა კი წყლის სინჯებში (0.4 მგ/ლ) ნორმატიულად დასაშვები ნორმის ფარგლებშია (0.3-0.5 მგ/ლ).

ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების, ქალაქ რუსთავისა და



მარნეულის მუნიციპალიტეტის სოფელი ქუთლიარის მოსახლეობის სასმელი წყლის სინჯის მიკრობიოლოგიური ნალიზის შედეგების მიხედვით დადგინდა, რომ საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები, "E-coli"-ის ბაქტერიები, კოლიფაგები, სალმონელა და "Streptococcus faecalis"-ის ბაქტერიები არ იყო აღმოჩენილი. მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები 37°C-ზე არ დაფიქსირდა, ხოლო 22°C-ზე ბევრად დაბალია ნორმატივებით დასაშვებ სიდიდეზე (100 კწე/მლ) და შეადგენს 1კწე/მლ.

უწყვეტ გარემოში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური წრფივი სამგანზომილებიანი განტოლების გამოყენებით მოდელირებულია მდინარე ხრამის წყალში და ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების განაწილება სოფელი თამარისიდან მდინარე მტკვართან მის შეერთებამდე. მძიმე მეტალების წყაროს წარმოადგენს ანტროპოგენული წყაროებით დაბინძურებული მდინარე მაშავერასა და დებედას წყლები. მოდელირებისათვის მდინარე ხრამი სოფელ თამარისიდან მდინარე მტკვართან მის შეერთების ადგილამდე დაყოფილა 3 პირობით ერთგვაროვან უბნად. ასევე გათვალისწინებულია მდინარე მაშავერას 9 კმ და მდინარე დებედას 150 მ სიგრძის მონაკვეთები მდინარე ხრამთან მათი შეერთების ადგილამდე. დაშვებულია, რომ თითოეული უბანი წარმოადგენს წრფივ არხს, რომლის გასწვრივ მდინარის მახასიათებელი ჰიდროგრაფიული და ჰიდროლოგიური პარამეტრები არ იცვლებიან. მდინარეში შენაკადების მიერთება აისახება წყლის ხარჯის ზრდაში მდინარის უბნის დასაწყისში. თითოეული უბისათვის გამოყენებულია მდინარის მახასიათებელი ჰიდროლოგიური პარამეტრების საშუალო წლიური მნიშვნელობები და ექსპედიციური კვლევის შედეგების მონაცემები. მიღებულია მანგანუმის, ალუმინისა და რკინის კონცენტრაციის განაწილების სურათები მდინარე მაშავერას, დებედას და ხრამის უბნებში.

გამოთვლებით მიღებული სიდიდეების შედარებით ექსპერიმენ-

ტულად განსაზღვრულ მნიშვნელობებთან დადგენილია, რომ მათ შორის არის დამაკმაყოფილებელი რაოდენობრივი თანხვედრა.

მდინარე ხრამის ფსკერზე დალექვის პროცესის ანალიზისათვის გამოთვლილი იქნა ერთი დღე-ღამის განმავლობაში დალექილი მანგანუმისა და რკინის ზედაპირული კონცენტრაციები. ორივე მეტალის დალექვის პროცესი ხორციელდება თვისებრივად ერთნაირად: მათი ზედაპირული სიმკვრივეები მაქსიმალურია სოფელ თამარისთან. სოფელი თამარისიდან სოფელ ლეჟბადენამდე ზედაპირული სიმკვრივეები მცირდება კვადრატულად და სოფელ ლეჟბადენთან ხდება მინიმალური. მდინარე დებედას დაბინძურებული წყლის ჩადინების შედეგად სოფელ ლეჟბადენთან კვლავ იზრდება დანალექი ინგრედიენტების ზედაპირული სიმკვრივეები, რომლებიც მცირდებიან (წრფივად) დინების გასწვრივ, მდინარე ხრამის მდინარე მტკვარში ჩადინების პუნქტამდე. სოფელ თამარისიდან სოფელ ლეჟბადენამდე დანალექი მეტალების ზედაპირული სიმკვრივეების ცვლილებათა შეფასებით ნათელია, რომ მანგანუმისა და რკინის ზედაპირული სიმკვრივეები მცირდებიან მდინარის 34 კმ მონაკვეთზე დაახლოებით 5.7 და 6-ჯერ, შესაბამისად. უნდა აღინიშნოს, რომ შემცირებით მიღებული სიდიდეები ახლოსაა ექსპერიმენტულად განსაზღვრულ მნიშვნელობებთან .

მდინარე ხრამში მიღებული მძიმე მეტალების კონცენტრაციის განაწილების სურათის მიხედვით სოფელი თამარისიდან მდინარე მტკვართან შეერთების ადგილამდე დადგენილია, რომ მდინარე მაშავერას წყალი არის მდინარე ხრამის ძირითადი დამაბინძურებელი წყარო.

უწყვეტ გარემოში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური წრფივი სამგანზომილებიანი განტოლების საფუძველზე მდინარე ხრამის აუზის დამაბინძურებელ ნივთიერებების კონცენტრაციათა გავრცელების მოდელირების შედეგები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას მდინარეების წყლებისა და მათ ფსკერულ დანალექებში მძიმე ლითონების კონცენტრაციათა განაწილების დასადგენად.

ამრიგად მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემად გამოყენებისათვის ჩატარებული ჰიდოქიმიური და მიკრობიოლოგიური და ფსკერული ნალექების ეკოქიმიური კვლევის, აგრეთვე მდინარის ხრამის აუზის წყალსა და ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების კონცენტრაციათა განაწილების რიცხვითი მოდელირების საფუძველზე მიღებული ეკოლოგიური მდგომარეობის სრული შეფასების შედეგად დადგინდა, რომ წყლის ხარისხი სავსებით შეესაბამება სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტით გათვალისწინებულ ნორმატიულად დასაშვებ ნორმებს.

# 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

## 1.1. საქართველოს წყლის რესურსები

ჩვენი პლანეტის ჰიდროსფერო წარმოდგენილია მსოფლიო ოკეანით, ზღვებით, მდინარეებით, ტბებით, მიწისქვეშა წყლებით, მყინვარებით, ატმოსფეროს ტენით. ხმელეთი, ზღვა და ატმოსფერო განუყოფელია საერთო პროცესების ერთიანობით, მაგრამ ამავე დროს ჰიდროსფეროს ცალკეულ ნაწილს თავისი გარკვეული ფუნქცია აკისრია. დედამიწის ზედაპირზე ჰიდროსფერო მოიცავს 1386 მლნ კმ<sup>3</sup>-ს, აქედან 97,5 % არის მლაშე ხოლო 35 მლნ კმ<sup>3</sup> შეადგენს მტკნარი წყალი [1, 2].

საქართველოში არის 25075 მდინარე, აქედან 1700-ზე მეტი არის დასავლეთ საქართველოში, რომელიც ქმნის შავი ზღვის სისტემას დამოუკიდებლად, ხოლო 7649 აღმოსავლეთ საქართველოშია, რომელიც წარმოადგენს მდინარე მტკვრის ერთიან სისტემას და ერთვის კასპის ზღვას [3].

თავისი შემადგენლობისა და თვისებების გამოსადეგობით ზედაპირული წყლების მოსახლეობის სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების, კულტურულ-საყოფაცხოვრებო საჭიროების, აგრეთვე სათევზესამეურნეო მიზნებისთვის გამოყენება განისაზღვრება საქართველოს კანონის „წყლის შესახებ,, ასევე „საქართველოს ზედაპირული წყლების დაბინძურებისაგან დაცვის ტექნიკური რეგლამენტის,, მოთხოვნებისა და ნორმატივების შესაბამისად [4, 5].

წყლის არის მდგომარეობის რაციონალური რეგულირება მიმართული უნდა იყოს მდინარის აუზის ეკოლოგიური ხარისხის სათანადოდ შენარჩუნებისაკენ ან აღდგენისაკენ, რომლის დროსაც ანთროპოგენული სტრუქტურული კომპონენტები ან ნივთიერებები არ ახდენენ მნიშვნელოვან მავნე ზემოქმედებას ეკოსისტემაზე. ეკოლოგიური ხარისხის შეფასება უზრუნველყოფს ეკოსისტემის ფუნქციონირების მახასიათებელი პარამეტრების არაშუალედურ გაზომვებს და განიხილება

როგორც წყლის არის მდგომარეობის რაციონალური რეგულირების მოქმედების ცენტრალური ელემენტი. მდინარის აუზის კონკრეტული პრობლემის გამოსავლენად ტარდება წინასწარი გამოკვლევები ეფექტური ეკოლოგიური მონიტორინგის ორგანიზებით [6].

## 1.2. მდინარე ხრამის აუზის ფიზიკურ-გეოგრაფიული მდგომარეობის დახასიათება

ლიტერატურული მონაცემებით, ასევე ჩვენს მიერ დათვალიერებული და შესწავლი იქნა მდინარე ხრამის ფიზიკურ-გეოგრაფიული მდებარეობა. ხრამ-ქციას სათავე აქვს აღმოსავლეთ საქართველოში თრიალეთის ქედის სამხრეთ კალთაზე, მთა შავიკლდის აღმოსავლეთით.



სურათი 1. მდინარე ხრამი

მდინარე ხრამი ერთვის წალკის წყალსაცავს და ჩამოუდის წალკის, დმანისის, თეთრიწყაროს, ბოლნისისა და მარნეულის რაიონებს. ერთვის მტკვარს აზერბაიჯანის ტერიტორიაზე საქართველოს საზღვართან. მდინარის ფართობია 1060 კმ<sup>2</sup>, საშუალო წლიური ხარჯი წყალსაცავთან შეადგენს 12მ<sup>3</sup>/წმ, მაქსიმალური ხარჯია 249 მ<sup>3</sup>/წმ, მინიმალური-3,6 მ<sup>3</sup>/წმ. მდინარის სიგრძე შეადგენს 117 კმ, მთლიანი აუზის ფართობია 6280 კმ<sup>2</sup>. მთავარი შენაკადებია: შავწყაროსწყალი, მაშავერა, შულავერი, დებედა

(მარჯვენა შენაკადები). გადის ბაზალტური ლავის განფენში ჩაჭრილ ღრმა კანიონებში. სოფელ არახლოს ქვემოთ ხეობა განიერდება, კალაპოტი იტოტება, ჩნდება კუნძულები. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე, წყალმცირობა შემოდგომა-ზამთარში. წყალმოვარდნა ხდება დიდი წვიმების დროს ზაფხულ-შემოდგომაზე. საზრდოობს თოვლის, წვიმისა და მიწისქვეშა წყლებით. მდინარის საშუალო ხარჯის შესართავთან შეადგენს 65,2 მ<sup>3</sup>/წმ, მაქსიმალური ხარჯია 872 მ<sup>3</sup>/წმ, ხოლო მინიმალური-5,23მ<sup>3</sup>/წმ მდინარეზე აგებულია ხრამჭესი-1 და ხრამჭესი-2. აგრეთვე გამოიყენება სარწყავად [7].

მდინარე ხრამის სარწყავი სისტემა შედგება ხუთი სარწყავი არხისგან, რომელთა ჯამური სიგრძეა 84.3კმ. ამ სარწყავი ქსელით ირწყვება მარნეულისა და ბოლნისის 1769 ჰა სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები. 1926 წელს ხრამ არხი გაყვანილი იქნა მდ. ხრამის მარცხენა ნაპირიდან. მდ. ხრამის ქვემო დინებაში გაყვანილ იქნა მაგისტრალური არხი, რომლის სიგრძეა 29,8კმ, რწყავს 3500ჰა-ს. 1932 წლიდან ექსპლუატაციაში შევიდა თამარისის არხი სიგრძით 7,2 კმ, რომელიც გაყვანილი იქნა მდ. ხრამის მარცხენა ნაპირიდან, რწყავს 410 ჰა ფართობს. 1935 წელს მდ.ხრამის მარჯვენა ნაპირიდან გაყვანილი იქნა 31,3 კმ სიგრძის იმირასანის არხი, რომლითაც ირწყვება 3759 ჰა ფართობი. 1954 წლიდან მწყობრში ჩადგა 16 კმ სიგრძის სარწყავი არხი, რომელიც რწყავს 10000ჰა-ს. საქართველოში ფუნქციონირებადი ჰიდროელექტრო სადგურებიდან ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია მდინარე ხრამზე და დაბა წალკაში მარეგულირებელი ელექტროსადგურები, რომელიც მოიცავს ხრამჭეს I და ხრამჭეს II. 1947 წლის დეკემბერში ამუშავდა ხრამჭეს I პირველი აგრეგატი, ხოლო 1949 წელს - უკანასკნელი. ხრამჭეს I დადგმული სიმძლავრეა 37,6 ათასი კვტ. დაყენებულია სამი აგრეგატი, თითოეული 37,6 ათასი კვტ. სიმძლავრით. გამომუშავებული ელექტროენერჯის საშუალო წლიური რაოდენობა შეადგენს 184 მლნ კვტ. საათს[7].

1954 წელს დაიწყო და 1963 წლის მარტში ექსპლუატაციაში შევიდა

ხრამჭეს II ჰიდროელექტროსადგური, რომელიც შედგება ორი აგრეგატისგან თითოეული 35 ათასი კვტ სიმძლავრით. წლიურად გამოიმუშავებს 370 მლნ კვტ.სთ ელექტროენერჯიას. ორივე ხრამჭეს I-ისა და ხრამჭეს II -ში აგრეგატების მართვა და რეგულირება ავტომატურია [7].

მდინარე ხრამის შენაკადებიდან სამრეწველო ანთროპოგენური ზემოქმედებით გამოირჩევა მდინარე მაშავერა და დებედა. მდინარე დებედა მოედინება სომხეთის რესპუბლიკიდან საქართველოში, მარნეულის რაიონში. სათავე აქვს ჯავახეთის ქედის აღმოსავლეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან 2091 მ-ზე. საქართველოს ტერიტორიაზე სოფელ სადახლოს მიდამოებში გამოდის და ერთვის მდინარე ხრამს მარჯვნიდან. მდინარის სიგრძეა 178 კმ, აუზის ფართობი 4,1 ათასი კმ<sup>2</sup>. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე, წყალმცირობა ზამთარსა და შემოდგომაზე. მდინარის საშუალო წლიური ხარჯი სოფელ სადახლოსთან შეადგენს 29,7 მ<sup>3</sup>/წმ. იყენებენ სარწყავად, მის მიწისქვეშა წყლებს იყენებენ სასმელ-სამეურნეო მიზნებისთვის [7].



## სურათი 2. მდინარე დებედა

მდინარე მაშავერას სათავე აქვს ქვემო ქართლში, ჯავახეთის ქედის აღმოსავლეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან 2125 მ სიმაღლეზე. მდინარე მაშავერა წარმოიქმნება მდინარე სარფდერე და მდინარე ნაზიკლიჩის შეერთების შედეგად. ეს მდინარეები ჩაედინებიან ემლიკიის მთის

აღმოსავლეთ ფერდობიდან 3053,6 მ-ზე ზღვის დონიდან. მთა თავის მხრივ განლაგებულია ქედზე, რომელსაც ეწოდება სველი მთები (კეჩუტი), სოფელ პანტიანზე 0,2 კმ-ით დაბლა, ზღვის დონიდან 1358 მ სიმაღლეზე.



### სურათი 3. მდინარე მაშავერა

მდინარე მაშავერა ერთვის მდინარე ხრამს მარჯვნიდან სოფელ არუხლოსთან. მდინარის სიგრძეა 66 კმ, აუზის ფართობი 1390 კმ<sup>2</sup>, საზრდოობს თოვლის, წვიმისა და მიწისქვეშა წყლებით. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე წყალმცირობა-ზამთარში. ზაფხულ-შემოდგომაზე წყალმოვარდნა ახასიათებს. ზამთრობით მდინარეზე აღინიშნება ყინულნაპირისი და თოში. საშუალოდ წყლის ხარჯია 7,78 მ<sup>3</sup>/წმ. იყენებენ სარწყავად, რწყავს 7,4 ათას ჰექტარს. მდინარის ძირითადი შენაკადებია: მდინარე საფრდერე (სიგრძე-19კმ), ნაზიგლიჩი (12კმ), კამარლო, მამუტლო, კარაკლისკა, მოშევანი, უკანგორი, ხეთა, ბილნისი (ანუ ფოლადაური) და ტალავერჩაი. ყველა შენაკადი ჩაედინება მდინარე მაშავერაში წყალშემკრები აუზის მთიან ნაწილში სოფელ კვეშამდე. მდინარის ქვედა ნაწილში 27კმ-ის მანძილზე მას არ უერთდება არცერთი მსხვილი შენაკადი, გარდა მდინარე ფოლადაურისა (სიგრძე-42 კმ) [7].





სურათი 4. მდინარე ხრამისა და მაშავერას შეერთება

### 1.3. მიწისქვეშა წყლების დახასიათება

საქართველოს მინერალურ სიმდიდრეთა შორის მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია მიწისქვეშა წყლებს (მტკნარი, მინერალური და თერმული). მიწისქვეშა მტკნარი წყლების ბუნებრივი რესურსების უდიდეს ნაწილს – 95% -ს (571,7 მკ/წმ – 49,4 მლნ. მკ/დღ.დ.) შეადგენს სასმელი წყლები, რომლებიც ფართოდ, მაგრამ არათანაბრად არიან გავრცელებული საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე. მათი საერთო რაოდენობის 63,4% – (362,5 მკ/წმ) მოდის დასავლეთ საქართველოზე, 24,1% – (137,9 მკ/წმ) აღმოსავლეთ საქართველოზე, ხოლო 12,5% – (71,3 მკ/წმ) კი – სამხრეთ საქართველოზე[8,9].

საერთოდ, მიწისქვეშა წყლების მარაგის შევსება ხდება ატმოსფერული ნალექებით, ზედაპირული წყლით და ა.შ., როგორც ეს აღინიშნა, ბუნებრივი პროცესია და მიმდინარეობს განუწყვეტლივ. ამიტომ ხელოვნური შევსებისას იგულისხმება ადამიანის ჩარევა და ნაგებობების (საინფილტრაციო აუზების ა.შ.) მოწყობა, რომლებიც ხელოვნურად კვებავენ მიწის წყლებს. ამ დროს საჭიროების მიხედვით, გარდა წყლის რაოდენობის ზრდისა, შეიძლება აუცილებელი პირობაც იყოს წყლის ხარისხის

გაუმჯობესებაც და ამიტომ ტერმინი „ხელოვნური შევსება“, ზუსტად არ ასახავს რეალურ პროცესს. საერთოდ მიწისქვეშა ხელოვნურად მისაწოდებელი წყლის ხარისხი შეიძლება გაუმჯობესდეს როგორც წინასწარ, ვიდრე ის მიეწოდება საინფილტრაციო ნაგებობას, ასევე საინფილტრაციო ნაგებობაში და მიწისქვეშა წყალშემცველ ფენაშიც.

მიწისქვეშა წყლების მარაგის ხელოვნური შევსებისათვის განსაკუთრებით ხელსაყრელია თბილი და ზომიერი კლიმატის რაიონები, სადაც შემავასებლად გამოიყენება ტბები და მდინარეები, რომლებიც ხასიათდებიან საკმაოდ დიდი ჩამონადენით და წყლის საჭირო ხარისხით მთელი წლის განმავლობაში. ცხადია, ამ დროს ინფილტრაციისათვის უნდა იყოს სათანადო გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობები. მიწისქვეშა წყლების მარაგის ხელოვნურ შევსებას გარკვეული წვლილი შეაქვს ქ. თბილისის წყალმომარაგების საქმეშიც.

მიწისქვეშა წყლების მარაგის ხელოვნური შევსების სქემების კლასიფიკაცია შესაძლებელია მოხდეს სხვადასხვა ფაქტორებისა და პირობების მიხედვით, თუმცა ძირითადად მაინც შეიძლება გამოიყოს ღია (აუზები, არხები და ა.შ.) და დახურული (ჭაბურღილები, ჭები, გალერეები) საინფილტრაციო ნაგებობები. ღია საინფილტრაციო ნაგებობები გვხვდება უფრო ხშირად, ვინაიდან ისინი უმეტეს შემთხვევაში ეკონომიკურია[10].

მიწისქვეშა წყლები, მდებარეობს დედამიწის ქერქის, ანუ ლითოს-ფეროს ზედა ფენებში. მოძრაობის უნარის მიხედვით მიწისქვეშა წყლები შეიძლება იყოს თავისუფალი და ბმული. მაგალითად, თავისუფალი წყლები იყოფა გრავიტაციულ და კაპილარულ წყლებად. გრავიტაციული წყლები მოძრაობს სიმძიმის ძალის ზეგავლენით და გაიჟონება (ინფილტრაციული და ინფლიაციური) ზემოდან ქვემოთ ან გადაადგილდება წყალგამტარ ფენებში დონეებისა და დაწნევების ნიშნულთა სხვაობის შედეგად. გრავიტაციული წყალი შეიძლება იყოს დაწნევიანი და უდაწნეო.

წარმოქმნის მიხედვით მიწისქვეშა წყლები შეიძლება იყოს ინფილტრაციული, კონდენსაციური, სედიმენტაციური, ორგანული, მაგმური და მეტამორფული.

ინფილტრაციული წყლები წარმოიქმნება მიწის ზედაპირიდან ატმოსფერული ნალექებისა და ზედაპირული წყლების თანდათანობით ჩაჟონვით ქანების სიცარიელეში (ფორებში, ნაპრალებში და ა.შ.). აღნიშნული ტიპის წყლებისგან შედგება ძირითადად მიწისქვეშა წყლები, რომლებიც დედამიწის ქერქის ზედა ფენებშია .

მიწისქვეშა წყლების ინფილტრაციული კვება დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე: ნალექებისა და აორთქლების რაოდენობაზე, ზედაპირული წყლების ჩამონადენზე და სხვა.

მიწისქვეშა წყლების ინფილტრაციული კვება ცვალებადია დროის წლიურ და მრავალწლიურ ციკლში. იმის მიხედვით, თუ რა მანძილი აქვს გრუნტის წყალს გავლილი, წყალშემცველ ფენაში არჩევენ მოკლე და გრძელ ფილტრატებს. უკანასკნელი, როგორც წესი, უფრო კარგი ხარისხისაა.

კონდენსაციური წყლები წარმოიქმნებიან ჰაერიდან მიწაში მოხვედრილი და დედამიწის ღრმა წყალში წარმოქმნილი ორთქლის კონდენსაციის შედეგად. აღნიშნული მოვლენები გვხვდება განსაკუთრებით მაღალმთიან რაიონებში, მაგრამ კონდენსაციური ხერხით მიღებული წყლების რაოდენობა ინფილტრაციულთან შედარებით მცირეა[10].

მიწისქვეშა წყლები წყალშემცველი ქანის სიცარიელების ხასიათსა და მათში წყლების განლაგების მიხედვით იყოფა: ფოროვან (ქვიშებში, კენჭარში და სხვ. ნამტვრევ ქანებში), ნაპრალოვან (კლოდვან ქანებში-გრანიტებში, ქვიშაქვებში და ა. შ.) და კარსტულ (ქიმიურ და ორგანიგენულ დანალექ ქანებში-კირქვები, დოლომიტი, დავაშირი და სხვ.) წყლებად. თუ ქანის ფენა გრავიტაციული ტიპის წყალს შეიცავს, მას წყალშემცველ ფენას (ან ჰორიზონტს) უწოდებენ, რომელიც შეიძლება იყოს ფოროვანი ან ნაპრალებიანი. წყალშემცველი ჰორიზონტის ქვემოთ წყალგაუმტარი ფენა (საგები)-თიხები, თიხოვანი ფიქლები, არანაპრალოვანი ვულკანური და

სხვა ქანები.

დედამიწის ზედაპირიდან პირველ მუდმივმოქმედ უდაწნეო წყალშემცველ ჰორიზონტს გრუნტის წყლების ჰორიზონტი ეწოდება, ხოლო წყლებს-გრუნტის წყლები. ვინაიდან გრუნტის წყლები უდაწნეო წყლებია, აქვთ თავისუფალი ზედაპირი და ატმოსფეროსთან უშუალო კავშირი. მანძილს წყალგაუმტარი საგებიდან თავისუფალ ზედაპირამდე გრუნტის წყლის ჰორიზონტის სიმძლავრე (ანუ ფენის სისქე) ეწოდება. დედამიწის ზედაპირიდან გრუნტის წყლების თავისუფალ ზედაპირამდე მთელ სივრცეს აერაციის ზონა ეწოდება, რომელშიაც წარმოებს დედამიწის ზედაპირიდან წყლების ჩაჟონვა.

აერაციის ზონაში ხშირად გამოერევა წყალგაუმტარი შრეები და ზედაპირიდან ჩაჟონილი წყალი დროებით მათზე გროვდება. ასეთ წყლებს ზედა წყლები ეწოდება.

მიწისქვეშა წყლები შეიძლება მოთავსებული იყოს და განიცდიდეს ცირკულაციას მაგმურ, მეტამორფულ და ნალექნაპრალებიან ქანებში. ასეთ წყლები ნაპრალოური წყლები ეწოდება, იგი შეიძლება იყოს უდაწნეო და დაწნევიანი.

ზედაპირზე ბუნებრივად გამოსულ მიწისქვეშა წყლებს წყაროები ეწოდება. წყარო შეიძლება წარმოქმნას როგორც უდაწნეო, ასე დაწნევიანმა წყალმა. უდაწნეო წყლების მიერ წარმოქმნილ წყაროს დამავალი წყარო ეწოდება, ხოლო დაწნევიანი წყლების მიერ - აღმავალი წყარო.

რელიეფისა და გეომორფოლოგიური პირობებისგან დამოკიდებულიებით გრუნტის წყლები შეიძლება თვითონ კვებავდეს მდინარეებს, მათ შორის შეიძლება არსებობდეს მჭიდრო ჰიდრაულიკური კავშირი.

გრუნტის წყლები შეიძლება წარმოქმნას კონდენსაციური და მიწისქვეშა დაწნევიანი წყლებისგან.

მიწისქვეშა წყლებს აქვს მაღალი სანიტარიული თვისებები, ისინი ბაქტერიოლოგიურად სუფთაა და თავისუფალია მექანიკური მინარევებისგან. მიწისქვეშა წყლებს აქვს მარტო გახსნილი მინარევები,

მარილებისა და სხვა სახით, რაც გამოწვეულია იმით, რომ ქანებში გავლისას წყალში იხსნება ამ ქანების შემცველი ნივთიერებანი. ზედაპირული წყლების გრუნტში ფილტრაციის შედეგად წყალში ჟანგბადის რაოდენობა მნიშვნელოვნად მცირდება ნიადაგში სხვადასხვა ორგანული ნივთიერებების დაჟანგვასთან დაკავშირებით. ამავე დროს წყალი მდიდრდება ნახშიროჟანგით, რაც ადიდება სხვადასხვა ქანების წყალში ხსნადობას.

დედამიწის ზედაპირიდან დაშორებული წყლის ხარისხი უკეთესია, რადგან იგი ინტენსიურად იფილტრება. მიწისქვეშა წყლების ხარისხი, ზედაპირულ წყლებთან შედარებით, სტაბილურია როგორც დღე-ღამის, ასევე სეზონის, წლიურ და მრავალწლიურ პერიოდშიც.

ტემპერატურის მიხედვით მიწისქვეშა წყლები იყოფა: განსაკუთრებულ ცივ ( $0^{\circ}\text{C}$ ), ძალიან ცივ ( $0 - 4^{\circ}\text{C}$ ), ცივ ( $4-20^{\circ}\text{C}$ ), თბილ ( $20 - 37^{\circ}\text{C}$ ), ცხელ ( $37-42^{\circ}\text{C}$ ), ძალიან ცხელ ( $42 - 100^{\circ}\text{C}$ ) და განსაკუთრებულ ცხელ ( $100^{\circ}\text{C}$  მეტი) წყლებად. წყლის ტემპერატურის რეჟიმი დედამიწის ზედა ფენებში რეგიონის მიხედვით სხვადასხვანაირია, საერთოდ კი წყლის ტემპერატურა დედამიწის სიღრმეში მატულობს. გრუნტის წყლები ხასიათდება გამჭვირვალობით, ხოლო ფერი შეიძლება მისცეს გახსნილმა მარილებმა, მაგალითად რკინამ. მიწისქვეშა წყლებს გემოს აძლევს მასში გახსნილი ნივთიერებები: მლაშე გემოს-ქლორიანი ნატრიუმი, მწარეს-მაგნიუმის სულფატი, ჟანგის გემოს კი-რკინის მარილები. წყლის სუნი მიანიშნებს წყალში ბიოქიმიური წარომომობის აირების (გოგირდ-წყალბადის და სხვა) ან ლპობად ორგანულ ნივთიერებათა არსებობაზე.

მიწისქვეშა წყლების სიმკვრივე შეიძლება იყოს  $1-1,2$  გ/სმ<sup>3</sup> და მეტიც. სიმკვრივე მნიშვნელოვნად იზრდება მინერალიზაციისა და ტემპერატურის გადიდებით, ტემპერატურის გაზრდა კი იწვევს სიმკვრივის მნიშვნელოვან შემცირებას.

მიწისქვეშა წყლების ელექტროგამტარობა დამოკიდებულია წყლების მინერალიზაციის ხარისხზე და ელექტროგამტარობის საზომად მიღებულ კუთრ ელექტრონულ წინააღობაზე. მტკნარი წყლები ხასიათდება

უმნიშვნელო ელექტროგამტარობით.

დღეისთვის მიწისქვეშა წყლებში აღმოჩენილია მენდელეევის 60-მდე ელემენტი. წყლის ქიმიური შედგენილობა იცვლება დროის მიხედვით .

მიწისქვეშა წყლების ქიმიურ შედგენილობაზე საერთოდ მსჯელობენ ისეთი მაჩვენებლების მიხედვით, როგორცაა მინერალიზაცია და მშრალი ნაშთის მასური კონცენტრაცია. მშრალი ნაშთის მასური კონცენტრაციის მიხედვით მიწისქვეშა წყლები შეიძლება დაყოთ შემდეგ ჯგუფებად: ზედმიწევნით მტკნარი (200 მგ/ლ), მტკნარი (200-1000 მგ/ლ), მცირე-მარილიანი (10000-35000 მგ/ლ) და მარილწყალი (35000 მგ/ლ მეტი).

მიწისქვეშა წყლების უმეტესს ნაწილს pH აქვს 6.0-8,4 ზღვრებში.

წყლებში სიხისტე ძირითადად განპირობებულია კალციუმის და მაგნიუმის იონების არსებობით. მიწისქვეშა წყლებში გვხვდება სიხისტის მიხედვით შემდეგი ჯგუფები ძალიან რბილი (1,5 მგ.ეკვ./ლ-მდე), რბილი (1,5-3.0 მგ.ეკვ./ლ), ზომიერად ხისტი (3,01-6.0 მგ.ეკვ./ლ), ხისტი (6,01-9.0 მგ.ეკვ./ლ), ძალიან ხისტი (9,0 მგ.ეკვ./ლ მეტი)[10,11].

#### 1.4. მიწისქვეშა წყლების სანიტარული ზონები

სანიტარიული წესები და ნორმები შემუშავებულია საქართველოს კანონების შესაბამისად „ჯანმრთელობის დაცვის შესახებ“, „გარემოს დაცვის შესახებ“ და „წყლის შესახებ“. კანონმდებლობის თანახმად სასმელ-სამეურნეო, საყოფაცხოვრებო დანიშნულების წყალმომარაგებისათვის გამოყენებული წყლის დასაცავად მოქმედებს სანიტარიული დაცვის ზონები. მოსახლეობის სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების საჭიროებისათვის გამოყენებული წყლის ობიექტების დაცვის მიზნით თავდაპირველად დგინდება სანიტარიული დაცვის ზონები აუცილებლად ჩასატარებელი სანიტარიულ-ჰიგიენური ღონისძიებების მიხედვით. სანიტარიული წესები და ნორმები (სწდან) განსაზღვრავს წყალმომარაგების წყაროებისა და სასმელ-სამეურნეო დანიშნულების წყალსადენების სანიტარიული დაცვის ზონების (სდზ) მოწყობისა და ექსპლუატაციის

სანიტარიულ-ეპიდემიოლოგიურ მოთხოვნებს.

სდზ-ის მოწყობა ხდება ყველა ზედაპირული და მიწისქვეშა წყაროების წყალსადენებზე. სდზ-ის ძირითადი მიზანია წყალმომარაგების წყაროების, წყალსადენის ნაგებობებისა და იმ ტერიტორიების დაცვა გაბინძურებისაგან, სადაც ისინია განლაგებული[12].

„წყლის კანონის“ თანახმად სდზ უნდა მოეწყოს 3 სარტყლად:

პირველი სარტყელი (მკაცრი რეჟიმის ზონა) მოიცავს ტერიტორიას, სადაც მდებარეობს წყალმომარაგების წყლის ობიექტი, წყლის ალების უბნების და წყალსადენის ნაგებობების განლაგების ფარგლებში.

პირველ სარტყელში აკრძალულია:

- იმ პირთა ცხოვრება და დროებით ყოფნა, რომლებიც უშუალოდ არ არიან დაკავშირებულნი წყალსადენის ნაგებობების მომსახურებასთან.
- ნებისმიერი მშენებლობა, გარდა წყალსადენის ნაგებობებისა; ნებისმიერი დანიშნულების საცხოვრებელი და ადმინისტრაციული შენობების განთავსება; ინერტული მასალის მოპოვება; მილსადენის გაყვანა, ჩამდინარე წყლების ჩაშვება, ბანაობა, პირუტყვის ძოვება და დარწყულება, რეცხვა, თევზჭერა, შხამქიმიკატების გამოყენება მცენარეთა დაცვის მიზნით;

მეორე სარტყელი მოიცავს ტერიტორიას, რომელიც უშუალოდ ესაზღვრება წყალმომარაგების წყლის ობიექტებს და მათ შენაკადებს.

მეორე სარტყელში აკრძალულია:

- ტერიტორიის ან წყლის ობიექტების ისეთი გამოყენება, რომელსაც შეუძლია გამოიწვიოს წყლის ხარისხობრივი გაუარესება;
- მშენებლობა, მცენარეული საფარის გაკაფვა, სარკინიგზო და საავტომობილო გზების გაყვანა და ა.შ

მესამე სარტყელი მოიცავს მეორე სარტყლის მოსაზღვრე ტერიტორიას, რომლის არასასურველმა მდგომარეობამ შეიძლება გამოიწვიოს წყლის ქიმიური გაბინძურება.

სამივე სარტყელში, აგრეთვე სანიტარიული დაცვის ზოლში დგინდება სპეციალური რეჟიმი, რომლებიც მიმართულია წყლის ხარისხის გაუარესების თავიდან ასაცილებლად [13].

მიწისქვეშა წყლების პირველი სარტყლის საზღვრები განისაზღვრება შემდეგნაირად:

- დაცული მიწისქვეშა წყლები, პირველი სარტყლის საზღვარი წყალასაღებიდან არანაკლებ 30 მ მანძილზე დგინდება;
- არასაკმარისად დაცული მიწისქვეშა წყლების გამოყენების შემთხვევაში კი – არანაკლებ 50 მ-ისა.
- რამოდენიმე მიწისქვეშა წყალასაღების არსებობისას, განაპირა ჭაბურღილიდან არანაკლებ 30 მ და 50 მ-ის დაშორებით.

მეორე და მესამე სარტყლის საზღვრების დადგენისას გათვალისწინებული უნდა იყოს, რომ მიწისქვეშა წყლების მოდინება წყალშემცველი ჰორიზონტიდან წყალასაღებისაკენ მხოლოდ წყალასაღების კვების არედან ხდება. მათი ფორმა და ზომები დამოკიდებულია:

- წყალასაღების ტიპზე (ცალკეული ჭაბურღილები, ჭაბურღილების ჯგუფი, ჭაბურღილების მწკრივი, ჰორიზონტალური დაწრეტა და სხვა);
- წყალასაღების სიდიდეზე და მიწისქვეშა წყლების დონის დაქვეითებაზე;
- წყალშემცველი ფენის ჰიდროლოგიურ თავისებურებებზე, მისი კვებისა და დაწრეტის პირობებზე.

### **1.5. მდინარე ხრამისა და დებედას მიმდებარედ განლაგებული მიწისქვეშა წყლების შახტური ჭებისა და ჭაბურღილების ჰიდროლოგიური დახასიათება**

ბუნებაში მიმდინარე მრავალი პროცესებისა და ადამიანის სასიცოცხლო და საარსებო პირობების უზრუნველმყოფელ, გადამწყვეტ და უმნიშვნელოვანეს ფაქტორს წარმოადგენს წყალი. წყლის მოხმარებისა და წყალსარგებლობის გაზრდა მოითხოვს წყლის რესურსების ხარისხის ამაღლებას, რაც სახალხო მეურნეობის განვითარების განმაპირობებელია.



წყლის ხარისხი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მრავალი წარმოების პროდუქციის, აგრეთვე სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ხარისხს, თევზის მოშენებას და სხვას. წყლის რესურსების რაციონალური კომპლექსური გამოყენების პრობლემა და წყლის დაცვის ეფექტურობა მოითხოვს ძირითადად ჰიდროქიმიური ინფორმაციის განასაზღვრულ მოცულობასა და ხარისხს, მისი შესრულების ოპერატიულობას[14].

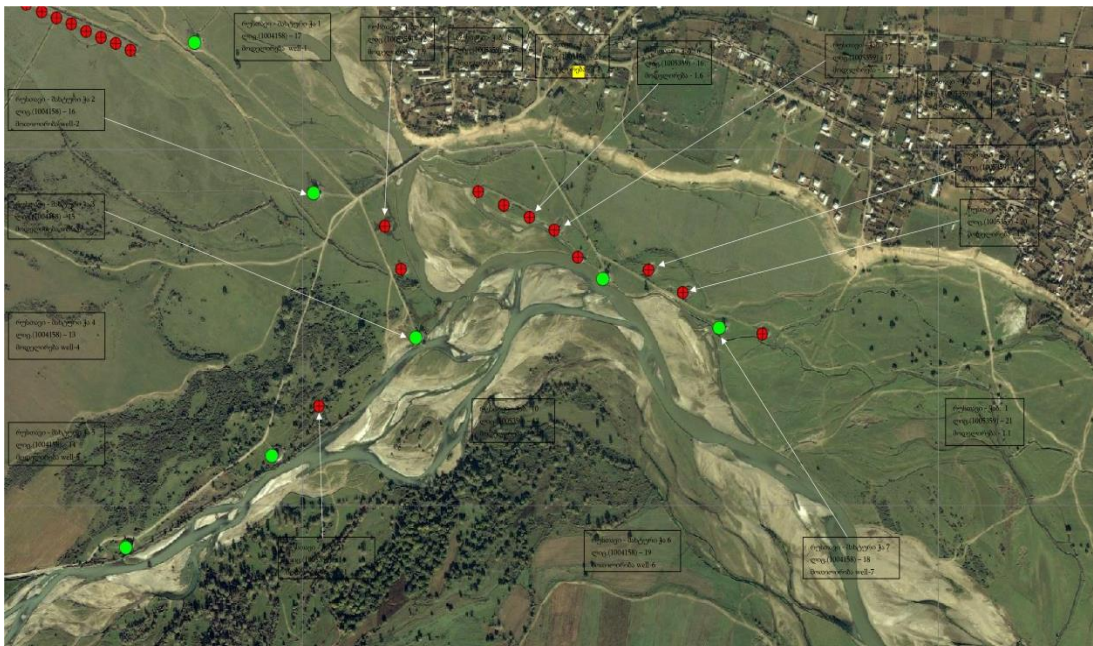
საქართველოში მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა წყლებს იყენებენ ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის მუნიციპალიტეტის რეგიონის მოსახლეობის წყალმომარაგების სისტემად. მიწისქვეშა წყლების მარაგის შევსება, ჰორიზონტის კვების ძირითად წყაროს წარმოადგენს უპირატესად ატმოსფერული ნალექები და ზედაპირული წყლები. სასმელ-სამეურნეო მიზნებისათვის წყალმომარაგება ხორციელდება მდინარე ხრამისა და დებედას მიმდებარედ განლაგებული 34 ჭაბურღილითა და 7 შახტური ჭიდან. აქედან მოქმედია 7 შახტური ჭა და 14 ჭაბურღილი, სარეზერვოა 6 ჭაბურღილი, ხოლო 8 - საექსპლუატაციო მდგომარეობაშია.

