

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნოდარი კანდელაკი

საქართველოს მთის წყალსაცავების
სედიმენტაციურ-აბრაზიული პროცესების კვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა – მშენებლობა

შიფრი 0406

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

2020 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ნოდარი კანდელაკის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „საქართველოს მთის წყალსაცავების სედიმენტაციურ-აბრაზიული პროცესების კვლევა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2020 წელი

ხელმძღვანელი:

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,

აკადემიური დოქტორი,

ასოცირებული პროფესორი

შორენა კუპრეიშვილი

რეცენზენტები:

ირმა ინაშვილი

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

გივი გავარდაშვილი

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2020 წ.

ავტორი: ნოდარი კანდელაკი

სხდომა ჩატარდა: -----

დასახელება: „საქართველოს მთის წყალსაცავების სედიმენტაციურ-
აბრაზიული პროცესების კვლევა“

სადოქტორო პროგრამა: ჰიდროინჟინერია

ხარისხი: მისანიჭებელი კვალიფიკაცია

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

(ავტორის ხელმოწერა)

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

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

შინაარსი

რეზიუმე	6
რეზიუმე (ინგლისურ ენაზე)	8
ცხრილების ნუსხა	10
ნახაზების ნუსხა	13
მადლიერების გვერდი	17
შესავალი	18
ლიტერატურის მიმოხილვა	21
თავი I. წყალსაცავების საერთო ფონდი დედამიწაზე	22
თავი II. საქართველოს წყალსაცავიანი სისტემების ფონდის დახასიათება.....	37
თავი III. წყალსაცავების ნაპირებზე აბრაზიული პროცესების დინამიკის არსებული კვლევების ანალიზი	46
თავი IV. მთის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკის არსებული კვლევების ანალიზი	48
თავი V. ბმული და არაბმული გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მოკლე აღწერა	51
V.1. ბმული გრუნტების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები	51
V.2. არაბმული გრუნტების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები	53
თავი VI. საქართველოს წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკის კვლევები	57
VI.1. ჟინვალის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები	57
VI.2. სიონის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები	65
VI.3. თბილისის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები	71
VI.4. ხრამის (წალკის) წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები	77
VI.5. შაორის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები	83
VI.6. ლაჯანურის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები	88

VI.7. ტყიბულის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები	93
VI.8. ჟინვალის, სიონის, თბილისის, ხრამის, შაორის, ლაჯანურის და ტყიბულის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების პროგნოსტიკული ჯგუფების დამუშავება	98
თავი VII. საქართველოს წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების კვლევები	103
VII.1. ჟინვალის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები	103
VII.2. სიონის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები	106
VII.3. თბილისის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები ..	110
VII.4. ხრამის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები	112
VII.5. შაორის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები	114
VII.6. ლაჯანურის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები	117
VII.7. ტყიბულის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები ...	119
თავი VIII. მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის საზღვრების ანგარიშის ანალიზური და ოპტიმიზირებული მეთოდები	122
VIII.1. მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის ზედა საზღვრის (a_1) ანგარიშის ანალიზური მეთოდი	122
VIII.2. მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) ანგარიშის ანალიზური მეთოდი	128
თავი IX. მთის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების განვითარების საწინააღმდეგო ღონისძიებები და ფსკერის გაწმენდის ზოგადი რეკომენდაციები	137
თავი X. მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვისაგან დამცავი ღონისძიებები	145
X.1. მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვისაგან დამცავი არსებული და ახალი კონსტრუქციები	145
X.2. მთის წყალსაცავების წყალდამცავი სანაპირო ზოლის (ს.ზოლ.) და წყალდამცავი ზონის (წ.ზონ.) სიდიდეები	154
ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები	161
გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა	164
დანართი 1. საქართველოს წყალსაცავების ფოტოსურათები ..	169

რეზიუმე

აღწერილია და გაანალიზებულია უძველესი დროიდან შექმნილი წყალსაცავების ძირითადი მაჩვენებლები, მოყვანილია მსოფლიოს წყალსაცავების რაოდენობის და სრული მოცულობის დინამიკა. გამოყოფილია მთის და მთისწინეთის წყალსაცავების უპირატესობა ვაკის წყალსაცავებთან შედარებით. აღნიშნულია, რომ საქართველო იმ ქვეყნებს ეკუთვნის, რომელსაც ჰიდრორესურსებით შეუძლია ენერგეტიკისა და ირიგაციის მოთხოვნილებები თვითონ უზრუნველყოს. ჰიდროტექნიკური კვანძების დამპროექტებლების ძირითადი ამოცანაა ირიგაციისა და ჰიდროენერგეტიკის მოთხოვნილებების შეთავსება.

მაღალმთიან რეგიონებში ელექტროენერჯის მისაღებად ყველაზე რაციონალური სქემა არის მთავარი მდინარის და მისი შენაკადების სათავე ნაწილში მაღალდაწნევიანი დანადგარების მოწყობა, ხოლო მდინარის ქვედა ნაწილში – ირიგაციის. როგორც წესი, მთის მდინარეების სათავე ნაწილი განლაგებულია ღრმა და ციკაბო ფერდობებიან ხეობებში. ამიტომ აქ მიზანშეწონილია მაღალი კაშხლების აგება, ხოლო ქვედა ნაწილის ფართობები, რომლებიც განლაგებულია მცირე დახრილობის ფართობებზე და განოყიერებულია მრავალი ათასეული წლების მანძილზე, გამოიყენება მოსარწყავად.

აღნიშნულია, რომ მთის რეგიონებში წყალსაცავების ეფექტურობის განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს ალპების მთის რეგიონების ჰიდრორესურსების გამოყენების პრაქტიკა, რადგან ალპებისა და აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეების აუზების ოროჰიდროგრაფიული სქემები და ექსპოზიცია იდენტურია. ამიტომ მიზანშეწონილია საქართველოს ტერიტორიაზე ღრმა წყალსაცავების აგება, რომლებიც გამოირჩევა ტერიტორიის ფართობის მცირე შეტბორვით და უმნიშვნელო ეკოლოგიური პრობლემებით.

დასმული საკითხების შესწავლის მიზნით აუცილებელი გახდა მსოფლიოს და, კერძოდ, საქართველოს ტერიტორიაზე აგებული წყალსაცავების ფონდის დახასიათება ფსკერზე სედიმენტაციური და ნაპირების აბრაზიული სედიმენტაციური პროცესების უკვე ცნობილი კვლევების ანალიზი.

არსებული ლიტერატურის, საქართველოს საპროექტო და სამეცნიერო ორგანიზაციებიდან მოპოვებული მონაცემების შესწავლის საფუძველზე აგებულია შვიდი მსხვილი წყალსაცავის (სიონის, თბილისის, ჟინვალის, ხრამის, შაორის, ლაჯანურისა და ტყიბულის) საპროექტო გეგმები და პროფილები. საველე სამუშაოების საფუძველზე ჩატარდა ამ წყალსაცავების ფსკერის და ნაპირების ამჟამინდელი პროფილების აგეგმვა და მათი დატანა საპროექტო პროფილებზე. დადგინდა ზემოთ ჩამოთვლილი წყალსაცავების სედიმენტაციური და აბრაზიული პროცესების მასშტაბები და დინამიკა.

გამოყვანილია სედიმენტაციური და აბრაზიული პროცესების მრავალფაქტორიანი საანგარიშო პროგნოსტიკული დამოკიდებულებები პერიოდის, ნაპირების ფიზიკურ-მექანიკური აგებულობის, ქარ-ტალღური და დონური რეჟიმის და სხვა ფაქტორების გათვალისწინებით.

განხილულია მთის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების განვითარების გამაფრთხილებელი და საექსპლუატაციო ღონისძიებები. მითითებულია, რომ წყალსაცავების ფსკერის გაწმენდის ყველაზე გავრცელებული მეთოდია – კაშხლების ძირში გამრეცხი გალერეების მოწყობა. აღნიშნულია, რომ საქართველოს წყალსაცავების ფსკერის ნატანისგან ეფექტური ჰიდრავლიკური ჩარეცხვა ჯერ არც ერთ წყალსაცავზეც კი არ განხორციელებულა.

დამუშავებულია მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვისაგან დამცავი ახალი კონსტრუქციები – „ჰექსაბლოკი“ და „ტეტრაბლოკი“, რომლებიც გამოირჩევა მაღალი ტალღაჩამქრობი უნარით და ურთიერთშეჭიდულობით, ფერდზე ტალღების აგორების სიმაღლის შემცირებით და ფერდზე მდგრადობით. გაანგარიშებულია ამ მასივების ოპტიმალური მასის დასადგენი უნივერსალური დამოკიდებულება.

ჩამოყალიბებულია მთის წყალსაცავების სანაპირო და წყალდამცველი ზონების დანიშვნის პრინციპი.

მოყვანილია წყალსაცავების წყალდამცავი სანაპირო ზოლის (ს.ზოლ.) და წყალდამცავი ზონის (წ.ზონ.) სიდიდეების ანგარიში, რომელთა ჯამური სიგან 500,0 მეტრამდეა და მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია წყალსაცავის ფერდის დახრილობაზე, ტყის სახეობაზე, ფერდის ექსპოზიციაზე და მოხვნის მიმართულებაზე. მოყვანილია სიონის წყალსაცავის სანაპირო ზოლის და წყალდამცავი ზონის განსაზღვრის მაგალითი. აღნიშნულია, რომ, ძირითადად, საქართველოს წყალსაცავებზე დამცავი ზონების სიდიდეები არ არის დაცული.

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება სამი ნაწილისაგან – შესავლის, ლიტერატურული მიმოხილვის (თავი I-V), შედეგების განსჯის (თავი VI-X), დასკვნის, გამოყენებული ლიტერატურისაგან. სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 170 ნაბეჭდ გვერდს. მათ შორის 55 ცხრილს, 73 ნახაზს, 3 რუკას და 5 ფოტოს. გამოყენებულია 59 დასახელების ლიტერატურა.

დისერტაციის თემაზე დისერტანტის მიერ გამოქვეყნებულია 16 პუბლიკაცია, დისერტაციის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილია 10 საერთაშორისო კონფერენციაზე.

Resume

The main indicators of the reservoirs created since ancient times are described and analyzed, the dynamics of the number and full volume of reservoirs in the world are given. The advantages of mountain and foothill reservoirs compared to the lowland reservoirs. It is noted that Georgia belongs to those countries that can meet the needs of energy and irrigation by their own hydro resources. The main task of designers of hydraulic units is to meet the needs of irrigation and hydropower.

The most rational scheme for obtaining electricity in highland regions is to install high-pressure units in the high levels of main river and its tributaries, and irrigation in the lower reaches of the river. Usually, the top of the mountain rivers are located in deep and steep slopes. Therefore, it is advisable to build high dams here, while the lower part of the area, which is located on small incline areas and has been inhabited and recultivated for many thousands of years, is used for irrigation.

It is noted that the water reservoirs are of particular interest in the efficiency of the reservoirs in the practice of using the hydro resources of the Alps mountain regions, as the orohydrographic patterns and exposures of the basins of the Alps and East Georgia rivers are identical. Therefore, it is advisable to construct deep water reservoirs on the territory of Georgia, which are characterized by minor flooding of the area and minor ecological problems.

In order to study the issues raised, it has become necessary to characterize the reservoir foundation of the world, and in particular the territory of Georgia, on the already known studies of sedimentary and coastal abrasive sedimentation processes.

Based on the data obtained from the existing literature and scientific papers, project design and scientific data from Georgian design organizations, on seven major reservoirs (Sioni, Tbilisi, Zhinvali, Khram, Shaori, Lajanuri and Tkibuli) are designed plan and longitudinal profiles. Based on fieldwork, the current profiles of the bottom and banks of these reservoirs were plotted and projected onto the project profiles. The scale and dynamics of sedimentation and abrasive processes of the above reservoirs have been determined.

Multifactor prognostic dependencies of sedimentation and abrasive processes are derived taking into account period, coastal physical-mechanical structure, wind-wave and level regime and other factors.

Warning and operational measures for the development of sedimentation processes at the bottom of the reservoirs are discussed. It is indicated that the most common method of cleaning the reservoir bottom is to arrange the flushing

galleries at the bottom of the dams. It is noted that effective hydraulic discharge from the sediments of the Georgian reservoir has not even been carried out on any reservoir.

New designs designed to protect against leaching of the abrasive shores of mountain reservoirs - Hexablock and Tetrablock, are characterized by high resistance wavebreak and interconnectedness, reduced inclined wave height and slope stability. The universal dependence on the optimal mass of these arrays is calculated.

The principle of classifying coastal and catchment areas as mountain reservoirs has been established.

The following is an formula of the values of the reservoir coastline (RC) and the reservoir protection area (RPA), with a total width of up to 500.0 meters, and its significance depends on the slope gradient, forest type, slope exposure and direction of the slope. An example is the definition of the coastline of the Zion reservoir and the catchment area. It is noted that mainly the values of the protected zones on the Georgian reservoirs are not executed.

The dissertation consists of three parts - introduction, literary review (Chapter I-V), conclusion of the results (Chapter VI-X), conclusion and used literature. The dissertation includes 170 printed pages. Including 55 tables, 73 drawings, 3 maps and 6 photos. 59 denominations of literature are used.

The author has published 16 publications on the topic of the dissertation, the main results of the dissertation are presented at 10 international conferences.

ცხრილების ნუსხა

1. მსოფლიოს უძველესი წყალსაცავების მახასიათებლები.....	22
2. მსოფლიოს უდიდესი წყალსაცავების ძირითადი მაჩვენებლები (სრული მოცულობით 50 კმ ³ -ზე მეტი, სარკის ფართობით – 5 000 კმ ² -ზე მეტი)	23
3. მსოფლიოში 100 მ-ზე მეტი სიღრმის მთის მსხვილი წყალსაცავების მაჩვენებლები	25
4. შვეიცარიის მთის და მთისწინეთის მსხვილი წყალსაცავების ნუსხა .	33
5. შვეიცარიის ტბებისა და წყალსაცავების ნუსხა ჰიფსომეტრიული ნიშნულების მიხედვით	34
6. საქართველოს წყლის „მარაგის“ კომპონენტები	38
7. საქართველოს მდინარეული წყლის „მარაგის“ კრებსითი მონაცემები	38
8. საქართველოში წყალსაცავების წყლის ჩამონადენის დარეგულირე- ბის მახასიათებლები	39
9. აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია სიღრმის მიხედვით	41
10. დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია სიღრმის მიხედვით	42
11. აღმოსავლეთ საქართველოს მოქმედი წყალსაცავების ჰიფსომეტრიული მონაცემები	42
12. დასავლეთ საქართველოს მოქმედი წყალსაცავების ჰიფსომეტრიული მონაცემები	43
13. წყალსაცავების კლასიფიკაცია რელიეფის მთიანობის მიხედვით	44
14. საქართველოს პერსპექტიული წყალსაცავები	45
15. ბმული გრუნტების გრანულომეტრიული კლასიფიკაცია პლასტიკურობის მიხედვით	52
16. თიხოვანი გრუნტების ხვედრითი შეჭიდულობის ($C \cdot 10^5$) პა მნიშვნელობები	52
17. თიხოვანი გრუნტების ხვედრითი შეჭიდულობის ($C \cdot 10^5$) პა და შიდა ხახუნის კუთხის (φ) მნიშვნელობები	52
18. არაბმული მსხვილად დანაწევრებული გრუნტების კლასიფიკაცია სიმსხოსა და სიგლუვის მიხედვით	53
19. არაბმული გრუნტების ნაწილაკების კლასიფიკაცია	54
20. მსხვილად დანაწევრებული და ქვიშოვანი გრუნტების კლასიფიკა-	

ცია სიმსხოს და პროცენტული შემადგენლობის მიხედვით	54
21. ქვიშის კლასიფიკაცია СНиП II-15-74-ის მიხედვით	55
22. შიდა ხახუნის კუთხის მნიშვნელობები	56
23. ქვიშების ხვედრითი შეჭიდულობის ნორმატიული C^H (მპა), შიდა ხახუნის კუთხის φ^H და დეფორმაციის მოდულის E , (მპა) მნიშვნელობები	56
24. ჟინვალის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების მაჩვენებლები	65
25. სიონის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების მაჩვენებლები	71
26. თბილისის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების მაჩვენებლები	74
27. საქართველოს წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების მაჩვენებლები (2019 წლისათვის)	100
28. თბილისის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება (✓ 545,0 მ-ზე)	111
29. თბილისის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების კრებსითი მონაცემები	112
30. ხრამის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება (✓ 1506,0 მ-ზე)	113
31. ხრამის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების კრებსითი მონაცემები	114
32. შაორის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების კრებსითი მონაცემები (✓ 1132,0 მ-ზე)	115
33. შაორის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება (✓ 1132,0 მ-ზე)	116
34. ლაჯანურის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება (✓ 496,0 მ-ზე)	117
35. ლაჯანურის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების კრებსითი მონაცემები (✓ 496,0 მ-ზე)	118
36. ტყიბულის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება (✓ 520,0 მ-ზე)	120
37. ტყიბულის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების კრებსითი მონაცემები (✓ 520,0 მ-ზე)	121
38. სხვადასხვა ტიპის წყალსაცავების ძირითადი მორფომეტრიული რიცხობრივი მაჩვენებლები	122

39. საქართველოს წყალსაცავების საპროგნოზო ჯგუფები	124
40. ($K_{წარ}$) და ($K_{ნაპ}$) მნიშვნელობები	125
41. ფერდის ზედაპირის სიმქისის კოეფიციენტის (K_r) მნიშვნელობები ..	127
42. მდგრადი ფერდის დახრილობის კუთხე (α)	134
43. თბილისის წყალსაცავის წარეცხვის ზედა (a_1) და ქვედა (a_2) საზღვრების გაანგარიშება	135
44. α -ს მნიშვნელობები	142
45. β -ს მნიშვნელობები	142
46. ჰიდრავლიკური სიმსხოს (ω_i) გასაშუალებული მნიშვნელობები, სმ/წმ	143
47. კრიტიკული არადალექვადი სიჩქარის მნიშვნელობები ($V_{კრ. არადალექ. მ/წმ}$)	143
48. ფასონური ბლოკების ოპტიმალური წონის (m) მონაცემები	151
49. ნატურული ჰიდროდინამიკური მახასიათებლების ლაბორატორი- ული გადაანგარიშება „ჰექსაბლოკისა“ და „ტეტრაბლოკის“ გამო- კვლევისათვის (ფრუდის კრიტერიუმის გამოყენებით – $F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}}$, $g = idem, p = idem$)	153
50. $K_{ტყ}$ კოეფიციენტის მნიშვნელობები ტყის სახეობების მიხედვით	155
51. ნიადაგის კოეფიციენტი ($K_{ნიად.}$) ფერდის ნიადაგის სახეობების მიხედვით	155
52. K_g -ს მნიშვნელობები ფერდის ექსპოზიციის მიხედვით	155
53. სიონის წყალსაცავის საანგარიშო მონაკვეთების ძირითადი მახასიათებლები	156
54. აზოტის და ფოსფორის დატვირთვა სიონის წყალსაცავში	159
55. სიონის წყალსაცავისათვის წყალდამცავი ზონის (წ.ზონ.) სიგანის განსაზღვრა	159

ნახაზების ნუსხა

1. ერთ მლნ მ ³ -ზე მეტი ტევადობის მსოფლიოს წყალსაცავების რაოდენობის და სრული მოცულობის ზრდის დინამიკა	25
2. ალპების და საქართველოს განდეგები და საშუალო წლიური იზოთერმები	31
3. მდინარეების მტკვრისა და პოს საშუალო თვიური ხარჯები	31
4. წყალსაცავების განლაგების სქემა მდ. პოზე	32
5. საქართველოს წყალსაცავების ფონდის განვითარების დინამიკა	37
6. საქართველოს წყალსაცავების განლაგება	40
7. მთის წყალსაცავების ციცაბო ნაპირების დეფორმაციის ტიპური სქემები	47
8. მთის წყალსაცავების დალევის დინამიკის არსებული კვლევების ანალიზი	49
9. მთის წყალსაცავების ფსკერზე ნატანის აკუმულაციის სქემა	50
10. სიონის, თბილისის და ჟინვალის წყალსაცავების ერთობლივი ფუნქციონირების სქემა	58
11. ჟინვალის წყალსაცავი	59
12. ჟინვალის წყალსაცავის საანგარიშო განივი კვეთები (2017÷2019 წ.წ.) ..	61
13. ჟინვალის წყალსაცავის ბათომეტრია (2017÷2019 წ.წ.)	62
14. ჟინვალის წყალსაცავის განივკვეთების მოსილვის დინამიკა (2003÷2018 წ.წ.)	64
15. ჟინვალის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1985÷2018 წ.წ.)	64
16. სიონის წყალსაცავის დამახასიათებელი ელემენტები	67
17. სიონის წყალსაცავის ბათომეტრია	68
18. სიონის წყალსაცავის განივკვეთების მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1963÷2018 წ.წ.)	70
19. სიონის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1963÷2018 წ.წ.)	70
20. თბილისის წყალსაცავი	73
21. თბილისის წყალსაცავის განივკვეთების მოსილვა	76
22. თბილისის წყალსაცავის ფსკერზე (ილღუნისანის ყოფილი ტბის ღრმულში) ნატანის მოცულობის პროფილი	76

23. თბილისის წყალსაცავის ფსკერის დალამვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (<i>H</i> – დალამვის სისქე ილღუნიანის ტბის ფსკერზე)	77
24. მდ. ხრამის გამოყენების სქემა	78
25. ხრამის წყალსაცავი	80
26. ხრამის წყალსაცავის ფსკერის ტოპოგრაფია.....	81
27. ხრამის წყალსაცავის განივკვეთის მოსილვა კაშხალთან ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1947÷2018 წ.წ.)	82
28. ხრამის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1947÷2018 წ.წ.)	82
29. შაორი-ტყიბულის კასკადის სქემა	83
30. შაორის წყალსაცავი	85
31. შაორის წყალსაცავის ფსკერის ტოპოგრაფია	86
32. შაორის წყალსაცავის განივკვეთების მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1955÷2018 წ.წ.)	87
33. შაორის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1955÷2018 წ.წ.)	88
34. ლაჯანურ-ჰესის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების სქემა	89
35. მდ. რიონის გამოყენების სქემა	90
36. ლაჯანურის წყალსაცავის დონური რეჟიმის მრუდები	90
37. ლაჯანურის წყალსაცავის ფსკერის მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1960÷2018 წ.წ.)	92
38. ლაჯანურის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა 1963 წლიდან...	92
39. ტყიბულის წყალსაცავი	95
40. ტყიბულის წყალსაცავის გეგმა	97
41. ტყიბულის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკა (1960÷2018 წ.წ.)	97
42. ტყიბულის წყალსაცავის ფსკერზე საანგარიშო სედიმენტაციური პროცესების ინტენსივობა	97
43. საქართველოს პირველი ტიპის წყალსაცავების (ტყიბულის, შაორის, თბილისის, ხრამის) ფსკერის დალექვის შედარებითი გრაფიკები (2019 წლისათვის)	98
44. საქართველოს მეორე ტიპის წყალსაცავების (ჟინვალის, სიონის) ფსკერის დალექვის შედარებითი გრაფიკები (2019 წლისათვის)	99

