

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

გამოყენებითი ეკოლოგია



სოფიო ვეფხვაძე

კახეთის ტერიტორიაზე კავკასიონის კარსტული წყლების შესწავლა  
სტაბილური იზოტოპებისა და ჰიდროქიმიური მეთოდებით

სადისერტაციო ნაშრომი შესრულებულია ეკოლოგიის დოქტორის  
აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამის ხელმძღვანელი:

ლია მაჭავარიანი

გეოგრაფიის დოქტორი, თსუ პროფესორი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

გიორგი მელიქაძე

ეკოლოგია მინერალოგიის მეცნ. დოქტორი

თბილისი

2020

Ivane Javakishvili Tbilisi State University

Faculty of Exact and Natural Sciences

Department of Applied Ecology



**Sopio Vepkhvadze**

**Study Caucasus Karst Waters By Environmental Isotopes and Hydrochemical  
Methodology On The Territory Of Kakheti**

**The thesis work is performed to obtain a PhD degree in Ecology**

Doctoral program supervisor:

**Lia Matchavariani**

Professor, Doctor of Geography

Scientific supervisor:

**George Melikadze**

Doctor of sciences in Geology-mineralogy

Tbilisi

2020

## მადლობა

მინდა პატივისცემა გამოვხატო და მადლობა გადავუხადო ჩემს ხელმძღვანელს გეოლოგია-მინერალოგიის დოქტორ გიორგი მელიქაძეს, გამოყენებითი ეკოლოგიის მიმართულების ხელმძღვანელს, გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორ, პროფესორ ლია მაჭავარიანს და უცხოელ კონსულტანტ ჰიდროგეოლოგიის დოქტორ პეტერ მალიკს სამეცნიერო თანამშრომლობისათვის;

ფინანსური მხარდაჭერისათვის მადლობას ვუხდით შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნულ სამეცნიერო ფონდს, რომლის მიერ დაფინანსებული დოქტორანტის გრანტის PhDF2016\_95 (23.09.2016-23.09.2018 წწ), „კახეთის რეგიონის სასმელი წყლით მომარაგების გაუმჯობესების მიზნით, კავკასიონის კარსტული წყალშემცველი ჰორიზონტის რესურსების შესწავლა ეკოლოგიური იზოტოპებისა და ჰიდროქიმიური მეთოდოლოგიის გამოყენებით“ ბაზაზე შესრულდა სადისერტაციო ნაშრომი;

ასევე დისერტაციაში გამოყენებულია, შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებული პროექტის “ალაზანი-იორის წყალშემკრები აუზების შესწავლა (აღმოსავლეთ საქართველო) სტაბილური იზოტოპების გამოყენებით, მიწისქვეშა წყლების რესურსების მდგრადი განვითარების უზრუნველსაყოფად” გრანტის ნომერი 31/27 (15.04.2013-15.04.2016), ფარგლებში განხორციელებული ჰიდროქიმიური კვლევების ნაწილი.

სოფიო ვეფხვაძე  
თბილისი, 2020 წ

## ანოტაცია

კლიმატური ცვლილებების გავლენით ნალექების რაოდენობა კახეთის რეგიონში (აღმოსავლეთ საქართველო) მნიშვნელოვნად არის შემცირებული, რამაც გამოიწვია დაბლობებში ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების რესურსების შემცირება. თიანეთის, ახმეტის, ყვარელისა და ლაგოდეხის მიწისქვეშა წყლის სისტემები იკვებებიან კავკასიონის სამხრეთი ფერდიდან ჩამომდინარე წყლებით და მამასადაძე, აღნიშნული შეიძლება მიჩნეულ იქნას როგორც ალტერნატიული წყლის რესურსი ალაზნის აუზის მოსახლეობისათვის და მომიჯნავე მთისწინეთისათვის. მრავალი კარსტული წყალგამოვლინება დაიკვირვება აღნიშნულ რეგიონში, განსაკუთრებით კი სამხრეთ ნაწილში. კარსტული წყაროები, როგორცაა აფენის წყალი, ფატმასური და კუისწყალი, რომელთა ხარჯი მერყეობს 2.3-დან 250 ლ/წმ-მდე განთავსებულნი არიან დაბალ სიმაღლეებზე (Звиаდაძე,1995) წყლის ნაწილი იფილტრება კავკასიონის სამხრეთი ფერდის გასწვრივ, ფორმირდება წყაროების სახით და კვებავს ალაზნის ველს, მაშინ როცა ნაწილი მოძრაობს ღრმად, კვებავს არტეზიულ წყალშემცველ ჰორიზონტს და განიტვირთება ალაზნის ველის გასწვრივ. გარდა ნალექებისა, ზედაპირული წყლები თამაშობენ მნიშვნელოვან როლს რეგიონალური მასშტაბის მიწისქვეშა წყლის კვების საქმეში.

ნალექებში, მიწისქვეშა და ზედაპირულ წყლებში სტაბილური ( $^{18}\text{O}$  და  $^2\text{H}$ ) იზოტოპების დროით ვარიაციებზე მონიტორინგი განხორციელებულ იქნა კახეთის რეგიონში (აღმოსავლეთ საქართველო). მონაცემები გროვდებოდა სამი მეტეოროლოგიური სადგურიდან, რომლებიც განლაგებულია 400-დან 1100-მდე მეტრის სიმაღლეზე ზღვის დონიდან, ორი ზედაპირული წყლის სამონიტორინგო სადგურიდან (მდინარე ალაზანი და კარსტული ღელე ფატმასური), ერთი ღრმა ჰიდროგეოლოგიური ჭაბურღილიდან (ჰერეთისკარი), ამასთან ერთად, სინჯების პერიოდული შეგროვება ხდებოდა არაღრმა ჭაბურღილებიდან და მდინარეებიდან.

ნალექებში  $^{18}\text{O}$  მნიშვნელობა უზვენებს წლიურ ვარიაციებს -22 ‰-დან +1 ‰-მდე დიაპაზონში და მკვეთრ სიმაღლის ეფექტს. თვალსაჩინოა კორელაცია სეზონური ნალექების იზოტოპურ შემადგენლობასა და არაღრმა მიწისქვეშა და ზედაპირულ

წყლებს შორის. იზოტოპურ მონაცემებში შეინიშნება ამპლიტუდური წანაცვლება და 10-15 დღიანი დაგვიანებით. ზამთრის ნალექებში გამოსახული იზოტოპური სიგნალი აისახება კარსტულ წყალ ფატმასურში, ასევე არაღრმა მიწისქვეშა წყლებში და 2 000 მეტრის სიღრმეში მდებარე ჰერეთისკარის მიწისქვეშა წყალში. ჰერეთისკარის ჭაბურღილის იზოტოპური მონაცემები უჩვენებს მკვეთრად განსხვავებულ მახასიათებლებს, სადაც  $\delta^{18}\text{O}$  მერყეობს 2.8 ‰-დან -2.2 ‰-მდე, ხოლო წყალბადის მნიშვნელობები -25 ‰-ის ფარგლებშია.

გადაადგილების დროის გამოთვლა დაფუძნებულ იყო  $\delta^{18}\text{O}$ -ის იზოტოპის მნიშვნელობების ცვლილებაზე. გადაადგილების დროის შეფასება ხდება სპეციალიზებული მეთოდით „lumped parameter model“-ის მეშვეობით (McGuire and McDonnell, 2006). იგი საშუალებას იძლევა მონაცემთა სინუსოიდური ხასიათიდან გამომდინარე გამოითვალოს გადაადგილების დრო სადგურებს შორის. ასე მაგალითად, თელავის მეტეოროლოგიური სადგურიდან და კარსტულ წყარო ფატმასურამდე. აქ გადაადგილების დრომ შეადგინა 17 თვე.

გლობალურ მეტეოროლოგიურ ხაზზე იზოტოპური მონაცემების განთავსებით შეიმჩნევა, რომ კარსტული ღელე ფატმასური თანამედროვე მეტეოროლოგიური წარმოშობისაა, რომელიც უმთავრესად იკვებება ნალექებით.

მიწისქვეშა წყლების კვება დიდი კავკასიონის სამხრეთი ფერდიდან შეიძლება ჩაითვალოს სასმელი წყლის ალტერნატიულ რესურსად ალაზნის აუზისა და მომიჯნავე მთისწინეთში. განხორციელებული კვლევები უჩვენებს, რომ მიწისქვეშა წყალი რომელიც მიედინება ზედა-იურა ქვედა-ცარცულ კარსტულ წყალშემცველ ჰორიზონტში სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით, კვებავს ალაზნის ველის ზედაპირულ წყლებს და არაღრმა მიწისქვეშა წყლებს. ალაზნის ველის ღრმა მიწისქვეშა წყლის იზოტოპური მონაცემები უჩვენებს მკაფიოდ განსხვავებულ მახასიათებლებს. აღნიშნული წყლების გენეზისის და მათი კარსტულ წყალშემცველ ჰორიზონტთან შესაძლო კავშირის დადგენა მოითხოვს დამატებით იზოტოპურ, ჰიდროდინამიკურ და ჰიდროქიმიურ კვლევებს.

## Abstract

Impact of climate change has caused a significant decrease of precipitation in the region of Kakheti (East Georgia), leading to the depletion of local deep and shallow groundwater resources in the water-scarce areas of the lowlands. Groundwater resources of the Tianeti, Akhmeta, Kvareli and Lagodekhi confined groundwater systems, recharged on the southern slopes of the Greater Caucasus Mountains, may be considered as an alternative water supply for the communities in the Alazani basin and the adjacent foothills. Numerous karst features are found here, especially in the southern part such as e.g. Apenis Tskali, Patmasuri, Tsivi Tskali and Kuistskali with discharge varying from 2.3 up to 250 L/sec are present at lower altitudes. A part of the water infiltrating along the southern slope of the Greater Caucasus Mountains reappears in the form of springs feeding the streams in valleys, while another part moves deeper, feeds artesian aquifers and discharges along the Alazani valley. In addition to precipitation, surface waters also play an important role as the source of regional groundwater recharge.

Monitoring temporal variations of  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$  isotopes in precipitation, groundwater and surface water was performed in the region of Kakheti (East Georgia). Data were collected from three meteorological stations at altitudes between 400 – 1,100 m a.s.l., from one deep hydrogeological borehole (Heretiskari) and from two surface water monitoring stations (Alazani River and Patmasuri karstic stream), herewith samples have been collected from shallow boreholes and rivers.

$^{18}\text{O}$  values in precipitation show an annual variation between -22 ‰ and +1 ‰ and a distinct altitude effect. A clear correlation exists between the seasonal isotope composition of precipitation, shallow groundwater and surface water. A five-fold amplitude dampening and a delay of 10-15 days was observed. The isotopic signature of winter precipitation is reflected in stream water as well as in shallow groundwater isotope data of groundwater in a 2,000-m-deep hydrogeological borehole at Heretiskari show a distinctly different character with  $\delta^{18}\text{O}$  ranging between -2.8 ‰ to -2.2 ‰ and a deuterium excess of -25 ‰.

Calculation of the mean transit time (MTT) was based on changes in  $\delta^{18}\text{O}$ . Estimation of transit time using the lumped parameter model (McGuire and McDonnell, 2006). It gives us

possibility to be calculated transit time between monitoring stations. For instance, calculated mean transit time by computationally simple sine wave method from Telavi meteorological station to karstic stream Patmasuri showed 17 months.

Isotope data displayed in GMWL show that water of the Patmasuri karstic stream is of modern meteoric origin, predominantly fed by precipitation.

The groundwaters recharging at the southern slopes of the Greater Caucasus may be considered as alternative drinking water resources for the communities in the Alazani basin and adjacent foothills.

This study demonstrates that groundwater, flowing through the Upper Jurassic – Lower Cretaceous karstic aquifer towards the South-East, feeds into surface waters and shallow groundwater in the Alazani Valley. Isotope data of deep groundwater in the valley show a distinctly different character. Identification of the origin of these waters and of possible links to the karst aquifer requires further hydrogeological and hydrochemical investigation.

ანოტაცია.....	2
Abstract.....	4
თავი 1. კვლევითი თემის აქტუალობა და მისი თანამედროვე მდგომარეობა.....	11
§1.1 საკვლევო პრობლემა.....	11
§1.2 საკვლევო ტერიტორია.....	13
§1.2.1 გეოგრაფია, კლიმატი, ჰიდროლოგია.....	13
§1.2.2 ჰიდროგრაფია .....	16
§1.2.3 გეოლოგია და ჰიდროგეოლოგია .....	17
თავი 2. კვლევის მიზანი, სიახლე და მნიშვნელობა .....	22
თავი 3. ლიტერატურული მიმოხილვა .....	25
თავი 4. კვლევის მეთოდოლოგია .....	31
§4.1 შერჩეულ უბნებში ნალექების, მდინარეების წყლის და მიწისქვეშა წყლების იზოტოპური შემადგენლობის მონიტორინგი .....	32
§4.1.1 ატმოსფერულ ნალექებზე მონიტორინგის შედეგები .....	35
§4.1.2 ზედაპირულ წყლებზე მონიტორინგის შედეგები .....	43
§4.1.3 მიწისქვეშა წყლებზე მონიტორინგის შედეგები .....	49
§4.2 გადაადგილების დრო .....	55
§4.3 ჰიდროქიმიური დასინჯვები საკვლევ რეგიონში .....	59
§4.3.1 მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმიური ზონალობა .....	67
დასკვნები .....	70
გამოყენებული ლიტერატურა.....	77



ცხრილი N1.სარეჟიმო პუნქტების მდებარეობა.....	34
სურ.1 ალაზნის ველი და კახეთის კავკასიონი, ხედი სიღნაღიდან .....	14
სურ.2 ალაზნის ველი.....	16
სურ.3 მეტეოროლოგიური სადგურების განლაგება.....	34
სურ.4 კარსტული ღელე ფატმასური.....	45
სურ. 5 საველე პირობებში ფიზიკური პარამეტრების გაზომვის პროცესი .....	52
სურ.6 გადაადგილების დროის კონცეპტუალური დიაგრამა.....	56
ნახ.1 გეოლოგიური რუკა .....	18
ნახ.2 საკვლევი ტერიტორიის გეოლოგიური მიმოხილვა და მისი მდებარეობა კავკასიის რეგიონში, მეტეოროლოგიური და ჰიდროლოგიური სადგურების და ჭაბურღილების განლაგებით.....	33
ნახ.3 თიანეთის მეტეოსადგურზე ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი.....	36
ნახ.4 თიანეთის მეტეოსადგურზე ნალექების ცვლილების გრაფიკი.....	36
ნახ.5 თიანეთის მეტეოსადგურზე ატმოსფერული ნალექების იზოტოპური შემადგენლობის ცვლილება დროში.....	37
ნახ.6 ლაგოდეხის მეტეოსადგურზე ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი 2013 წლის იანვრიდან 2018 წლის მაისამდე.....	38
ნახ.7 ლაგოდეხის მეტეოსადგურზე ნალექების ცვლილების გრაფიკი.....	38
ნახ.8 ლაგოდეხის მეტეოსადგურზე ატმოსფერული ნალექების იზოტოპური შემადგენლობის დროში ცვლილების გრაფიკები.....	39
ნახ.9 თელავის მეტეოსადგურზე ყოველდღიური ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი.....	40
ნახ.10 თელავის მეტეო სადგურზე ყოველდღიური ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი.....	40
ნახ.11 თელავის მეტეოსადგურის ნალექების იზოტოპური მნიშვნელობები.....	41

ნახ.12 ნალექების იზოტოპების განაწილება გლობალური მეტეოროლოგიური წყლის ხაზის გასწვრივ.....	42
ნახ.13 შაქრიანის ჰიდროლოგიურ სადგურზე მდინარე ალაზნის ხარჯის ცვლილების გრაფიკი 2013-2018 წწ.....	43
ნახ.14 მდინარე ალაზნის (შაქრიანი) ჰიდროლოგიური სადგურის იზოტოპური შემადგენლობის დროში ცვლილების გრაფიკები.....	44
ნახ.15 $\delta^{18}\text{O}$ -ის მნიშვნელობები მდინარე ალაზანში(შაქრიანი) და ნალექებში (თელავის მეტეოსადგურზე ) 2013-2018 წლის განმავლობაში.....	44
ნახ.16 წყლის დონე და იზოტოპური მნიშვნელობები კარსტულ ღელე ფატმასურში 2016-2018 წლის პერიოდისათვის.....	45
ნახ.17 $\delta^{18}\text{O}$ მნიშვნელობები ნალექებში(თელავის მეტეო სადგური),მდინარე ალაზნის წყალში (შაქრიანთან) და ფატმასურის კარსტულ ღელეში 2016-2017 წლის პერიოდისათვის.....	46
ნახ.18 ყოველთვიური ნალექების, მდინარე ალაზნისა და კარსტული ღელე ფატმასურის ბოქს-ვისკერის ტიპის გრაფიკები.....	47
ნახ.19 $\delta^2\text{H}$ -ის დროში ცვლილების გრაფიკები ნალექებში, მდინარე ალაზანში შაქრიანთან (თელავთან ახლოს) და კარსტულ ღელე ფატმასურში.....	48
ნახ.20 თელავის რაიონის ჭაბურღილებში, მდინარეებში და ნალექებში იზოტოპების დროში ცვლილებების გრაფიკები.....	50
ნახ.21 ლაგოდეხის რაიონის ჭაბურღილებში, მდინარეებში და ნალექებში იზოტოპების დროში ცვლილებების გრაფიკები.....	51
ნახ.22 $\delta^{18}\text{O}$ და $\delta^2\text{H}$ მნიშვნელობების ვარიაციები გურჯაანის და საგარეჯოს არაღრმა მიწისქვეშა წყლებსა და ფატმასურის კარსტულ ღელეში.....	52
ნახ.23 $\delta^{18}\text{O}$ და $\delta^2\text{H}$ მნიშვნელობების ვარიაციები ჰერეთისკარის ღრმა მიწისქვეშა წყალსა და არაღრმა ზედაპირულ ჭაბურღილებში.....	52
ნახ.24 მიწისქვეშა წყლების იზოტოპური შემადგენლობის ბოქს-ვისკერის გრაფიკები.....	53

ნახ.25 $\delta^{18}\text{O}$ და $\delta^2\text{H}$ მნიშვნელობები ზედაპირულ წყლებში, არალრმა და ღრმა მიწისქვეშა წყლებში განთავსდა გლობალური მეტეოროლოგიური ხაზის გასწვრივ.....	54
ნახ.26 ფატმასურის კარსტულ ღელესა და თელავის მეტეოროლოგიურ სადგურზე იზოტოპების ყოველთვიური მონაცემების ცვლილების სინუსოიდალური გრაფიკები.....	58
ნახ.27 წყალპუნქტების განაწილება გეოლოგიურ რუკაზე.....	59
ნახ.28 ალაზანი-იორის ტერიტორიაზე მიწისქვეშა წყლებში ელექტრული გამტარებლობის სივრცული განაწილება.....	63
ნახ.29 ალაზანი-იორის ტერიტორიაზე მიწისქვეშა წყლებში ჰიდროქიმიური პარამეტრების განაწილების რუკები.....	66
ნახ.30 ალაზანი-იორის ტერიტორიაზე მიწისქვეშა წყლებში ჰიდროქიმიური პარამეტრების განაწილების რუკები.....	68
ნახ.31 ყველა წყალშემცველი ჰორიზონტის მიწისქვეშა წყლების ერთიანი ჰიდროქიმიური შემადგენლობის გრაფიკი.....	69
ნახ.32 კარსტული წყლების ჰიდროქიმიური შემადგენლობის გრაფიკი.....	70

## აბრევიატურები

**IAEA**– International Atomic Energy Agency **აესს** (ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტო)

**GNIP** – Global Network of Isotopes in Precipitation ( ნალექებში იზოტოპების საერთაშორისო ქსელი)

**GNIR** – Global Network of Isotopes in Rivers (მდინარეებში იზოტოპების საერთაშორისო ქსელი)

**GIS** – Geographic Information System (გეოინფორმაციული სისტემა)

**VSMOW**-ვენის სტანდარტი, ოკეანის წყალი

## თავი 1. კვლევითი თემის აქტუალობა და მისი თანამედროვე მდგომარეობა

### 1.1 საკვლევო პრობლემა

კლიმატური ცვლილებების გავლენით კახეთის რეგიონის ფარგლებში ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა უკვე მნიშვნელოვნად არის შემცირებული, რამაც გამოიწვია ზედაპირული წყლების უმეტესი ნაკადების ხარჯისა და მიწისქვეშა წყლების ბუნებრივი გამოსავლების – წყაროების დებიტების მკვეთრი შემცირება, ზოგან კი – დაშრობა; გრუნტის წყლების დონეების არსებითი დაწვეა და შესაბამისად, აერაციისა და მიწის ქერქის გამოფიტვის ზონების სიმძლავრის ზრდა, ქარისმიერი ეროზიის საგრძნობი გააქტიურება; მცენარეული საფარის გავრცელების (მათ შორის – სამოვრების) ფართის არსებითი შემცირება. როგორც ვხედავთ, საქმე გვაქვს გაუდაბნობის პროცესების გააქტიურების მკაფიოდ გამოხატულ ტენდენციასთან.

ცხადია, აღნიშნულმა ნეგატიურმა ეკოლოგიურმა მოვლენებმა შესაბამისად გამოიწვია ამ რაიონების მოსახლეობის სოციალურ-ეკონომიკური პირობების გაუარესება და ეს მდგომარეობა კიდევ უფრო გამწვავდება იმის გამო, რომ აღნიშნული ტერიტორიის მოსახლეობა უკვე განიცდის როგორც სასმელ-სამეურნეო, ისე სარწყავი წყლის მწვავე დეფიციტს. უფრო მეტიც, გაუდაბნობამ, მომავალში ნეგატიური ეკოლოგიური პროცესების გაძლიერებისას, ადვილად შესაძლებელია შეუქცევადი ხასიათი მიიღოს და სოფლის მეურნეობის პროდუქტების, განსაკუთრებით კი – მარცვლეულის, მეცხოველეობისა და მევენახეობის წარმოების, ნავთობისა და გაზის მოპოვებისა და ამ დარგების განვითარების თვალსაზრისით ყველაზე პერსპექტიული, ქვეყნისათვის ესოდენ მნიშვნელოვანი რეგიონი მოსახლეობისაგან დაიცალოს.

ალაზნის აუზის წყალშემცველი ჰორიზონტები იკვებებიან დიდი კავკასიონის სამხრეთი ფერდისა და კახეთის ქედის ჩრდილოეთი ფერდის ცარცული და იურული ასაკის ფორმაციებიდან. მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნული ჰორიზონტი ზოგადად არტეზიული წყლის სიუხვით გამოირჩევა, მზარდი მოსახლეობისა და შესაბამისად, ინდუსტრიისა და აგრარული საქმიანობის პირობებში, ჩნდება დამატებითი მოთხოვნა ამ რესურსებისადმი. ისტორიულად, ალაზნის ტერიტორიაზე არ აღინიშნებოდა

მიდრეკილება გვალვებისა და წყლის დეფიციტისაკენ. თუმცა, 1961-1990 წლების მონაცემების მიხედვით, საშუალო წლიური ჩამონადენის რაოდენობა 2011-2040 წლებისათვის, ტემპერატურის 1.3 °C -ით მატებისა და ნალექების 12 % -ით შემცირების პირობებში, სავარაუდოდ შემცირდება 12 % -ით (Shotadze and Barnovi.,2011). ამან შეიძლება გამოიწვიოს მიწისქვეშა წყლების კვების შემცირება, რაც გამოიწვევს სასმელი და სამეურნეო წყლის დეფიციტს.

1940 წლიდან მოყოლებული აღმოსავლეთ საქართველოს მიწისქვეშა წყლის რესურსები სისტემატიურად შეისწავლებოდა. პირველი ჭაბურღილები გაიხურდა ალაზნის აუზის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში (ყვარელის წყალშემცველი ჰორიზონტი). გეოფიზიკური და ჰიდროქიმიური კვლევები 1990 წლამდე გრძელდებოდა, მაგრამ მასალები ქვეყნდებოდა ძალიან იშვიათად. 1950- 1960 წწ გეოქიმიური მონაცემების ნაწილი გამოქვეყნდა USAID- ის ანგარიშში „ალაზნის აუზის მიწისქვეშა წყლების რესურსები“ (2002). გასული საუკუნის 70-80-იანი წლების მასალები ნაწილობრივ იქნა დამუშავებული შრომებში: ბესელია (1988), ბაგოშვილი (1990), ბუაჩიძე და ზედგინიძე (1985). მათ გამოავლინეს ალაზნის აუზის მთავარი წყალშემცველი ჰორიზონტების (ყვარელი, თელავი, გურჯაანი) ჰიდროგეოლოგიური და ჰიდროქიმიური მახასიათებლები. იმის გამო, რომ ზედაპირული წყლები, ინსტიტუციური თვალსაზრისით, შეისწავლებოდა განცალკევებით, ძალიან ცოტაა ცნობილი მდინარეებსა და წყალშემცველ ჰორიზონტებს შორის ურთიერთქმედებაზე, ისევე, როგორც მიწისქვეშა წყლების შევსების შესახებ. ამდენად, საჭირო იყო მიწისქვეშა წყლების რესურსების უკეთესი შეფასება.

საერთაშორისო ატომური ენერჯის სააგენტოსა და ქართველი ექსპერტების წყალობით, სხვადასხვა პროექტების ფარგლებში, საქართველომ შექმნა სოლიდური ბაზა თანამედროვე იზოტოპური მეთოდების გამოყენებისა წყლის რესურსების შეფასების საქმეში, რაც არასდროს ყოფილა გამოყენებული საკვლევ ტერიტორიაზე. აღნიშნული მეთოდიკა პირველად იქნა გამოყენებული ალაზან-იორის მდინარეთა აუზებში (Melikadze et al., 2014).

## 1.2 საკვლევი ტერიტორია

### 1.2.1 გეოგრაფია, კლიმატი, ჰიდროლოგია

ალაზნის აუზის წყალშემცველი ჰორიზონტები იკვებებიან დიდი კავკასიონის სამხრეთი ფერდისა და კახეთის ქედის ჩრდილოეთი ფერდის ცარცული და იურული ასაკის ფორმაციებიდან. მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნული ჰორიზონტი ზოგადად არტეზიული წყლის სიუხვით გამოირჩევა, მზარდი მოსახლეობისა და შესაბამისად, ინდუსტრიისა და აგრარული საქმიანობის პირობებში, ჩნდება დამატებითი მოთხოვნა ამ რესურსებისადმი. ისტორიულად, ალაზნის ტერიტორიაზე არ აღინიშნებოდა მიდრეკილება გვალვებისა და წყლის დეფიციტისაკენ. თუმცა, 1961-1990 წლების მონაცემების მიხედვით, საშუალო წლიური ჩამონადენის რაოდენობა 2011-2040 წლებისათვის, ტემპერატურის 1.3°C -ით მატებისა და ნალექების 12 % -ით შემცირების პირობებში, სავარაუდოდ შემცირდება 12 % -ით (Shotadze and Barnovi., 2011). ამან შეიძლება გამოიწვიოს მიწისქვეშა წყლების კვების შემცირება, რაც გამოიწვევს სასმელი და სამეურნეო წყლის დეფიციტს.

ალაზანი-იორის არტეზიული აუზი და მისი შემოგარენი შესაძლებელია დაიყოს ოთხ გეოგრაფიულ ერთეულად (Gaprindashvili, 2002):

- ა) დიდი კავკასიონის სამხრეთი ფერდი
- ბ) კახეთის (ცივგომბორის) ქედი
- გ) გარეკახეთის პლატო
- დ) ალაზნის ველი

კავკასიონის სამხრეთი ფერდი გადაჭიმულია ცივგომბორიდან ალაზანი-აგრიჩაის ველის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილამდე. მას აქვს ციცაბო რელიეფი უამრავი ღრმა და ვიწრო ურთიერთგადამკვეთი ხეობებით. მისი აბსოლუტური სიმაღლე ზღვის დონიდან 3500 მ-ს აღწევს (Gudjabidze, 2003), გადასვლა მთიანი ადგილებიდან დაბლობისაკენ მკვეთრია მძლავრი კონუსებით, რომლებიც აგებულია ლოდ-კენჭოვანი მასალით ქვიშისა და ხრემის შემცველობით. ეს ქანები კარგი წყალგამტარია და დაბალი

წყლიანობის პერიოდში შეიწოვენ ამ ტერიტორიაზე მდებარე ალაზნის მარცხენა შენაკადების წყლებს. ტერიტორია კარგადაა დაცული ცივი ჰაერის მასების შემოჭრისაგან როგორც ჩრდილოეთიდან, ასევე ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან. სწორედ ამიტაა გამოწვეული იმავე აბსოლუტური სიმაღლეების მის მეზობელ ტერიტორიებთან შედარებით ჰაერის მაღალი თერმული დონე.