საბადო მდებარეობს საქართველოს სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, მდინარეების - ხრამისა და დებედას შესართავთან არსებულ განიერ ჭალაში. ეს არის ვაკე რელიეფის მქონე ტერიტორია მცირე დახრილობით ჩრდილო დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით. ადგილმდებარეობის აბსოლუტური ნიშნულები, სიმაღლე ზღვის დონიდან მერყეობს 300-310 მ-ის ფარგლებში. საბადოს ტერიტორიის სიგრძეა დაახლოებით 5 კმ, ხოლო სიგანე მერყეობს 1 დან 2 კმ-მდე. მისი ტერიტორია 684 ჰექტარია მდინარეების კალაპოტების ჩათვლით[14].

საბადო მდებარეობს მდინარე ხრამის ქვედა წელში, სადაც კალაპოტი გაშლილია, აღინიშნება მნიშვნელოვანი მეანდრული ხაზები. ჭალის სიგანე ყველაზე ფართო ადგილზე შეადგენს დაახლოებით 2 კმ-ს. ჩრდილოეთის მხრიდან ხრამის ჭალას ესაზღვრება დაახლოებით 20 მეტრი სიმაღლის ბეჭობი. მდინარის კალაპოტი საბადოს ტერიტორიის ფარგლებში წარმოდგენილია თანამედროვე ნალექებით, რომლებიც მდინარის

ზემოქმედებით აკუმულირდა ქალაში. კალაპოტის ქვეშ განთავსებულია მეოთხეული ასაკის შრე, რომელიც წარმოდგენილია კაქარ-კენქნართ ქვიშისა და თიხის შემცველი შემავსებლით.

საბადოს ფარგლებში მიწისქვეშა წყლების რეჟიმი იცვლება ზედაპირული წყლებისა და ატმოსფერული ნალექების რეჟიმის ცვალებადობის იდენტურად, რაც მათ შორის არსებულ მჭიდრო ურთიერთკავშირზე მეტყველებს.

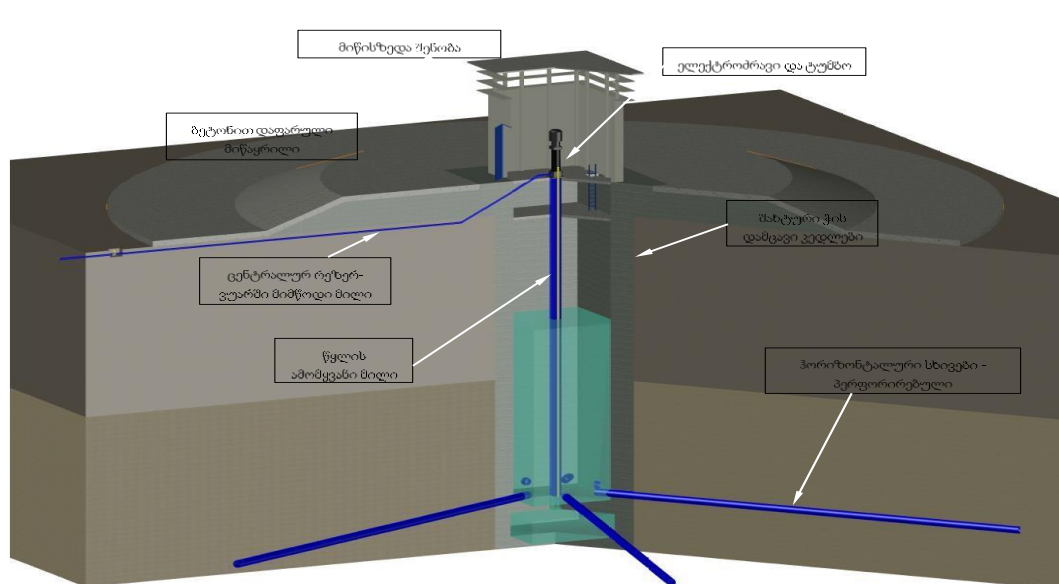


სურათი 5. შახტური ჭებისა და ჭაბურღილების განლაგება

წყალამღებზე განლაგებულია 7 ერთეული შახტური ჭა. აღნიშნული 7 შახტური ჭიდან, ხუთი მათგანი განთავსებულია მდინარეებს - ხრამსა და დებედას შორის, ხოლო დანარჩენი ორი შახტური ჭა განლაგებულია მდინარე ხრამის მარცხენა ნაპირზე. შახტური ჭების კონსტრუქცია ტიპურია, მათი პროექტირება განხორციელდა ადგილობრივი პირობების გათვალისწინებით ისე, რომ შახტურ ჭებს დაეკაპტაჟებინათ ალუვიური ნალექების ფენაში არსებული გრუნტის წყლები[14].

შახტური ჭების ძირითად ნაწილს წარმოადგენს დაახლოებით 20 -22 მეტრი სიღრმის ჭა. შახტური ჭების დიამეტრი შეადგენს 5.2 მეტრს. თითოეული შახტური ჭა აღჭურვილია 7 ერთეული ჰორიზონტალური

სხივით რომლებიც რადიალურად არის შეყვანილი ადგილობრივ გრუნტში. სხივები აგებულია 8 დუიმის დიამეტრის, ფოლადის პერფორირებული მილებით. თითოეული სხივური გალერეა ბოლოვდება ჩამკეტი არმატურით, რომლის თავიც მდებარეობს შახტური ჭის შიგნით. ჰორიზონტალური სხივების სიგრძე მერყეობს 20-დან 30 მეტრამდე, ხოლო ფილტრების საერთო სიგრძე იცვლება 136-დან 262 მეტრამდე. შახტური ჭის დებიტი დაახლოებით შეადგენს 4,305.3 ლ/წ (371,974 მ<sup>3</sup>/დღ-დ). ყველა შახტური ჭა შემოღობილია ეკლიანი მავთულით, საბადოზე მოწყობილია შახტური ჭების დაცვის ზონის პირველი სარტყლები.



**სურათი 6. შახტური ჭების კონსტრუქცია**

წყალამღებზე ასევე განთავსებულია ჭაბურღილები. სულ საბადოზე მიმდინარე ეტაჰზე არსებობს 34 ერთეული ჭაბურღილი. 24 ჭაბურღილი განთავსებულია ხაზოვანი წყალამღების (მარნეულის წყალმომარაგება) უბანზე, ხოლო დანარჩენი 8 ჭაბურღილი კი მდინარის მარცხენა ნაპირზე, შახტურ ჭებს შორის და მიმდებარე ტერიტორიაზე. თითოეულისათვის აიგო სპეციალური მცირე ზომის შენობები. თითოეული ჭაბურღილის დებიტი შეადგენს 80 ლ/წმ (6192 მ<sup>3</sup>/დღ-დ). ჭაბურღილების კონსტრუქცია იდენტურია, მათი სიღრმე შეადგენს 30 მეტრს, ჭაბურღილების ლულის ზედა ნაწილი დამზადებულია ფოლადის მილებით. ზედა ნაწილი

გადაკეტილია, ხოლო 10 მეტრის ქვემოთ ჭაბურღილების საცავი მილები პერფორირებულია. ჭაბურღილების დიამეტრი შეადგენს 345 მმ [14].

### 1.6. მდინარე ხრამის აუზის ჰიდროქიმიური კვლევა

ლიტერატურული მონაცემებით მდინარე ხრამისა და დებედას წყლის ქიმიური ანალიზის შედეგები მოცემულია 1 და 2 ცხრილში[15].

**ცხრილი 1. მდინარე ხრამის წყლის ქიმიური შემადგენლობა**

ობიექტი	pH	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Σ <sub>I</sub>	წყლის ინდექსი	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>
		მგ/ლ									მგ/ლ		
ხრამი სათავე	7.45	2.2	4.1	128	28.3	არ გან	12.8	4.6	180	C <sub>I</sub> <sup>Na</sup>	0.01	0.19	1.3
ხრამი შესართავი	7.93	27.5	112	167	40.3	3.0	57.3	20.5	428	CS <sub>II</sub> <sup>Ca</sup>	0.4	0.09	3.8

**ცხრილი 2. მდინარე დებედას წყლის ქიმიური შემადგენლობა**

ობიექტი	pH	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Σ <sub>I</sub>	წყლის ინდექსი	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>
		მგ/ლ									მგ/ლ		
ხრამი სათავე	7.1	8.9	26.8	147	27.3	3.1	27.2	8.4	249	S <sub>II</sub> <sup>NaCa</sup>	0.03	0.00	1.5
ხრამი შესართავი	7.14	16.6	135	137	61.8	2.8	49.5	8.6	411	S <sub>II</sub> <sup>NaCa</sup>	0.08	0.00	3.4

პირველი და მეორე ცხრილის მონაცემებით ძირითადი იონებისა და ბიოგენური კომპონენტების კონცენტრაციათა მნიშვნელობები იმყოფება ტექნიკური რეგლამენტით დასაშვები ნორმების ფარგლებში. პირველი ცხრილიდან გამომდინარე მდინარე ხრამის მინერალიზაცია სათავის მიდამოებში მიეკუთვნება დაბალ მინერალიზებულს, შემდეგ მატულობს და მტკვართან შეერთების მიდამოში აღწევს საშუალოდ მინერალიზებულს. ხოლო მდინარე დებედას წყლის მინერალიზაცია - საშუალოდ მინერალიზებულს (ცხრილი 2).

2013 - 2018 წლებში საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული ზედაპირული წყლების დაბინძურების ხარისხის შესწავლას და წყლის დაბინძურებაზე დაკვირვებას აწარმოებს გარემოს ეროვნული სააგენტოს გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტი[16].

2013 წლის ლიტერატურული მონაცემებით მდ. ხრამის წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 1 კვეთზე წითელ ხიდთან. სულ აღებული იქნა 10

სინჯი. მიმდინარე წელს მდ. ხრამის წყალში ჟანგბადის შემცველობა იცვლებოდა 5.7-11.4 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მინიმალური მნიშვნელობა 5.7მ მგ/ლ დაფიქსირდა აგვისტოს თვეში. ჟბმ იცვლებოდა 1.14-2.06 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.087-0.759 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური კონცენტრაცია-0.759 მგ/ლ(2 ზდკ) აღინიშნა დეკემბრის თვეში, საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ კი შეადგინა 0,3941 მგ/ლ. ფოსფატების შემცველობა მერყეობდა 0-13.35 მგ/ლ-ის ფარგლებში, მაქსიმალური მნიშვნელობა 13.35 მგ/ლ (3.8 ზდკ) აღინიშნა დეკემბერში. მინერალიზაცია მერყეობდა 196.5-694 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 694 მგ/ლ აქაც დაფიქსირდა დეკემბერში. ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, სულფატების, ქლორიდების, ფტორის, კალციუმის, კალიუმის, ნატრიუმის, რკინის, სპილენძის, ტყვიის, მანგანუმისა და მაგნიუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდნენ ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

მდ. მაშავერას წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 2 კვეთზე: მაშავერა ზედა და მაშავერა ქვედა. სულ აღებული იქნა 18 სინჯი. მიმდინარე წელს ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.68-2.34 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.04-0.56 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.2444 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.56 მგ/ლ (1.4 ზდკ) აღინიშნა სექტემბრის თვეში. მინერალიზაცია მერყეობდა 153.03-896.62 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 896.62 მგ/ლ აღინიშნა ნოემბრის თვეში. ფოსფატების შემცველობა მერყეობდა 0.00-4.535 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 4.535 მგ/ლ (1.3 ზდკ) აღინიშნა ასევე ნოემბრის თვეში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.97 მგ/ლ. რკინის შემცველობა მერყეობდა 0.00-1.313 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.375 მგ/ლ (1.3 ზდკ). მაქსიმალური მნიშვნელობა 1.313 მგ/ლ (4.4 ზდკ) აღინიშნა ივლისის თვეში. სპილენძის შემცველობა მერყეობდა 0.00-1.2 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა

საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.19 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 1.2 მგ/ლ (1.2 ზდკ) აღინიშნა მაისში. მანგანუმის შემცველობა მერყეობდა 0.0031-0.119 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.048 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.119 მგ/ლ (1.2 ზდკ) აღინიშნა აგვისტოში. მავნე ინგრედიენტების ყველა მაქსიმალური მნიშვნელობები დაფიქსირდა მდ.მაშავერას ქვედა კვეთში. ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, სულფატების, ქლორიდების, ფტორის, კალციუმისა და მაგნიუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდნენ ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს[16].

2014 წლის ლიტერატურული მონაცემებით მდ. ხრამის წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 1 კვეთზე წითელ ხიდთან. სულ აღებული იქნა 12 სინჯი. მიმდინარე წელს მდ. ხრამის წყალში ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.89-2.71 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.0540-0.8480 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური კონცენტრაცია 0.8480 მგ/ლ (2.2 ზდკ) აღინიშნა მაისის თვეში, საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ კი შეადგინა 0.3979 მგ/ლ, რაც უმნიშვნელოდ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს. მინერალიზაცია მერყეობდა 215.8-608.7 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 608.7 მგ/ლ დაფიქსირდა ივლისში. ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, სულფატების, ფოსფატების, ქლორიდების, ფტორის, კალციუმის, კალიუმის, ნატრიუმის, რკინის, სპილენძის, ტყვიის, მანგანუმისა და მაგნიუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდნენ ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

მდ. მაშავერას წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 2 კვეთზე: მაშავერა ზედა და მაშავერა ქვედა.სულ აღებული იქნა 26 სინჯი. მიმდინარე წელს ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.5-2.55 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.023-0.785 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.3110 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.785 მგ/ლ (2 ზდკ)

აღინიშნა ქვედა კვეთში ივლისის თვეში. მინერალიზაცია მერყეობდა 167.51-363.31 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 363.31 მგ/ლ აღინიშნა ოქტომბრის თვეში ასევე ქვედა კვეთში. რკინის შემცველობა მერყეობდა 0.0054-1.7298 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.3447 მგ/ლ (1.2 ზდკ). მაქსიმალური მნიშვნელობა 1.7298 მგ/ლ (5.8 ზდკ) აღინიშნა მაისის თვეში ქვედა კვეთში. ტყვიის შემცველობა მხოლოდ ერთ, ივლისში ზედა კვეთში აღებულ სინჯში აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს და მან შეადგინა 0.0536 მგ/ლ (1.8 ზდკ). მანგანუმის შემცველობა მერყეობდა 0.0042-1.0403 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.1164 მგ/ლ. მაქსიმალური 1.0403 მგ/ლ (10 ზდკ) აღინიშნა იანვარში ქვედა კვეთში. ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, სულფატების, ქლორიდების, თუთიის, კალციუმის, კალიუმის, ნატრიუმის, მაგნიუმის და ციანიდების კონცენტრაციები არ აღემატებოდნენ ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს[16].

2015 წლის ლიტერატურული მონაცემებით მდ. ხრამის წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 4 კვეთზე: წითელ ხიდთან, სოფ. იმირთან, სოფ. ნახიდურთან და ხრამჭესთან. სულ აღებული იქნა 26 სინჯი. მიმდინარე წელს მდ. ხრამის წყალში ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.75-3,42 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.062-0.778 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური კონცენტრაცია 0.778 მგ/ლ (2 ზდკ) აღინიშნა ნოემბრის თვეში სოფ. იმირთან. საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ კი შეადგინა 0.3264 მგ/ლ. მინერალიზაცია მერყეობდა 191.89-603.3 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 603.3 მგ/ლ დაფიქსირდა დეკემბერში ასევე სოფ. იმირთან. რკინის შემცველობა მხოლოდ ერთ, მარტში აღებულ სინჯში უმნიშვნელოდ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს და მან შეადგინა 0.3009 მგ/ლ. ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, სულფატების, ფოსფატების, ქლორიდების, კალციუმის, კალიუმის, ნატრიუმის, თუთიის, სპილენძის,

ტყვიის, დარიშხანის, მანგანუმისა და მაგნიუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდნენ ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

მდ. დებედას წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 1 კვეთზე სოფ. სადახლოსთან. სულ აღებული იქნა 11 სინჯი. ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.95-3.82 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.0620-0.5050 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.2771 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.5050 მგ/ლ (1.3 ზდკ) აღინიშნა ნოემბერში. მინერალიზაცია მერყეობდა 234.98-603.3 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 603.3მგ/ლ აღინიშნა დეკემბრის თვეში. ნიკელის შემცველობა მხოლოდ ერთ, აპრილში აღებულ სინჯში უმნიშვნელოდ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს და მან შეადგინა 0.1005 მგ/ლ. ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, ფოსფატების, სულფატების, ქლორიდების, კალციუმის, კალიუმის, ნატრიუმის, რკინის, თუთიის, სპილენძის, დარიშხანის, ტყვიის, მაგნიუმისა და მანგანუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდნენ ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

მდ. მაშავერას წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 7 კვეთზე: მაშავერა ზედა და მაშავერა ქვედა, ქ. ბოლნისთან, ქ. დმანისთან, სოფ. დიდ დმანისთან, სოფ. კიანეთთან და სოფ. ხიდისყურთან. სულ აღებული იქნა 51 სინჯი. მიმდინარე წელს ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.6-5.19 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.041-0.8320 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.3512 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.8320 მგ/ლ (2.1 ზდკ) აღინიშნა ქვედა კვეთში იანვრის თვეში. მინერალიზაცია მერყეობდა 144.10-584.44 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 584.44 მგ/ლ აღინიშნა სექტემბრის თვეში ქ. ბოლნისთან. რკინის შემცველობა მერყეობდა 0.0133-0.6783 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.2069 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.6783 მგ/ლ (2.3 ზდკ) აღინიშნა



ნოემბრის თვეში ქვედა კვეთში. ტყვიის შემცველობა მხოლოდ ერთ, აპრილში ქვედა კვეთში აღებულ სინჯში აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს და მან შეადგინა 0.0412 მგ/ლ (1.4 ზდკ). მანგანუმის შემცველობა მერყეობდა 0.0029-0.2817 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.0544 მგ/ლ. მაქსიმალური 0.2817 მგ/ლ (2.8 ზდკ) აღინიშნა ივლისში ქვედა კვეთში. კობალტის შემცველობა მერყეობდა 0.0005-0.3755 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო-წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.0605 მგ/ლ. მაქსიმალური 0.3755 მგ/ლ (3.8 ზდკ) აღინიშნა ნოემბერში ქვედა კვეთში. მოლიბდენის შემცველობა მერყეობდა 0.0006-0.2986 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.1119 მგ/ლ. მაქსიმალური 0.2986 მგ/ლ (1.2 ზდკ) აღინიშნა ივნისში ქვედა კვეთში. ზასნი-ს მნიშვნელობა მხოლოდ ერთ, ივლისში ბოლნისთან აღებულ სინჯში აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს და მან შეადგინა 0.7100 მგ/ლ (7.1 ზდკ). კადმიუმის მნიშვნელობა მერყეობდა 0.0002-0.0083 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.0010 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.0083 მგ/ლ (8.3 ზდკ) აღინიშნა ივნისში ქვედა კვეთში. ნიკელის შემცველობა მერყეობდა 0.0006-0.1057 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალოწლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.0433 მგ/ლ. მაქსიმალური 0.1057 მგ/ლ (1.1 ზდკ) აღინიშნა აპრილის თვეში დმანისთან. ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, სულფატების, ქლორიდების, თუთიის, კალციუმის, კალიუმის, ნატრიუმის, დარიშხანის, მაგნიუმის და ციანიდების კონცენტრაციები არ აღემატებოდნენ ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს [16].

2016 წლის ლიტერატურული მონაცემებით მდ. ხრამის წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 2 კვეთზე: წითელ ხიდთან და სოფ. იმირთან. სულ აღებული იქნა 24 სინჯი. მიმდინარე წელს მდ. ხრამის წყალში ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟმჱ იცვლებოდა 0.63-2.9 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.078-0.645 მგN/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური კონცენტრაცია 0.645 მგN/ლ (1.7 ზდკ)

აღინიშნა მარტის თვეში სოფ. იმირთან. საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ კი შეადგინა 0.332 მგN/ლ. მინერალიზაცია მერყეობდა 242.9-594.13 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 594.13 მგ/ლ დაფიქსირდა სექტემბერში წითელ ხიდთან. რკინის კონცენტრაცია მხოლოდ ერთ, მარტის თვეში ს. იმირთან აღებულ სინჯში აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს და მან შეადგინა 0.416 მგ/ლ (1.4 ზდკ). ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, სულფატების, ფოსფატების, ქლორიდების, კალციუმის, კალიუმის, ნატრიუმის, თუთიის, სპილენძის, ტყვიის მანგანუმისა და მაგნიუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

მდ. დებედას წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 1 კვეთზე სოფ. სადახლოსთან. სულ აღებული იქნა 12 სინჯი. ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.66-3.48 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.086-0.474 მგN/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.317 მგN/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.474 მგN/ლ (1.2 ზდკ) აღინიშნა თებერვალში. მინერალიზაცია მერყეობდა 270.44-501.58 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 501.58 მგ/ლ აღინიშნა სექტემბრის თვეში. რკინის შემცველობა მხოლოდ ერთ, მარტში აღებულ სინჯში აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს და მან შეადგინა 0.7532 მგ/ლ (2.5 ზდკ). ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, ფოსფატების, სულფატების, ქლორიდების, კალციუმის, კალიუმის, ნატრიუმის, თუთიის, სპილენძის, ტყვიის, მაგნიუმისა და მანგანუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

მდ. მაშავერას წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 7 კვეთზე: მაშავერა ზედა და მაშავერა ქვედა, ქ. ბოლნისთან, ქ. დმანისთან, სოფ. დიდ დმანისთან, სოფ. კიანეთთან და სოფ. ხიდისყურთან. სულ აღებული იქნა 99 სინჯი. მიმდინარე წელს ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.6-3.53 მგ/ლ-ის ფარგლებში, ხოლო ჟქმ - 3.92-4.9 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა

0.023-1.656 მგN/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.409 მგN/ლ, რაც უმნიშვნელოდ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს. მაქსიმალური მნიშვნელობა 1.656 მგN/ლ (4.2 ზდკ) აღინიშნა ივლისის თვეში მდ. მაშავერას ქვედა კვეთზე. მინერალიზაცია მერყეობდა 153.83-559.6 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 559.6 მგ/ლ აღინიშნა ნოემბრის თვეში დმანისის კვეთზე. რკინის შემცველობა მერყეობდა 0.0422-2.1090 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.4445 მგ/ლ (1.5 ზდკ). მაქსიმალური მნიშვნელობა 2.1090 მგ/ლ (7 ზდკ) აღინიშნა მაისის თვეში ბოლნისის კვეთზე. ბარიუმის შემცველობა მხოლოდ ერთ, ივლისში მაშავერას ზედა კვეთში აღებულ სინჯში აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს და მან შეადგინა 0.1091 მგ/ლ (1.1 ზდკ). მანგანუმის შემცველობა მერყეობდა 0.0026-0.4623 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.0695 მგ/ლ. მაქსიმალური 0.4623 მგ/ლ (4.6 ზდკ) აღინიშნა სექტემბერში ქვედა კვეთში. კადმიუმის მნიშვნელობა მერყეობდა 0.000-0.0042 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.0004 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.0042 მგ/ლ (4.2 ზდკ) აღინიშნა დეკემბერში ქვედა კვეთში. ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, სულფატების, ქლორიდების, ფოსფატების, ფოსფატების, ფოსფატების, თუთიის, კალციუმის, კალიუმის, ნატრიუმის, დარიშხანის, ნიკელის, კობალტის, მოლიბდენის, ვერცხლის, მაგნიუმისა და ციანიდების კონცენტრაციები არ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

2017 წლის ლიტერატურული მონაცემებით მდ. ხრამის წყლის ხარისხის შეფასება წარმოებდა 3 კვეთზე: წითელ ხიდთან, სოფ. იმირთან და სოფ. ნახიდურთან. სულ აღებული იქნა 25 სინჯი. მიმდინარე წელს მდ. ხრამის წყალში ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟმმ იცვლებოდა 0.65-2.85 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.062-1.392 მგN/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური კონცენტრაცია 1.392 მგN/ლ (3.6 ზდკ) აღინიშნა დეკემბრის თვეში სოფ. იმირთან. საშუალო

წლიურმა კონცენტრაციამ კი შეადგინა 0.334 მგN/ლ. მინერალიზაცია მერყეობდა 146.38-711.85 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 711.85 მგ/ლ დაფიქსირდა აგვისტოს თვეში წითელ ხიდთან. ნიტრიტისა და ნიტრატის აზოტის, ფოსფატების, სულფატების, ქლორიდების, რკინის, თუთიის, სპილენძის, ტყვიის და მანგანუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

მდ. მაშავერას წყლის ხარისხის შეფასება წარმოებდა 7 კვეთზე: მაშავერა ზედა და მაშავერა ქვედა, ქ. ბოლნისთან, ქ. დმანისთან, სოფ. დიდ დმანისთან, სოფ. კიანეთთან და სოფ. ხიდისყურთან. სულ აღებული იქნა 99 სინჯი. მიმდინარე წელს ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟმმ5 იცვლებოდა 0.08-4.86 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.031-1.089 მგN/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.352 მგN/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 1.089 მგN/ლ (2,8 ზდკ) აღინიშნა ოქტომბრის თვეში მდ. მაშავერას ზედა კვეთში. მინერალიზაცია მერყეობდა 97.1-804.5 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 804.5 მგ/ლ აღინიშნა აგვისტოს თვეში ბოლნისის კვეთზე. რკინის შემცველობა მერყეობდა 0.0011-1.7564 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.2657 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 1.7564 მგ/ლ (5.8 ზდკ) აღინიშნა სექტემბრის თვეში მაშავერას ქვედა კვეთზე. მანგანუმის შემცველობა მერყეობდა 0.0002-1.3435 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.0894 მგ/ლ. მაქსიმალური 1.3435 მგ/ლ (1.3 ზდკ) აღინიშნა სექტემბერში ქვედა კვეთში. კადმიუმის მნიშვნელობა მერყეობდა 0.0001-0.0044 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.0006 მგ/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.0044 მგ/ლ (4.4 ზდკ) ასევე აღინიშნა სექტემბერში ქვედა კვეთში. ნიტრატისა და ნიტრიტის აზოტის, სულფატების, ქლორიდების, ფოსფატების, თუთიის, კალიუმის, ნატრიუმის, დარიშხანის, ნიკელის, კობალტისა და მოლიბდენის კონცენტრაციები არ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

მდ. დებედას წყლის ხარისხის შეფასება წარმოებდა 1 კვეთზე სოფ. სადახლოსთან. სულ აღებული იქნა 12 სინჯი. ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.78-6.42 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 6.42 მგ/ლ (1.1 ზდკ) აღინიშნა ივნისის თვეში. მინერალიზაცია მერყეობდა 205.44-560.39 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 560.39 მგ/ლ აღინიშნა აგვისტოს თვეში. ნიტრიტის, ნიტრატის და ამონიუმის აზოტის, ფოსფატების, სულფატების, ქლორიდების, რკინის, თუთიის, სპილენძის, ტყვიისა და მანგანუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

2018 წლის ლიტერატურული მონაცემებით მდ. ხრამის წყალში სულაღებული იქნა 12 სინჯი. ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.71-3.67 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა მერყეობდა 0.085-0.474 მგN/ლ-ის ფარგლებში. მისი მნიშვნელობა ორ სინჯში აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს. მაქსიმალური კონცენტრაცია 0.474 მგN/ლ (1.2 ზდკ) აღინიშნა თებერვლის თვეში. საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ კი შეადგინა 0.270 მგN/ლ. მინერალიზაცია მერყეობდა 161.2-598.7 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 598.7 მგ/ლ დაფიქსირდა იანვარში. ნიტრიტისა და ნიტრატის აზოტის, ფოსფატების, სულფატების, ქლორიდების, რკინის, თუთიის, სპილენძის, ტყვიისა და მანგანუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

მდ. დებედას წყლის ხარისხის შეფასება წარმოებდა 1 კვეთზე სოფ. სადახლოსთან. სულ აღებული იქნა 12 სინჯი. ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.70-4.73 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მინერალიზაცია მერყეობდა 240.59-591.44 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 591.44 მგ/ლ აღინიშნა იანვრის თვეში. ამონიუმის აზოტის შემცველობა 12 სინჯიდან ორ სინჯში აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას. მისი მნიშვნელობები მერყეობდა 0.078-0.435 მგN/ლ-ის ფარგლებში. საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ

შეადგინა 0.263 მგN/ლ. მაქსიმალური მნიშვნელობა 0.435 მგN/ლ (1.1 ზდკ) აღინიშნა თებერვალში. ნიტრიტისა და ნიტრატის აზოტის, სულფატების, ფოსფატების, ქლორიდების, რკინის, თუთიის, სპილენძის, ტყვიისა და მანგანუმის კონცენტრაციები არ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

მდ. მაშავერას წყლის ხარისხის შეფასებაწარმოებდა 7 კვეთზე: მაშავერა ზედა და მაშავერა ქვედა, ქ. ბოლნისთან, ქ. დმანისთან, სოფ.დიდ დმანისთან, სოფ. კიანეთთან და სოფ. ხიდისყურთან. სულ აღებული იქნა 99 სინჯი. მიმდინარე წელს ჟანგბადის შემცველობა იყო დამაკმაყოფილებელი. ჟბმ იცვლებოდა 0.61-9.14 მგ/ლ-ის ფარგლებში. ის მხოლოდ ორ სინჯში აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებს. მაქსიმალური კონცენტრაცია დაფიქსირდა მდ. მაშავერას ზედა კვეთში 11 იანვარს აღებულ სინჯში და მან შეადგინა 9.14 მგ/ლ (1.5 ზდკ). მინერალიზაცია მერყეობდა 144.37-806.09 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მაქსიმალური მნიშვნელობა 806.09 მგ/ლ აღინიშნა 27 აპრილს მდ. მაშავერას ქვედა კვეთზე. ამონიუმის აზოტის შემცველობა უმეტეს სინჯებში აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობას. ის მერყეობდა 0.007-1.493 მგN/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.309 მგN/ლ.მაქსიმალური მნიშვნელობა 1.493 მგN/ლ (3.8 ზდკ) აღინიშნა 30 მაისს ქ.ბოლნისთან.ნიტრატის აზოტის კონცენტრაციები მერყეობდა 0.477-10.569 მგ N/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 2.339 მგ N/ლ. ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციაზე მაღალი მნიშვნელობა 10.569 მგ N/ლ (1.1 ზდკ) აღინიშნა მხოლოდ ერთხელ 11 იანვარს მაშავერას ზედა კვეთზე აღებულ სინჯში.რკინის შემცველობა მერყეობდა 0.0206-0.5614 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.1705 მგ/ლ. ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციაზე მაღალი მნიშვნელობა 0.5614 მგ/ლ (1.9 ზდკ) აღინიშნა მხოლოდ ერთხელ 10 დეკემბერს მაშავერას ქვედა კვეთზე აღებულ სინჯში. მანგანუმის შემცველობა მერყეობდა 0.0008-0.7920 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა

0.0619 მგ/ლ. მაქსიმალური 0.7920 მგ/ლ (7.9 ზდკ) აღინიშნა 30 ნოემბერს ქვედა კვეთში. კადმიუმის მნიშვნელობა მერყეობდა 0.0001-0.0046 მგ/ლ-ის ფარგლებში. მისმა საშუალო წლიურმა კონცენტრაციამ შეადგინა 0.0004 მგ/ლ. ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციაზე მაღალი მნიშვნელობა 0.0046 მგ/ლ (4.6 ზდკ) აღინიშნა ერთხელ 14 თებერვალს ქვედა კვეთში აღებულ სინჯში. ნიტრიტის აზოტის, სულფატების, ქლორიდების, ფოსფატების, ზასნის, თუთიის, დარიშხანის, ნიკელის, კობალტისა და მოლიბდენის კონცენტრაციები არ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს [16].

### 1.7. რიცხვითი მოდელირება

უკანასკნელ წლებში დიდი ყურადღება ეთმობა ზედაპირული წყლების ხარისხის გამოკვლევისათვის, მათში ტოქსიკური ნივთიერებების ავარიული და რეჟიმული ჩაშვებების შემთხვევაში დამაბინძურების გავრცელების პროგნოზს. ზედაპირულ წყლებში დამაბინძურებელი სუბსტანციების გავრცელების რიცხვითი მოდელირება წარმოადგენს კვლევების ერთ-ერთ ძირითად და ფართოდ გამოყენებულ მეთოდს. დღეისათვის დამუშავებულია 1D, 2D და 3D რიცხვითი მოდელები, რომელებიც შეისწავლიან ზედაპირულ წყლებში ტოქსიკური ნივთიერებების ქცევას, მათ გარდაქმნას და დაშლას, დალექვას, გავრცელებასა და ობიექტების თვითდასუფთავების პროცესს [17-20].

მდინარეების წყლებში ნივთიერებათა გავრცელებისა და მასში ჩაშვებული წყლების განზავების პროცესები დამოკიდებულია წყლის ობიექტების ჰიდროლოგიურ, ჰიდროდინამიკურ, ტურბულენტობის მახასითებელი პარამეტრებზე, წყაროებისა და ჩაშვებული ინგრედიენტების ჰიდროქიმიურ თვისებებზე [21-24].

ამ პარამეტრების გამოყენებით დამუშავდა ზედაპირული წყლების ობიექტებში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა გავრცელების რიცხვითი მოდელები [24-31]. მოდელების ბაზაზე შეიქმნა დიდი მდინარეებისა და ზედაპირული წყლების ოპერატიული მართვის სისტემები. ისინი

წარმოადგენენ თანამედროვე ინფორმაციულ-გამოთვლით კომპლექსებს, მოითხოვენ მძლავრ კომპიუტერულ ტექნიკასა და გამოიყენებიან მრავალი პრაქტიკული საკითხების გადასაწყვეტად [32-34].

საქართველოს მდინარეებში მავნე ნივთიერებათა გავრცელების კომპიუტერული სიმულაციისათვის დამუშავებული იქნა მოდელები. გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური სამგამზომილებიანი განტოლების რიცხვითი ინტეგრირებით პერსონალურ კომპიუტერებზე საზღვრავენ საქართველოს მცირე მდინარეებში ნავთობისა და მეტალური დამაბინძურებელი ინგრედიენტების კონცენტრაციების ცვლილებას და მათ დალექვას მდინარეთა ფსკერზე არასტაციონალური და სტაციონალური დამაბინძურებელი წყაროების შემთხვევებში. მოდელირებული იქნა მდინარე მტკვარში ნავთობისა და ამონიუმის იონის, მდინარე ცხენისწყალსა და ლუხუნში დარიშხანის გავრცელების პროცესები. ასევე შესწავლილი იქნა დასავლეთ საქართველოს მდინარე ხორგასა და ხობისწყლის წყალში არსებული მინარევების დიფუზიის პროცესი ერთ და ორგანზომილებიანი კომპიუტერული მოდელებით [35-38].



## 2. კვლევის შედეგები და მათი განსჯა

### 2.1. მდინარე ხრამის აუზის წყლის ეკოქიმიური კვლევა

საქართველოს კანონში „წყლის შესახებ“, განხილულია წყლის, როგორც უმნიშვნელოვანესი ბუნებრივი რესურსის, ადამიანის, ცხოველთა სამყაროსა და მცენარეული საფარის არსებობისათვის აუცილებელი და საქართველოს ეკონომიკის განვითარებისთვის უნიკალური და უპირველესი, სასიცოცხლო მნიშვნელობა. 53-ე მუხლი მოიცავს სპეციალური წყალსარგებლობის ძირითად მიზნებსა და პირობებს, სადაც განხილულია სპეციალური წყალსარგებლობის განხორციელებისას მოსახლეობის სასმელი და საყოფაცხოვრებო, ასევე სასოფლო-სამეურნეო წყალმომარაგების მიზნებისთვის გამოყენებული უნდა იქნეს დაბინძურებისა და დანაგვიანებისაგან საიმედოდ დაცული ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლები, რომელთა ხარისხი ბუნებრივ მდგომარეობაში ან სათანადო დამუშავების შემდეგ შეესაბამება საქართველოს სახელმწიფო სტანდარტებით დადგენილ ნორმებს. ამ ნორმების დაცვით უზრუნველყოფილი იქნება ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო გარემო, ეკოლოგიური და ეკონომიკური ინტერესების შესაბამისად გარემოს დაცვა, მათ შორის წყლის დაცვა [4,5].

საქართველოში მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა წყლებს იყენებენ ქალაქ რუსთავისა და მისი მიმდებარე რეგიონების მოსახლეობის წყალმომარაგების სისტემად. ქ.რუსთავის მოსახლეობის და სამრეწველო ზონის ზრდასთან ერთად დღის წესრიგში დგება წყალმომარაგების განვითარების აუცილებლობა. სასმელი წყლის წყალმომარაგების წყალ-ამლები მდებარეობს მდინარე ხრამისა და მდინარე დებედას აუზებს შორის. სასმელ-სამეურნეო მიზნებისათვის წყალმომარაგება ხორციელდება მდინარე ხრამისა და დებედას მიმდებარედ განლაგებული 34 ჭაბურღილითა და 7 შახტური ჭით. ლიტერატურული მონაცემებით ორივე მდინარის წყალი ბინძურდება სამრეწველო ჩამდინარე წყლებით. მდინარე

მაშავერა დაბინძურებულია მადნეულის სამთო გამამდიდრებელი კომბინატის ჩამდინარე წყლებით, ხოლო მდინარე დებედა კი ალავერდის ტერიტორიაზე არსებული ძვირფასი ლითონების მომპოვებელი საწარმოს ჩამდინარე წყლებით.

მიწისქვეშა წყლების მარაგის შევსება ხდება უპირატესად ატმოსფერული ნალექებითა და ზედაპირული წყლებით. გამოკვლეული ლიტერატურული წყაროებიდან გამომდინარე მდინარე ხრამის მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმიური და მიკრობიოლოგიური კვლევის მონაცემები უმწირესია, მდინარე ხრამის აუზის ზედაპირული წყლების სრული ქიმიური ანალიზი არ არის ჩატარებული, მხოლოდ განსაზღვრულია მძიმე მეტალების, ბიოგენური ნივთიერებებისა და ძირითადი იონების კონცენტრაციათა მნიშვნელობები. მიკრობიოლოგიური კვლევის შესახებ კი მონაცემები ვერ იქნა მოძიებული [16].