45. საქართველოს მესამე ტიპის წყალსაცავის – ლაჯანურის ფსკერის დალექვის შედარებითი გრაფიკი (2019 წლისათვის)	99
46. მთის წყალსაცავის დალექვის პროცესის არსებული და საქართველოს წყალსაცავების კლევების გრაფიკი პირველ და მეორე სტადიაში	101
47. ჟინვალის წყალსაცავის პერიმეტრზე აბრაზიულ-ღვარცოფული მონაკვეთების სქემა (ქარის ვარდის დატანით)	105
48. ჟინვალის წყალსაცავზე განივი კვეთების გეგმის სქემა გეოლოგიურ-ჰიდროლოგიური ზონების მიხედვით	106
49. სიონის წყალსაცავის ნაპირების აბრაზიული პროცესების განვითარება (I, II, III) ზონების მიხედვით	107
50. თბილისის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა	110
51. ხრამის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა	112
52. შაორის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა	115
53. ლაჯანურის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა	117
54. ტყიბულის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა	119
55. წყალსაცავის მოცულობის ($V_{\text{ს}}$), სიღრმის (H), რელიეფის მაჩვენებლის („ა“) და საანგარიშო კოეფიციენტის (K_w)-ს დამოკიდებულება ..	124
56. ერთგვაროვანი გრუნტისგან აგებული ნაპირის წარეცხვის საბოლოო სიგანის განსაზღვრა (ae – ბუნებრივი ფერდის ზედაპირი, $abcd$ – წარეცხილი ფერდის ზედაპირი)	126
57. ტალღის გასაშუალებული სიმაღლის ($\bar{h}_{\text{ღრმა}}$), სიჩქარის (V_c), ტალღის გაქანების (D) და (A_b)-ს დამოკიდებულება $\bar{h}_{\text{ღრმა}} = f(A_b, V_c, D)$	128
58. ჰიპერბოლოიდური შებრუნებული სინუსის მნიშვნელობა	132
59. ბმული გრუნტებისგან აგებული ფერდის წარეცხვის ქვედა საზღვრის (az), დამოკიდებულება ტალღის სიმაღლეზე (h), ფერდის გრუნტების შეჭიდულობაზე (C) და გრუნტის საშუალო დიამეტრზე ($d_{\text{სშ}}$)	133
60. გრაფიკი $V = f(h)$	134
61. თბილისის წყალსაცავიანი სისტემის სქემა (— აბრაზიული ნაპირი; - - - აკუმულაციური ნაპირი)	135
62. თბილისის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირის განივი პროფილი	136
63. თბილისის წყალსაცავის დონური რეჟიმი	136
64. მთის წყალსაცავების ფსკერის ნატანისგან აცილების ნაგებობა	138
65. ჩაძირული სალექარების სქემა	139
66. ფიგურული მასივების ძირითადი ტიპები	146
67. „ჰექსაბლოკის“ სქემა და მისი მახასიათებლები	147

68. „ტეტრაბლოკის“ სქემა და მისი მახასიათებლები	147
69. არსებული ფიგურული მასივების – „ჰექსაბლოკის“, „ტეტრაბლო- კის“, „ტეტრაპოდის“, „დიპოდის“ და „დოლოსის“ – სქემები და მათი მახასიათებლები (γ – ბეტონის მოცულობითი წონა, ტ/მ ³)	148
70. „ტეტრაბლოკებით“ შექმნილი კონსტრუქციის მდგრადობის გან- მსაზღვრელი ფაქტორების სქემა	150
71. ბლოკების მდგრადობის გაანგარიშებული მასის (m) დამოკიდებუ- ლება ტალღის სიმაღლესთან (h)	152
72. სიონის წყალსაცავის რაიონის ნიადაგები	157
73. სიონის წყალსაცავის წყალდამცავი ზონები	158

მადლიერების გვერდი

მინდა დიდი მადლობა გადავუხადო ჩემი დისერტაციის სამეცნიერო ხელმძღვანელს, ასოცირებულ პროფ. **შორენა კუპრეიშვილს**, რომელიც თავის მრავალმხრივ ცოდნასა და გამოცდილებას მიზიარებდა, როგორც დოქტორანტურაში სწავლის პერიოდში, ისე სადისერტაციო ნაშრომის მომზადების ყველა ეტაპზე.

აგრეთვე, მადლიერი ვარ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის ჰიდროინჟინერიის დეპარტამენტის თანამშრომლებისა და მისი ხელმძღვანელის, პროფესორ **გია ყალაბეგიშვილს**.

მინდა დიდი მადლობა გადავუხადო ტექნ. მეცნ. დოქტორს, პროფ. **ამირან საყვარელიძეს**, რომლის ხელმძღვანელობით დასრულებული სამაგისტრო ნაშრომის „საქართველოს მთის წყალსაცავების (ჟინვალის და სიონის) სედიმენტაციური პროცესების შეფასება და პროგნოზირება, 2017 წ.“ – გაგრძელებაა წინამდებარე სადოქტორო ნაშრომი.

ასევე მადლობა მინდა გადავუხადო სტუ-ს ც. მირცხულავას სახ. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის დირექციას, რომელმაც მომცა საშუალება ინსტიტუტის სამეცნიერო და ტექნიკური ბაზის (ზღვებისა და წყალსატევების განყოფილების ხელსაწყოებისა და საარქივო მასალის) გამოყენების, სადაც დაგროვილია უნიკალური მასალა მთის წყალსაცავების შესახებ ინსტიტუტში მოღვაწე საქართველოს მთის წყალსაცავების პრობლემების დარგში პირველი მეცნიერებათა დოქტორი მკვლევარი ქალის, პროფ. **ნინო ვარაზაშვილი** თაოსნობით. აგრეთვე მადლობას ვუხდით ამავე ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილეს, ტექნ. აკად. დოქტორს, ასისიტენტ პროფ. **ინგა ირემაშვილს**, რომელიც მეხმარებოდა კვლევისათვის საჭირო მასალების მოპოვებაში.

მინდა აღვნიშნო, რომ ნაშრომი ვერ დასრულდებოდა, რომ არა „საქ-წყალპროექტის“ თანამშრომლების მხარდაჭერა უნიკალური საარქივო მასალების მოწოდებაში.

აგრეთვე მინდა მადლობა გადავუხადო პოლონეთის ჩესტოჰოვოს ტექნოლოგიური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის პროფესორს, ბ-ნ **ადამ უიშას**, რომლის დახმარებით და შუამდგომლობით გამოქვეყნდა სამი ნაშრომი რეიტინგულ გამოცემებში.

მცდელობის მიუხედავად, რთულია ყველა იმ ადამიანის ჩამოთვლა, რომლებმაც წვლილი შეიტანეს ჩემი ნაშრომის შემოთავაზებული სახით წარდგენაში. ამიტომ მინდა მადლობა გადავუხადო ყველა თანამშრომელსა და მეგობარს თანადგომისათვის.

შესავალი

მეცნიერული სიახლე. საკვლევ თემაში განხორციელებული ამოცანების მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს საქართველოს მთის მსხვილი წყალსაცავიანი სისტემების (შაორის, ტყიბულის, ლაჯანურის, ჟინვალის, სიონის, ხრამის და თბილისის) ელემენტების – წყალსაცავის ნაპირების წარეცხვისა და მათ ფსკერზე ნატანის დაგროვების მასშტაბების და დინამიკის დადგენა, ამ მონაცემების ბაზის შექმნა და ნატანის დაგროვების რეგრესიული მრავალფაქტორიანი პროგნოსტიკული განტოლებების გამოყვანა, ნაპირების წარეცხვის საზღვრების დადგენის ანალიზური მეთოდი და ახალი ნაპირსამაგრი კონსტრუქციების დამუშავება.

თემის აქტუალურობა. საქართველოს მსხვილი წყალსაცავები – სიონის, ჟინვალის, ტყიბულის, ხრამის, თბილისის, ლაჯანურის და შაორის – აგებულია გასული საუკუნის შუა წლებში, ამიტომ ისინი ეკოლოგიური ზღვრული რისკის ზრდის სტადიაშია. ასეთი მდგომარეობა გამოწვეულია მათ ფსკერზე ნატანის უკვე მნიშვნელოვანი მოცულობის დაგროვებით და ნაპირების წარეცხვით, რის გამოც წყალსაცავი კარგავს თავის ძირითად დანიშნულებას – წყლის მოცულობის რეგულირებას. აქედან გამომდინარე, ამ პროცესების შესწავლა და უარყოფითი პროცესების გამომხატველი პროგნოსტიკული რეგრესიული დამოკიდებულებების გაანგარიშება და ამ პროცესების შერბილების მეთოდების დამუშავება – მეტად აქტუალურია.

კვლევის შედეგების პრაქტიკული მნიშვნელობა. საქართველო მთისა და მთისწინეთი ქვეყანაა. მთის რეგიონებში (აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოში) შექმნილი წყალსაცავები, ძირითადად, მთის წყალსაცავებია. მთის წყალსაცავები, რომლებიც შექმნილია მთის რეგიონებში (800,0 მ-ზე მეტ სიმაღლეზე), გამოირჩევა ნაპირების მნიშვნელოვანი დამრეცობით ($\alpha > 20^\circ$), სარკის ზედაპირის მცირე ფართობით, დონის დამუშავების მნიშვნელოვანი სიდიდით და სიჩქარით, წყალსაცავის მნიშვნელოვანი სიღრმეებით, განსხვავებული ქარ-ტალღური რეჟიმით და სხვ. პროექტის შემუშავებისა და შესაბამისი სტატიების გამოქვეყნების შემდეგ შესაძლებელი იქნება

მრავალი სამუშაოს ჩატარება – წყალსატევების ფსკერის მოსილვის და ნაპირების აბრაზიული პროცესების მასშტაბის და ამ პროცესების დინამიკის დადგენა.

ჰიდროენერგეტიკული, მელიორაციული და სასმელი წყლის მარაგის დაგროვების მიზნით წყალსაცავების შექმნის შემდეგ წყალსაცავების ფსკერი ისილება მდინარეების ნატანით, რაც თავის მხრივ, სხვადასხვა ტიპის ეკოლოგიური (და ეკონომიკური) ზიანის გამოიწვევია. კერძოდ, წყალსაცავების მოსილვისას წყლის სასარგებლო მარაგის ($V_{სს.}$) შემცირების გამო, კლებულობს მათი ეფექტიანობა; იზრდება მიმდებარე დასახლებული პუნქტების, გზების, სავარგულების დატბორვის რისკები. ნატანის მასისგან პერიოდული გათავისუფლება გამოიწვევს წყალსაცავების წყლის სასარგებლო მოცულობის ($V_{სს.}$) მატებას; გაზრდის მელიორაციის, ჰიდროენერგეტიკის ეფექტიანობას და დასახლებული პუნქტების კატასტროფული დატბორვის გარკვეულ პრევენციას მოახდენს; წყალსაცავების კარიერიდან ამოღებული ნატანის გამოყენება შესაძლებელია საკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურის, სამშენებლო ინდუსტრიის განვითარებისა და ნიადაგის განაყოფიერებისათვის.

წყალსაცავები საქართველოს წყლის რესურსების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი „წყლის მარაგია“, რომელსაც იყენებენ მელიორაციაში (მოსარწყვად), სასმელი წყლისთვის, ენერგეტიკაში, სარეკრეაციო მიზნებისათვის და ა.შ. ამიტომ ყველა უარყოფითი პროცესების შესწავლა, რომელიც მიმდინარეობს წყალსაცავების შექმნის შემდეგ, **პრაქტიკულად განსაკუთრებულად ღირებულია.**

პრობლემების გადაწყვეტის გზები: არსებული ლიტერატურის, საქართველოს საპროექტო და სამეცნიერო ორგანიზაციებიდან მოპოვებული არსებული მონაცემების შესწავლა, აგებული მსხვილი წყალსაცავების ფსკერიდან ნატანის და ნაპირების წარეცხვის პროცესების მასშტაბების და დინამიკის დადგენა სავსე სამუშაოების ჩატარების საფუძველზე. ამისათვის საჭიროა წყალსაცავების ფსკერის და ნაპირების პროფილების აგებმა და მათი დატანა საპროექტო პროფილებზე. კვლევების ბოლო

ეტაპზე დადგინდება ზემოთ ჩამოთვლილი წყალსაცავების სედიმენტაციური და აბრაზიული პროცესების მასშტაბები და დინამიკა. ასევე შემუშავებულია ამ უარყოფითი პროცესების შერბილების ღონისძიებები. ესენია გამაფრთხილებელი და საექსპლუატაციო ღონისძიებები:

გამაფრთხილებელი ღონისძიებებია – წყალსაცავში შემოსული ნატანის მოცულობის საერთო შემცირება მთის ნაკადის აუზში ნიადაგის ეროზიის შემცირებით. ესენია – მდინარის სათავეში ტყის გაშენების ღონისძიებები, მდინარეების წყალდამცავი ზონების დანიშვნა და სხვ.

საექსპლუატაციო ღონისძიებებია – წყალსაცავის ფსკერის ჰიდრაგულიკური ჩარეცხვები ფსკერული გალერეების მეშვეობით; მექანიკური გაწმენდა; კაშხლის ქიმის ამაღლება წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის გაზრდის მიზნით, წყლის ტრანზიტული ჩამოგდება გვერდითი წყალგამშვები მოწყობილობების – გამყვანი არხების, ტუნელის და ნატან-ამცილებელი მოწყობილობების მეშვეობით; ნაპირსამაგრი ნაგებობების მოწყობა და სხვ.

კვლევის შედეგები ხელს შეუწყობს მთის წყალსაცავების სფეროში მოღვაწე მეცნიერებს, დამპროექტებელ და წყალსაცავების საექსპლუატაციო ორგანიზაციებს სამომავლო კვლევების და უარყოფითი პროცესების შესამცირებლად პრაქტიკული ღონისძიებების განხორციელებაში.

ლიტერატურის მიმოხილვა

საქართველო იმ ქვეყნებს ეკუთვნის, რომელსაც ჰიდრორესურსებით შეუძლია ენერგეტიკის, სასმელი წყლის და ირიგაციის მოთხოვნილებები თვითონ უზრუნველყოს.

საქართველოს ტერიტორიაზე ($F=69,7$ კმ²) განლაგებულია 26 060 მდინარე. ჰიდროენერგეტიკის მიზნებისათვის შეიძლება გამოყენებული იყოს 320-მდე მდინარე, მათ აქვთ სიმაღლის მნიშვნელოვანი ვარდნა. საქართველოს ტერიტორიის 75% მთის და მთისწინეთის ზონაშია, იგი გამოირჩევა ბუნებრივი ლანდშაფტისა და კლიმატური ზონების მრავალფეროვნებით და რთული რელიეფით, რაც განაპირობებს წყლის მარაგის გამოყენების, განაწილების და წყალსაცავიანი სისტემების რაციონალურ განლაგებას.

ამიტომ დისერტაციაში **დასმული პრობლემა მიმდინარეობს** საქართველოში მთის და მთისწინეთის წყალსაცავების აგების და მათში უარყოფითი პროცესების შესწავლის აქტუალობით, რა განპირობებულია: წყლის მნიშვნელოვანი რესურსებით და მაღალი ენერგეტიკული პოტენციალით; მათი გამოყენების ეფექტურობის უფრო მაღალი მაჩვენებლებით; გარემოზე მათი დაბალი ნეგატიური ზემოქმედებით; ბუნებრივი ლანდშაფტების გამდიდრებით; რეკრეაციის და ტურისტების რაოდენობის ზრდით; მორწყული მიწების მწარმოებლურობის ამაღლებით. მდინარეული წყლის რეგულირებისათვის, გარემოზე ზემოქმედების და მიწების დატბორვის შემცირებისათვის, რაც განპირობებულია მთის წყალსაცავების მნიშვნელოვანი მოცულობით და სიღრმით – ყველაზე ეფექტურია მთის და მთისწინეთის წყალსაცავები.

დასმული საკითხების შესწავლის მიზნით აუცილებელი გახდა მსოფლიოს და, კერძოდ, საქართველოს ტერიტორიაზე აგებული წყალსაცავების ფონდის დახასიათება, ფსკერზე სედიმენტაციური და ნაპირების აბრაზიული პროცესების უკვე ცნობილი კვლევების ანალიზი, რის შედეგები ქვემოთ მოყვანილ I–IV თავებშია.

თავი 1. წყალსაცავების საერთო ფონდი დედამიწაზე

კვლევების პირველ ეტაპზე გაანალიზებულია მსოფლიოს უძველესი და მათ შორის საქართველოს წყალსაცავების ძირითადი მახასიათებლები [1÷4].

აღსანიშნავია, რომ ჯერ კიდევ ჩვ.წ. 3000 წლის წინ შეიქმნა ერთ-ერთი პირველი წყალსაცავი ძველ ეგვიპტეში (ცხრილი 1).

ცხრილი 1

მსოფლიოს უძველესი წყალსაცავების მახასიათებლები

№	წყალსაცავის დასახელება	მდინარე	ადგილმდებარეობა	ქვეყანა	შექმნის დრო (საორიენტაციო)	პარამეტრები	ექსპლუატაციის დრო	მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზები
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	კსოსხაიში (კომიში)	ნილოსი	მემფისის ზემოთ 20 კმ-ზე	ეგვიპტე	ჩვ.წ.აღ.-მდე 3000 წ.	მიწის კაშხალი $L = 415$ მ; $H = 17,5$ მ.	3000 წ.	მონაცემები არ არის
2	სად-ელ-კაფარი	ნილოსი	ქაიროს სამხრეთით 29 კმ-ზე	ეგვიპტე	ჩვ.წ.აღ.-მდე 2900 წ.	ყორე წყობის კაშხალი ხსნარის გარეშე $L = 121$ მ; $H = 13$ მ; $V_{სრ} = 568$ ათ. მ ³	ერთი სეზონი	კაშხლის გარღვევა წყალმოვარდნისგან
3	ნიმრუდი	ტიგროსი	ქ. სამარასთან	ახლო აღმოსავლეთი	ჩვ.წ.აღ.-მდე 2500 წ.	ქვაყრილის კაშხალი $H = 13$ მ.	ჩვ.წ.აღ.-ით VII ს.-მდე	მონაცემები არ არის
4	მერისი	ნილოსის აუზი	ქაიროს სამხრეთ-დასავლეთით 8 კმ-ზე	ეგვიპტე	ჩვ.წ.აღ.-მდე 1800 წ.	$V_{სრ} = 1$ კმ ³ $L_{ნაპირის} = 177$ კმ	ჩვ.წ.აღ.-ით 102 წლამდე	მონაცემები არ არის
5	ხომსი (კატინახი)	ნარ-ელ-ასი (ორონტი)	ს. ხომსი	სირია	ჩვ.წ.აღ.-მდე 1315 წ.	ქვაყრილის კაშხალი $L = 2,29$ კმ; $H = 7$ მ.	დღემდე	-
6	კასირი	ხოსრი	ქ. ნინევიას ზემოთ	ასურეთი	ჩვ.წ.აღ.-მდე 703 წ.	მონაცემები არ არის	-	-
7	მარიბი (სუდ-ელ-არიმი)	ვადი-ჯანა	ქ. მარიბიდან 64 კმ-ზე	იემენი (საბა)	ჩვ.წ.აღ.-მდე 800 წ.	მიწის კაშხალი $L = 670$ მ; $H = 11,5$ მ.	ჩვ.წ.აღ.-ით 575 წლამდე	რღვეული კაშხლის ტანში. დაინგრა ჩვ.წ.-ის 670 წელს
8	ჯებელ-ბაშიკახი	ხოსრი	ქ. ნინევიასთან	ასურეთი	ჩვ.წ.აღ.-მდე 699 წ.	ორი კაშხალი ქვის კვადრატული ფილებისაგან	მონაცემები არ არის	-
9	არტუმ-გომელი	არტუმ-გომელი	ბავიანის ხეობა	ასურეთი	ჩვ.წ.აღ.-მდე 690 წ.	გამყვანი არხი 56 კმ. მოპირკეთებული კირქვის ფილებით	მონაცემები არ არის	-

ცხრილი 1 (გაგრძელება)

10	მურღაბი	მურღაბი	-	სპარსეთი	ჩვ.წ.აღ.-მდე 600 წ.	სამი კაშხალი	ჩვ.წ.აღ.-ით 1258 წლამდე	დანგრეულია
11	კარნალბო	ალბარე-გასი	-	იბერია (ესპანეთი)	ჩვ.წ.აღ.-მდე II ს.	წყალსაცავი $V_{სრ} = 10$ მლნ მ ³	დღემდე	-
12	სავეხი	ფავრეხანი	-	სპარსეთი	880 წ. ჩვ.წ.აღ.-ით	ქვეყრილის კაშხალი $L = 120$ მ; $H = 40$ მ.	100 წელი	დანგრეულია წყალმოვარდნისგან
13	ბანდე-ემირი	-	ქ. შირაზის რაიონში	სპარსეთი	II ს. ჩვ.წ.აღ.-ით	-	დღემდე	-
14	ჟურურია	-	-	ლათინური ამერიკა	VII-VIII ს. ჩვ.წ.აღ.-ით	წყალსაცავი $V_{სრ} = 220$ მლნ მ ³ $F = 96$ კმ ²	დღემდე	-

XX საუკუნის მეორე ნახევარი ხასიათდება წყალსაცავების შექმნის დინამიური ტემპებით მთელ მსოფლიოში. 1950 წლისათვის მათი ჯამური მოცულობა 8-ჯერ გაიზარდა. თანამედროვე ეტაპზე წყალსამეურნეო ობიექტების მშენებლობა მსოფლიოს ყველა ქვეყანაში სწრაფი ტემპით მიმდინარეობს (ცხრ. 2, ნახ. 1.). დარეგულირებული ჩამონადენის მოცულობის ზრდა შეინიშნება მსოფლიოს ყველა ქვეყანაში.