სურ. 1 ალაზნის ველი და კახეთის კავკასიონი, ხედი სიღნაღიდან

ანტიკლინური კახეთის (ცივგომბორი) ქედი წარმოადგენს მთავარი კავკასიონის სამხრეთი ფერდის განშტოებას, რომელიც ალაზნის ველს სამხრეთ-დასავლეთიდან ესაზღვრება. ის გადაჭიმულია ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთით და მისი აბსოლუტური სიმაღლე მის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში დაახლოებით 2000 მეტრს აღწევს (ცივიტურა 1990 მ, გომბორი 1840 მ). კახეთის ქედის ჩრდილო-აღმოსავლეთი ნაწილი ხასიათდება ალაზნის მარჯვენა შენაკადების ღრმა ხეობებით. ქედის ჩრდილო-აღმოსავლეთი ფერდი თანდათანობით ერწყმის ალაზნის ველს.

ალაზნის ველისა და წყალგამყოფი ქედის აბსოლუტურ სიმაღლეთა შორის განსხვავება მერყეობს 500 მ-დან 1700 მ-მდე. კახეთის ქედის მკვეთრი აღზევება ორ გრძივად გადაჭიმულ ზომიერად ნოტიო კლიმატის დაბლობს შორის განაპირობებს



ალაზნისა და იორის მრავალი შენაკადის ფორმირებას, რომლებიც ქმნიან ღრმა, უმეტესად განივ ხეობებს. ალუვიური გამონატანები აგებულია პროლუვიული დეპოზიტების ქვიშებითა და კენჭებით და განლაგებულია ქედის ძირში.

მიუხედავად სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით ძირითადი რეგიონალური დახრილობისა, დაბლობი შემოკონტურებულია როგორც ჩაკეტილი დეპრესია. ამ ადგილას, ჰიდროგრაფიული ქსელის ნაკლებობის პირობებში, მიწისქვეშა წყლების შევსება-კვება ხდება ატმოსფერული ნალექების ხარჯზე.

ტერიტორიის კლიმატი მშრალია, მცირე რაოდენობის ატმოსფერული ნალექებით (200-600 მმ/წელიწადში) და ჰაერის ტენიანობის უარყოფითი ბალანსით. ტყის საფარი როგორც წესი უმეტესად არ გვხვდება.

40 კმ-მდე სიგანის ტრანსსასაზღვრო ალაზნის ველი გადაჭიმულია 220 კილომეტრზე ახმეტის მთების ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ მდინარე აგრიჩაის სათავისაკენ აზერბაიჯანში. საქართველოს ტერიტორიაზე მოქცეულია დაახლოებით მისი 2300 კმ<sup>2</sup> ფართობი.

მდინარე ალაზანი წარმოადგენს მდინარე მტკვრის მარცხენა შენაკადს, რომელიც სათავეს დიდი კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე იღებს. მისი საშუალო ხარჯი (1951-1980) აგრიჩაისთან (აზერბაიჯანი) შერთვამდე 112 მ<sup>3</sup>/წმ -ია (Gaprindashvili, 2002). ალაზნის მარჯვენა შენაკადების სათავეები მდებარეობს კახეთის (ცივგომბორის) ქედზე და მათი კვების ძირითადი წყარო სწრაფად დამდნარი თოვლი ან წვიმაა.

ეს რესურსები სწრაფად ილევა მაისში და ივნისში მოვარდნილი წყალდიდობისას, წყალშემცველი ჰორიზონტები და მდინარეები მიედინებიან დიდი კავკასიონის სამხრეთი ფერდიდან და წარმოადგენენ მდინარე ალაზნის მთავარ მკვებავ წყაროს. ალაზნის ველი წარმოადგენს მთათაშორის დეპრესიას, რომლის ორივე მხარე ტალღოვანია და მთაგორიანი, რაც გამოწვეულია ურთიერთგადამკვეთი ხეობების ურთიერთქმედებით. ალაზნის მარცხენა შენაკადების ხეობები ჩვეულებრივ უფრო დიდია, ვიდრე მისი მარჯვენა შენაკადებისა.



სურ.2 ალაზნის ველი

ალაზნის ველის კლიმატი ზომიერად კონტინენტურია. თვიური მაქსიმალური ტემპერატურა მერყეობს 22.7 °C თელავში 27.2 °C -მდე გურჯაანში და მინიმალური თვიური ტემპერატურა მერყეობს 1.1 °C -დან თელავში 1.2 °C -მდე წნორში. საშუალო წლიური ნალექიანობა 465-1016 მმ-ია და საშუალო წლიური აორთქლებადობა იცვლება 561 მმ-დან ახმეტაში 710 მმ-მდე გარეკახეთის პლატოზე (Gaprindashvili, 2002). ტერიტორიაზე დომინირებს მთა-დაბლობის მიმართულების ქარები, მაქსიმალური ნალექიანობით გაზაფხულზე და მინიმალურით - ზამთარში.

### 1.2.2. ჰიდროგრაფია

ალაზნის ველი დაღარულია მდინარეების საკმაოდ მჭიდრო ქსელით. ტერიტორიის წყლის მთავარი არტერია მდინარე ალაზანი, მდინარე მტკვრის მარცხენა შენაკადია.

მდინარე ალაზანი სათავეს იღებს დიდი კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე. დასაწყისში იგი მიედინება სამხრეთ-დასავლეთის, ხოლო ალაზნის ველთან მიახლოებისას აგრძელებს დინებას სამხრეთ - აღმოსავლეთის მიმართულებით.

ალაზნის ველზე იგი ჯერ კავკასიონის ძირში მიედინება, შემდეგ, თითქმის მის შუა წელში და დიდი შირაქის სტეპების ჩრდილოეთ ნაწილში, დინებას იწყებს მარჯვენა

მხარეს. მდინარე აგრიჩაის შესართავიდან მდინარე ალაზანი მკვეთრად იცვლის მიმართულებას სამხრეთისაკენ და კვეთს შირაქის შემალღების ვიწრო კანიონს.

მდინარის ხარჯი ძალიან მცირეა და არ აჭარბებს რამდენიმე ათასეულს, რის გამოც მდინარე ალაზანი ძლიერად მეანდრირებს და ხშირად ქმნის ტბებს. იშვიათი წყალდიდობისას მდინარეს ჩამოაქვს დიდი რაოდენობის შეწონილი მასალა. ალაზნის საშუალო წლიური ხარჯი 2 კმ ქვევით მდინარე აგრიჩაისთან ჰიდროსადგურის მონაცემების მიხედვით შეადგენს 140 მ<sup>3</sup>/წმ - ს. გაზაფხულზე და ადრეულ ზაფხულში წყლის ხარჯი რამდენჯერმე იზრდება და აღწევს 560 მ<sup>3</sup>/წმ - ს.

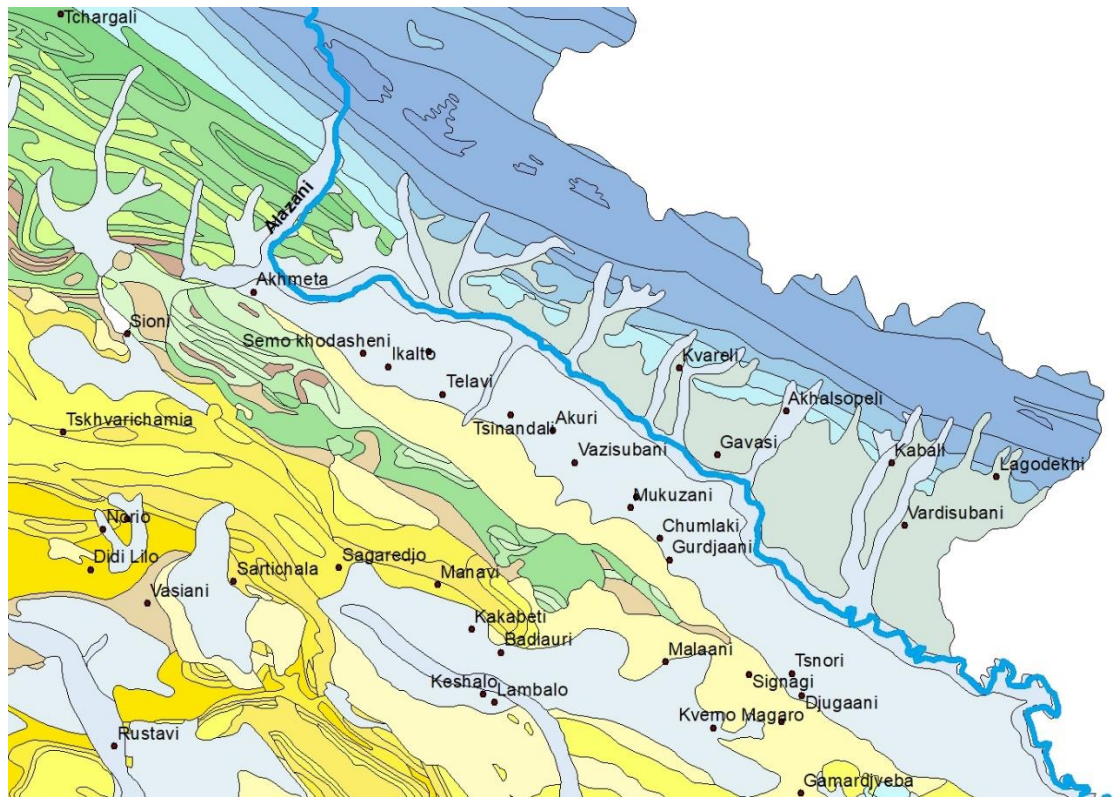
არტეზიულ აუზში მდინარე ალაზანს დიდი რაოდენობით შენაკადები აქვს. მარცხენა და მარჯვენა შენაკადებს, თავის მხრივ, აქვთ დიდი რაოდენობის შენაკადები მდინარეებისა და ნაკადების სახით.

### 1.2.3 გეოლოგია და ჰიდროგეოლოგია

საკვლევ ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულება წარმოადგენს იურული, ცარცული, პალეოგენური, ნეოგენური და მეოთხეული ასაკის ქანების კომპლექსს. ტერიტორიის უმეტესი ნაწილი დიდი კავკასიონის ნაოჭა სისტემას მიეკუთვნება და მხოლოდ მისი მცირე ნაწილი სამხრეთ-აღმოსავლეთით (გარეკახეთის პლატო) ეკუთვნის ტრანსკავკასიურ მთათაშუა ზონას (Gudjabidze, 2003). კახეთის ქედის ნაოჭა სისტემა წარმოადგენს დიდი კავკასიონის სამხრეთი ფერდის სამხრეთ-აღმოსავლეთ განშტოებას და აგებულია იურული და პლიოცენის ასაკის ქანებით (Gudjabidze 2003; Sima, 2013)

თავის მხრივ, კახეთის ქედის ჩრდილო-აღმოსავლეთი და ჩრდილო-დასავლეთი ფერდები ფორმირებულია ალაზნის ნეოგენური და პლიოცენური ასაკის კონტინენტური დანალექი წყებებისაგან. მათი მაქსიმალური სიმძლავრე 2 კმ-ია (Sima, 2013) და მათი ძირითადი შემადგენელი კომპონენტებია, კენჭები, კონგლომერატები და ქვიშები. კენჭები ძირითადად შედგება ქვიშაქვების დიდი ზომის ლოდებისა და კირქვების მასალისაგან. ალაზნის ველი დიდ კავკასიონსა და კახეთის ქედს შორის შეესებოდა მეოთხეული ასაკის ნალექებით და მდინარე ალაზნის დანალექი ქანებით. იგი შედგება ქვიშა- კენჭებითა და თიხნარებით, რომლებიც ქმნიან რამოდენიმე წყალშემცველ

ჰორიზონტს დაახლოებით 500 მ-ის სიღრმეზე, მათ შორის ძირითადია ყვარლის, გურჯაანისა და თელავის ჰორიზონტები. ალაზნის ველის დანალექი ქანების წყების საერთო სიმძლავრე, რომელიც განლაგებულია კრისტალური ქანების ზედაპირზე, მერყეობს 2-დან 4 კმ-მდე (Sima, 2013).



ნახ.1 გეოლოგიური რუკა

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე ფართოდაა გავრცელებული ცარცული და იურული ასაკის კარბონატული ფლიშური ნალექები (Звиадаძე 1995), მთლიანი კახეთის ალაზნის იქითა ნაწილზე 500-600 მეტრის აბსოლუტურ სიმაღლეზე. ამოდიან ზედაპირზე ეს ქანები და მოიცავენ გარდამავალ ზოლს ალაზნის ველსა და კავკასიონის სამხრეთი ფერდს შორის. ეს ნალექები ხასიათდება მაღალი წყალშემცველობით, რაც განასხვავებს მათ ჩრდილოეთით მდებარე საშუალო და ზედა ლეიასის ნაკლებად წყალშემცველ ქანებისაგან. კარბონატული ქანები ადგილ-ადგილ ძალიან დაკარსტულია. არაღრმა ცირკულაციის წყლები წარმოქმნიან მრავალრიცხოვან

მძლავრ კარსტულ წყაროებს, რომლებიც ვრცელდებიან ალაზნის დეპრესიისა და მთიანი სისტემის კონტაქტის გასწვრივ დიდ მანძილზე. დაკარსტულობის ინტენსიურობის გადამწყვეტ ფაქტორს წარმოადგენს ქანების ლითოლოგიური შემადგენლობა. ეს კარსტული ქანები არ არიან ერთგვაროვანი მთელი სიმძლავრის გასწვრივ. მაგ. მასიურ კირქვებთან შედარებით, რომლებიც შეიცავენ 80%  $\text{CaCO}_3$ -ს, გვხვდება მერგელური კირქვები, ცალკე მერგელები, კირქვული ქვიშაქვები და მერგელური ფიქლები, რომლებიც ხასიათდებიან კარბონიზაციით 20-70%-მდე. ამის გამო კარსტების ინტენსიური გამოვლინება დაიკვირვება მხოლოდ პერიტომორფულ კირქვებში, მისი თანდათანობით ჩაქრობით მერგელურ და ქვიშაქვიან კირქვებში ხვდება პირიტის ჩანაწინწკლები ფლიშური წყების კირქვებში, განსაკუთრებით რღვევებთან, რაც იწვევს დაკარსტულობის გაძლიერებას (Звиадაძე 1995).

ზოგადად, კარსტული მოვლენები თავს იჩენს წყალში ხსნად ქანებში (კირქვა, დოლომიტი, ცარცი, თაბაშირი, ქვამარილი) მიწისქვეშა და ზედაპირული წყლის ნაკადების ზემოქმედების შედეგად (Гвоздецкий, 1988). კარსტულ პროცესში წამყვანი როლი ენიჭება ქანების ქიმიურ ხსნადობას. კარბონატული ქანები იხსნება თავისუფალი ნახშირორჟანგის ან სხვა მინერალური და ორგანული მჟავების ზეგავლენით ( $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \ll \text{Ca} + 2\text{HCO}-3$ ). ქანების გახსნასთან ერთად ხდება მათი მექანიკური გადარეცხვა და წარმოიქმნება კარსტის ზედაპირული და მიწისქვეშა ფორმების კომპლექსი (კარები, ძაბრები, აბაზანები, ქვაბულები, ბრმა ხეობები, პოლიები, ჭები, შახტები, უფსკრულები და სხვ.). კარსტული პროცესების შედეგად ხშირად ჩნდება ოვალური ფორმის ქვაბულები, რომელიც წყლით ივსება.

წყალშემცველი ჰორიზონტის სათანადო ცოდნა აუცილებელი წინაპირობაა მათი გამოყენებისათვის, მათი დაბინძურებისაგან დასაცავად და მდგრადი განვითარებისათვის. კარსტული სისტემების ამოცნობა და სრულყოფილად გაგება ძალიან გრძელვადიანი და რთული პროცესია.

ჩვენ შემთხვევაში, ლითოლოგიურ შემადგენლობასთან ერთად აღნიშნული კარსტის განვითარებაში არანაკლებ მნიშვნელოვანი ფაქტორია ამ მასივის თავისებური მორფოლოგიური მდებარეობა (Звиადაძე, 1995). მასივი განლაგებულია ციცაბოდ

ალაზნის დაბლობის თავზე და ვრცელდება განედური მიმართულებით ციკაბო სამხრეთიდან დამრეცი ჩრდილო ფერდით, რაც წარმოადგენს ქანების ჩრდილოეთით დაცემის შედეგს. აღნიშნული ქედის ამალევა ალაზნის დაბლობის კიდეზე ე.წ. ეროზიის ადგილობრივი ბაზისის თავზე (კარსტული წყაროების გამოსავლების დონე) დაახლოებით შედაგენს 400მ-ს. ეს გარემოება წლიური ნალექების მნიშვნელოვან მოცულობასთან ერთად (1000 მმ) და ასევე კარსტული მასივის სამხრეთ ფერდზე მუდმივი ჩამონადენის არსებობა წარმოადგენს ხელშემწყობ ფაქტორებს კარსტული პროცესების განვითარებისათვის აღნიშნულ რეგიონში. ზედა იურისა და ზედა ცარცის კარბონატულ ფლიშური ნალექები ინტენსიურად არიან დისლოცირებული მთელს სიმძლავრეზე. მოქცეული არიან ვიწრო იზოკლინარულ ნაოჭებში და გადაბრუნებული არიან სამხრეთით. სტრუქტურული ღრმა ბურღვის ( 1200-მდე) მონაცემებით კერნული და წარმოქმნილი მასალის შესწავლამ გვიჩვენა, რომ კარბონატული სერიის ქანები ადგილ-ადგილ ძლიერად დამსხვრეულია და წარმოქმნიან მრავალრიცხოვან წვრილ და მსხვილ ნაპრალებს, რომლებიც ჩვეულებრივ შევსებადია კალციტით. ხშირად იცვლება შრეების ვარდნის კუთხის ინტერვალები, შედარებით წყნარი განლაგების ფენებით (20-10° კუთხით), სადაც ფლიშის ფენები თავდაყირა დგას 80-90° გრადუსიანი კუთხით. აღნიშნული ქანების რთული და სხვადასხვა ხასიათის ნაპრალოვნება გადამწყვეტ მნიშვნელობას ანიჭებს ქიმიური და მექანიკური დამსხვრევის პროცესებს. კარბონატული ფლიშის ქანების ინტენსიური წყალშემცველობა დაიკვირვება გამოფიტვის ქერქში (ტექტონიკური მოძრაობების ზონებში). ბუნებრივ პირობებში ყველაზე მსხვილი ეგზოგენური ნაპრალები ფიქსირდება საკმაოდ ნათლად, განსაკუთრებით მძლავრი კარსტული წყაროების გამოსვლის ადგილებში. ეს გამოსავლები განლაგებულია სამხრეთ კარსტული მასივის მოსაზღვრე ზოლში, განივი ქედების ძირში. ისინი ძირითადად დაღმავალია, თუმცა გვხვდება დაღმავალი წყაროებიც. მათი დებიტი იცვლება ფართო დიაპაზონში 2-3-დან 250 ლმ/წმ-მდე. ძირითადი ყველაზე დიდი კარსტული წყაროებია რამდენიმე ლ/წმ-ში ხარჯით, მაგ. „აფნის წყალი“, „ფატმასური“ და „კუის წყალი“. კარსტული წყლების კვებაში განიხილება ის რაიონები, რომელთა კლიმატურ თავისებურებაში ძირითადი როლი

მიეკუთვნება ატმოსფერულ ნალექებს, თუმცა ნუ დავაკნინებთ იმ მნიშვნელოვან როლს, რომელიც აქვს ზედაპირულ წყლებს, რომლებიც ზოგ შემთხვევაში წარმოადგენენ მიწისქვეშა წყლების კვების ძირითად წყაროს (Звиаდაძე, 1995).

## თავი 2. კვლევის მიზანი, სიახლე და მნიშვნელობა

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე მდებარე კარსტული მიწისქვეშა წყლების კვების (Király, 2003), ასევე მიწისქვეშა წყლის ნაკადის მიმართულების და განტვირთვის ზონების დადგენა. ამ მიზნით, განხორციელდა კარსტული წყალშემცველი ჰორიზონტების იზოტოპური და ჰიდროქიმიური დასინჯვები (ნალექებში, მდინარეებში და მიწისქვეშა წყლებში იზოტოპური შემადგენლობის განსაზღვრა), რეჟიმული დაკვირვებების ორგანიზება და ფუნქციონირების უზრუნველყოფა, ეს საშუალებას გვაძლევდა დადგენილიყო მიწისქვეშა წყლების გენეზისი, შეფასებულიყო კარსტულ წყლებს, მდინარეებსა და წყალშემცველ ჰორიზონტებს შორის არსებული კავშირი (Marques et al., 2012), განსაზღვრულიყო წყლის რესურსები (Melikadze et al., 2011). და მათი გონივრული გამოყენების გზები.

შემოთავაზებული სადოქტორო ნაშრომის ინოვაციურობა მდგომარეობს მიწისქვეშა კარსტული წყლების რესურსების სრულყოფილ შეფასებაში, ბუნებრივი იზოტოპური და ჰიდროქიმიური მეთოდების გამოყენებით, მიწისქვეშა და ზედაპირულ წყლებს შორის ურთიერთკავშირის და მათი შესაძლო დაბინძურების წყაროების დადგენაში.

მიწისქვეშა კარსტული წყლების რეჟიმის, მისი ხარისხისა და მათზე მოქმედი ფაქტორების შესწავლას უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება. ამით უზრუნველყოფთ მოსახლეობისა და წარმოებისთვის წყლის უწყვეტ მიწოდებას (Melikadze, 2014(d)). გარდა ტრადიციული ჰიდროგეოლოგიური (წყლის ამოქაჩვები, ჩასხმები), გეოფიზიკური და კომპიუტერული მოდელირების მეთოდებისა, არსებობს კვლევის სხვა მეთოდები, რომლებიც არ გამოიყენებოდა დღემდე საქართველოსა და მის მეზობელ კავკასიურ ქვეყნებში. იგულისხმება ბუნებრივი იზოტოპების მეთოდები, სადაც იზოტოპები გამოიყენება, როგორც “ინდიკატორი” ელემენტები, რათა უკეთესად იქნას ახსნილი წყლის წარმომავლობა და ისტორია, თუ რა “გზებით” გადაადგილდებოდა წყალი წყალშემცველ ჰორიზონტში კვების არედან განტვირთვის არემდე.

იზოტოპების გამოყენებით შესაძლებელია მივიღოთ ისეთი ინფორმაცია, რაც პრაქტიკულად შეუძლებელია მიღებულ იქნას სხვა მეთოდებით. მაგალითად,



განვსაზღვროთ თუ რა დროის განმავლობაში მოძრაობს წყალი ჰორიზონტში, მიწისქვეშა წყლების კვების არეალის აბსოლუტური სიმაღლე, პროდუქტიული ჭაბურღილების ხარჯზე მდინარეებისა და თოვლის წვლილი და ა. შ.

მაგალითად, ნალექებში იზოტოპური შემადგენლობის ალტიტუდური გრადიენტის ცოდნა გვეხმარება შევაფასოთ წყაროებისა და ჭაბურღილების კვების არეალების სიმაღლეები ჰიდროგეოლოგიური აგეგმვის პერიოდში (ელიზბარაშვილი, 2007). იზოტოპური შემადგენლობის მონაცემები ნალექებში, თოვლის საფარში და თოვლის ნაღობ წყალში გვეხმარება გამოვიანგარიშოთ წვიმის და თოვლის წვლილი მიწისქვეშა წყლებში. ნალექების, მდინარეების და მიწისქვეშა წყლების გრძელვადიანი დაკვირვების მონაცემები საშუალებას გვაძლევს გამოთვლილ იქნეს რა დრო დაჰყო წყალმა წყალშემკვრებში ან წყალშემცველ ჰორიზონტში (როგორც გადაადგილების დრო). აღნიშნული ინფორმაციის ცოდნა გვეხმარება გავიგოთ მიწისქვეშა წყლების მოწყვლადობის საკითხები.

ამასთან ერთად, იზოტოპების მეშვეობით შეიძლება დადგინდეს დაბინძურების წყაროები (Melikadze et al., 2011) და მოძრაობის გზები, შესაბამისად შეფასდეს მიწისქვეშა წყალშემცველი ჰორიზონტების მგრძნობელობა სხვადასხვა ფაქტორების მიმართ, მათი ხარისხისა და რესურსების გონივრულად გამოყენების მიზნით. იზოტოპების მეთოდი დიდი წარმატებით გამოიყენება რამოდენიმე ეროვნულ და ტრანსსასაზღვრო, ევროკავშირის ქვეყნებში მოქმედი პროექტების ფარგლებში, სხვადასხვა გარემოებების მიმართ წყალშემცველი ჰორიზონტების მგრძნობელობის შესაფასებლად. იზოტოპები ასევე გამოიყენებულია მიწისქვეშა წყლების რესურსების მდგომარეობის შეფასებისათვის.  $^{18}\text{O}$  და  $^2\text{H}$  იზოტოპები გვთავაზობენ უნიკალურ შესაძლებლობას შევისწავლოთ ნალექებში, ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყლებში მიმდინარე პროცესები.

კარსტული წყალშემცველი ჰორიზონტის შესწავლა იზოტოპური და ჰიდროქიმიური მეთოდების გამოყენებით უდიდესი ალტერნატივაა მიწისქვეშა წყლების მიგრაციის, მიწისქვეშა წყლის მოძრაობის სიჩქარისა და საშუალო ტრანზიტული დროის დასადგენად. საიმედო საველე დასინჯვები და იზოტოპების მონიტორინგის პროგრამა გულისხმობს მონაცემების შეგროვებასა და ინტერპრეტირებას ჭაბურღილებიდან,

წყაროებიდან და მდინარეებიდან, როგორც კვების (Herczeg et al.,1997), ასევე განტვირთვის ზონებში. მთავარი იზოტოპებია -  $\delta^{18}\text{O}$  და  $\delta^2\text{H}$ .

საერთაშორისო ატომური ენეჯის სააგენტოსა (IAEA) და ქართველი ექსპერტების წყალობით, საქართველომ შექმნა სოლიდური ბაზა ქვეყნის მთელ ტერიტორიაზე წყლის რესურსების შეფასებისათვის იზოტოპური მეთოდების გამოყენებით. აესს-ს მიერ დაფინანსებული რამოდენიმე პროექტის მეშვეობით შეძენილ იქნა საჭირო აპარატურა. საქართველოში ამოქმედდა სარეჟიმო სადგურები, რომლებიც შეუერთდა „იზოტოპები ნალექებსა და მდინარეებში საერთაშორისო ქსელებს“ (GNIP და GNIR), სადაც წარმოებს რეგულარული დაკვირვებები ნალექებზე, თოვლის საფარზე, მდინარისა და მიწისქვეშა წყლების იზოტოპურ შემადგენლობაზე.

დასმული საკითხის გადაწყვეტის მიზნით დოქტორანტის მიერ გაანალიზდა წინა წლებში მსოფლიოში ამ მიმართულებით განხორციელებული კვლევები. კერძოდ კარსტული წყლების გენეზისის, გადაადგილების და მარაგების შეფასების თვალსაზრისით.

### თავი 3. ლიტერატურული მიმოხილვა

ავტორის მიერ გაანალიზდა უკვე განხორციელებული კვლევის შედეგები ხელმისაწვდომი სამეცნიერო ლიტერატურის (საქართველოსა და მსოფლიო) ბაზაზე. კერძოდ, ატმოსფერული ნალექების, ზედაპირული და მიწისქვეშა, მათ შორის კარსტული წყლების შესახებ.

ელიზბარ ელიზბარაშვილის ნაშრომში (ელიზბარაშვილი, 2007) შესწავლილია ატმოსფერული ნალექები და წყლის რესურსები, რომლის მიხედვითაც ამიერკავკასიის შიდა რაიონებში ღრუბელთა სისტემების სიმძლავრე სუსტდება, კარგავს ტენს, რის გამოც ნალექების რაოდენობა მცირდება. ნალექების რაოდენობის დასაზუსტებლად მიმართავენ ჰიდროლოგიური და გლაციოლოგიური გამოკვლევების შედეგებს. კერძოდ, მდინარეთა ჩამონადენი, მყინვართა აკუმულაცია, თოვლის დაგროვება და სხვა-ნალექების რაოდენობის ირიბი გაანგარიშების საიმედო ფაქტორებია.