ამიტომ მოსახლეობის სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემისათვის მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების ხარისხის დასადგენად მეტად აქტუალურია მდინარე ხრამის აუზის ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება, ჰიდროქიმიური და მიკრობიოლოგიური კომპონენტების კონცენტრაციებისა და აგრეთვე ფსკერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის დადგენა.

ვინაიდან მდინარე ხრამის წყალს იყენებენ სასმელ-სამეურნეო და სასოფლო-სამეურნეო წყალმომარაგების მიზნებისთვის, ამიტომ ჩვენი სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა მდინარე ხრამის აუზის ეკოლოგიური მდგომარეობის შესწავლა და შეფასება.

კვლევის ძირითადი ამოცანა მოიცავდა ეკოქიმიური კვლევის ოთხ ეტაპს:

პირველი ეტაპი - საკვლევ ობიექტზე შესწავლილი იქნა მდინარე ხრამის აუზის და მისი ძირითადი შენაკადების ფიზიკურ-გეოგრაფიული მდებარეობისა და ლანდშაფტის ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები. დათვალიერებული და შერჩეული იქნა საკვლევ წყლის ნიმუშების აღების

ადგილები;

მეორე ეტაპი - მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას ეკოლოგიური, ჰიდროქიმიური და მიკრობიოლოგიური მდგომარეობის გამოკვლევა და შეფასება, ასევე მათი ფსკერუკლი დანალექების ქიმიური ანალიზი;

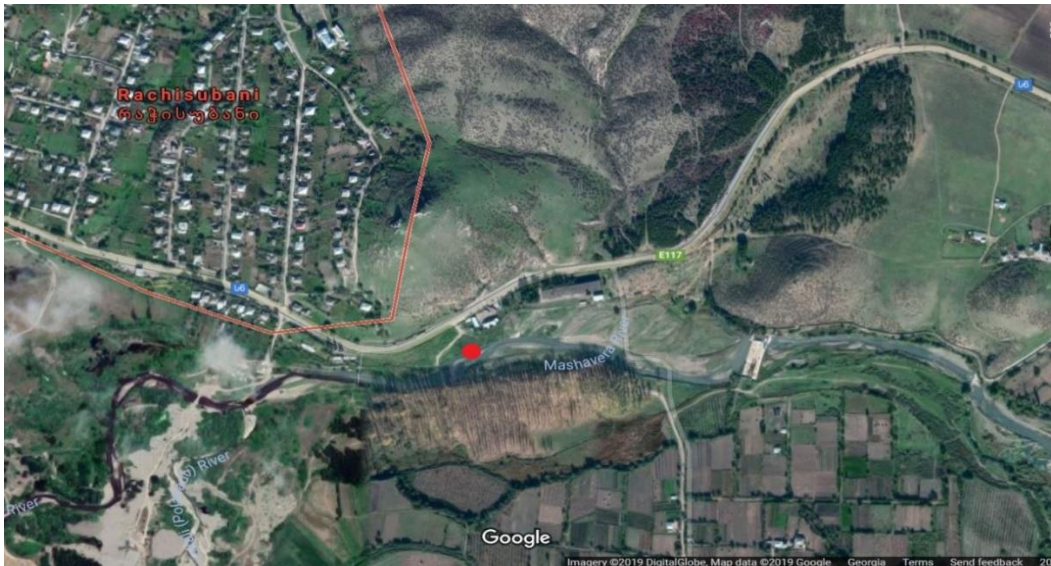
მესამე ეტაპი - მიწისქვეშა წყლების შახტური ჭებისა და ჭაბურღილების ჰიდროლოგიური დახასიათება. ასევე შახტური ჭების, ჭაბურღილების, ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების ეკოქიმიური და მიკრობიოლოგიური კვლევა;

მეოთხე ეტაპი - ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის მუნიციპალიტეტის მოსახლეობის სასმელი წყლის სინჯების ეკოქიმიური და მიკრო-ბიოლოგიური კვლევა. მდინარე ხრამის, დებედასა და მაშავერას წყლებში და ფსკერულ დანალექებში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციების გავრცელების რიცხვითი მოდელირება.

ჩვენს მიერ 2018 წლის ოქტომბრის თვეში მოწყობილი იყო ექსპედიცია, რომლის დროსაც განხილული და შესწავლილი იყო მდინარე ხრამისა და მისი ძირითადი შენაკადების დებედასა და მაშავერას ფიზიკურ-გეოგრაფიული ადგილმდებარეობა, ლანდშაფტი, ბუნებრივი და ანთროპოგენული წყაროები.

აგრეთვე დათვალიერებული და შესწავლილი იქნა მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემის 14 ჭაბურღილი და 7 შახტური ჭა. აქედან ექსპლუატაციაშია 8 ჭაბურღილი, ხოლო 6 სარეზერვოა. შახტური ჭებიდან კი შვიდივე ექსპლუატაციაშია.

შერჩეულ იქნა საანალიზო სინჯების ასაღები წერტილები ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზის ჩასატარებლად.



სურათი 7. მდინარე მაშავერა ბოლნისთან (რაჭისუბანი)



სურათი 8. მდინარე ხრამი [თამარისი]; მდინარე ხრამისა და მაშავერას შეერთება; მდინარე მაშავერა [თამარისი]

ჩვენი სამუშაოს ამოცანის შესრულების საწყის ეტაპს წარმოადგენდა მდინარე ხრამის, დებედასა და მაშავერას ზედაპირული წყლების ჰიდროქიმიური და ეკოლოგიური მდგომარეობის გამოკვლევა და შეფასება. ამიტომ ჩვენს მიერ 2018 წლის ნოემბერის თვეში ჩატარებული ექსპედიციისას, აღებულ იქნა 2018 წლის ოქტომბერში ექსპედიციისას შერჩეული 7 წერტილიდან საანალიზო სინჯები: 1. მდ. ხრამი თამარისთან; 2. მდ. ხრამთან მაშავერას შეერთების შემდეგ; 3. მდ. ხრამი ლეჟბადინთან; 4. მდ. ხრამთან დებედას შეერთების შემდეგ; 5. მდ.მაშავერა ბოლნისთან

(რაჭისუბანი); 6. მდინარე მაშავერა თამარისთან; 7. მდ. დებედა ლეუბადინთან (ხრამთან შეერთებამდე) (სურათი 7,8,9).



სურათი 9. მდინარე ხრამი [ლეუბადინი]; მდინარე ხრამისა და დებედას შეერთება; მდინარე დებედა [ლეუბადინი]

წყლის სინჯის აღება, დაკონსერვება, ეტიკეტირება, შენახვა და ტრანსპორტირება ხდებოდა საერთაშორისო სტანდარტული ორგანიზაციის (ISO) სტანდარტული მეთოდით. წყლის ტემპერატურა, pH, სიმღვრივე, ელექტროგამტარობა, გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა განისაზღვრა სველე პორტატული აპარატით: კონდუქტომეტრი MultiMeter Instrument Aqualytic AL15 (სამი ელექტროდით) და სიმღვრივის მზომი AQUA LYTIC - AL250 T-IR.

სტაციონალურ ლაბორატორიაში წყლის სინჯების ეკოქიმიური ანალიზი წარმოებდა ISO სტანდარტული მეთოდით [39].

**ცხრილი 3. მდინარე ხრამისა და მამავერას წყლების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები**

№	გამოსაკვლევი მაჩვენებელი	საზომი ერთეული	ნორმატივი არა უმეტეს	მდინარე ხრამი (თამარისი) N1	მდინარე მამავერა (თამარისი) №6	მდინარე ხრამი და მამავერა შეერთების შემდეგ (თამარისი) №2	მდინარე მამავერა (ბოლნისი, რაჭისუბანი) №5
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები</b>							
1	ტემპერატურა (წყალი)	გრადუსი	-	8	9.1	7.8	8.3
2	სუნი	ბალი	1	0	0	0	0
3	გემო	ბალი	1	-	-	-	-
4	ფერი	გრადუსი	15	0	0	0	0
5	სიმღვრივე	მგ/ლ	-	7.71	28.65	9.51	258.7
<b>ზოგადი მაჩვენებლები</b>							
6	წყალბადის მაჩვენებელი	pH	6.5-8.5	7.84	7.92	7.9	7.87
7	პერმანგანატული ჟანგვადობა	მგ O <sub>2</sub> /ლ	3	2.6	4.2	2.8	5.1
8	შეწონილი ნაწილაკები	მგ/ლ	-	21	159	46	515
9	გახსნილი ჟანგბადი	მგ/ლ	>4	14.1	14.2	13.9	15.9
10	ელექტრო-გამტარობა	μS/სმ	-	202.0	535.0	213.0	439.0
<b>ძირითადი იონები</b>							
11	მშრალი ნაშთი (მინერალი-ზაცია)	მგ/ლ	1000	158.4	437.9	173.3	425.2
12	სულფატები (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	მგ/ლ	500	13.78	134.27	18.39	96.48
13	ქლორიდები (Cl <sup>-</sup> )	მგ/ლ	350	4.99	11.06	5.19	8.56
14	სიხისტე	მგ-ეკვ./ლ	7	2.75	6.68	2.93	6.80
15	ჰიდროკარბონატები	მგ/ლ	-	174.5	316.6	181.2	361.1
16	კალციუმი (Ca)	მგ/ლ	-	36.74	92.48	39.05	100.98
17	მაგნიუმი (Mg)	მგ/ლ	-	11.24	25.13	11.95	21.42
18	ნატრიუმი (Na)	მგ/ლ	-	12.38	34.11	13.14	30.21

ცხრილი 3. გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8
ბიოგენური კომპონენტები							
19	ამონიუმი	მგ/ლ	0.39	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
20	ნიტრატები (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	45	4.32	16.93	4.80	13.83
21	ნიტრიტები (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	3.3	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075
22	პოლიფოსფატები (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	მგ/ლ	3.5	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
მიკროელემენტები							
23	ბარიუმი (Ba, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	0.03	0.1	0.04	0.19
24	ბორი (B, ჯამური)	მგ/ლ	0.5	0.08	0.17	0.09	0.16
25	დარიშხანი (As, ჯამური)	მგ/ლ	0.05	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
26	ვერცხლისწყალი (Hg არაორგანული)	მგ/ლ	0.0005	0.001	0.002	0.001	0.002
27	კადმიუმი (Cd, ჯამური)	მგ/ლ	0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.002
28	მანგანუმი (Mn, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	0.05	0.26	0.09	0.55
29	მოლიბდენი (Mo, ჯამური)	მგ/ლ	0.25	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
30	ნიკელი (Ni, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	0.03	0.04	0.03	0.05
31	სელენი (Se, ჯამური)	მგ/ლ	0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
32	სპილენძი (Cu, ჯამური)	მგ/ლ	1	0.02	0.23	0.06	0.33
33	ტყვია (Pb, ჯამური)	მგ/ლ	0.03	0.001	0.004	0.001	0.006
34	ფტორიდები (F <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.05	0.17	0.31	0.18	0.33
35	ქრომი (Cr, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	0.001	0.001	0.001	0.002
36	სტიბიუმი (Sb)	მგ/ლ	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
37	თუთია (Zn, ჯამური)	მგ/ლ	1	0.02	0.14	0.05	0.22
38	რკინა (Fe, ჯამური)	მგ/ლ	0.3	0.51	1.31	0.65	1.54
39	ალუმინი (Al, ჯამური)	მგ/ლ	0.5	0.7	1.58	0.71	2.61
40	სილიციუმი (Si, ჯამური)	მგ/ლ	-	15.09	17.19	14.72	18.77

**ცხრილი 4. მდინარე ხრამისა და დებედას წყლების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები**

№	გამოსაკვლევი მაჩვენებელი	საზომი ერთეული	ნორმა-ტივი არა უმეტეს	მდინარე ხრამი (ლეჟბადინი) №3	მდინარე დებედა (ლეჟბადინი) №7	მდინარე ხრამი და დებედა შეერთების შემდეგ (ლეჟბადინი) №4
1	2	3	4	5	6	7
<b>ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები</b>						
1	ტემპერატურა (წყალი)	გრადუსი	-	9.2	8.5	9.3
2	სუნი	ბალი	1	0	0	0
3	გემო	ბალი	1	-	-	-
4	ფერი	გრადუსი	15	0	0	0
5	სიმღვრივე	მგ/ლ	-	9.69	4.41	7.31
<b>ზოგადი მაჩვენებლები</b>						
6	წყალბადის მაჩვენებელი	pH	6.5-8.5	8.32	8.34	8.34
7	პერმანგანატული ჟანგვადობა	მგ O <sub>2</sub> /ლ	3	2.6	2.4	2.8
8	შეწონილი ნაწილაკები	მგ/ლ	-	26.0	13.0	23.0
9	გახსნილი ჟანგბადი	მგ/ლ	>4	13.5	13.8	12.3
10	ელექტროგამტარობა	µS/სმ	-	375.0	475.0	386.0
<b>ძირითადი იონები</b>						
11	მშრალი ნაშთი მინერალიზაცია)	მგ/ლ	1000	291.9	400.6	295.9
12	სულფატები (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	მგ/ლ	500	59.31	117.44	58.88
13	ქლორიდები (Cl <sup>-</sup> )	მგ/ლ	350	9.37	18.29	9.19
14	სიხისტე	მგ-ეკვ./ლ	7	4.6	5.4	4.58
15	ჰიდროკარბონატები	მგ/ლ	-	250.7	255.6	249.5
16	კალციუმი (Ca)	მგ/ლ	-	62.67	79.08	62.23
17	მაგნიუმი (Mg)	მგ/ლ	-	18.02	17.64	17.89
18	ნატრიუმი (Na)	მგ/ლ	-	23.06	40.37	22.97



ცხრილი 4. გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7
ბიოგენური კომპონენტები						
19	ამონიუმი	მგ/ლ	0.39	<0.08	<0.08	<0.08
20	ნიტრატები (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	45	8.31	10.94	8.23
21	ნიტრიტები (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	3.3	<0.075	<0.075	<0.075
22	პოლიფოსფატები (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	მგ/ლ	3.5	<0.2	<0.2	<0.2
მიკროელემენტები						
23	ბარიუმი (Ba, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	0.04	0.04	0.04
24	ბორი (B, ჯამური)	მგ/ლ	0.5	0.12	0.15	0.11
25	დარიშხანი (As, ჯამური)	მგ/ლ	0.05	<0.01	<0.01	<0.01
26	ვერცხლისწყალი (Hg არაორგანული)	მგ/ლ	0.0005	0.002	0.002	0.002
27	კადმიუმი (Cd, ჯამური)	მგ/ლ	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
28	მანგანუმი (Mn, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	0.03	0.05	0.03
29	მოლიბდენი (Mo, ჯამური)	მგ/ლ	0.25	<0.02	<0.02	<0.02
30	ნიკელი (Ni, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	0.04	0.03	0.04
31	სელენი (Se, ჯამური)	მგ/ლ	0.001	<0.01	<0.01	<0.01
32	სპილენძი (Cu, ჯამური)	მგ/ლ	1	0.02	0.02	0.01
33	ტყვია (Pb, ჯამური)	მგ/ლ	0.03	<0.001	<0.001	0.001
34	ფტორიდები (F <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.05	0.23	0.2	0.21
35	ქრომი (Cr, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	0.01	0.008	0.01
36	სტიბიუმი (Sb)	მგ/ლ	0.05	<0.02	<0.02	<0.02
37	თუთია (Zn, ჯამური)	მგ/ლ	1	0.009	0.04	0.01
38	რკინა (Fe, ჯამური)	მგ/ლ	0.3	0.47	0.5	0.48
39	ალუმინი (Al, ჯამური)	მგ/ლ	0.5	0.8	0.5	0.7
40	სილიციუმი (Si, ჯამური)	მგ/ლ	-	16.8	13.43	16.51

მესამე და მეოთხე ცხრილში მოცემულია ჩვენს მიერ ჩატარებული მდ.ხრამის, მაშვერასა და დებედას წყლების ქიმიური ანალიზის შედეგები. წყლის ხარისხის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია წყლის pH, რომლის სიდიდე განსაზღვრავს ბუნებრივ წყლებში მიმდინარე ქიმიურ და ბიოლოგიურ პროცესებს, წყალმცენარეების ცხოველმოქმედებასა და განვითარებას, ელემენტთა მიგრაციის ფორმებს, აგრეთვე წყლის აგრესიულ მოქმედებას მეტალებზე და ბეტონზე . მესამე ცხრილიდან გამომდინარე მდინარე ხრამის pH-ის მნიშვნელობა (7,84; 7,9) იმყოფება მდინარის წყლისათვის დამახასიათებელ ზღვარში (6,5-8,5), რომელსაც არ ცვლის მდინარე მაშვერას წყლის pH-ის სიდიდე (7,92; 7,87). მდინარე ხრამის წყლის pH-თან შესაბამისობაშია ლიტერატურული წყაროების მონაცემებთან (ცხრილი 1, 2003 წელი), ხოლო მე-4 ცხრილის მონაცემების მიხედვით მდინარე ხრამის წყალს ახასიათებს ოდნავ გამოხატული ტუტიანობა,  $pH=8,32-8,34$  რომლის მნიშვნელობაც შესაბამისობაშია მდინარე დებედას წყლის pH-ის სიდიდესთან (8,34). მდინარე დებედას pH-ის მნიშვნელობა აღემატება 2003 წლის მონაცემებს  $pH=7,10-7,14$  (ცხრილი 2), რაც შესაძლებელია აიხსნას მდინარე ხრამისა და დებედას წყალში გახსნილი მარილების ჰიდროლიზით [40-42].

გახსნილი ჟანგბადის რაოდენობა ზედაპირულ წყლებში იმყოფება მოლეკულის  $O_2$ -ის სახით, რომლის ხსნადობაც იზრდება ტემპერატურის, მინერალიზაციის შემცირებით და წნევის გაზრდით. მდინარის წყლებში ჟანგბადის მაღალი კონცენტრაცია შეიმჩნევა ჩვეულებრივ შემოდგომაზე, ხოლო ზამთარში კი მცირდება. მესამე და მეოთხე ცხრილებიდან გამომდინარე მდინარე ხრამის, მაშვერასა და დებედას წყლებში გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაცია მაღალია: მდინარე ხრამის წყლებში 13,9-14,1 მგ/ლ ზღვრებში იცვლება, როდესაც ატმოსფერული ჰაერის ტემპერატურა  $8^{\circ}C$  (ცხრილი 3, სინჯი 2), ხოლო  $12^{\circ}C$  ტემპერატურისას 12,3-13,5 მგ/ლ (ცხრილი 4, სინჯი 3,4). მდინარე მაშვერას წყალში ჟანგბადის კონცენტრაცია შეადგენს 14,2-15,9 მგ/ლ ( $T=8^{\circ}C$ ; ცხრილი 3; სინჯი 5, 6), ხოლო მდინარე

დებედას წყალში ჟანგბადის კონცენტრაცია ტოლია 13,8 მგ/ლ ( $T=12^{\circ}\text{C}$ , ცხრილი 4; სინჯი 7). გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაცია შეესაბამება ზედაპირული წყლების ხარისხის განსაზღვრულ კლასს, სუფთას, შემოდგომა ზამთრის პერიოდის მიხედვით [39-41].

წყლის სიხისტის განპირობებულია ძირითადად მასში გახსნილი კალციუმისა და მაგნიუმის მარილებით. წყლის სიხისტე იცვლება ფართო ზღვრებში. მესამე ცხრილიდან გამომდინარე მდინარე ხრამის წყლის სიხისტე შეადგენს 2,75 მგ-ექვ/ლ და 2,93 მგ-ექვ/ლ (სინჯი 1,2), რაც შეესაბამება რბილს (4 მგ-ექვ/ლ-მდე), ხოლო მესამე და მეოთხე სინჯის მიხედვით წყლის სიხისტე ტოლია 4,6 და 4,58 მგ-ექვ/ლ (ცხრილი 4), რაც წყლის კლასიფიკაციის სიხისტის მაჩვენებლის მიხედვით მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს (4-8 მგ-ექვ/ლ).

მდინარე მაშავერას წყლის სიხისტე ტოლია 6,8-6,68 მგ-ექვ/ლ (ცხრილი 3, სინჯი 5,6) და შეესაბამება საშუალოდ ხისტს, ხოლო მდინარე დებედას წყლის სიხისტე არის 5,4 მგ-ექვ/ლ, რომელიც ასევე მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს. მდინარე ხრამის წყლის სიხისტის მნიშვნელობები განპირობებულია კალციუმისა და მაგნიუმის იონთა შედარებით დაბალი კონცენტრაციით (ცხრილი 3, სინჯი 1,2 და ცხრილი 4, სინჯი 3,4). მდინარე მაშავერას წყლის სიხისტის შედარებით მაღალი მნიშვნელობები შესაძლებელია განპირობებული იყოს მასში გახსნილი კალციუმის შედარებით მაღალი კონცენტრაციით ( $\text{Ca}^{2+}$  92,48 - 100,98 მგ/ლ;  $\text{Mg}^{2+}$  25,13-21,42 მგ/ლ). (ცხრილი 4, სინჯი 5,6).

ჰიდროკარბონატ და კარბონატული იონების შემცველობა მდინარის წყლებში იცვლება 30-400მგ  $\text{HCO}_3^-$  /ლ ზღვრებში და განისაზღვრება წყლის pH-ით [12]. მდ.ხრამის წყლის პირველ და მეორე სინჯში შეადგენს 174.5 მგ/ლ და 181.2 მგ/ლ (ცხრილი 3), ხოლო მესამე და მეოთხე სინჯში შესაბამისად ტოლია 250.7 მგ/ლ და 249.5 მგ/ლ. ძირითადი კათიონებისა და ანიონების კონცენტრაციის მნიშვნელობებიდან გამომდინარე (ცხრილი 3, 4), მდ. ხრამის წყალი შესაძლებელია მივაკუთვნოთ ჰიდროკარბონატულ-

კალციუმთან წყალს [5, 39, 40].

მდინარე მაშავერას წყლის ქიმიური ანალიზის შედეგების მიხედვით იგი შესაძლებელია ეთანადებოდეს ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმთან ტიპის წყალს ( $\text{SO}_4=96.48-134.27\text{მგ/ლ}$ ;  $\text{HCO}_3=316.1-361.1\text{მგ/ლ}$ ;  $\text{Ca}^{2+}=92.48-100.98\text{მგ/ლ}$ ; ცხრილი 3, სინჯი 5,6).

მდინარე დებედას წყლის ქიმიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე აგრეთვე შესაძლებელია მიეკუთვნებოდეს ჰიდრო-კარბონატულ-სულფატურ-კალციუმთან ტიპის წყალს (ცხრილი 4, სინჯი7).

არადაბინძურებული ზედაპირული წყლების ჟანგვადობა ავლენს საკმაოდ გარკვეულ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ ზონალობას; გამოყოფილია ზონები: 1. ძალიან დაბალი ჟანგვადობით 0-2 მგ $\text{O}_2$ /ლ და დაბალი ჟანგვადობით 2-5 მგ $\text{O}_2$ /ლ, რომელიც მიეკუთვნება მთიან რაიონებს; 2. საშუალო ჟანგვადობით 5-10 მგ $\text{O}_2$ /ლ, რომელიც მიეკუთვნება ფართოფოთლოვანი ტყის, ტყესტეპის, სტეპის, ნახევარუდაბნოს, უდაბნოსა და ტუნდრის რაიონებს; 3. მაღალი ჟანგვადობით 15-20 მგ $\text{O}_2$ /ლ, რომელიც მიეკუთვნება ჩრდილოეთ და სამხრეთ ტაიგის რაიონებს. ჟანგვადობა იცვლება საკმაოდ კანონზომიერი სეზონური ცვლილებების მიხედვით. დამოკიდებულია ჰიდროლოგიურ და ჰიდრობიოლოგიურ რეჟიმზე, ორგანული ნივთიერებების მინერალიზაციაზე, ასევე ანთროპოგენურ ფაქტორებზე [41].

მდინარე ხრამის წყლის ჟანგვადობა იცვლება 2,6-2,8 მგ $\text{O}_2$ /ლ (ცხრილი 3, 4) და მიეკუთვნება სუფთას. ასევე მდინარე დებედას წყლის ჟანგვადობა არ აღემატება დასაშვებ ნორმების დონეს (2,4 მგ $\text{O}_2$ /ლ, ცხრილი 4; სინჯი 7), ხოლო მდინარე მაშავერას წყლის ჟანგვადობა შეადგენს 5,1 მგ $\text{O}_2$ /ლ და 4,2 მგ $\text{O}_2$ /ლ (ცხრილი 3; სინჯი 5,6) რომელიც შეიძლება მიეკუთვნებოდეს გაბინძურებულს.

ვინაიდან ზედაპირული წყლები წარმოადგენს ძლიერ ელექტროლიტთა ხსნარებს, ამიტომ კუთრი ელექტროგამტარობის სიდიდე წარმოადგენს ელექტროლიტების კონცენტრაციის მიახლოებით მაჩვენებელს.

ნებელს, ძირითადად არაორგანულის. რადგანაც წყლის მთავარი იონები წარმოადგენს მინერალურ ნაწილს, ამიტომ ელექტროგამტარობით ხდება წყლის მინერალიზაციის შეფასება სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგებისათვის. ასევე მრავალი სამრეწველო და სასოფლო-სამეურნეო წარმოების მიერ ხდება წყლის ხარისხის მიმართ გარკვეული მოთხოვნების წაყენება და ნაწილობრივ მინერალიზაციის მიმართ. ვინაიდან მაღალი მინერალიზაციის წყლები უარყოფით ზეგავლენას ახდენენ საწარმოთა ტექნოლოგიურ პროცესებზე, პროდუქციის ხარისხზე, ცოცხალ ორგანიზმებსა და მცენარეებზე, ასევე იწვევენ აპარატურის კოროზიას და ნიადაგის დამლაშებას. მდინარეების კუთრი ელექტროგამტარობა იცვლება  $2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-2}$  სიმ/სმ ზღვრებში, ხოლო მინერალიზაცია იცვლება რამდენიმე ათეული მილიგრამიდან რამდენიმე ასეულამდე ლიტრში [40,41].

მდინარე ხრამის ელექტროგამტარობა იცვლება 202.0 – 213.0 მიკრო სიმ./სმ (ცხრილი 3 სინჯი 1,2) და 375.0 – 366.0 მიკრო სიმ./სმ (ცხრილი 4 სინჯი 3,4).

მდინარე ხრამის წყლის მინერალიზაცია იცვლება 173,3-295,9 მგ/ლ, რომელიც შესაძლებელია მივაკუთვნოთ დაბალ მინერალიზებულს. მდინარე მაშავერასა და დებედას წყლების მინერალიზაცია შესაბამისად შეადგენს 425,2-437,9 მგ/ლ და 400,6 მგ/ლ ,რაც მიეკუთვნება საშუალოდ მინერალიზებულს.

ბიოგენური კომპონენტთა ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები. ზედაპირულ წყლებში ამონიუმის აზოტი იმყოფება, ძირითადად, ამონიუმის იონსა და არადისოცირებული მოლეკულის  $\text{NH}_4\text{OH}$ -ის სახით. ანთროპოგენული წყაროებით საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო ჩამდინარე წყლებით იზრდება ამონიუმის იონების კონცენტრაცია. ამონიუმის იონის მნიშვნელოვანი ნაწილი შესაძლებელია განიცდიდეს მიგრაციას მინერალურ და ორგანულ ნივთიერებათა ტივტივარებზე სორბირებული სახით ან სხვადასხვა კომპლექსური ნაერთების სახით. შიდა წლიური სეზონური ცვლილებების მიხედვით ამონიუმის იონის კონცენტრაცია

იკლებს გაზაფხულზე, ხოლო ზაფხულობით იზრდება ფიტოპლანქტონის ინტენსიური ფოტოსინთეტიკური მოქმედებისა და ორგანული ნივთიერებათა ბაქტერიოლოგიური დაშლის პროცესების გააქტიურებით. შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში ორგანულ ნივთიერებათა მინერალიზაციის გახანგრძლივებით ფიტოფლანქტონის სუსტი მოხმარების პირობებისას ამონიუმის კონცენტრაცია შეიძლება გაიზარდოს.  $\text{NH}_4$ -ის იონის მომატებული შემცველობა მიუთითებს წყალსაცავების სანიტარული მდგომარეობის გაუარესებაზე, რასაც აქვს მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური მნიშვნელობა. მდინარეების წყლებში მისი კონცენტრაცია აღწევს  $n \cdot 10^{-1}$  მგN/ლ [39-41, 43].

ბუნებრივ წყლებში ნიტრიტები წარმოადგენს არამდგრად კომპონენტს. ნიტრიტ იონები ზედაპირულ წყლებში წარმოიქმნება ძირითადად, ორგანულ ნივთიერებათა მინერალიზაციისა და ნიტრიფიკაციის შედეგად. ბაქტერიების (*Nitrosomonas*) საშუალებით  $\text{NH}_4^+$  -ის იონი იჟანგება ნიტრიტ-იონამდე, ხოლო „*Nitrobacter*„-ის ზემოქმედებით, თვით ნიტრიტ იონი იჟანგება ნიტრატ-იონამდე. ამიტომ ჟანგბადის დეფიციტისას ნიტრიტ-იონის კონცენტრაცია იზრდება. სეზონური ცვლილებისას ნიტრიტ-იონების კონცენტრაცია უმნიშვნელოა ზამთარში, ხოლო ორგანული ნივთიერების მინერალიზაციის დასაწყისში გაზაფხულზე მატულობს მისი კონცენტრაცია და ზაფხულის დასასრულს აღწევს მაქსიმუმს, როდესაც ზაფხულის პერიოდში წარმოქმნილი ორგანული ნივთიერებათა დაშლის პროცესი მიმდინარეობს ინტენსიურად. შემოდგომაზე მისი შემცველობა მცირდება. ნიტრიტ-იონები ზედაპირული წყლების სანიტარული მახასიათებელია. ზედაპირულ წყლებში ნიტრატ-იონების არსებობა განპირობებულია ნიტრიფიკაციის პროცესებით. ნიტრატ-იონები მკვეთრად იცვლება სეზონური ცვლილებების მიხედვით. ზაფხულის პერიოდში მისი კონცენტრაცია იზრდება ფიტოპლანქტონის მასიური კვდომისა და ნიტრიფიკატორების მაღალი აქტიურობის პერიოდში. მინიმალური შემცველობა შეიმჩნევა ვეგეტაციურ პერიოდში,

ხოლო ფოტოსინთეზის ინტენსიური მიმდინარეობისას შესაძლებელია წყალში საერთოდ არ არსებობდეს. შემოდგომაზე ნიტრატ-იონების შემცველობა ისევ იზრდება და ზამთარში აღწევს მაქსიმუმს, როდესაც მიმდინარეობს ორგანულ ნივთიერებათა დაშლა მისი მინიმალური მოხმარებისას. გაზაფხულზე ტემპერატურის მომატებისას და მცენარეების ცხოველმოქმედობის გაზრდისას და შესაბამისად, ნიტრატების მოხმარებისას მისი კონცენტრაცია კვლავ კლებულობს. ასევე ზედაპირულ წყლებში ნიტრატები გვხვდება ატმოსფერული ნალექებით, რომლებიც შთანთქავენ ატმოსფერული ექლექტრული განმუხტვისას წარმოქმნილ აზოტის ოქსიდებს. მდინარეებში მათმა კონცენტრაციამ შესაძლებელია მიაღწიოს  $n \cdot 10^{-1}$  მგN/ლ. მდინარეებში ნიტრატები და ნიტრიტები ანთროპოგენული წყაროებით ხვდება სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო წყლებით [41,43,44].

ფოსფორის ნაერთები ზედაპირულ წყლებში გვხვდება წყლის ორგანიზმების ცხოველმოქმედებისა და სიკვდილშემდგომ პერიოდში მიმდინარე პროცესების შედეგად. არაორგანული ხსნადი ფორმების სახეები დამოკიდებულია წყლის pH-ზე, რომლის მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს პოლიფოსფატები. ფოსფორის ნაერთების შემცველობა სეზონური ცვალებადობის მიხედვით იცვლება, ვინაიდან იგი დამოკიდებულია ფოტოსინთეზის პროცესების ინტენსივობის თანაფარდობაზე, ორგანულ ნივთიერებათა ბიოქიმიურ დაშლასთან. ფოსფატების მინიმალური კონცენტრაცია აღინიშნება გაზაფხულზე და ზაფხულში, ხოლო მაქსიმალური-შემოდგომაზე და ზამთრობით. ზედაპირულ წყლებში ფოსფატების შემცველობა იზრდება ადამიანის სამეურნეო და საწამოო საქმიანობით. წყლები ბინძურდება ფოსფოროვანი სასუქებისა და კვების ნარჩენების შემცველი, აგრეთვე საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლებით, რის შედეგადაც მიმდინარეობს წყალსაცავების ევტროფიკაცია და წყლის ხარისხის გაუარესება. ზედაპირულ წყლებში ფოსფატების კონცენტრაცია შეადგენს ასეულ და ათასეულ წილ მგP/ლ [39,43,44].

ჩვენს მიერ ჩატარებული მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის ქიმიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე ამონიუმის იონის კონცენტრაცია ( $<0.008$  მგ/ლ), ნიტრიტ-იონის კონცენტრაცია ( $<0.075$  მგ/ლ), აგრეთვე პოლიფოსფატების - ( $PO_4^{3-}$ ) კონცენტრაცია ( $<0.2$ მგ/ლ), ნაკლებია მათ ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებზე. ხოლო ნიტრატ-იონების კონცენტრაცია მდინარე ხრამის წყალში შეადგენს  $4.32$  მგ/ლ და  $4.80$  მგ/ლ (ცხრილი 3; სინჯი 1,2),  $8.31$  მგ/ლ და  $8.23$  მგ/ლ (ცხრილი 4; სინჯი 3, 4), რომელიც არ აღემატება ნორმატივით დასაშვებ მნიშვნელობას.

მდინარე მაშავერას წყალში ნიტრატ-იონების კონცენტრაცია იცვლება  $13.83 - 16.93$  მგ/ლ ზღვრებში (ცხრილი 3; სინჯი 5,6), ხოლო მდინარე დებედას წყალში დაფიქსირდა  $10.94$  მგ/ლ (ცხრილი 4; სინჯი 7), რომელთა მნიშვნელობებიც არის ნორმის ფარგლებში.

ფტორიდები მდინარის წყალში ხვდება ფტორშემცველი მინერალების ქანებისა და ნიადაგების დაშლით, ზედაპირული და გრუნტის წყლებით, ასევე ატმოსფერული ნალექებით. ფტორი წარმოადგენს ბუნებრივი წყლების შემცველ მდგრად კომპონენტს. შიგაწლიური ცვლილება მდინარის წყალში არ არის დიდი, შესაძლებელია შეიცვალოს ორჯერ: წყალდიდობისას დაბალია, ხოლო წყალმცირობისას შედარებით მაღალია, ვინაიდან გრუნტის წყლებით კვების წილი წყალმოვარდნისას მცირდება. წყლის სანიტარული შეფასების სასმელ წყალმომარაგების მიხედვით ფტორის განსაზღვრას აქვს მნიშვნელობა. ფტორის მაღალი შემცველობა იწვევს ფლუოროზს, ხოლო დაბალი მნიშვნელობა კბილების კარიესს. ფტორის შემცველობა სასმელ წყალში ლიმიტირებულია და მისი ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია ტოლია  $1.5$  მგ/ლ. მდინარე ხრამის წყალში ფტორის კონცენტრაცია იცვლება  $0.17 - 0.23$  მგ/ლ (ცხრილი 3, 4; სინჯი 1, 2, 3, 4). ასევე მდინარე დებედას წყალი შეიცავს  $0.2$  მგ/ლ ფტორ-იონს(ცხრილი 4; სინჯი 7). მდინარე მაშავერას წყალში ფტორის შემცველობა შეადგენს  $0.33$  მგ/ლ და  $0.31$  მგ/ლ (ცხრილი 3; სინჯი 5, 6), რაც ალბათ განპირობებულია სულფატების შედარებით მაღალი მნიშვნელობით.



ვინაიდან ლიტერატურული მონაცემებით სულფატ იონებს ერთი და იგივე კათიონებისას აქვთ ქანებიდან ფტორიდების უფრო სრული გამოყოფის უნარი, ვიდრე ქლორიდ იონებს ამიტომ მაღალი სულფატშემცველი წყლები ხასიათდებიან ფტორის მაღალი კონცენტრაციით [39-41].

მძიმე მეტალთა ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები. მძიმე მეტალთა რაოდენობრივი ანალიზი ჩატარდა ატომურ-ემისიურ სპექტროსკოპიული მეთოდით. წინასწარ მოხდა წყლის კონსერვაცია ულტრასისუფთავის აზოტმჟავათი. მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყალში ბარიუმის, დარიშხანის, ვერცხლისწყალის, მოლიბდენის, ნიკელის, კადმიუმის, სელენის, სპილენძის, ტყვიის, ქრომის, თუთიის, ბორის, სტიბიუმის კონცენტრაციები არ აღემატება ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციებს (ცხრილი 3, 4).

მდინარე ხრამის წყალში ალუმინის შემცველობა შეადგენს ძირითადად 0.7 მგ/ლ და 0.8 მგ/ლ (სინჯი 1-4), რომელიც მცირედ აღემატება ზღვ-ს (0.5 მგ/ლ). ხოლო მდინარე დებედას წყალში ალუმინის კონცენტრაცია უტოლდება ზღვ-ს მნიშვნელობას (0.5 მგ/ლ; სინჯი 7).

მდინარე მაშავერას წყალში ალუმინის შემცველობა მაქსიმუმს აღწევს. ბოლნისთან, რაჭისუბანთან აღებული № 5 სინჯში და შეადგენს 2.61მგ/ლ, ხოლო სოფელი თამარისის მიდამოებთან აღებულ N6 სინჯში ტოლია 1.58 მგ/ლ, რაც მნიშვნელოვნად აღემატება ზღვ-ს (ცხრილი 3).

ბუნებაში ალუმინი გავრცელებული ელემენტია, რომლის შემცველობა მიწის ქერქში შეადგენს 8.8%-ს. ცნობილია მისი მრავალი მინერალი: ალუმინსილიკატები, კაოლინიტი, თიხა მიწა, ბოქსიტი, ნეფელინი, ალუნიტი, კრიოლითი და სხვა. იგი ყველა ქანის შემადგენლობაში შედის სხვადასვა ალუმინშემცველი მინერალის სახით[7].

ალუმინის ნაერთები ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში. სამთო - გამამდიდრებელი საწარმო სს “მადნეული“ აწარმოებს სპილენძის, ბარიტის ოქრო-ვერცხლის შემცველი კვარციტებისა და პოლიმეტალური მადნების მოპოვებას, პირველად გადამუშავებასა და გამდიდრებას, ასევე მიღებული

პროდუქტის რეალიზაციას.