ცხრილი 2

მსოფლიოს უდიდესი წყალსაცავების ძირითადი მაჩვენებლები

(სრული მოცულობით 50 კმ³-ზე მეტი, სარკის ფართობით – 5 000 კმ²-ზე მეტი)

№	წყალსაცავი ^o	ქვეყანა	მდინარე, ტბა	კაშხლის სიმაღლე	წყალსაცავის მოცულობა, კმ ³		წყლის სარკის ფართობი, კმ ²		წყალსაცავის სიგრძე, კმ	გამოყენება
					სრული	სასარგებლო	საერთო	მკვდარ დონეზე		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ბრატსკის	რუსეთის ფედერაცია	ანგარა	106	169,3	48,2	5470	-	565	ე, ნ, ხ, თ, მ
2	ვადი-ტარტარი	ერაყი		-	72,8	43,5	2000	-	100	წ, ი
3	ვიქტორია (ოჟენ-ფოლსი)	უგანდა, კენია, ტანზანია	ვიქტორია, ნილოსი, ტბა ვიქტორია	31	-	204,8	76000	68000	320	ე, თ, ი
4	ვოლტა (აკოსომბო)	განა	ვოლტა	70	198,0	90,0	8480	-	400	ე, ნ, ი, თ, წ

ცხრილი 2 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	გორდონი (მდ. ხრუმი)	კანადა	პისი	165	70,1	37,0	1683	–	360	ე, წ, ნ
6	გური (ელ-მანტეკო)	ვენესუელა	კარონი	136	111,2	55,0	1500	–	70	ე, მ
7	ზეისკის	რუსეთის ფედერაცია	ზეა	98	68,4	32,1	2419	–	225	წ, ე, ნ, ბ, თ
8	კაბორა-ბასა	მოზამბიკი	ზამბეზი	65	63,0	–	2700	–	137	ე, წ, ნ, ბ, თ
9	კრასნოიარსკის	რუსეთის ფედერაცია	ენისეი	100	73,3	70,4	2000	–	388	ე, ნ, ბ, მ, წ, თ
10	კუიბიშევის	რუსეთის ფედერაცია	ვოლგა	29	58,0	34,6	6450	–	650	ე, ნ, ი, მ, თ
11	ლა-გრანდი-2	კანადა	ლა-გრანდი	150	60,8	28,8	4085	–	120	ე
12	ნასერი (ასუანი)	ეგვიპტე, სუდანი	ნილოსი	95	157,0	74,0	5120	–	500	ი, ე, წ, ნ, თ
13	ირკუტსკის	რუსეთის ფედერაცია	ანგარა, ბაიკალის ტბა	30	–	47,6	32966	31500	700	ე, ნ, ბ, თ, მ
14	ვენერნი	შვედეთი	ვენერნის ტბა	–	–	7,2	5550	5500	140	ე, ნ, მ
15	ონეგის (ზემო სვირის)	რუსეთის ფედერაცია	სვირი, ონეგის ტბა	17	–	13,1	9930	9700	100	ე, ნ, ბ, თ, მ
16	ონტარიო (იროკუეი)	კანადა, აშშ	მდ. წმ. ლავერენტი, ონტარიოს ტბა	23	–	30,0	19544	19500	310	ე, ნ, წ, მ, კ
17	ჩერჩილი	კანადა	ჩერჩილი	14	32,3	28,0	5698	2849	140	ე
18	ენგურის (ჯვრის)	საქართველო	ენგური	271,5	1,092	0,66	13,48	7,0	3,0	ე

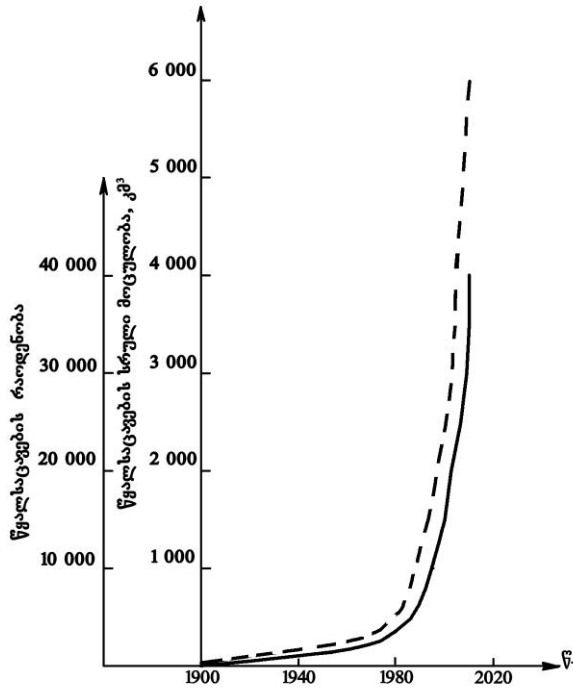
* ფრჩხილებში მითითებულია წყალსაცავის ან ჰიდროკვანძის სხვა დასახელება.

პირობითი აღნიშვნები: ე – ენერგეტიკა; ი – ირიგაცია; წ – წყალმოვარდნებთან ბრძოლა;

ნ – ნაოსნობა; ხ – ხე-ტყის დაცურება; მ – წყალმომარაგება; თ – თევზის მეურნეობა;

კ – წყლის კონსერვაცია სხვადასხვა მიზნებისათვის.

2020 წლისათვის დედამიწაზე 40 ათასამდე წყალსაცავია არსებითად განსხვავებული პარამეტრებით, რეჟიმული მახასიათებლებით, სამეურნეო გამოყენების მიმართულებითა და გარემოზე ზემოქმედებით. ამჟამად დედამიწაზე არსებობს და შენდება 35 ათასზე მეტი ერთ მლნ მ³-ზე მეტი მოცულობის წყალსაცავი, რომლებზეც მოდის ყველა წყალსაცავის ჯამური მოცულობის 95%, თუმცა მათი რიცხვი საერთო რაოდენობის მხოლოდ 14%-ია (ცხრ. 3).



ნახ. 1. ერთ მლნ მ³-ზე მეტი ტევადობის მსოფლიოს წყალსაცავების რაოდენობის და სრული მოცულობის ზრდის დინამიკა.
 ————— წყალსაცავების რაოდენობა;
 - - - - - წყალსაცავების ჯამური სრული მოცულობა.

წყალსაცავიანი სისტემების დადებითი და უარყოფითი მაჩვენებლების ანალიზი აჩვენებს მთის და მთისწინეთ რეგიონებში შექმნილი წყალსაცავიანი სისტემების უპირატესობას პრაქტიკულად ყველა კონტინენტზე (ცხრ. 3.).

ცხრილი 3

მსოფლიოში 100 მ³-ზე მეტი სიღრმის მთის მსხვილი წყალსაცავების მაჩვენებლები

№	წყალსაცავის დასახელება	ქვეყანა	მდინარე, ტბა	წყლის სიღრმე კაშხალთან, მ	სრული მოცულობა, კმ ³	წყლის სარკის ფართობი, კმ ²	წყალსაცავის სიგრძე, კმ	გამოყენების სახეობა
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	როგუნის	ტაჯიკეთი	ვახში	306,0	11,0	160	65	ე, ი, წ
2	ნურეკის	ტაჯიკეთი	ვახში	300,0	11,0	100	70	ე, ნ, ი
3	ბარუკა	კოსტა-რიკა	ფერაბა	260,0	15,0	6,2	220	ე
4	მიკა	კანადა	კოლუმბია	235,0	25,0	445	225	ი, ე, ა
5	გრანდ-დიკსანსი	შვეიცარია	დიკსანსი	227,0	401,0	4	2,5	ე
6	გობინდ საგარი	ინდოეთი	სათლეჯი	200,0	10,9	176	85	ი, ე, წ, ნ
7	პოუელი	აშშ	კოლორადო	200,0	34,0	645	300	წ, ი, ე, ა

ცხრილი 3 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	ელ-კახოი	ჰონდურასი	უმუია	200,0	5,6	95	70	ე, ი, წ
9	დაბალკამი	ავსტრია	დორფერბახი	200,0	236,0	–	–	ე
10	კეზანი	თურქეთი	ევფრატი	190,0	31,0	675	125	ი, ე
11	ტოკტოგულის	ყირგიზეთი	ნარინი	180,0	20,0	285	65	ე, ი, ნ, ა
12	ათათურქი	თურქეთი	ევფრატი	175,0	48,7	138	–	ე, ი
13	ბეკმე	ერაყი	დიდი ზაბი	170,0	12,0	–	35	ი, ა, ე
14	კოლიმის	რუსეთი	კოლიმა	170,0	16,0	440	150	ე
15	მიდ-გუვერი	აშშ	კოლორადო	170,0	38,0	630	185	წ, ი, მ, ნ, ე
16	მაუთინ-გორდონი	კანადა	პისი	165,0	70,0	1680	360	ე, წ, ნ
17	იტაიპუ	ბრაზილია	პარანა	165,0	29,0	1350	170	ე
18	პელიგრე	ჰაიტი	არტიბონიტი	160,0	610	480	–	ი, ე
19	ყარაყაია	თურქეთი	ევფრატი	155,0	10,0	300	400	ე, ი
20	მაგარინი	იორდანია	იარმუკი	155,0	486,0	–	–	ი, მ
21	დანელ-ჯონსონი	კანადა	მანიკუაგანი	154,0	142,0	1950	1575	ე, ნ, წ
22	ბჰუმბოლი	ტაილანდი	პინგი	150,0	15,4	320	125	ე, ი
23	გური-მანეკო	ვენესუელა	კარონი	150,0	135,0	4250	250	ე
24	ლა-გრანდ 2	კანადა	ლა-გრანდ	150,0	62,0	4085	120	ე
25	ემბარკაკაუ	ბრაზილია	პარანაიზა	150,0	18,0	475	68	ე
26	ფოს-დუ-არია	ბრაზილია	იგუასუ	145,0	8,0	195	–	ე
27	შესტა	აშშ	საკრამენტო	145,0	5,6	120	55	წ, ი, ე
28	ანგოსტურა	მექსიკა	გრიჰალვა	140,0	10,2	340	140	ე, ი
29	ინფერნილო	მექსიკა	ბალსასი	140,0	12,0	400	130	ე, ი, წ
30	კენიირი	მალაიზია	ტრემტანუ	140,0	16,0	–	–	ე
31	კრემასტა	საბერძნეთი	აქელოსი	140,0	4,8	80	30	ე, ი
32	ლიუცზიასია	ჩინეთი	ხუანხე	140,0	6,0	130	200	ე, ხ, ი
33	ოკუტადამი	იაპონია	ტადამი	140,0	600,0	10	–	ე
34	შრისალამ	ინდოეთი	კრიშტა	135,0	8,7	755	160	ი, ე
35	გორდონის (1974)	ავსტრალია	გორდონი	130,0	12,8	320	35	ე
36	ტარბელა	ინდოეთი	ინდი	130,0	14,0	260	80	ე, წ, ი
37	კაბორა-ბასა	მოზამბიკა	ზამბუზი	127,0	65,0	2700	270	ე, ი, ნ, რ
38	ბანჩაონენი	ტაილანდი	მეხლონგი	125,0	18,0	420	120	ე, ი, წ
39	ბიასი	ინდოეთი	ბიასი	125,0	8,10	260	42	ი, ე
40	ბილ-ელ-ვიდანი	მაროკო	ალ-აბადი	125,0	1500	1160	34	ი, ე
41	ბურიეს	რუსეთი	ბურეა	124,0	23,0	800	150	ე, წ
42	ნაგარჯუნასარ	ინდოეთი	კრიშნა	120,0	12,0	265	40	ე, წ, ი
43	საიანის	რუსეთი	ენისეი	120,0	29,0	633	290	ე, ი, ნ, ხ, მ
44	უტარდ-4	კანადა	უტარდი	120,0	20,0	655	95	ე
45	ფუტალეუფუ	არგენტინა	ფუტ-ფუ	120,0	7,0	90	–	ე
46	ხაობინი	ვიეტნამი	და	120,0	–	–	–	ე, ი
47	ლა-გრანდ 4	კანადა	ლა-გრანდ	119,0	21,0	805	50	ე

ცხრილი 3 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
48	მანგლა	პაკისტანი	ჯელამი	116,0	7,5	280	75	ე, ი
49	მალპასო	მექსიკა	გრიხალვა	110,0	13,0	300	80	წ, ე, ი, ნ
50	სან-სიმანი	ბრაზილია	პარანაიზა	110,0	13,0	600	–	ე
51	ალკანტარა	ესპანეთი	ტახო	110,0	3137	105	–	ე, ი
52	ბრატსკის	რუსეთი	ანგარა	106,0	170,0	5470	565	ე, ნ, ხ, მ, რ
53	გრან-კული	აშშ	კოლუმბია	105,0	12,0	320	240	ი, ე
54	დოკანი	ერაყი	მცირე ზაზი	100,0	7,8	270	25	ი, ე
55	ზეიას	რუსეთი	ზეია	100,0	69,0	2420	225	წ, ე, ნ, ხ, რ
56	კარიბა	ზამბია	ზამბეზი	100,0	161,0	4450	300	ე, ნ, ი, რ, წ
57	კრასნოიარსკის	რუსეთი	ენისეი	100,0	74,0	2000	390	ე, ხ, მ, ნ, წ, რ
58	ნეჩაკო	კანადა	ნეჩაკო	100,0	22,0	800	235	ე
59	სინ-ან-იანი	ჩინეთი	სინ-იანი	100,0	22,0	580	–	ე, ა
60	სინფინიანი	ჩინეთი	სინფინი	100,0	14,0	390	–	ე, ა
61	სირიკიტი	ტაილანდი	მას ნანი	100,0	11,0	680	90	ე, ი, ა
62	კამტელუ-ბოლი	პორტუგალია	ზეზირი	100,0	1100	30	120	ე, წ
63	ანვალდი	იორდანია	ჯამუკი	100,0	200	12,2	–	ი, ე
64	ბენმორი	ახ. ზელანდია	უაიტაკი	100,0	2480	2000	78	ე
65	პუებლო-ვიეხო	გვატემალა	ჩიხოი	100,0	460	350	–	ე

პირობითი აღნიშვნები: ე – ენერგეტიკა; ი – ირიგაცია; წ – წყალმოვარდნებთან ბრძოლა; ხ – ხე-ტყის დაცურება; მ – წყალმომარაგება; რ – რეკრეაცია; ნ – ნაოსნობა; ა – წყლის აკუმულაცია კომპლექსური მიზნით.

მთის წყალსაცავების შექმნა განპირობებულია მათი მნიშვნელოვანი სიღრმით (H)-ით და ტერიტორიის მცირე დატბორვით, მაგალითად:

– ამიერკავკასიის რეგიონის წყალსაცავები: ენგურის – $H = 225$ მ, ჩერკეისის – $H = 215$ მ, ჟინვალისა და სარხანანის – $H = 110 \div 115$ მ, ირგანის – $H = 95$ მ, მინგეჩაურის, სიონის, შამქორის, ახერიანის – $H = 50 \div 75$ მ;

– შუა აზიის წყალსაცავები: ნურეკის – $H = 300$ მ, ტოქტოგულის – $H = 180$ მ, ჩარვაკის – $H = 170$ მ;

– ციმბირისა და შორეული აღმოსავლეთის ციმბირისა და შორეული აღმოსავლეთის წყალსაცავების უპირატესად ველის ტიპისაა, წყლის სიღრმე საიანის წყალსაცავზე $H = 220$ მ-ს, უსტ-ილიმსკის, ზეისკისა და ხანაისკის წყალსაცავებზე – $H = 40 \div 50$ მ.

მთის რეგიონებში წყალსაცავების ეფექტურობის განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს ალპების მთის რეგიონების ჰიდრორესურსების გამოყენების პრაქტიკა. ალპების და აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეების

აუზების ოროჰიდროგრაფიული სქემები და ექსპოზიცია იდენტურია (რუკა 1, 2).



რუკა 1. საქართველოს ოროგრაფიული და ჰიდროგრაფიული რუკა



რუკა 2. ალპების ოროგრაფიული და ჰიდროგრაფიული რუკა

განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს ალპების ქვეყნების წყლის რესურსების გამოყენების გამოცდილების შესწავლა აღმოსავლეთ საქართველოს წყლის რესურსების ოპტიმალური განვითარებისათვის. შვეიცარიაში და იტალიაში ჩემი მივლინების დროს, რომელიც დაფინანსებული იყო შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მაგისტრანტთა

სასწავლო-კვლევითი საგრანტო პროგრამით MR-2016-1-106, დადგინდა, რომ ალპების ერთ ერთი მდინარის – პოს (ტიჩინო), რომლის აუზი მდებარეობს იტალიის და შვეიცარიის ტერიტორიაზე, ჰიდროგრაფიული სქემა წყლის რესურსების ენერგეტიკისა და ირიგაციისათვის გამოყენების და ღრმა წყალსაცავების გამოყენების თვალსაჩინო მაგალითია (იხ. ფოტო 1).



ფოტო 1. ვერუასკას (Veruasca, Contra, Locarno) კაშხლის ხედეები ქვედა ბიეფიდან (შვეიცარია, H = 220,0 მ)

შვეიცარიაში და ავსტრიაში წყალსაცავების მასობრივი შექმნა დაფიქსირდა XX საუკუნის დასაწყისიდან. 1980 წლისათვის ამ რეგიონებში წყალსაცავების საერთო რაოდენობამ 200-ს გადააჭარბა. შვეიცარიაში წყალსაცავები, ძირითადად, განლაგებულია 500 მ-ზე ზედა ნიშნულზე.

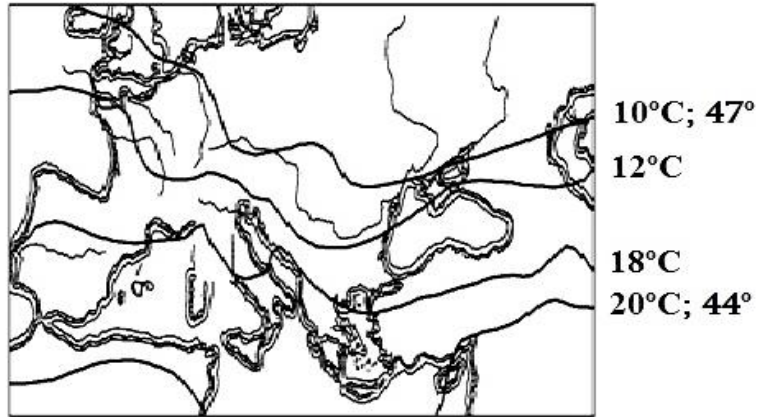
იტალიაში ვაიონტის წყალსაცავი ექსპლუატაციაში შევიდა 1959 წელს, ხოლო შვეიცარიაში ვერუასკას წყალსაცავი – 1965 წელს.

1963 წელს ვაიონტის წყალსაცავში (ბეტონის თაღოვანი კაშხლის სიმაღლე $H = 262,0$ მ, სიგრძე $B = 160,0$ მ, წყალსაცავის სრული მოცულობა ნორმალურ შეტბორვის დონეზე (ნშდ) $V_{სრ.} = 168,72$ მლნ მ³) ჩამოწვა მეწყერი, რომლის მოცულობა 260,0 მლნ მ³ იყო. წარმოიქმნა 250,0 მ-ის სიმაღლის ტალღა, რომელიც გადმოეშვა კაშხლის ქიმზე. კაშხალი თითქმის არ დაზიანებულა, მაგრამ დაიღუპა 2600 ადამიანი. დღეისათვის წყალსაცავი დაცლილია. 2008 წელს ვაიონტის წყალსაცავზე მომხდარი კატასტროფის შეფასებისას ორგანიზაციამ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization განაცხადა, რომ ეს ყოველივე გამოიწვია „ინჟინრებისა და გეოლოგების მიერ დაშვებულმა შეცდომებმა“, ეს შეცდომებია: სამშენებლო

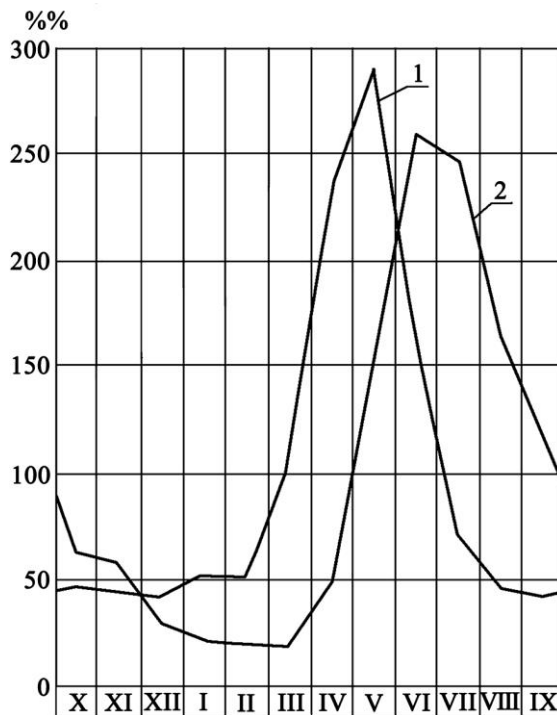
და საექსპლუატაციო კომპანიების მიერ იგნორირებული გეოლოგიური არასტაბილურობა და წყალსაცავის წყლის მასით გამოწვეული სეისმური მოვლენები.

ვერუასკას ბეტონის თაღოვანი კაშხლის სიმაღლე $H = 220,0$ მ, სიგრძე $B = 380,0$ მ, წყალსაცავის სრული მოცულობა ნორმალურ შეტბორვის დონეზე (ნშდ) $V_{სრ.} = 105,0$ მლნ მ³. ვერუასკას კაშხლის ქვედა ბიეფი ორივე მხარეს გამაგრებულია კონტრფორსებით. კაშხალზე მოწყობილია ორი წყალგამშვები გალერეა-მილსადენი, რომლებიც ატარებენ $Q = 170,0$ მ³/წმ წყალს. ეს სისტემა დღემდე მუშაობს ინციდენტების გარეშე.

აღმოსავლეთ საქართველოს და ალპების ოროგრაფიული სისტემები იდენტურია, კერძოდ: 1) ორივე სისტემა მიეკუთვნება დედამიწის ერთი და იმავე ნახევარსფეროს და განლაგებულია თითქმის ერთნაირ განედებს შორის: აღმოსავლეთ საქართველო – 41° - 43° , ხოლო ალპები – 44° - 48° ; 2) მეტეოროლოგიური პირობებიც იდენტურია – ორივე რაიონისთვის დამახასიათებელია ერთნაირი წლიური იზოთერმები (ნახ. 2); 3) ალპების და აღმოსავლეთ საქართველოს მთავარი ქედების მიმართულება დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენაა. შესაბამისად, მთავარი მდინარეების (პო და მტკვარი) ნაკადის მიმართულება – დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ (რუკა 1, 2); 4) მდ. პოს და მტკვრის აუზების ტერიტორიები ჩრდილოეთიდან და სამხრეთიდან შემოფარგლული მთებით; 5) საქართველოს და ალპების ყველაზე მაღალი მყინვარები განლაგებულია ქედების ჩრდილოეთ ნაწილში; 6) მდინარეების რეჟიმის თვისობრივი ცვლილებებიც იდენტურია – ორივე რაიონის მდინარეების წყლის ხარჯების გრაფიკი გადაწეულია ერთი თვით წინ წელიწადში ერთი პიკით (ზაფხულში – მაქსიმუმით, ზამთარში – მინიმუმით) (ნახ. 3). მაშასადამე, ალპების მდინარეების რეჟიმის სათავე ნაწილის რეგულირება მთის წყალსაცავების მეშვეობით საკმაოდ ხელსაყრელია, რადგან გაზაფხულისა და ზაფხულის ჭარბი წყლის რაოდენობის შეკავება წყალსაცავში და მისი ხარჯვა ზამთარში – ძირითადი მიზანია. მაგალითად, მდ. პოს სათავე ნაწილი მთლიანად დარეგულირებულია მსხვილი მთის წყალსაცავებით (ნახ. 4).