კავკასიონის სამხრეთ ფერდობზე, საქართველოს ტერიტორიის ფარგლებში ნალექების ზრდის კრიტიკული სიმაღლე 3000-3500მ-ს შეადგენს. ნალექთა ველების სივრცულ-დროითი ჭრილების საფუძველზე გამოვლენილ იქნა ნალექების ცვლილების ძირითადი კანონზომიერებანი საქართველოს 13 მდინარის აუზში, კერძოდ მათგან მდინარე ალაზნის აუზში ნალექების თვიური ჯამები იცვლება 30მმ-დან (იანვარი) 170მმ-მდე (მაისი, 660მ ზღვის დონიდან). ნალექების წლიური სვლა აუზის ქვედა სარტყელში, 200-250მ სიმაღლეზე ხასიათდება ორი მაქსიმუმით მაისსა და დეკემბერში (120მმ), ხოლო მინიმუმით-იანვარში(25-30მმ). სიმაღლის ზრდით მკვეთრად გამოხატული მაქსიმუმი თანდათან ქრება. ნალექების წლიური ჯამების მაქსიმუმი მოდის 600-700მ სიმაღლეზე და შეადგენს 1300მმ-ს, ხოლო მინიმუმი-200მ სიმაღლეზე და შეადგენს 760მმ-ს. პლუვიომეტრული გრადიენტის საშუალო მნიშვნელობა 100მმ-ია ყოველ 100მ-ზე.

წიგნში „კარსტული წყალმცველი ჰორიზონტის დახასიათება და ინჟინერია“ დეტალურადაა (Malik and Stevanovic, 2015) განხილული კარსტების ბუნება და ფენომენი. სპეციფიური კარსტული ლანდშაფტი და ჰიდროგრაფიული ქსელი, ისევე როგორც

კარსტული ქანების მაღალი გამტარებლობა, დიდ გავლენას ახდენს ორივე ფლორისა და ფაუნის განაწილებაზე და ადამიანის ცხოვრებაზე. განსხვავებული ლითოლოგიის კარსტული ქანები ფარავს ჩვენი პლანეტის ყინულით დაუფარავი ზედაპირის 10-15%-ზე მეტს (Ford and Williams, 2007). მსოფლიოს მრავალ ადგილას სადაც არის კარსტები, აგრეთვე არის შეზღუდული ბუნებრივი რესურსები. რასაკვირველია ეს დამოკიდებულია დიდწილად კლიმატურ მდგომარეობაზე და კარსტები გვალვიან ადგილებში მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან კარსტებისგან ტენიან ადგილებში ან ზონებისგან, რომლებიც მუდმივად დაფარულია ყინულით. მეორე, უდიდესი განსხვავება კარსტების თვისებებში დამოკიდებულია სიმაღლეზე: კარსტული რელიეფები მაღალ მთებში ხშირად ფუნქციონირებენ როგორც კვების ზონები, არასაკმარისი წყლის შესავსებად მათ ზედაპირზე. კარსტული გარემო არ არის ყოველთვის მეგობრული და სხვადასხვა სახის ჩარევას ზოგჯერ საჭირო, რათა მოხდეს ატმოსფეროს ადაპტირება ადამიანის საჭიროებებზე. შეუძლებელია კარსტული ლანდშაფტი ან პატარა კარსტული ფუნქცია შეიქმნას წყლის გარეშე. წყალი არის ძირითადი აგენტი ქანების დასაშლელად, მაგრამ ავტორი მიიჩნევს, რომ მიუხედავად მათი განადგურებისა ან გაღრმულებისა, ვულკანური ქანები როგორცაა ბაზალტური ტიპი, არ მიეკუთვნება კარსტულ ჯგუფს. დანალექი ქანები არის პრაქტიკულად ექსკლუზიური გარემო, რომელშიც კარსტული პროცესები მიმდინარეობს. ამგვარად, კარსტულ ქანებს ყოველთვის საქმე აქვთ წყალთან: ისინი წარმოიშვნენ წყლისაგან, შემდგომში, კვლავ წყლის გავლენით, ისინი გარდაიქმნენ ზედაპირზე და დღეისათვის არიან „სასმელი“ წვიმის ან ნაკადულის წყალი და ხდება მათი დაგროვება მიწაში.

მსოფლიოში მრავალი კვლევა ეძღვნება კარსტული და ზოგადად წყლის რესურსების, კვებისა და განტვირთვის არეების, ნალექებისა და მიწისქვეშა წყლების კავშირის შესწავლას სტაბილური იზოტოპებისა და ჰიდროქიმიური მეთოდების გამოყენებით.

Bringi-ის (ინდოეთი) წყალშემკვრებში კარსტული წყაროების რესურსების გამოყოფისა და კვების არეების განსაზღვრისათვის ავტორების მეთოდი (Nadeem A Bhat and Gh Jeelani, 2014) მიერ გამოყენებულია ჰიდროქიმიური მეთოდოლოგია და

ბუნებრივი იზოტოპების, რომელთა კვლევის ძირითად მიზანს წარმოადგენდა კარსტული წყაროების პოტენციური კვების არის შეფასება. აღნიშნული კვლევის მიზნებისათვის, წყლის სინჯების შეგროვება ხდებოდა კაშმირის მთების ბრინგი-ს წყალშემკრების ნალექებიდან, ნაკადებიდან და კარსტული წყაროებიდან, ძირითადი იონების, სტაბილური იზოტოპებისა ( $\delta^{18}\text{O}$  და  $^2\text{H}$ ) და ტრიტიუმის ( $^3\text{H}$ ) ანალიზისათვის. როგორც ავტორები აღწერენ, წყალი ბრინგის წყალშემკრების ტრიასული კირქვის წყალშემცველ ჰორიზონტში ხასიათდება მინერალიზაციის დაბალი დონით, მთლიანი შეწონილი ნაწილაკები წყაროს წყლის სინჯებში მერყეობს 99-დან 222 მგ/ლ-მდე, გარდა კონგამნაგის წყაროსი, რომელშიც მთლიანი შეწონილი ნაწილაკები 425 მგ/ლ-ზე მაღალია. აღნიშნულ ტერიტორიაზე დომინანტია კარბონატული ლითოლოგია, წყლები ძირითადად  $\text{Ca-HCO}_3$  და  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  ტიპისაა. თვითური ნალექების იზოტოპური მონაცემების ჯამის საშუალოს საფუძველზე, ბრინგის წყალშემკრებისათვის მათ შექმნეს ადგილობრივი მეტეოროლოგიური წყლის ხაზი (LMWL)  $\delta\text{D}=7.7 \times \delta^{18}\text{O} + 11.1$  ( $r^2 = 0.99$ ). კვლევების მიხედვით ზამთრის ნალექების იზოტოპური მნიშვნელობები ნაკადისა და წყაროს წყლებში აისახება გვიან გაზაფხულზე და შესაბამისად, წარმოადგენს თოვლის ნაღობს. წყაროს წყლები სექტემბერში  $\delta^{18}\text{O}$  და  $^2\text{H}$  გამდიდრებულია ზაფხულის ნალექის იზოტოპური მნიშვნელობებით. ნალექების ადგილობრივი ვერტიკალური იზოტოპური გრადიენტის დახმარებით ( $\delta^{18}\text{O} = -0.27$  ‰ ყოველი 100 მ-ით სიმაღლის ზრდასთან ერთად), ნალექების ყველაზე დაბალი სიმაღლე, რომელიც კვებავს წყალშემცველ ჰორიზონტს იქნა შეფასებული და იგი მერყეობს საშუალოდ 2500-2900 მ ზღვის დონიდან. ძალიან ძლიერია კორელაცია სეზონურ იზოტოპურ შემადგენლობისა ნაკადებსა და წყაროებს შორის, რაც მიუთითებს რომ ნაკადები და წყაროები იზიარებენ ერთიდაიგივე წყალშემკრებს ან წყაროები იკვებებიან ნაკადებიდან.

შემდეგი კვლევა, რომელიც განხორციელდა კოსტა რიკის გასწვრივ ნალექებში სტაბილური იზოტოპების სივრცულ დროითი განაწილების შესასწავლად და გნიპ-ის (GNIP) ისტორიული ჩანაწერების ანალიზისათვის (Ricardo Sánchez-Murillo et al, 2013). ავტორები საუბრობენ, რომ ცენტრალურ ამერიკაში კოსტა რიკის მდებარეობა ქმნის უნიკალურ მიკროკლიმატურ სისტემას, რომელიც იღებს ტენს პირდაპირ კარიბის

ზღვიდან და წყნარი ოკეანიდან. კვლევების ძირითადი მიზნები იყო მეტეორულ წყალში იზოტოპების სივრცულ-დროითი ვარიაციების განსაზღვრა კოსტა რიკაში ისტორიული ჩანაწერების გამოყენებით.

კოსტა რიკაში, სტაბილური იზოტოპების დასინჯვების კამპანია ძირითადად შედგებოდა ყოველთვიური სინჯების აღებისგან. შედეგების მიხედვით სინჯები დაჯგუფდა ოთხ ძირითად რეგიონად: ნიკოია პენინსულა ( $\delta^2\text{H} = 6.65\text{d}^{18}\text{O} - 0.13$ ;  $r^2 = 0.86$ ); წყნარი სანაპირო ( $\delta^2\text{H} = 7.60\text{d}^{18}\text{O} + 7.95$ ;  $r^2 = 0.99$ ); კარიბის ფერდობი ( $\delta^2\text{H} = 6.97\text{d}^{18}\text{O} + 4.97$ ;  $r^2 = 0.97$ ) და ცენტრალური ველი ( $\delta^2\text{H} = 7.94\text{d}^{18}\text{O} + 10.38$ ;  $r^2 = 0.98$ ) და ასევე კოსტა რიკისათვის მათ განსაზღვრეს წყლის მეტეორული ხაზი  $\delta^2\text{H} = 7.61\text{d}^{18}\text{O} + 7.40$  ( $r^2 = 0.98$ ). სინჯების იზოტოპური ანალიზი ტარდებოდა წყლის იზოტოპური ანალიზატორ Picarro L2120-I-ისა და L1120-i-ის მეშვეობით.  $\delta^{18}\text{O}$  მნიშვნელობა მერყეობდა  $-1.8\text{‰}$ -დან  $-10.1\text{‰}$ -მდე, წყალბადის იზოტოპური შემადგენლობა მერყეობდა  $-17.3\text{‰}$ -დან  $-70.4\text{‰}$ -მდე. უდიდესი ვარიაციები გამოიკვეთა მაისი ივნისის პერიოდში. სველი სეზონების შუა პერიოდში (აგვისტო, სექტემბერი, ოქტომბერი)  $\delta^{18}\text{O}$ -ს ვარიაციები კლებულობს. იზოტოპური მნიშვნელობები მდიდრდება დეკემბრის თვეში.

ავტორების აზრით სტაბილური იზოტოპებით ნალექების და წყლის კვლევა მნიშვნელოვანი ინდიკატორია კლიმატური ცვლილების შესასწავლად და იძლევა მნიშვნელოვან ინფორმაციას რეგიონალური და გლობალური წყლის პროცესების შესახებ.

გნიპ-ის ისტორიული ჩანაწერების საფუძველზე მათ განახორციელეს სტაბილური იზოტოპების სივრცულ დროითი დახასიათება და HYSPLIT-ის მოდელის გამოყენებით შეიქმნა ილუსტრირებული მაგალითი.

იზოტოპური კვლევის მეთოდები ასევე გამოყენებულია დუნაისა და სავას მდინარეთა აუზებში ჰიდროლოგიური პროცესების შესასწავლად (Ogrinc et al, 2012).

კერძოდ, იზოტოპურ გაზომვებს ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  and  $^3\text{H}$ ) ატარებდნენ ზედაპირულ წყლებში, რათა შეესწავლათ წყლის მოძრაობის გზები და დადგენილიყო გადაადგილების დრო მდინარე სავასა და დუნაის წყალშემკრებ აუზში სლოვენისა და ბელგრადის რეგიონში 2004-2006 წლების პერიოდისათვის.

განხორციელებული კვლევების შესაბამისად, ავტორები საუბრობენ, რომ  $\delta^{18}\text{O}$  და  $\delta^2\text{H}$  მნიშვნელობები ნალექებში უჩვენებს სეზონურ ვარიაციებს, აღნიშნული შედეგები მნიშვნელოვნად დაბალია, რომლებიც ასევე აისახება ზედაპირული წყლების იზოტოპურ მნიშვნელობებში. სივრცულად,  $\delta^{18}\text{O}$  და  $\delta^2\text{H}$  მონაცემები მდინარე სავას ზედაპირულ წყალში დაბალია მაღალმთიან ტერიტორიებზე, რაც გამოწვეულია დიდი ნალექიანობით, კვების არის მაღალი მდებარეობით და დაბალი ტემპერატურით. აღნიშნული მნიშვნელობები იზოტოპურად მსგავსია მდინარე დუნაის დანაკვირვები მასალისა ბელგრადში.

მდინარე სავას წყალშემკრები აუზის დაბლობ ადგილებში  $\delta^{18}\text{O}$  და  $\delta^2\text{H}$  მნიშვნელობები მაღალია და მნიშვნელოვნად არ განსხვავდება დასიჯვების ადგილებისა სლოვენიაში და სერბეთში. კვლევებში ავტორებმა ასევე განახორციელეს ნაკადების მოდელირება, რომლის მეშვეობითაც მიღებულ იქნა ინფორმაცია გადაადგილების დროის შესახებ და რომელიც მერყეობს 0.8-დან 2.2 წლამდე.

განხორციელებული კვლევებით მიღებულ იქნა ინფორმაცია მდინარეების დუნაისა და სავას წყალშემცველი ჰორიზონტების შესახებ და ნაჩვენები იქნა იზოტოპური კვლევების გამოყენების მნიშვნელობა ჰიდროლოგიურ პროცესებში და წყალშემკრები აუზების დახასიათებისათვის.

შემდეგი მიმოხილვა ეძღვნება, ვადი ფირას ტერიტორიის (აღმოსავლეთ ჩადი) წყალშემცველი ჰორიზონტის ჰიდროქიმიური და იზოტოპური მახასიათებლების (ჩრდილო-ცენტრალური აფრიკა) შესახებ განხორციელებულ კვლევებს (Hamza et al, 2017). ავტორების თქმით, აღმოსავლეთ ჩადში, ვადი-ფირას რეგიონში კლიმატური პირობებიდან გამომდინარე მწვავედ დგას წყლის პრობლემა, ამას ემატება სოფლის მეურნეობის განვითარება, აგლომერაციის გაფართოება. ამ პირობებში ვადი-ფირას წყალშემცველი ჰორიზონტი წარმოადგენს წყალმომარაგების მთავარ რესურსს. თუმცა, მცირედი ცნობილი ამ სისტემის შესახებ.

აღნიშნული კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ჰიდროგეოქიმიური პროცესების იდენტიფიცირება და შესწავლა, ასევე მათი კავშირი მიწისქვეშა წყლის ხარისხთან და მიწისქვეშა წყლების კვების მექანიზმების შესწავლა.

მკვლევარების მიერ განხორციელდა 31 მიწისქვეშა წყლის სინჯის აღება ორი სხვადასხვა ადგილიდან, ამ ზოირ და გურიიდა-ირიბა-დან, ხელით გათხრილი ჭებიდან და ღრმა ჭებიდან. ძირითადი ქიმიური ელემენტები იქნა გაანალიზებული ყველა ნიმუშიდან და განხორციელდა 17 სინჯის ანალიზი სტაბილურ იზოტოპებზე ( $\delta^{18}\text{O}$  და  $\delta^2\text{H}$ ).

ჰიდროქიმიური მონაცემების ინტერპრეტირებისათვის მათ მიერ გამოყენებულ იქნა სხვადასხვა მეთოდები (აღწერითი და მრავალრიცხოვანი სტატისტიკა, დიაგრამები, სკატერ პლოტი, მინერალებით გაჯერების ინდექსები).

სტაბილური იზოტოპები ინტერპრეტირებულ იყო IAEA მეთოდების გამოყენებით.

ავტორების აზრით, ძირითადი პროცესები, რაც განაპირობებს მიწისქვეშა წყლების მინერალიზაციას არის წყლისა და ქანის ურთიერთქმედება და ბუნებრივი მინერალების გახსნა. იონ გაცვლა, აორთქლება და ანთროპოგენული ფაქტორები აგრეთვე გავლენას ახდენს მიწისქვეშა წყლების ხარისხზე.

იზოტოპური მონაცემების საფუძველზე, ავტორები ასკვნიან, რომ მიწისქვეშა წყლები წყალშემცველ ჰორიზონტში, დაკავშირებულნი არიან თანამედროვე ატმოსფერულ ნალექებთან. მათი აზრით, აღნიშნული კვლევები იძლევა უფრო მეტ მოსაზრებებს წყალშემცველი ჰორიზონტის შესახებ, რომელიც არის სასიცოცხლო რესურსი ვადი-ფირას რეგიონისათვის.



#### თავი 4. კვლევის მეთოდოლოგია

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, კლიმატური ცვლილებების გავლენით გამოწვეული ნალექების რაოდენობის მკვეთრი შემცირებისა და ასევე რესურსების გადამეტებული ექსპლუატაციისა და ზედაპირული გრუნტის წყლის რესურსების დეგრადაციის პირობებში კახეთის რეგიონში, რამაც შესაბამისად გამოიწვია დაბლობების ადგილობრივი ღრმა და არაღრმა მიწისქვეშა წყლის რესურსების შემცირება, კავკასიონის სამხრეთი ფერდი შესაძლებელია მიჩნეულ იქნას მიწისქვეშა წყლების კვების ალტერნატიულ წყაროდ ალაზნის აუზში და მთისწინა დაბლობში მდებარე მომიჯნავე ტერიტორიისათვის. დაახლოებით ნახევარი განახლებადი არტეზიული ჭებისა და მიწისქვეშა წყლის სისტემებისა, შესაძლებელია მიჩნეულ იქნას რომ იკვებება დიდი კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე მოსული ნალექებით. თიანეთის, ყვარელის, საგარეჯოს, გურჯაანის და ლაგოდეხის მიწისქვეშა წყლის სისტემები იკვებებიან კავკასიონის სამხრეთი ფერდიდან, რაც შეიძლება ჩაითვალოს წყლის რესურსების ალტერნატიულ წყაროდ.

ნაწილი წყლის კვების არეებისა დიდი კავკასიონის სამხრეთი ფერდის გასწვრივ, განთავსებულია მთის მაღალ ფერდობებზე, განიტვირთება წყაროების სახით და მიედინება ხეობაში, ნაწილი კი იძირება ალაზნის აუზის ღრმა წყალშემცველ ჰორიზონტში და კვებავს მათ (Звиададзе, 1995). ამდენად, საჭიროა გარკვეულ იქნეს მიწისქვეშა წყლების გადაადგილების გზები კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე ჩამოყალიბებული კვების არეებიდან წყალშემცველ ფენაში და საჭიროა შეფასდეს მათი რესურსები და დაბინძურების რისკები.

ყველა ბუნებრივი მიწისქვეშა და ზედაპირული წყლის გამოსავლები იქნა იდენტიფიცირებული და დატანილი ალაზნის ველის ჰიდროგეოლოგიურ რუკაზე მელიქაძისა და სხვათა მიერ (2014(ა)).

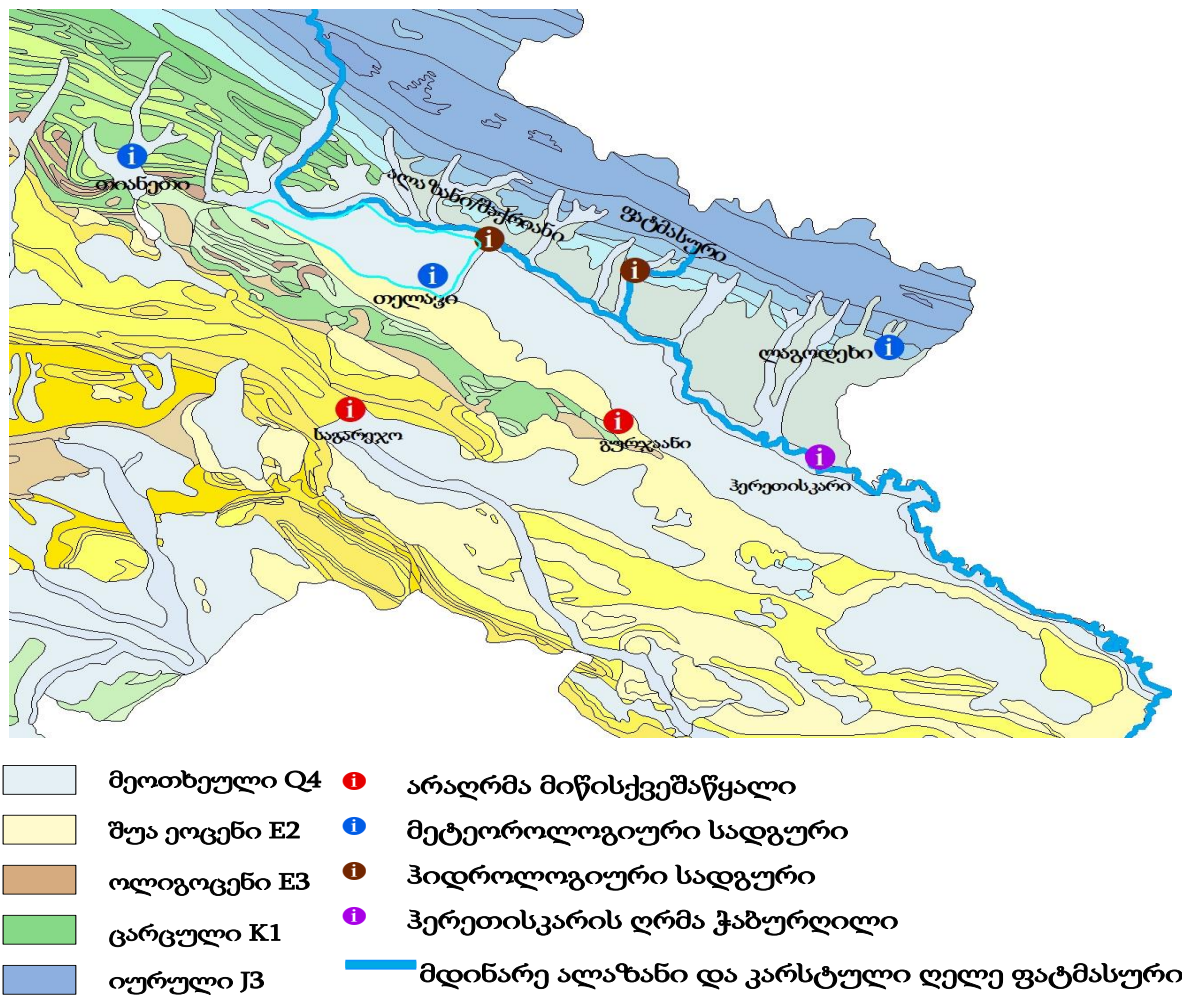
იგივე ავტორების მიერ ჩატარდა ჰიდროქიმიური და იზოტოპური კვლევები და განხორციელდა შირაქის წყალშემცველი ჰორიზონტის ციფრული მოდელირება (2014(ბ)).

თუმცა, შესასწავლია წყალშემცველი ჰორიზონტის კვების სხვადასხვა ტიპი და პროპორციები (De Vries and Simmers., 2002) არაერთგვაროვან კარსტულ ნაპრაღურ არეში.

გარდა ამისა, უნდა იქნას შესწავლილი მიწისქვეშა წყლის გადაადგილების გზა კვების არედან და წყალშემცველ ჰორიზონტში, რათა დადგინდეს მიწისქვეშა წყლის შესაძლო დაბინძურების რისკი (Singhal et al., 2016; Herczeg et al., 1997).

#### **4.1. შერჩეულ უბნებში ნალექების, მდინარეების წყლის და მიწისქვეშა წყლების იზოტოპური შემადგენლობის მონიტორინგი**

ნალექებში, ასევე მიწისქვეშა წყლებში იზოტოპური შემადგენლობის განსაზღვრის მიზნით, ორგანიზებული იქნა (Melikadze, 2014(c)) რეჟიმული დაკვირვებები ჰაერის ტემპერატურასა, ტენიანობასა და ატმოსფერულ ნალექების რაოდენობაზე იმ მეტეოლოგიურ სადგურებზე, რომლებიც განლაგებული არიან თანაბრად მთელ ტერიტორიაზე: თიანეთი (1,099 მ ზღვის დონიდან), თელავი (568 მ ზღვის დონიდან) და ლაგოდეხი (432 მ ზღვის დონიდან), აღნიშნული სადგურები მიეკუთვნება გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტროს გარემოს ეროვნული სააგენტოს და ჩართულნი არიან ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტოს, „ნალექებში იზოტოპების საერთაშორისო ქსელში“ (IAEA/WMO, 2006). აღნიშნულ პუნქტებზე მეტეო მონაცემების, ჰაერის ტემპერატურისა და ტენიანობის გაზომვა ხდებოდა საათობრივი ინტერვალით სპეციალიზირებული ხელსაწყო HOBO-ს გამოყენებით (Melikadze, 2014(c)), რომლებიც შექმნილი იქნა საერთაშორისო ატომური ენერჯის სააგენტოს გრანტის (GEO7001) მეშვეობით. ასევე, ყოველდღიურად იზომებოდა მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა და თვეში ერთხელ ხდებოდა სინჯის აღება დაგროვებული ნალექებიდან, მათში სტაბილური იზოტოპური შემადგენლობის განსაზღვრის მიზნით. კერძოდ, დამატებით, საკვლევ რაიონში ხორციელდებოდა  $^{18}\text{O}$  და  $^2\text{H}$  ყოველთვიური მონიტორინგი ნალექებში და მდინარეებში.



ნახ.2 საკვლევი ტერიტორიის გეოლოგიური მიმოხილვა და მისი მდებარეობა რეგიონში, მეტეოროლოგიური და ჰიდროლოგიური სადგურების და ჭაბურღილების განლაგებით

გაგრძელდა რეჟიმული დაკვირვებები (Melikadze et al, 2014(c)) მდინარე ალაზანზე კერძოდ, სოფ. შაქრიანთან თელავის რაიონში, წყლის დონის ვარიაციების დადგენის მიზნით დამონტაჟებული იყო სპეციალური ხარჯის მზომი ხელსაწყო, რომლის მეშვეობითაც იზომებოდა წყლის დონე და ტემპერატურა ერთ საათიანი ინტერვალით; ასევე აღნიშნული მდინარიდან, თვეში ერთხელ დაიწყო სინჯების აღება სტაბილური იზოტოპების გაზომვის მიზნით. ეს უკანასკნელი სადგურები ჩართულნი არიან ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტოს გლობალურ ქსელებში GNIP

(„საერთაშორისო ქსელი იზოტოპებისა ნალექებში“) და GNIR-ში („საერთაშორისო ქსელი იზოტოპებისა მდინარეებში“). ახალი წყლის დონის გამზომი ხელსაწყო დამონტაჟდა ასევე ყვარელთან ახლოს კარსტულ დელე ფატმასურში. აღნიშნული მდინარე უფრო წყალუხვია და დაკვირვებებისთვის მოსახერხებელი, სხვა კარსტულ მდინარეებთან შედარებით, რომლებიც წარმოადგენენ სეზონურ მდინარეებს. მთლიანობაში აღნიშნულ ტერიტორიაზე სამი მეტეოროლოგიური და ორი ჰიდროლოგიური სადგური იქნა ჩართული სამონიტორინგო ქსელში.



სურ.3 მეტეოროლოგიური სადგურების განლაგება

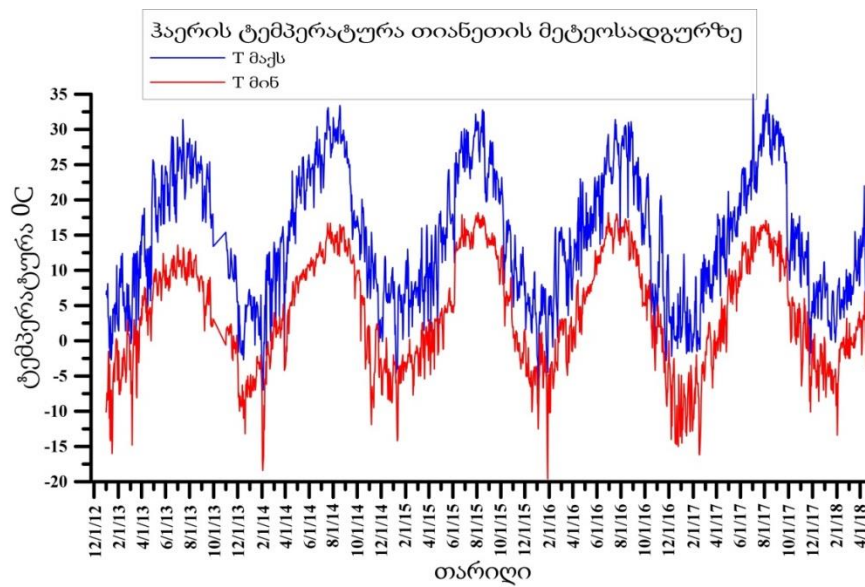
ცხრილი N1. სარეჟიმო პუნქტების მდებარეობა

პუნქტის დასახელება	X	Y	Altitude m
"შაქრიანი" ჰიდროლოგიური სადგური	548204	4648613	340
"თელავი" მეტეოსადგური	540070	4642487	568
"თიანეთი" მეტეოსადგური	497244	4662730	1099
"ლაგოდეხი" მეტეოსადგური	605196	4630389	432

წყლის იზოტოპური შემადგენლობის განსაზღვრის მიზნით, ყველა ზემოთ აღნიშნულ სადგურზე სინჯები გროვდებოდა ყოველთვიურად, გარდა კარსტული დეღე ფატმასურისა, საიდანაც სინჯები აიღებოდა თვეში ორჯერ. წყლის სინჯების იზოტოპური და ჰიდროქიმიური ანალიზი, ჩატარდა სააგენტოს მიერ შეძენილი აპარატურის მეშვეობით, ივანე ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ჰიდროგეოფიზიკისა და გეოთერმის კვლევითი ცენტრის ლაბორატორიაში. სინჯებში  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$  და  $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$  -ის იზოტოპური ანალიზები განხორციელდა Picarro L2110-i ლაზერული მასსპექტრომეტრის გამოყენებით (სიზუსტე  $\delta^{18}\text{O} < 0.05 \text{ ‰}$ ,  $\delta^2\text{H} < 0.3 \text{ ‰}$ ). სინჯები იზომებოდა ვენის სტანდარტის (Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)) შესაბამისად.