არსებობს მადნეულის საბადოს ხუთი ძირითადი სამრეწველო ტიპი: სპილენძის მადანი, თუთია-სპილენძის მადანი, ბარიტ-პოლიმეტალური მადანი, ბარიტ-ოქროსშემცველი კვარციტები და ოქროსშემცველი კვარციტები. ეს მადნები შეიცავენ ალუმინის შემცველ მინერალებს, კოლჩედანურ მადანს, კაოლინიტს, ალუნიტს და სხვა. სპილენძის კოლჩედანური მადანის ქიმიური შემადგენლობაა: სპილენძი 0.92%; გოგირდი 3-4%; ალუმინის ოქსიდი 1.5-2%; რკინა 2.8%; სილიციუმის ოქსიდი 67.2 %. ალუმინის ჰიდროქიმიკა ნაკლებად არის შესწავლილი. ზედაპირულ წყლებში ალუმინის კონცენტრაცია შეადგენს  $n \cdot 10^{-1}$  მგ/ლ [40,41, 45,46].

მდინარე მაშავერას შენაკადებიდან, ანთროპოგენური წყაროებით ყველაზე მეტად დაბინძურებულია მარჯვენა შენაკადი. მდინარე კაზრეთულა, რომელიც მადნეულის კარიერის სრული დატვირთვით დამუშავების შემდეგ იგი ფაქტიურად წარმოადგენს კარიერული და სანაყარეკვეშა „მჟავა“ წყლების ნაკადს. დაბინძურებულია მძიმე ლითონებით, მაგრამ სამწუხაროდ სისტემური ეკოლოგიური მონიტორინგი არ ტარდებოდა.

მდინარე მაშავერას წყალში ალუმინის შემცველობა განპირობებულია სამთო-გამამდიდრებელი საწარმოს სს „მადნეულის“ ჩამდინარე წყლებით.

მდინარე ხრამის წყლის, პირველ და მეორე სინჯში, რკინის შემცველობა შეადგენს 0.51 მგ/ლ და 0.65 მგ/ლ (ცხრილი 3, სინჯი 3), ხოლო მესამე და მეოთხე წყლის სინჯში შესაბამისად არის 0.47-0.48მგ/ლ (ცხრილი 4; სინჯი 7). ასევე მდინარე დებედას წყალში ტოლია 0.5მგ/ლ, რომელთა მნიშვნელობები მცირედ აღემატება რკინის ზდკ-ს(0.3). მდინარე მაშავერას წყალში რკინის კონცენტრაცია იცვლება 1.54მგ/ლ-1.31მგ/ლ(ცხრილი 3; სინჯი 5, 6), რომლის მნიშვნელობა აღემატება ზდკ-ს.

ზედაპირულ წყლებში რკინის ნაერთების ძირითად წყაროს წარმოადგენს, მთის ქანების ქიმიური გამოფიტვის პროცესები, რასაც თან

ახლავს მექანიკური რღვევა და ხსნადობა. ზედაპირულ წყლებში რკინის ნაერთების მნიშვნელოვანი რაოდენობა ხვდება მიწისქვეშა წყლებით, აგრეთვე მეტალურგიული, სამთო-გადამამუშავებელი, საფეიქრო, ლაქ-საღებავის საწარმოთა და სასოფლო-სამეურნეო ჩამდინარე წყლებით. მდინარის წყლებში რკინის მნიშვნელობა იშვიათად აღემატება 1მგ Fe/ლ. სეზონური ცვლილებების მიხედვით ზაფხულისა და ზამთრის პერიოდში, მაღალი ბიოლოგიური პროდუქტიულობისას, რკინის შემცველობა მატულობს წყლის ფსკერულ ფენებში, ხოლო შემოდგომასა და გაზაფხულზე ხდება წყლის მასების ურთიერთშერევა ანუ ჰომოთერმისას მიმდინარეობს Fe(II)-ის დაჟანგვა Fe(III)-მდე და გამოილექება რკინის Fe(OH)<sub>3</sub>-ის სახით [39,41,43].

ზედაპირულ წყლებში რკინის 1-2 მგ/ლ-ზე მეტი რაოდენობა მნიშვნელოვნად აუარესებს წყლის ორგანოლექტიკურ თვისებებს, აძლევს არასასიამოვნო მწკლარტე გემოს და წყალი გამოუსადეგარია სასმელ-სამეურნეო და ტექნიკური მიზნებისთვის [39-43; 47-50].

მდინარე მაშავერას წყალში რკინის შემცველობა განპირობებულია ანთროპოგენული წყაროებით, კერძოდ, სამთო-გამამდიდრებელი საწარმოს სს „მადნეულის“ ჩამდინარე წყლებით. საწარმოს ძირითადი გადასამუშავებელი მადნები შედგება შემდეგი მინერალებისაგან: ჰალკოპირიტი, პირიტი, სფალერიტი, კოველინი, ჰალკოზინი, ბორნიტი, სპილენძის კარბონატები და სულფატები, კვარცი, სერიციტი, ჰემატიტი და ა.შ. ლიტერატურული წყაროებით მდინარე კაზრეთულაში და მდინარე ფოლადაურში, ფუჭი ქანების სანაყაროების ქვემოთ ჩამდინარე წყლებით ჩაედინება 0.55 მგ/ლ რკინა. ასევე კუდსაცავებიდან სადრენაჟო წყლებით ჩაედინება მდინარე კაზრეთულასა და მდინარე მაშავერასთან შეერთების შემდეგ წერტილში 0.05-1.8 მგ/ლ რკინა (2008 წ). ექსტრემალური სიტუაციების - წყალდიდობის დროს მდინარე კაზრეთულაში მოწყობილ დამბასთან დაგროვილი წყლების ნაწილი აგრეთვე ხვდება მდინარეში.

ზედაპირულ წყლებში მანგანუმი ხვდება რკინამანგანუმის მადნებისა

და სხვა მანგანუმის შემცველი მინერალების, მაგალითად პიროლუზიტის გამოტუტვის პროცესების შედეგად. მანგანუმის მნიშვნელოვანი რაოდენობა წყალში ხვდება, აგრეთვე, ცხოველური და მცენარეული ორგანიზმების, განსაკუთრებით ლურჯ-მწვანე, დიატომური წყალმცენარეების დაშლის, გახრწნის პროცესების შედეგად. წყალსაცავების დაბინძურება შესაძლებელია მანგანუმის გამამდიდრებელი ფაბრიკების, მეტალურგიული ქარხნების, ქიმიური მრეწველობის საწარმოთა ჩამდინარე წყლებით. ზედაპირულ წყლებში მანგანუმი არსებობს ძირითადად შეწონილი ფორმის სახით. ასევე შესაძლებელია მანგანუმის მიგრაცია ხსნადი და კოლოიდური ფორმითაც, რომელიც განპირობებულია ორგანული ნივთიერებებით, ასევე არაორგანულ და ორგანულ ლიგანდებთან მანგანუმის კომპლექსწამომქმნელი პროცესებით.

მდინარის წყალში მანგანუმის შემცველობა შეადგენს 1-160 მკგ/ლ, ზღვის წყლებში მისი საშუალო შემცველობაა 2 მკგ/ლ, ხოლო მიწისქვეშა წყლებში -  $n \cdot 10^2$  -  $n \cdot 10^3$  მკგ/ლ. ზედაპირულ წყლებში მანგანუმის კონცენტრაცია იცვლება სეზონური ცვალებადობის მიხედვით. მანგანუმის რეჟიმის განმსაზღვრელ ფაქტორს წარმოადგენს ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყლებს შორის თანაფარდობა, ჟანგბადის ბიოლოგიური მოხმარების პროცესების ინტენსიურობა, ასევე სედიმენტაციის პროცესები [15,41].

მდინარე ხრამისა და დებედას წყალში მანგანუმის შემცველობა შეადგენს 0.03 - 0.09 მგ/ლ (ცხრილი 3, 4), რომელთა კონცენტრაციები არ აღემატება ზღვრულ დასაშვებ მნიშვნელობას (0.1 მგ/ლ). გამონაკლის წარმოადგენს მდინარე მაშავერას წყალში მანგანუმის კონცენტრაცია 0.55 მგ/ლ და 0.26 მგ/ლ (ცხრილი 3; სინჯი 5, 6), რომლის მნიშვნელობები აღემატება ზღვ-ს.

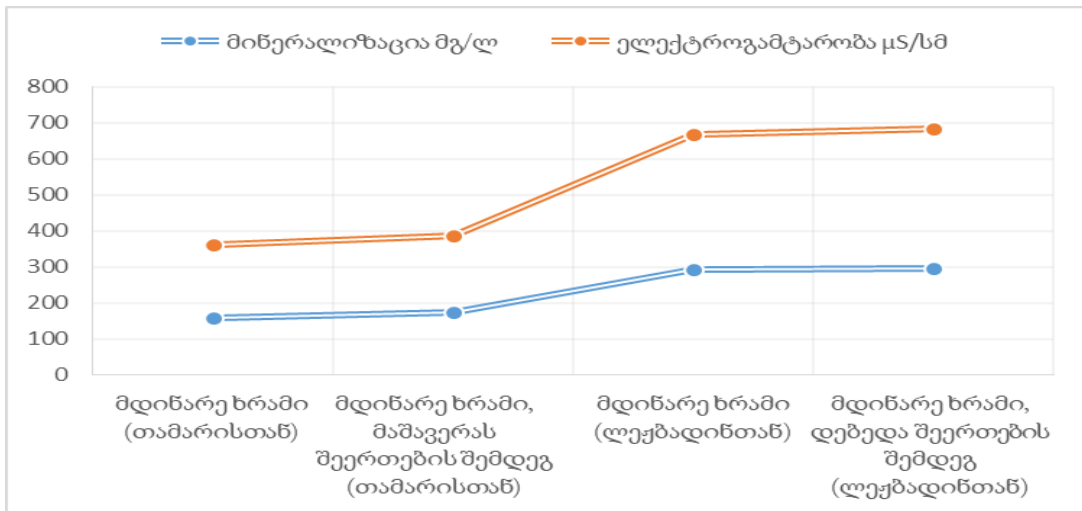
სილიციუმი წარმოადგენს ზედაპირული წყლების ერთ-ერთ გავრცელებულ კომპონენტს. სილიციუმის მნიშვნელოვანი რაოდენობა წარმოიქმნება მიწისზედა მცენარეებისა და წყალმცენარეების, ნაწილობრივ დიატომური წყალმცენარეების კვდომის პროცესისას, მნიშვნელოვანი

წყაროა ატმოსფერული ნალექები. სილიციუმის ნაერთები წყალში ხვდება საწარმოო ჩამდინარე წყლებით, სილიციუმის ხსნადი ნაერთების დაგროვებისას წყალში ნაწილობრივ განიცდიან კოაგულაციას და გამოიყოფა ნალექის სახით. ასევე სილიციუმის ხსნადი ნაერთების კონცენტრაცია მცირდება წყლის ორგანიზმების მიერ მათი მოხმარებით, განსაკუთრებით დიატომური წყალმცენარეების განვითარების პერიოდში. სილიციუმის ხსნადი ფორმა წარმოდგენილია წყალში სილიციუმმჟავას, მისი დისოციაციის და ასოციაციის პროდუქტების, აგრეთვე ორგანული ნივთიერებების სახით. მდინარის წყალში სილიციუმმჟავას შემცველობა შეადგენს 1-20 მგ/ლ. სეზონური ცვლილებების მიხედვით მისი რეჟიმის განმსაზღვრელ ფაქტორს წარმოადგენს ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლებს შორის თანაფარდობა, აგრეთვე მისი ბიოლოგიური მოხმარების ინტენსიური პროცესები, წყლის ორგანიზმების კვდომა და ა.შ [41].

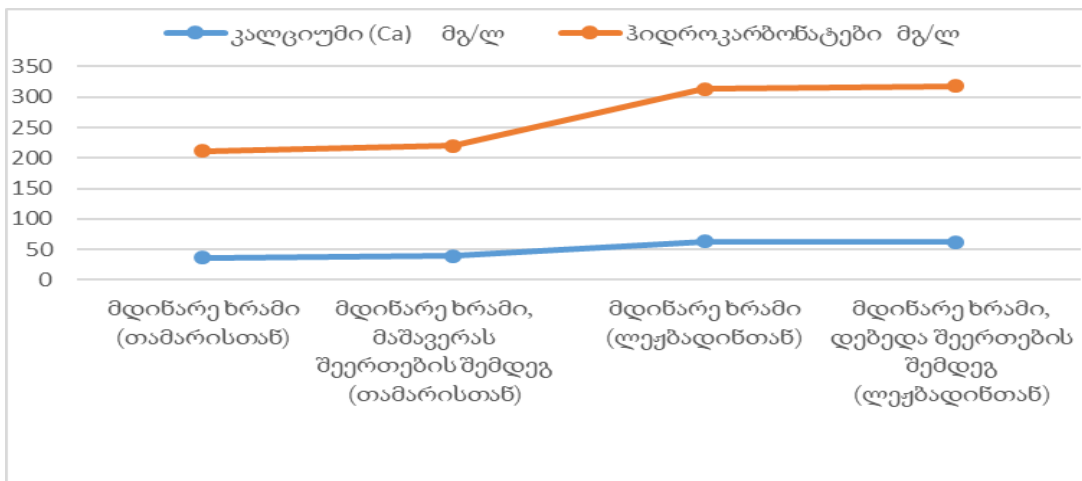
ლიტერატურული წყაროებით სილიციუმის ჰიდროქსიმიური ანალიზი მონაცემები არ არის ცნობილი. ჩვენი გამოკვლევებით სილიციუმის ჯამური კონცენტრაცია მდინარე ხრამის წყალში იცვლება 14.72-16.8 მგ/ლ, ხოლო მდინარე მაშავერას წყალში შეადგენს 17.19 მგ/ლ და 18.77 მგ/ლ, მდინარე დებედას წყალში კი 13.43 მგ/ლ, რაც შეიძლება ჩაითვალოს ფონურად [51].

## **2.2. მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით ძირითადი იონების კონცენტრაციათა ცვლილების დიაგრამები**

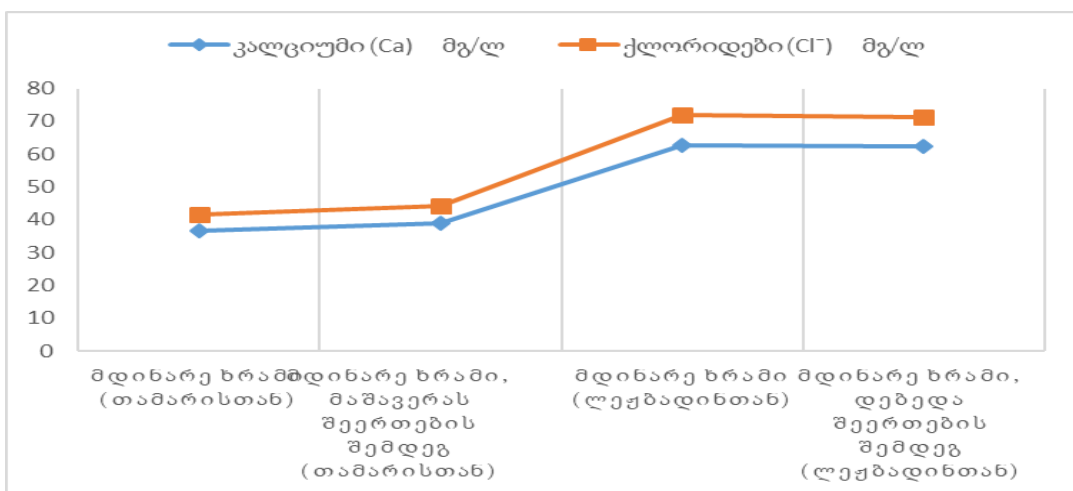
მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით აგებული იქნა ელექტროგამტარობასა და მინერალიზაციას შორის, კალციუმისა და ჰიდროკარბონატ-იონებს შორის, კალციუმისა და ქლორიდ-იონებს შორის, ნატრიუმისა და სულფატ-იონებს შორის, ასევე მაგნიუმისა და სულფატ-იონებს შორის კონცენტრაციათა ცვლილების ამსახველი დიაგრამები.



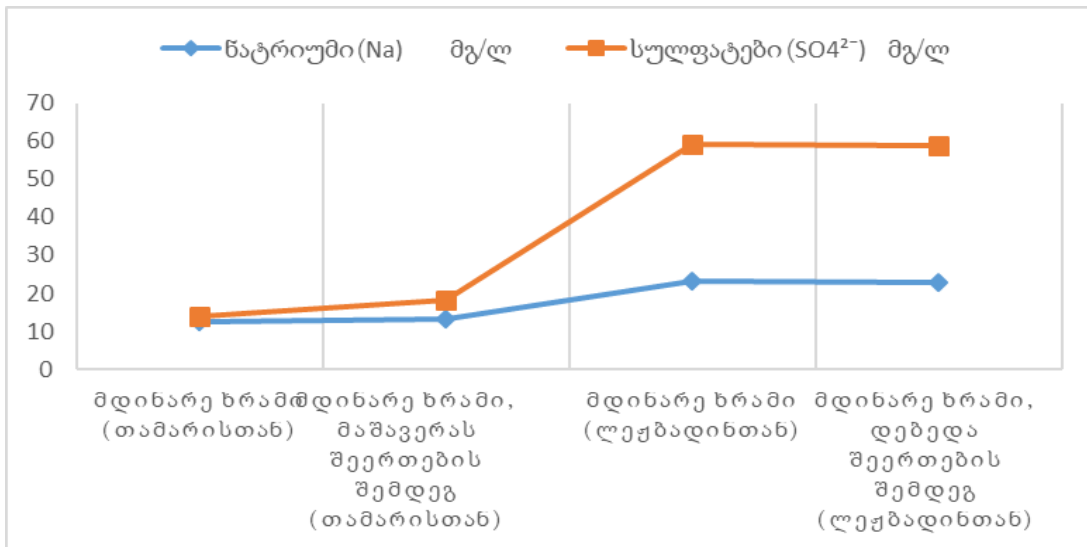
ნახაზი 1. ელექტროგამტარობისა და მინერალიზაციის ცვლილება მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით



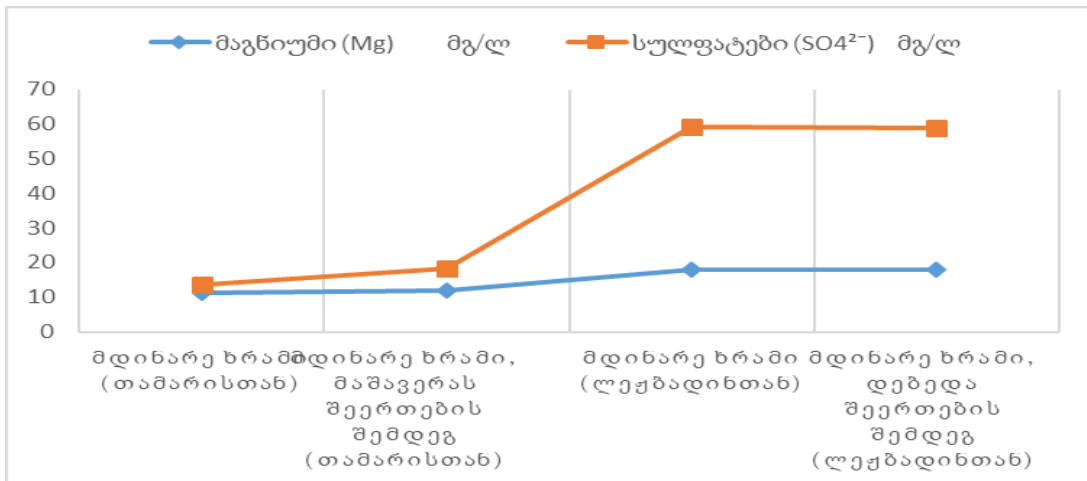
ნახაზი 2. კალციუმისა და ჰიდროკარბონატ-იონების კონცენტრაციათა ცვლილება მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით



ნახაზი 3. კალციუმისა და ქლორიდ-იონების კონცენტრაციათა ცვლილება მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით



**ნახაზი 4. ნატრიუმისა და სულფატიონების კონცენტრაციათა ცვლილება მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით**



**ნახაზი 5. მაგნიუმისა და სულფატიონების კონცენტრაციათა ცვლილება მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით**

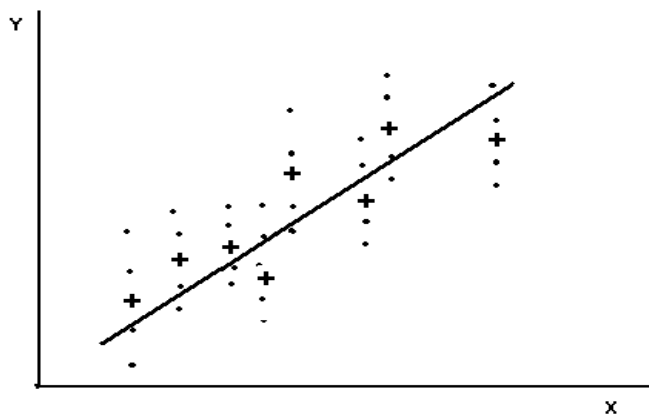
ამრიგად 1, 4 და 5 ნახაზიდან გამომდინარე ელექტროგამტარობისა და მინერალიზაციის მნიშვნელობები, ნატრიუმისა და სულფატ იონების, აგრეთვე მაგნიუმისა და სულფატ იონების კონცენტრაციათა მნიშვნელობა თანმიმდევრობით იცვლება, მხოლოდ ელექტროგამტარობის შედარებით მაღალი მნიშვნელობა (375.0  $\mu$ S/სმ და 386.0  $\mu$ S/სმ, (სინჯი 3,4), ასევე სულფატების მაღალი კონცენტრაციის მნიშვნელობა (59.31 მგ/ლ და 58.88 მგ/ლ, სინჯი 3, 4) გამოწვეულია მდინარე მაშავერასა და დებედას მდინარე ხრამთან შეერთების შედეგად. 2 და 3 ნახაზიდან გამომდინარე კალციუმისა

და ჰიდროკარბონატის იონების, აგრეთვე კალციუმისა და ქლორიდ-იონების კონცენტრაცია მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით სინქრონულად იცვლება, რაც კორელაციური ანალიზის კორექტულობაზე მიგვითითებს.

### 2.3. მდინარე ხრამსა და დებედას წყლის ძირითადი მახასიათებლების კორელაციური სტატისტიკური ანალიზი

ერთმანეთან დაკავშირებულ ორ ცვლადს შორის ფუნქციონალური კავშირი შეიძლება გამოისახოს ფორმულით  $Y=F(X)$ .

ცვლადებს შორის არსებული კავშირის (წრფივი, პარაბოლური და სხვა) ხასიათით განისაზღვრება განტოლების სახე. შესაძლებელია ორ ცვლადს შორის არსებობს კავშირი, მაგრამ არ არის ფუნქციონალური. ასეთი მოვლენის დროს, როდესაც  $X$ -ის ერთ მნიშვნელობას შეესაბამება  $Y$ -ის მრავალი მნიშვნელობა ან  $Y$ -ის მნიშვნელობები გაფანტულია, არსებობს კორელაციური კავშირი. ანალიზის სტატისტიკური მეთოდით დგინდება ცვლადებს შორის კორელაციური კავშირი [52].



ნახაზი 6. კორელაცია ორ ცვლადს შორის

მე-6 ნახაზის გამომდინარე  $X$ -ის ყოველ მნიშვნელობას არ შეესაბამება  $Y$ -ის გარკვეული მნიშვნელობა, მაგრამ საშუალებას იძლევა დადგინდეს მათ შორის კორელაციური კავშირი.  $Y$ -ის საშუალო მნიშვნელობების გამოთვლით და მათზე წრფის გატარებით მიიღება  $AB$  ფუნქციონალური კავშირი.



$$\bar{Y} = AX + B \quad (1)$$

X და Y შორის კავშირი განისაზღვრება მიღებული წრფით, რომელსაც უწოდებენ რეგრესიის წრფეს. X და Y შორის კორელაციური კავშირის დადგენისას მნიშვნელოვან სიდიდეს წარმოადგენს კორელაციის კოეფიციენტი r, რომლის აბსოლუტური მნიშვნელობა ყოველთვის ნაკლებია ერთზე და მეტია ნულზე ( $1 > r > 0$ )

- თუ  $r=1$ , მაშინ X-სა და Y-ს შორის ფუნქციონალური დამოკიდებულებაა.
- თუ  $r=0$ , მაშინ X-სა და Y-ს შორის კავშირი საერთოდ არ არსებობს.
- თუ r-ის მნიშვნელობა ახლოსაა 1-თან, მაშინ მჭიდროა კავშირი X-სა და Y-ს შორის.

ექსპერიმენტით მიღებული X და Y მონაცემების არსებობისას მათი საშუალო მნიშვნელობები გამოისახება ფორმულით:

$$\bar{X}_i = \frac{\sum X_i}{n}, \quad \bar{Y}_i = \frac{\sum Y_i}{n}, \quad \text{სადაც } n \text{ ექსპერიმენტების რიცხვია.}$$

საშუალო გადახრისგან ცდომილებები იქნება:

$$X_i - X_i - \bar{X}, \quad Y_i = Y_i - \bar{Y}$$

საშუალო კვადრატული ცდომილებები კი იანგარიშება ფორმულით:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{n} - \bar{X}^2}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum Y_i^2}{n} - \bar{Y}^2}$$

აღნიშნული სიდიდეების მონაცემებისას კორელაციური კოეფიციენტის მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

$$r = \frac{\left[ \frac{1}{n} \sum X_i Y_i \right] - \bar{X} \bar{Y}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2)$$

აღნიშნული სიდიდეების მხედველობაში მიღებით (1) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$Y - \bar{Y} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (X - \bar{X}) \quad \text{ან} \quad Y = \bar{Y} + r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (X - \bar{X})$$

ცხრილი 5. მდინარე ხრამისა და დებედას წყლის ანალიზის შედეგები სეზონური ცვლილების მიხედვით

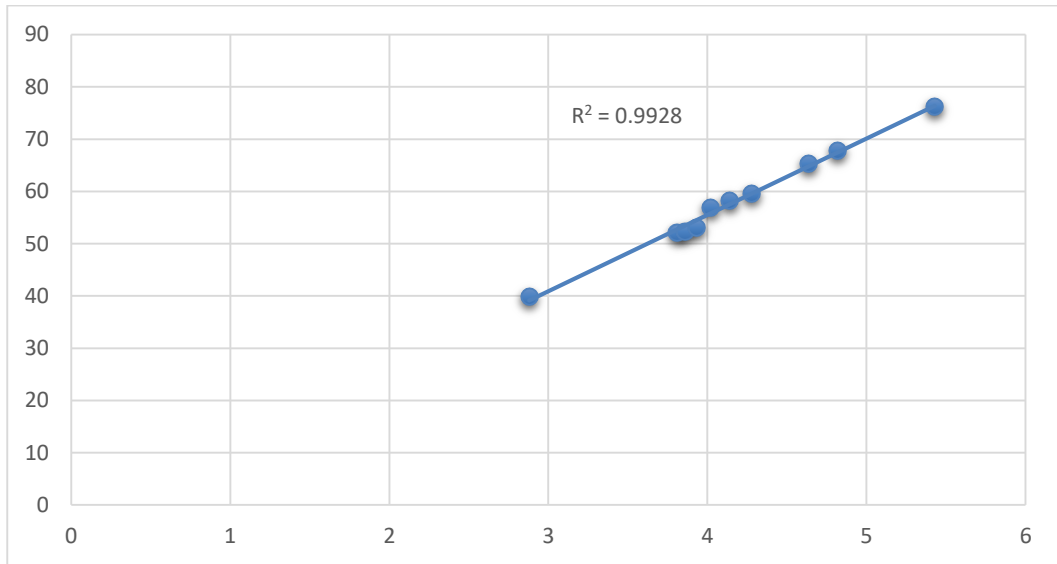
სინჯის აღების ადგილი და პერიოდი	სიხისტე მგ.ექვ/ლ	კალციუმი მგ/ლ	მინერალიზაცია მგ/ლ	ელგამტა-რობა $\mu\text{S}/\text{სმ}$	
მდინარე ხრამი	2018				
	ივლისი	4.02	56.86	264.3	531
	ოქტომბერი	3.81	52.16	243.4	499
	2019				
	იანვარი	3.86	52.23	254.2	490
	აპრილი	2.88	39.92	184.3	345
	აგვისტო	5.43	76.22	368.2	739
	სექტემბერი	4.82	67.85	316.0	635
	ოქტომბერი	4.64	65.26	302.1	619
	ნოემბერი	4.28	59.61	276.5	551
	2020				
	თებერვალი	3.93	53	251.9	489
	მარტი	4.14	58.18	262.1	523
მდინარე დებედა	2018				
	ივლისი	4.81	73.01	388.2	785
	ოქტომბერი	5.01	73.98	220.0	432
	2019				
	იანვარი	4.32	62.99	332.2	667
	აპრილი	1.92	29.14	127.9	238
	აგვისტო	5.89	89.39	477.3	949
	სექტემბერი	5.41	79.76	431.4	864
	ოქტომბერი	5.61	83.72	450.9	899
	ნოემბერი	5.56	82.91	424.2	851
	2020				
	თებერვალი	4.57	67	328.5	659
	მარტი	4.66	70.1	337.7	681

მიღებული განტოლება წარმოადგენს Y-ის X-ის მიმართ კორელაციის რეგრესიის განტოლებას.  $r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$  – არის რეგრესიის კოეფიციენტი და განსაზღვრავს რეგრესიის წრფის დახრას [52].

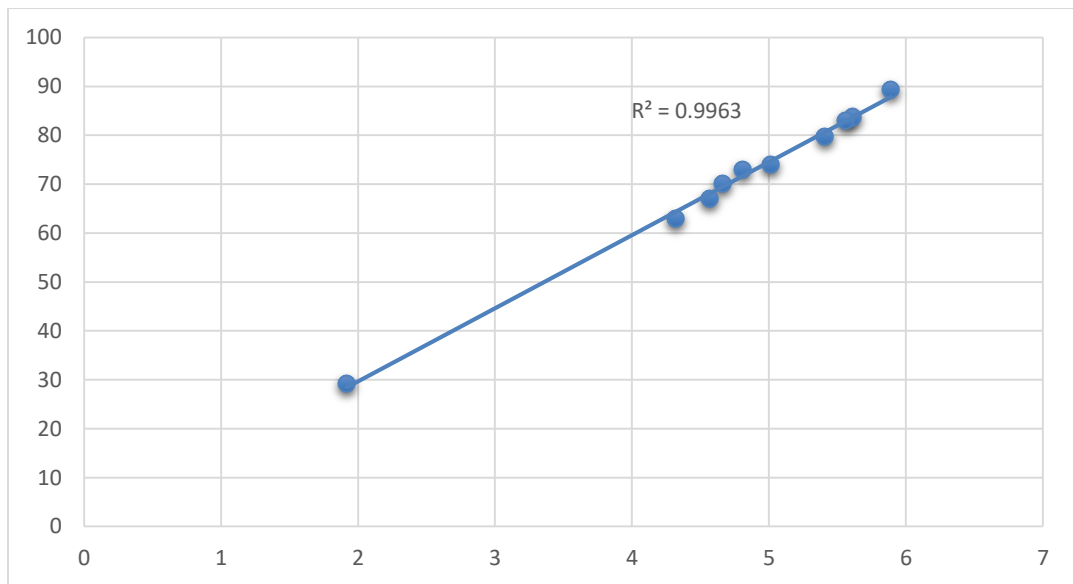
სწორედ ამ თეორიის საფუძველზე ჩვენს მიერ დადგენილ იქნა კორელაციური კავშირი ორ ცვლადს შორის. დიაგრამები აგებულ იქნა Ms Excel პროგრამის საშუალებით, ასევე კორელაციის კოეფიციენტიც  $r$  გამოთვლილ იქნა Ms Excel პროგრამით, რომელიც ასევე შედარებულ იქნა არსებულ თეორიის საფუძველბთან. რაც უფრო ახლოს არის კორელაციის კოეფიციენტის სიდიდე ერთთან, მით უფრო დადებითად არის გამოხატული კორელაციური კავშირი [53].

ჩვენი ექსპერიმენტალური შედეგების საფუძველზე აგებულია მდინარე ხრამსა და დებედას წყალში კორელაციის დიაგრამები.

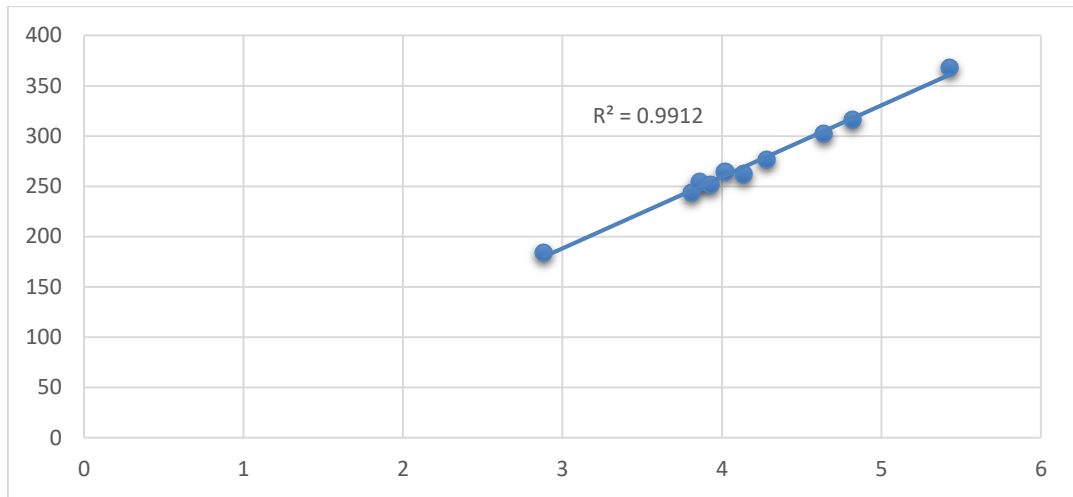
დიაგრამები აგებულია: სიხისტესა და კალციუმს შორის; სიხისტესა და მინერალიზაციას შორის; მინერალიზაციასა და ელექტროგამტარობას შორის (ნახაზები 7-12)



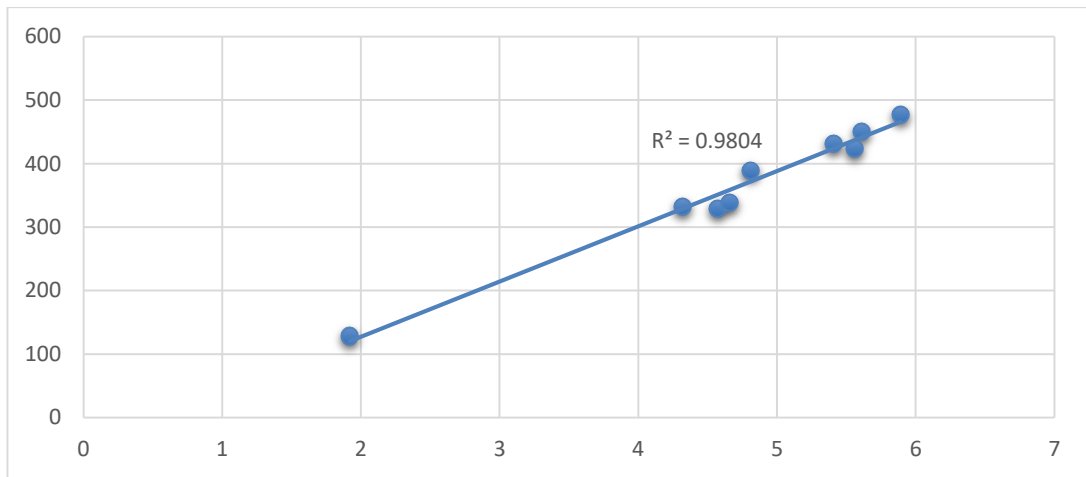
ნახაზი 7. მდინარე ხრამის წყალში კორელაცია სიხისტესა და კალციუმის იონებს შორის



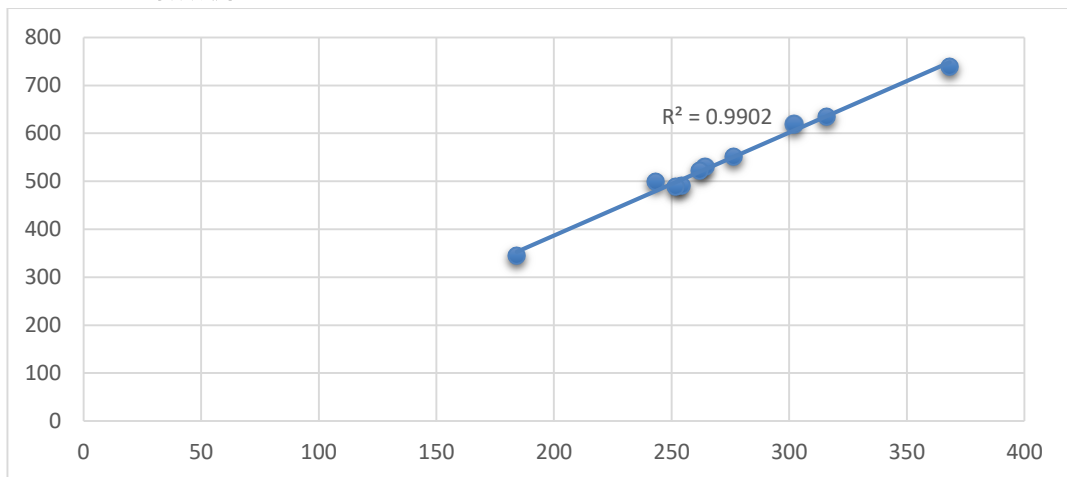
ნახაზი 8. მდინარე დებედას წყალში კორელაცია სიხისტესა და კალციუმის იონებს შორის



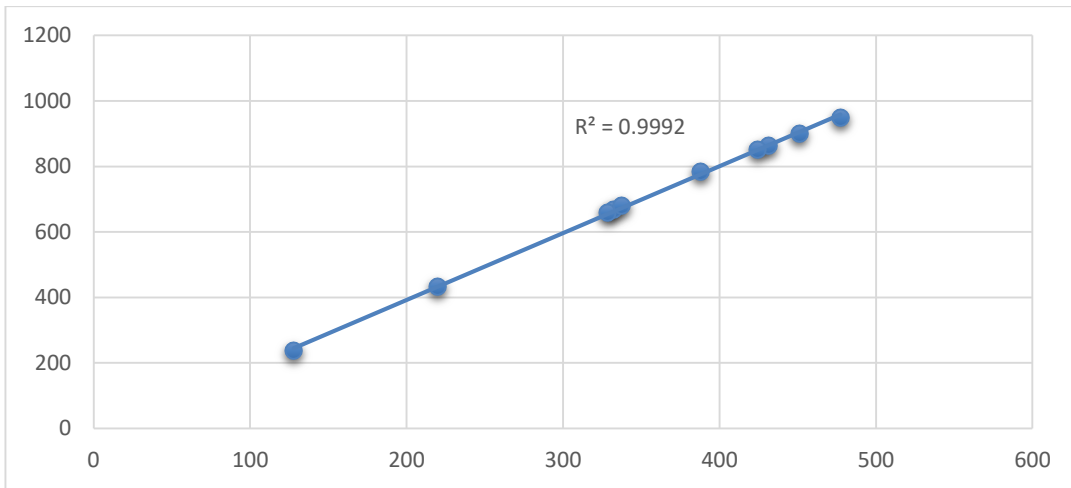
**ნახაზი 9. მდინარე ხრამის წყალში კორელაცია სიხისტესა და მინერალიზაციას შორის**



**ნახაზი 10. მდინარე დეხედას წყალში კორელაცია სიხისტესა და მინერალიზაციას შორის**



**ნახაზი 11. მდინარე ხრამის წყალში კორელაცია მინერალიზაციასა და ელექტროგამტარობას შორის**



**ნახაზი 12. მდინარე დებედას წყალში კორელაცია მინერალიზაციასა და ელექტროგამტარობას შორის**

ჩატარებული კორელაციური სტატისტიკური ანალიზის მიხედვით კორელაციის მაღალი ხარისხით ხასიათდება შემდეგი წყვილები: სიხისტე და კალციუმი, სიხისტე და მინერალიზაცია, აგრეთვე ელექტროგამტარობა და მინერალიზაცია.