ნახ. 2. ალპების და საქართველოს განდეგები და საშუალო წლიური იზოთერმები



ნახ. 3. მდინარეების მტკვრისა და პოს საშუალო თვიური ხარჯები (საშუალო წლიური ხარჯებისგან პროცენტებში).

1 – მდ. პო (ბელინგონასთან); 2 – მდ. მტკვარი (თბილისთან).

შვეიცარიაში მდინარეული წყლის პოტენციალის 95%-დე უკვე დარეგულირებულია, რამაც უზრუნველყო ქვეყნის სრული ელექტროფიკაცია და ელექტროენერჯის ექსპორტი ნეგატიური პროცესების განვითარების გარეშე. სწორედ მთის და მთისწინეთის წყალსაცავების აგებამ განაპირობა შვეიცარიაში ელექტროენერჯის თვითღირებულების შემცირება, ტურისტების დიდი ნაკადი და საკურორტო ზონების განვითარება. შვეიცარიის ტერიტორიაზე ($F=41,29$ კმ²) წყალსაცავების რაოდენობა 160-ზე მეტია, რომლებიც

ძირითადად, განლაგებულია ნიშნულების $\pm 500,0$ მ-ზე მაღლა (ცხრ. 4, 5; რუკა 3).



ნახ. 4. წყალსაცავების განლაგების სქემა მდ. პოზე



რუკა 3. შვეიცარიის წყალსაცავებისა და მდინარეების რუკა

შვეიცარიის მთის და მთისწინეთის მსხვილი წყალსაცავების ნუსხა

№	წყალსაცავის დასახელება	წყალსაცავის სიღრმე	ექსპლუატაციაში შესვლის წელი	წყალსაცავის სრული მოცულობა ჩს, მლნ მ ³	წყალსაცავის ადგილმდებარეობა
1	2	3	4	5	6
1	Grande Dixence	285	1961	401,00	Valais/Wallis
2	Mauvoisin	250	1957	211,50	Valais/Wallis
3	L.uzzone	225	1963	108,00	Ticino
4	Locarno, Contra (Uersasco)	220	1965	105,00	Ticino
5	Emosson	180	1974	227,00	Valais/Wallis
6	Zeuzier	156	1957	51,00	Valais/Wallis
7	Göscheneralp	155	1960	76,00	Uri
8	Curnera	153	1966	41,10	Graubünden/Grigioni
9	Zervreila	151	1957	100,50	Graubünden/Grigioni
10	Moiry	148	1958	78,00	Valais/Wallis
11	Gigerwald	147	1976	35,60	St. Gallen
12	Limmern	146	1963	93,00	Glarus
13	Valle di Lei	141	1961	197,00	Graubünden/Grigioni
14	Punt dai Gall	130	1968	164,60	Graubünden/Italia
15	Sambuco	130	1956	63,00	Ticino
16	Nalps	127	1962	45,00	Graubünden/Grigioni
17	Hongrin Nord	125	1969	53,20	Vaud
18	Gebidem	122	1967	9,20	Valais/Wallis
19	Mattmark	120	1967	101,00	Valais/Wallis
20	Santa Maria	117	1968	67,30	Graubünden/Grigioni
21	Albigna	115	1959	71,00	Graubünden/Grigioni
22	Spitallamm	114	1932	101,00	Bern
23	Cavagnoli	111	1968	29,00	Ticino
24	Schräh	111	1924	150,00	Schwyz
25	Oberaar	100	1953	61,00	Bern
26	Raterichsboden	94	1950	27,00	Bern
27	(Castiletto)	91	1954	60,00	Graubünden/Grigioni
28	Hongrin Sud	90	1969	53,20	Vaud
29	Rossens	83	1947	220,00	Fribourg/Freiburg

ცხრილი 4 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6
30	Schiffenen	47	1963	65,00	Fribourg/ Freiburg
31	Seeuferega	42	1932	101,00	Bern
32	In den Schlagen	33	1936	96,50	Schwyz
33	Rhodannenberg	30	1910	56,40	Glarus
34	Piora	27	1920	53,90	Ticino
35	Proz-Riond	20	1957	51,00	Valais/Wallis
36	Huhnermatt	17	1937	96,50	Schwyz

ცხრილი 5

შვეიცარიის ტბებისა და წყალსაცავების ნუსხა
ჰიდრომეტრიული ნიშნულების მიხედვით

№	სახეობა	ადგილობრივი სახელები	კანტონები, მოსაზღვრე ქვეყნები	სიმაღლე ზღვის დონიდან \uparrow , მ	ფართობი F , კმ ²	წყალსაცავის მაქს. სიღრმე H , მ
1	2	3	4	5	6	7
დაბლობის წყალსაცავები $\uparrow < 400,0$ მ						
1		Lago Maggiore	ტიჩინო, იტალია	193,5	210,12	372,0
2		Ceresio, Lago di Lugano	ტიჩინო, იტალია	270,5	48,67	288,0
3	↑	Klingnauer Stausee	არგაუ	318,0	1,16	8,5
4		Lac Lèman, Lac de Geneve	ვაუდი, ვალისი, საფრანგეთი	372,0	580,03	310,0
5		Bodensene	სენტ-გალენი, თურგაუ, ავსტრია, გერმანია	395,6	536,00	252,0
მთისწინეთის წყალსაცავები $\uparrow 401 \div 800,0$ მ						
1		Zürichsee	სენტ-გალენი, შვიცი, ციურიხი	405,9	88,17	136,0
2		Zugersee	ლუცერნი, შვიცი, ცუგი	413,6	38,41	198,0
3		Walensee	გლარუსის კანტონა, სენტ-გალენი	419,0	24,16	150,0
4		Lac de Bienne, Bielersee	ბერნი, ნევშატელი	429,1	39,51	74,0
5		Murtensee, Lac de Morat	ფრიბურგი, ვაუდი	429,2	22,80	46,0
6		Lac de Neuchâtel, Neuenburgersee	ბერნი, ფრიბურგი, ნევშატელი, ვაუდი	429,4	215,20	153,6
7		Vierwaldstättersee	ლუცერნი, ნიდვალ- დენი, ობვალდენი, შვიცი, ური	433,6	113,72	214,0
8		Grefensee	ციურიხი	435,1	8,17	34,0
9		Lauerzersee	შვიცი	447	3,1	14,0

ცხრილი 5 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
10		Hallwilersee	არგაუ, ლუცერნი	448,7	10,21	47,0
11		Baldeggersee	ლუცერნი	463,0	5,24	66,0
12		Samersee	ობვალდენი	468,4	7,38	52,0
13	↑	Lago di Vogomo	ტიჩინო	470	1,68	204,0
14	↑	Wohlensee	ბერნი	480	29,81	20,0
15		Sempachersee	ლუცერნი	503,8	14,36	87,0
16	↑	Schiffenensee, Lac de Schiffenen	ფრიბურგი	532	4,25	38,0
17		Pfäffikersee	ციურიხი	536	3,3	35,0
18		Thunersee	ბერნი	557,8	47,74	215,0
19		Bienzersee	ბერნი	563,7	3,65	260,0
20	↑	Lac de la Geuère	ფრიბურგი	677	9,60	75,2
21	*	Lungerersee	ობვალდენი	688	2,01	68,0
22		Agerisee	ცუგი	723,9	7,25	82,0
მთის წყალსაცავები † 810,0÷1200,0 მ						
1	↑	Klöntalersee	გლარუსი	847	3,29	47,0
2		Sihisee	შვიცი	889	10,72	23,0
3	↑	Wägitalersee	შვიცი	900	4,18	65,0
4	*	Lago di Poschiavo	გრისონსი	962	1,98	85,0
5	*	Lac Brenet	ვაუდი	1004		34,0
მაღალმთიანი წყალსაცავები † > 1200,0 მ						
1	↑	Lac de l'Hongrin	ვაუდი	1255	1,60	105,0
2	↑	Lago del Sambuco	ტიჩინო	1461	1,11	124,0
3	↑	Oeschinensee	ბერნი	1578	1,11	56,0
4	↑	Lago di Luzzone	ტიჩინო	1606	1,27	125,0
5	↑	Lai da Marmorera	გრისონსი	1680	1,41	65,04
6		Silvaplanenrsee, Lej da Silvaplauna	გრისონსი	1790	3,1	77,04
7	↑	Göscheneralpsee	ური	1792	1,32	106,0
8		Silsersee, Lej da Segl	გრისონსი	1797	4,1	71,0
9	↑	Lafo di Livigno	იტალია, გრისონსი	1805	4,71	119,0
10	*	Lago Ritom	ტიჩინო	1850	1,49	69,0
11	↑	Limmensee	გლარუსი	1857	1,36	146,0
12	↑	Zervreilasee	გრისონსი	1862	1,61	151,0
13	↑	Grimensee	ბერნი	1908	2,63	100,0
14	↑	Lai da Sontga Maria	გრისონსი	1908	1,77	86,0
15	↑	Lac de Salanfe	ვალაისი	1925	3,27	48,0
16	↑	Lac d'Emosson	ვალაისი	1930	1,62	161,0
19	↑	Lago di Lei	იტალია, გრისონსი	1931	4,12	133,0
20	↑	Lac de Mauvoisin	ვალაისი	1961	2,08	250,0

ცხრილი 5 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
19	↑	Lago da l'Albigna	გრისონსი	2163	1,13	108,0
20	↑	Mattmaksee	ვალისი	2197	1,76	93,0
21	*	Lago Bianco	გრისონსი	2234	1,50	53,0
22	↑	Lac de Moiry	ვალისი	2249	1,40	148,0
23	↑	Oberaarsee	ბერნი	2300	1,47	90,0
24	↑	Lac des Dix	ვალისი	2365	3,65	285,0
შენიშვნა: ↑ – წყალსაცავები, * – ბუნებრივი ტბები, გამოიყენება როგორც წყალსაცავი						

აღსანიშნავია, რომ ნორვეგიაში, რომლის ტერიტორია 324 220 კმ² და მოსახლეობა 5,3 მილიონია, ექსპლუატაციაში სულ 1660-ზე მეტი ჰესია, აქედან 1000-ზე მეტი – წყალსაცავიანი ჰესია. ნორვეგია ჰიდროგენერაციით ევროპაში პირველ, ხოლო მსოფლიოში – მეექვსე ადგილზეა.

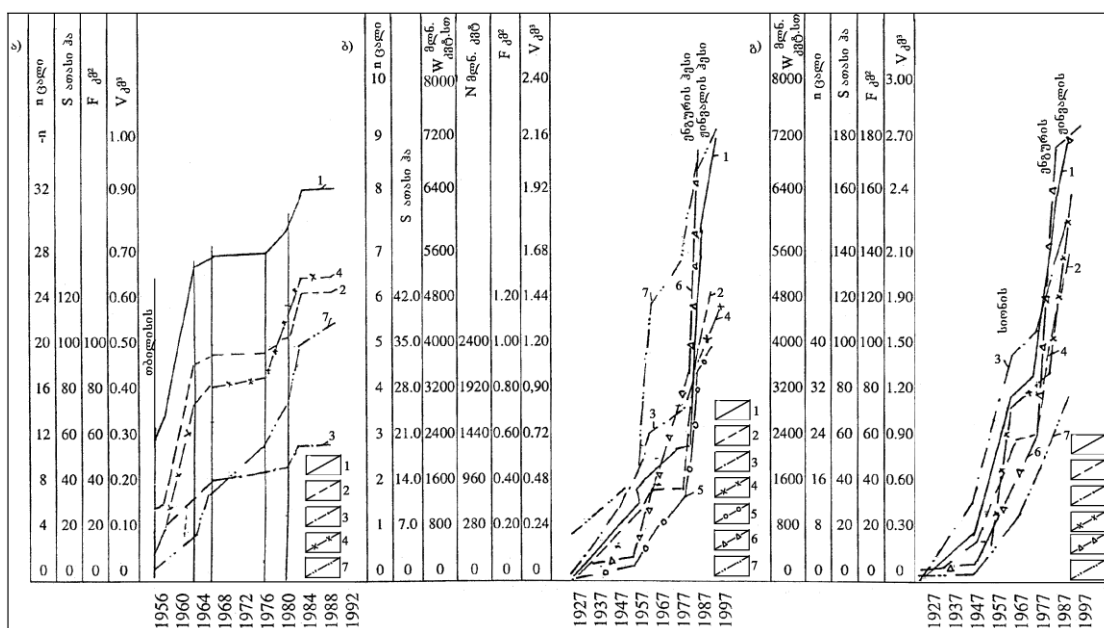
ამრიგად, მთის წყალსაცავების აგება მეტად ეფექტური და ხელსაყრელია.

თავი II. საქართველოს წყალსაცავიანი სისტემების ფონდის დახასიათება

საქართველოში ირიგაციის განვითარება იწყება ჩვ.წ.აღ.-მდე III საუკუნეში, როდესაც მდინარეების ბუნებრივი ჩამონადენი პრაქტიკულად უზრუნველყოფდა მცირე მეურნეობის მოთხოვნილებებს. შემდგომ (XIX საუკუნეში) წარმოიშვა საკომანდო ნიშნულების აუცილებლობა თვითღირებით მორწყვისათვის.

1862 წელს საქართველოში შეიქმნა პირველი წყალსაცავი – ჯანდარის, ხოლო მისი ახალ ქსელებთან შეერთება განხორციელდა მხოლოდ 1957 წელს. საქართველოში წყალსაცავების შექმნის თანამედროვე ეტაპი დაიწყო მეორე მსოფლიო ომის დამთავრების შემდეგ (1945 წ.).

მსხვილი საწყალსაცავო კომპლექსური ჰიდროსისტემების ინტენსიური მშენებლობის დასაწყისი აღინიშნება თბილისის (1952 წ.), შაორის (1954 წ.), ტყიბულის (1956 წ.), გუმათის (1958 წ.) და რიგი სხვა წყალსაცავების ექსპლუატაციაში შეყვანით, რომელთა შორის უნდა აღინიშნოს ისეთი მსხვილი წყალსაცავები, როგორცაა სიონის (1964 წ.), ხრამის (1966 წ.), ჯვრის (ენგურის) (1976 წ.), ჟინვალის (1985 წ.) და სხვ. (ნახ. 5, 6), [1, 3].



ნახ. 5. საქართველოს წყალსაცავების ფონდის განვითარების დინამიკა:

- ა) ირიგაციული; ბ) ენერგეტიკული; გ) საერთო ფონდი; 1 – $V_{სრ.}$, კმ³; 2 – $V_{სასაო.}$, კმ³; 3 – F , კმ²; 4 – S ათასი ჰა; 5 – N ათასი კვტ; 6 – W მლნ კვტ.სთ; 7 – n ცალი.

საქართველოს ტერიტორიაზე ($F=69,7$ კმ²) განლაგებულია 26 060 მდინარე. ჰიდროენერგეტიკის მიზნებისათვის შეიძლება გამოყენებული იყოს 320-მდე მდინარე, მათ აქვთ სიმაღლის მნიშვნელოვანი ვარდნა. საქართველოს მდინარეების პოტენციური სიმძლავრეა 18,2 მლნ კვტ, რაც შეესაბამება 60 მლრდ კვტსათს წელიწადში. საქართველოს ტერიტორიის 75% მთის და მთისწინეთის ზონაშია, იგი გამოირჩევა ბუნებრივი ლანდშაფტისა და კლიმატური ზონების მრავალფეროვნებით და რთული რელიეფით, რაც განაპირობებს წყლის მარაგის რაციონალურ გამოყენებას, განაწილებას და წყალსაცავიანი სისტემების განლაგებას (ცხრ. 6÷14), [3, 4].

ცხრილი 6

საქართველოს წყლის „მარაგის“ კომპონენტები

წყლის მარაგის მაჩვენებლები	წყლის მოცულობა, კმ ³			%
	აღმოსავლეთ საქართველოში	დასავლეთ საქართველოში	სულ, საქართველოში	სულ, საქართველოში
1	2	3	4	5
მდინარეები	14,7	51,13	65,83	61,83
ტბები	0,422	0,30	0,72	0,69
წყალსაცავები	1,9929	1,4891	3,461	3,26
მყინვარები	5,08	18,740	23,82	22,37
მიწისქვეშა წყლები	6,4	4,2	10,6	9,96
ჭაობები	–	1,86	1,86	1,75
თერმული წყლები	0,04	0,02	0,06	0,06
მინერალური წყლები	0,001	0,1	0,101	0,09
სულ	28,64	77,84	106,46	100,0

ცხრილი 7

საქართველოს მდინარეული წყლის მარაგის კრებსითი მონაცემები

№	რეგიონი	წყალშემკრების ფართობი, ათ. კმ ²	რეგიონის ფართობი, ათ. კმ ²	წყლის ადგილობ- რივი ჩამო- ნადენი, კმ ³ /წელი	წყლის ჩამონადენი მეზობელი ტერი- ტორიიდან, კმ ³ /წელი	წყლის მოცულობა სულ, კმ ³ /წელი
1	2	3	4	5	6	7
1	საქართველო	99,26	69,7	56,33	9,50	65,83
2	დასავლეთ საქართველო	52,60	32,42	43,69	7,44	51,13

ცხრილი 7 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
3	აღმოსავლეთ საქართველო	46,66	37,28	12,64	2,07	14,71
4	აფხაზეთი	23,18	8,60	15,40	–	15,40
5	აჭარა	8,60	3,0	3,42	6,48	9,90
6	მდ. მტკვრის აუზი	44,12	34,74	9,39	2,07	11,46

ცხრილი 8

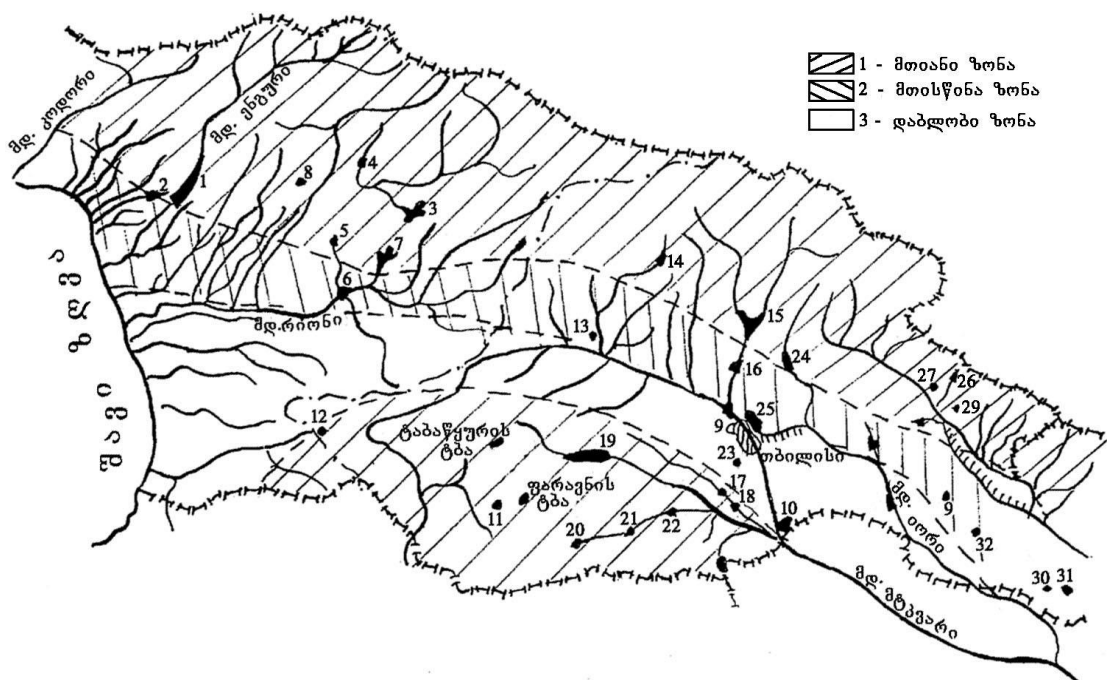
საქართველოში წყალსაცავების წყლის ჩამონადენის დარეგულირების მახასიათებლები

№	წყალსაცავის დასახელება	წყალსაცავების წყლის მოცულობა, მლნ მ ³		50%-ანი ჩამონადენი, მლნ მ ³ $W_{ჩამ}$	დარეგულირების მახასიათებელი		წყალსაცავიდან სასარგებლო წყალგაცემა, $W_{წყმ}$, მლნ მ ³ (წელიწადში)	ჩამონადენის გამოყენების კოეფიციენტი, $W_{წყმ}/W_{ჩამ}$
		$V_{სრ}$	$V_{სას}$		$\frac{V_{სრ}}{W_{ჩამ}}$	$\frac{V_{სას}}{W_{ჩამ}}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
მდ. ენგურის აუზი								
1	ენგურის	1090,0	662,0	4640,0	0,235	0,143	4523,9	0,975
2	გალის	145,0	26,0	4850,0	0,0298	0,0056	4833,4	0,996
სულ მდ. ენგურის აუზში		1235,0	688,0	9490,0	0,2649	0,1486	9356,3	1,971
მდ. რიონის აუზი								
3	შაორის	90,0	87,0	128,0	0,703	0,679	121,0	0,945
4	ტყიბულის	84,0	62,0	216,5	0,388	0,286	209,0	0,965
5	გუმათის	39,0	13,0	5100,0	0,0077	0,00255	4228,0	0,829
6	ლაჯანურის	39,0	13,0	5100,0	0,0077	0,00255	4228,0	0,829
7	ვარციხის	24,6	17,6	1510,0	0,0163	0,0116	1509,0	0,999
8	კუხის	14,6	2,4	8600,0	0,0017	0,00028	8600,0	0,784
სულ მდ. რიონის აუზში		266,8	186,85	15556,4	0,017	0,012	12816,0	0,823
მდ. მტკვრის აუზი								
9	ჟინვალის	1,9	1,85	2,89	0,657	0,64	2,0	0,692
10	თბილისის	520,0	370,0	1373,7	0,378	0,269	1373,7	0,983
11	სიონის	308,0	155,0	–	–	–	172,5	–
12	დალის მთის	325,0	300,0	342,0	0,95	0,877	333,6	0,974
13	თელეთ-წყლის	140,0	120,0	–	–	–	110,0	–

ცხრილი 8 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
სულ მდ. იორის აუზში		774,6	576,2	–	–	–	1994,55	–
14	ალგეთის	1,6	1,20	4,80	0,333	0,25	4,75	–
15	მარაბდის	1,20	0,20	2,0	0,60	0,10	1,60	0,800
სულ მდ. ალგეთის აუზში		66,20	60,20	130,0	0,509	0,463	61,3	0,472
16	ზონკარის	40,0	39,0	302,4	0,132	0,129	105,0	0,347
17	ხრამის	312,0	292,2	308,0	1,01	0,948	246,0	0,799
18	ზაჰესი	12,0	3,0	5610,0	0,0021	0,00053	4220,1	0,752
19	დმანისის	11,0	11,0	–	–	–	14,8	–
20	ლაფიანის	3,5	3,5	–	–	–	4,75	–

დღეისათვის საქართველოს ტერიტორიაზე მოქმედებს სულ 32 წყალსაცავი (მოცულობით 1 მლნ მ³-ზე მეტი). მათ შორის აღმოსავლეთ საქართველოში – 24 წყალსაცავი, ხოლო დასავლეთ საქართველოში – 8 წყალსაცავი (ცხრ. 9, 10); სულ დაბლობის ზონაში ($\nabla < 400,0$ მ) – 7, მთისწინეთის ზონაში ($\nabla < 400,0 \div 800$ მ) – 14, მთიან ზონაში ($\nabla < 800,0 \div 1200$ მ) – 5, ხოლო მაღალმთიან ზონაში ($\nabla > 1200$ მ) – 6 წყალსაცავი (ცხრ. 9, 10).