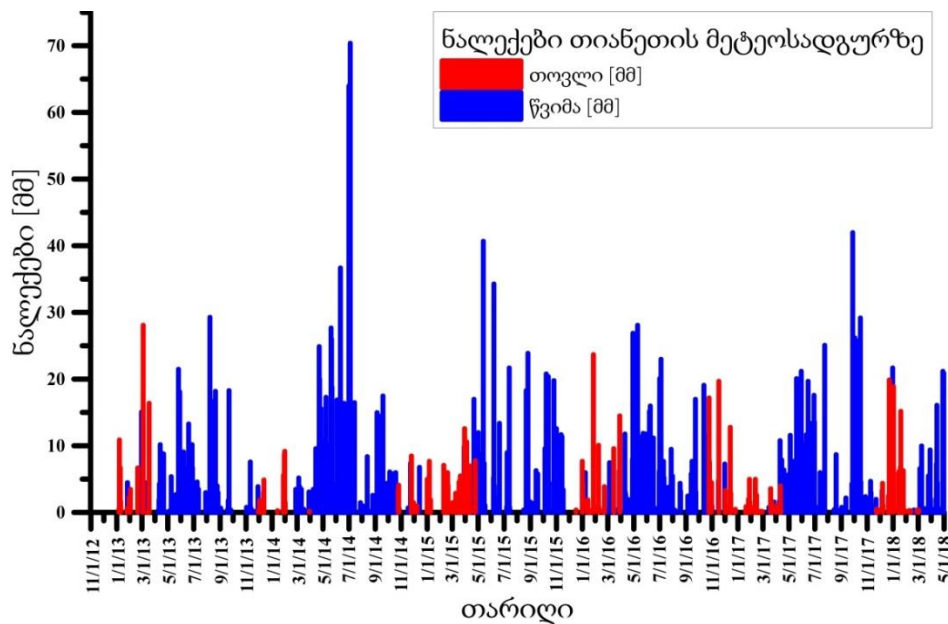
#### 4.1.1 ატმოსფერულ ნალექებზე მონიტორინგის შედეგები

თიანეთის სადგურზე მიმდინარეობდა მეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური და იზოტოპური პარამეტრების მონიტორინგი. გარემოს ეროვნული სააგენტოს ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპარტამენტიდან პერიოდულად ვღებულობდით ინფორმაციას ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექების რაოდენობის შესახებ. არსებული მონაცემების საფუძველზე macOS -ზე დაფუძნებული კომპიუტერული პროგრამა Grapher 11-ის გამოყენებით (Friendly et al, 2005) განხორციელდა სკატერ პლოტის ტიპის გრაფიკების აგება.



ნახ.3 თიანეთის მეტეოსადგურზე ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი

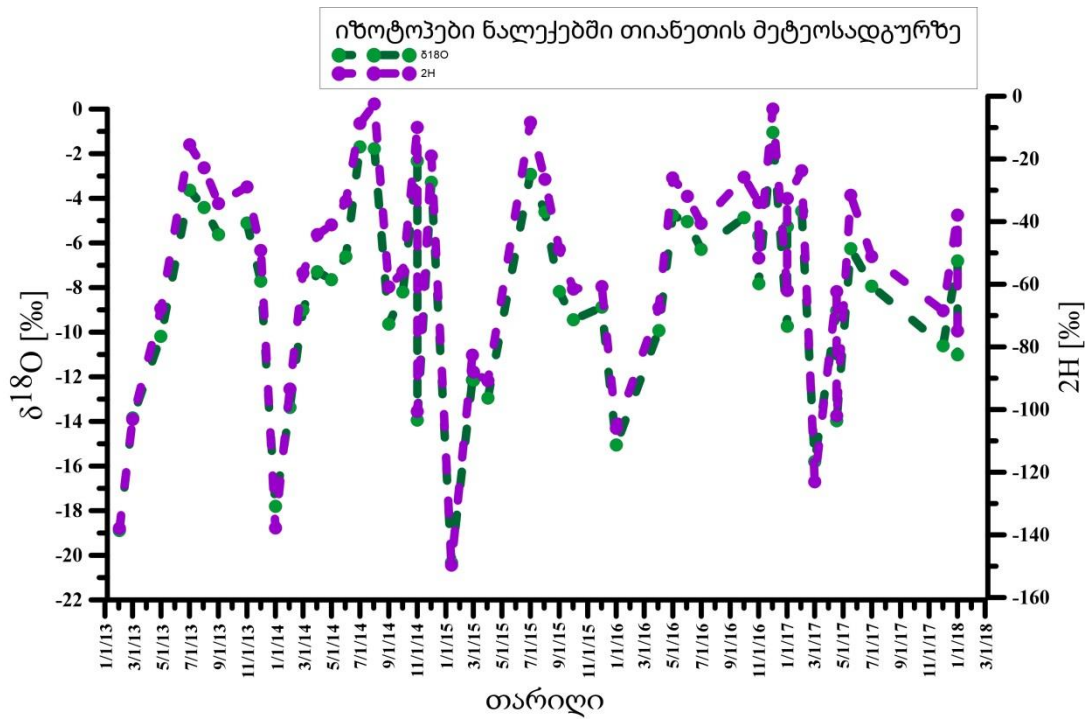
ნახ.3-ზე მოცემულია თიანეთში გაზომილი ჰაერის მაქსიმალური და მინიმალური ტემპერატურების ვარიაციები დროში, 2013 წლის იანვრიდან 2018 წლის მაისამდე. როგორც მოსალოდნელი იყო, სეზონურობის მიხედვით მაქსიმალური ტემპერატურა დაფიქსირდა ზაფხულში, ხოლო მინიმალური ზამთარში.



ნახ.4 თიანეთის მეტეოსადგურზე ნალექების ცვლილების გრაფიკი

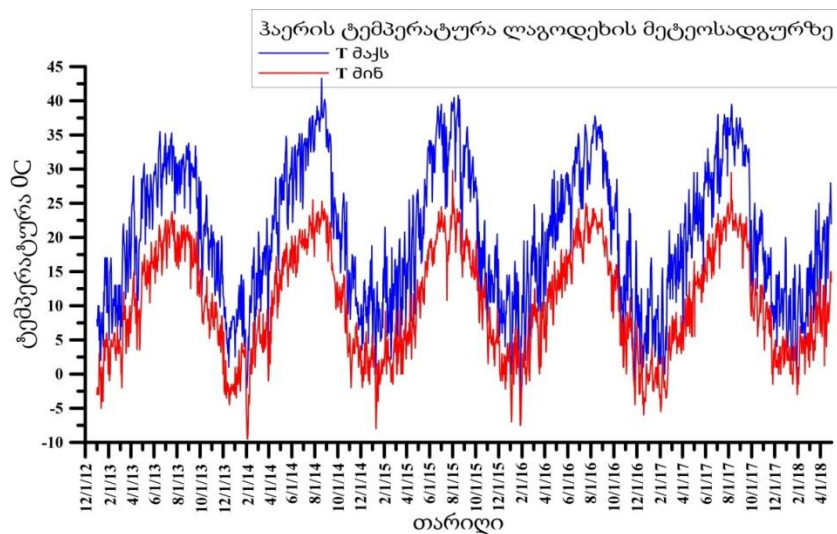
ნახ.4-ზე მოცემულია ნალექების რაოდენობა 2013 წლის იანვრიდან 2018 წლის მაისამდე. ყველაზე უხვი ნალექით 2014-16-17 წლის გვიანი გაზაფხული-ადრეული ზაფხული გამოირჩეოდა, 40-70 მმ-მდე. უხვთოვლიანი იყო ასევე 2014-2015 წლის დეკემბერი-თებერვალი-მარტი.

განხორციელდა ატმოსფერული ნალექების იზოტოპური შემადგენლობის ანალიზები. მიღებული შედეგები ცხადყოფს, თოვლის სახით მოსული ნალექები იზოტოპურად მსუბუქია, რაც სრულიად კანონზომიერია.  $\delta^{18}\text{O}$ -ს მნიშვნელობები (Araguás-Araguás et al., 2000) თიანეთის მეტეოსადგურის ნალექებში ვარირებს -22 ‰-დან +1 ‰-მდე, ხოლო  $^2\text{H}$ -ის მნიშვნელობა კი (-150)-დან (-10)-მდე (Vepkhvadze et al, 2019)



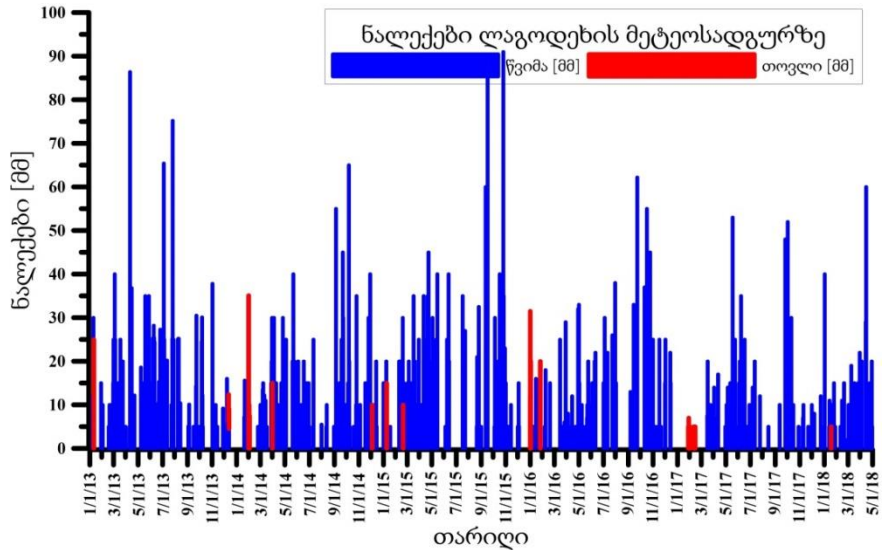
ნახ.5 თიანეთის მეტეოსადგურზე ატმოსფერული ნალექების იზოტოპური შემადგენლობის ცვლილება დროში

გარდა თიანეთისა, ლაგოდეხის მეტეოროლოგიურ სადგურზე ასევე მიმდინარეობდა დაკვირვებები ჰაერის ტემპერატურასა და ტენიანობაზე უწყვეტ რეჟიმში 2012 წლის დეკემბრიდან 2018 წლის მაისამდე. პარამეტრების ცვლილება ასახავს სეზონურ ვარიაციებს.



ნახ.6 ლაგოდეხის მეტეოსადგურზე ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი 2013 წლის იანვრიდან 2018 წლის მაისამდე

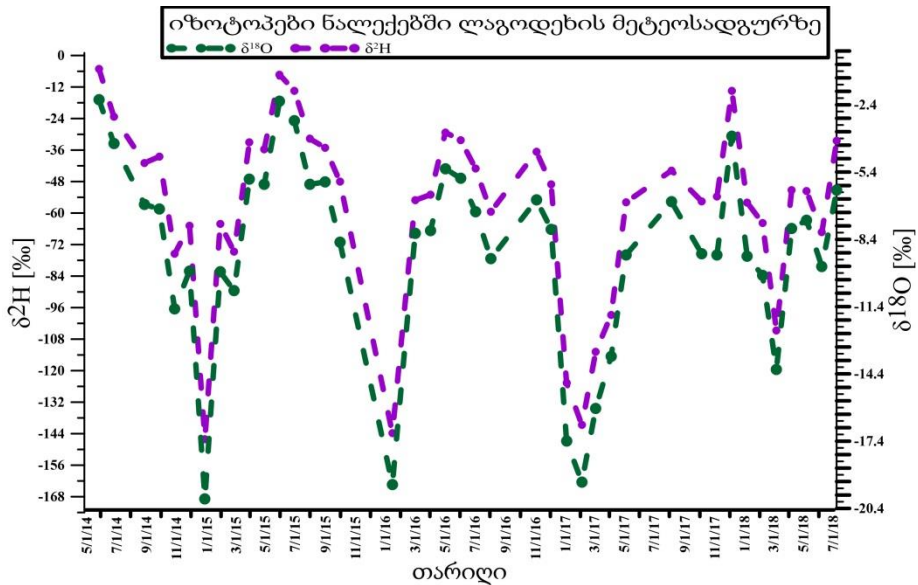
ასევე გამოყენებული იქნა ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურიდან მოწოდებული ჰაერის ყოველდღიური ტემპერატურის და ნალექიანობის შესახებ ინფორმაცია. ლაგოდეხის გეოგრაფიული მდებარეობის და შესაბამისად მისი მიკროკლიმატიდან გამომდინარე ნალექები თოვლის სახით არ დაფიქსირდა, ტემპერატურაც პრაქტიკულად ნულის ზევითაა და წლიური ვარიაცია 0-35 გრადუსს შორისაა. ნალექები განსაკუთრებით მცირეა ზაფხულში და მაქსიმალური მნიშვნელობა 10 მმ-ია.



ნახ.7 ლაგოდეხის მეტეოსადგურზე ნალექების ცვლილების გრაფიკი

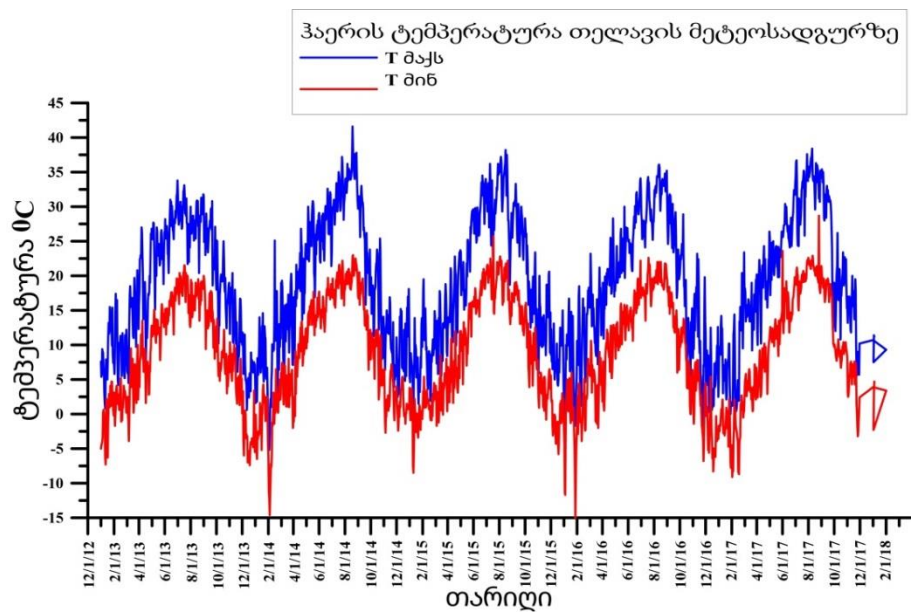


ანალოგიურად სხვა რაიონებისა, ლაგოდეხშიც მიმდინარეობდა ნალექების სინჯების აღება და მათი შემდგომი ლაბორატორიული ანალიზი იზოტოპურ შემადგენლობაზე. ანალიზის შედეგები ლაგოდეხის შემთხვევაშიც ნათლად აჩვენებს ნალექების იზოტოპური შემადგენლობაზე თოვლის დნობის პროცესის გავლენას ზამთრის პერიოდში. როგორც გრაფიკიდან ჩანს,  $\delta^{18}\text{O}$  ვარირებს (-2)-დან (-16)-მდე, ხოლო  $\delta^2\text{H}$  – (-20)-დან (-120)-მდე.

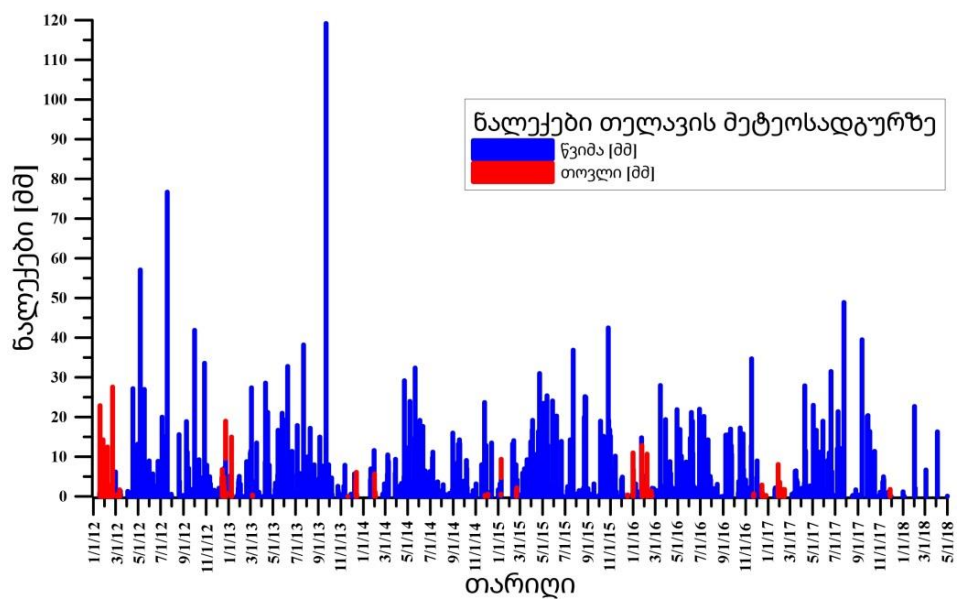


ნახ.8 ლაგოდეხის მეტეოსადგურზე ატმოსფერული ნალექების იზოტოპური შემადგენლობის დროში ცვლილების გრაფიკები

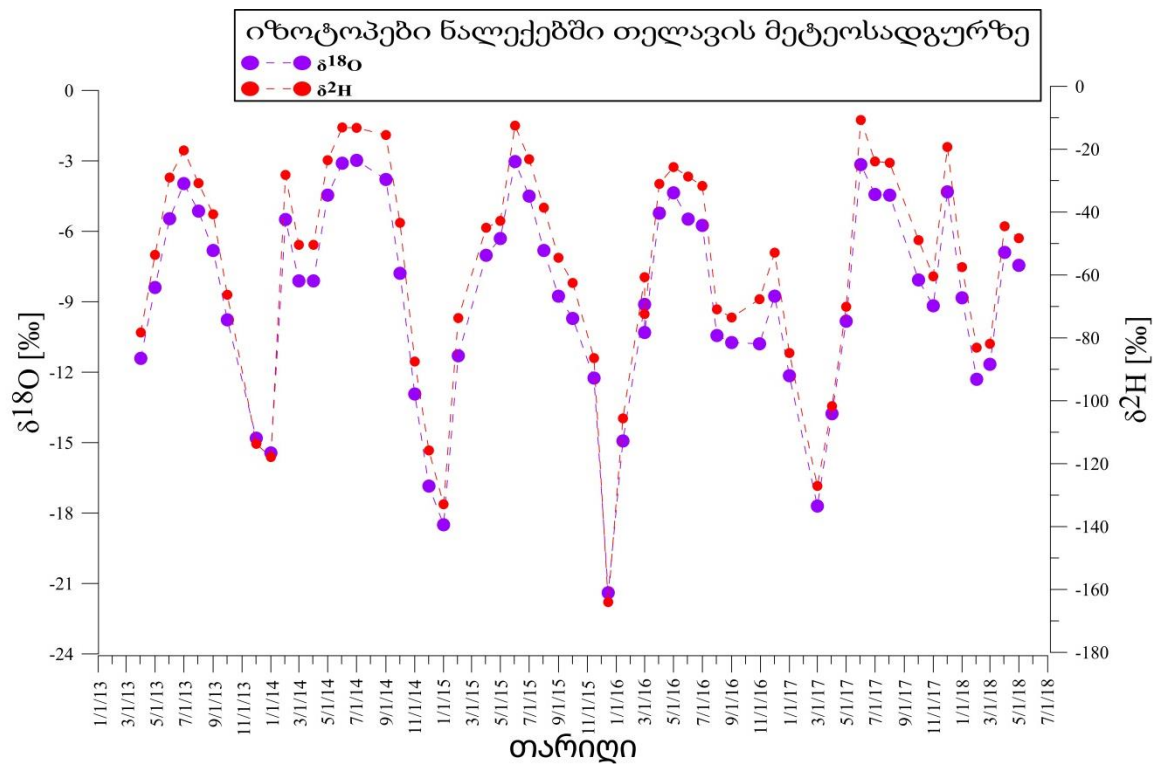
თიანეთის და ლაგოდეხის მსგავსად, თელავის სადგურზეც მიმდინარეობდა ჰიდრომეტეოროლოგიური და იზოტოპური პარამეტრების მონიტორინგი. კერძოდ, ნალექების, ჰაერის ტემპერატურისა და იზოტოპური მნიშვნელობების გრაფიკების აგებისას, ნათლად გამოჩნდა აღნიშნული პარამეტრების თანხვედრა სეზონურობასთან. ნალექი თოვლის სახით ძალიან მცირეა, რადგან ჰაერის ტემპერატურა იშვიათად ეცემა ნულს ქვევით. ზოგადადაც, რაიონი ატმოსფერული ნალექების სიუხვით არ გამოირჩევა, იგი ვარირებს 5-20 მმ-ს ფარგლებში, იშვიათად აღწევს 30-35 მმ-ს.



ნახ.9 თელავის მეტეოსადგურზე ყოველდღიური ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი



ნახ.10 თელავის მეტეო სადგურზე ყოველდღიური ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი



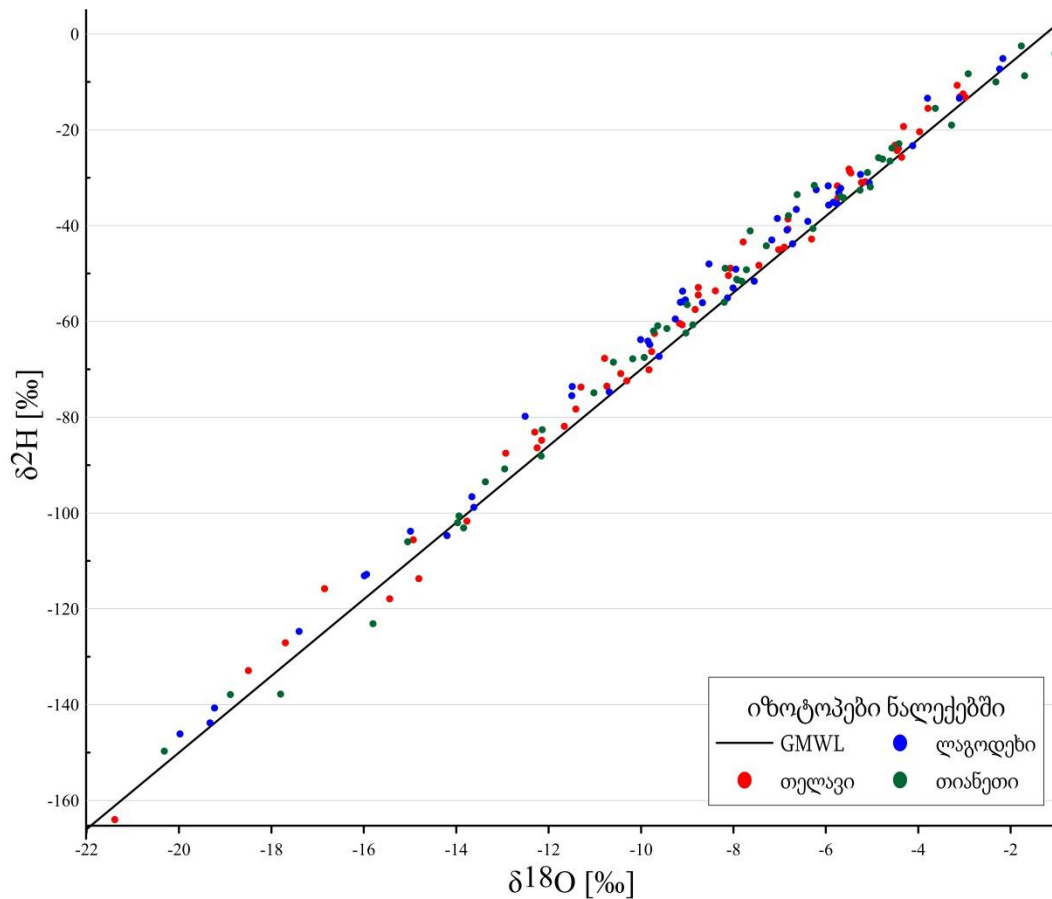
ნახ.11 თელავის მეტეოსადგურის ნალექების იზოტოპური მნიშვნელობები

თელავში არსებული ატმოსფერული ნალექების იზოტოპური შემადგენლობის ანალიზმა აჩვენა, რომ ნალექს თოვლის სახით შეესაბამება იზოტოპურად მსუბუქი მნიშვნელობები, ძირითადათ 2013 წლის დეკემბრიდან-2014 წლის იანვარის ჩათვლით და 2014 წლის დეკემბერში.

ნალექებისა და ტემპერატურის გაზომვები სამივე ზემოთ აღნიშნულ მეტეო სადგურზე მიუთითებს, რომ 2013/2014/, 2014/2015, 2016/2017 ზამთრის პერიოდი გრძელდება 3 თვე ლაგოდების მეტეო სადგურზე, 2 თვე თელავის მეტეო სადგურზე და 4 თვე თიანეთის მეტეო სადგურზე. ამ პერიოდში უარყოფითი ტემპერატურა გრძელდებოდა მცირე ხანს და ნალექი თოვლის სახით იყო მცირე, მაშინ როცა ზამთრის ხანგრძლივობითა და დიდთოვლიანობით გამოირჩეოდა 2015/2016 წლის ზამთარი (3 თვე ლაგოდების მეტეო სადგურზე, 3 თვე თელავის მეტეო სადგურზე და 6 თვე თიანეთის მეტეო სადგურზე), თავისი თოვლის დნობის პერიოდის ხანგრძლივობით.

ნალექებში  $\delta^{18}\text{O}$  -ს მნიშვნელობა მერყეობს  $-22\text{‰}$ -დან  $+1\text{‰}$ -მდე,  $\delta^2\text{H}$   $-150\text{‰}$ -დან  $-6\text{‰}$ -მდე. სინუსოიდური აპროქსიმაციის მიხედვით, დროითი სერიის ამპლიტუდა დაახლოებით  $5\text{‰}$ .

განხორციელდა ყველა მეტეოროლოგიური სადგურის კომპლექსური ანალიზი. სამივე მეტეოროლოგიურ სადგურზე განხორციელებული ნალექების სინჯების იზოტოპური მნიშვნელობების განაწილება, ძირითადათ გაიდევნება გლობალური მეტეოროლოგიური წყლის ხაზის გასწვრივ (Craig, 1961).