#### **2.4. მდინარე ხრამის აუზის წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა**

გარემოს დაცვის სფეროში და მოსახლეობის ჯანმრთელობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი განმაპირობებელი ფაქტორია წყლის ხარისხი. წყალსარგებლობის, სასმელ-სამეურნეო წყალმომარების სისტემაში და წყლის რესურსების დაცვის სფეროში უპირველეს ამოცანას წარმოადგენს წყლის ხარისხის კონტროლისათვის ობიექტური და უტყუარი ეკოლოგიური მონიტორინგის განხორციელება წყლის ანალიზის ჩასატარებლად.

წყლის ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და ვარგისიანობის შესაფასებლად აუცილებელია ჩატარდეს წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზი. წყალსაცავების ძირითად დამაბინძურებელ წყაროს წარმოადგენს სამრეწველო, განსაკუთრებით საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო და სასოფლო-სამეურნეო ჩამდინარე წყლები, რომელიც დაბინძურებულია უმეტეს შემთხვევაში მდინარის ნაპირზე არსებული ნაგავსაყრელებითა და მესაქონლეობის ფერმების ჩამდინარე წყლებით.

ყოველივე ეს იწვევს წყლის მიკრობიოლოგიურ დაბინძურებას,

აგრეთვე მოსახლეობის ნაწლავური ინფექციითა და ვირუსული ჰეპატიტით დაავადებას. ზედაპირული წყლები შესაძლებელია დაბინძურდეს მიკროორგანიზმებით, სხვადასხვა ანთროპოგენული წყაროებით.

**ცხრილი 6. მდინარე ხრამისა და მაშავერას წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა**

№	გამოსაკვლევი მაჩვენებელი	საზომი ერთეული	ნორმატივი არა უმეტეს	მდინარე ხრამი (თამარისი) №1	მდინარე მაშავერა (თამარისი) №6	მდინარე ხრამი და მაშავერა შეერთების შემდეგ (თამარისი) №2	მდინარე მაშავერა (ბოლნისი, რაჭისუბანი) №5
1	2	3	4	5	6	7	8
1	საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები	კწე 1 ლ-ში	10000	19180	61310	26130	559400
2	E-coli	კწე 1 ლ-ში		5040	22820	3590	365400
3	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 370°C	-	350	710	1500	1480
4	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 220°C	-	2070	2000	2400	4000
5	Streptococcus faecalis	კწე 100 მლ-ში	-	5475	5172	3076	34480
6	Salmonella	1 ლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
7	კოლიფაგები	ნკწე 1 ლ-ში	100	40	50	50	280

ჩვენს მიერ 2018 წლის 18 და 27 ნოემბერს ჩატარებული ექსპედიციისას აღებული იყო მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის სინჯები მიკრობიოლოგიური ანალიზის ჩასატარებლად. წყლის სინჯების აღება, შენახვა და ტრანსპორტირება, აგრეთვე ლაბორატორიული

მიკრო-ბიოლოგიური ანალიზი ჩატარებულ იქნა საერთაშორისო (ISO) სტანდარტული მეთოდების შესაბამისად [39].

განისაზღვრა საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები, E.coli, მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები, კოლიფაგები, სალმონელა და სტრეფტოკოკი (ცხრილი 6, 7).

**ცხრილი 7. მდინარე ხრამისა და დებედას წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა**

№	გამოსაკვლევი მაჩვენებელი	საზომი ერთეული	ნორმატივი არა უმეტეს	მდინარე ხრამი (ლეჟბადინი) №3	მდინარე დებედა (ლეჟბადინი) №7	მდინარე ხრამი და დებედა შეერთების შემდეგ (ლეჟბადინი) №4
1	საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები	კწე 1 ლ-ში	10000	26030	104620	24890
2	E-coli	კწე 1 ლ-ში		6310	54750	8820
3	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 370°C	-	200	600	160
4	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 220°C	-	1200	3000	1400
5	Streptococcus faecalis	კწე 100 მლ-ში	-	254	945	254
6	Salmonella	1 ლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
7	კოლიფაგები	ნკწე 1 ლ-ში	100	10	20	არ აღმოჩნდა

წყალში კარგი სიცოცხლის უნარიანობის მქონე მიკროორგანიზმები 22°C ტემპერატურულ პირობებში ლაბორატორიაში უფრო კარგად იზრდებიან, ხოლო 37°C ტემპერატურაზე ლაბორატორიულ პირობებში უკეთ გაზრდილი მიკროორგანიზმები წყალში ძნელად ვითარდებიან.

მდინარე ხრამის მაშავერასა და დებედას წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზების შედეგებიდან გამომდინარე საერთო კოლიფორმული ბაქტერიების რაოდენობა 1 ლიტრში, ასევე მეზოფილური აერობები და

ფაკულტატური ანაერობების რაოდენობა 1 მლ-ში ბევრად აღემატება დასაშვებ ნორმატივებს (E-coli), ასევე Streptococcus faecalis, რომლებიც ხვდება ადამიანისა და თბილისისხლიანი ცხოველების ნაწლავებში და მათი რაოდენობა გამოიყენება წყლის ახალი ფეკალური დაბინძურების შესაფასებლად ასევე საკმარისად მაღალია დასაშვებ ნორმებზე. სალმონელა არ იქნა აღმოჩენილი, ხოლო კოლიფაგები დასაშვებ ნორმას აღემატება ბოლნისთან, რაჭისუბანთან აღებულ მდინარე მაშავერას წყლის სინჯში (280 ნკწე/ლ, ცხრილი 6, 7) [54].

მდინარე ხრამისა და მისი ძირითადი შენაკადების წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე ბაქტერიოლოგიური დაბინძურების ლოკალურ წყაროს წარმოადგენს დასახლებული პუნქტების საყოფაცხოვრებო, სასოფლო-სამეურნეო (ფერმების) ჩამდინარე წყლები, მდინარის სანაპიროზე არასანქცირებული ნაგავსაყრელები, გაუმართავი საკანალიზაციო სისტემის ჩამდინარე წყლები, კომერციული ობიექტების, სასტუმრო კომპლექსებიდან წარმოქმნილი საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლები, ასევე ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობების არარსებობა.

## **2.5. მდინარე ხრამისა და მისი ძირითადი შენაკადების მაშავერასა და დებედას ფსკერული დანალექების ანალიზის შედეგები**

ქიმიურ მინერალოგიური შემადგენლობის მიხედვით ზედაპირული წყლების ფსკერული დანალექებისა და შეტივტივებულ ნივთიერებებს შორის არსებობს კავშირი. ამიტომ ფსკერული დანალექების ქიმიური შემადგენლობა იცვლება გლანულომეტრიული შემადგენლობისა და ზედაპირული წყლების აუზის საშუალო სიმაღლის მიხედვით. მდინარის ფსკერული დანალექები წარმოიქმნება მასში შეტივტივებულ ნივთიერებათა სედიმენტაციისას მდინარეების მიერ მათი ტრანსპორტირებისას, აგრეთვე წყალშემკრები აუზის ამგები ქანებისა და მიმდებარე ტერიტორიის ნიადაგის საფარის გამოფიტვისა და გამორეცხვის შედეგად. ლიტერატურული მონაცემებით ზედაპირული წყლების ფსკერულ



დანალექებში ელემენტები იმყოფებიან ადვილადმოძრავ, მოძრავ, უძრავ და ორგანული ფორმით. რკინის ადვილადმოძრავი ფორმა ფსკერულ დანალექებში და ტივტივარებზე საშუალოდ შეადგენს 4.4%-ს რკინის საერთო რაოდენობიდან. საქართველოს მდინარეების ფსკერულ დანალექებში უფრო დამახასიათებელია რკინის მოძრავი ფორმა, რაც დაკავშირებულია ნორმატივებით დასაშვები მნიშვნელობების მიხედვით რკინის შემცველობით კარბონატულ ქანებში(0.38%) და კარბონატების შემცველობით ფსკერულ დანალექებში. ასევე მანგანუმისთვისაც დამახასიათებელია მოძრავი ფორმა 56.2-88.1% მანგანუმის საერთო რაოდენობიდან [41,42,55].

ლიტერატურული მონაცემებით საქართველოს მთიანი რეგიონის წყლებში სპილენძის შეწონილ მდგომარეობაში (38 მკგ/ლ) ბევრად აღემატება სპილენძის ხსნად ფორმას. მდინარის წყლების ფსკერულ დანალექებში სპილენძის შემცველობა შეადგენს 51-88 მგ/კგ [40,41,56,57].

საქართველოს ზედაპირული წყლების ფსკერულ დანალექებში თუთიის შემცველობა ნორმატივებით დასაშვები მნიშვნელობების მონაცემებთან შედარებით 1.5-ჯერ მეტია და იცვლება 70-246 მგ/კგ. დისპერსიულობის გაზრდით ფსკერულ დანალექებში მისი შემცველობა იზრდება [40-42, 55].

საქართველოს ზედაპირული წყლების ფსკერულ დანალექებში ტყვიის შემცველობა იცვლება 10-45 მგ/კგ, ხოლო საშუალოდ შეადგენს 20 მგ/კგ-ს. ანთროპოგენული წყაროებით ტყვიის შემცველობა იზრდება [40].

ლიტერატურული გამოკვლევებით ნიკელი ადვილად მოძრავი ფორმით იმყოფება 25-53%, ხოლო მოძრავი ფორმით 65% ნიკელის შეწონილი მდგომარეობის საერთო რაოდენობის მიხედვით. ფსკერულ ნალექებში ნიკელის შემცველობა ემთხვევა ნორმატივებით დასაშვები მნიშვნელობების მონაცემებს (0,0058%). რაც შეეხება კობალტს, მისი შემცველობა საქართველოს მდინარეების ფსკერულ დანალექებში იცვლება 11-15 მგ/კგ-ის ზღვრებში და საშუალოდ შეადგენს 13 მგ/კგ [40,41].

საქართველოს მდინარეების ფსკერულ დანალექებში კადმიუმის შესახებ ლიტერატურული წყაროებით მონაცემები არ არსებობს.

ჩვენს მიერ 2018 წლის ნოემბერის თვეში აღებულ იქნა მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას ფსკერულ დანალექის სინჯები. ლითონთა განსაზღვრის შედეგები მოცემულია მე-8 ცხრილში [58].

**ცხრილი 8. ფსკერული დანალექების ანალიზის შედეგები**

პუნქტი	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Cd	Co	Fe	pH
	მგ/კგ								
მდინარე ხრამის ფსკერული ანალიზი (თამარისთან)	28.56	50.85	6.26	525.80	6.26	1.00	3.76	1.44	7.36
მდინარე დებედას ფსკერული ანალიზი (ლეჟბადინთან)	47.85	246.99	52.61	428.36	11.27	0.75	1.25	1.20	7.30
მდინარე ხრამის ფსკერული ანალიზი (ლეჟბადინთან)	26.78	37.54	8.51	89.59	7.01	1.25	3.25	0.20	7.2
მდინარე მაშავერას ფსკერული ანალიზი (თამარისთან)	31.59	87.76	21.06	380.89	16.55	0.25	3.51	0.84	7.6
ზღვ (ფომინი)	36	140	85	700	35	0.8	20		

მდინარე ხრამის მაშავერასა და დებედას წყლის ფსკერული დანალექების ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე ფ.კლარკის, ა.ფერსმანის, ა.ვინოგრადოვისა და კ.ვედეპოლის მიერ მიწის ქერქში შესწავლილი და დადგენილი მეტალთა საშუალო მნიშვნელობების მიხედვით, აგრეთვე გ.ფომინისა და ა.ფომინის ცნობარის „საერთაშორისო სტანდარტებით ნიადაგის ხარისხისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების კონტროლის მიხედვით“ სპილენძის, ტყვიის, მანგანუმის, ნიკელის, კობალტი, რკინის კონცენტრაციების მნიშვნელობები განპირობებულია ბუნებრივი პირობებიდან გამომდინარე და შეესაბამება ფონურ მნიშვნელობებს. მხოლოდ კადმიუმის კონცენტრაცია აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ მნიშვნელობას, რაც თამარისთან და ლეჟბადინთან აღებულ მდინარე ხრამის ფსკერული დანალექების სინჯებში შეადგენს,

შესაბამისად 1.0 მგ/კგ და 1.25 მგ/კგ, ხოლო ლეჟბადინთან აღებულ მდინარე დებედას ფსკერული დანალექის სინჯში შეადგენს 0.75 მგ/კგ. გამონაკლისს წარმოადგენს თუთიის კონცენტრაცია, ლეჟბადინთან აღებულ მდინარე დებედას ფსკერული დანალექის სინჯში (246.99 მგ/კგ), რომელიც ბევრად აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ მნიშვნელობებს [39,47,55,58,59].

## 2.6 მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა ჭაბურღილებისა და შახტური ჭის წყლების ეკოქიმიური კვლევა

ბუნებაში მიმდინარე მრავალი პროცესებისა და ადამიანის სასიცოცხლო და საარსებო პირობების უზრუნველმყოფელ, გადამწყვეტ და უმნიშვნელოვანეს ფაქტორს წარმოადგენს წყალი. წყლის მოხმარებისა და წყალსარგებლობის გაზრდა მოითხოვს წყლის რესურსების ხარისხის ამადლებას, რაც სახალხო მეურნეობის განვითარების განმაპირობებელია. წყლის ხარისხი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მრავალი წარმოების პროდუქციის, აგრეთვე სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ხარისხს, თევზის მოშენებას და სხვას. წყლის რესურსების რაციონალური კომპლექსური გამოყენების პრობლემა და წყლის დაცვის ეფექტურობა მოითხოვს ძირითადად ჰიდროქიმიური ინფორმაციის განასაზღვრულ მოცულობასა და ხარისხს, მისი შესრულების ოპერატიულობას.

წყლის რესურსები მიწის წიაღში და მის ზედაპირზე განლაგების, ფორმირებისა და გამოყენების თავისებურებების მიხედვით იყოფა ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყლებად [4].

მიწისქვეშა წყლებად ითვლება დედამიწის ქერქის, ანუ ლითოსფეროს ზედა ფენებში გავრცელებული წყალი, რომელიც მოძრაობის უნარის მიხედვით შესაძლებელია იყოს თავისუფალი და ბმული, ქანებში მდოგამარეობის მიხედვით ორთქლის, თხევადი და მყარი სახით ქანებთან მათი ურთიერთქმედების მიხედვით-ფიზიკურად შეკავშირებული კრისტალიზაციური და ცეოლითური.

საქართველოს წყლის კანონის მიხედვით აკრძალულია წყალ-საცავებში საწარმოო, საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლების ჩაშვება აგრეთვე

სხვადასხვა სახის ნაყარისა და ნარჩენების ჩაყრა, აკრძალულია შთანთქმელი ჭაბურღილებისა და ჭების მოწყობა, გაზისა და ნავთობის დამუშავებული საბადოს შახტების, მიწისქვეშა ბუნებრივი სიცარიელების გამოყენება სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო თხევადი, მყარი ნარჩენების ჩასაშვებად. ყოველივე ეს იწვევს მიწისქვეშა წყლების შემცველი ჰორიზონტების დაბინძურებასა და მიწისქვეშა წყლების ხარისხის გაუარასებას [4].

მიწისქვეშა წყლები გამოიყენება სასმელ სამეურნეო მიზნებისათვის, ამიტომ დაცული უნდა იყოს მიწისქვეშა წყლის ობიექტების სანიტარული დაცვის ზონა საქართველოს კანონმდებლობის მიხედვით [13].

საქართველოში მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა წყლებს იყენებენ ქალაქ რუსთავისა და მისი მიმდებარე რეგიონების მოსახლეობის წყალმომარაგების სისტემად. მიწისქვეშა წყლების მარაგის შევსება ხდება უპირატესად ატმოსფერული ნალექებისა და ზედაპირული წყლებით. სასმელ-სამეურნეო მიზნებისათვის წყალმომარაგება ხორციელდება მდინარე ხრამისა და დებედას მიმდებარედ განლაგებული 34 ჭაბურღილითა და 7 შახტური ჭიდან.

გამოკვლევული ლიტერატურული წყაროებიდან გამომდინარე მდინარე ხრამის მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმიური და მიკრო-ბიოლოგიური კვლევის მონაცემები უმწირესია, ამიტომ მოსახლეობის სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემისათვის მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების ეკოქიმიური მდგომარეობის შეფასება მეტად აქტუალურია.

ჩვენს მიერ 2018-2019 წლებში ხუთჯერ ჩატარდა ექსპედიცია, რომლის დროსაც შესწავლილი იყო მდინარე ხრამის აუზის და მისი ძირითადი შენაკადების ფიზიკურ-გეოგრაფიული მდებარეობისა და ლანდშაპტის ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროების შესწავლა. ასევე ჩატარდა მდინარე ხრამის, დებედასა და მამავერას ეკოქიმიური კვლევა.

დათვალიერებული და შესწავლილი იქნა მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემის 14 ჭაბურღილი და 7 შახტური ჭა. აქედან ექსპლუატაციაშია 8 ჭაბურღილი, ხოლო 6 სარეზერვოა. შახტური ჭები კი შვიდივე ექსპლუატაციაშია.



სურათი 10. მდინარე ხრამის მიწისქვეშა შახტური ჭა



სურათი 11. მდინარე ხრამის მიწისქვეშა ჭაბურღილები



სურათი 12. მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა ჭებისა და ჭაბურღილების სინჯის აღების ადგილები

2019 წლის აპრილის თვეში აღებულ იყო შერჩეული საანალიზო წერტილებიდან მდინარე ხრამის რვა ჭაბურღილიდან და შვიდი შახტური ჭიდან წყლის სინჯები. მათი აღება, დაკონსერვება, შენახვა და ტრანსპორტირება, ასევე საველე და ლაბორატორიულ პირობებში წყლის ჰიდროქიმიური ანალიზის ჩატარება განხორციელდა საერთაშორისო ISO სტანდარტების მიხედვით [39], რომელთა მონაცემები მოცემულია 9 და 10 ცხრილში.

ცხრილი 9. ჭაბურღილების წყლების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები

№	გამოსაცვლელი მარცვლებელი	საზომი ერთეული	ნორმატივი არა უმეტეს	ხრამი I; ჭაბურღილი №6	ხრამი I; ჭაბურღილი №7	ხრამი I; ჭაბურღილი №8	ხრამი II; ჭაბურღილი №1	ხრამი II; ჭაბურღილი №2	ხრამი II; ჭაბურღილი №3	ხრამი II; ჭაბურღილი №5	ხრამი II; ჭაბურღილი №6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ორგანოლექტიკური მარცვენებლები											
1	ტემპერატურა (წყალი)	გრადუსი	-	18	18	15	18	18	18	18	18
2	სუნი	ბალი	2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	გემო	ბალი	2	0	0	0	0	0	0	0	0
4	ფერი	გრადუსი	15	0	0	0	0	0	0	0	0
5	სიმღვრივე	მგ/ლ	2	0.12	0.06	0.41	0.29	0.12	0.12	0.23	0.12
ზოგადი მარცვენებლები											
6	წყალბადის მარცვენებელი	pH	6--9	7.13	7.14	7.21	7.03	6.97	6.96	6.98	6.89
7	პერმანგანატული ჟანგვადობა	მგ O <sub>2</sub> /ლ	3	0.64	0.77	0.74	0.77	0.74	0.74	0.67	0.67
ძირითადი იონები											
8	მინერალიზაცია	მგ/ლ	1000	293.2	350.8	380.8	364.3	350.7	376.3	374.2	384.0
9	სულფატები (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	მგ/ლ	250	111.22	153.05	174.99	166.91	159.83	171.93	185.55	183.96
10	ქლორიდები (Cl <sup>-</sup> )	მგ/ლ	250	17.23	24.22	28.03	36.36	34.76	38.47	27.41	26.54
11	სიხისტე	მგ-ეკვ./ლ	7	4.52	5.28	5.73	5.43	5.16	5.55	5.45	5.59

ცხრილი 9. გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	ჰიდროკარბონატები	მგ/ლ	-	143.96	130.54	123.83	103.09	96.38	101.26	98.82	111.63
13	კალციუმი (Ca <sup>++</sup> )	მგ/ლ	140	66.56	78.25	85.17	82.49	78.52	84.31	83.1	85.59
14	მაგნიუმი (Mg <sup>++</sup> )	მგ/ლ	85	14.6	16.72	17.99	15.93	15.07	16.31	15.84	16.16
15	ნატრიუმი (Na)	მგ/ლ	200	15.01	16.81	16.74	17.68	16.77	17.64	18.37	19.00
ბიოგენური კომპონენტები											
16	ამონიუმი (NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	მგ/ლ	-	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
17	ნიტრატები (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	50	6.4	8.17	8.81	10.16	9.69	10.21	8.29	8.09
18	ნიტრიტები (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.2	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075
19	პოლიფოსფატები (PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	მგ/ლ	3.5	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
მიკროელემენტები											
20	დარიშხანი (As, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
22	ვერცხლისწყალი (Hg არაორგანული)	მგ/ლ	0.006	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
23	კადმიუმი (Cd, ჯამური)	მგ/ლ	0.003	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001
24	მანგანუმი (Mn, ჯამური)	მგ/ლ	0.4	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
25	მოლიბდენი (Mo, ჯამური)	მგ/ლ	0.07	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
26	ნიკელი (Ni, ჯამური)	მგ/ლ	0.07	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
27	სელენი (Se, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01



ცხრილი 9. გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28	სპილენძი (Cu, ჯამური)	მგ/ლ	2	0.001	0.002	0.003	0.002	<0.001	0.001	0.002	0.002
29	ტყვია (Pb, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	0.002	0.002	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001
30	ფტორიდები (F <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.7	0.09	0.08	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.11
31	ქრომი (Cr, ჯამური)	მგ/ლ	0.05	0.005	0.007	0.008	0.003	0.004	0.004	0.003	0.005
32	სტიბიუმი (Sb)	მგ/ლ	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
33	თუთია (Zn, ჯამური)	მგ/ლ	3	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
34	რკინა (Fe, ჯამური)	მგ/ლ	0.3	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.007	0.08
35	ალუმინი (Al, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	0.02	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01
36	სილიციუმი (Si, ჯამური)	მგ/ლ	10	9.98	9.96	9.92	10	9.92	9.98	8.99	9.90
37	ბერილიუმი (Be <sup>2+</sup> )	მგ/ლ	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
38	სტრონციუმი (Sr <sup>2+</sup> )	მგ/ლ	7	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
ორგანული ნივთიერებები											
39	პესტიციდების საერთო შემცველობა	მგ/ლ	0.05	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044
40	ნავთობპროდუქტები, ჯამური	მგ/ლ	0.1	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
41	ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ანიონაქტიურები	მგ/ლ	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
42	ქლოროფორმი (წყლის ქლორიდებისას)	მგ/ლ	0.3	<0.037	<0.037	<0.037	<0.037	<0.037	<0.037	<0.037	<0.037

ცხრილი 10. შახტური ქვების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები

№	გამოსაცვლელი მაჩვენებელი	საზომი ერთეული	ნორმატივი არა უმეტეს	ხრამი I; შახტური ჭა N1	ხრამი I; შახტური ჭა N2	ხრამი I; შახტური ჭა N3	ხრამი I; შახტური ჭა N4	ხრამი I; შახტური ჭა N5	ხრამი I; შახტური ჭა N6	ხრამი I; შახტური ჭა N7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები										
1	ტემპერატურა (წყალი)	გრადუსი	-	18	18	18	18	15	18	18
2	სუნი	ბალი	2	0	0	0	0	0	0	0
3	გემო	ბალი	2	0	0	0	0	0	0	0
4	ფერი	გრადუსი	15	0	0	0	0	0	0	0
5	სიმღვრივე	მგ/ლ	2	0.06	1.39	0.35	0.45	0.17	0.75	0.12
ზოგადი მაჩვენებლები										
6	წყალბადის მაჩვენებელი	pH	6--9	7.13	6.92	7.18	7.23	7.15	6.89	7.04
7	პერმანგანატული ჟანგვადობა	მგ O <sub>2</sub> /ლ	3	0.74	0.74	0.64	0.77	0.71	0.77	0.67
ძირითადი იონები										
8	მინერალიზაცია	მგ/ლ	1000	350.0	419.2	273.2	197.8	198.1	246.3	188.9
9	სულფატები (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	მგ/ლ	250	129.54	197.72	107.87	77.05	72.58	95.17	74.91
10	ქლორიდები (Cl <sup>-</sup> )	მგ/ლ	250	19.16	31.18	14.7	11.0	10.27	13.99	11.32
11	სიხისტე	მგ-ეკვ./ლ	7	5,29	6.06	3.92	2.74	2.87	3.51	2.79

ცხრილი 10. გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	ჰიდროკარბონატები	მგ/ლ	-	173.8	123.8	125.6	92.11	109.8	116.51	95.16
13	კალციუმი (Ca <sup>++</sup> )	მგ/ლ	140	80.2	91.97	60.19	42,32	44.5	53.54	41.56
14	მაგნიუმი (Mg <sup>++</sup> )	მგ/ლ	85	15.7	17.82	11.15	7.65	7.88	10.21	8.71
15	ნატრიუმი (Na)	მგ/ლ	200	18.45	22.25	18.42	15.69	16.68	17.64	14.89
ბიოგენური კომპონენტები										
16	ამონიუმი (NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	მგ/ლ	-	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
17	ნიტრატები (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	50	6.44	9.52	6.63	6.55	7.08	7.07	5.33
18	ნიტრიტები (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.2	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075	<0.075
19	პოლიფოსფატები (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	მგ/ლ	3.5	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
მიკროელემენტები										
20	დარიშხანი (As, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
21	ვერცხლისწყალი (Hg არაორგანული)	მგ/ლ	0.006	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
22	კადმიუმი (Cd, ჯამური)	მგ/ლ	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
23	მანგანუმი (Mn, ჯამური)	მგ/ლ	0.4	0.001	0.003	0.002	0.008	0.002	0.003	0.002
24	მოლიბდენი (Mo, ჯამური)	მგ/ლ	0.07	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
25	ნიკელი (Ni, ჯამური)	მგ/ლ	0.07	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
26	სელენი (Se, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

ცხრილი 10. გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
27	სპილენძი (Cu, ჯამური)	მგ/ლ	2	0.002	0.001	0.004	0.004	0.003	0.002	0.005
28	ტყვია (Pb, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
29	ფტორიდები (F <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.7	0.09	0.09	0.11	0.1	0.08	0.08	0.12
30	ქრომი (Cr, ჯამური)	მგ/ლ	0.05	0.007	0.003	0.005	0.007	0.01	0.003	0.004
31	სტიბიუმი (Sb)	მგ/ლ	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
32	თუთია (Zn, ჯამური)	მგ/ლ	3	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
33	რკინა (Fe, ჯამური)	მგ/ლ	0.3	0.01	0.2	0.06	0.14	0.04	0.11	0.02
34	ალუმინი (Al, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	<0.01	0.02	0.04	0.08	<0.01	<0.01	<0.01
35	სილიციუმი (Si, ჯამური)	მგ/ლ	10	10	10	10	9.57	9.96	9.88	10
36	ბერილიუმი (Be <sup>2+</sup> )	მგ/ლ	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0003	<0.0004	<0.0005	<0.0006
37	სტრონციუმი (Sr <sup>2+</sup> )	მგ/ლ	7	<2.0	<2.0	<2.0	<2.1	<2.2	<2.3	<2.4
ორგანული ნივთიერებები										
38	პესტიციდების საერთო შემცველობა	მგ/ლ	0.05	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044
39	ნავთობპროდუქტები, ჯამური	მგ/ლ	0.1	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
40	ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ანიონაქტიურები	მგ/ლ	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
41	ქლოროფორმი (წყლის ქლორიდებისას)	მგ/ლ	0.3	<0.037	<0.037	<0.037	<0.037	<0.037	<0.037	<0.037

წყლის ზედაპირზე და მის სიღრმეში ტემპერატურა განისაზღვრება ზედაპირზე შემოსული სითბოს რაოდენობით, აგრეთვე მიწისქვეშა წყლებში მისი ინტენსიური შერევით. ტემპერატურის დღე-ღამური ცვალებადობა შეადგენს რამდენიმე გრადუსს და აღწევს მცირე სიღრმეში, რამდენიმე ათეულ სანტიმეტრზე. წყლის ტემპერატურა, როგორც მთავარი ფაქტორი, გავლენას ახდენს წყალსაცავებში მიმდინარე ფიზიკურ, ქიმიურ, ბიოლოგიურ და ბიოქიმიურ პროცესზე, რაზედაც მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ჟანგბადური რეჟიმი, თვითგაწმენდის პროცესების ინტენსიურობა. ზოგადად, ტემპერატურა დედამიწის სიღრმეში იმატებს. ზედაპირულ წყლებთან შედარებით მიწისქვეშა წყლების ტემპერატურა შედარებით სტაბილურია [10, 39, 41].

როგორც 9 და 10 ცხრილიდან ჩანს, ჭაბურღილებისა და შახტური ჭების წყლის ტემპერატურა შეადგენს 18°C-ს, ხოლო ჭაბურღილი №8 (ხრამი I) წყლის ტემპერატურა არის 15°C, რაც შეესაბამება მიწისქვეშა წყლების ტემპერატურულ რეჟიმს ცივს (4-20°C).

წყლის ყველა სინჯში სიმღვრივე ნორმატივებით დასაშვებ ნორმებზე ნაკლებია და იცვლება 0.06-1.39 მგ/ლ ზღვრებში(ცხრილი 9, 10).

N1,6,7,8 ჭაბურღილს, ასევე №1,3,4,5,7 შახტური ჭის წყლის წყალბადური მაჩვენებელი იცვლება 7.03-დან 7.23-მდე, ხოლო დანარჩენი წყლის სინჯების pH ძირითადად შეადგენს 6.89- 6.98(ცხრილი 9, 10). მიწისქვეშა წყლების pH დამოკიდებულია ძირითადად ნახშირჟავასა და მისი იონების კონცენტრაციათა თანაფარდობაზე, ჰუმუსურ მჟავებზე, აირებზე. ნორმატივებით დასაშვები ნორმების მიხედვით მიწისქვეშა წყლების pH =6-9

ყველა სინჯის წყალში პერმანგანატული ჟანგბადობა 0.64-0.77 მგO<sub>2</sub>/ლ ბევრად ნაკლებია ნორმატივებით დასაშვებ ნორმაზე (3 მგO<sub>2</sub>/ლ) (ცხრილი 9, 10) [60].

ყველა ჭაბურღილის, N1,3,6 შახტური ჭის სიხისტე ძირითადად შეადგენს 4.52-5.73 მგ-ექვ/ლ და 3.51-5.29 მგ-ექვ/ლ (ცხრილი 9, 10), რაც შეესაბამება სიხისტის ნორმატივებით დასაშვები ნორმებით ზომიერად

ხისტს (3.01-6.0 მგ-ექვ/ლ) ხოლო შახტური №2 ჭის წყლის სიხისტე ტოლია 6.06 მგ-ექვ/ლ(ცხრილი10), რაც შეესაბამება ხისტს (6.01-9.0 მგ-ექვ/ლ) [10, 39].

აღნიშნული სინჯების წყლის სიხისტის მნიშვნელობა განპირობებულია კალციუმის იონის მაღალი მნიშვნელობით მაგნიუმის იონთან შედარებით (ცხრილი 9, 10). ხრამი I-ის №4,5 შახტური ჭის (2.74-2.87 მგ-ექვ/ლ) და №7 შახტური ჭის წყლის სინჯის სიხისტე (2.79 მგ-ექვ/ლ) მიეკუთვნება რბილს (1.51-3.0 მგ-ექვ/ლ) (ცხრილი 10).

წყლის ჰიდროქიმიური ანალიზიდან გამომდინარე №6, 7, 8 (ხრამი I), №1, 3, 6 (ხრამი II) ჭაბურღილის, №1, 2, 7 (ხრამი I), №3, 4 (ხრამი I-დებედა) შახტური ჭის, წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმიან ტიპის წყალს, სადაც ჰიდროკარბონატ-იონები იცვლება 95.16 მგ/ლ-დან 173.8-მგ/ლ-მდე, სულფატ-იონები მდებარეობს 74,91-197.72 მგ/ლ ზღვრებში, ხოლო კალციუმის იონები აღემატება მაგნიუმისა და ნატრიუმის იონს და ტოლია 41.5-91.97 მგ/ლ (ცხრილი 9, 10). №2, 5 ჭაბურღილის (ხრამი II), წყალი მიეკუთვნება სულფატურ-კალციუმიან ტიპის წყალს, სადაც სულფატ-იონების კონცენტრაცია შესაბამისად შეადგენს 159.83მგ/ლ, 185.55მგ/ლ და 186.52მგ/ლ (ცხრილი 9,10). ხოლო ხრამი I-ის №5 (დებედა) და მე-6 შახტური ჭის წყალი შესაძლებელია მივაკუთვნოთ ჰიდრო-კარბონატულ-კალციუმიან ტიპის წყალს (შესაბამისად  $\text{HCO}_3^-$ -109.8 მგ/ლ, 116.51 მგ/ლ (ცხრილი 9). მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლის ტიპები სავარაუდოა განპირობებული იყოს მიწისქვეშა წყლის ქანების აგებულებითა და შემადგენლობით.

ძირითადი იონების შემცველობა მიწისქვეშა წყლების ნორმატივებით დასაშვებ ნორმების ფარგლებშია [39,60].

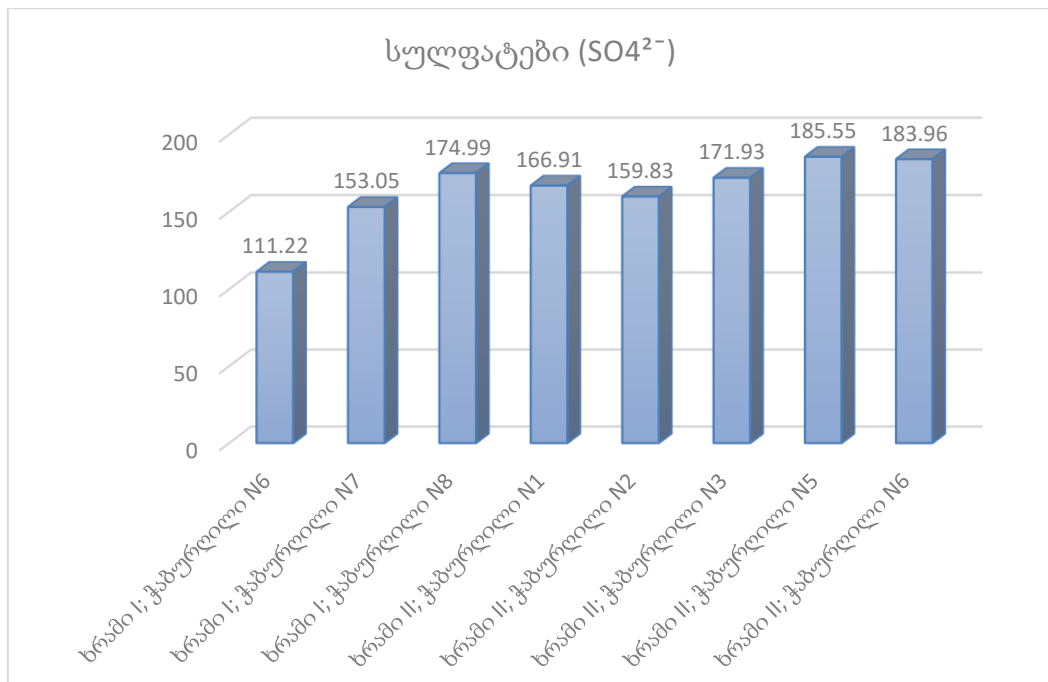
ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა ყველა სინჯის წყალში ნაკლებია ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებზე (ცხრილი 9, 10) .

ლიტერატურული წყაროებით მიწისქვეშა წყლებში აღმოჩენილია 60-მდე ქიმიური ელემენტი, რომელთა შემადგენლობა იცვლება დროის მიხედვით. მდინარე ხრამის აუზის ყველა ჭაბურღილიდან და შახტური

ჭიდან აღებულ წყლის სინჯებში მიკრო- და მაკრო ნივთიერებების კონცენტრაციათა მნიშვნელობა არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს (ცხრილი 9,10) [39, 60-62].

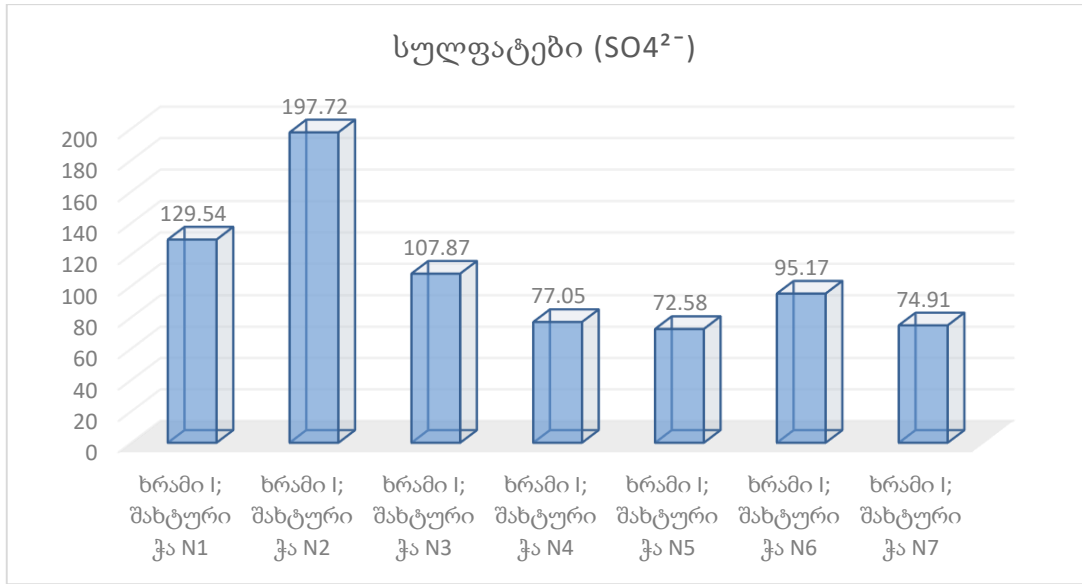
### 2.7. მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა ჭაბურღილებისა და შახტური ჭების წყლებში ძირითადი იონების კონცენტრაციათა ცვლილება

ჭაბურღილებისა და შახტური ჭების წყლის სინჯში თვალსაჩინოების მიზნით აგებული იქნა სულფატ-იონების, კალციუმის იონებისა და ჰიდროკარბონატების კონცენტრაციათა მნიშვნელობების ამსახველი დიაგრამები.