ნახ. 6. საქართველოს წყალსაცავების განლაგება (> 1 მლნ მ³)

(წყალსაცავების დასახელება ნუმერაციის მიხედვით მოყვანილია ცხრილებში 9, 10)

აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია სიღრმის მიხედვით

№	ნახ. ნ-ის მიხედვით	წყალსაცავის დასახელება	სიღრმე, H, მ		მორფომეტრიული მაჩვენებელი $H/F \cdot 10^{-3}$	მოცულობის ნამატი 1 მ სიღრმეზე $V_{სრ}/H$, მლნ მ ³
			$H_{ნაჟს}$	$H_{ნოს}$		
1	2	3	4	5	6	7
ღრმა ($H=100 \div 40$ მ)						
1	15	ჟინვალის	98,0	50,0	0,22	5,30
2	17	ალგეთის	72,5	28,2	0,35	0,89
3	24	სიონის	68,6	31,4	0,086	4,73
4	14	ზონკარის (პატარა ლიახვის)	62,0	29,0	0,60	0,64
5	25	თბილისის (საპროექტო)	45,0	26,2	0,12	6,84
6	16	ნარეკვავის	40,3	18,8	0,60	0,16
საშუალო სიღრმის ($H=100 \div 40$ მ)						
7	19	ხრამის	25,0	9,3	0,0057	12,48
8	29	თელეთწყლის	25,0	12,0	1,030	0,06
9	9	ზაჰესის	23,0	14,0	0,007	0,52
10	32	თავეყაროს	22,4	6,5	0,165	0,04
11	27	ლაფიანის (კუდიგორას)	20,0	12,0	0,048	0,17
მცირე სიღრმის ($H=20 \div 10$ მ)						
12	31	კუმისხევის	18,0	7,0	0,075	0,22
13	21	პანტიანის	15,0	10,0	0,16	0,36
14	30	კრანჭისხევის	14,0	8,0	0,24	0,09
15	22	დმანისის (იაყუბლოს)	11,5	5,6	0,016	0,95
16	13	ნადარბაზევის	11,0	7,0	0,025	0,74
17	12	ცხენისის-ჭის (უდე)	10,5	5,9	0,12	0,14
18	26	ჭალის	10,0	6,0	0,10	0,17
უმცირესი სიღრმის ($H < 10$ მ)						
19	18	მარაზდის	8,0	4,0	0,070	0,15
20	20	მთისძირის	7,2	3,7	0,017	0,46
21	10	ჯანდარის	7,0	4,6	0,0017	7,42
22	28	ოქტომბრის	8,5	4,2	0,077	0,21
23	23	კუმისის	4,7	2,0	0,0007	2,34
24	11	ზრესის	3,8	1,8	0,0006	0,54

ცხრილი 10

დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია სიღრმის მიხედვით

№	ნახ. ნ-ის მიხედვით	წყალსაცავის დასახელება	სიღრმე, H, მ		მორფომეტრიული მაჩვენებელი $H/F \cdot 10^{-3}$	მოცულობის ნამატი 1 მ სიღრმეზე $V_{\text{ს}}/H$, მლნ მ ³
			$H_{\text{მაქს}}$	$H_{\text{მინ}}$		
1	2	3	4	5	6	7
ძალიან ღრმა ($H > 100 \div 40$ მ)						
1	1	ჯვრის (ენგურის)	230,0	115,0	0,98	4,74
ღრმა ($H = 100 \div 40$ მ)						
2	4	ლაჯანურის	67,8	36,0	0,93	0,35
3	2	გალის	52,0	26,0	0,086	2,78
საშუალო სიღრმის ($H = 100 \div 40$ მ)						
4	7	ტყიბულის	32,0	16,0	0,0042	5,25
5	5	გუმათის	30,0	17,0	0,12	1,30
6	8	კუხის	19,4	6,3	0,13	0,10
7	3	შაორის	12,3	6,8	0,035	5,77
უმცირესი სიღრმის ($H < 10$ მ)						
8	6	ვარციხის	8,0	4,0	0,03	1,83

ცხრილი 11

აღმოსავლეთ საქართველოს მოქმედი წყალსაცავების ჰიდრომეტრიული მონაცემები

№	წყალსაცავის დასახელება	დონის ნიშნულები, †		რელიეფის კოეფიციენტი „ა“
		ნშდ, მ	მშდ, მ	
1	2	3	4	5
დაბლობის ზონა † < 400 მ				
1	ცხენისის ჭის	103,5	95,0	–
2	ჯანდარის	291,50	289,50	0,601
3	ოქტომბრის	341,50	334,50	0,541
მთისწინა ზონა † 400÷800 მ				
4	ლაფიანის	429,00	417,00	0,404
5	ზაჰესის	448,00	446,50	0,358
6	კუმისის	471,35	469,92	0,320
7	კრანჭისხევის	480,00	477,60	0,441
8	კუმისხევის	490,00	475,00	0,459
9	ჭალის	495,00	487,00	0,455
10	თბილისის (საპროექტო)	548,00	535,00	0,598

ცხრილი 11 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5
11	მარაბდის	555,00	547,00	0,368
12	თავწყაროს	616,00	610,00	0,371
13	თელეთწყლის	720,00	705,00	0,402
14	ალგეთის	792,50	745,00	0,349
მთიანი ზონა \pm 800÷1200 მ				
15	ჟინვალის	810,00	770,00	0,384
16	ნადარბაზევის	862,00	855,40	0,344
17	ნარეკვავის	893,80	875,30	0,320
18	სიონის	1 068,00	1 014,00	0,259
მაღალმთიანი ზონა \pm > 1200 მ				
19	ზონკარის (პატარა ლიახვის)	1 217,00	1 167,00	0,262
20	დმანისის	1 360,00	1 350,00	0,361
21	პანტიანის	1 368,80	1 358,00	0,271
22	ხრამის	1 512,00	1 497,50	0,203
23	მთისძირის	1 650,00	1 644,00	0,251
24	ზრესის	1 721,82	1 721,07	0,283

ცხრილი 12

დასავლეთ საქართველოს მოქმედი წყალსაცავების
ჰიდრომეტრიული მონაცემები

№	წყალსაცავის დასახელება	დონის ნიშნულები, \pm		რელიეფის კოეფიციენტი „ა“
		ნშდ, მ	მმდ, მ	
1	2	3	4	5
დაბლობის ზონა \pm < 400 მ				
1	ვარციხის	87,00	86,50	0,558
2	გალის	100,550	97,00	0,685
3	კუხის	170,00	158,00	0,650
4	გუმათის	200,00	96,00	0,554
მთისწინა ზონა \pm 400÷800 მ				
5	ლაჯანურის	494,00	478,00	0,352
6	ჯვრის (ენგურის)	510,00	440,00	0,404
7	ტყიბულის	522,50	515,00	0,322
მთიანი ზონა \pm 800÷1200 მ				
15	შაორის	1132,00	1124,00	0,249

საქართველოს რეგიონული პირობების სპეციფიკის მიხედვით რელიეფის მთიანობის კოეფიციენტის (α) მნიშვნელობა გამოთვლილია შემდეგი ფორმულით [4]:

$$V_{\text{სგ}} = K_w \cdot H^\alpha, \quad (1)$$

სადაც – K_w წყალსაცავი მოცულობის კოეფიციენტია (მთის წყალსაცავებისათვის $K_w = 1,6 \div 2,5$); α კოეფიციენტის მნიშვნელობები ($\alpha = 0,2 \div 1,0$) რელიეფის მთიანობის ტიპის მიხედვით მოყვანილია ცხრილში 13 [4, 5].

ცხრილი 13

წყალსაცავების კლასიფიკაცია რელიეფის მთიანობის ტიპის მიხედვით

№	რელიეფის მთიანობის ტიპი	„ α “-ს საშუალო მნიშვნელობები	„ α “-ს ცვლილებების ზღვარი
1	2	3	4
1	დაბლობი	0.78	1.0÷0.65
2	ტბური ^{*)}	0.51	0.64÷0.45
3	მთისწინის	0.37	0.44÷0.29
4	მთიანი	0.27	0.28÷0.23
5	მაღალმთიანი	0.16	<0.23
*) ტბური ტიპი არ არის დამოკიდებული ტერიტორიის ნიშნულზე			

ამრიგად, საქართველოში წყალსაცავების აგების აქტუალობა მთის და მთისწინეთის რეგიონებში, ისევე როგორც შვეიცარიაში, განპირობებულია: წყლის მნიშვნელოვანი რესურსებით და მაღალი ენერგეტიკული პოტენციალით; წყალსაცავების აგებით მაღალი ნიშნულების მდინარეების სათავე ნაწილში; მათი გამოყენების ეფექტურობის უფრო მაღალი მაჩვენებლებით, მათი გარემოზე დაბალი ნეგატიური ზემოქმედებით, ბუნებრივი ლანდშაფტების გამდიდრებით, რეკრეაციის და ტურისტების რაოდენობის ზრდით, მორწყული მიწების მწარმოებლურობის ამაღლებით. ჩატარებული კვლევების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ მდინარეული წყლის რეგულირებისათვის, გარემოზე ზემოქმედების და მიწების დატბორვის შემცირებისათვის, რაც განპირობებულია მთის წყალსაცავების მნიშვნელოვანი მოცულობით და სიღრმით – ყველაზე ეფექტურია მთის და მთისწინეთის წყალსაცავები. საქართველოში შესაძლებელია ახლო მომავალში რიგი მთის და მთისწინეთის წყალსაცავების აგება (ცხრ. 14).

საქართველოს პერსპექტიული წყალსაცავები

№	წყალსაცავის დასახელება	მდინარე	$V_{სრ.}$, მლნ მ ³	„ა“
1	ტიხის	კოდორი	$2,50 \cdot 10^3$	0,176
2	ფშიცის	ბზიფი	$1,35 \cdot 10^3$	0,278
3	ცაგერის	ცხენისწყალი	$1,18 \cdot 10^3$	0,306
4	თუშეთის	თუშეთის	$0,96 \cdot 10^3$	0,176
5	ონის ჰესების კასკადი I წყალსაცავი II წყალსაცავი	რიონი	$0,04 \cdot 10^3$	0,280
		რიონი	$0,4 \cdot 10^3$	0,280
6	ტობარის	ენგური	$0,58 \cdot 10^3$	0,231
7	კოდორის	ჩხალთა	$0,53 \cdot 10^3$	0,344
8	აგარას	მტკვარი	$0,45 \cdot 10^3$	0,258
9	ბზიფის	ბზიფი	$0,24 \cdot 10^3$	0,336
10	ჩხალთის	ჩხალთა	$0,23 \cdot 10^3$	0,222
11	წყნარის	ხრამი	$0,20 \cdot 10^3$	0,414
12	თეძამის	თეძამი	$0,03 \cdot 10^3$	0,280

საქართველოში წყალსაცავების აგების შეწყვეტამ, რაც გამოწვეული იყო ტენდენციურად უარყოფითად განწყობილი მოსახლეობის ცალკეული ჯგუფების მიერ (გასული საუკუნის შუა წლებში) გამოიწვია საქართველოს ეკონომიკური და ეკოლოგიური გარღვევები. საბედნიეროდ, ამჟამად დაიწყო რიგი წყალსაცავების აგება – ხუდონის ($V_{სრ.} = 365,0$ მლნ მ³) და ნენსკრას ($V_{სრ.} = 176,0$ მლნ მ³).

თავი III. წყალსაცავების ნაპირებზე აბრაზიული პროცესების დინამიკის არსებული კვლევების ანალიზი

წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების პროცესების დინამიკის კვლევები დაყოფილია ოთხ ჯგუფად:

– მკვლევარების პირველი ჯგუფი ნაპირების დინამიკის პროგნოზირებისათვის იყენებდა ანალოგიების მეთოდებს [6, 7, 8];

– მკვლევარების მეორე ჯგუფი ნაპირების დინამიკის პროგნოზირებისათვის გრაფოანალიტიკურ მეთოდს იყენებდა [9, 10];

– მკვლევარების მესამე ჯგუფი ნაპირების დინამიკის პროგნოზირებისათვის ითვალისწინებდა ტალღური ღელვის ენერგიას და ნაპირების ქანების გეოლოგიურ შედგენილობას [11, 12];

– მკვლევარების მეოთხე ჯგუფი ნაპირების დინამიკის პროგნოზირებისათვის ითვალისწინებდა ტალღური ღელვის ენერგიას და ნაპირების ქანების გეოლოგიურ შედგენილობას და ნაპირთა დახრის კუთხეს [13, 14].

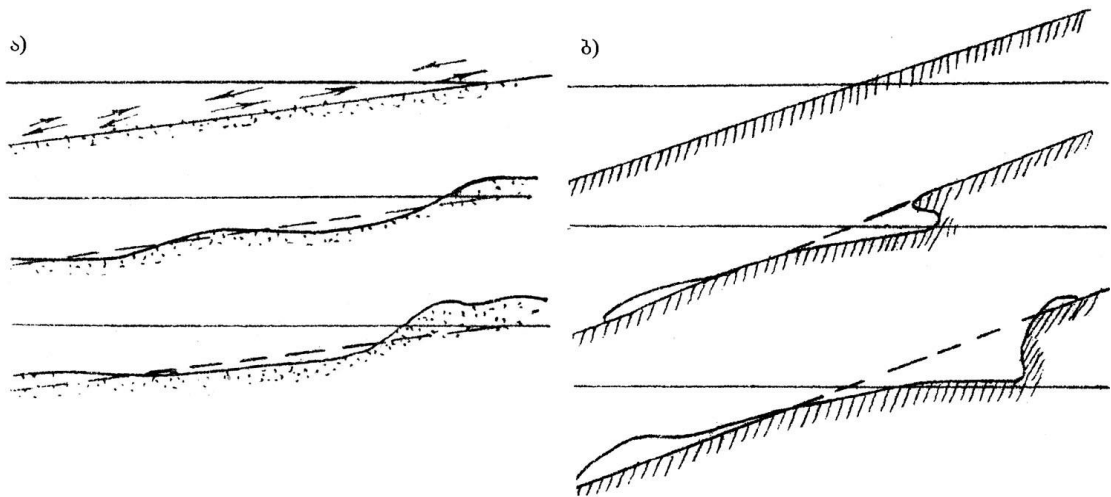
საქართველოს წყალსაცავებზე ასეთი ტიპის ეპიზოდური კვლევები პირველად იყო ჩატარებული ხრამისა და ლაჯანურის წყალსაცავებზე [15]. რაც შეეხება მთის წყალსაცავებს, ციკაბო ნაპირების რთული გეოლოგიურ-ლითოლოგიური შემადგენლობის, წყლის დონის დამუშავების და ქარების გათვალისწინებით პირველად იყო გამოკვლეული ქართველი მკვლევარის ნ.გ. ვარაზაშვილის ხელმძღვანელობით [16].

დღეისათვის კვლევები აღორძინდა და ჩვენ ჩავატარეთ ასეთი ტიპის სამუშაოები საქართველოს შვიდ წყალსაცავზე – შაორის, ტყიბულის, ლაჯანურის, ჟინვალის, სიონის, ხრამისა და თბილისის წყალსაცავებზე.

მთის წყალსაცავების ნაპირების ფორმირების პროცესები იწყება წყალსაცავების შევსებიდან. წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავება შედის ათ ყველაზე საშიშ ტექნობუნებრივ პროცესში.

მთის წყალსაცავების სანაპირო ფერდობების გადამუშავებისას ვითარდება თანამედროვე დეფორმაციული პროცესების კომპლექსი (აბრაზია, გარეცხვა, მეწყრული გადაადგილება, ჩამოზვავება და სხვ.).

არსებული კვლევების ანალიზი გვიჩვენებს (კვლევები ჩატარებული იყო წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო ჯგუფის მიერ, პროფ. ნ. ვარაზაშვილის ხელმძღვანელობით საქართველოს რიგ წყალსაცავებზე [16]), რომ მთის წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავების ძირითადი მოქმედი ფაქტორებია – ქარ-ტალღური რეჟიმი, დონის დამუშავება, სანაპირო ზონის კონფიგურაცია, ფერდობის დახრილობა და გრუნტების ტიპი. ნაპირების გადამუშავების გამოკვლევა უნდა ხორციელდებოდეს ნაპირების ყველა კონკრეტული უბნისათვის. მთის წყალსაცავების ციცაბო ფერდობებისათვის შესაძლებელი გახდა დაგვედგინა სანაპირო ზონის გადამუშავების საერთო დამახასიათებელი სქემა (ნახ. 7).



ნახ. 7. მთის წყალსაცავების ციცაბო ნაპირების დეფორმაციის ტიპური სქემები:
ა) არაბმული გრუნტები, ბ) ბმული გრუნტები

წყალსაცავების ნაპირებზე აბრაზიული პროცესების მასშტაბების და დინამიკის დადგენის ცნობილი მეთოდების არ ითვალისწინებს ამ პროცესის განმაპირობებელ მრავალ ფაქტორს, როგორცაა წყალსაცავების ფერდობის გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, ნაპირების გენეტიკური ტიპები, ქარ-ტალღური ელემენტები, ფერდობის დახრილობის კუთხე, წყალსაცავის დონური რეჟიმი და სხვ.

ჩვენ შევეცადეთ ამ ნაკლოვანებების აღმოფხვრას, რისი შედეგებიც დისერტაციის ქვემოთ მოყვანილ ნაწილშია.

თავი IV. მთის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკის არსებული კვლევების ანალიზი

ვაკის ტიპის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების (დალექვის პირობითი პერიოდი – $t_{პირ.}$) განსაზღვრის არსებული მეთოდიკა ტარდება იმ დაშვებით, რომ თუ ნატანი (შეტივტივებული და ფსკერული) მთლიანად ილექება წყალსაცავის ფსკერზე კალაპოტის შევსების თავდაპირველ მოცულობამდე – $W_{კალ.წყ.}$ და განისაზღვრება ზოგადი დამოკიდებულებით [17]:

$$t_{პირ.} = (V_{სტ} - W_{კალ.წყ.}) / V_{ნ.საშ.} \text{ (წელი)}, \quad (2)$$

სადაც $t_{პირ.}$ არის წყალსაცავის მთლიანად დალექვის პირობითი პერიოდი (წლები); $V_{სტ}$ – წყალსაცავის სრული მოცულობა ნ.შ.დ.-ზე, მ³; $V_{ნ.საშ.}$ – ნატანის პირობითი საშუალო წლიური ჩამოდინება, მ³/წელი.

იმ შემთხვევაში, თუ $W_{კალ.წყ.} \ll V_{სტ}$, მაშინ

$$t_{პირ.} = V_{სტ} / V_{ნ.საშ.} \text{ (წელი)}, \quad (3)$$

იმ შემთხვევაში, თუ $t_{პირ.} < 200$ წელი, მაშინ წყალსაცავის დალექვის პერიოდის ანგარიში ტარდება ქვედა ბიეფში ნატანის ჩამოგდების გათვალისწინებით და ანგარიში რეკომენდებულია ჩატარდეს დალექვის ორი სტადიის მიხედვით. დალექვის პირობითი პირველი სტადიის პერიოდი $t_{პირ.1}$ განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$t_{პირ.1} = (V_{სტ} - 8,33W_{კალ.}) / V_{ნ.საშ.} \text{ (წელი)}, \quad (4)$$

სადაც $W_{კალ.} = l \cdot \omega_{კალ.წყ.}$ l – წყალსაცავის სიგრძე, $\omega_{კალ.წყ.}$ – კალაპოტის კვეთის ყოფითი ფართობი. პირველი სტადიის განმავლობაში დალექვის მოცულობა იანგარიშება დამოკიდებულებით:

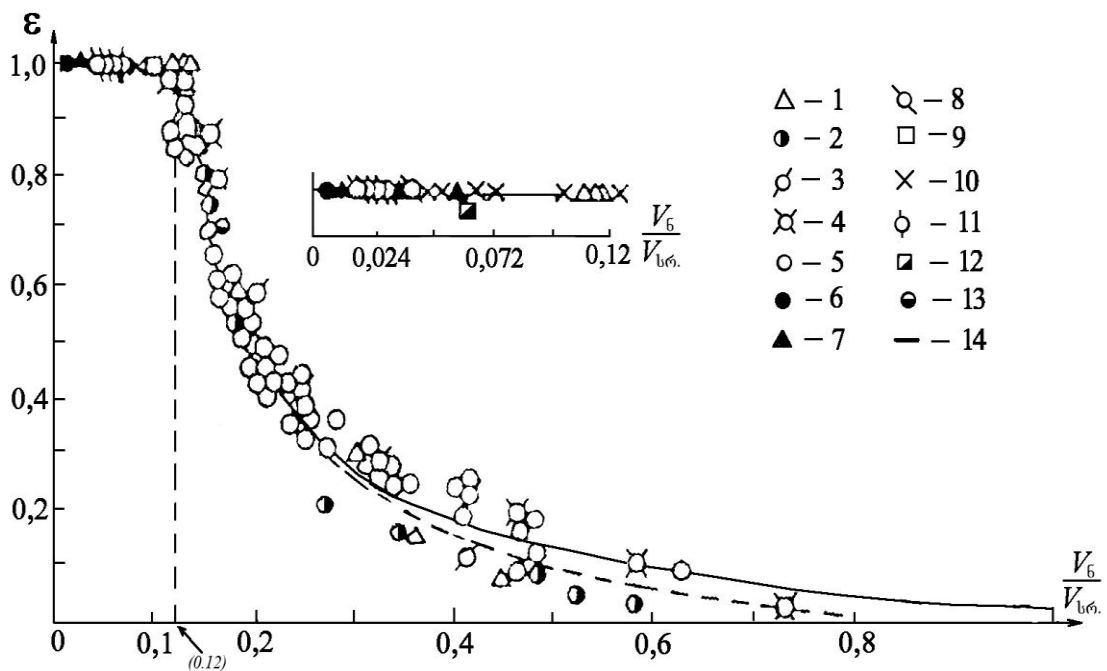
$$V_{ნ.საშ.1} = V_{ნ.საშ.} \cdot t_{ნ.1.} \text{ (მ}^3\text{)}, \quad (5)$$

სადაც $V_{ნ.საშ.}$ არის ნატანის საშუალო წლიური მოცულობა, $t_{ნ.1.}$ – დალექვის პირველი სტადიის პერიოდი.