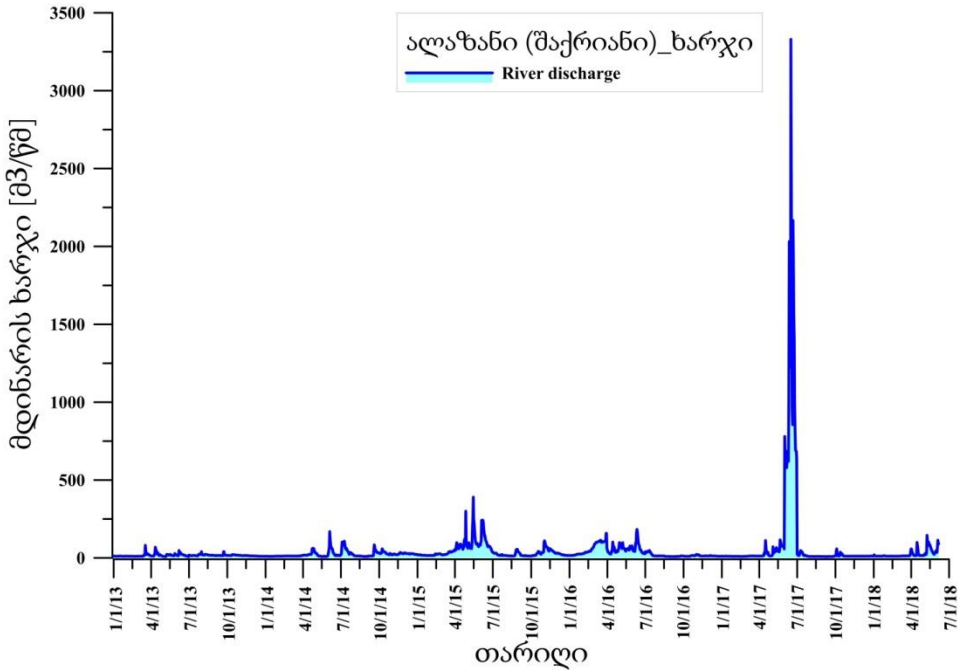


ნახ.12 ნალექების იზოტოპების განაწილება გლობალური მეტეოროლოგიური წყლის ხაზის გასწვრივ

იზოტოპურად ყველაზე მსუბუქი ნალექები გაიზომა თიანეთის მეტეოსადგურზე, რომელიც მდებარეობს ყველაზე მაღალ სიმაღლეზე, მაშინ როცა  $\delta^{18}\text{O}$ -ს და  $\delta^2\text{H}$ -ის მნიშვნელობები დანარჩენ სადგურებზე მაღალია, რაც თანხვედრაშია მათ დაბალ სიმაღლეებთან. ამდენად, იზოტოპური მნიშვნელობები თანხვედრაშია სიმაღლის ეფექტთან.

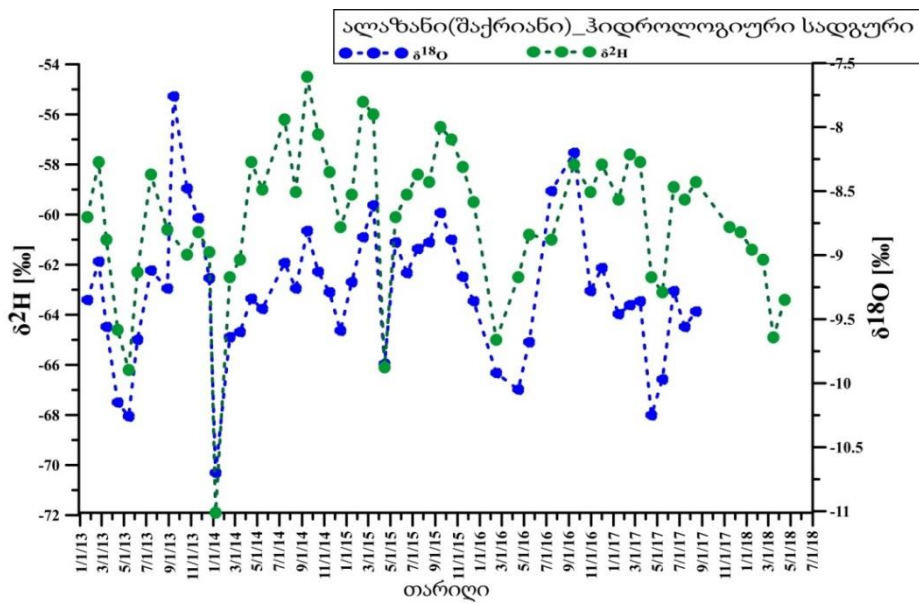
#### 4.1.2 ზედაპირულ წყლებზე მონიტორინგის შედეგები

მდინარის წყლის მონიტორინგი (Bartl et al., 2009) ორგანიზებული იყო GNIR-ის (Vitvar et al., 2007). სადგურზე შაქრიანში (Melikadze et al., 2015), რომელიც დაახლოებით 40 კმ-ით არის დაშორებული კვების არეალიდან, კავკასიონის მთებზე განლაგებული მისი სათავიდან.



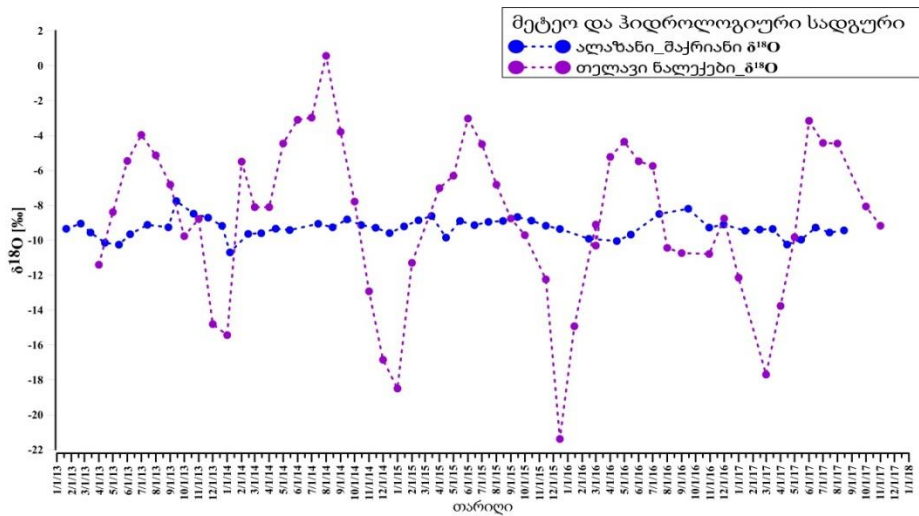
ნახ.13 შაქრიანის ჰიდროლოგიურ სადგურზე მდინარე ალაზნის ხარჯის ცვლილების გრაფიკი 2013-2018 წწ

მდინარე ალაზნის წყლის იზოტოპური ანალიზის შედეგები მიუთითებენ, რომ  $\delta^{18}\text{O}$  და  $\delta^2\text{H}$  -ს მნიშვნელობები ჯდება საერთო კანონზომიერების ფარგლებში, ისინი ვარიირებენ სეზონების მიხედვით,  $\delta^{18}\text{O}$ -ის მნიშვნელობები მერყეობს  $-11\text{‰}$ -დან  $-7\text{‰}$ -მდე, ხოლო  $\delta^2\text{H}$   $-54.5\text{‰}$ -დან  $-71.9\text{‰}$ -მდე.



ნახ.14 მდინარე ალაზნის (შაქრიანი) ჰიდროლოგიური სადგურის იზოტოპური შემადგენლობის დროში ცვლილების გრაფიკები

მდინარე ალაზნის (შაქრიანი) მნიშვნელობებს თუ შევადარებთ თელავის მეტეოსადგურის ნალექების იზოტოპურ მნიშვნელობებს, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ნალექებისა და მდინარის იზოტოპურ მნიშვნელობებში სეზონური ვარიაციების ამპლიტუდა მეტ-ნაკლებად თანხვედრაშია და იზოტოპური სიგნალი (Giggenbach, 1992). მდინარეში აგვიანებს 10-15 დღით.



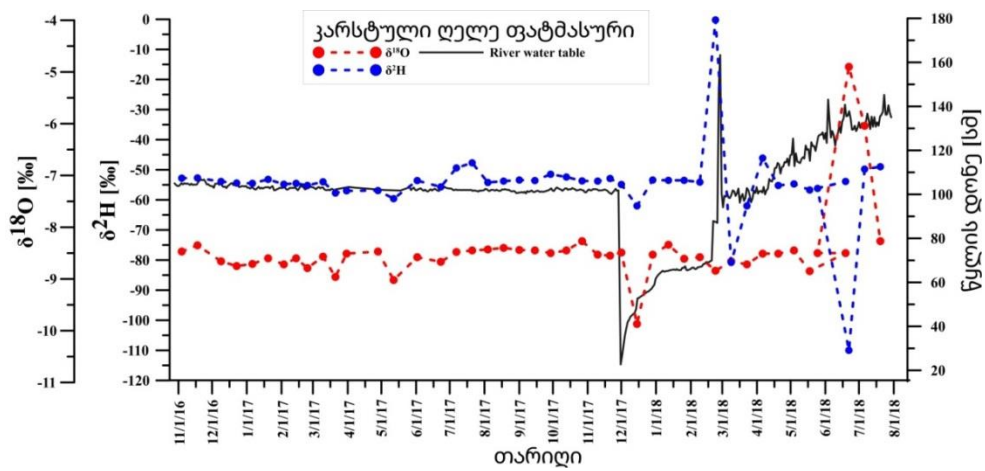
ნახ.15  $\delta^{18}\text{O}$ -ის მნიშვნელობები მდინარე ალაზანში(შაქრიანი) და ნალექებში (თელავის მეტეოსადგურზე) 2013-2018 წლის განმავლობაში

მონიტორინგი კარსტულ ღელე ფატმასურზე დაიწყო 2016 წლიდან. როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, მდინარეში დამონტაჟდა წყლის დონის გამზომი სპეციალური ხელსაწყო, მონაცემების ერთ საათიანი ინტერვალით ჩაწერის ფუნქციით, ასევე ხდებოდა თვეში ორჯერ ფატმასურის წყლის ანალიზი სტაბილურ იზოტოპებზე.



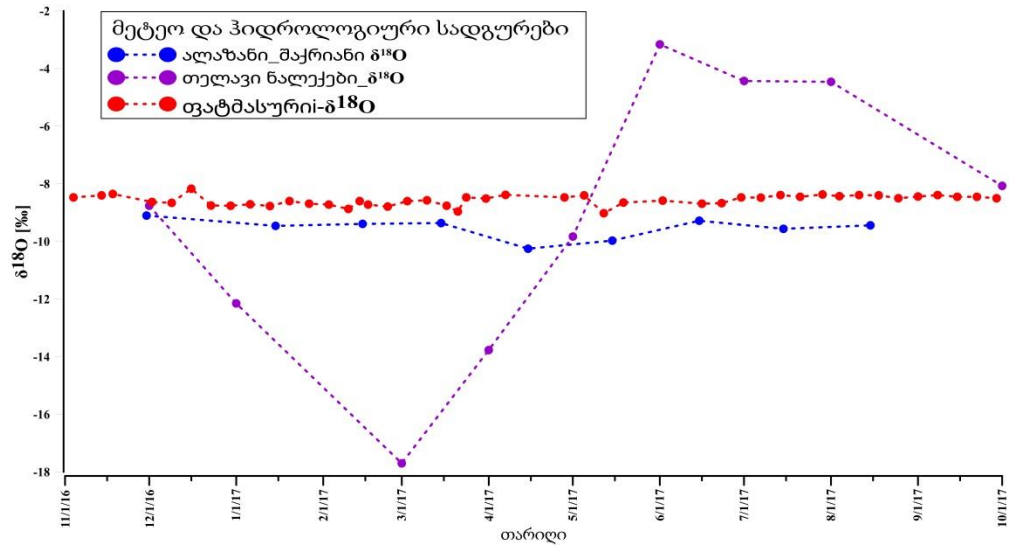
სურ.4 კარსტული ღელე ფატმასური

როგორც ანალიზების შედეგები გვიჩვენებს, ფატმასური იზოტოპურად საკმაოდ სტაბილურია;  $\delta^{18}\text{O}$ -ის მნიშვნელობები მერყეობს  $-8.9\text{‰}$ -დან  $-8.1\text{‰}$ -მდე, ხოლო  $\delta^2\text{H}$  -  $47\text{‰}$ -დან  $-60\text{‰}$ -მდე.



ნახ.16 წყლის დონე და იზოტოპური მნიშვნელობები კარსტულ ღელე ფატმასურში 2016-2018 წლის პერიოდისათვის

2016-2017 წლის პერიოდისათვის, თელავის მეტეოროლოგიური სადგური, მდინარე ალაზანი (შაქრიანთან) და კარსტული ღელე ფატმასური ავლენენ მსგავს იზოტოპურ ქცევას.

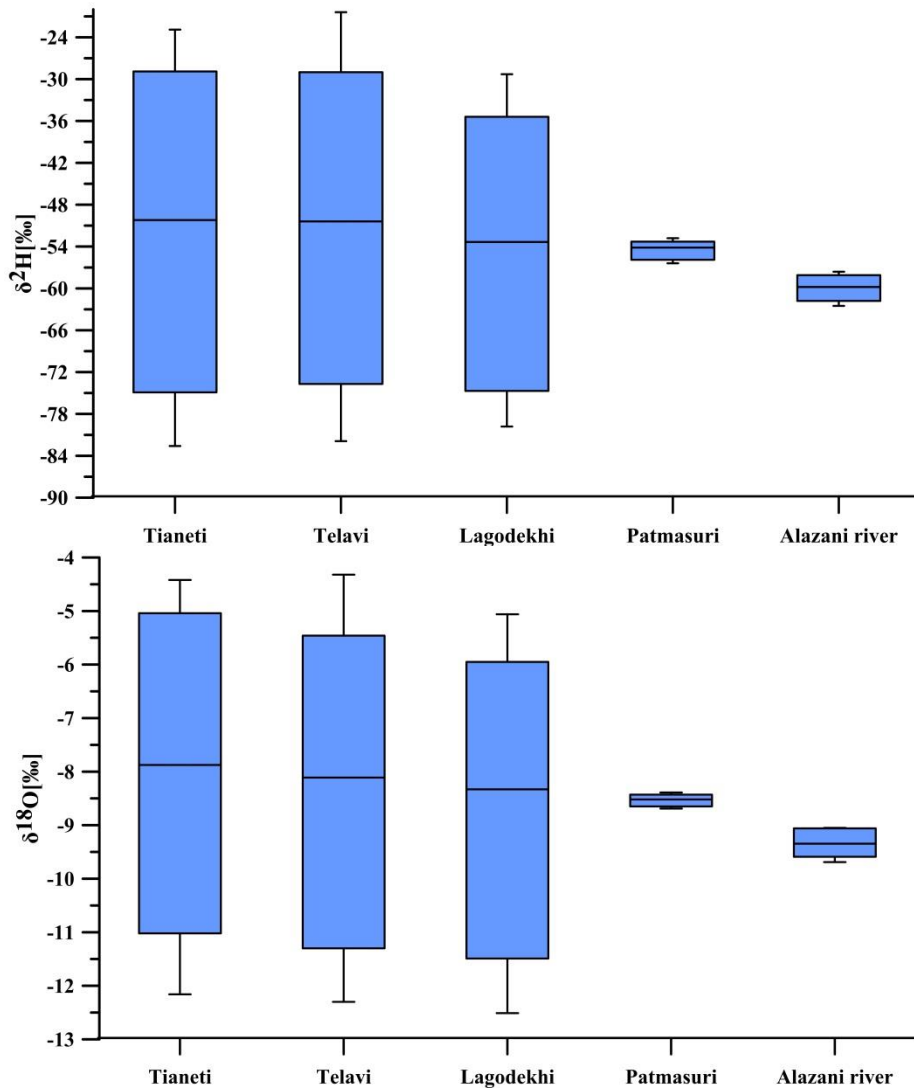


ნახ.17 δ<sup>18</sup>O მნიშვნელობები ნალექებში(თელავის მეტეო სადგური),მდინარე ალაზნის წყალში (შაქრიანთან) და ფატმასურის კარსტულ ღელეში 2016-2017 წლის პერიოდისათვის

ნახ.17-ზე ნაჩვენებია გრაფიკი მიუთითებს, რომ ნალექი რომელიც კვებავს კარსტულ წყარო ფატმასურს, თითქმის იმავდროულად ჩაიჭონება მდინარე ალაზანში, მაშინ როცა თოვლის ნადნობი წყალი პირველ რიგში ჩაიჭონება კარსტულ წყალ ფატმასურში და მხოლოდ ამის შემდეგ კვებავს მდინარე ალაზანს (Vepkhvadze et al, 2019).

მდინარე ალაზნისა (თელავთან ახლოს მდებარე შაქრიანის ჰიდროლოგიური სადგური) და ფატმასურის (ყვარელი) კარსტული ღელეს იზოტოპური შემადგენლობა, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.17-ზე, გვიჩვენებს, რომ მდინარის წყალში უმეტესად ფიქსირდება იზოტოპების მსუბუქი მნიშვნელობები.

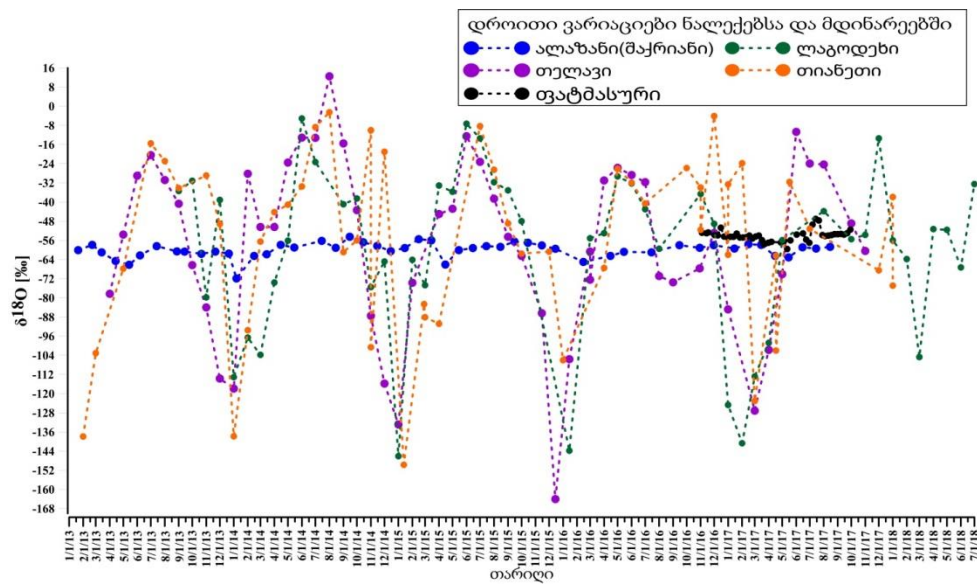




ნახ.18 ყოველთვიური ნალექების, მდინარე ალაზნისა და კარსტული წყარო ფატმასურის ბოქს-ვისკერის ტიპის გრაფიკები (John W, 1977)

ნახაზზე მოტანილია იზოტოპების მნიშვნელობები ნალექებში 2013 წლის იანვრიდან 2018 წლის ივლისამდე და მდინარე ალაზნისა (2013 წლის იანვრიდან 2018 თებერვლამდე) და ფატმასურის კარსტული ღელის იზოტოპური მნიშვნელობები 2016 წლის ნოემბრიდან 2018 წლის ივლისის ჩათვლით. ვისკერების სიმბოლოს სისქე შეესაბამება (McGill, 1978) მნიშვნელობების ცვლილების მაქსიმუმს; სადგურების განლაგება მარცხნიდან მარჯვნივ შეესაბამება მათ განლაგებას ტერიტორიაზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით (ნახ.18);

დეიტერიუმის მაღალი მნიშვნელობა დამახასიათებელია მთიანი ადგილებისათვის, მაგალითად ალპებისა და კარპატებისათვის. ნახ.14-15 ასახავს  $\delta^{18}\text{O}$  და  $\delta^2\text{H}$  -ის სეზონურ ცვალებადობას სადგურებზე. 2013-15 წლების ზამთარში მიუთითებს თოვლის დნობის პროცესის გავლენაზე, კერძოდ მსუბუქი იზოტოპური მნიშვნელობები დაფიქსირდა 2013 წლის მაისში და ნოემბერში. ასევე, მსგავსი სურათი ფიქსირდება 2014 წლის იანვარში და დეკემბერში და 2015 წლის დეკემბერში.



ნახ.19  $\delta^2\text{H}$  -ის დროში ცვლილების გრაფიკები ნალექებში, მდინარე ალაზანში შაქრიანთან (თელავთან ახლოს) და კარსტულ წყარო ფატმასურში

საკვლევ ტერიტორიაზე რეგიონის ჰიდროგეოლოგიური თავისებურებების დადგენის მიზნით კარსტულ დეღე ფატმასურში იზომებოდა წყლის ფიზიკური თვისებები (წყლის ტემპერატურა, ელექტროგამტარებლობა, pH და თავისუფალი ჟანგბადი), სავლევ ჰიდროქიმიური ლაბორატორიის საშუალებით (Multi-340i/SET).



სურ. 5 საველე პირობებში ფიზიკური პარამეტრების გაზომვის პროცესი

ფიზიკური პარამეტრების მნიშვნელობები შემდეგნაირად გამოიყურება: Ph-7.18; U (mV)-(-13); Sal-0, O<sub>2</sub>(mg/L)-2.8; O%-28.9; Con(μS/cm)-309.

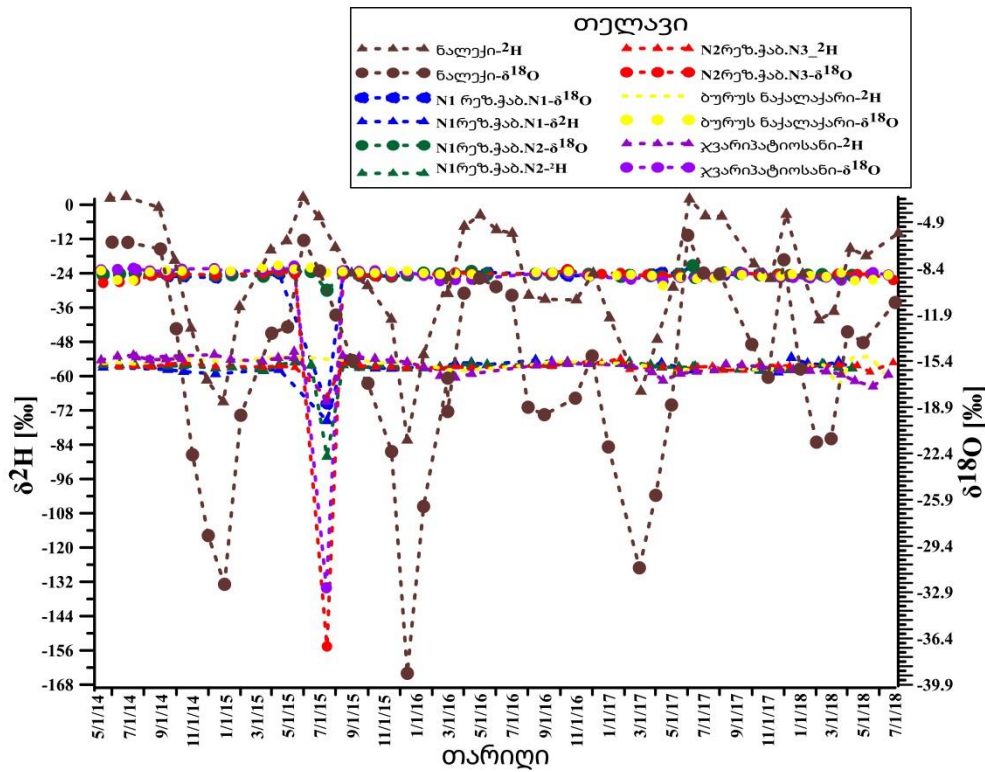
#### 4.1.3 მიწისქვეშა წყლებზე მონიტორინგის შედეგები

დამატებით, მიწისქვეშა წყლებში იზოტოპური და ქიმიური შემადგენლობის ცვლილებათა დროში და სივრცეში ვარიაციების დადგენის მიზნით, განხორციელდა რეჟიმული დაკვირვებების ორგანიზება კახეთის ტერიტორიაზე განლაგებულ ჭაბურღილებზე. საქართველოს გაერთიანებული წყალმომარაგების კომპანიასთან და საქართველოს გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტროს გარემოს ეროვნულ სააგენტოსთან შეთანხმებით, მათ სასმელი წყლის შემკრებ ჭაბურღილებზე ყოველთვიურად ხდებოდა სინჯების აღება მათში სტაბილური იზოტოპების განსაზღვრის მიზნით. დაკვირვებებისათვის შერჩეული იქნა სხვადასხვა წყალშემცველ ჰორიზონტებში განლაგებული სხვადასხვა სიღრმის ჭაბურღილები, რომლებიც

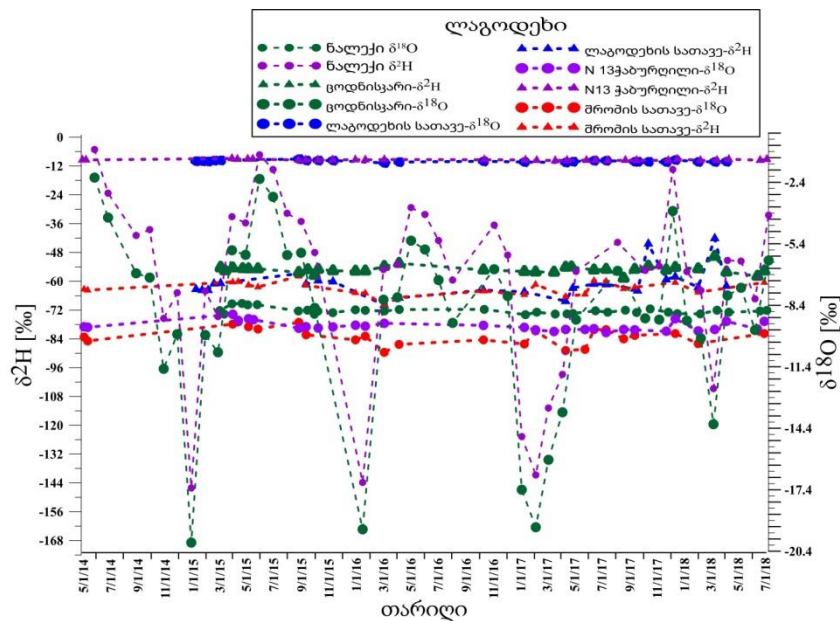
თანაბრად იყო განლაგებული მთელ ტერიტორიაზე. კერძოდ, ლაგოდების, თელავის, გურჯაანის და საგარეჯოს ტერიტორიებზე.

პერიოდულად (თვეში ერთხელ) ხდებოდა ჰიდროქიმიური და იზოტოპური სინჯების აღება და მონაცემების შეგროვება, შემდგომში მათი ლაბორატორიული ანალიზი.

ქვემოთ მოყვანილია აღნიშნულ ჭაბურღილებში იზოტოპური შემადგენლობის ცვლილების გრაფიკები.



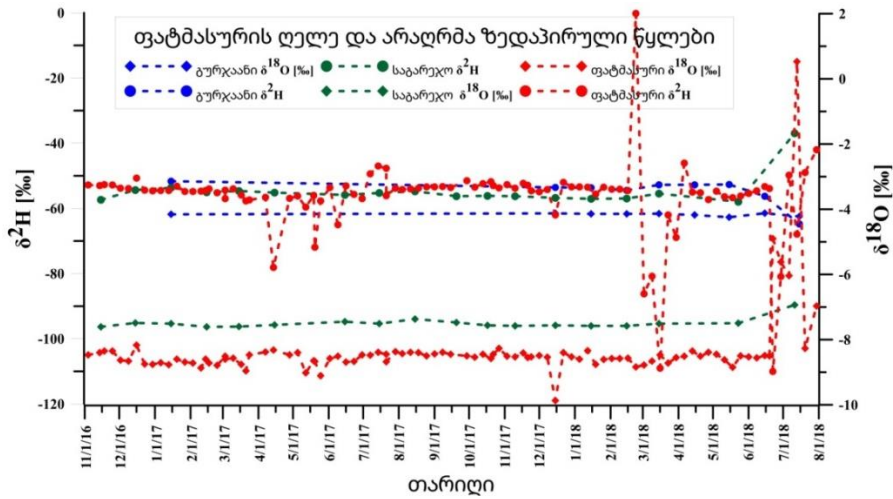
ნახ.20 თელავის რაიონის ჭაბურღილებში, მდინარეებში და ნალექებში იზოტოპების დროში ცვლილებების გრაფიკები



ნახ.21 ლაგოდების რაიონის ჭაბურღილებში, მდინარეებში და ნალექებში იზოტოპების დროში ცვლილებების გრაფიკები

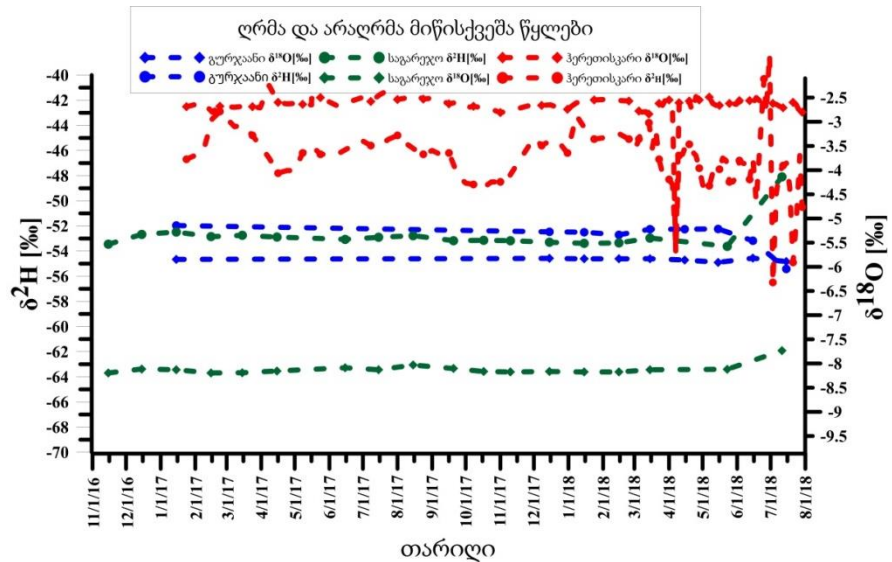
ლაგოდების რაიონის ჭაბურღილების სინჯებში იზოტოპების მნიშვნელობები ბევრად მსუბუქია სხვა სადგურებთან შედარებით, რაც აიხსნება მათი ჩრდილოეთით, დიდი კავკასიონის სამხრეთ ფერდის ძირში მდებარეობით.