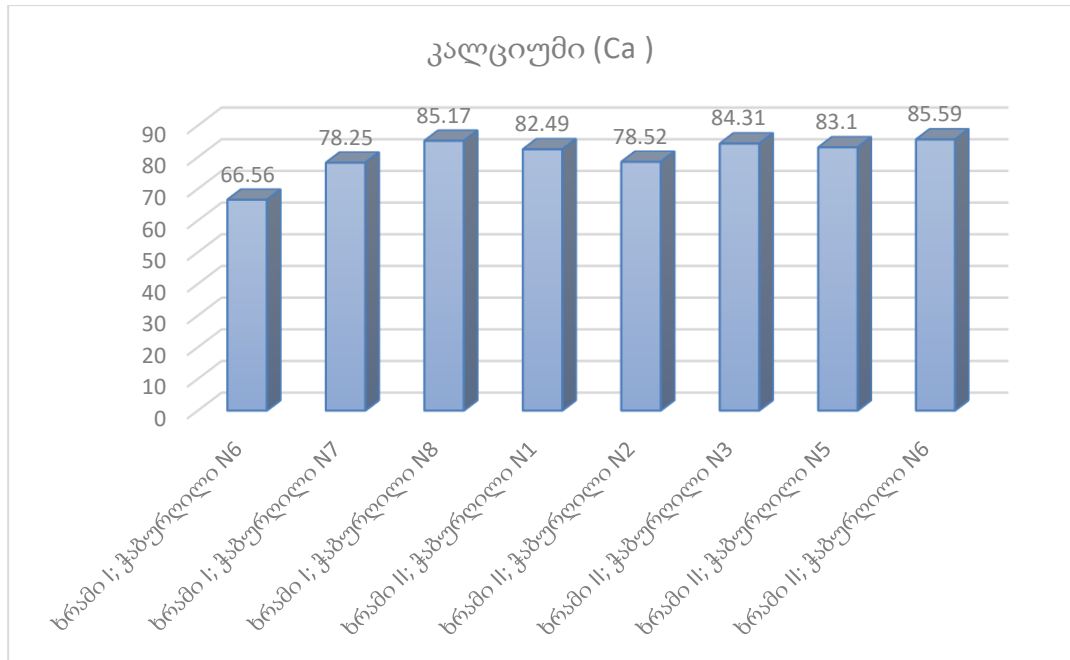
ნახაზი 13. ჭაბურღილების წყლის სინჯში სულფატ-იონების კონცენტრაციათა ცვლილება

მოცემული დიაგრამიდან გამომდინარეობს, რომ სულფატების მაღალი მნიშვნელობა ფიქსირდება N5,6 ჭაბურღილის წყალში (ხრამი II), შესაბამისად 185.55მგ/ლ და 183.96 მგ/ლ, ასევე N8 ჭაბურღილის წყალში (ხრამი I) - 174.99 მგ/ლ.



**ნახაზი 14. შახტური ჭების წყლის სინჯში სულფატ-იონების კონცენტრაციათა ცვლილება**

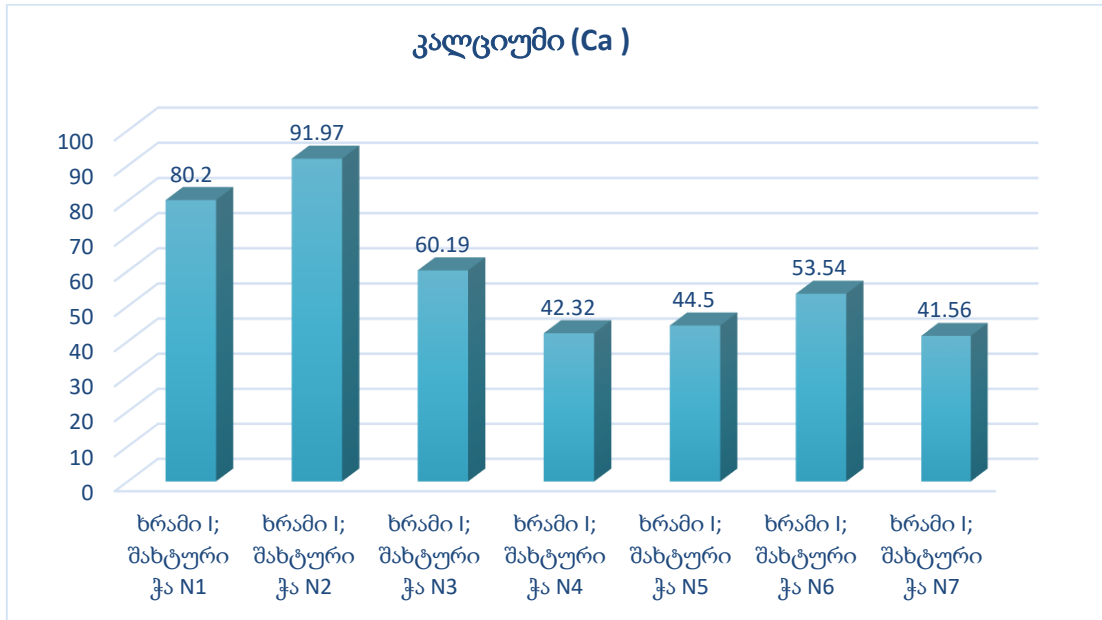
აღნიშნული დიაგრამიდან ნათლად ჩანს, რომ სულფატ იონების მაღალი მნიშვნელობა ფიქსირდება N 2 შახტური ჭის წყლის სინჯში (ხრამი I)- 197.72 მგ/ლ .



**ნახაზი 15. კაბურღილების წყლის სინჯში კალციუმის იონების კონცენტრაციათა ცვლილება**

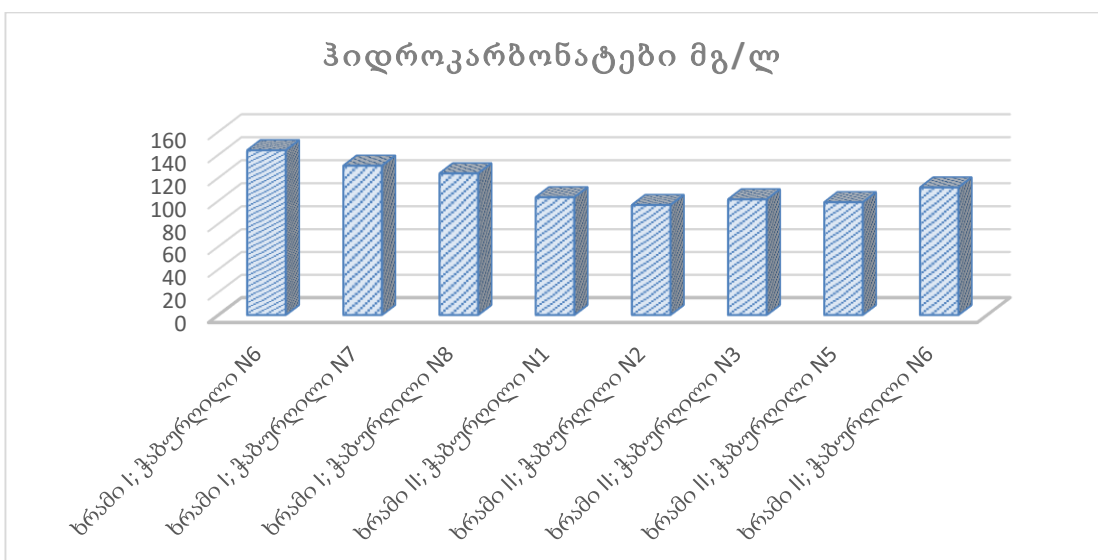


მოცემული დიაგრამიდან ჩანს, რომ ყველა ჭაბურღილის წყლის სინჯში კალციუმის კონცენტრაციების მნიშვნელობები უმნიშვნელოდ იცვლება ( 66.56 – 85.59 მგ/ლ).



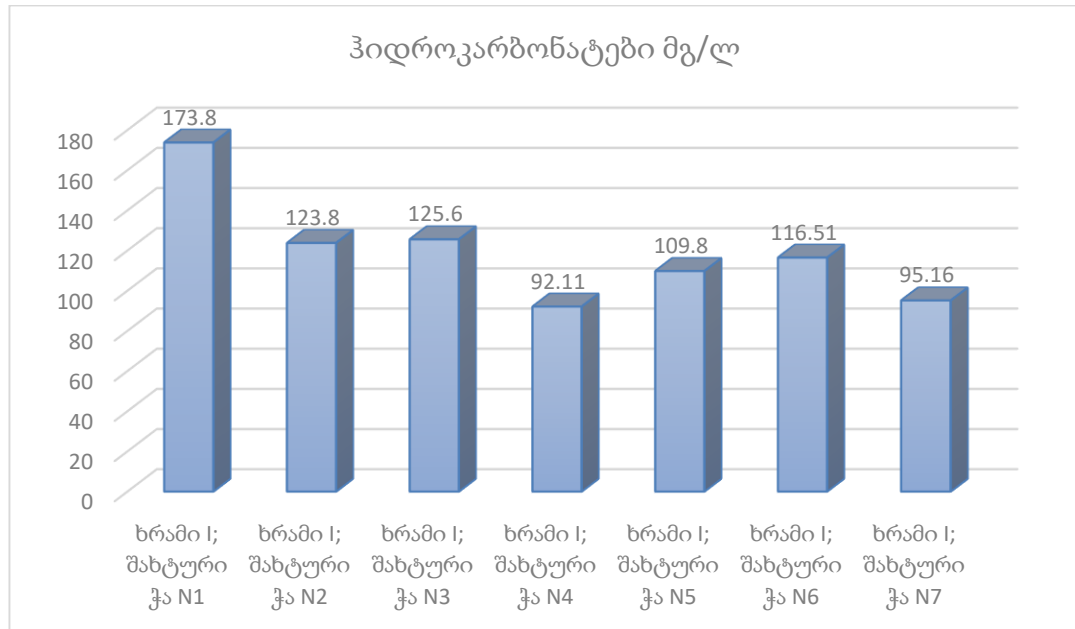
ნახაზი 16. შახტური ჭების წყლის სინჯში კალციუმის იონების კონცენტრაციათა ცვლილება

მოცემული დიაგრამიდან ნათელია, რომ კალციუმის კონცენტრაციის მაღალი მნიშვნელობა აღინიშნება N 2 შახტური ჭის წყალში (სრამი I) - 91.97 მგ/ლ .



ნახაზი 17. ჭაბურღილების წყლის სინჯში ჰიდროკარბონატების კონცენტრაციათა ცვლილება

აღნიშნული დიაგრამიდან ნათლად ჩანს, რომ ჰიდროკარბონატ იონის მაღალი კონცენტრაცია ფიქსირდება N 6 და 7 ჭაბურღილის წყლის სინჯში (ხრამი I), შესაბამისად 143.96მგ/ლ და 130.54 მგ/ლ.



**ნახაზი 18. შახტური ჭების წყლის სინჯში ჰიდროკარბონატების კონცენტრაციათა ცვლილება**

მოცემული დიაგრამიდან ნათელია, რომ ჰიდროკარბონატ იონის კონცენტრაციის მაღალი მნიშვნელობა აღინიშნება N1 შახტური ჭის წყლის სინჯში (ხრამი I) -173.8 მგ/ლ .

## **2.8. მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა ჭაბურღილებისა და შახტური ჭების წყლის მიკრობიოლოგიური კვლევა**

2019 წლის აპრილის თვეში აღებულ იქნა მდინარე ხრამის 8 ჭაბურღილიდან და 7 შახტური ჭიდან წყლის სინჯები მიკრობიოლოგიური კვლევისთვის. მათი აღება, დაკონსერვება, შენახვა და ტრანსპორტირება განხორციელდა საერთაშორისო ISO სტანდარტების მიხედვით [39].

მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები მოცემულია 11 და 12 ცხრილში.

ცხრილი 11. ჭაბურღილების წყლების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები

№	გამოსაკვლევი მაჩვენებელი	საზომი ერთეული	ნორმატივი არა უმეტეს	ხრამი I; ჭაბურღილი №6	ხრამი I; ჭაბურღილი №7	ხრამი I; ჭაბურღილი №8	ხრამი II; ჭაბურღილი №1	ხრამი II; ჭაბურღილი №2	ხრამი II; ჭაბურღილი №3	ხრამი II; ჭაბურღილი №5	ხრამი II; ჭაბურღილი №6
მიკრობიოლოგიური მაჩვენებლები											
1	საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები	კწე 300 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
2	E.coli	კწე 300 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
3	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 370C	20	2	0	1	0	0	2	0	0
4	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 220C	100	12	2	1.5	0.5	1	2.5	2	1
5	Streptococcus faecalis	კწე 250 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
6	Salmonella	100 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
7	კოლიფაგები	ნკწე 100 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა

ცხრილი 12. შახტური ჭების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები

№	გამოსაკვლევი მარცენებელი	საზომი ერთეული	ნორმატივი არა უმეტეს	ხრამი I; შახტური ჭა №1	ხრამი I; შახტური ჭა №2	ხრამი I; შახტური ჭა №3	ხრამი I; შახტური ჭა №4	ხრამი I; შახტური ჭა №5	ხრამი I; შახტური ჭა №6	ხრამი I; შახტური ჭა №7
მიკრობიოლოგიური მარცენებლები										
1	საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები	კწე 300 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
2	E.coli	კწე 300 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
3	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 370C	20	0	1.5	17	10	0	4	4
4	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 220C	100	1	1	15	40	2	12	6
5	Streptococcus faecalis	კწე 250 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
6	Salmonella	100 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
7	კოლიფაგები	ნკწე 100 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა

მიწისქვეშა წყლებში მიკროორგანიზმების ცხოველმოქმედება და გავრცელება დამოკიდებულია ჰიდროგეოლოგიურ პირობებზე. პოლი-ომელიტის ვირუსები ცხოველმოქმედნი არიან 116 დღე-ღამის განმავლობაში, რომლებიც ბინადრობენ წყალშემცველ ქვიშებში, ხოლო კირქვებში მობინადრენი კი ცოცხლობენ 65 დღე-ღამემდე. ნაწლავის ჩხირისა და ენტეროკოკის ჯგუფის ბაქტერიები ვრცელდებიან 30-40 მეტრის მანძილზე წვრილ მარცვლოვან ქვიშებში, ხოლო საშუალო მარცვლოვან ქვიშაში ვრცელდებიან 200 მეტრამდე, ხრეშოვან და ნაპრალებიან ქანებში კი-500-1000 მეტრამდე. მიწისქვეშა წყლების მიკრობიოლოგიური დაბინძურება შესაძლებელია გამოწვეული იყოს ადამიანის საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო საქმიანობის შედეგად წარმოქმნილი ჩამდინარე წყლებით, მიწის ზედაპირიდან ინფილტრაციისა და ზედაპირული წყალსაცავებიდან ფილტრაციის შედეგად [10,13].

მიკრობიოლოგიური კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ყველა სინჯის წყალში საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები, E.coli-ს კლასის ბაქტერიები, კოლიფაგები, სალმონელა და Streptococcus faecalis-ის ბაქტერიები არ აღმოჩნდა. ხოლო მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები 37°C-სა 0-17კწე/მლ და 22°C-ის პირობებში 0,5-40 კწე/მლ ბევრად ნაკლებია ნორმატივებით დასაშვებ ნორმებზე (შესაბამისად 37°C - 20კწე/მლ და 22°C - 100კწე/მლ, ცხრილი 11,12) [61,62].

ამრიგად მდინარე ხრამის აუზის ჭაბურღილებისა და შახტური ჭების სინჯის წყლების მიკრობიოლოგიური კვლევის შედეგად გამოვლინდა, რომ წყლის ხარისხი სავსებით შეესაბამება მიწისქვეშა და სასმელი წყლის ნორმატივებით დასაშვებ ნორმებს[60].

## **2.9. ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების წყლის ეკოქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები**

2019 წლის აპრილის თვეში საანალიზოდ აღებული იქნა მარნეულის მუნიციპალიტეტში, სოფელ დიდი მუღანდლოს მიმდებარე ტერიტორიაზე, ლეჟბადინთან განთავსებული სასმელ-სამეურნეო წყლისათვის მოსამ-

ზადებული რეზერვუარებიდან (ხრამი I და ხრამი II) წყლის, ქლორირებით დამუშავებული წყლის სინჯები . მათი აღება, დაკონსერვება, ეტიკეტირება, შენახვა და ტრანსპორტირება ხდებოდა საერთაშორისო სტანდარტული მეთოდიკით. წყლის სინჯების ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზი წარმოებდა ISO სტანდარტული მეთოდიკებით[39].



სურათი 13. ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარები

ცხრილი 13. ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების წყლის ეკოქიმიური ანალიზის შედეგები

№	გამოსაკვლევი მაჩვენებელი	საზომი ერთეული	ნორმატი- ვი არა უმეტეს	ხრამი I რეზერ- ვუარი	ხრამი II რეზერ- ვუარი
1	2	3	4	5	6
<b>ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები</b>					
1	ტემპერატურა (წყალი)	გრადუსი	-	18	18
2	სუნი	ბალი	2	0	0
3	გემო	ბალი	2	0	0
4	ფერი	გრადუსი	15	0	0
5	სიმღვრივე	მგ/ლ	2	0.06	0.17
<b>ზოგადი მაჩვენებლები</b>					
6	წყალბადის მაჩვენებელი	pH	6--9	6.98	6.98
7	პერმანგანატული ჟანგვადობა	მგ O <sub>2</sub> /ლ	3	0.61	0.64
<b>ძირითადი იონები</b>					
8	მინერალიზაცია	მგ/ლ	1000	276.9	385.3
9	სულფატები (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	მგ/ლ	250	111.86	186.52

ცხრილი 13. გაგრძელება

1	2	3	4	5	6
10	ქლორიდები (Cl <sup>-</sup> )	მგ/ლ	250	16.55	34.56
11	სიხისტე	მგ-ეკვ./ლ	7	3.95	5.64
12	ჰიდროკარბონატები	მგ/ლ	-	120.17	96.99
13	კალციუმი (Ca)	მგ/ლ	140	60.48	85.7
14	მაგნიუმი (Mg <sup>++</sup> )	მგ/ლ	85	11.3	16.48
15	ნატრიუმი (Na)	მგ/ლ	200	18.91	18.5
ბიოგენური კომპონენტები					
16	ამონიუმი (NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	მგ/ლ	-	<0.08	<0.08
17	ნიტრატები (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	50	7.74	9.59
18	ნიტრიტები (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.2	<0.075	<0.075
19	პოლიფოსფატები (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	მგ/ლ	3.5	<0.2	<0.2
მიკროელემენტები					
20	დარიშხანი (As, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	<0.01	<0.01
21	ვერცხლისწყალი (Hg არაორგანული)	მგ/ლ	0.006	<0.002	<0.002
22	კადმიუმი (Cd, ჯამური)	მგ/ლ	0.003	0.001	<0.001
23	მანგანუმი (Mn, ჯამური)	მგ/ლ	0.4	0.001	0.003
24	მოლიბდენი (Mo, ჯამური)	მგ/ლ	0.07	<0.02	<0.02
25	ნიკელი (Ni, ჯამური)	მგ/ლ	0.07	0.03	0.03
26	სელენი (Se, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	<0.01	<0.01
27	სპილენძი (Cu, ჯამური)	მგ/ლ	2	0.001	0.001
28	ტყვია (Pb, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	<0.001	<0.001
29	ფტორიდები (F <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.7	0.13	0.13
30	ქრომი (Cr, ჯამური)	მგ/ლ	0.05	0.003	0.004
31	სტიბიუმი (Sb)	მგ/ლ	0.02	<0.02	<0.02
32	თუთია (Zn, ჯამური)	მგ/ლ	3	<0.001	<0.001
33	რკინა (Fe, ჯამური)	მგ/ლ	0.3	0.02	0.05
34	ალუმინი (Al, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	<0.01	0.02
35	სილიციუმი (Si, ჯამური)	მგ/ლ	10	9.86	9.95
36	ციანიდები (CN <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.07	<0.005	<0.005
37	ქლორი ნარჩენი თავისუფალი	მგ/ლ	0.3 - 0.5	0.3	0.38
ორგანული ნივთიერებები					
38	პესტიციდების საერთო შემცველობა	მგ/ლ	0.05	<0.0044	<0.0044
39	ნავთობპროდუქტები, ჯამური	მგ/ლ	0.1	<0.04	<0.04
40	ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ანიონაქტიურები	მგ/ლ	0.5	<0.1	<0.1
41	ქლოროფორმი (წყლის ქლორიდებისას)	მგ/ლ	0.3	<0.037	<0.037

**ცხრილი 14. ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები**

№	გამოსაკვლევი მაჩვენებელი	საზომი ერთეული	ნორმატივი არა უმეტეს	ხრამი I რეზერვუარი	ხრამი II რეზერვუარი
<b>მიკრობიოლოგიური მაჩვენებლები</b>					
1	საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები	კწე 300 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
2	E.coli	კწე 300 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
3	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 370C	20	0	0
4	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 220C	100	1	0
5	Streptococcus faecalis	კწე 250 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
6	Salmonella	100 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
7	კოლიფაგები	ნკწე 100 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა

მე-13 ცხრილის მონაცემების მიხედვით წყლის ორივე სინჯის წყალბადის მაჩვენებელი (pH=6.98) არის ნორმატიულად დასაშვები ნორმების ფარგლებში.

პერმანგანატული ჟანგვალობა გამოიყენება წყალში შემცველი ორგანულ ნივთიერებათა შესაფასებლად. საშუალო პერმანგანატული დამჟანგველობის 1 მგ ჟანგბადი მიახლოებით შეესაბამება ორგანულ ნივთიერებათა 1 მგ ნახშირბადს. თუმცა სხვადასხვა წყალსაცავების წყლებისათვის ეს თანაფარდობა შესაძლებელია შეიცვალოს. პერმანგანატული ჟანგვალობის მაჩვენებელი გამოიყენება მხოლოდ საორიენტაციოდ შესაფასებლად. საანალიზო აღებულ წყლის სინჯებში პერმანგანატული ჟანგვალობა შეადგენს 0.61 მგO<sub>2</sub>/ლ და 0.64 მგO<sub>2</sub>/ლ, რაც ნორმატიულად დასაშვები სიდიდის მიხედვით მიეკუთვნება ძალიან სუფთას (1მგO<sub>2</sub>/ლ) [10,12,46].

წყლის სიხისტის მნიშვნელობა შეადგენს 3.95 მგ-ეკვ/ლ (ხრამი I) და 5.64 მგ-ეკვ/ლ (ხრამი II), რაც წყლის კლასიფიკაციის მიხედვით



მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს (4-8 მგ-ეკვ/ლ) [44,46,60].

ჰიდროკარბონატ-იონების შემცველობა არის 120.17 მგ/ლ (ხრამი I) და 96.99 (ხრამი II), ხოლო სულფატ-იონების კონცენტრაცია ქლორ-იონების კონცენტრაციასთან (16.55 მგ/ლ და 34.56 მგ/ლ) შედარებით ბევრად მაღალია და შეადგენს 111.86 მგ/ლ (ხრამი I) და 186.52 მგ/ლ (ხრამი II), თუმცა სულფატ-იონების კონცენტრაცია არ აღემატება სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტით დასაშვებ ნორმატიულ სიდიდეს (250 მგ/ლ) [60].

წყლის ორივე სინჯის ქიმიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე სასმელი წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმთან ტიპის წყალს (ცხრილი 13).

მრავალ წარმოებას, მათ შორის სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების საწარმოებს, სოფლის მეურნეობას აქვთ წყლის ხარისხის მიმართ, ნაწილობრივ მინერალიზაციის განსაზღვრული მოთხოვნები. ვინაიდან დიდი რაოდენობის მარილების შემცველი წყალი უარყოფით გავლენას ახდენს მცენარეულ და ცოცხალ ორგანიზმებზე, წარმოების ტექნოლოგიაზე და პროდუქციის ხარისხზე. აჩქარებს დანალექის წარმოქმნას ქვაბების კედლებზე, იწვევს კოროზიასა და ნიადაგის დამლაშებას.

ხრამი I წყლის სინჯის მინერალიზაცია ტოლია 276.9 მგ/ლ, ხოლო ხრამი II წყლის სინჯის - 385.3 მგ/ლ (ცხრილი 13), რაც წყლის მინერალიზაციის კლასის მიხედვით მიეკუთვნება საშუალო მინერალიზებულს.

ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა ორივე წყლის სინჯში არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს. მაკრო-და მიკრო-ელემენტების კონცენტრაციები ნაკლებია სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტის მიხედვით ნორმატიულად დასაშვები სიდიდეების მნიშვნელობებზე (ცხრილი 13) [46, 60].

თავისუფალი ქლორის ნარჩენი რაოდენობა ხრამი I წყლის სინჯში (0.3 მგ/ლ), ხოლო ხრამი II წყლის სინჯში კი - 0.38 მგ/ლ. შედეგები სტანდარტით დასაშვები ნორმის ფარგლებშია (0.3-0.5 მგ/ლ; ცხრილი 13).

ორგანული ნივთიერებები ორივე წყლის ანალიზის შედეგებში ბევრად ნაკლებია ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციაზე (ცხრილი 13) [46,60].

ორივე წყლის სინჯის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგების მიხედვით დადგინდა, რომ საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები, "E.coli"-ის ბაქტერიები, კოლიფაგები, სალმონელა და "Streptococcus faecalis"-ის ბაქტერიები არ აღმოჩნდა. მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები 37°C-ზე არ აღმოჩნდა, ხოლო 22°C-ზე ბევრად დაბალია ნორმატივებით დასაშვებ სიდიდეზე (100 კწე/მლ) და შეადგენს 1მლ-ში 1 კწე-ს (ცხრილი 14).

მდინარე ხრამის მიწისქვეშა წყლების სასმელად გამოყენებული ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების წყლის ეკოქიმიური და მიკრობიოლოგიური კვლევის მიხედვით წყლის ხარისხი შეესაბამება სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტით დასაშვებ ნორმებს [60].

## **2.10. ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სასმელი წყლის ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები**

2019 წლის სექტემბერში აღებული იყო საანალიზოდ ქალაქ რუსთავის ქაშაკაშვილის ქუჩისა (ხრამი I რეზერვუარი) და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სოფელი ქუთლიარის (ხრამი II რეზერვუარი) მოსახლეობის სასმელი წყლის სინჯები. მათი აღება, დაკონსერვება, ეტიკეტირება, შენახვა და ტრანსპორტირება ხდებოდა საერთაშორისო სტანდარტული მეთოდით. წყლის ტემპერატურა, pH, სიმღვრივე, ელექტროგამტარობა, გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა განისაზღვრა საველე პორტატული აპარატურით: კონდუქტომეტრი Aqualytic-AL15 და სიმღვრივის მზომი Aqualytic-AL250. ხოლო წყლის სინჯების ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზი წარმოებდა ISO სტანდარტული მეთოდის მიხედვით (ცხრილები 14,15).

მე-15 ცხრილის მონაცემების მიხედვით წყლის სინჯის ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები და წყალბადის მაჩვენებელი (pH=7.12, 7.24) არის ნორმატიულად დასაშვები ნორმების ფარგლებში.

საანალიზოდ აღებულ წყლის ორივე სინჯში პერმანგანატული

ჟანგვადობა შეადგენს 0.64 მგ O<sub>2</sub>/ლ, რაც ნორმატიულად დასაშვები სიდიდის მიხედვით მიეკუთვნება ძალიან სუფთას (1მგ O<sub>2</sub>/ლ) [39,60].

**ცხრილი 15. ქალაქ რუსთავის და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სასმელი წყლის ქიმიური ანალიზის შედეგები**

№	გამოსაკვლევი მაჩვენებელი	საზომი ერთეული	ნორმა-ტივი არა უმეტეს	ქაშაკაშვილის ქუჩა 11; (ხრამი I რეზერვუარი) სინჯი 1	სოფელი ქუთლიარი (ხრამი II რეზერვუარი) სინჯი 2
1	2	3	4	5	6
<b>ორგანოლექტიური მაჩვენებლები</b>					
1	ტემპერატურა (წყალი)	გრადუსი	-	18	18
2	სუნი	ბალი	2	0	0
3	გემო	ბალი	2	0	0
4	ფერი	გრადუსი	15	<1.0	<1.0
5	სიმღვრივე	მგ/ლ	2	0.17	0.46
<b>ზოგადი მაჩვენებლები</b>					
6	წყალბადის მაჩვენებელი	pH	6--9	7.12	7.24
7	პერმანგანატული ჟანგვადობა	მგ O <sub>2</sub> /ლ	3	0.64	0.64
8	გახსნილი ჟანგბადი	მგ/ლ	>4	8.3	8.5
9	ელექტროგამტარობა	µS/სმ	-	526.0	579.0
<b>ძირითადი იონები</b>					
10	მინერალიზაცია	მგ/ლ	1000	390.1	429.8
11	სულფატები (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	მგ/ლ	250	145.04	166.47
12	ქლორიდები (Cl <sup>-</sup> )	მგ/ლ	250	22.78	31.42
13	სიხისტე	მგ-ეკვ./ლ	7	5.75	6.51
14	ჰიდროკარბონატები	მგ/ლ	-	188.5	185.4
15	კალციუმი (Ca)	მგ/ლ	140	88.82	100.53
16	მაგნიუმი (Mg <sup>++</sup> )	მგ/ლ	85	16.11	18.11
17	ნატრიუმი (Na)	მგ/ლ	200	23.05	20.57
<b>ბიოგენური კომპონენტები</b>					
18	ამონიუმი (NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	მგ/ლ	-	<0.08	<0.08
19	ნიტრატები (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	50	7.65	9.03
20	ნიტრიტები (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.2	<0.075	<0.075
21	პოლიფოსფატები (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	მგ/ლ	3.5	<0.2	<0.2
<b>მიკროელემენტები</b>					
22	დარიზხანი (As, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	<0.005	<0.005

ცხრილი 15. გაგრძელება

1	2	3	4	5	6
23	ვერცხლისწყალი (Hg არაორგანული)	მგ/ლ	0.006	<0.002	<0.002
24	კადმიუმი (Cd, ჯამური)	მგ/ლ	0.003	<0.001	<0.001
25	მანგანუმი (Mn, ჯამური)	მგ/ლ	0.4	<0.001	0.02
26	მოლიბდენი (Mo, ჯამური)	მგ/ლ	0.07	<0.02	<0.02
27	ნიკელი (Ni, ჯამური)	მგ/ლ	0.07	0.03	0.03
28	სელენი (Se, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	<0.01	<0.01
29	სპილენძი (Cu, ჯამური)	მგ/ლ	2	0.003	0.002
30	ტყვია (Pb, ჯამური)	მგ/ლ	0.01	<0.001	<0.001
31	ფტორიდები (F <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.7	0.07	0.08
32	ქრომი (Cr, ჯამური)	მგ/ლ	0.05	0.004	0.003
33	სტიბიუმი (Sb)	მგ/ლ	0.02	<0.005	<0.005
34	თუთია (Zn, ჯამური)	მგ/ლ	3	0.001	0.001
35	რკინა (Fe, ჯამური)	მგ/ლ	0.3	0.01	0.25
36	ალუმინი (Al, ჯამური)	მგ/ლ	0.1	0.05	<0.01
37	სილიციუმი (Si, ჯამური)	მგ/ლ	10	6.7	6.5
38	ციანიდები (CN <sup>-</sup> )	მგ/ლ	0.07	<0.005	0.006
39	ქლორი ნარჩენი თავისუფალი	მგ/ლ	0.3 - 0.5	0.4	0.4
ორგანული ნივთიერებები					
40	პესტიციდების საერთო შემცველობა	მგ/ლ	0.05	<0.0044	<0.0044
41	ნავთობპროდუქტები, ჯამური	მგ/ლ	0.1	<0.04	<0.04
42	ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ანიონაქტიურები	მგ/ლ	0.5	<0.1	<0.1
43	ქლოროფორმი (წყლის ქლორიდებისას)	მგ/ლ	0.3	<0.037	<0.037

**ცხრილი 16. ქალაქ რუსთავის და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სასმელი წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები**

№	გამოსაკვლევი მაჩვენებელი	საზომი ერთეული	ნორმატივი არა უმეტეს	ქაშაკაშვილის ქუჩა 11; (ხრამი I რეზერვუარი) სინჯი 1	სოფელი ქუთლიარი ; (ხრამი II რეზერვუარი) სინჯი 2
მიკრობიოლოგიური მაჩვენებლები					
1	საერთო კოლიფორ-მული ბაქტერიები	კწე 300 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
2	E.coli	კწე 300 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
3	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 37°C	20	0	0
4	მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები	კწე 1 მლ-ში 22°C	100	1	1
5	Streptococcus faecalis	კწე 250 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
6	Salmonella	100 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
7	კოლიფაგები	ნკწე 100 მლ-ში	არ დაიშვება	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა

წყლის სიხისტის მნიშვნელობა შეადგენს 5.75 მგ-ეკვ/ლ (სინჯი 1) და 6.51 მგ-ეკვ/ლ (სინჯი 2), რაც წყლის კლასიფიკაციის მიხედვით მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს (4-8 მგ-ეკვ/ლ), რაც შესაძლებელია უფრო მეტად განპირობებული იყოს კალციუმის იონების კონცენტრაციით. კალციუმის იონების კონცენტრაცია 88.82 მგ/ლ და 100.53 მგ/ლ ბევრად აღემატება მაგნიუმის კონცენტრაციას (16.11 მგ/ლ და 18.11 მგ/ლ) [44,46,60].

ჰიდროკარბონატ-იონების შემცველობა არის 188.5 მგ/ლ (სინჯი 1) და 185.4 (სინჯი 2), ხოლო სულფატ-იონების კონცენტრაცია ქლორ-იონების კონცენტრაციასთან (22.78 მგ/ლ და 31.42 მგ/ლ) შედარებით ბევრად მაღალია და შეადგენს 145.04 მგ/ლ (სინჯი 1) და 166.47 მგ/ლ (სინჯი 2), თუმცა სულფატ-იონების კონცენტრაცია არ აღემატება სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტით დასაშვებ ნორმატიულ სიდიდეს (250 მგ/ლ) [60].

წყლის ორივე სინჯის ქიმიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე

სასმელი წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმთან ტიპის წყალს (ცხრილი 15).

კუთრი ელექტროგამტარებლობა წარმოადგენს ელექტროლიტების, ძირითადად არაორგანულის კონცენტრაციის მიახლოებით მაჩვენებელს, ამიტომ გამოიყენება წყლის მინერალიზაციის შესაფასებლად. ბუნებრივი წყალი ძირითადად ძლიერი ელექტროლიტების ნარევათა ხსნარია, ამიტომ სასმელი წყლის კუთრი ელექტროგამტარობა განპირობებულია მინერალიზაციით ანუ ძირითადი იონების რაოდენობით. ისეთი იონების შემცველობა, როგორც არის Fe(II), Fe(III), Mn(II), Al(III), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> და H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, არ ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას ელექტროგამტარობაზე, ვინაიდან ეს იონები მაღალი კონცენტრაციით იშვიათად გვხვდება სასმელ წყალში[46].

წყლის პირველი სინჯის მინერალიზაცია ტოლია 390.1 მგ/ლ, ხოლო მეორე სინჯის-429.8 მგ/ლ, ხოლო ელექტროგამტარებლობა 526.0  $\mu$ S/სმ (სინჯი 1) და 579.0  $\mu$ S/სმ (სინჯი 2) (ცხრილი 15).

ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა ორივე წყლის სინჯში არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს (ცხრილი 15) [46,60].

მაკრო-და მიკროელემენტების კონცენტრაციები ნაკლებია სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტის მიხედვით ნორმატიულად დასაშვები სიდიდეების მნიშვნელობებზე (ცხრილი 15) .

თავისუფალი ქლორის ნარჩენი რაოდენობა კი ორივე წყლის სინჯში (0.4 მგ/ლ) ნორმატიულად დასაშვები ნორმის ფარგლებშია (0.3-0.5 მგ/ლ; ცხრილი 15) [60].

ორივე წყლის სინჯის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგების მიხედვით დადგინდა, რომ საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები, "E-coli"-ის ბაქტერიები, კოლიფაგები, სალმონელა და "Streptococcus faecalis"-ის ბაქტერიები არ აღმოჩნდა. მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობები 37°C-ზე არ აღმოჩნდა, ხოლო 22°C-ზე ბევრად დაბალია ნორმატივებით დასაშვებ სიდიდეზე (100 კწე/მლ) და შეადგენს 1მლ-ში

1 კწე-ს (ცხრილი 16).

ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სოფელი ქუთლიარის მოსახლეობის სასმელი წყლის ეკოქიმიური კვლევის მიხედვით წყლის ხარისხი შეესაბამება სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტით დასაშვებ ნორმებს [60].

### **2.11 მდინარე ხრამის წყალსა და ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების განაწილების რიცხვითი მოდელირება**

უწყვეტ გარემოში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური წრფივი სამგანზომილებიანი განტოლების გამოყენებით მოდელირებულია მდინარე ხრამში მძიმე მეტალების განაწილება სოფელი თამარისიდან მდინარე მტკვართან მის შეერთებამდე. მძიმე მეტალების წყაროს წარმოადგენენ მდინარე მაშავერისა და დებედას დაბინძურებული წყლები. მოდელირებისათვის მდინარე ხრამი დაყოფილია 3 პირობითად ერთგვაროვან წრფივ უბნებად. თითოეული უბისათვის გამოყენებულია მდინარის მახასიათებელი ჰიდროლოგიური პარამეტრების საშუალო წლიური მნიშვნელობები. ამოცანის საწყის პირობად გამოყენებულია ექსპედიციური კვლევის მონაცემები. მიღებულია მანგანუმის, ალუმინისა და რკინის კონცენტრაციის განაწილება მდინარე მაშავერას, დებედას და ხრამის უბნებში.

მდინარე ხრამი წარმოადგენს აღმოსავლეთ საქართველოს მტკნარი წყლის ერთ-ერთ ძირითად წყაროს. ის ინტენსიურად გამოიყენება სასოფლო-სამეურნეო და სამრეწველო დანიშნულებით. ამიტომ მისი წყლის ხარისხის დაცვა აქტუალურ სახელმწიფოებრივ ეკოლოგიურ პრობლემას წარმოადგენს.