წყალსაცავის დალექვის პირველი სტადიიდან მეორე სტადიაში

გადასვლისას დალექვის ქრონოლოგიის ანგარიში ტარდება გ.ი. შამოვის დამოკიდებულებით [18].

მთის წყალსაცავებში სედიმენტაციური პროცესების პროგნოზირება რთულდება მყარი და თხევადი ნატანის მნიშვნელოვანი უთანაბრობით, ნატანის გრანულომეტრიული შემადგენლობის ცვალებადობით, წყლის დონის დიდი რხევებით, ღვარცოფული ნაკადების, ნაპირების აბრაზიული გადამუშავების და სხვა პროცესების აქტივიზაციით. მთის წყალსაცავების დალამვა და დალექვა განპირობებულია ნაკადების მყარი ჩამონადენის დიდი მოცულობით [19÷30]. ამ პროცესების არსებული მონაცემების ანალიზი ტარდება, ძირითადად, საველე სამუშაოების გამოყენებით, რომელთა შედეგები მოტანილია ნახ. 8-ზე.



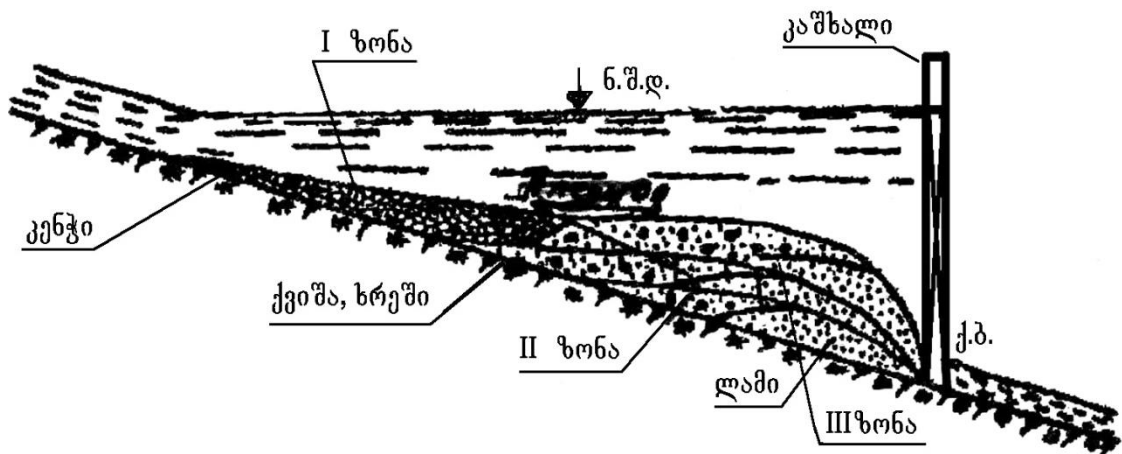
ნახ. 8. მთის წყალსაცავების დალექვის დინამიკის არსებული კვლევების ანალიზი

- 1 – ფარხადის ბიეფი, 1949 წ.; 2 – იგივე, 1951 წ.; 3 – იგივე, 1952 წ.; 4 – ხაშრაუს ბიეფი; 5 – ლაბორატორიული მონაცემები; 6 – ყარა-ყუმის წყალსაცავი; 7 – ტაშკერპრინის წყალსაცავი; 8 – თეჯენის წყალსაცავი, 1950-59 წ.წ.; 9 – ბოზ-სუის ბიეფი; 10 – ლაბორატორიული ბიეფი №1; 11 – ოსტინის წყალსაცავი (აშშ); 12 – ბოუსის წყალსაცავი; 13 – უჩკურგანის წყალსაცავი; 14 – თეორიული მრუდი.

მთის წყალსაცავის დალექვის პროცესი შეიძლება დავყოთ სამ ეტაპად:

- პირველი ეტაპის განმავლობაში შეინიშნება ფსკერის მონოტონურად დალექვა;
- მეორე ეტაპზე დალექვის პროცესის ინტენსივობა მცირდება, რადგან ხდება ნატანის ჩამოგდება ქვედა ბიეფში;
- მესამე ეტაპზე აღინიშნება ნატანის მთლიანად ჩამოგდება ქვედა ბიეფში და პროცესი სტაბილურ ხასიათს იღებს.

მთის წყალსაცავების ფსკერის საზღვრებში ნალექის განაწილების შესაბამისად გამოიყოფა სამი ზონა (ნახ. 9).



ნახ. 9. მთის წყალსაცავების ფსკერზე ნატანის აკუმულაციის სქემა

I – წყალსაცავის ზემო ნაწილში, სადაც ტბური რეჟიმი პერიოდულად იცვლება კალაპოტურით, დანალექის სისქის აგებულება მკაფიოდ შრეულია, ნატანი განსხვავებული ფრაქციულობის; II – წყალსაცავის შუა ნაწილში ერთდროულად წარმოიქმნება დალექვის ორი პრიზმა: ერთი – მსხვილი, შეტივტივებული და წვრილი ფსკერული ნატანის და მეორე – მსხვილი ფსკერული ნატანისაგან. აღინიშნება პრიზმების გადაადგილება, როგორც ზემოთ, ისე ქვემოთ, დინების მიმართულებით; III – კაშხლის მიმდებარე ნაწილში გროვდება ნატანის ძირითადი მასა, კაშხალთან მიახლოებისას ნალექის შემადგენლობის არაერთგვაროვნება ქვეითდება და შრეების სიმკვეთრე ირღვევა.

მთის წყალსაცავებში სედიმენტაციური პროცესის პროგნოზირების მეთოდი არ არსებობს. წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილია საქართველოს შვიდ წყალსაცავში სედიმენტაციური პროცესების მასშტაბების და დინამიკის კვლევების შედეგები.

თავი V. ბმული და არაბმული გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მოკლე აღწერა

მოკლედ განვიხილოთ ბმული და არაბმული გრუნტების განმასხვავებელი თვისებების თანამედროვე მონაცემები, რომელთა ცოდნა აუცილებელია წყალსაცავების ნაპირების გარეცხვის პროცესების განსახილველად. პირველად ამ თვისებების აღწერა მოახდინა აკადემიკოსმა ც. მირცხულავამ [31].

V.1. ბმული გრუნტების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

ბმულ გრუნტებს მიეკუთვნება გრუნტები, რომელთა პლასტიკურობის რიცხვი $W > 1$ (თიხა, თიხნარი, ქვიშნარი).

ბმული გრუნტები იყოფა სამ ჯგუფად: მსხვილი – $d = 0,001 \div 0,008$ მმ; წვრილი – $d = 0,0005 \div 0,001$ მმ; თიხოვან-კოლოიდური – $d < 0,0005$ მმ.

ბმული გრუნტების მთავარი თვისებებია: სინოტივე – $5 \div 100\%$; მოცულობითი წონა $\gamma = 2000 \div 2600$ კგ/მ³; ფორიანობა – $30 \div 60\%$; სინოტივის ხარისხი – $0,8 \div 1,0$; ჰიგროსკოპულობა – $3 \div 16\%$; პლასტიკურობა – $W = 0,06 \div 0,35$ (ან პროცენტებში – $6 \div 35\%$), პლასტიკურობის რიცხვი – პლასტიკურობის ზედა და ქვედა ზღვრების სხვაობა (ცხრ. 15); კოლოიდური აქტივობა: მაღალაქტიური – $A_k > 1,25$, ნორმალური აქტივობის – $A_k > 0,75 \div 1,12$; არააქტიური – $A_k < 0,75$; სინოტივის მაჩვენებლები: დენადობა (W_L) და პლასტიკურობის ქვედა ზღვარი (W_p); პლასტიკური კონსისტენცია (L_L): $L_L = (W - W_p) / (W_L - W_p)$, სადაც W , W_p და W_L – შესაბამისად, გრუნტის სინოტივე და პლასტიკურობის ქვედა და ზედა ზღვრებია; პლასტიკურობის რიცხვი: ქვიშნარების – $I_p = 0,01 \div 0,17$, თიხნარების – $I_p = 0,07 \div 0,17$; თიხების – $I_p < 0,17$; გრუნტების კონსისტენცია: მყარი – $L_L > 0$, ნახევრად მყარი – $0 \leq L_L < 0,25$; მყარპლასტიკური – $0,25 \leq L_L \leq 0,50$, რბილპლასტიკური – $0,50 < L_L \leq 0,75$, დენადპლასტიკური – $0,75 < L_L \leq 1,0$; ხვედრითი შეჭიდულობა C (ცხრ. 16, 17).

ბმული გრუნტების გრანულომეტრული კლასიფიკაცია
პლასტიკურობის მიხედვით

გრუნტი	გრუნტის სახეობა	პლასტიკურობის მაჩვენებელი, W	ქვიშოვანი ნაწილაკების ($d = 0,04 \div 0,4$ მმ) შემადგენლობა, %
თიხა	მძიმე	$>0,35$	–
	მსუბუქი	$0,24 \div 0,35$	–
თიხნარი	მძიმე	$0,18 \div 0,24$	>35
	საშუალო	$0,14 \div 0,18$	>40
	მსუბუქი	$0,10 \div 0,14$	>45
მტვრისებური თიხნარი	მძიმე	$0,14 \div 0,18$	<35
	საშუალო	$0,12 \div 0,14$	<40
	მსუბუქი	$0,10 \div 0,12$	<45
ქვიშნარი	მძიმე	$0,06 \div 0,10$	<50
	მსუბუქი	$0,04$	<50
მტვრისებური ქვიშნარი	მძიმე	$0,04 \div 0,06$	<50
	მსუბუქი	$<0,03$	<50

ცხრილი 16

თიხოვანი გრუნტების ხვედრითი შეჭიდულობის ($C 10^5$ პა) მნიშვნელობები

გრუნტი	საანგარიშო შეჭიდულობა, $C (10^5$ პა)
თიხა, თიხნარი: მცირე სიმკვრივის	0,01
საშუალოს სიმკვრივის	0,05
მკვრივი	0,15
ძლიერ მკვრივი	0,30

ცხრილი 17

თიხოვანი გრუნტების ხვედრითი შეჭიდულობის ($C 10^5$) პა და
შიდა ხახუნის კუთხის (φ) მნიშვნელობები

თიხების სახეობანი და კონსისტენციის ნორმატიული მნიშვნელობები	გრუნტის მახასიათებლები	გრუნტის მახასიათებლები ფორიანობის კოეფიციენტის (I) შესაბამისად							
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ქვიშნარი $0 \div 0,25$	C	0,15	0,11	0,08	–	–	–	–	
	φ	30	29	27	–	–	–	–	
$0,25 \div 0,75$	C	0,13	0,09	0,06	0,03	–	–	–	
	φ	28	26	24	21	–	–	–	
თიხნარი $0 \div 0,25$	C	0,47	0,37	0,31	0,25	0,22	0,19	–	
	φ	26	25	24	23	22	20	–	

ცხრილი 17 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,25÷0,5	<i>C</i>	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15	–
	<i>φ</i>	24	23	22	21	19	17	–
0,5÷0,75	<i>C</i>	–	–	0,25	0,20	0,16	0,14	0,12
	<i>φ</i>	–	–	19	18	16	14	12
თიხა 0÷0,25	<i>C</i>	–	0,81	0,68	0,54	0,47	0,41	0,36
	<i>φ</i>	–	21	20	19	18	16	14
0,25÷0,5	<i>C</i>	–	–	0,57	0,50	0,43	0,37	0,32
	<i>φ</i>	–	–	18	17	16	14	11
0,5÷0,75	<i>C</i>	–	–	0,45	0,41	0,36	0,33	0,29
	<i>φ</i>	–	–	15	14	12	10	7

სადაც ნორმატიული სიმკვრივე (C_Y^H) განისაზღვრება ფორმულით:
 $C_Y^H = 0,035 \cdot C$ (ტ/მ²), სადაც C გრუნტის შეჭიდულობაა; გრუნტის დიამეტრის
 საშუალო მნიშვნელობა (d) განისაზღვრება ფორმულით: $d = \frac{\sum d_i \cdot P_i}{100}$, სადაც
 d_i – აგრეგატების სიმსხოს საშუალო არითმეტიკულია, P – აგრეგატების
 პროცენტული რაოდენობა.

V.2. არაბმული გრუნტების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

არაბმულ გრუნტებს მიეკუთვნება მარცვლოვანი გრუნტები, რომელ-
 თაც არ გააჩნია შეჭიდულობის ძალები. არაბმული გრუნტები იყოფა ორ
 ჯგუფად – მსხვილად დანაწევრებული და ქვიშისებრი (ცხრ. 18, 19, 20).

ცხრილი 18

არაბმული მსხვილად დანაწევრებული გრუნტების კლასიფიკაცია
 სიმსხოსა და სიგლუვის მიხედვით

მარცვლები და ნატეხები		დიამეტრი, მმ
გლუვი	არაგლუვი	
ხრეში	ხვინჭიანი	2÷40
კენჭები	ღორღი	40÷200
კაჭარი	ქვები და ლოდები	≥ 200

არაბმული გრუნტების ნაწილაკების კლასიფიკაცია

ფრაქცია	ნაწილაკის დიამეტრი, მმ	ფრაქცია	ნაწილაკის დიამეტრი, მმ
კაქარი, ლოდები, ქვები	>60	მტვრისებური: მსხვილი წვრილი თიხისებური	0,05÷0,01 0,01÷0,005 <0,005
კენჭი, ღორღი	60÷10		
ხრეში, ხვინჭა	10÷2		
ქვიშისებური:			
მსხვილი	2÷0,5		
საშუალო	0,5÷0,25		
წვრილი	0,25÷0,10		
თხელი	0,10÷0,05		

მსხვილად დანაწევრებული და ქვიშოვანი გრუნტების კლასიფიკაცია
სიმსხოს და პროცენტული შემადგენლობის მიხედვით

გრუნტი	ნაწილაკების შემადგენლობა	
	სიმსხო, მმ	მშრალი გრუნტის მასის %
მსხვილად დანაწევრებული	> 200	> 50
კაქარული	> 10	> 50
კენჭოვანი	> 2	> 50
ხრეში	> 2	> 25
ქვიშა:		
ხრეშისებური	> 0,5	> 50
მსხვილი	> 0,25	> 50
საშუალო სიმსხოსი	> 0,1	≥75
წვრილი	> 0,25	> 50
მტვრისებური	> 0,1	< 75

არაბმული გრუნტებიდან ყველაზე ხშირად გვხვდება ქვიშოვანი გრუნტები. ქვიშოვან გრუნტებს მიეკუთვნება ნაწილაკები დიამეტრით 0,05÷2 მმ, რომელთა შორის მნიშვნელოვნად მსხვილია ნაწილაკები დიამეტრით 1,0÷2,0 მმ, მსხვილი – 0,5÷1,0 მმ, საშუალო – 0,25÷0,5 მმ, წვრილი – 0,10÷0,25 მმ და ძალიან წვრილი – 0,05÷0,10 მმ დიამეტრით. ქვიშაში შეინიშნება აგრეთვე ხრეშოვანი ნაწილაკები (> 2,0 მმ) და 0,05 მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის ნაწილაკები.

გრანულომეტრული შემადგენლობის მიხედვით ქვიშოვანი გრუნტები იყოფა ჯგუფებად, რომელთა კლასიფიკაცია მოყვანილია ცხრილში 21.

ცხრილი 21

ქვიშის კლასიფიკაცია CHxII II-15-74-ის მიხედვით

ქვიშის სახეობა	ნაწილაკების შემადგენლობა
ხრეშოვანი	(>2,0 მმ) > 25%
მსხვილი	(>0,5 მმ) > 50%
საშუალო სიმსხოსი	(>0,25 მმ) > 50%
წვრილი	(>0,10 მმ) > 75%
მტვრისებური	(>0,10 მმ) < 75%

ქვიშების სიმკვრივე იცვლება 2620-დან 2700 კგ/მ³-მდე. ქვიშების ფორიანობა მერყეობს 20-დან 55%-მდე. მათში ჭარბობს კაპილარული ფორები, რომელთა ზომაა 0,2÷100 მმკ. ფორების საშუალო ზომა მერყეობს 88 მმკ-დან – მონოდისპერსიულ ქვიშებში, 42 მმკ-მდე – მძიმე ქვიშნარებში. ფხვიერ ნაწილაკებს, რომელთაც იდეალური სფეროს ფორმა აქვს, შეიძლება ჰქონდეს ფხვიერი (ფორიანობა – 47,7%) და მკვრივი (ფორიანობა – 25,9%) აღნაგობა.

ქვიშები იყოფა ფხვიერ [$M = (I_{max} - I_{ზუნებრ.}) / [I_{max} - I_{min} = 0 \div 0,33]$] და მკვრივ ($M = 0,68 \div 1,0$) ქვიშებად, სადაც I_{max} და I_{min} შესაბამისი ფორიანობის კოეფიციენტებია. ქვიშების შიგა ხახუნის კუთხე (ნაწილაკებისათვის დიამეტრით $d = 0,0052 \div 0,0192$ დიუმი) შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით: $tg \varphi = kd^{0,125} \gamma_1^{0,19} r_1^{0,25}$, სადაც φ – შიგა ხახუნის კუთხეა წყალში; d – ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი (დიუმებში); γ_1 – ნაწილაკების ხვედრითი წონა წყალში; r_1 – ნაწილაკების უფრო დიდი დიამეტრის შეფარდება ნაკლებზე; $k = 0,92$. შიგა ხახუნის კუთხის მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში 22.

ძვრის წინააღმდეგობის მაჩვენებლები და ქვიშების დეფორმაციის მოდულები მოყვანილია ცხრილში 23.

ცხრილი 22

შიდა ხახუნის კუთხის მნიშვნელობები

მედიაური დიამეტრი (დიუმებში)	კუთხე გრადუსებში		
	ხორკლიანი ნაწილაკები	ნაწილაკები ძლიერი ხორკლიანობით	მრგვალი ფორმის ნაწილაკები
0,01	32,0°	31,4°	29,2°
0,05	34,5°	32,9°	29,5°
0,10	36,6°	33,8°	29,5°
0,50	40,0°	37,5°	32,5°
1,00	40,8°	39,1°	34,8°
5,00	42,0°	41,2°	38,3°
10,00	42,2°	41,5°	39,2°

ცხრილი 23

ქვიშების ხვედრითი შეჭიდულობის ნორმატიული C^H (მპა),

შიდა ხახუნის კუთხის φ^H და დეფორმაციის მოდულის E , (მპა) მნიშვნელობები

ქვიშის სახეობა	მახასიათებელი	გრუნტის მახასიათებელი ფორიანობის კოეფიციენტისას			
		0,45	0,55	0,65	0,75
მსხვილი	C^H	0,002	0,001	–	–
	φ^H	43,0	40,0	38,0	–
	E	50,0	40,0	30,0	–
საშუალო სიმსხოს	C^H	0,003	0,002	0,001	–
	φ^H	40,0	38,0	35,0	–
	E	50,0	40,0	30,0	–
წვრილი	C^H	0,006	0,004	0,002	–
	φ^H	38,0	36,0	32,0	28,0
	E	48,0	38,0	28,0	18,0
მტვრისებური	C^H	0,006	0,005	0,004	0,002
	φ^H	36,0	34,0	30,0	26,0
	E	39,0	13,0	18,0	11,0

თავი VI. საქართველოს წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკის კვლევები

კლიმატის გლობალური ცვლილებებით გახშირებულმა სტიქიურმა მოვლენებმა გამოიწვია საქართველოს წყალსაცავებში სედიმენტაციურ-აბრაზიული და მიწის კაშხლების სუფოზიური და ფილტრაციული პროცესების გააქტიურება [32÷36].

საქართველოს წყალსაცავების (ჟინვალის, სიონის, თბილისის, ხრამის, შაორის, ლაჯანურის და ტყიბულის) ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკის და პროგნოზირების კვლევების ჩვენი ძირითადი შედეგები მოყვანილია შრომებში [37÷43].

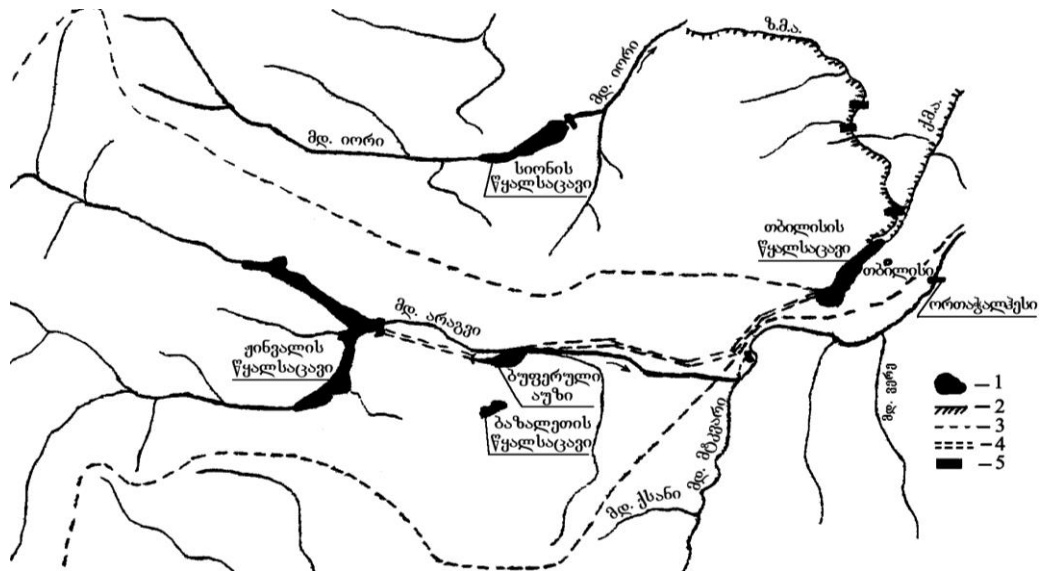
აღსანიშნავია, რომ სავსე სამუშაოები ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სავსე სამუშაოებისათვის საჭირო ხელსაწყოების გამოყენებით და იქ მოღვაწე მკვლევარების დახმარებით.