იზოტოპური მონაცემები ყველაზე უფრო თვალსაჩინოა რამოდენიმე ჰიდროგეოლოგიური ჭაბურღილისათვის კახეთის რეგიონში, როგორებიცაა გურჯაანის და საგარეჯოს არალრმა მიწისქვეშა წყლები, რომელთა სიღრმე მერყეობს 100-150 მეტრის ფარგლებში და რომლებიც წარმოდგენილია მეოთხეული ასაკის ალუვიურ-პროლუვიური ნალექებით, ასევე ღრმა წყალშემცველი ჰორიზონტი - ჰერეთისკარის ჭაბურღილი, რომელიც მდებარეობს 2050-2100 მეტრის სიღრმეზე და წარმოადგენს ზედა ცარცული ასაკის კარბონატული ქანების მთავარ წყალშემცველ ჰორიზონტს. მიწისქვეშა წყლების იზოტოპური შემადგენლობა არალრმა ზედაპირულ ჭაბურღილებში ( $\delta^{18}\text{O}$ -8.5 ‰-დან -7.9‰-მდე) მსგავსია იზოტოპური მნიშვნელობისა ზედაპირულ წყლებში (Sophocleous, 2002), განსაკუთრებით კი კარსტული ღელე ფატმასურისა.

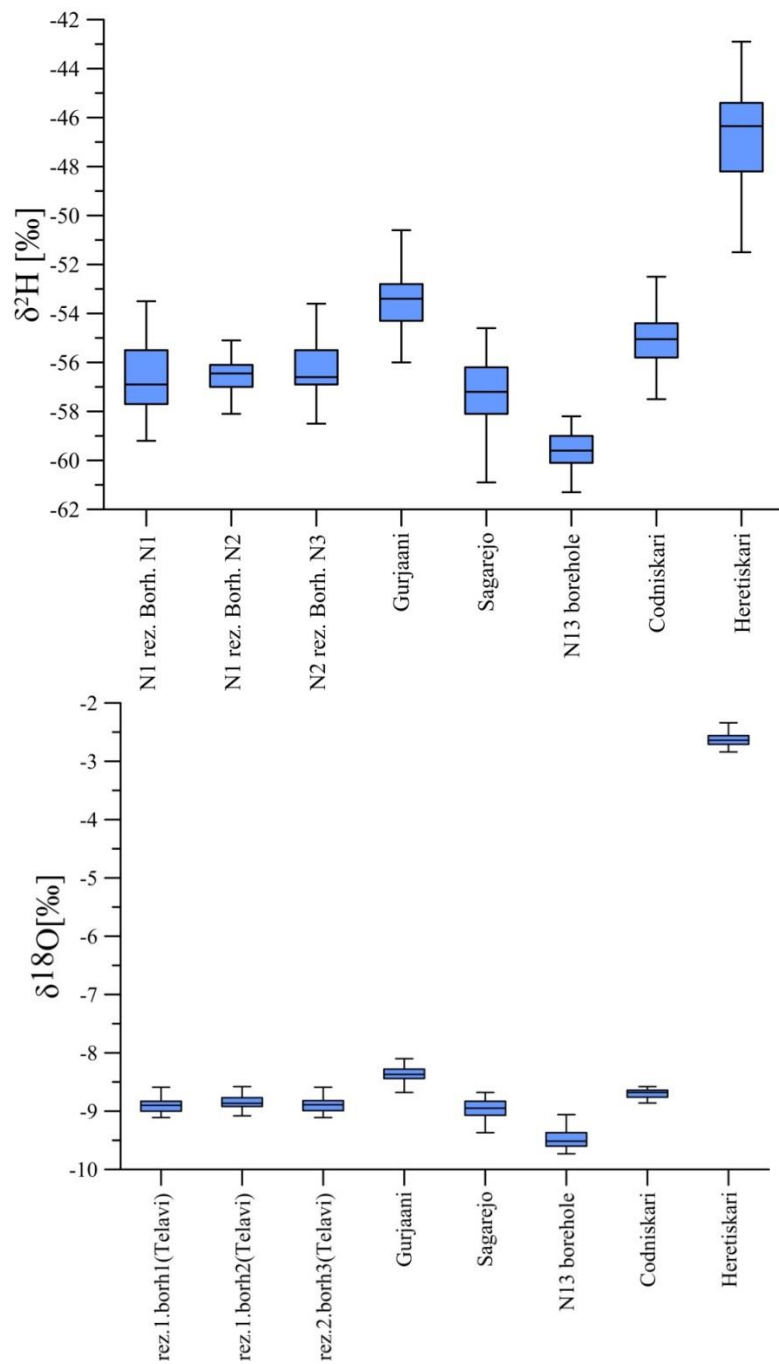


ნახ.22  $\delta^{18}\text{O}$  და  $\delta^2\text{H}$  მნიშვნელობების ვარიაციები გურჯანის და საგარეჯოს არაღრმა მიწისქვეშა წყლებსა და ფატმასურის კარსტულ ღელეში

არაღრმა, ზედაპირული მიწისქვეშა წყლების იზოტოპური შემადგენლობის შედარებით, ღრმა მიწისქვეშა წყალ ჰერეთისკარის ჭაბურღილთან, ნათლად ჩანს რომ ჰერეთისკარის წყლის იზოტოპურ მნიშვნელობებში მნიშვნელოვანი განსხვავება დაიკვირვება, კერძოდ  $\delta^{18}\text{O}$  მერყეობს  $-2.8$  ‰-დან  $-2.2$  ‰-მდე, ხოლო  $\delta^2\text{H}$  მერყეობს  $-49$  ‰-დან  $-42$  ‰-მდე.



ნახ.23  $\delta^{18}\text{O}$  და  $\delta^2\text{H}$  მნიშვნელობების ვარიაციები ჰერეთისკარის ღრმა მიწისქვეშა წყალსა და არაღრმა ზედაპირულ ჭაბურღილებში

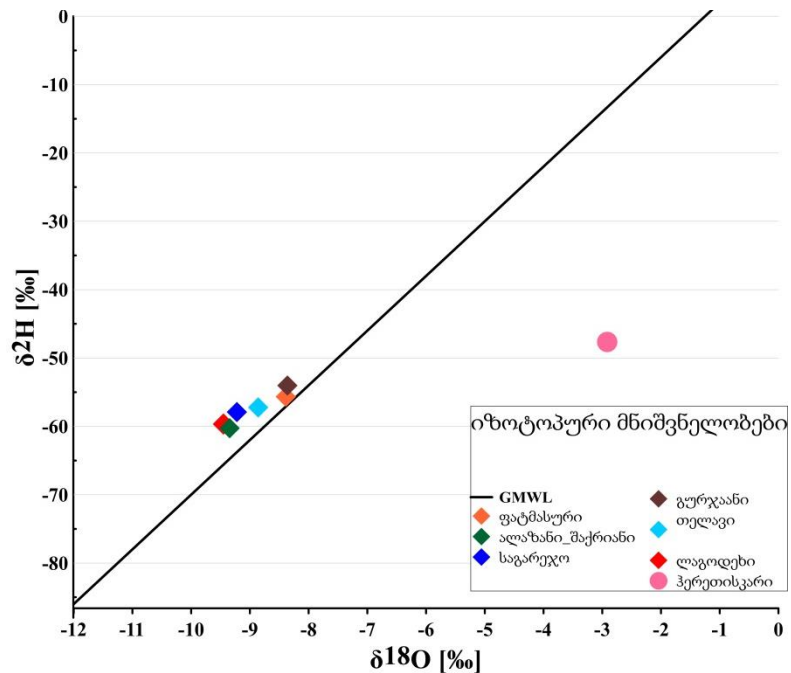


ნახ.24 მიწისქვეშა წყლების იზოტოპური შემადგენლობის ბოქს-ვისკერის გრაფიკები

ბოქს-ვისკერები გრაფიკის ამპლიტუდა შეესაბამება პუნქტის მნიშვნელობების ვარიაციებს.

ყველა ეს წყლები იზოტოპური შემადგენლობის მიხედვით ლაგდება გლობალური მეტეოროლოგიური ხაზის გასწვრივ (Craig, 1961;), სადაც შეინიშნება

განსხვავებები, კერძოდ ღრმა ჭაბურღილ ჰერეთისკარს უკავია ქვედა უფრო „მძიმე“ პოზიცია, ზედა პოზიციაში ლაგდება შედარებით ღრმა ჭაბურღილები და მდინარეები, კერძოდ როგორებიცაა: ლაგოდეხი, გურჯაანი, საგარეჯო, თელავი და შემდეგ შედარებით მსუბუქი ალაზანი (შაქრიანი) და ფატმასური, რაც აიხსნება მიწისქვეშა წყლების დამძიმებით მათი მოძრაობის გასწვრივ, კავკასიონიდან ალაზნისა და იორის წყალშემკრებების მიმართულებით.



ნახ.25 δ<sup>18</sup>O და δ<sup>2</sup>H მნიშვნელობები ზედაპირულ წყლებში, არაღრმა და ღრმა მიწისქვეშა წყლებში განთავსდა გლობალური მეტეოროლოგიური ხაზის გასწვრივ

ნახ.25-ის მიხედვით, იზოტოპური მონაცემები უჩვენებს, რომ კარსტული დეღე ფატმასური და მდინარე ალაზანი თანამედროვე მეტეორული წარმოშობისაა, რომლებიც უპირატესად იკვებებიან ნალექებით. არაღრმა მიწისქვეშა წყლების (გურჯაანისა და საგარეჯოს ჭაბურღილები) δ<sup>18</sup>O და δ<sup>2</sup>H იზოტოპური შემადგენლობა მძიმეა მზედაპირული წყლების იზოტოპური შემადგენლობასთან შედარებით.

ალაზნის იზოტოპური შემადგენლობის შედარებითი სიმსუბუქე ფატმასურთან გამოწვეულია ალაზნის ვრცელი კვების წყაროს ნაწილის განლაგებით უფრო მაღალ მთიან ადგილებში (ახმეტა და სხვა), ვიდრე ფასმასურის კვების არისა. ამასთანავე,



მსუბუქი ფრაქციის თოვლის ნადნობი წყლის და ატმოსფერული ნალექების შერევით მდინარის ნაკადთან და მისი გადატანით შორ მანძილზე.

ჰერეთისკარის ღრმა მიწისქვეშა წყალში  $\delta^{18}\text{O}$  და  $\delta^2\text{H}$ -ის მნიშვნელობებს უჭირავს მარჯვენა მდებარეობა (ნახ.25). სურათზე გამოკვეთილი ჰერეთისკარის ჭაბურღილის იზოტოპური მნიშვნელობის მკაფიო განსხვავება შეიძლება ახსნილ იქნეს, წყალშემცველი ჰორიზონტის სიღრმით (2000 მ დაბლა) და თერმული წყლისათვის დამახასიათებელი მახასიათებლებით (ტემპერატურა  $-37^\circ\text{C}$ , Na- 1773 mg/L, K- 16.97 mg/L, Mg-2571 mg/L, Ca-23.046 mg/L, Cl-4329 mg/L,  $\text{SO}_4$ -4802 mg/L).

#### 4.2 გადაადგილების დრო

მიწისქვეშა წყლის ნაკადის გადაადგილების დროის ცოდნა გვეხმარება განვსაზღვროთ მიწისქვეშა წყლის მარაგები და შევისწავლოთ წყალშემკრებ ჰორიზონტში მიმდინარე პროცესები (Stewart and McDonnell, 1991).

გადაადგილების დროის გამოთვლა ხდება სპეციალური მეთოდის მიხედვით (McGuire and McDonnell, 2006), ექსპონენციალური მოდელის გამოყენებით. ეს იგივე „სინუსოიდალური მრუდების მეთოდი“ გულისხმობს ცალკეული სადგურების მონაცემებით სინუსოიდალური მრუდების აგებას და ანალიზს, რომელიც დაფუძნებულია სხვადასხვა სადგურების იზოტოპური პარამეტრების მნიშვნელობათა შედარებაზე, კერძოდ, მათი პარამეტრების დროში ცვლილებების გრაფიკების შედარებით გადაადგილების დროის მოდელირებაზე. კომპიუტერული პროგრამა ითხოვს (1) საწყის მონაცემებს, (2) კვების არის განსაზღვრას, მონაცემების ჩანაწერების ხანგრძლივობის საკმარისობის განსაზღვრას, (3) განტვირთვის არის შერჩევას (4) გადაადგილების დროის განსაზღვრას.

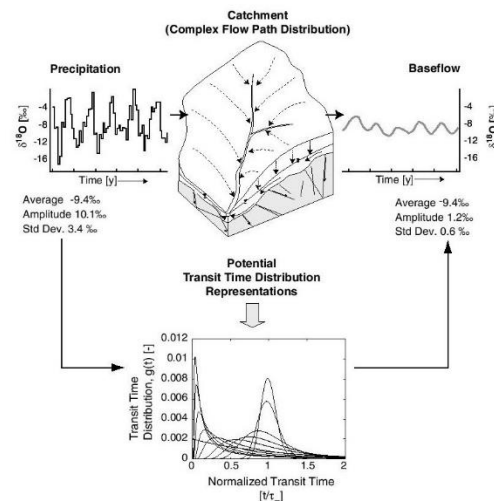
ხანგრძლივი გადაადგილების დრო მიუთითებს ბიოგეოქიმიური რეაქციებისთვის ხანგრძლივ დროს (Burns et al., 2003; Scanlon et al., 2001).

ამგვარად, გადაადგილების დრო აღწერს ტრასერის ტრანსპორტირებას წყალშემცველ ჰორიზონტში. ის არ მოითხოვს გარემოს დეტალურ ჰიდროლოგიურ

დახასიათებას და მისი სიმარტივის და მონაცემთა სიმცირის შემთხვევაში, ხშირად გამოიყენება წყალშემცველი ჰორიზონტის დასახასიათებლად.

ამგვარი მეთოდით გამოითვლება ნალექების გადაადგილების დრო, როგორც ზედაპირულ წყლებადმე (მდინარე და ტბა), ასევე მიწისქვეშა წყლებადმე (ჭაბურღილი, ჭები და სხვა) (Maloszewski and Zuber, 1996).

Maloszewski and Zuber (1993, 1996), Zuber and Maloszewski (2000), and Bethke and Johnson (2002)-ის შრომები მთლიანად ფოკუსირებულია ბუნებრივი იზოტოპების გამოყენებით მიწისქვეშა წყლების სისტემების გადაადგილების დროის გამოთვლაზე. სტაბილური იზოტოპები არის მთავარი ტრასერები, რომლებიც შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს წყალშემკრები ჰორიზონტისა და ახალგაზრდა მიწისქვეშა წყლების შესაფასებლად (< 5 წელზე) (Moser, 1980; Coplen, 1993; Clark and Fritz, 1997; Turner and Barnes, 1998; Coplen et al., 2000).



სურ.6 გადაადგილების დროის კონცეპტუალური დიაგრამა (განახლდა Plummer და სხვა (2001)-ის შემდეგ)

$\delta^{18}O$ ,  $\delta^2H$  და  $^3H$ , იდეალური ტრასერებია, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელია ნალექებისა და მიწისქვეშა წყლების ურთიერქმედების პროცესზე დაკვირვება (Kendall and Caldwell, 1998). ასევე, მიწისქვეშა წყლების გადაადგილების დრო შეიძლება შეფასდეს სხვა ბუნებრივი იზოტოპების გამოყენებით, როგორებიცაა ქლოროფლორკარბონები (CFCs),

ტრიტიუმი/ჰელიუმი-3 ( $3\text{H}/3\text{He}$ ), გოგირდის ჰექსფლორიდი ( $\text{SF}_6$ ) და კრიპტონი-85 ( $85\text{Kr}$ ) (Ekwurzel et al., 1994; Cook and Solomon, 1997; Solomon et al., 1998)), მაგრამ ეს ტრასერები არ არის გამოყენებადი ზედაპირულ წყლებისთვის, მათი ინტენსიური გაცვლის გამო ატმოსფეროსა და ვადოზურ ზონას შორის (Cook and Solomon, 1995; Plummer et al., 2001).

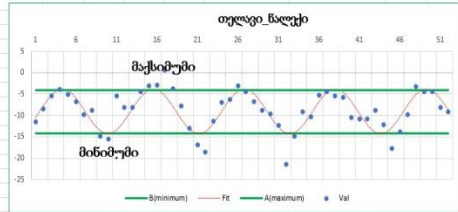
წყლის გადაადგილების დროის განსაზღვრა ასევე შესაძლებელია კონსერვატიული ტრასერებით (მაგალითად ქლორი) (Dincer et al., 1970; Maloszewski and Zuber, 1982; Pearce et al., 1986; Kirchner et al., 2000).

მიწისქვეშა წყლების გადაადგილების საშუალო დროის განსაზღვრავად ჩატარდა შესაბამისი ანალიზი. კონკრეტულად, შედარებული იქნა ფატმასურის სადგურზე მდინარის წყალში იზოტოპური მონაცემების მრუდი. მათგან თელავის მეტეო სადგური მდებარეობს კარსტულ ნაკადულ ფატმასურთან 568 მ ზ.დ. სიმაღლეზე. გადაადგილების დროის გამოთვლა კარსტული ღელე ფატმასურისათვის დაფუძნებული იყო  $\delta^{18}\text{O}$ -ის ცვლილებაზე.

ფატმასურის კარსტული ღელისა და თელავის მეტეოროლოგიური სადგურის ნალექებისათვის სინუსოიდალური მრუდების მეშვეობით განისაზღვრა საშუალო მნიშვნელობები.

Val	Fit	Sq_error	A(max)	B(min)	Constant	Initial Values		max	-8.45
-8.41	-8.46	0.002054174	-8.45	-8.45	-8.54	a	-0.048211272	min	-8.54
-8.56	-8.50	0.003180002	-8.45	-8.45	-8.54	b	1.139021808	A	0.09557
-8.55	-8.54	0.000132516	-8.45	-8.45	-8.54	c	-8.46467378		
-8.67	-8.53	0.020415253	-8.45	-8.45	-8.54	d	-8.496960676		
-8.59	-8.48	0.012224482	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.44	-8.45	7.80648E-05	-8.45	-8.45	-8.54	SS	0.50470405		
-8.51	-8.47	0.000948238	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.43	-8.53	0.009223964	-8.45	-8.45	-8.54		equation	sin(b*x+c)+d	
-8.37	-8.54	0.028918523	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.09	-8.51	0.176228514	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.32	-8.46	0.020597139	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.42	-8.45	0.001186769	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.39	-8.50	0.011518423	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.59	-8.54	0.002717717	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.69	-8.53	0.025861923	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.74	-8.48	0.067021455	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.65	-8.45	0.04203506	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.39	-8.47	0.006830092	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.77	-8.52	0.060224123	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.58	-8.54	0.001567755	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.42	-8.51	0.007488614	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.43	-8.46	0.000877554	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.45	-8.45	7.45571E-05	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.46	-8.50	0.001602833	-8.45	-8.45	-8.54				
-8.50	-8.54	0.001696304	-8.45	-8.45	-8.54				

Val	Fit	Sq_error	A(maximum)	B(minimum)	Sq_error	Constant	Initial Values	max	-3.75628	equation	a*sin(b*x+c)+d
-11.41	-10.43	0.960331	-4	-14.26	0.960331	a	5.258423608	min	-14.267		
-8.39	-7.53043	0.738857	-4	-14.26	0.738857	b	0.538669507	A	10.5107		
-5.46	-5.08176	0.143062	-4	-14.26	0.143062	c	5.451741419				
-3.97	-3.82862	0.019989	-4	-14.26	0.019989	d	-9.013393391				
-5.14	-4.15205	0.976052	-4	-14.26	0.976052						
-6.82	-5.9537	0.750471	-4	-14.26	0.750471	SS	362.4047856	-14.267			
-9.77	-8.68574	1.175613	-4	-14.26	1.175613						
-8.78	-11.5174	7.493439	-4	-14.26	7.493439						
-14.81	-13.5877	1.494094	-4	-14.26	1.494094						
-15.44	-14.267	1.375958	-4	-14.26	1.375958						
-5.5	-13.3488	61.60374	-4	-14.26	61.60374						
-8.11	-11.1123	9.013924	-4	-14.26	9.013924						
-8.11	-8.2376	0.016281	-4	-14.26	0.016281						
-4.46	-5.59878	1.296816	-4	-14.26	1.296816						
-5.1	-3.99827	0.806884	-4	-14.26	0.806884						
-2.98	-3.92274	0.883767	-4	-14.26	0.883767						
0.56	-5.39518	35.46411	-4	-14.26	35.46411						
-3.79	-7.96783	17.45423	-4	-14.26	17.45423						
-7.79	-10.8584	9.415143	-4	-14.26	9.415143						
-12.93	-13.188	0.066547	-4	-14.26	0.066547						
-16.85	-14.2481	6.769744	-4	-14.26	6.769744						
-18.5	-13.7185	22.88167	-4	-14.26	22.88167						
-11.3	-11.7548	0.206842	-4	-14.26	0.206842						
-7.02	-8.95948	3.761568	-4	-14.26	3.761568						
-6.31	-6.18055	0.016758	-4	-14.26	0.016758						
-3.03	-4.26303	1.520352	-4	-14.26	1.520352						
-4.5	-3.78998	0.504122	-4	-14.26	0.504122						



ნახ.26 ფატმასურის კარსტულ ღელესა და თელავის მეტეოროლოგიურ სადგურზე იზოტოპების ყოველთვიური მონაცემების ცვლილების სინუსოიდალური გრაფიკები

გადაადგილების დროის გამოსათვლელად წალექების საშუალო მნიშვნელობა გამოყენებულ იქნა როგორც „input” მონაცემი, ხოლო ფატმასურის ღელის წყლის იზოტოპური მნიშვნელობა - „output” მონაცემი და შემდეგი ფორმულის მეშვეობით განისაზღვრა მათი ერთმანეთზე დამოკიდებულება.

A -წალექების იზოტოპური მნიშვნელობა

B - ღელის წყლის იზოტოპური მნიშვნელობა

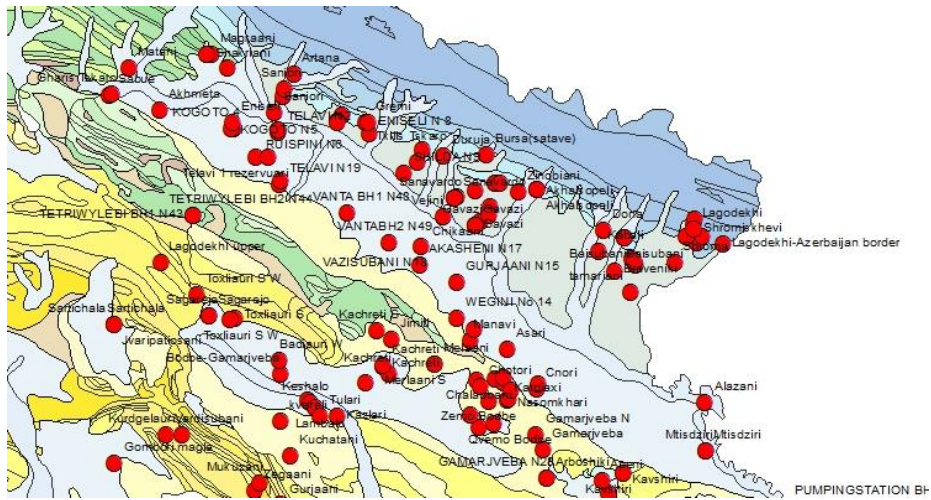
$$MTT = \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot f$$

საიდანაც  $\sqrt{2 \cdot \pi} = \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot f$ ,  $f = B/A$ ,  $1/f^2 = 1/POWER(f, 2)$  (McGuire and McDonnell, 2006)

მარტივი სინუსოიდური ტალღის მეთოდით გამოთვლილი გადაადგილების დრო ნალექებიდან კარსტულ წყლებამდე შეადგენს 17 თვეს.

#### 4.3 ჰიდროქიმიური დასინჯვები საკვლევ რეგიონში

საკვლევ ტერიტორიაზე რეგიონის ჰიდროგეოლოგიური თავისებურებების დადგენის მიზნით იზოტოპურ დასინჯვებთან ერთად გაგრძელდა ჰიდროგეოქიმიური დასინჯვები (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>,HCO<sub>3</sub>). დასინჯვებოდა ყველა ტიპის წყალპუნქტი, ყველა პუნქტზე ხდებოდა სინჯების აღება, მთავარი მაკრო და მიკროკომპონენტების განსაზღვრა.



ნახ. 27 წყალპუნქტების განაწილება გეოლოგიურ რუკაზე

განხორციელდა მოპოვებული მასალის მულტიპარამეტრული ანალიზი (Melikadze et al,2015), Melikadze et al (2014(a)), რის საფუძველზეც გამოყოფილი იქნა შემდეგი ფორმაციები:

1. AK ყვარელის არტეზიული წყალშემცველი ჰორიზონტის წყალპუნქტები;
2. AT თელავის არტეზიული წყალშემცველი ჰორიზონტის წყალპუნქტები;
3. AG გურჯანის არტეზიული წყალშემცველი ჰორიზონტის წყალპუნქტები;
4. AN ალაზნის ქვედა წყებების არტეზიული წყალშემცველი ჰორიზონტის წყალპუნქტები;

5. SCJ იურულ და ცარცულ ასაკის ფორმაციების წყაროები;
6. CJ იურული და ცარცული ასაკის ფორმაციების ჭაბურღილები;
7. R ზედაპირული (მდინარეები და ტბები) წყლები.

წყალშემცველი ჰორიზონტებისა და კომპლექსების შესახებ ინფორმაცია მოცემულია ქვემოთ:

**თანამედროვე ალუვიალური ნალექების წყლის ჰორიზონტები (Q4)- მდინარეები (და ტბა)- R და L<sub>1</sub>** ეს ნალექები ქმნიან სხვადასხვა სიგანის ზოლებს, რომლებიც ფიქსირდება ალაზნისა და იორის და მათი შენაკადების გასწვრივ. წყლები ძირითადად მტკნარია, მინერალიზაციით 0.5-0.9 გ/ლ. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით ბიკარბონატ-კალციუმიანი, ბიკარბონატ-სულფატიანი და კალციუმ-ნატრიუმიანი ტიპისაა. მათი ტემპერატურა მერყეობს 12-დან 17 °C -მდე.

თანამედროვე ალუვიული ნალექების მიწისქვეშა წყლები ფართოდაა გამოყენებული რეგიონში. კახეთის რაიონების წყალმომარაგება ეყრდნობა ძირითადად იმ წყლებს, რომელთა რაოდენობრივი მარაგები მაღალია. თუმცა, ეს მარაგები არაა დამტკიცებული კატეგორიების მიხედვით.

**ქვედა და შუა მეოთხეულის ასაკის მასიური პროლუვიალ-დელუვიალური ნალექების წყალშემცველი კომპლექსი - AK ყვარლის არტეზიული წყალშემცველი ჰორიზონტი**

ყვარლის წყალშემცველი ჰორიზონტი (Q2) ძირითადად გავრცელებულია საკვლევი ტერიტორიის ჩრდილო ნაწილში. ყვარლის ჰორიზონტის აღმოსავლეთი ნაწილი მდებარეობს აზერბაიჯანში და მოიცავს მდინარე აგრიჩაის მარჯვენა ნაპირს. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით წყლები ბიკარბონატ-სულფატურ, კალციუმიან-მაგნეზიუმიანი ტიპისაა, სასიამოვნო გემოთი, გამჭვირვალე და სუფთაა და გამოიყენება სასმელი და ტექნიკური მიზნებისათვის.

**ზედა პლიოცენის აგრიჩაი-აფშერონის ნალექების წყალშემცველი კომპლექსი ცნობილია, როგორც ალაზნის წყების ნალექები და ფართოდაა გავრცელებული** კახეთის ქედის ჩრდილო და სამხრეთ-აღმოსავლეთ ფერდებამდე. ალაზნის წყების ნალექები იყოფა ქვედა, შუა და ზედა ნაწილებად და წარმოადგენენ წყალგამტარ და წყალგაუმტარ ფენათა მონაცვლეობას. წყების ქვედა ნაწილი, ალაზნის ქვედა სერიის არტეზიული

ჰორიზონტი - AN, შეიცავს მაღალმინერალიზებულ წყალს; წყალი გამოუსადეგარია ადამიანის მოხმარებისათვის.