განვითარებული ქვეყნების გარემოსდამცავი და წყალთა მეურნეობის ორგანიზაციები თავიანთ საქმიანობაში ფართოდ იყენებენ ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების ოპტიმალური მართვის სისტემებს. ეს სისტემები წარმოადგენს თანამედროვე ინფორმაციულ-გამოთვლით კომპლექსებს და გამოიყენება მრავალი პრაქტიკული საკითხების გადასაწყვეტად. ისინი

მოითხოვენ შესაბამის კომპიუტერულ ბაზას და პროგრამებთან მომუშავე პერსონალის სპეციალურ მომზადებას. ცალკეული, შედარებით მცირე ზომის მდინარეების დაბინძურების შესასწავლად დამუშავებულია კონკრეტული რიცხვითი მოდელები [32, 37, 63, 65].

წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანია უწყვეტ გარემოში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური წრფივი სამგანზომილებიანი განტოლების გამოყენებით. მოდელი დამუშავებულია არსებული ჰიდროგრაფიული და ჰიდროლოგიური მონაცემებისა და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების საფუძველზე. პირველ მიახლოებაში შესწავლილი იქნა მდინარე ხრამში, მდინარე მაშავერასა და დებედადან მოხვედრილი მძიმე მეტალების განაწილება [35, 37, 66].

მოდელირებისათვის, მდინარე ხრამი სოფელ თამარისიდან მდინარე მტკვართან მის შეერთების ადგილამდე დაყოფილა 3 პირობით ერთგვაროვან უბნად (ნახაზი 19). ასევე გათვალისწინებულია მდინარე მაშავერას 9 კმ და მდინარე დებედას 150 მ სიგრძის მონაკვეთები მდინარე ხრამთან მათი შეერთების ადგილამდე. დაშვებულია, რომ თითოეული უბანი წარმოადგენს წრფივ არხს, რომლის გასწვრივ მდინარის მახასიათებელი ჰიდროგრაფიული და ჰიდროლოგიური პარამეტრები არ იცვლებიან (ცხრილი 17). მდინარეში შენაკადების მიერთება აისახება წყლის ხარჯის ზრდაში მდინარის უბნის დასაწყისში.



ნახაზი 19. მდინარის უბნების განლაგების სქემა



მდინარის თითოეულ უბანზე მინარევების გადატანა-დიფუზიის პროცესი აღიწერება შემდეგი განტოლების სახით [67, 68]:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + v_i \frac{\partial C_i}{\partial y} + w_i \frac{\partial C_i}{\partial z} = \mu_x \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + \mu_y \frac{\partial^2 C_i}{\partial y^2} + \mu_z \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} - \alpha W_0 C_i \quad (1)$$

სადაც  $t$  დროა;  $x$ ,  $y$  და  $z$  დეკარტეს კოორდინატა სისტემის ღერძებია;  $x$  ღერძი მიმართულია მდინარის დინების მიმართულებით ჰორიზონტალურად,  $y$  ღერძი მიმართულია ჰორიზონტალურად დინების მართობულად;  $z$  ღერძი მიმართულია მდინარის ფსკერიდან ვერტიკალურად ზევით; ინდექსი  $i$  მდინარის უბნის ნომერია;  $u_i, v_i, w_i$  მდინარის დინების სიჩქარეებია  $x, y$  და  $z$  ღერძების გასწვრივ  $i$ -ურ უბანზე;  $w_0$  – დამაბინძურებელი ინგრედიენტის ვერტიკალური დალექვის სიჩქარეა;  $\mu_x, \mu_y$  და  $\mu_z$  ტურბულენტური სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტებია  $x, y$  და  $z$  ღერძების გასწვრივ, შესაბამისად;  $C_i$  - დამაბინძურებელი ნივთიერების კონცენტრაციაა მდინარის  $i$ -ურ უბანზე;  $\alpha$  მანძილის შებრუნებული პროპორციულობის კოეფიციენტია.

(1) განტოლების რიცხვითი ინტეგრირებისათვის გამოყენებულია შემდეგი საწყის და სასაზღვრო პირობები:

$$C_i = C_i(0, x, y, z), \quad \text{როცა } t = 0;$$

$$C_i = \begin{cases} C_i(t, 0, y, z), & \text{if } i=1, 2, 4 \\ C_{i-1}(t, X_{i-1}, y, z) \times Y_{i-1} \times H_{i-1} \times U_{i-1} + \\ C_{i-2}(t, X_{i-2}, y, z) \times Y_{i-2} \times H_{i-2} \times U_{i-2} / \\ (Y_i \times H_i \times U_i), & \text{if } i=3, 5 \end{cases} \quad \text{როცა } x = 0;$$

$$C_i = C_s(t) \text{ როცა } (x, y, z) \in \Omega_s, t_i \in \Omega_t, \quad \frac{\partial C_i}{\partial x} = 0, \quad \text{როცა } x = X_i; \quad (2)$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial y} = 0 \text{ და } \frac{\partial C_i}{\partial z} = 0, \quad \text{როცა } y = 0, \text{ და } Y_i = 0, H_i, \text{ შესაბამისად;}$$

სადაც  $X_i, Y_i$  და  $H_i$  არის  $i$ -ური უბნის სიგრძე, სიგანე და სიღრმე, შესაბამისად;  $\Omega_s$  - მდინარეში დამაბინძურებელი ნივთიერების ჩაშვების არეა;  $\Omega_t$  - დამაბინძურებელი ნივთიერების მდინარეში ჩაშვების დროითი

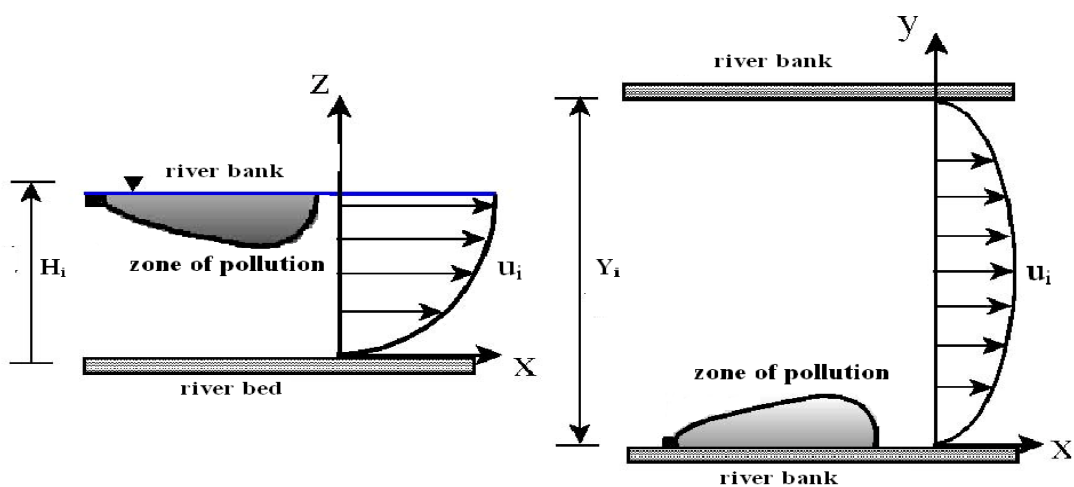
ინტერვალა;  $C_s(t)$  ჩაშვების წერტილში დამაბინძურებელი ნივთიერების კონცენტრაციაა.

(1) განტოლების რიცხვითი ინტეგრირება (2) საწყისი და სასაზღვრო პირობებით ხორციელდება კრანკლ-ნიკოლსონის სქემითა და კოორდინატებისა და პროცესების მიხედვით გახლეჩის მეთოდის გამოყენებით. დროის მიხედვით რიცხვითი აპროქსიმაციის რიგი პირველია, სივრცული კოორდინატების მიხედვით - მეორე [68].

რიცხვითი ბადე შედგება  $(K_i, 11, 11)$  ბადური წერტილებისაგან. ბადის სივრცითი ბიჯები  $y$  და  $z$  ღერძების გასწვრივ ტოლია  $\Delta y = Y_i / 11$  და  $\Delta z = H_i / 11$ -ის, შესაბამისად.  $x$  ღერძის გასწვრივ ბიჯი  $\Delta x = 5$ მ პირველ და მეოთხე უბნებზე, ხოლო დანარჩენზე - 200მ.  $K_i = X_i / \Delta x$ .

**ცხრილი 17. მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას უბნები და მახასიათებელი ჰიდროლოგიური პარამეტრების მნიშვნელობები**

N	მდინარე, უბანი	სიგრძე $X_i$ (კმ)	სიგანე $Y_i$ (მ)	სიღრმე $H_i$ (მ)	სიჩქარე $U_i$ (მ/წმ)
1	ხრამი, თამარისი - მდ.მაშავერას შესართავი X	0.15	20	0.8	0.8
2	მდ. მაშავერა, რაჭისუბანი - მდ. მაშავერას შესართავი	9	8	0.3	0.8
3	მდ. ხრამი, მდ. მაშავერას შესართავი- მდ.დებედას შესართავი	21	20	1.0	0.8
4	მდ. დებედა, მდ. დებედა - დებედას შესართავი	0.15	12	0.5	0.4
5	მდ. ხრამი, მდ. დებედას შესართავი - მდ. მტკვარი	12.6	22	1.3	1,0



**ნახაზი 20. მდინარის დინების სქემატიური გამოსახულება ვერტიკალურ ჭრილში და ზედახედიში**

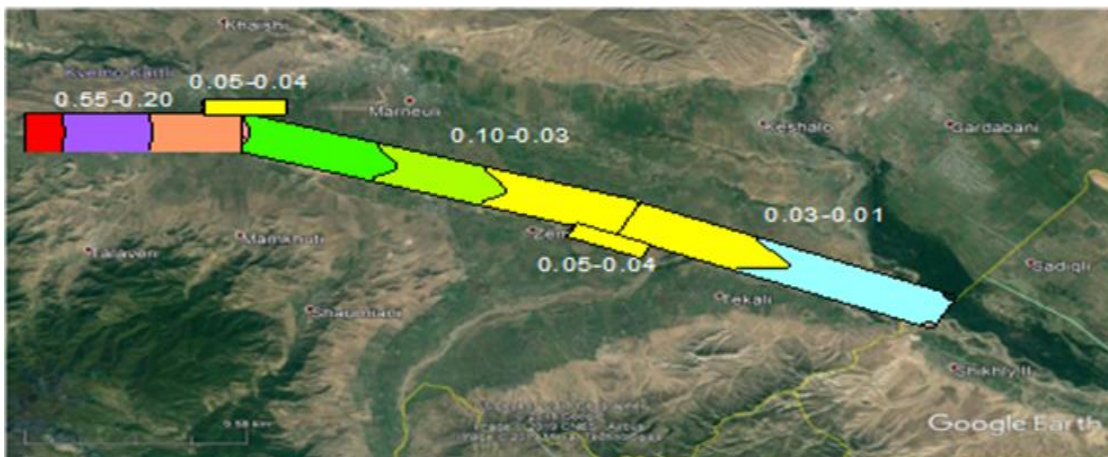
მდინარის კალაპოტში დინების სიჩქარის მნიშვნელობები განისაზღვრება მოცემული სქემის ანალოგიურად შემდეგი ფორმულით  $U_i(x, y, z) = 1.5U_{i,0} \cdot \sin(\pi y/Y_i) \sin(0.5\pi z/H_i)$ , აქ  $U_{i,0}$  მდინარე მტკვრის  $i$ -ურ უბანში დინების საშუალო მახასიათებელი სიჩქარეა. ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტებისათვის გამოყენებულია შემდეგი მნიშვნელობები.  $\mu_x = 5 \times 6.4 \times 10^{-4}$  მ<sup>2</sup>/წმ<sup>2</sup>;  $\mu_y = \mu_z = 5 \times 5.57 \times 10^{-3}$  მ<sup>2</sup>/წმ [12,24].

ჩატარდა რიცხვითი ექსპერიმენტების სერია, რომელთა საშუალებით გამოკვლეულია მანგანუმის, რკინის და ალუმინის გავრცელება მდინარეების შერჩეულ მონაკვეთებში. ექსპერიმენტებში მდინარეებში ნივთიერების ჩაშვება ხორციელდება უწყვეტად მდინარეების მონაკვეთების საწყის წერტილებში მის მთელ განივ კვეთში (ცხრილი 18). მოცემულია კონცენტრაციის მნიშვნელობები მდინარეების სასაზღვრო წერტილებში. მონაცემები მიღებულია სპეციალური ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგად.

**ცხრილი 18. დამაბინძურებელ ინგრედიენტთა მნიშვნელობები მდინარეთა უბნების საწყის წერტილებში**

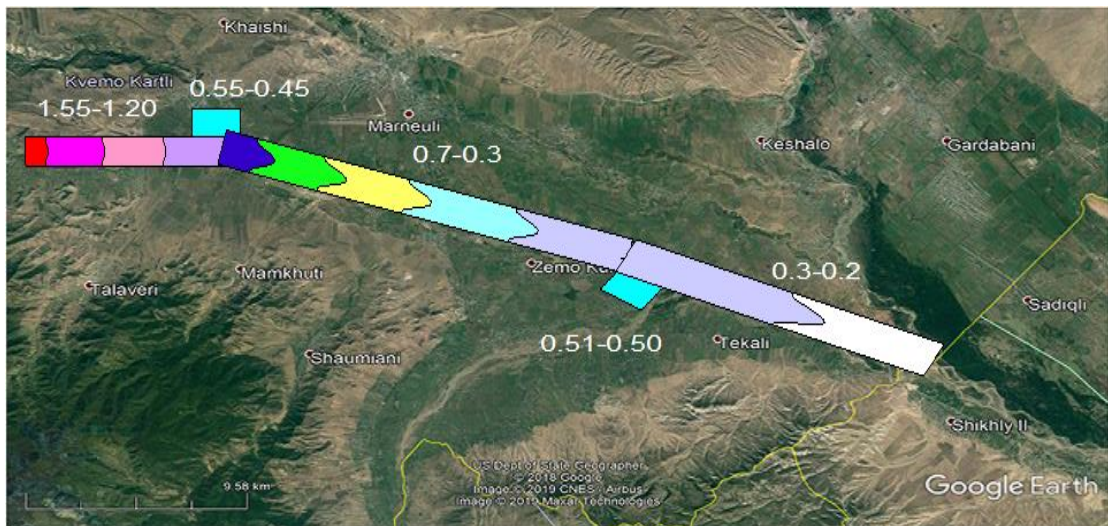
№	ინგრედიენტი, კონცენტრაცია (მგ/ლ)	მდ. ხრამი, სოფ. თამარისი	მდ. მაშავერა, ბოლნისი,რაჭისუბანი	მდ. დებედა, სოფ. ლეჟბადენი
1	Mn	0.05	0.55	0.05
2	Fe	0.51	1.54	0.5
3	Al	0.70	2.61	0.5

გამოთვლებით მიღებულია მანგანუმის, ალუმინისა და რკინის კონცენტრაციის განაწილება მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლებში.



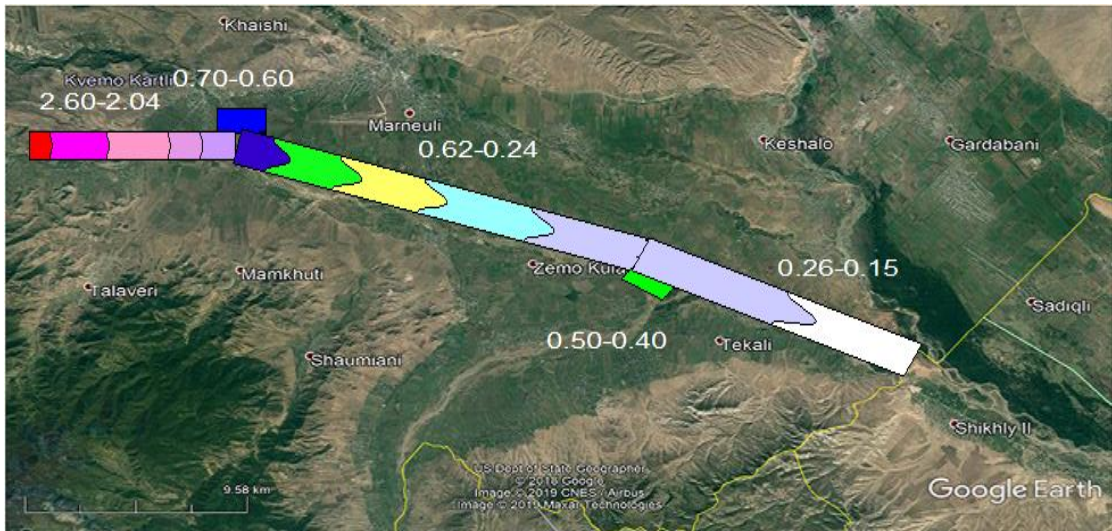
**ნახაზი 21. მანგანუმის კონცენტრაციის C (მგ/ლ) განაწილება მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყალში**

21-ე ნახაზიდან ჩანს, რომ კონცენტრაცია მაქსიმალურია მდინარე მაშავერაში სოფ. რაჭისუბანთან 0.55 მგ/ლ. მანგანუმის დალექვის შედეგად კონცენტრაცია მცირდება დინების მიმართულებით და მდინარე ხრამთან შეერთების ადგილას ის უტოლდება 0.2 მგ/ლ. მდ. ხრამში მანგანუმის კონცენტრაცია დაახლოებით 0.05 მგ/ლ-ია. მდინარე ხრამის წყლის მდინარე მაშავერას წყალთან შეერთების შედეგად სოფელ თამარისთან მანგანუმის კონცენტრაცია მდინარე ხრამში უტოლდება 0.1 მგ/ლ. დალექვის შედეგად სოფელ თამარისიდან მდინარე მტკვართან შეერთების ადგილამდე მანგანუმის კონცენტრაცია დაახლოებით 10-ჯერ მცირდება და შეადგენს 0.01 მგ/ლ.



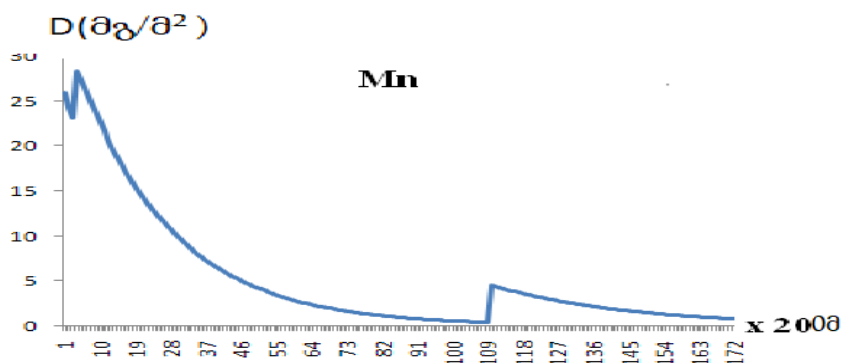
ნახაზი 22. რკინის კონცენტრაციის C (მგ/ლ) განაწილება მდინარე ხრამში, მაშავერასა და დებედაში

22-ე ნახაზიდან ნათლია, რომ კონცენტრაცია მაქსიმალურია მდინარე მაშავერაში სოფ. რაჭისუბანთან 1.55მგ/ლ .მდინარე ხრამთან მისი შეერთების ადგილზე რკინის კონცენტრაცია 1.20 მგ/ლ-ის ტოლია, შესაბამისად აღნიშნული ნივთიერებები ზავდებიან მდინარე ხრამის წყალში და ილექებიან ფსკერზე, ხდება ნივთიერებათა კონცენტრაციების შემცირება დინების გასწვრივ. რკინის კონცენტრაცია მდინარე ხრამში მცირდება 0.7 მგ/ლ-დან 0.1 მგ/ლ-მდე.

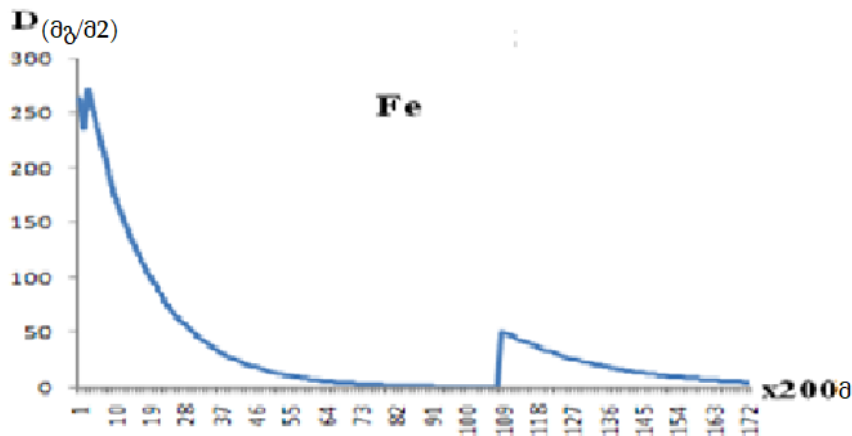


ნახაზი 23. ალუმინის კონცენტრაციის C (მგ/ლ) განაწილება მდინარე ხრამში, მაშავერასა და დებედაში

23-ე ნახაზიდან გამომდინარე ჩანს, რომ ალუმინის კონცენტრაცია (2.60 მგ/ლ) მაქსიმალურია მდინარე მაშავერაში სოფ. რაჭისუბანთან. მდინარე ხრამთან მისი შეერთების ადგილზე ალუმინის კონცენტრაცია უტოლდება 2.04 მგ/ლ-ს. აღნიშნული ნივთიერებები ზავდებიან მდინარე ხრამის წყალში და ილექებიან ფსკერზე. შესაბამისად ხდება ნივთიერებათა კონცენტრაციების შემცირება დინების გასწვრივ. ალუმინის კონცენტრაცია მდინარე ხრამში მცირდება 0.62 მგ/ლ-დან 0.15მგ/ლ-მდე. დამაკმაყოფილებელი რაოდენობრივი თანხვედრა არის გამოთვლებით მიღებულ სიდიდეებსა და ექსპერიმენტულად გაზომილ კონცენტრაციებს შორის.



ნახაზი 24. დალექილი მანგანუმის ზედაპირული სიმკვრივის D(მგ/მ<sup>3</sup>) განაწილება მდინარე ხრამის ფსკერულ დანალექში



ნახაზი 25. დალექილი რკინის ზედაპირული სიმკვრივის  $D(\text{მგ}/\text{მ}^2)$  განაწილება მდინარე ხრამის ფსკერულ დანალექში

მდინარე ხრამის ფსკერზე დალექვის პროცესის ანალიზისათვის გამოთვლილი იქნა ერთი დღე-ღამის განმავლობაში დალექილი მანგანუმის (ნახაზი 24) და რკინის (ნახაზი 25) ზედაპირული კონცენტრაციები  $D$  ( $\text{მგ}/\text{მ}^2$ ) შემდეგი ფორმულის საშუალებით

$$D = \int_0^t (-w_0 C_i(t, x, y, \Delta z) + \mu_z \frac{\partial C_i}{\partial z}) dt .$$

ნახაზი 24 და 25–დან ჩანს, რომ ორივე მეტალის დალექვის პროცესი ხორციელდება თვისებრივად ერთნაირად: მანგანუმისა და რკინის ზედაპირული სიმკვრივები მაქსიმალურია სოფელ თამარისთან. სოფელი თამარისიდან სოფელ ლეჟბადენამდე ზედაპირული სიმკვრივები მცირდება კვადრატულად და სოფელ ლეჟბადენთან ხდება მინიმალური. მდინარე დებედას დაბინძურებული წყლის ჩადინების შედეგად სოფელ ლეჟბადენთან კვლავ იზრდება დანალექი ინგრედიენტების ზედაპირული სიმკვრივები, რომლებიც მცირდებიან წრფივად დინების გასწვრივ. მდინარე ხრამის მდინარე მტკვარში ჩადინების პუნქტამდე. სოფელ თამარისიდან სოფელ ლეჟბადენამდე დანალექი მეტალების ზედაპირული სიმკვრივების ცვლილებათა შეფასებით ნათელია, რომ მანგანუმის და რკინის ზედაპირული სიმკვრივები მცირდებიან მდინარის 34 კმ

მონაკვეთზე დაახლოებით 5.7 და 6-ჯერ, შესაბამისად. უნდა აღინიშნოს, რომ შემცირების მიღებული სიდიდეები ახლოსაა ექსპერიმენტული გაზომვებით მიღებულ მნიშვნელობებთან (ცხრილი 19).

**ცხრილი 19. ექსპერიმენტული კვლევის შედეგებით მიღებული დამაბინძურებელ ინგრედიენტთა მნიშვნელობები ფსკერული დანალექებში**

პუნქტი	Mn	Fe
	მგ/კგ	
მდინარე ხრამის ფსკერული ანალიზი(თამარისთან)	525.80	1.44
მდინარე დებედას ფსკერული ანალიზი(ლეჟბადინთან)	428.36	1.20
მდინარე ხრამის ფსკერული ანალიზი(ლეჟბადინთან)	89.59	0.20
მდინარე მაშავერას ფსკერული ანალიზი(თამარისთან)	380.89	0.84

რიცხვითი მოდელის გამოყენებით გამოკვლეულია მდინარეების ხრამის, მაშავერას და დებედას წყლებში მანგანუმის, რკინისა და ალუმინის გავრცელების კინემატიკა სტაციონალური დამაბინძურებელი წყაროების შემთხვევაში. მიღებულია ამ მძიმე მეტალების კონცენტრაციის განაწილების სურათი მდინარე ხრამში, სოფელი თამარისიდან მდინარე მტკვართან შეერთების ადგილამდე. ნაჩვენებია, რომ მდინარე მაშავერას წყალი არის მდინარე ხრამის ძირითადი დამაბინძურებელი წყარო.

მოდელირების შედეგები შედარებულია ექსპერიმენტული გაზომვების მონაცემებთან და მიღებულია დამაკმაყოფილებელი თანხვედრა.

უწყვეტ გარემოში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური წრფივი სამგანზომილებიანი განტოლების საფუძველზე მდინარე ხრამის აუზის დამაბინძურებელ ნივთიერებების კონცენტრაციათა გავრცელების მოდელირების შედეგები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას მდინარეების წყლებისა და მათ ფსკერულ დანალექებში მძიმე ლითონების განაწილების დასადგენად.

### 3. ექსპერიმენტული ნაწილი

#### 3.1 წყლის სინჯის აღება ქიმიურ-მიკრობიოლოგიური ანალიზისთვის

ზედაპირული, მიწისქვეშა და სასმელი წყლის სინჯის აღება, დაკონსერვება, შენახვა და ტრანსპორტირება წარმოებდა საერთაშორისო სტანდარტის ISO 5667, ISO 15587 შესაბამისად.

ქიმიური ანალიზისთვის სინჯების ასაღებად გამოყენებულია პოლომერული მასალის ან მინის ჭურჭელი.

ორგანოლექტიკური მაჩვენებლების განსაზღვრა მოხდა საველე პორტატული აპარატებით: კონდუქტომეტრი MultiMeter Instrument Aqualytic AL15 (სამი ელექტროდით) და სიმღვრივის მზომი AQUA LYTIC - AL250 T-IR.



სურათი 14. კონდუქტომეტრი ელექტროდებით Aqualytic AL15

წყლის სინჯის აღების ადგილზე გაზომილ იქნა წყლის ტემპერატურა, ელექტროგამტარობა, pH და გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა კონდუქტომეტრის „Aqualytic AL15“ საშუალებით, შესაბამისი ელექტროდებით. აღნიშნული პარამეტრების გაზომვამდე სერთიფიცი-რებული სტანდარტული ხსნარით მოხდა აპარატის დაკალიბრება.





**სურათი 15. ტურბიდომეტრი AL250 T-IR**

წყლის სინჯის აღების ადგილზე ტურბიდომეტრი „AL250 T-IR“ საშუალებით განისაზღვრა საკვლევ წყლებში სიმღვრივე ISO 7027:1999 მეთოდის შესაბამისად. წინასწარ მოხდა ხელსაწყოს დაკალიბრება სხვადასხვა კონცენტრაციის (0.1, 20, 200, 800 NTU) სტანდარტული ნიმუშებით. სიმღვრივე აისახება ფორმაზინის ერთეულებში (NTU),  $1 \text{ NTU} = 0.58 \text{ მგ/ლ}$ .

### **3.2. წყლის ქიმიური ანალიზის მეთოდების მიმოხილვა**

ზედაპირული, მიწისქვეშა და სასმელი წყლის ეკოქიმიური ანალიზის დროს გამოყენებული იქნა სპექტროფოტომეტრიული, ქრომატოგრაფიული, გრავიმეტრიული, კოლორიმეტრიული და ტიტრიმეტრიული ქიმიური ანალიზის მეთოდები.

მეტალების განსასაზღვრავი ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრიული მეთოდი დაფუძნებულია ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ზემოქმედებით ატომის აღზნების უნარზე, რომლის ენერგია შეესაბამება დაბალ ენერგეტიკული დონიდან მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე ატომების გადასვლისათვის საჭირო ენერგიას. ემისიური მეთოდით ატომების აღზნებული მდგომარეობა დამოკიდებულია ალის ტემპერატურაზე. აღზნებული მდგომარეობაში მყოფი ატომების მიერ მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე ელექტრონების გადასვლით მიღებული გამოსხივება რეგის-

ტრირდება სპექტრალური ხაზებით დეტექტორის საშუალებით, რაც აისახება ელექტრონული მართვის პროგრამაში. ჩვენს მიერ საანალიზოდ გამოყენებულ იყო ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრი ინდუქციური შეკაშვირებული პლაზმით (Agilent ICP-OES 710).



**სურათი 16. ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრი ICP-OES 710**

საკვლევ წყალში ნავთობპროდუქტების ჯამური ინდექსის, ქლორორგანული პესტიციდებისა და ქლოროფორმის განსაზღვრა ჩატარდა ქრომატოგრაფიული მეთოდის გამოყენებით.

ქრომატოგრაფია ნივთიერებათა ნარევების დაყოფის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდია, რომელიც გამოიყენება რთული მრავალკომპონენტიანი ნარევის ანალიზისათვის. ქრომატოგრაფიული მეთოდი დაფუძნებულია სორბცია-დესორბციის ციკლურ აქტებზე, რომელიც მიმდინარეობს მოძრავ ფაზას(ელუენტი) და უძრავ სორბენტს შორის. რთული ნარევის კომპონენტებს აქვთ სხვადასხვა სორბირების (შთანთქმის) უნარი, უძრავი ფენის გავლით შთანთქმება დასაყოფი ნარევი არაერთგვაროვანი სიჩქარითა და სხვადასხვა რაოდენობით. ანალიზის შედეგების შესწავლით და მათი შედარებით ეტალონთან დგინდება ნერევის შემადგენელ კომპონენტთა ზუსტი შემადგენლობა. ელუენტად გამოიყენება ინერტული აირის ან სითხის ნაკადი, ხოლო უძრავ ფაზად გამოიყენება განვითარებული ზედაპირიანი მასალა.

ორგანული ნაერთების საანალიზოდ გამოყენებული იყო გაზური ქრომატოგრაფი, რომელიც აღჭურვილია მას-სპექტომეტრითა და ალურ-იონიზაციური დეტექტორით (Agilent GC-MS-FID).



**სურათი 17. გაზური ქრომატოგრაფი. Agilent GC- MS- FID**

წყალში ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების, ციანიდებისა და ამონიუმის იონის განსაზღვრისთვის გამოყენებული იქნა სპექტროფოტომეტრული მეთოდი.

სპექტროფოტომეტრია არის ხსნარებისა და მყარი ნივთიერებათა კვლევის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდი. იგი დაფუძნებულია შთანთქმის სპექტრების კვლევაზე ულტრაიისფერ (200-400ნმ), ხილულ(400-760ნმ) და ინფრაწითელ (>760ნმ) სპექტრის უბანში. სპექტროფოტომეტრიულად განისაზღვრება შთანთქმის ინტესიურობის დამოკიდებულება სინათლის ტალღის სიგრძესთან. ეს მეთოდი ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა ნივთიერებათა შემადგენლობისა და აღნაგობის შესასწავლად, თვისებითი და რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის.

კვლევის ჩასატარებლად გამოყენებულ იქნა HACH ფირმის სპექტროფოტომეტრი Hach DR-6000.



სურათი 18. სპექტოფოტომეტრი Hach DR-6000

### 3.2.1. მეტალების განსაზღვრა წყალში ატომურ ემისიური სპექტრომეტრული მეთოდით

ISO 11885:2007 - მეთოდი განსაზღვრავს სასმელ, ბუნებრივ და ჩამდინარე წყალში ხსნად და უხსნად მდგომარეობაში მყოფ ელემენტებს, ასევე მათ საერთო რაოდენობას. ამ მეთოდით შესაძლებელია განისაზღვროს შემდეგი ელემენტები: სელენი, სპილენძი, ტყვია, სტიბიუმი, ქრომი, სილიციუმი, ბარიუმი, ბორი, დარიშხანი, კადმიუმი, მანგანუმი (ჯამური), მოლიბდენი (ჯამური), ნიკელი, რკინა (ჯამური), ნატრიუმი, კალციუმი, მაგნიუმი, ალუმინი, თუთია, ბერილიუმი, სტრონციუმი.

ნიმუშების აღება, დამუშავება და შენახვა: გახსნილი მეტალების განსაზღვრისათვის სინჯი აღებისთანავე იფილტრება 0.45 მკმ-იან მემბრანულ ფილტრზე, სინჯის გარკვეული საწყისი რაოდენობა გაფილტვრის შემდეგ იღვრება, ხოლო საჭირო მოცულობა აიღება პოლიმერული ჭურჭლით. ფილტრატის შემჟავება ხდება აზოტმჟავით-0.5 მლ 100 მლ სინჯზე.

ჯამური რაოდენობის მეტალებისთვის ნიმუში აიღება პოლიმერული ჭურჭლით და აღებისთანავე მჟავდება აზოტმჟავით  $\text{pH} \leq 2$ -მდე. ნიმუშების შენახვა ხდება სიბნელეში  $2^{\circ}\text{C}$ -დან  $8^{\circ}\text{C}$ -მდე პირობებში.

ექსპერიმენტის ჩასატარებლად გამოიყენება სერთიფიცირებული სტანდარტული ნიმუშები მიკვლევადობით NIST-მდე (100მგ/ლ) და AS კლასის მზომი ჭურჭელი. მეთოდის შესაბამისად წყლის სინჯში თითოეული ელემენტის განსაზღვრავად სტანდარტული ნიმუშიდან მზადდება შესაბამისი ელემენტის განსაზღვრული კონცენტრაციის სტანდარტული ხსნარი, რომლის მიხედვითაც იგება საკალიბრო მრუდი.

ანალიზის მსვლელობა: წინასწარ დამუშავებული ნიმუში იდგმება საანალიზოდ, არგონის ნაკადით ნიმუში გამფრქვევი ნემსის საშუალებით გაიფრქვევა სპრეის სახით და გარდაიქმნება აეროზოლად გამფრქვევ კამერაში. არგონს გადააქვს აეროზოლი პლაზმაში და აკავებს მას პლაზმის მდგომარეობაში, სადაც ხდება ნიმუშის ატომიზირება და იონიზირება. ტალღის სიგრძის სელექტორი აცალკევებს შერჩეულ სპექტრალურ ხაზებს, რომლებიც წინასწარ კომპიუტერული მართვის სისტემით არის თითოეული მეტალისათვის შერჩეული. სიგნალი ფიქსირდება კომპიუტერული პროგრამის (ICP-Expert II) მეშვეობით წინასწარ აგებული საკალიბრო გრაფიკის საფუძველზე, რის შედეგადაც განისაზღვრება თითოეული ელემენტის კონცენტრაციები.

ვერცხლისწყალი განისაზღვრება იგივე ხელსაწყო (ICP-OES 710) საშუალებით, მწარმოებლის(Agilent) მიერ შემუშავებული მეთოდის შესაბამისად, რომლის დროსაც ოპტიმალური დონის სიგნალის მისაღებად აუცილებელია ვერცხლისწყლის ფუძე ოქსიდში გადაყვანა. ქიმიური აღმდგენლად გამოიყენება კალას ქლორიდი ( $\text{SnCl}_2$ ).

### **3.2.2. მეტალების განსაზღვრა მდინარის ფსკერულ დანალექებში ატომურ ემისიური სპექტრომეტრული მეთოდით**

ფსკერული დანალექის ნიმუშის დამუშავება განხორციელდა სტანდარტული EPA-200.2 მეთოდის შესაბამისად მიკროტალღური დამშლელი ხელსაწყო „milestone“ ექსტრაქტორის გამოყენებით. ექსტრაგირების დროს ფსკერული დანალექის ნიმუშის მიხედვით ხდება ტემპერატურისა და წნევის დარეგულირება. ექტრაგირებისას

შესაძლებელია გამოყენებული იყოს აზოტმჟავა ან აზოტმჟავასა და მარილმჟავას ხსნარი (თანაფარდობით 1:3). არაერთგვაროვანი ხსნარის შემთხვევაში ექსტრაქტი იფილტრება, ხოლო საჭიროების შემთხვევაში კი ზავდება დეიონიზირებული წყლით.

დამუშავებული ფსკერული დანალექის ნიმუშებში მეტალების შემცველობის განსაზღვრა წარმოებს სტანდარტული EPA-3050B-მეთოდით ატომურ ემისიური სპექტრომეტრის გამოყენებით. განსაზღვრის პროცესი მიმდინარეობს 3.2.1. პუნქტის შესაბამისად.

### **3.2.3. ნავთობპროდუქტების ჯამური ინდექსის, ქლორორგანული პესტიციდებისა და ქლოროფორმის განსაზღვრა ქრომატოგრაფიული მეთოდით**

მიწისქვეშა და სასმელ წყალში ნავთობპროდუქტების ჯამური ინდექსის, ქლორორგანული პესტიციდებისა და ქლოროფორმის განსაზღვრა ჩატარდა გაზური ქრომატოგრაფის(GC) გამოყენებით. აპარატი აღჭურვილია მას-სპექტომეტრითა და ალურ-იონიზაციური დეტექტორით (Agilent GC- MS- FID). მას-სპექტრ (GC/MS) დეტექტორით ხდება ქლორორგანული პესტიციდებისა და ქლოროფორმის დეტექტირება. ალურ-იონიზაციურ (GC-FID) დეტექტორზე კი ნავთობპროდუქტების დეტექტირება. აირ-მატარებლად (ელუენტი) მას-სპექტომეტრში გამოყენებულია ჰელიუმი, ხოლო ალურ-იონიზაციურ დეტექტორში - წყალბადი. აირ-მატარებლის ფუნქციაა საკვლევი ნივთიერება მიიტანოს ინჟექტორიდან დეტექტორამდე კაპილარული სვეტის გავლით, ამიტომ მნიშვნელოვანია ელუენტის სისუფთავის მაღალი ხარისხი. ორგანული ნივთიერებების საკვლევად სინჯები აღებულ იქნა მუქი ფერის მინის ჭურჭლით.

**ნავთობპროდუქტების ჯამური ინდექსის განსაზღვრა ქრომატოგრაფიული მეთოდით.** ნავთობპროდუქტებიანი საკვლევი წყალი დამუშავებისათვის თავსდება გამყოფ ძაბრში (სინჯი შეჟავებულია მარილმჟავით pH=2), რომელსაც ემულგირების თავიდან ასაცილებლად

ემატება მაგნიუმის სულფატი. საანალიზო სინჯებიდან ნავთობური ნახშირწყალბადების ექსტრაგირება ხდება ჰექსანით. წყლის მოსაცილებლად მიღებული ექსტრაქტი მუშავდება ნატრიუმის სულფატით. გასუფთავებული ექსტრაქტის კონცენტრირება ხდება ამორთქლებელ აპარატში.