VI.1. ჟინვალის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები

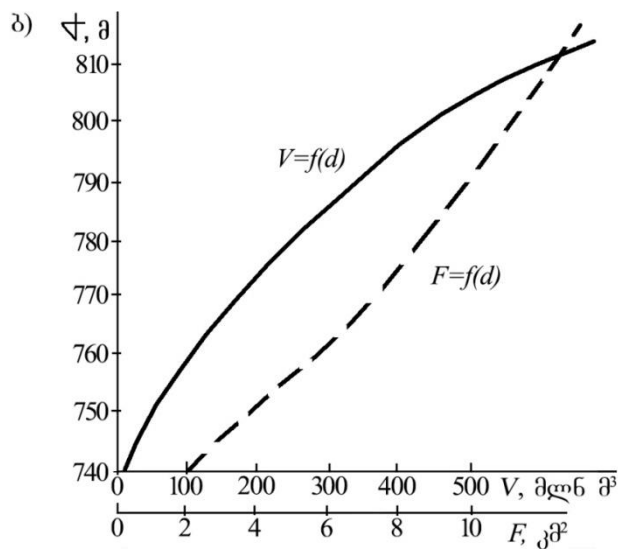
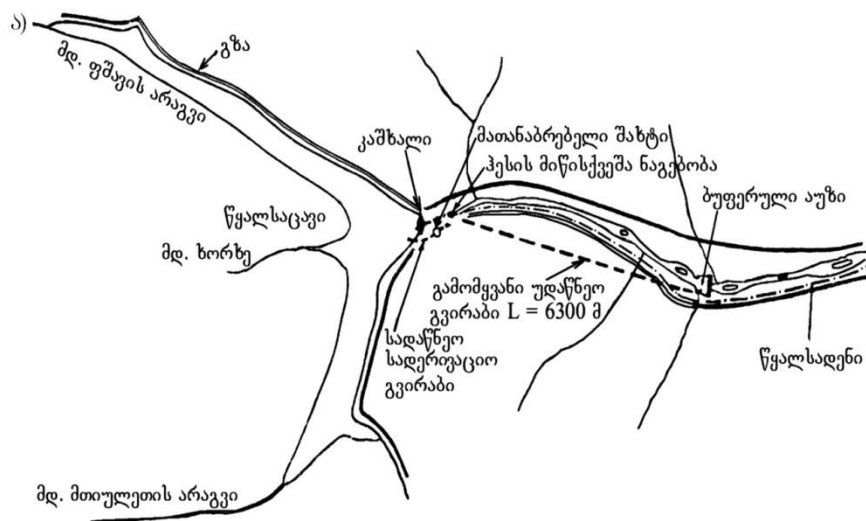
ჟინვალის წყალსაცავიანი სისტემების მოკლე აღწერა

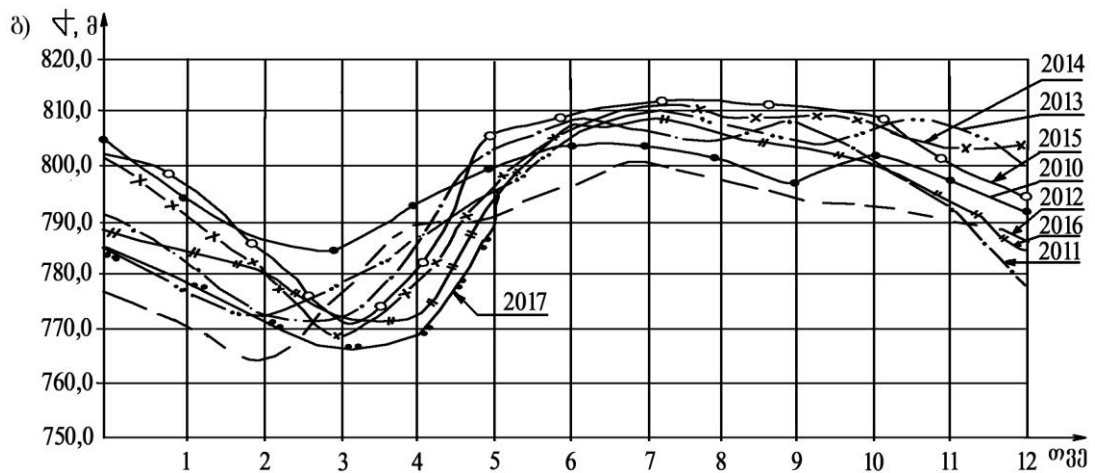
ჟინვალის წყალსაცავი ($V_{ბრ} = 510,0$ მლნ მ³, $V_{ფვ} = 150$ მლნ მ³) მდებარეობს მდინარეების: მთიულეთის არაგვის, ფშავის არაგვის და ხორხეს შეერთების რაიონში. წყალსაცავი სეზონური რეგულირებისაა და გამოიყენება ენერგეტიკის, სასმელი წყლით მომარაგებისა და მორწყვისათვის. ამ მიზნით წყალი აიღება ბუფერული აუზიდან, რომლის მოცულობა 1 მლნ მ³-ია და მდებარეობს ჰეს-ის წყალსაგდებ ტრაქტზე. წყლის ნაწილი (9,8 მ³/წმ) ჩაედინება თბილისის წყალსაცავში და ხმარდება მორწყვას, ნაწილი კი (5,2 მ³/წმ) ხმარდება ქ. თბილისის სასმელი წყლით მომარაგებას (ნახ. 10, 11).

შეტბორვის ზონაში ხეობის პროფილი V-ს მაგვარია, სიგანით 300-400 მ და ფერდების დახრილობით – 30-40°, ფშავის არაგვის ხეობა ტრაპეციოიდული პროფილისაა, სიგანით 90-800 მ და დახრილობით – 30-50°.



ნახ. 10. სიონის, თბილისის და ჟინვალის წყალსაცავების ერთობლივი ფუნქციონირების სქემა: 1 – წყალსაცავები; 2 – არხები; 3 – მდინარეთა აუზების წყალგამყოფი; 4 – წყალსატარები; 5 – ჰესი





ნახ. 11. ჟინვალის წყალსაცავი

- ა) ჟინვალის წყალსაცავიანი სისტემის სქემა;
 ბ) წყალსაცავის მოცულობისა და სარკის ფართობის საპროექტო მრუდები;
 გ) წყალსაცავის დონური რეჟიმის მრუდები

წყალსაცავის ფსკერის გეოლოგიური შემადგენლობა – მეზოზოური და კაინოზოური დანალექების უძველესი ცარცული ასაკის ქანებია. ახალგაზრდა ფენები მეოთხეულ ასაკამდე – კონგლომერატებია. კალთებზე ჭარბობს ფლიშეული ფაციების ქანები, ფიქალისებრი მერგელიტებით, კირქვებით, თიხოვანი ფიქლებით და არგილიტებით. მეოთხეული ასაკის ქანები წარმოდგენილია მდინარის ქალების ალუვიებით და პროლუვიალურ-დელუვიალური დანალექების ფენებით.

წყალსაცავი მდებარეობს დაძაბულ ტექტონურ ზონაში, ხეობის მარჯვენა კალთაზე ტექტონიკა შედარებით წყნარია. წყალსაცავი კალაპოტური ტიპისაა, გაჭიმულია ორი მდინარის ხეობების გასწვრივ. მაქსიმალური სიგრძე 12,0 კმ-ია, მაქსიმალური სიგანე – 1,0 კმ, საშუალო 0,70 კმ. სათავე ნაგებობა წარმოდგენილია ნაყარი კენჭნარი 102,0 მ სიმაღლისა და 415,0 მ სიგრძის კაშხლით, წყალმიმღები კომპურით, მარცხენა ნაპირზე ხარჯის ალებით (100 მ³/წმ) და სიღრმული წყალსაგდები ხარჯით (1000 მ³/წმ). წყალმიმღებიდან წყალი ტურბინებთან მიედინება 625,0 მ სიგრძის მიწისქვეშა გვირაბით. ჰესი-ის მიწისქვეშა დარბაზში 4 ჰიდროაგრეგატია, სიმძლავრით 232,5 ათასი კვტ, გამომტანი დერივაცია, საერთო სიგრძით 9,7 კმ და უდაწნეო გვირაბი, რომელიც უერთდება არხს. იგი ახორციელებს წყლის გადაგდებას ბუფერულ აუზში, საიდანაც გამოიყენება სამეურნეო მიზნებისათვის.

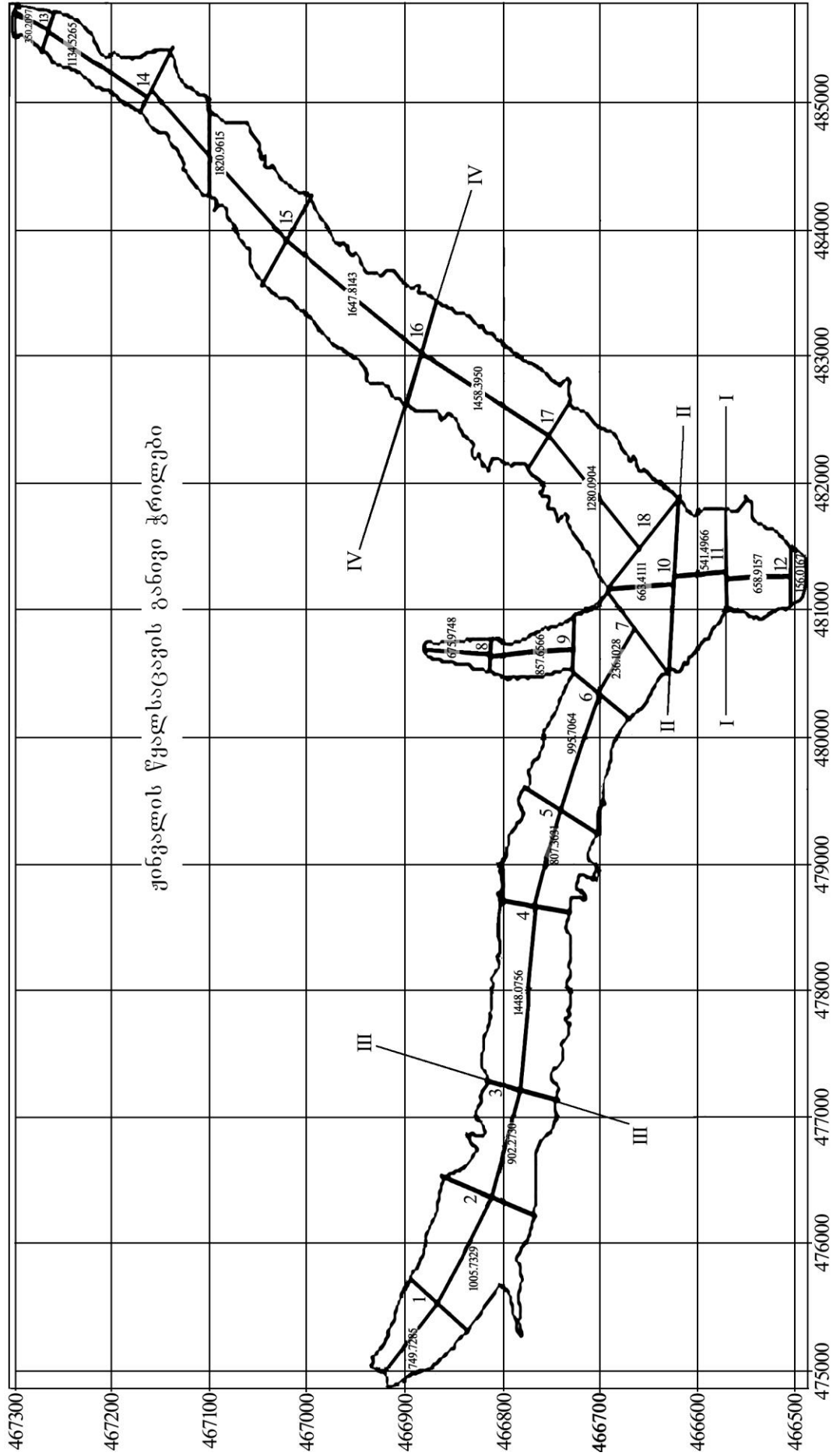
დონური რეჟიმი არასტაციონარულია. წყალსაცავის მაქსიმალური სიღრმეა 94,0 მ, საშუალო – 50,0 მ. წყლის დონის მერყეობის ამპლიტუდა 40,0 მეტრია.

ქარისმიერი ღელვა განვითარებულია წყალსაცავის გაფართოებულ ნაწილში და ხასიათდება არარეგულარობით, ყველაზე ძლიერი ღელვა შეინიშნება ხეობებში.

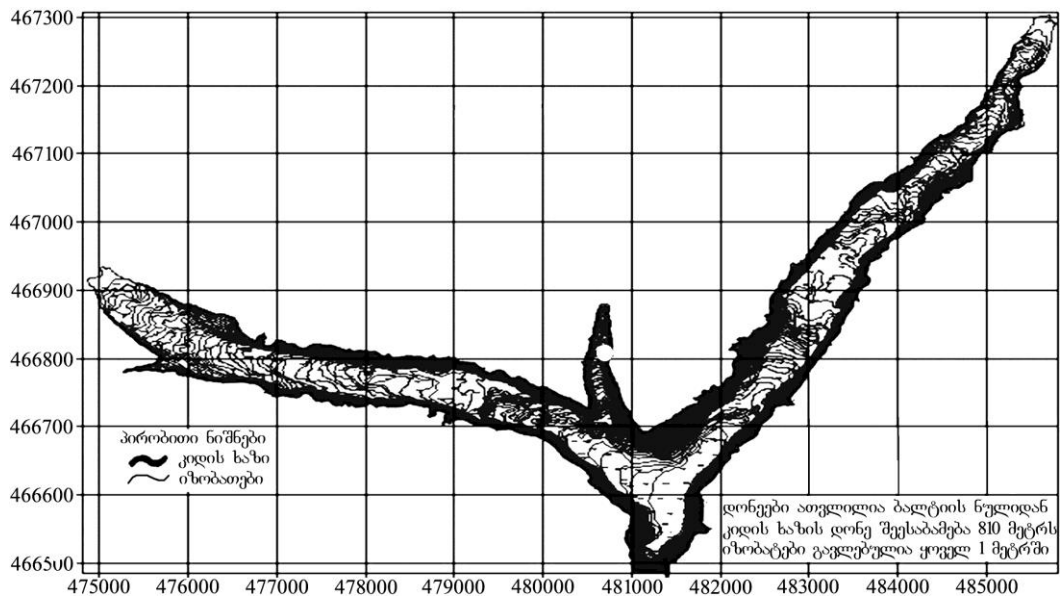
VI.1.1. ჟინვალის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების ფორმირება და პროგნოზირება

ჟინვალის წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილი ნატანის მოცულობის რაოდენობა დადგინდა წყალსაცავის ფსკერზე შედარებით შესაბამისი ადგილმდებარეობის ტერიტორიების სახელმწიფო რუკებთან, რომლებიც გადაღებული იყო წყალსაცავის შევსებამდე (1985 წ). დანალექი ნატანის მოცულობის ცვლილებებიდან გამომდინარე, იკვეთება შემდეგი კანონზომიერებანი: დანალექი ნატანის ფენის სიმაღლე ყველაზე მაღალია კაშხლის სიახლოვეს. აქ ფენის სიმაღლე 30,0 მეტრამდეა; დალექვის პროცესი ყველაზე ინტენსიურად მიმდინარეობს წყალსაცავის უბანზე მდინარეების ბუნებრივი ფსკერის 740-765 მ ნიშნულებს შორის, რომლის სიგრძეა 2000÷2200 მ. წყალსაცავში შესვლის შემდეგ მდინარის წყლის დინების სიჩქარე იკლებს წყლის სიღრმისა და მასთან ერთად ნაკადის ცოცხალი კვეთის მატების გამო, რაც განაპირობებს ჯერ მსხვილი ფრაქციების (პირველ რიგში ფსკერული ნატანის), შემდეგ კი ნაკლები სიმსხოს ნაწილაკების დალექვას. ეს პროცესი ფსკერის 770 მ ნიშნულს ქვევით მიმდინარეობს.

2012–2019 წწ. ჩატარებული საველე კვლევების შედეგად დაფიქსირდა გეოდეზიური წერტილები კოორდინატთა სისტემაში, ხოლო ბათომეტრიული რუკების გამოყენებით დაინიშნა კვეთები 1-18, რომელთა შორის ჩვენ გამოვარჩიეთ ოთხი ძირითადი კვეთი – I, II, III და IV. შემდგომი პროფილების აგებით (ნახ. 12, 13) პროფილები შედარებულია 2010 წელს „საქწყალ-პროექტის“ მიერ ჩატარებულ საველე კვლევის მონაცემების შედეგებთან.



ნახ. 12. ქიზვალის წყალსაცავის საანგარიშო განივი კვეთები



ნახ. 13. ჟინვალის წყალსაცავის ბათომეტრია

დალექილი ნატანის ჯამური მოცულობა წყალსაცავის პირველი 25 წლის ექსპლუატაციის პერიოდში (1985-2010 წწ.) შეადგენდა $W_{ნატ.}=63,0$ მლნ მ³, 2017 წლისთვის $W_{ნატ.}=121,54$ მლნ მ³, ხოლო 2019 წლისთვის $W_{ნატ.}=125,0$ მლნ მ³ [31, 32, 33]

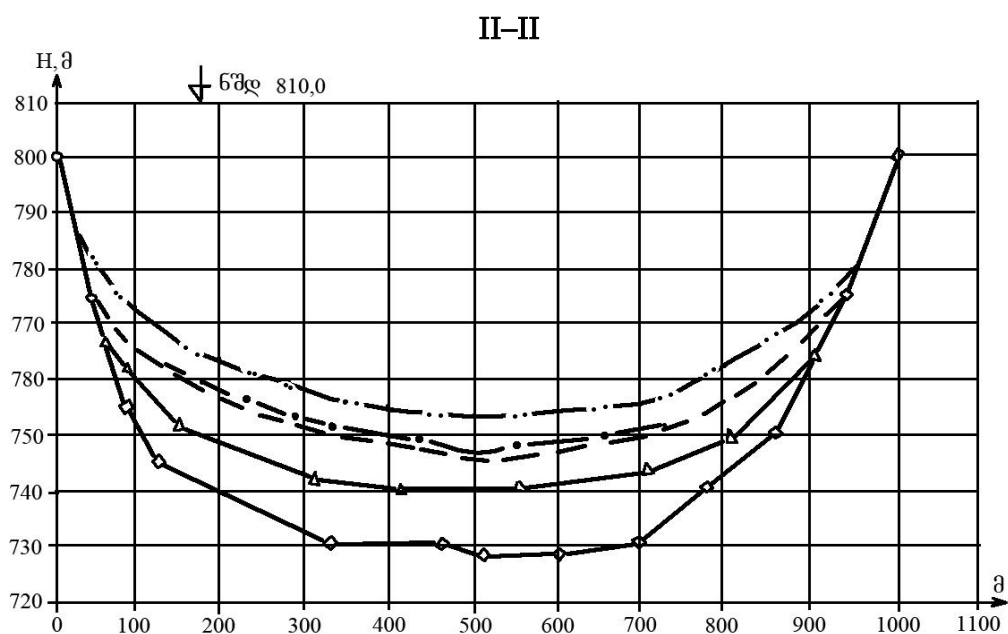
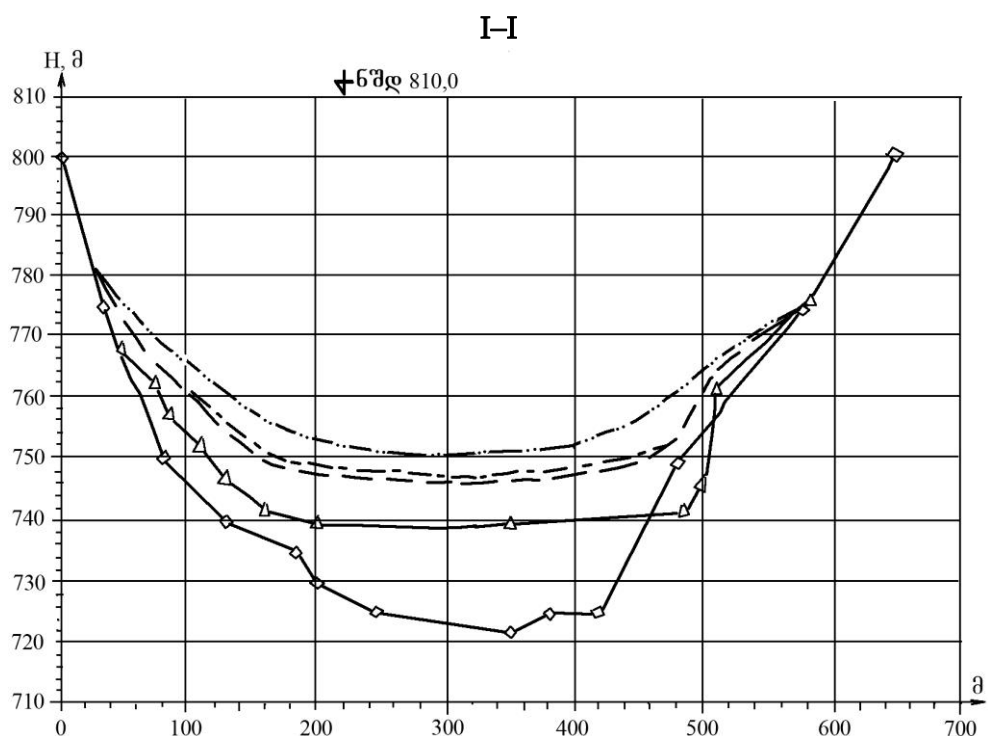
ამგვარად, თუ წყალსაცავის დალექვა გაგრძელდება ასეთი დინამიკით, საპროგნოზო გათვლებით კრიტიკულ 760,0 მ ნიშნულს დალექვის ზედაპირი მიაღწევს 2020 წელს, ამ დროს დალექილი იქნება 140 მლნ მ³ ნატანი. ამ ნიშნულზე მდებარეობს ჰიდროკვანძის წყალმიმღები; დალექილი მასალის ზედაპირის მიახლოება წყალმიმღებთან გამოიწვევს წყლის სიმღვრივეების პერმანენტულ მატებას, რის შედეგადაც ინტენსიური გახდება ჰიდროაგრეგატების აბრაზიული ცვეთა და გაუარესდება სასმელი წყლის ხარისხი. ხოლო წყალსაცავი თანდათან დაკარგავს თავის წყლის მარეგულირებელ ფუნქციას, როგორც ენერგეტიკის, ასევე წყალმომარაგებისათვის.