გურჯაანის არტეზიული ჰორიზონტის (AG) წყალი დაკავშირებულია ალაზნის წყების ზედა ფენის შუა ნაწილსა და ქვედა ფენის ზედა ნაწილთან. ქიმიური შემადგენლობით წყლები ბიკარბონატული, ნატრიუმთან-კალციუმთან, ბიკარბონატ-სულფატური, ნატრიუმთან-კალციუმანია. საერთო მინერალიზაცია 0.6 -1.3 გ/ლ. ამ ჰორიზონტის მიწისქვეშა წყლები შეიცავს მცირე რაოდენობის გოგირდწყალბადს (0.8-4 მგ/ლ), რაც გამოარჩევს მათ თელავის ჰორიზონტის წყლებისაგან. გოგირდწყალბადი გავლენას არ ახდენს წყლის გემოზე, რადგან იგი მომენტალურად ორთქლდება.

თელავის არტეზიული ჰორიზონტი (AT) მდებარეობს 90-250 მ სიღრმეზე, ზოგან კი უფრო ღრმადაც (320-364 მ). ჰორიზონტი შეიცავს 1-2, ხანდახან 3-4 წყალშემცველ ფენას. თელავის ჰორიზონტის წყლები ხასიათდება დაბალი მინერალიზაციით 0.3 -1.0 გ/ლ და შემადგენლობით ბიკარბონატულ-კალციუმთან-ნატრიუმანია. წყალი ვარგისიანია ადამიანის მოხმარებისათვის.

**ზედა იურული-ქვედა ცარცული კარბონატული ნალექების წყალშემცველი კომპლექსი (SCJ, CJ)** ფართოდაა გავრცელებული დიდი კავკასიონის სამხრეთი ფერდის მთელ სიგრძეზე. იგი ხასიათდება განსაკუთრებული წყლიანობით და მრავალი გამოსავლებით ზევიდან ქვევით და პირიქით. განსაკუთრებით წყლიანია კირქვები, რომელიც წარმოადგენენ დახურულ კარსტულ და კარსტულ-ნაპრალოვან წყაროებს.

ქვიშაქვებში, მერგელებსა და თიხიან ქვიშების დანაპრალებულ ქანებში წყაროებს ჩვეულებრივ დაბალი გამოსავალი აქვს (0.05-0.15-0.3 ლ/წმ). ი.მ. ბუაჩიძის, პ.ფ. კვარცხავას (6), ო.მ. ჰამზაევას (7) მიხედვით, 20 კმ -ის ფარგლებში ნაპოვნი იქნა დაახლოებით 48 დიდი და ათობით პატარა კარსტულ-ნაპრალოვანი წყარო. ისინი გამოედინებიან ფერდებიდან და წყალგამყოფების შემადგენელ კირქვებიდან. ზედა იურული და ქვედა ცარცული ასაკის ქანებთან დაკავშირებული მიწისქვეშა წყლები ხასიათდება როგორც ღრმა, ასევე ზედაპირული ცირკულაციებით.

### მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმიური ზონალობა

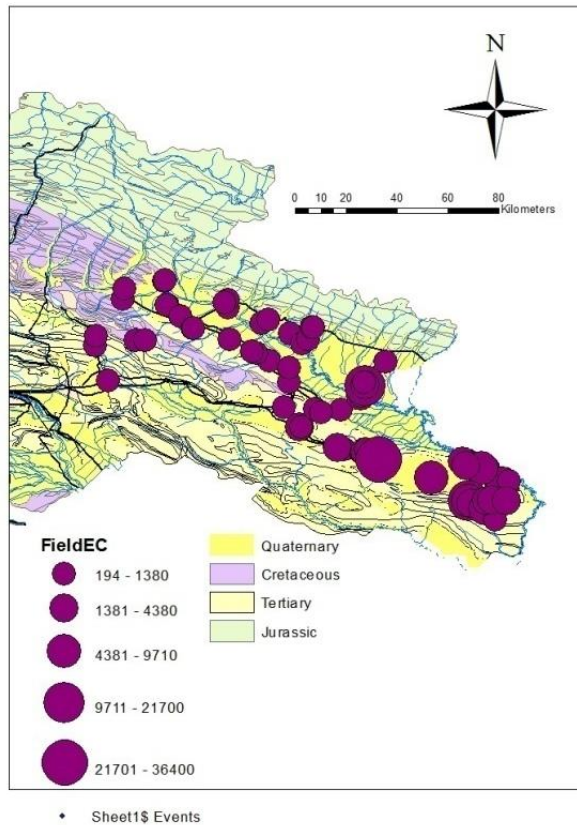
მიწისქვეშა წყლების არსებული და პროექტის ფარგლებში აღებული სინჯების ანალიზის შედეგებზე დაყრდნობით ნათლად დადასტურდა მიწისქვეშა წყლების ქიმიური შემადგენლობის ფორმირების გზები და ალაზანი-იორის არტეზიული აუზის ჰიდროქიმიური ზონალობის სქემა.

პირველი ტიპის მიწისქვეშა წყლებში გაერთიანებულია და ფარავენ იმ წყლების ტერიტორიას (ძირითადად შირაქის ველი), რომელთა საერთო მინერალიზაცია 2 გ/ლ-ზე მეტია. მათი ქიმიური შემადგენლობა ნატრიუმ-ქლორიდულია. სიხისტე მერყეობს 13.9-71.4 მგ/ეკვ, ტემპერატურა კი 14-19° C. ამ ტიპის ჰორიზონტებია (QS) და (SQS).გაზრდილი მინერალიზაცია, ჩვენი აზრით, აიხსნება მეოთხეული ასაკის გამარილიანებული ქანებით, როგორც შედეგი ინტენსიური ზედაპირული აორთქლებისა და ნალექების მინიმალური რაოდენობისა.

უნდა აღინიშნოს, რომ გარკვეული ასიმეტრია არსებობს ზედა და ქვედა ჰორიზონტებს შორის. მიწისქვეშა წყლების ზედა ფენები უფრო მეტად მინერალიზებულია (სინჯები№22, 32-35, 37, 71), ვიდრე ქვედა ფენები, რომლებიც გახსნილია ჰაბურღილებით (სინჯები№31, 41, 54). ეს ფაქტი შესაძლოა აიხსნას იმ მიზეზით, რომ ზედა ფენას არ აქვს განტვირთვის არე, მდებარეობს ჩაკეტილ შირაქის სინკლინში და იგი ინტენსიური ევაპორაციის გავლენის ქვეშ იმყოფება. ხოლო, ქვედა წნევიანი ფენა, ჰორიზონტი, რომელიც გახსნილია რამდენიმე ბურღილით, განიტვირთება წყაროების სახით, რომლებიც შირაქის ველის ჩრდილოეთით ფერდზე, ალაზნის მარჯვენა ნაპირზე მდებარეობენ და ხასიათდებიან უფრო სწრაფი ცირკულაციით და წყალშემცველი ჰორიზონტის შედარებით კარგი გამტარებლობით.

ეს კანონზომიერება სრულად აისახება მიწისქვეშა წყლების გამტარებლობის ზოგად რუკაზე (ნახ. 28), სადაც ჩანს გამტარებლობის აღმავალი ტრენდი მდინარე ალაზნის გასწვრივ ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით და შირაქის ველზე სამხრეთ-დასავლეთიდან ჩრდილო-აღმოსავლეთის მიმართულებით.





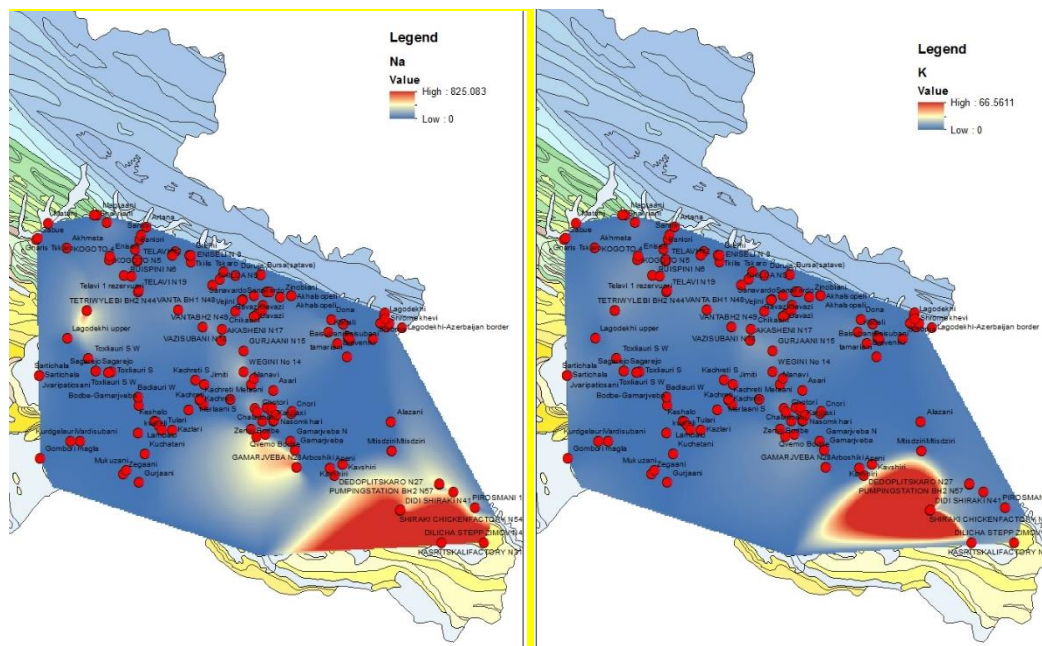
ნახ. 28. ალაზანი-იორის ტერიტორიაზე მიწისქვეშა წყლებში ელექტრული გამტარებლობის სივრცული განაწილება

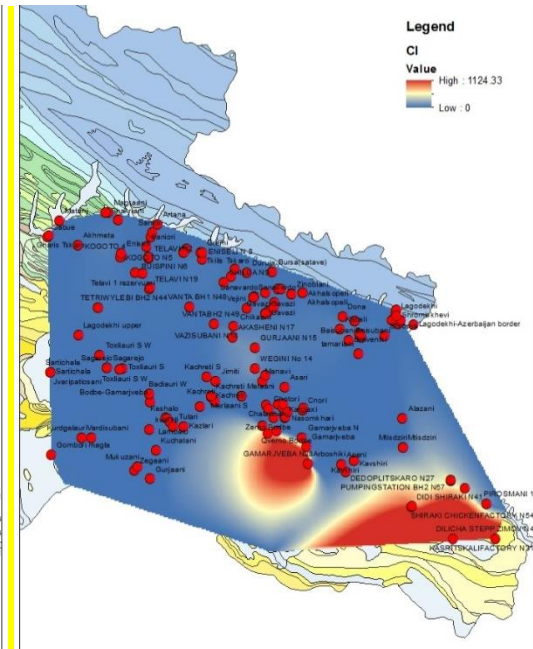
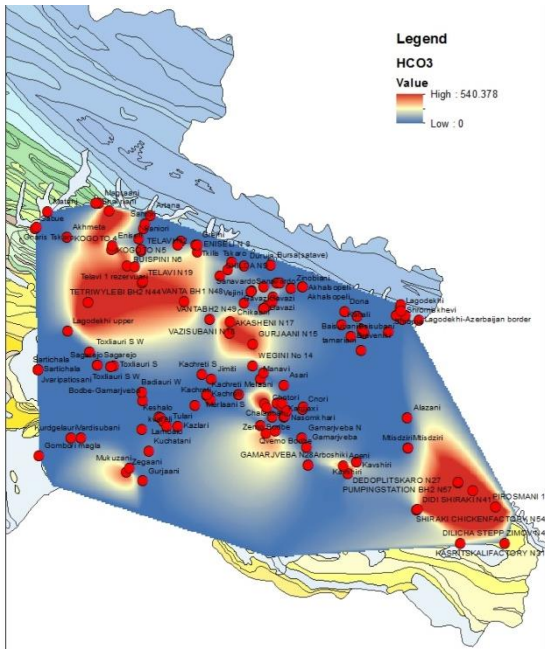
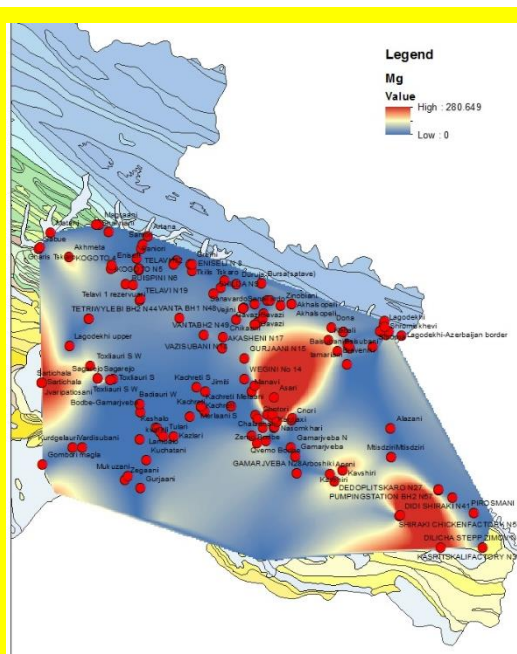
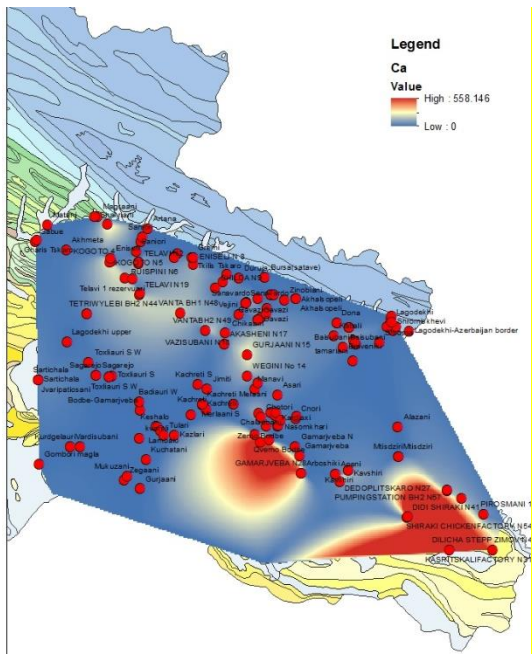
კახეთის ქედზე აღნიშნული ტიპის მიწისქვეშა წყლები ხასიათდებიან ლოკალური გავრცელებით, რადგან ისინი შემოსაზღვრული არიან ტექტონიკური რღვევებით (გამარჯვება და ბოდბე) ქვედა ალაზნის წყების არტეზიულ ჰორიზონტში.

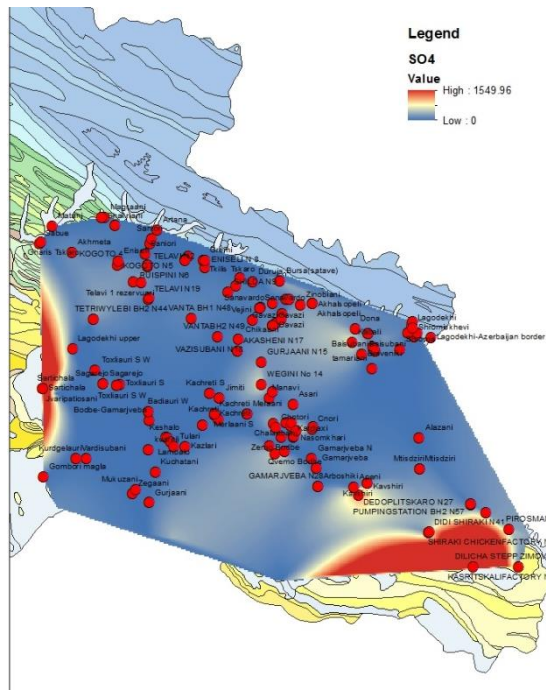
მეორე ტიპის მიწისქვეშა წყლები ხასიათდებიან საერთო მინერალიზაციით 1.0-2.0 გ/ლ. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით ისინი ქლორიდულ, ნატრიუმ-კალციუმ-ნატრიუმ-ქლორიდულ-ნატრიუმ-კალციუმ-კარბონატული, კალციუმ-ნატრიუმ-ბიკარბონატული, კალციუმ ბიკარბონატ-სულფატურ-ნატრიუმ-მაგნიუმ-ნატრიუმ-ბიკარბონატ-ქლორიდული, და ნატრიუმ-მაგნიუმ-ნატრიუმ-კალციუმ-ნატრიუმ. სიხისტე იცვლება 1.4-10.4 მგ/ეკვ შორის, ტემპერატურა 14-19<sup>0</sup> C. ამ ტიპის წყლები გავრცელებულია თელავისა და ყვარელის ჰორიზონტების ნაწილებში და მთელ გურჯაანის ჰორიზონტში - AT, AK, AG (ნახ. №29).

მესამე ტიპის მიწისქვეშა წყლების საერთო მინერალიზაცია 1.0 გ/ლ-მდეა. წყალი ქიმიური შემადგენლობით ბიკარბონატულ-საღვატური, ნატრიუმ-კალციუმ-მაგნიუმია. ბიკარბონატული, კალციუმ-ნატრიუმ-მაგნიუმ ბიკარბონატული და კალციუმ-მაგნიუმმიანი ბიკარბონატულ-ქლორიდულ-საღვატურ-მაგნიუმმიანი ტიპის; მათი სიხისტე მერყეობს 1.7-5.4 მგ/ეკვ.; ტემპერატურა 12-16 °C. ამ ტიპის მიწისქვეშა წყლები გავრცელებულია აუზის დანარჩენ ნაწილში, ყვარელის ჰორიზონტის გავრცელების უმეტეს ნაწილში და ნეოგენსა, ცარცსა და იურულ ნალექებში (AT, SCJ, (ნახ. 29).

აღნიშნული კანონზომიერებები ნათლად ჩანს ასევე ჰიდროქიმიური პარამეტრების ტერიტორიაზე განაწილებაში.







ნახ. 29 ალაზანი-იორის ტერიტორიაზე მიწისქვეშა წყლებში ჰიდროქიმიური პარამეტრების განაწილების რუკები

ზოგადი სურათი მიუთითებს მინერალიზაციის ზრდას სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში (შირაქის ველი) და ჰიდროკარბონატულ კალციუმის ტიპის წყლის ჩანაცვლებას ნატრიუმ ქლორიდული ტიპით ტერიტორიის ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთით.

ჰორიზონტის ქიმიური შემადგენლობა მრავალფეროვანია და განისაზღვრება რეგიონის ლითოლოგიითა და ტექტონიკით. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით წყაროები იყოფა სამ ტიპად:

პირველი- მლაშე კალციუმ-მაგნიუმის ბიკარბონატული წყლები. საერთო მინერალიზაცია მერყეობს 0.15-0.4 გ/ლ-მდე; სიხისტე 1.5-5.3 მგ/ეკვ; ტემპერატურა 13-14 °C; დებიტი 0.3 -125 ლ/წმ. ამ წყლებს ზედაპირული ცირკულაცია ახასიათებთ, იკვებებიან ატმოსფერული ნალექებით და ზედაპირული წყლებით, მათი კვება და გავრცელება ემთხვევა ერთმანეთს. წყალი კალციუმის ბიკარბონატული ტიპისაა.

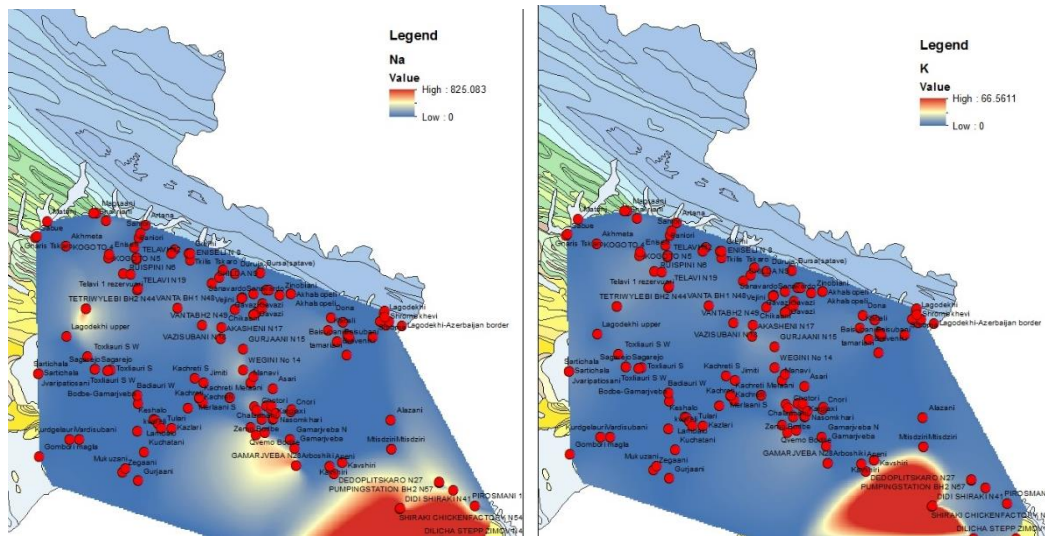
მეორე - მაღალმინერალიზებული ქლორიდულ-ნატრიუმ-კალციუმის წყალი. საერთო მინერალიზაცია მერყეობს 1-დან 1.2 გ/ლ-მდე, სიხისტე 5.3 -6.4 მგ/ეკვ,

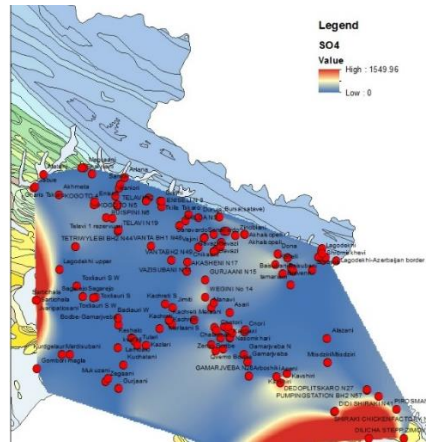
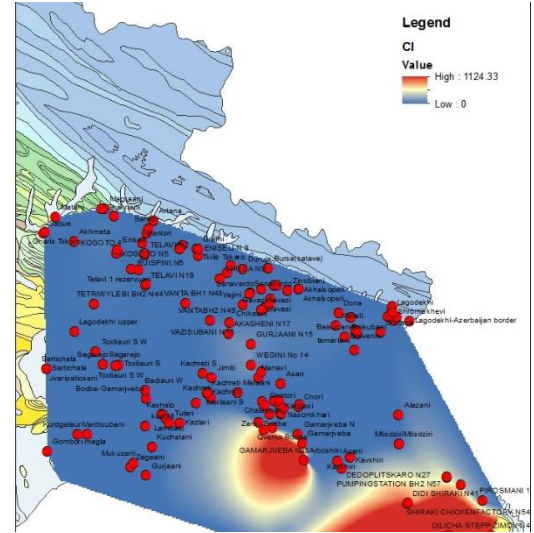
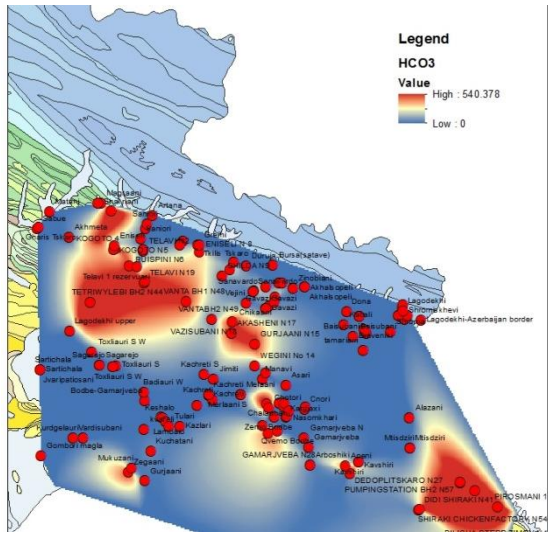
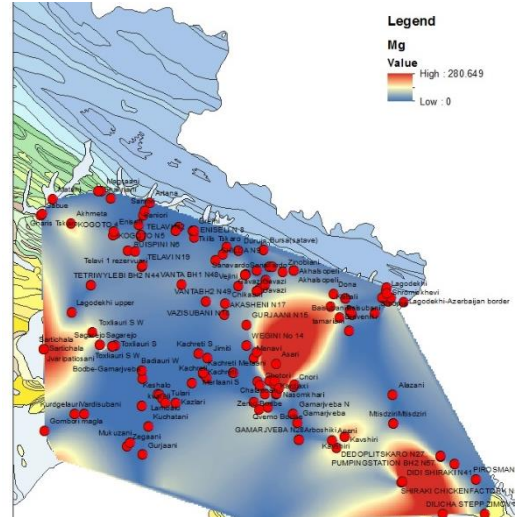
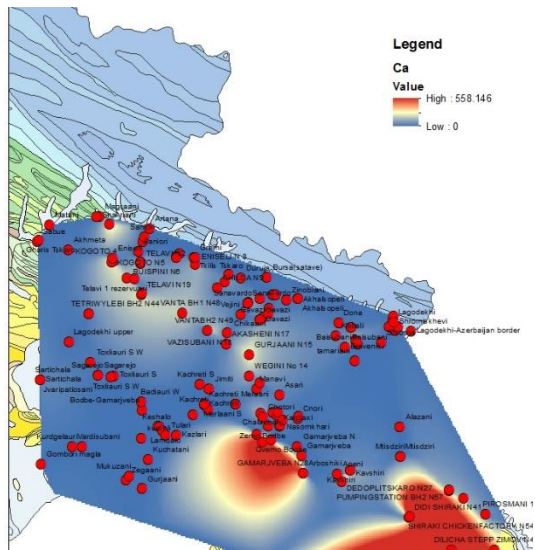
ტემპერატურა 16-18° C. ეს წყლები ძირითადად დაკავშირებულია ტექტონიკურ რღვევებთან.

#### 4.3.1 მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმიური ზონალობა

მიწისქვეშა წყლების კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით, ნათლად დადასტურდა მიწისქვეშა წყლების ქიმიური შემადგენლობის ფორმირების გზები და ალაზანი-იორის არტეზიული აუზის ჰიდროქიმიური ზონალობის სქემა (Melikadze et al, 2015), Melikadze et al (2014(a)).

GIS სისტემაში შეიქმნა ჰიდროქიმიური პარამეტრების ტერიტორიაზე განაწილების სქემები.

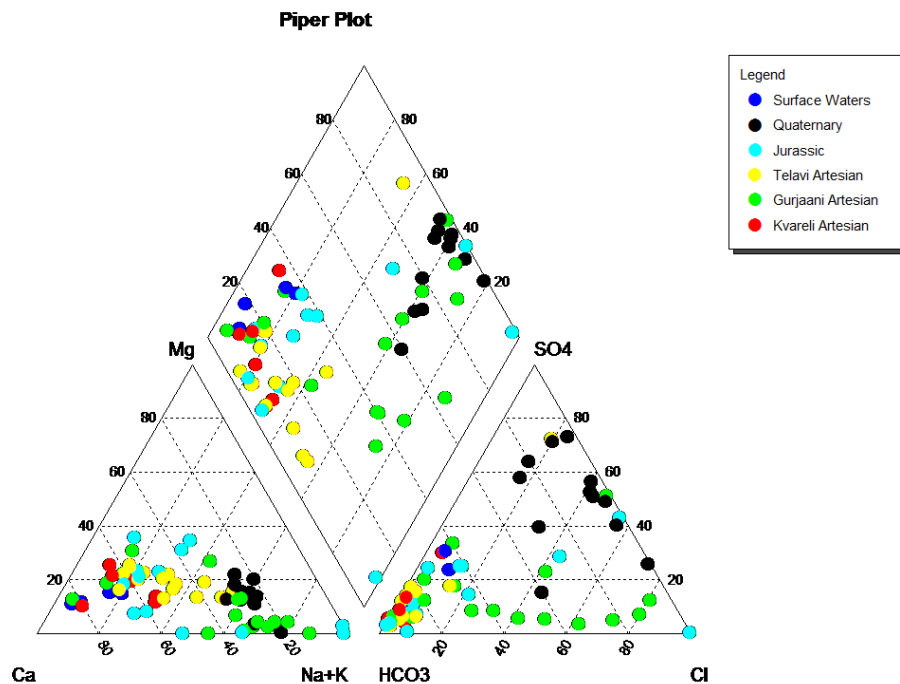




ნახ. 30 ალაზანი-იორის ტერიტორიაზე მიწისქვეშა წყლებში ჰიდროქიმიური პარამეტრების განაწილების რუკები

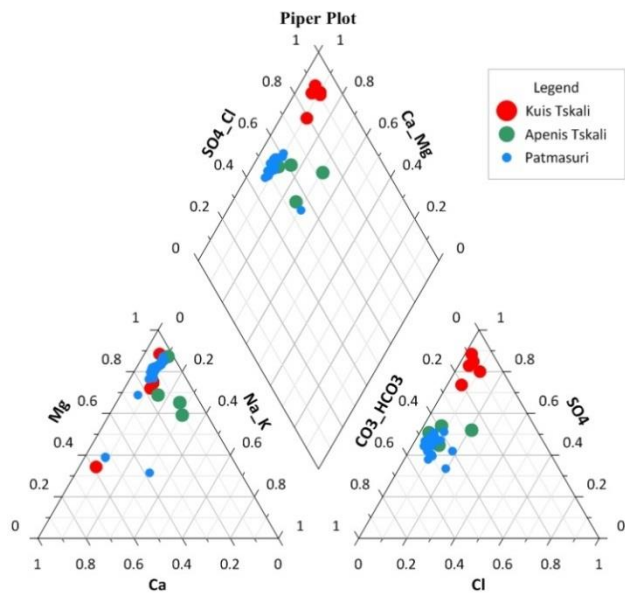
ალაზნის სერიის არტეზიული წყალშემცველ ჰორიზონტებში საერთო მინერალიზაციის ცვლილებები ვერტიკალურ ჭრილში ნათლადაა გამოხატული იმ ზონებში, სადაც ჭაბურღილები ერთდროულად კვეთენ თელავის, გურჯაანისა და მეთანულ წყალშემცველ ჰორიზონტსაც (AT, AG).