კონცენტრირებულ საანალიზო ხსნარში ნავთობპროდუქტების განსაზღვრა წარმოებს ISO 9377-2:2000 მეთოდის მიხედვით გაზური ქრომატოგრაფიით ალურ-იონიზაციურ(GC-FID) დეტექტორის გამოყენებით. გაზქრომატოგრამით ასახული პიკის ფართობზე დაყრდნობით განისაზღვრება ჯამური ნავთობპროდუქტების რაოდენობა. ალში ხდება საკვლევი ნივთიერების იონურ მდგომარეობაში გადასვლა და შემდეგ დეტექტირება მუხტის გადატანის რაოდენობის მიხედვით. მეთოდის განსაზღვრის დიაპაზონი შეადგენს 0.04 – 0.14 მგ/ლ-ს.

**ქლორორგანული პესტიციდებისა განსაზღვრა ქრომატოგრაფიული მეთოდით.** საანალიზო წყლის სინჯის ექსტრაგირება ჩატარდა ჰექსანით გამყოფ ძაბრში. ფაზების დაყოფის შემდეგ ექსტრაქტი დამუშავდა უწყლო ნატრიუმის სულფატით. გამომშრალი ექსტრაქტი დასაკონცენტრირებლად დეკანტაციით გადატანილ იქნა ამორთქლებელ მოწყობილობაში.

კონცენტრირებულ საანალიზო ხსნარში ქლორორგანული პესტიციდები განისაზღვრა სტანდარტული ISO 6468:1996 მეთოდით ქრომატოგრაფიული ანალიზის საშუალებით მას-სპექტრ (GC/MS) დეტექტორის გამოყენებით. მეთოდის განსაზღვრის დიაპაზონი შეადგენს 0.000001-0.00005 მგ/ლ.

**ქლოროფორმის განსაზღვრა ქრომატოგრაფიული მეთოდით.** საანალიზო წყლის სინჯის ექსტრაგირება ჩატარდა ჰექსანით გამყოფ ძაბრში. ენერგიული შენჯდრევის შემდეგ ნიმუშის დაყოვნება ხდება 3 წუთის განმავლობაში, ფენების განცალკევების შემდეგ ქვედა ფენა წყლის მოსაცილებლად მუშავდება ნატრიუმის სულფატის ხსნარით.

დამუშავებულ საკვლევი წყლის სინჯში ქლოროფორმი განისაზღვრება სტანდარტული ISO 10301:1997 მეთოდით გაზქრომატოგრაფიული ანალიზით მას-სპექტრ (GC/MS) დეტექტორის გამოყენებით. მეთოდის განსაზღვრის დიაპაზონი შეადგენს 0.05-0.3 მგ/ლ.

### 3.2.4. არაორგანული ანიონებისა და ბიოგენური კომპონენტების შემცველობის განსაზღვრა წყალში იონური ქრომატოგრაფიული მეთოდით

საანალიზო წყლის სინჯებში არაორგანული ანიონებისა (ფტორიდი, ქლორიდი, სულფატი) და ბიოგენური კომპონენტების (ნიტრიტი, ნიტრატი, ორთოფოსფატი) შემცველობა განისაზღვრა სტანდარტული ISO 10304-1:2007 მეთოდით იონური ქრომატოგრაფის გამოყენებით DIONEX ICS-1100 ავტოსემპლერიტურთ.



სურათი 19. იონური ქრომატოგრაფი DIONEX ICS-1100

მეთოდის არსი მდგომარეობს იონების დაყოფაზე ქრომატოგრაფიული სვეტის საშუალებით. განცალკევებული ანიონების დეტექტირება ხდება ელექტროგამტარ დეტექტორზე. იონების იდენტიფიცირება მიმდინარეობს შეკავების დროის მიხედვით, ხოლო რაოდენობრივი განსაზღვრა ხდება სტანდარტულ ნიმუშებთან შედარებით. კვლევის ჩასატარებლად გამოიყენება სერთიფიცირებული სტანდარტული ნიმუშები მიკვლევადობით NIST-მდე, კვალიფიკაციით ქრომატოგრაფიული სისუფთავის რეაქტივები და A, AS კლასის მზომი ჭურჭელი.



### **3.2.5. ამონიუმის იონის, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისა და ციანიდების განსაზღვრა სპექტროფოტომეტრული მეთოდით**

საანალიზო წყლის სინჯებში ამონიუმის იონის, ციანიდებისა და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების შემცველობა განისაზღვრა სპექტროფოტომეტრი HACH-DR-6000 გამოყენებით.

**ამონიუმის იონის განსაზღვრა სპექტროფოტომეტრული მეთოდით.** საანალიზო წყლის სინჯებში ამონიუმის იონის შემცველობა განისაზღვრა სტანდარტული ISO 7150-1:1984 მეთოდით. მეთოდის არსი დამყარებულია ამონიუმის იონის უნარზე წარმოქმნას ლურჯი შეფერილობის ნაერთი ნატრიუმის სალიცილატისა და ჰიპოქლორიტის ანიონებთან ნატრიუმის ნიტროპრუსიდის თანაობისას. ამონიუმის იონის კონცენტრაციის განსაზღვრა ხდება 655 ნმ სინათლის ტალღის სიგრძეზე. ამონიუმის იონის განსაზღვრა ტარდება წყლის სინჯის აღებისთანავე, წინააღმდეგ შემთხვევაში ხდება კონსერვაცია კონცენტრირებული გოგირდმჟავითი ( $\text{pH} < 2$ ). ნიმუში თავსდება თავდახურულ ჭურჭელში ( $25^{\circ}\text{C}$ ). მეთოდის განსაზღვრის დიაპაზონი შეადგენს 0.003–1 მგ/ლ.

**ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების განსაზღვრა სპექტროფოტომეტრული მეთოდით.** საანალიზო წყლის სინჯებში ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების შემცველობა განისაზღვრა სტანდარტული ISO 7875-1:1996 მეთოდით. მეთოდის არსი მდგომარეობს ტუტე არეში ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისა და მეთილენლურჯის ასოციანტის წარმოქმნაში. ნაერთის ექსტრაგირება ხდება ქლოროფორმით, ხოლო ექსტრაქტი მუშავდება მეთილენლურჯის მჟავა ხსნარით. გამოყოფილი ორგანული ფაზის კონცენტრაციის განსაზღვრა ხდება 650 ნმ სინათლის ტალღის სიგრძეზე. მეთოდის განსაზღვრის დიაპაზონია დაახლოებით 0.5მგ/ლ.

**ციანიდების განსაზღვრა სპექტროფოტომეტრული მეთოდით.** საანალიზო წყლის სინჯებში ციანიდების შემცველობის განსაზღვრა ხდება HACH-ის მწარმოებლის მიერ შემუშავებული მეთოდის HACH-Method 8027 შესაბამისად. მეთოდის არსი დამყარებულია წყალში ციანიდის იონის

უნარზე „CyaniVer“-ის რეაგენტთან წარმოქმნას მოწითალო-იისფერი შეფერილობის კომპლექსური ნაერთი. აღნიშნული მეთოდი განსაზღვრავს ციანიდების საერთო რაოდენობას 0.001-0.240 მგ/ლ დიაპაზონში.

### **3.2.6. სიხისტის, ჰიდროკარბონატ-იონისა და ჟანგვადობის განსაზღვრა ტიტრიმეტრული მეთოდით**

სასმელ, მიწისქვეშა და ზედაპირულ წყალში საერთო სიხისტის, ტუტთანობისა და ჟანგვადობის განსაზღვრისათვის გამოყენებული იყო ტიტრიმეტრული მეთოდები.

სტანდარტული ISO 6059:1984 მეთოდი გამოიყენება წყალში 0,05 მმოლი/ლ-ზე მეტი მაგნიუმის და კალციუმის ჯამური კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის. კალციუმისა და მაგნიუმის იონების ტიტრიმეტრული მეთოდით განსაზღვრა ხდება ტრილონ B-ს( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) საშუალებით, ტუტე არეში (pH=10), ინდიკატორ ერიოქრომ შავი T-ის თანაობისას.

სტანდარტული ISO 9963-1:1994 მეთოდი გამოიყენება წყალში ტუტთანობის განსაზღვრისათვის 0,4-20 მმოლი/ლ დიაპაზონში. ტუტთანობას განაპირობებს წყალში ჰიდროკარბონატ და კარბონატ იონების შემცველობა. ჰიდროკარბონატ-იონების განსაზღვრა ხდება ინდიკატორ მეთილის წითელის თანაობისას მარილმჟავას 0.02 მოლი/ლ-იანი ხსნარით pH=8,3- დან pH=4.5-მდე არეში.

სტანდარტული ISO 8467:1993 მეთოდი გამოიყენება წყლის პერმანგანატული ინდექსის განსაზღვრისათვის 0,5 – 10 მგ/ლ დიაპაზონში. ძლიერ მჟავა არეში ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:3) კალიუმის პერმანგანატი ჟანგავს წყალში შემცველ ორგანულ ნივთიერებებს.

### **3.3. წყლის მიკრობიოლოგიური ანალიზი**

ზედაპირული, მიწისქვეშა და სასმელი წყლების მიკრობიოლოგიური კვლევა ჩატარებულ იქნა ISO სტანდარტული მეთოდიკების შესაბამისად შემდეგ მაჩვენებლებზე: საერთო კოლიფორმული ბაქტერიები, E.coli,

მეზოფილური აერობები და ფაკულტატიური ანაერობები 37°C და 22°C ტემპერატურაზე, სტრეპტოკოკი, სალმონელა და კოლოფაგები. ისინი წყლის ფეკალური დაბინძურების ორგანიზმ-ინდიკატორებია და მათი კვლევა წარმოადგენს წყლის ჰიგიენური ხარისხის შეფასების საიმედო და კონკრეტულ საშუალებას. მიკრობიოლოგიური კვლევისთვის გამოყენებული იყო პირდაპირი დათესვისა და ფილტრაციის მეთოდები.

წყლის სინჯის აღება მიკრობიოლოგიური ანალიზისთვის მოხდა სტერილური ჭურჭელით. ტემპერატურული რეჟიმის შენარჩუნების მიზნით სინჯების ტრანსპორტირება განხორციელდა პორტატული მაცივრის საშუალებით (ARB-FRIDGE FREEZER).

E.coli და საერთო კოლიფორმები განისაზღვრა სტანდარტული ISO 9308-1:2014 ფილტრაციის მეთოდით. საერთო კოლიფორმები მიკროორგანიზმების ჯგუფია, რომელიც არსებობს გარემოში, ფეკალში და შეუძლიათ გამრავლება წყალში. Escherichia coli ფეკალური დაბინძურების მთავარი ორგანიზმ-ინდიკატორია.

მეთოდის მიხედვით მიკროორგანიზმების საკვებ არედ გამოიყენება კოლიფორმების ქრომოგენული აგარი (CCA). საკვლევი წყლის შერჩეულ მოცულობა იფილტრება მემბრანული 0.45მკმ ფილტრზე. მიკროორგანიზმების ზრდა ხდება CCA საკვებ არეზე. E.coli ვლინდება ტიპური-ლურჯი შეფერილობით, ხოლო კოლიფორმი კი ვარდისფერიდან-წითლამდე ოქსიდაზაუარყოფითი კოლონიებით. კვლევის შედეგი გამოისახება ეტალონურ მოცულობაში კოლონია წარმომქმნელი ერთეულის (კწე) რაოდენობით.

მნიშვნელოვანია საერთო კოლიფორმული ბაქტერიებისა და E. Coli-ის რაოდენობათა თანაფარდება, რომლის 10-ზე ნაკლები რაოდენობა პოტენციურ ეპიდემიურ საფრთხეზე მიუთითებს. 100 მლ-ში 100 კწე-ზე მაღალი E. coli რაოდენობა ახალი ფეკალური დაბინძურების მაჩვენებელია.

სიცოცხლისუნარიანი მიკროორგანიზმების - მეზოფილური აერობული და ფაკულტატიური ანაერობული ბაქტერიების განსაზღვრი-

სათვის 37°C და 22°C ტემპერატურაზე გამოყენებული იყო სტანდარტული ISO 6222-1999 მეთოდი. მიკროორგანიზმებისთვის საკვებ არედ გამოიყენება აგარი საფუარის ექსტრაქტი (Yeast Extract agar). ანალიზის შედეგი გამოსახება საკვლევი წყლის 1მლ-ში გაზრდილი კოლონიების საერთო რიცხვით (კწე). 37°C და 22°C ტემპერატურაზე მიკროორგანიზმების რიცხოვრივი თანაფარდობით შესაძლებელია შეფასდეს წყლის თვითგაწმენდის ინტენსივობა.

ფეკალური სტრეპტოკოკები განსაზღვრა სტანდარტული ISO 7899-2:2007 მეთოდით. ამ ჯგუფის მიკროორგანიზმები გამოირჩევიან მაღალი გამძლეობით განვითარების არასასურველი პირობების მიმართ, ამიტომ ითვლებიან წყლის სისუფთავის ხარისხის შესაფასებლად დამატებით ინდიკატორულ ორგანიზმებად.

ფეკალური სტრეპტოკოკების საკვებ არედ გამოიყენება სლანეტ-ბარტლისა და ნაღველ ესკულინ აზიდური აგარი. ანალიზის შედეგი გამოსახება საკვებ არეებზე ტიპური წითელი კოლონიისა და შემდგომ დადასტურებული შავი კოლონიის წარმომქმნელი ერთეულის (კწე) რაოდენობით.

კოლიფაგების განსაზღვრისათვის გამოიყენება სტანდარტული მეთოდური მითითებები 4.2. 1884-04., რომლის მიხედვით ხდება საკვლევი წყლის პირდაპირი დათესვა და ლიზისის ზონების (ლაქების) შემდგომი აღრიცხვა E. Coli K<sub>12</sub>-ის შტამის გაზონზე. შედეგი გამოსახება ნეგატიური კოლონია წარმომქმნელი ერთეულის (ნკწე) რაოდენობით საკვლევი წყლის ეტალონურ მოცულობაში. კოლიფაგები წყლის ხარისხის ვირუსოლოგიური მაჩვენებელია. წყალში მაღალი გამძლეობის გამო, ბაქტერიული ინდიკატორებთან შედარებით, იგი წყლის დაბინძურების ხარისხის დამატებითი ინდიკატორია.

სალმონელას სახეობების (Salmonella) აღმოსაჩენად გამოყენებულ იქნა სტანდარტული ISO 19250:2010 მეთოდი, რომელიც ხუთ ეტაპს მოიცავს. მეთოდის მიხედვით ხდება საკვლევი წყლის განსაზღვრული

რაოდენობის წინასწარი (არასელექციურ) და სელექციურ თხევად გარემოში გამდიდრება. სელექციურ აგარის გარემოზე მიღებული კოლონიების იდენტიფიკაცია ბიოქიმიური და სეროლოგიური თვისებების მიხედვით მიმდინარეობს .

საკვებ არეზად გამოიყენება არასელექციური პეპტონის ბუფერული წყალი და სელექციური რაპაპორტ-ვასილიადის (RVS) და მულერ-კაუფმანის ტეტრაციონ - ნოვობიოცინის (MKTTn) ნიადაგები, მყარი სელექციური- ბისმუტ სულფიტური და ქსილოზა ლიზინის დეზოქსიქოლატის (XLD) აგარი. ბიოქიმიური იდენტიფიცირებისთვის გამოიყენება რკინა-ორშაქრიანი აგარი, შარდოვანა აგარი და ლიზინ დეკარბოქსილას არე. სალმონელას აღმოჩენის ბოლო ეტაპი სეროლოგიური დადასტურებაა.

სეროლოგიური დამტკიცებისთვის გამოიყენება სამონელას პოლივალენტური O და Vi შრატები. საკვები აგარიდან ირჩევა იზოლირებული კოლონიები, გამოირიცხება თვითაგლუტინირებადი შტამების არსებობა და ხდება სალმონელას ანტიგენების კვლევა. საკვლევი კოლონიის აგლუტინაცია (შეწებება) განიხილება დადებით რეაქციად.

სალმონელას სახეობების აღმოჩენა ემსახურება სასმელ და ზედაპირულ წყალში ეპიდემიოლოგიური მდგომარეობის შეფასებას.

## დასკვნა

1. საქართველოში მდინარე ხრამისა და დებედას მიწისქვეშა წყლები გამოიყენება სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების მიზნებისთვის. მიწისქვეშა წყლების მარაგის შევსება ხდება უპირატესად ატმოსფერული ნალექებითა და ზედაპირული წყლებით.
2. ქალაქ რუსთავისა და მარნეულოს მუნიციპალიტეტის წყალმომარაგება ხორციელდება მდინარე ხრამისა და დებედას მიმდებარედ განლაგებული ექსპლუატაციაში მყოფი 8 ჭაბურღილისა და 7 შახტური ჭის მიწისქვეშა წყლებით.
3. მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის ქიმიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე დადგინდა, რომ მდინარე ხრამის წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-კალციუმიან წყალს, ხოლო მდინარე მაშავერა და დებედას წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატიან-კალციუმიან ტიპის წყალს.
4. მდინარე ხრამის წყლის სიხისტე დასაწყისში წყლის კლასიფიკაციის სიხისტის მაჩვენებლის მიხედვით შეესაბამება რბილს, ხოლო შემდეგ სოფელ ლეჟბადინთან მდინარე დებედას შეერთების შემდეგ წყლის სიხისტე მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს. მდინარე მაშავერასა და დებედას წყლის სიხისტეც შეესაბამება საშუალოდ ხისტს.
5. მდინარე ხრამისა და დებედას წყლების ჟანგვადობა არ აღემატება დასაშვებ ნორმების დონის სიდიდეს, ხოლო მდინარე მაშავერას წყლის ჟანგვადობის მნიშვნელობა მიეკუთვნება დაბინძურებულს.
6. მდინარე ხრამის წყლის მინერალიზაცია სოფელ ლეჟბადინამდე შეესაბამება დაბალ მინერალიზებულს, ხოლო მდინარე დებედას მიერთების შემდეგ კი საშუალოდ მინერალიზებულს. მდინარე მაშავერასა და დებედას წყლების მინერალიზაციაც მიეკუთვნება საშუალოდ მინერალიზებულს.
7. ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა ყველა მდინარის სინჯის წყალში

არ აღემატება ნორმატივით დასაშვებ მნიშვნელობებს.

8. მძიმე მეტალთა კონცენტრაცია მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყალში არ აღემატება ზღვრულ დასაშვებ ნორმებს. გამონაკლისს წარმოადგენს ალუმინის, რკინისა და მანგანუმის კონცენტრაციები, რომელთა მნიშვნელობები აღემატება ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების მნიშვნელობებს. მდინარე მაშავერას წყალში ალუმინის, რკინისა და მანგანუმის შემცველობა შესაძლებელია განპირობებული იყოს სამთო-გამამდიდრებელი საწარმოს სს “მადნეულის“ ჩამდინარე წყლებით.
9. მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე სალმონელა მდინარის წყლის არცერთ სინჯში არ იქნა აღმოჩენილი, ხოლო დანარჩენი მიკრობიოლოგიური მაჩვენებლები ბევრად აღემატება ზედაპირული წყლების ნორმატივებით დასაშვებ სიდიდეებს.
10. წყლის ძირითად იონებს შორის და ძირითად მახასიათებლებს შორის კონცენტრაციათა ცვლილების ამსახველი დიაგრამები კორელაციური ანალიზის კორექტულობაზე მიუთითებს. ჩატარებული კორელაციური სტატისტიკური ანალიზის მიხედვით კორელაციის მაღალი ხარისხით ხასიათდება შემდეგი წყვილები: სიხისტე და კალციუმი, სიხისტე და მინერალიზაცია, აგრეთვე ელექტროგამტარობა და მინერალიზაცია.
11. მდინარე ხრამის, მაშავერასა და დებედას წყლის ფსკერული დანალექების სინჯების ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე სპილენძის, თუთიის, მანგანუმის, ტყვიის, ნიკელის, კობალტის, რკინის კონცენტრაციების მნიშვნელობები, განპირობებული ბუნებრივი პირობებიდან გამომდინარე, შეესაბამება ფონურ მნიშვნელობებს. მხოლოდ კადმიუმის კონცენტრაცია აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ მნიშვნელობას, ასევე სოფელ ლეჟბადინთან აღებულ მდინარე დებედას ფსკერული დანალექის სინჯში თუთიის კონცენტრაცია ბევრად აღემატება ნორმატივებით დასაშვებ მნიშვნელობებს.
12. მდინარე ხრამის აუზის ყველა ჭაბურღილიდან და შახტური ჭიდან

აღებულ წყლის სინჯების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე, ძირითადად, წყალი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმიანი ტიპის წყალს, რაც დადგინდა თვალსაჩინოების მიზნით აგებული სულფატ-იონების, კალციუმის იონებისა და ჰიდროკარბონატების კონცენტრაციათა მნიშვნელობების ცვლილებების ამსახველი დიაგრამებითაც.

13. ყველა ჭაბურღილის და შახტური ჭის სიხისტე ძირითადად შეესაბამება სიხისტის ნორმატივებით დასაშვები ნორმების მიხედვით ზომიერად ხისტს. ძირითადი იონების, ბიოგენური კომპონენტების, მიკრო- და მაკრო ნივთიერებების შემცველობა ნორმატივებით დასაშვები ნორმების ფარგლებშია.
14. ჭაბურღილისა და შახტური ჭის წყლების სინჯების მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგად გამომდინარე მიკრობიოლოგიური დაბინძურება არ დაფიქსირებულა.
15. ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარებიდან, ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის რეგიონის მოსახლეობიდან აღებული სასმელ წყლის სინჯების ეკოქიმიური ანალიზის შედეგად დადგინდა რომ იგი მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმიანი ტიპის წყალს. ორგანო-ლექტიკური მაჩვენებლები და წყალბადის მაჩვენებელი არის ნორმატიულად დასაშვები ნორმების ფარგლებში. წყლის ჟანგვადობა ნორმატიულად დასაშვები სიდიდის მიხედვით მიეკუთვნება ძალიან სუფთას, ხოლო წყლის სიხისტის მნიშვნელობა სიხისტის კლასიფიკაციის მიხედვით მიეკუთვნება საშუალოდ ხისტს.
16. მაკრო- და მიკროელემენტების, ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა და თავისუფალი ქლორის ნარჩენი რაოდენობა წყლის სინჯებში სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტის მიხედვით ნორმატიულად დასაშვები ნორმის ფარგლებშია. მინერალიზაცია შეესაბამება საშუალოდ მინერალიზირებულს, ხოლო ელექტროგამტარებლობა შეადგენს, შესაბამისად, 526.0 - 579.0 მიკრო სიმ./სმ .



17. ხრამი I და ხრამი II რეზერვუარების, ქალაქ რუსთავისა და მარნეულის მუნიციპალიტეტის სოფელი ქუთლიარის მოსახლეობის წყლის სინჯის მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე სასმელი წყლის სინჯებში მიკრობიოლოგიური დაბინძურება არ დაფიქსირებულა.
18. უწყვეტ გარემოში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური წრფივი სამგანზომილებიანი განტოლების გამოყენებით მოდელირებულია მდინარე ხრამის წყალში და ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების განაწილება სოფელი თამარისიდან მდინარე მტკვართან მის შეერთებამდე. გამოყენებულია მდინარის მახასიათებელი ჰიდროლოგიური პარამეტრების საშუალო წლიური მნიშვნელობები და ექსპედიციური კვლევის შედეგების მონაცემები. მდინარე ხრამის წყლის დინების მიმართულებით, მდინარე მტკვართან შეერთებამდე რკინის, ალუმინისა და მანგანუმის კონცენტრაციები მცირდება და შესაბამისად არ აღემატება ნორმატიულად დასაშვებ სიდიდეებს.
19. მანგანუმისა და რკინის ზედაპირული სიმკვრივეები ფსკერულ დანალექებში მაქსიმალურია სოფელ თამარისთან მდინარე მაშავერას შეერთებისას, შემდეგ იკლებს მდინარე ხრამის დინების მიმართულებით და კვლავ იზრდება მდინარე დებედას დაბინძურებული წყლის მდინარე ხრამში ჩადინების შედეგად სოფელ ლეჟბადენტან. ხოლო შემდეგ კვლავ მცირდება მდინარე ხრამის დინების გასწვრივ მდინარე მტკვართან შეერთების პუნქტამდე.
20. მდინარე ხრამში მიღებული მძიმე მეტალების კონცენტრაციის განაწილების სურათის მიხედვით სოფელი თამარისიდან მდინარე მტკვართან შეერთების ადგილამდე დადგენილია, რომ მდინარე მაშავერას წყალი არის მდინარე ხრამის ძირითადი დამაბინძურებელი წყარო.
21. უწყვეტ გარემოში ნივთიერების გადატანა-დიფუზიის არასტაციონალური წრფივი სამგანზომილებიანი განტოლების საფუძველზე მდინარე ხრამის აუზის დამაბინძურებელ ნივთიერებების კონცენტრაციათა გავრცელების მოდელირების შედეგები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას მდინარეების

წყლებისა და მათ ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების კონცენტრაციათა განაწილების დასადგენად, გავრცელების კანონზომიერების აღბათობის, კვლევისა და დაბინძურების პროგნოზირებისათვის.

22. მდინარე ხრამის აუზის მიწისქვეშა წყლების სასმელ-სამეურნეო წყალმომარაგების სისტემად გამოყენებისათვის ჩატარებული ჰიდოქიმიური და მიკრობიოლოგიური და ფსკერული ნალექების ეკოქიმიური კვლევის, აგრეთვე მდინარის ხრამის აუზის წყალსა და ფსკერულ დანალექებში მძიმე მეტალების კონცენტრაციათა განაწილების რიცხვითი მოდელირების საფუძველზე მიღებული ეკოლოგიური მდგომარეობის სრული შეფასების შედეგად დადგინდა, რომ წყლის ხარისხი სავსებით შეესაბამება სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტით გათვალისწინებულ ნორმატიულად დასაშვებ ნორმებს.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Baird Colin. Environmental chemistry. Freeman and Company, 2003, 579 p.
2. გვერდწითელი ლეილა. ჰიდროსფეროსა და ნიადაგის დაცვის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2014, 215 გვ.
3. ქართული საბჭოთა ენციკლოპედია, საქართველოს სსრ. მთავარი სამეცნიერო რედაქცია, თბილისი, 1981, გვ.19.
4. საქართველოს კანონი წყლის შესახებ, 1997 წ.
5. საქართველოს ზედაპირული წყლების დაბინძურებისაგან დაცვის ტექნიკური რეგლამენტი. საქართველოს მთავრობის დადგენილება N425, 2013 წლის 31 დეკემბერი, ქ.თბილისი.
6. Руководящие принципы мониторинга и оценки трансграничных рек. Рабочая группа Европейской экономической комиссии ООН по мониторингу и оценке. 2001 г.
7. ლოლობერიძე მიხეილ. წყლის ეკოსისტემები: დაცვა და რაციონალური გამოყენება. თბილისი: „მეცნიერება“, 1982, გვ. 73-76, 104-112.
8. გვერდწითელი ლეილა. ჰიდროსფეროსა და ნიადაგის დაცვის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები. თბილისი: საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2014 წ, 216 გვ.
9. ტრაპაიძე ვაჟა. წყლის რესურსები. თბილისი: თსუ, 2012 წ, 123 გვ.
10. ლოლობერიძე მიხეილ. წყლის ეკოსისტემები: დაცვა და რაციონალური გამოყენება. თბილისი: „მეცნიერება“, 1982, გვ. 73-76, 104-112.
11. მიქაძე ირაკლი. ჰიდროგეოლოგია და საინჟინრო გეოლოგია. თბილისი: თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2010 წ, 143 გვ.
12. საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის ბრძანება N 297/ნ „გარემოს ხარისხობრივი მდგომარეობის ნორმების დამტკიცების შესახებ“ 2001 წლის 16 აგვისტო; კონსოლიდირებული ვერსია.
13. წყალმომარაგების წყაროებისა და სასმელ-სამეურნეო დანიშნულების წყალსადენების სანიტარიული დაცვის ზონები" სანწდან - 2.1.4.000 – 00
14. DG Consulting Limited; დ. გირგვლიანი. ჰიდროგეოლოგიური ანგარიში მარნეულის მუნიციპალიტეტში, სოფ დიდი მულანლოს ტერიტორიაზე მიწისქვეშა მტკნარი წყლის საბადოს საექსპლუატაციო მარაგების შეფასება ლიცენზია 1004158 და ლიცენზია 1005359 ; 2019 წლის 1 ნოემბერი.
15. Супаташвили Г.Д. Гидрохимия Грузии (пресные воды). Тбилиси: Издательство Тбилиского Университета, 2003, 399 с.
16. გარემოს ეროვნული სააგენტო; საქართველოს ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების დაბინძურების წელიწდეული 2013 – 2018; <http://nea.gov.ge/>

17. Клименко О.А., Быстов А.В., Геков В.Ф. Оперативный прогноз распространения в водотоках зон опасного аварийного загрязнения// Гидрохимические материалы. – 1991г. Т.100 , с. 93-1136.
18. Згуровский М.З., Скопецкий В.В., Хрущ В.К., Беляев Н.Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. Киев: Наукова думка. 1997г. с. 368.
19. Белолипецкий В.М., Генова С.Н., Петрашкевич В.И. Численное моделирование переноса примесей в речном потоке//Вычислительные технологии. 2001г. Т. 6, Ч. 2, Спец. выпуск. с. 127-133.
20. Белолипецкий В.М., Шокин Ю. И. Математические модели в задачах охраны окружающей среды. Новосибирск:ИНФОЛИО-пресс, 1997, 240 с.
21. Nokes R.I., I.R. Wood. Vertical and lateral turbulent dispersion: some experimental results//Journal Fluid Mech., Vol. 187, pp. 373-394
22. Czernuszenko W., P. Lebiecki. Turbulent characteristics of stream in water channel. IAHR, XVIII Congress, 10-14.09.1979, Cagliari, Italia. pp. 3-10.
23. Roberts, P.J.W., Webster D. R. Turbulent Diffusion, in Environmental Fluid Mechanics - Theories And Applications. H. Shen, Ed., ASCE, Reston, Va, 2002, 42 p.
24. Vertical and Transverse Mixing in Turbulent River Flows. <http://medina.cee.duke.edu/CE245/mixing.vt.pdf>.
25. Белолипецкий В.М., Генова С.Н., Петрашкевич В.И. Численное моделирование переноса примесей в речном потоке//Вычислительные технологии. 2001г. Т. 6, Ч. 2, Спец. выпуск. с. 127-133.
26. Белолипецкий В.М., Шокин Ю. И. Математические модели в задачах охраны окружающей среды. Новосибирск: Изд-во «ИНФОЛИО-пресс», 1997г. с. 240 .
27. Nokes R.I. Vertical and lateral turbulent dispersion: some experimental results / R.I. Nokes, I.R. Wood//Journal Fluid Mech., Vol. 187, pp. 373-394
28. Czernuszenko W. Turbulent characteristics of stream in water channel / W. Czernuszenko, P. Lebiecki // IAHR, XVIII Congress, 10-14.09.1979, Cagliari, Italia. pp. 3-10.
29. Roberts, P.J.W. Turbulent Diffusion, in Environmental Fluid Mechanics - Theories And Applications / P.J.W. Roberts, D.R. Webster // H. Shen, Ed., ASCE, Reston, Va, 2002, 42 p.
30. Математические модели контроля загрязнения воды. (Под. ред. А. Джеймса). Москва: Мир, 1981. 471 с.
31. Шлычков В.А., Набиева О.Р. Численная модель для описания локальных гидрологических процессов//Труды международной конференции "Математические методы в геофизике - ММГ-2003", Новосибирск . 2003г. с.395-399.
32. Handbook for Water Resources Management in Basins. GWP, INBO, 2009, 104 p.

33. Vanrolleghem P.A. Modeling Aspects of water Framework Directive Implementation. London: New-York: IWA Publishing - ISBN 92-3-103998-9, 2005, 680 p.
34. Пряжинская В.Г., Ярошевский Д.М. Левит-Гуревич Л.К. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. Москва: ФИЗМАТЛИТ? 2002, 496 с.
35. Surmava A. Numerical Simulation of Distribution of Contaminants Discharged to Kura river//Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 9, No. 1, 2015, pp.78-84.
36. სურმავა ა., ინჯკირველი ნ. ბუაჩიძე ლ. მდ. მტკვრის ამონიუმის ონით დაბინძურების თეორიული გამიკვლევა//საქართველოს ქიმიური ჟურნალი. vol. 14, No, 1. 2015 , გვ. 192-196.
37. Surmava A., Gverdtsiteli L., Bagrationi N.. Numerical Simulation of Distribution of Arsenic Discharged to Tskhenistskali and Lukhuni Rivers from Industrial Waste//საქართველოს მეცნ. ეროვნული აკადემიის მაცნე - ქიმიის სერია. ტ.42. N# 3, 2016, გვ. 413 – 415.
38. Kachiashvili K., Gordeziani D., Lazarov R., Melikdzhani D.. Modeling and simulation of pollutants transport in rivers//Applied Mathematical Modelling, vol. 31, issue 7, 2007, pp. 1371-1396. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2006.02.015>
39. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Москва: 2000, 839 с.
40. Супаташвили Г.Д.. Гидрохимия Грузии ( пресные воды). Тбилиси: Издательство Тбилиского Университета, 2003, 399 с.
41. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977, 541 с.
42. Гусер П.В., Макаров С.Б., Хачатуров А.Е., Хомулева М.Б., Цевелев В.Н., Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. Эколайн, 2000, с. 154 .Справочник материалы.
43. Унифицированные методы исследования качества вод. Часть I. Основные методы. Совет экономической взаимопомощи. Москва, 1992
44. გვერდწითელი ლ., ბაზღაძე ი., გეგეშიძე ჯ., შარაშიძე თ.. გარემოს ობიექტების დაცვის ანალიზის მეთოდები და საშუალებები. საწარმოო ჩამდინარე წყლების კონტროლი. I ნაწილი. თბილისი: საგამომცემო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2007, 83 გვ.
45. Вилигур К.С. Муравский В.Н. Гидрохимические материалы. 1987, т.71, 21-25 с.
46. Супаташвили Г.Д., Кикабидзе Т. Г., Махарадзе Г.А. Труды ТГУ, 1989, Т.287, 71-79 с.
47. Войткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.Е., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии, Москва: «Недра», 1990, с. 82-83.
48. Супаташвили Г.Д., Голиадзе Н.С., Гвелесиანი А.Т. Литология и полезные ископаемые. 1984, N6, 97-104 с.

49. Супаташвили Г.Д., Голиадзе Н.С. Григალაშვილი К.Н., Геохимия, 1979, N4, 622-629 с.
50. Супаташვილი Г.Д. Лორია Н.В. Сичинаვა Л.Т. Сообш. АН ГССР, 1977, 1981, т.103, N2, 377-380 с.
51. ნიკურაძე თ.რ., გვერდწითელი ლ.ვ., სურმავა ა.ა., მდინარე ხრამის აუზის ეკოქიმიური კვლევა//საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2019, ტომი 19 №1, გვ.132-139.
52. გვასალია ლ. ტექნოლოგიური პროცესების თეორიის საფუძვლები, II ნაწილი; თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2014წ, 132 გვ.
53. თელია თ. MS EXCEL ეკონომიკასა და ბიზნესში, თავი II. რეგრესიის განტოლება – სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი და პროგნოზირება, 2.3. დიალოგური ფანჯარა Format Trendline
54. ნიკურაძე თ.რ., გვერდწითელი ლ.ვ., სურმავა ა.ა., მდინარე ხრამის აუზის მიკრობიოლოგიური კვლევა//საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2018, №4, ტომი 88, გვ 60-62.
55. ქართული საბჭოთა ენციკლოპედია,1977. ტომი 3 (417 გვ.); 10 (580 გვ.): 11 (507 გვ.); 6 (507 გვ.) 1983; ტ.1 (გვ. 338-342), მთავარი ტ.5 (გვ. 545). სამეცნიერო რედაქცია
56. Супаташვილი Г.Д. Адамия Т.М., Меунаргия Н.В., Гурджия Ж.Г., Лория Н.В. Сообш. АН. ГССР, 1989, Т.133, 597-600 с.
57. Супаташვილი Г.Д., Цискаришვილი А.П., Меладзе Р.Т., Махарадзе Г.А., Голиадзе Н.С., Чхиквишვილი Н.Н. В кн: Гидробиологический реакции и ихтиофауна р. Курь, Тбилиси: «Мецნიереба», 1980, с.16-46.
58. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Москва: Издательство «Протектор», 2001, 304 с.
59. ნიკურაძე თ.რ., გვერდწითელი ლ.ვ., სურმავა ა.ა. მდინარე ხრამისა და მისი ძირითადი შენაკადების მამაკერასა და დებედას ფსკერული დანალექების ანალიზის შედეგები, „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება//პროფესორ ვიქტორ ერისთავის 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია, თბილისი 2019 წელი, გვ 260-262.
60. სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტი; საქართველოს მთავრობის დადგენილება №58; 2014 წლის 15 იანვარი, ქ. თბილისი;
61. ნიკურაძე თ.რ., გვერდწითელი ლ.ვ., სურმავა ა.ა., მდინარე ხრამის აუზის ჰაბურღილების მიწისქვეშა წყლების ეკოქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები, საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2019, ტომი 19 №1, გვ. 147-152.
62. ნიკურაძე თ.რ., გვერდწითელი ლ.ვ., სურმავა ა.ა., მდინარე ხრამის აუზის შახტური ჭების მიწისქვეშა წყლების ეკოქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზის შედეგები, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2019, ტომი 89, გვ 114-118.
63. Loucks D.P. and Eelco van Beek. Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications / Daniel

- P. Loucks and Eelco van Beek with contributions from Jery R. Stedinger, Jozef P.M. Dijkman, Monique T. Villars. Paris: UNESCO Publishing – ISBN 92-3-103998-9, 2005. 680 p.
64. Пушистов П.Ю., Вторушин М.Н., Романенко Р.Д., Земцов В.А. Разработка электронного реестра-справочника информационно-вычислительных средств для планирования и управления системой водных ресурсов // Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения//сб. науч. тр. Барнаул: ООО “Агентство рекламных технологий”, 2009 а, с. 546-557.
  65. Пушистов П. Ю, Данчев В.Н. Информационно-вычислительные комплексы водных объектов бассейна Оби. Часть 1 – ИВК «Северная Сосьва. Часть 2 – ИВК «Телецкое озеро». <https://www.lap-publishing.com/catalog/>
  66. Ресурсы поверхностных вод СССР.1974. Т. 9, Закавказье и Дагестан. Ленинград: Гидрометеиздат. 579 с.
  67. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л. Гидрометеиздат. 1974. 303 с.
  68. Марчук Л.– численные методы решения задач прогноза погоды. Гидрометеиздат, 1967, 356 с.