წყლის სინჯების ქიმიური ანალიზის შედეგების მიხედვით, მიწისქვეშა წყლების მინერალიზაცია იზრდება სიღრმის ზრდასთან ერთად. იგივე კანონზომიერებაა ტემპერატურის ცვლილებასთან დაკავშირებით. საერთო მინერალიზაციის ზრდასთან ერთად მცირდება წყლის სიხისტე მაგნიუმის და კალციუმის იონების შემცირების ხარჯზე.



ნახ. 31 ყველა წყალშემცველი ჰორიზონტის მიწისქვეშა წყლების ერთიანი ჰიდროქიმიური შემადგენლობის გრაფიკი (Piper, 1944)

კონკრეტულად კარსტულ ფორმაციებში ქიმიური პარამეტრების განაწილების გრაფიკი მოცემულია ქვემოთ.



ნახ. 32 კარსტული წყლების ჰიდროქიმიური შემადგენლობის გრაფიკი

ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით ზემოთ განხილული კარსტული წყლები ჰიდროკარბონატულ კალციუმის ტიპისაა, საერთო მინერალიზაციით 0.5 გ/ლ და კარგი სასმელი თვისებებით ხასიათდება; ცივია (13<sup>0</sup>), სასიამოვნო გემოთი, გამჭვირვალე, სუნის გარეშე და არახისტი (3-5 მგეკვ/ლ). სინჯების ქიმიური ანალიზი ტარდებოდა სითხური ქრომატოგრაფის HPLC (Shimadzu-High Performance Liquid Chromatograph)-ის მეშვეობით.

### დასკვნები

სამი მეტეოროლოგიური სადგურის თოვლისა და წვიმის სინჯებში  $\delta^{18}\text{O}$ -ისა და  $\delta^2\text{H}$  - ის მნიშვნელობების მიხედვით შეიმჩნევა სეზონური ცვლილებების ბუნება. აგრეთვე სადგურები განლაგებულნი არიან დაბალ სიმაღლეებზე (მაქსიმუმ 1099 მ ზღვის დონიდან), გაზომილი მონაცემები გვაძლევს კარგ სურათს იმისათვის, რათა შეფასდეს იზოტოპური შემადგენლობა ნალექებში და განსაკუთრებით მათი დროითი განაწილება მთელი რეგიონისათვის.  $\delta^{18}\text{O}$ -ისა და  $\delta^2\text{H}$  სეზონური ვარიაციები მიუთითებს თოვლის დნობის გავლენას კვების არეზე გაზაფხულის პერიოდში.



ნალექების მონაცემები უჩვენებს, რომ სიმაღლე წარმოადგენს დომინანტ ფაქტორს თოვლის ფორმაციაზე და ნალექების რეგიონალური განაწილება (ელიზბარაშვილი, 2007) დამოკიდებულია ზედაპირის მორფოლოგიაზე.

ყველა ღრმა და არაღრმა ზედაპირული წყლების დაკვირვების ობიექტებზე, იზოტოპური მონაცემები უჩვენებს მსუბუქი წყლის პერიოდულ სიჭარბეს, რომელიც შეიძლება განპირობებული იყოს თოვლის ნადნობის წილით. მდინარე ალაზანში ამპლიტუდის შემცირება (5-ჯერ) და დაგვიანება (დროითი წანაცვლება 10-15 დღე)  $\delta^{18}\text{O}$ -ისა და  $\delta^2\text{H}$ -ის სიგნალისა (შაქრიანის ჰიდროლოგიური სადგური) ნალექების იზოტოპურ მნიშვნელობასთან შედარებით (თელავის მეტეოსადგური), შესაძლებელია ახსნილ იქნეს არაღრმა მიწისქვეშა წყლების გადაადგილების დროით, რომელიც გადაადგილდება კვების არედან მდინარეში.

კარსტული ღელე ფატმასურისა და მდინარე ალაზნის იზოტოპური მნიშვნელობების შედარება (ნახ.17) გვიჩვენებს, რომ მდინარე ალაზანი ძირითადად იკვებება იზოტოპურად მსუბუქი წყლით, მაღალი სიმაღლიდან.  $\delta^2\text{H}$ -ის მნიშვნელობა მერყეობს -40‰-დან -55‰-მდე, რომელიც დამახასიათებელია მთის ნალექებისათვის მთათა სისტემებში, როგორცაა კარპატები (Froehlich et al.,2002).

მდინარე ალაზანსა (შაქრიანის ჰიდროლოგიური სადგური) და კარსტულ ღელე ფატმასურში  $\delta^{18}\text{O}$ -ის დროითი სერია უჩვენებს მსგავს იზოტოპურ ქმედებას გაზაფხულის პერიოდში, რომელიც გამოიხატება იზოტოპური მნიშვნელობების შემცირებაში, რაც თავის მხრივ გამოწვეულია თოვლის დნობით. ამ შემცირებას წინ უძღვის ნალექებში იზოტოპური მნიშვნელობების შემცირება, რაც გამოწვეულია თელავის მეტეოსადგურზე თოვლის დნობით.

ნალექები კავკასიონის მთის ფერდობიდან კვებავს კარსტულ წყარო ფატმასურს და თითქმის იმავდროულად განიტვირთება მდინარე ალაზანში. ეს ტერიტორია მიჩნეულია როგორც მიწისქვეშა წყლების კვების არე. ამის შემდეგ, მიწისქვეშა წყალი მიედინება ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით (Melikadze et al,2017) და ჩაიჭონება ღრმა ალუვიურ-პროლუვიურ ჰორიზონტში (საგარეჯო, გურჯაანი და ა.შ.). აღნიშნულ ღრმა ჰორიზონტში ჩაიჭონვის პროცესს

ახასიათებს მინერალიზაციის ზრდა, იზრდება ტემპერატურა და იზრდება იზოტოპურად მძიმე ფრაქციები. საბოლოოდ, წყლის ნაკადი აღწევს ისეთ ღრმა თერმულ წყალშემცველ ჰორიზონტს, როგორცაა ჰერეთისკარის ჭაბურღილი.

### **კვლევის შედეგები:**

1. ატმოსფეროში და ზედაპირულ წყლებში ჰიდროლოგიური, ჰიდროქიმიური და იზოტოპური რეჟიმული დაკვირვებების შედეგად განისაზღვრა სადგურების მდებარეობის შესაბამისი ალტიტუდური და განედური გრადიენტები. ატმოსფერული ნალექებისა და ზედაპირული წყლების იზოტოპური შემადგენლობის მრავალწლიან მრუდზე განისაზღვრა „ფონური“ და სეზონური ვარიაციები.

2. ალაზანი-იორის წყალშემცველი ჰორიზონტების უმეტესი ნაწილისთვის დადგინდა იზოტოპური შემადგენლობის „ფონური“ მნიშვნელობები და სეზონური ვარიაციები. შესაბამისად შესწავლილი იქნა იზოტოპური შემადგენლობის ცვლილებების ხასიათი კვების არეალიდან განტვირთვის არეალამდე. „სინუსოიდალური მრუდის მეთოდით“ გათვლილი იქნა ფაქტურის კარსტულ ღელემდე მიწისქვეშა წყლის გადაადგილების საშუალო დრო.

3. საკვლევ ტერიტორიაზე განხორციელებული კომპლექსური ჰიდროგეოქიმიური და იზოტოპური დასინჯვების შედეგად მოხდა წყალპუნქტების დაჯგუფება და მათი მიკუთვნება სხვადასხვა წყალშემცველი ჰორიზონტისთვის. ალაზანი-იორის წყალშემცველ ჰორიზონტებში მინერალიზაციის სიდიდის მიხედვით დადგინდა ჰიდროქიმიური ზონალობა, მათი შემადგენლობის ცვლილებების ხასიათი და მათში მინერალიზაციის ზრდის ტენდენცია. იზოტოპური შემადგენლობის შესწავლით გადევნებული იქნა მიწისქვეშა წყლების მიგრაციის გზები და გადაადგილების დრო.

განხორციელებულმა კვლევებმა გვიჩვენეს, რომ მიწისქვეშა წყლის ნაკადები მიედინებიან ზედა იურულ-ქვედა ცარცულ კარსტულ წყალშემცველ ჰორიზონტიდან ჩრდილო-აღმოსავლეთ მიმართულებით, კვებავენ ალაზნის ველის ზედაპირულ წყლებსა და არაღრმა მიწისქვეშა წყლებს და ბოლოს ღრმა მიწისქვეშა წყლის ჰორიზონტებს, სადაც იზოტოპური მონაცემები მკაფიოდ განსხვავებული ხასიათისაა.

კარსტული ღელე, ფატმასურის მაგალითზე თუ ვისაუბრებთ, მდინარის წყლის ჩაჟონვა უნდა ხდებოდეს ნაოჭის ჩრდილოეთი გაშიშვლებული ფრთიდან (Буачидзе, 1949), რომელიც წარმოდგენილია ძლიერ ნაპრალოვანი მერგელური კირქვებით, რომლებიც განთავსებულია ჰიფსომეტრიულად უფრო მაღლა, ვიდრე წყაროების გამოსავლები. მიწისქვეშა ნაკადის მოძრაობა ხდება ჩრდილოეთიდან სამხრეთით. უშუალოდ წყლის გამოსავალი წარმოადგენს ფართო (1.5 მ) და არამაღალ (1.5 მ) კარსტულ შესავალს, რომელიც სწრაფად მცირდება სიღრმეში. კარსტული წყაროების გამოსავლების ხასიათის მიხედვით უნდა ვივარაუდოთ მძლავრი ერთიანი ჰიდრავლიკურად დაკავშირებული წყალშემცველი ჰორიზონტის არსებობა, რომელსაც აქვს დიდი გავრცელება.

ზემოთ აღნიშნული დანარჩენი კარსტული წყლების შემთხვევაში, არასასიამოვნო ფაქტორს წარმოადგენს აღნიშნული კარსტული წყაროების რეჟიმის ცვლადი ხასიათი (Звиаდაძე, 1995), რის შედეგადაც არის მჭიდრო კავშირი ნალექების სეზონურობასთან. თუ ამ ფაქტორს გამოვრიცხავთ, აღნიშნული წყლები წარმატებით შეიძლება გამოვიყენოთ იმ დასახლებული პუნქტების წყალმომარაგებისათვის, რომლებიც განლაგებულნი არიან როგორც დიდი კავკასიონის სამხრეთი ფერდის (კახეთი) გასწვრივ, ასევე ალაზნის ველის ცენტრალურ და მარჯვენა ნაპირის ნაწილში.

დღევანდელ დღეს მხოლოდ უმნიშვნელო წილი ამ რესურსებისა გამოიყენება ადგილობრივი მოსახლეობის მიერ და ამავე დროს უმეტესი სოფლები, დასახლებული პუნქტები შიდა კახეთისა, განიცდიან წყლის დეფიციტს ან მარაგდებიან შედარებით უხარისხო სასმელი წყლით ალაზნისა და მისი შენაკადების ფილტრატებიდან. კარსტულ წყლების მარაგების სრულყოფილად შესწავლისათვის სასურველია ჰიდროგეოლოგიური, ჰიდროქიმიური და იზოტოპური კვლევების გაგრძელება.

დიდია სადოქტორო კვლევების ტექნოლოგიური, ეკონომიკური და სოციალური მნიშვნელობა. იგი წარმოადგენს სამეცნიერო საფუძველს მომავალში სტაბილური იზოტოპების და ჰიდროქიმიური ტექნოლოგიების კომპლექსურად გამოყენებისთვის, როგორც კარსტული წყლის რესურსების შეფასების, ასევე მისი ექსპლოატაციის საქმეში.

## გამოყენებული ლიტერატურა

- [1] ელიზბარაშვილი, ე. ( 2007). მონოგრაფია. საქართველოს კლიმატური რესურსები.თავი 5, გვ.148-186.
- [2] Буачидзе И.М.(1949). Подземные воды Грузии. Докт. диссертация. Фонды ГГУ
- [3] Гвоздецкий, Карстовые ландшафты, М: Изд -во МГУ, 1988-112с.-ISBN 5-211-00128-1
- [4] Звиаდაдзе, У. И. (1995). КАРСТОВЫЕ ВОДЫ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ р. АЛАЗАНИ. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. თბილისი, N1 (136)
- [5] Araguás-Araguás, L., Froehlich, K., Rozanski, K. (2000). Deuterium and oxygen-18 isotope composition of precipitation and atmospheric moisture. Hydrological Processes 14: 1341- 1355. DOI: 10.1002/1099-1085(20000615)14:8<1341: AID-HYP983>3.0.CO;2-Z
- [6] Burns, D.A., Plummer, L.N., McDonnell, J.J., Busenberg, E., Casile, G.C., Kendall, C., Hooper, R.P., Freer, J.E., Peters, N.E., Beven, K.J., Schlosser, P., (2003). The geochemical evolution of riparian ground water in a forested piedmont catchment. Ground Water 41 (7), 913–925
- [7] Beselia, B. N. (1988). Preliminary survey on the appearance of groundwaters - Quaternary alluvium-proluvium confined and Upper Jurassic and Lower Cretaceous aquifers between the rivers Chelti and Durudji. Ministry of Geology of USSR, Tbilisi, 3 volumes. (unpublished, in Russian)
- [8] Bagoshvili, G. N. (1990). Report on hydrogeological survey 1:50000 on the Southern Slope of the Greater Caucasus. Ministry of Geology of USSR, Tbilisi, 2 volumes, 95 and 163 (unpublished, in Russian)
- [9] Buachidze, I. M. & Zedginidze, S. N. (1985). Hydrogeology and Perspectives of Groundwater Use in the Alazani-Agrichai aquifer. Tbilisi, 335pp. (in Russian)
- [10] Bartl, S., Schumberg, S., Deutsch, M.(2009). Revising time series of the Elbe river discharge for flood frequency determination at gauge Dresden. Natural hazards and earth system sciences. Volume 9, Issue 6, pp.1805-1814.DOI:10.5194/nhess-9-1805-2009
- [11] Bethke, C.M., Johnson, T.M., (2002). Paradox of groundwater age: correction. Geology 30 (4), 385–388.

- [12] Craig, H. (1961). Standard for reporting concentration of deuterium and oxygen-18 in natural waters. *Science* 133: (3467) p. 1833-1834. DOI 10.1126/science.133.3467.1833
- [13] Coplen, T., Herczeg, A., Barnes, C., (2000). Isotope engineering – using stable isotopes of the water molecule to solve practical problems. In: Cook, P., Herczeg, A. (Eds.), *Environmental Tracer in Subsurface Hydrology*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, pp. 79–110
- [14] Cook, P.G., Solomon, D.K., (1995). Transport of atmospheric trace gases to the water table: implications for groundwater dating with chlorofluorocarbons and krypton 85. *Water Resources Research* 31 (2), 263–270.
- [15] Cook, P.G., Solomon, D.K., (1997). Recent advances in dating young groundwater: chlorofluorocarbons,  $3\text{H}/3\text{He}$  and  $85\text{Kr}$ . *Journal of Hydrology* 191 (1–4), 245–265.
- [16] Coplen, T., 1993. Uses of environmental isotopes. In: Alley, W.M. (Ed.), *Regional Groundwater Quality*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 227–254.
- [17] Clark, I.D., Fritz, P., (1997). *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 328 pp.
- [18] De Vries, J. J., & Simmers, I. (2002). Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal*, 10, 5-17. DOI: 10.1007/s10040-001-0171-7
- [19] Dincer, T., Payne, B.R., Florkowski, T., Martinec, J., Tongiorgi, E.G.E.I., (1970). Snowmelt runoff from measurements of tritium and oxygen-18. *Water Resources Research* 6, 110–124.
- [20] Ekwurzel, B., Schlosser, P., Smethie, W.M., Plummer, L.N., Busenberg, E., Michel, R.L., Weppernig, R., Stute, M., 1994. Dating of shallow groundwater: comparison of the transient tracers  $3\text{H}/3\text{He}$ , chlorofluorocarbons, and  $85\text{Kr}$ . *Water Resources Research* 30 (6), 1693–1708.
- [21] Froehlich, K., Gibson, J., Aggarwal, P. (2002). Deuterium excess in precipitation and its climatological significance. IAEA-CSP--13/P
- [22] Ford, D.C. and Williams, P. (2007) *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley, Chichester, 562. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>
- [23] Friendly, Michael; Denis, Dan (2005). "The early origins and development of the scatterplot". *Journal of the History of the Behavioral Sciences*. 41 (2): 103–130. doi:10.1002/jhbs.20078. PMID 15812820

- [24] Gaprindashvili, T. (2002). Groundwater Resources of the Alazani Basin. Technical Report. Subcontract No. 3335-105-005 under USAID/DAI Prime contract No. LAG-I- 00-00017-00 „Water Management in the South Caucasus Project. “Gorgasali” Joint Stock Company, Tbilisi, Georgia
- [25] Gudjabidze, G. E. (2003). Geological Map of Georgia. Scale 1:500. 000. Georgian State Department of Geology, Tbilisi.
- [26] Giggenbach, W.F. (1992). Isotopic shifts in waters from geothermal and volcanic systems along convergent plate boundaries and their origin. *Earth and Planetary Science Letters*, 113, 4, p. 495-510; DOI: 10.1016/0012-821X(92)90127-H
- [27] Hamza, B. M., Mathieu, L.C., Hamit, A., Paul, S., Moumtaz, R (2017). Hydrochemical and Isotopic Characteristics of the Basement Aquifer in the Wadi Fira Area, Eastern Chad. Vol.9 No.13. *Journal of Water Resource and Protection* 09(13):1688-1708.DOI: 10.4236/jwarp.2017.913105
- [28] Herczeg. A., Leaney.F., Stadler.M., Allan.G., Fifield.L.(1997). Chemical and isotopic indicators of point-source recharge to a karst aquifer, South Australia. *Journal of Hydrology* Volume 192, Issues 1-4, May 1997, Pages 271-299; DOI:1016/S0022-1694(96)03100-9
- [29] IAEA/WMO (2006). Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Global Network of Isotopes in Rivers. [Online] Available from: <http://isohis.iaea.org>
- [30] John W. Tukey (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley
- [31] Király, L. (2003). Karstification and Groundwater Flow. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers. - In: Gabrovšek, F. (ed.) *Evolution of karst: from prekarst to cessation*. Karst Research Institute; Založba ZRC, pp. 155-190, Postojna – Ljubljana
- [32] Kendall, C., Caldwell, E.A., (1998). Fundamentals of isotope geochemistry. In: Kendall, C., McDonnell, J.J. (Eds.), *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 51–86.
- [33] Kirchner, J.W., Feng, X., Neal, C., (2000). Fractal stream chemistry and its implications for contaminant transport in catchments. *Nature* 403 (6769), 524–527.

- [34] Moser, H., (1980). Trends in isotope hydrology. In: Rodriguez N, C.O., Briceno de Monroy, C. (Eds.), Interamerican Symposium on Isotope Hydrology. Simposio interamericano de hidrologia isotopica. Inst. Asuntos Nucl., Bogota, pp. 3–21.
- [35] Malik, P., Stevanovic, Z. (2015). Karst Aquifers – Characterization and Engineering. Part I Characterization of Karst Aquifer; Part II Engineering Aspects of Control and Protection of Karst Aquifer ISBN 978-3-319-12849-8. ISBN 978-3-319-12850-4 (eBook). ISSN 2364-0073 ISSN. 2364-0081 (electronic) DOI 10.1007/978-3-319-12850-4
- [36] Marques, J., Graca, H., Eggenkamp, H., Orquídia, N., M. Carreira, P., Matias, M., Mayer, B., Nunes, D., Trancoso, V. (2012). Isotopic and hydrochemical data as indicators of recharge areas, flow paths and water–rock interaction in the Caldas da Rainha–Quinta das Janelas thermomineral carbonate rock aquifer (Central Portugal). *Journal of Hydrology* 476:302–313
- [37] Maloszewski, P., Zuber, A., (1996). Lumped parameter models for the interpretation of environmental tracer data. In: *Manual on Mathematical Models in Isotope Hydrogeology*. TECDOC-910. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, pp. 9–58
- [38] Maloszewski, P., Zuber, A., (1993). Principles and practice of calibration and validation of mathematical models for the interpretation of environmental tracer data. *Advances in Water Resources* 16, 173–190
- [39] McGuire, K.J., McDonnell, J.J. (2006). A review and evaluation of catchment transit time modelling. *Journal of Hydrology* 330:543–563. DOI: 10.1026
- [40] Melikadze, G., Chelidze, L., Vepkhvadze, S., Todadze, M. (2017). Using Stable and Radioactive Isotopes for Assessment of Origin and Sustainable Management of Groundwater Resources. *BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES*, vol. 11, no. 2
- [41] Melikadze, G., Jukova, N., Todadze, M., Vepkhvadze, S., Chelidze, T. (2015). Hydrogeochemical and Stable Isotope Monitoring and Numerical Modelling of Groundwater Resource in Eastern Georgia to Secure Stability and Quality of Water Supply. Nova Science Publishers, [https://www.novapublishers.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=55287](https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=55287)
- [42] Melikadze, G., Zhukova, N., Todadze, M., Vepkhvadze, S., Kapanadze, N., Chankvetadze,

- A., Jimsheladze, T., Vitvar. T. (2014(a)). Evaluation of recharge origin of groundwater in the Alazani-Iori basins, using hydrochemical and isotope approaches. Journal of Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, v.17a Issue (A), pp.53-64.
- [43] Melikadze, M., Zhukova, N., Todadze, M., Vepkhvadze, S., Vitvar. T. (2014(b)). Result of numerical modelling of groundwater resource in the Shiraki catchment, Journal of Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, v. 17a, Issue (A), pp.102-108.
- [44] Melikadze, G., Zhukova, N., Todadze, M., Vepkhvadze, S., Kapanadze, N., Chankvetadze, A., Jimsheladze, T. & Chitanava, R. (2014(c)) "Preliminary result of stable isotopes' monitoring in the Alazani-Iori catchment" Journal of Georgian Geophysical Society, Issue (A), Physics of Solid Earth, v. 17A, 60-67
- [45] Melikadze, G. at all. (2014 (d)) "Assessment of Alazani-Iori aquifer value by stable isotope application," Proceedings of Conference "80 years of the M. Nodia Institute of Geophysics," Tbilisi.
- [46] Melikadze G., Chelidze T., Jukova N., Malik P. & Vitvar T. (2011). Using Numerical Modeling for Assessment of Pollution Probability of Drinking Water Resources in Borjomi Region (Southern Georgia). In: Climate Change and its Effects on Water Resources, Issues of National and Global Security (Baba A., Tayfur G., Gunduz O., Howard K. W. F., Fridel M. J., Chambel A., eds. ), NATO Science Series. Springer. ISBN: 978-94-007-1145-7. Chapter 29, 267-275.
- [47] Melikadze G., Chelidze T., Zhukova N., Rozanski K., Dulinski M. & Vitvar, T. (2009). Using nuclear technology for environmental safety and sustainable development of water resources in Borjomi region (Southern Georgia). Journal of Georgian Geophysical Society, Issue (A), Physics of Solid Earth, 13A, 17-25.
- [48] McGill, R., Tukey, J.W., Larsen, W.A. (1978). "Variations of Box Plots". The American Statistician. **32** (1): 12–16. Doi: 10.2307/2683468. JSTOR 2683468
- [49] Shotadze, M. & Barnovi, E. (2011) Integrated Natural Resources Management in Watersheds (INRMW) of Georgia Program. Technical Report, USAID No. CA # AID- 114-LA-10-00004



- [50] Nadeem A. Bhat<sup>1,\*</sup>, Gh. Jeelani<sup>1</sup> and M. Yaseen Bhat (2014). Hydrogeochemical assessment of groundwater in karst environments Bringi watershed, Kashmir Himalayas, India. CURRENT SCIENCE, VOL. 106, NO. 7
- [51] Ogrinc., N. Kanduč., T. Miljević. N. Golobočanin., D. Vaupotič. J (2012). ISOTOPE TRACING OF HYDROLOGICAL PROCESSES IN RIVER BASINS: THE RIVERS DANUBE AND SAVA. Monitoring Isotopes in Rivers: Creation of the Global Network of Isotopes in Rivers (GNIR). Results of a Coordinated Research Project 2002–2006. IAEA-TECDOC-1673
- [52] Pearce, A.J., Stewart, M.K., Sklash, M.G., 1986. Storm runoff generation in humid headwater catchments. 1. Where does the water come from? Water Resources Research 22, 1263– 1272
- [53] Plummer, L.N., Busenberg, E., Bohlke, J.K., Nelms, D.L., Michel, R.L., Schlosser, P., (2001). Groundwater residence times in Shenandoah National Park, Blue Ridge Mountains, Virginia, USA: a multi-tracer approach. Chemical Geology 179 (1–4), 93–111.
- [54] Piper, A.M., (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Eos, Transactions American Geophysical Union, 25(6), pp.914–928.
- [55] Ricardo Sánchez-Murillo., Germain Esquivel-Hernández., Kristen Welsh., Erin S. Brooks., Jan Boll., Rosa Alfaro-Solís., Juan Valdés-González (2013). Spatial and Temporal Variation of Stable Isotopes in Precipitation across Costa Rica: An Analysis of Historic GNIP Records. Open Journal of Modern Hydrology, 2013, 3, 226-240. DOI: 10.4236/ojmh.2013.34027
- [56] Sophocleous, M. (2002). Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrogeology Journal, 10(1):52-67; DOI 10.1007/s10040-001-0170-8
- [57] Singhal, D.C., Sharma, V.K., Tungaria. M. (2016). Role of Groundwater Protection Planning in Groundwater Governance: A Case Study from North India. JOURNAL GEOLOGICAL SOCIETY OF INDIA Vol.88, pp.449-463
- [58] Scanlon, T.M., Raffensperger, J.P., Hornberger, G.M., (2001). Modeling transport of dissolved silica in a forested headwater catchment: implications for defining the hydrochemical response of observed flow pathways. Water Resources Research 37 (4), 1071–1082.

- [59] Solomon, D.K., Cook, P.G., Sanford, W.E., (1998). Dissolved gases in subsurface hydrology. In: Kendall, C., McDonnell, J. (Eds.), *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Elsevier, Amsterdam, pp. 291–318.
- [60] Stewart, M.K., McDonnell, J.J., (1991). Modeling base flow soil water residence times from deuterium concentrations. *Water Resources Research* 27 (10), 2681–2693
- [61] Sima, J. Pilot project for re-activation of groundwater level and quality monitoring network of Alazani-Agrichai aquifer (2013). Technical Report of the Czech Official Development Assistance “Aid for Trade” Program between National Environmental Agency of Georgia and AQUATEST
- [62] Kendall, C., McDonnell, J.J. (Eds.), *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Elsevier, Amsterdam, pp. 723–760.
- [63] Vitvar, T, Aggarwal, P. K. & Herczeg, A. L. (2007). Global Network is launched to monitor isotopes in rivers. *Eos Trans., AGU* 88: 325–326.
- [64] Vepkhvadze, S., Melikadze, G., Todadze, M., Malik, P., Gventsadze, A (2019). Recharge and dynamics of a karst groundwater system in Kakheti (Eastern Georgia). *Scienco, Austrian Journal of Earth Sciences (AJES)*, Vienna 2019, Volume 112/1, 42 - 49, DOI: 10.17738/ajes.2019.0003