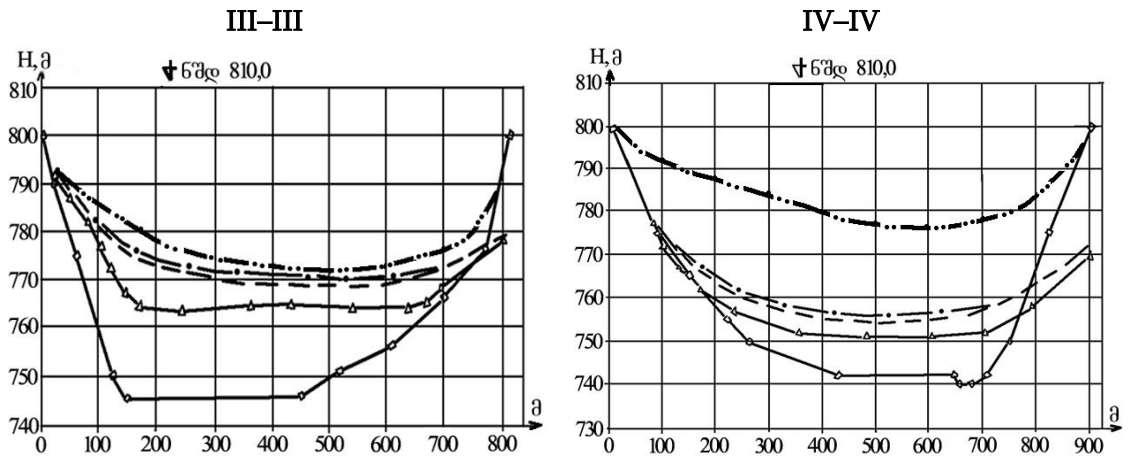
ტივტივა ნატანის ის ნაწილია, რომელიც არ ილექება და ქვედა ბიეფში გადადის, გაანგარიშებულია მდ. არაგვის წყლის ჩამონადენზე ჰეს-ის მუშაობის რეჟიმის გათვალისწინებით. ექსტრემალურ პირობებში, როდესაც ჰიდროკვანძზე ხორციელდება წყლის გადაგდება ფსკერული წყალსაცავები გვირაბის მეშვეობით, რომლის გამტარუნარიანობა 1400 მ³/წმ შეადგენს, გვირაბის პორტალის წინ ვითარდება დიდი სიჩქარეები, რაც გამოიწვევს

დალექილი ნატანის ატივტივებას.

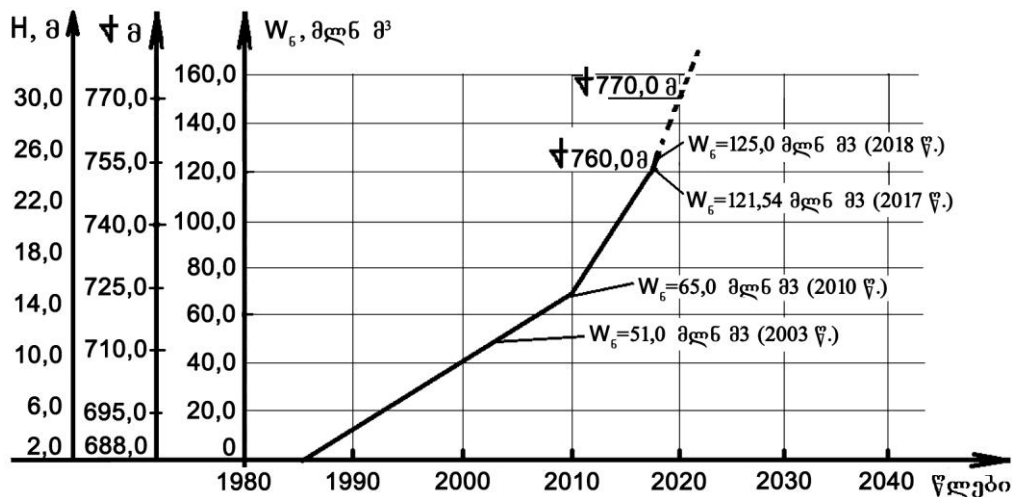
იმის გამო, რომ წყალმიმღები და წყალსადენი გვირაბი ერთმანეთის ახლო მანძილზეა განლაგებული, წყალმიმღებში მოხვედრილ წყალს ექნება სიმღვრივის გაზრდილი კონცენტრაცია.

ჟინვალის წყალსაცავის პროექტში გათვალისწინებული იყო, რომ წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის დალამვისათვის საჭირო დროდ მიღებულ იქნა 120-140 წელი, ხოლო წყალსაცავის მთლიანად ამოსავსებად – 400-500 წელიწადი (ნახ. 14, 15, ცხრ. 24).





ნახ. 14. ჟინვალის წყალსაცავის განივკვეთების მოსილვის დინამიკა
 —○— საპროექტო; —△— 2003 წ.; — — — 2011 წ.; — · — · — 2017 წ.; — · · · — 2018 წ.



ნახ. 15. ჟინვალის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1985-2018 წ.წ.); (H – ნატანის სისქე კაშხალთან, მ)

როგორც ჩანს, ნატანის დაღეჟვის ფაქტობრივი პერიოდი 2,5 ჯერ უფრო მცირეა, ვიდრე ეს იყო გათვალისწინებული პროექტით. ჟინვალის წყალსაცავის ჰიდროლოგიური საგუშაგოს გასწორში ფსკერული ნატანის საშუალო მრავალწლიური ხარჯი შეფასებულია როგორც ტიპტივა ნატანის 20%.

ამგვარად, 2018 წლისათვის ჟინვალის წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილია 125,0 მლნ მ³ ნატანი. 2010 წლამდე დაღეჟვის პროცესი ნაკლებად ინტენსიურია, ხოლო 2010 წლის შემდეგ – გაზვირებული წყალუხვი წყალდიდობების და წყალსაცავში წყლის მომატებული მოცულობის გამო იზრდება ნატანის დაგროვების ინტენსივობა $W_{ნატ.} / t = 8,08$ მლნ მ³/წელიწადში.

ჟინვალის წყალსაცავის ფსკერზე
სედიმენტაციური პროცესების მაჩვენებლები

საველე სამუშაოების ჩატარების წელი	წყალსაცავის საპროექტო სრული მოცულობა $V_{სრ.}$ მლნ მ ³	ექსპლუატაციაში შესვლის წელი	ნმდ ნიშნული, მ	წყალსაცავის სიგრძე/სიგანე (L/B) კმ	წყალსაცავის მაქს. სიღრმე (H), მ (საპროექტო)	წყალსაცავის სარკის ფართობი ნმდ-ზე (F), კმ ² (საპროექტო)	ნატანის ჯამური მოცულობა ($W_{ნატ.}$) მლნ მ ³	ნატანის დაგროვების ინტენსივობა ($W_{ნატ./t}$) მლნ მ ³ /წელ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003	520,0	1985	810,0	12,0/1,0	98,0	11,52	51,0	2,9
2010	520,0	1985	810,0	12,0/1,0	98,0	11,52	65,0	2,9
2017	520,0	1985	810,0	12,0/1,0	98,0	11,52	121,54	8,08
2018	520,0	1985	810,0	12,0/1,0	98,0	11,52	125,0	8,1

ჟინვალის წყალსაცავში დაგროვილი ნატანის ჯამური საერთო მოცულობა, ნებისმიერ დროში შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ემპირიული ფორმულით:

$$W_{ნატ.} = 65,0 + 8,1 \cdot (t - 2010), \text{ მლნ მ}^3, \quad (6)$$

სადაც t არის საანგარიშო წელი (2010 წლის შემდეგ).

თუ ნატანის დაგროვების ასეთი დინამიკა შენარჩუნდება, 2020 წლისთვის ჟინვალის წყალსაცავში მყარი ნატანის მოცულობა გაუტოლდება წყალსაცავის მკვდარ მოცულობას ($W_{ნატ.} = V_{მკვდ.} \approx 150,0$ მლნ მ³ (ნახ. 15).

VI.2. სიონის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების
კვლევები

სიონის წყალსაცავიანი სისტემის მოკლე აღწერა

სიონის წყალსაცავი წარმოადგენს სამგორის სარწყავი სისტემის პირველ საფეხურს ($V_{სრ.} = 325,0$ მლნ მ³, $V_{მკვდ.} = 25,0$ მლნ მ³, ნახ. 16). ის დაპროექტებულია წყლის წლიური ჩამონადენის რეგულირებით და უზრუნველყოფს სარწყავი წყლით სამგორის ხეობას და ოთხი მცირე ჰესის კასკადს. წყალსაცავი მდებარეობს თიანეთის რაიონში მდ. იორზე მდ. მტკვრიდან 260,0 კმ

მანძილზე. წყალსაცავის უბანში მდინარის ხეობა ტრაპეციული ფორმისაა, სიგანით 0,8-2,0 კმ. კალთების დახრილობაა $8\div 40^\circ$, დასერილია მრავალრიცხოვანი გვერდითი შენაკადით და მშრალი ხევებით, რომელთაც გამოაქვს ნამსხვრევი მასალის დიდი რაოდენობა.

მდ. იორის ყველაზე დიდი წლიური ხარჯი კაშხლის კვეთში არის 400 მ³/წმ, ნატანის საშუალო წლიური ხარჯი – 14,6 კგ/წმ, 1%-იანი უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯი – 820,0 მ³/წმ.

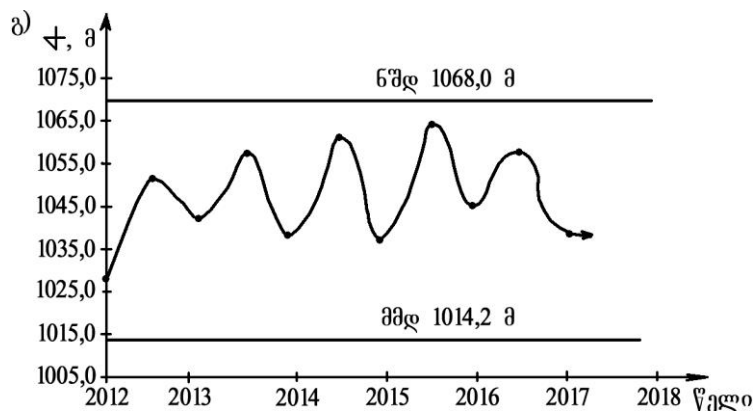
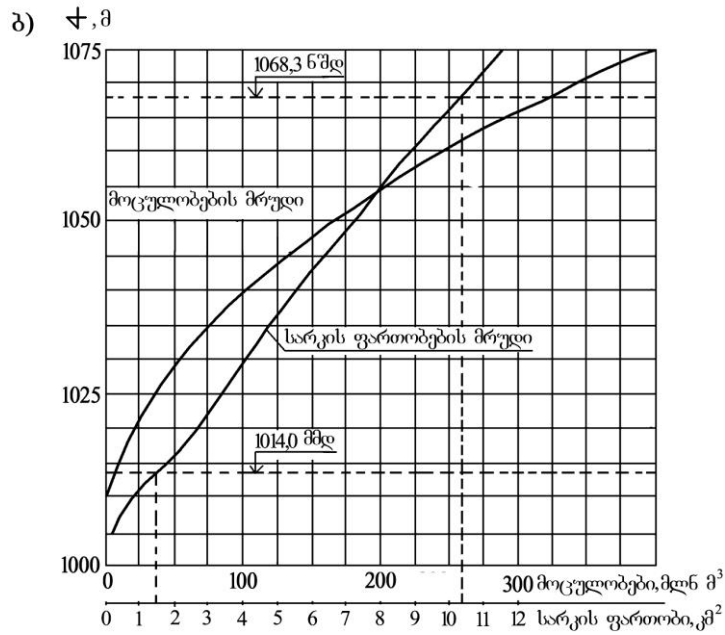
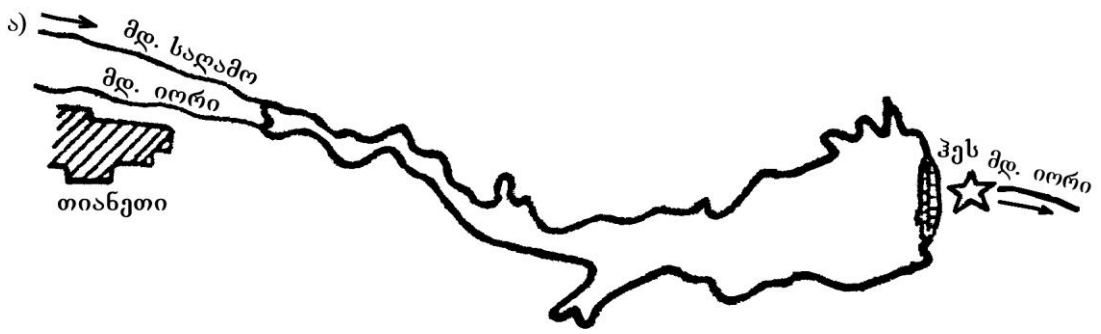
წყალსაცავის ქვაბულის ფორმირებაში მონაწილეობს ტექტონური და მდინარის ეროზიულ-აკუმულაციური პროცესები. მარჯვენა ნაპირი დამრეცია, კლდოვანი, ძლიერი დელუვიალური საფარით, ძველი და ახალი მეწყრული მოვლენებით. მარცხენა ნაპირი აგებულია მძლავრი კენჭოვან-კაჭარიანი პროლუვიით.

გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობს ასაკოვანი ქანები: ქვედა ცარცული კირქვა, ეოცენის ქვიშნარი, მეოთხეული კონგლომერატები. თანამედროვე დანალექების სიმძლავრე მერყეობს 1,0-დან 40,0-მდე.

წყალსაცავი კალაპოტური ტიპისაა, მიწის კაშხლის სიმაღლე 96,0 მ. წყლის აღება ენერგეტიკისა ($Q = 23,0$ მ³/წ) და ირიგაციისათვის ($Q = 24$ მ³/წ) წარმოებს წყალსაცავის მარცხენა ნაპირიდან, სიღრმული წყალმიმღებით. წყალსაცავის სიგრძეა 11,5 კმ; სიგანე – 0,8 კმ; მაქსიმალური – 2,0 კმ; საშუალო სიღრმე – 31,4 მ; მაქსიმალური – 68,6 მ [35, 36].

დონური რეჟიმი გამოირჩევა წლიური ციკლოზობით, შემოდგომის მინიმუმით და გვიანი გაზაფხულის მაქსიმუმით. წყლის დონის ამპლიტუდა 55,0 მ-ია (ნახ. 16).

ქარის რეჟიმი გამოირჩევა ქარის ძალისა და მიმართულების ძლიერი ცვლილებით. ქარის მაქსიმალური სიჩქარეა 26,0-28,0 მ/წმ, შტილის პროცენტი – 37%. ტალღები ვითარდება დასავლეთ და სამხრეთ-აღმოსავლეთ მიმართულებით. ტალღის მაქსიმალური სიმაღლე 1,34-1,5 მ-ია; 50% განმეორადობის ტალღის სიმაღლე – 0,6-0,7 მ; ჰესის საანგარიშო დაწნევა – 26,0-27,0 მ. ჰესის გაჩერებისას ირიგაციული გაშვება სრულდება სპეციალური წყალგამშვები გვირაბის საშუალებით.

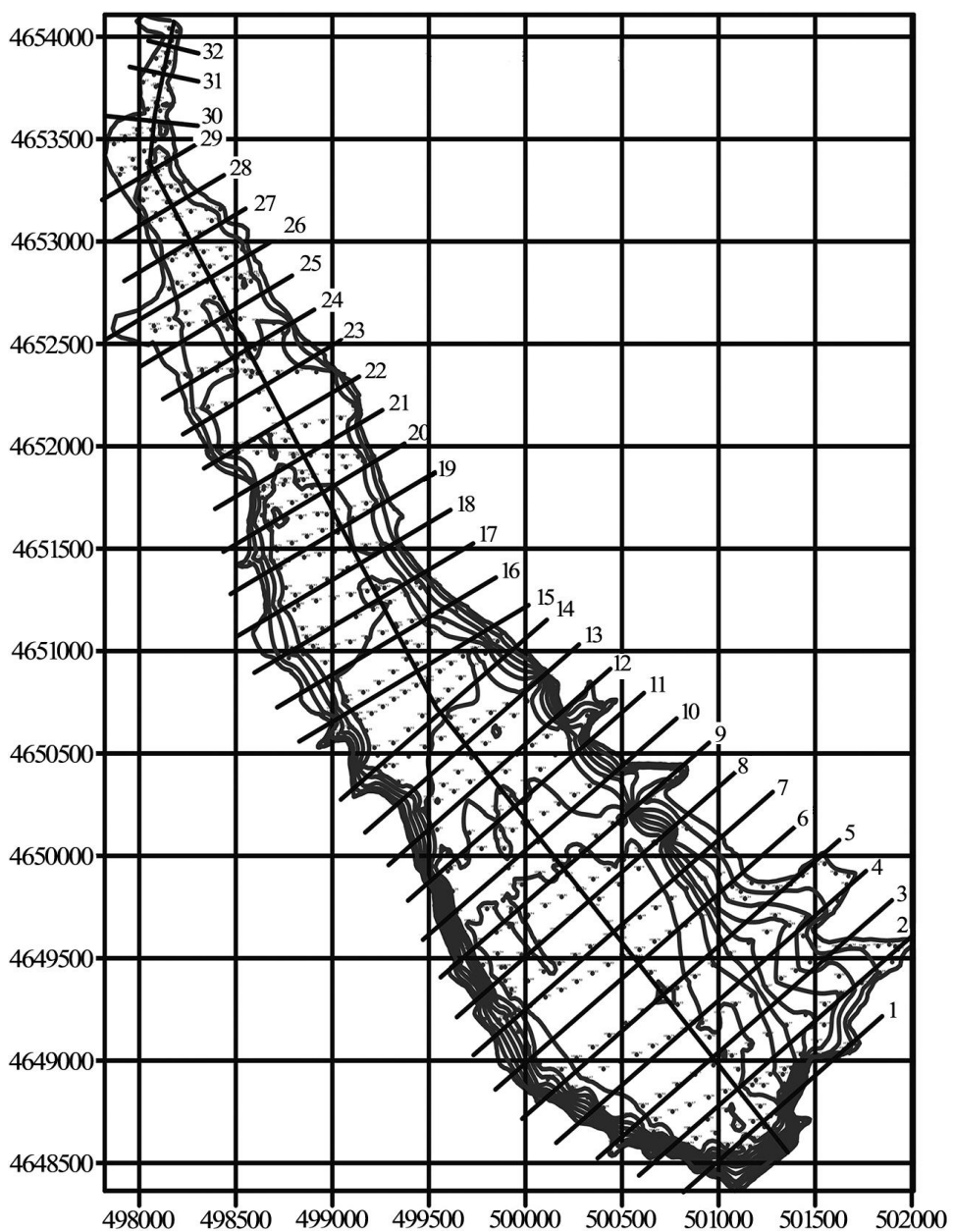


ნახ. 16. სიონის წყალსაცავის დამახასიათებელი ელემენტები: ა) სიონის წყალსაცავიანი სისტემის სქემა; ბ) სიონის წყალსაცავის სარკის ფართობებისა და მოცულობების მრუდები; გ) წყალსაცავის დონური რეჟიმის მრუდი

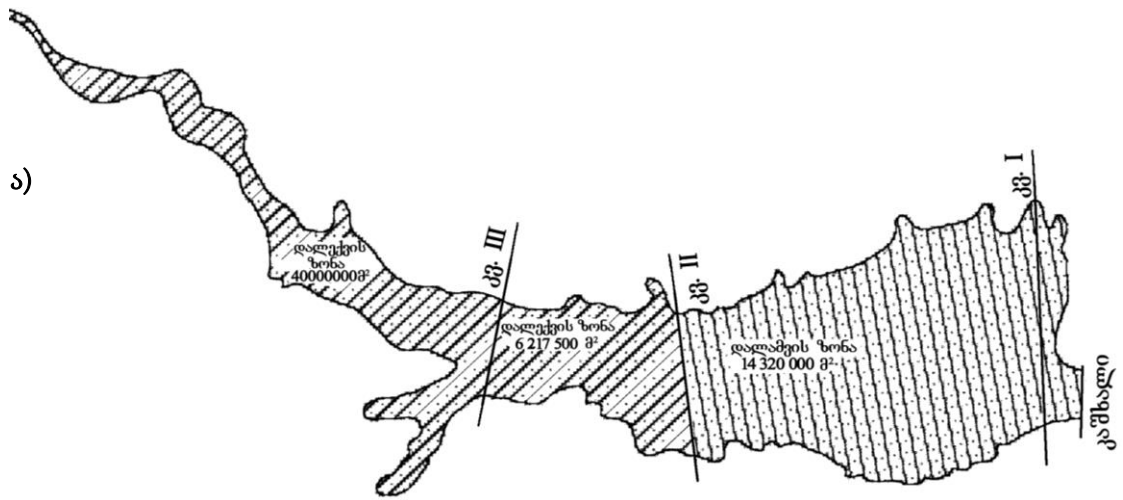
VI.2.1. სიონის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების ფორმირება და პროგნოზირება

სიონის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების (დალექვისა და დალამვის) შეფასების საკითხები მეტად მნიშვნელოვანია,

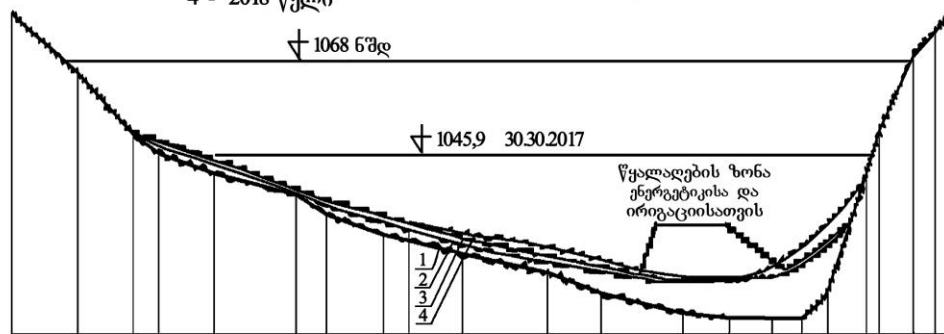
რადგან ეს ობიექტი შექმნილია გასული საუკუნის შუა წლებში და უკვე „დაბერების“ (დაძველების) სტადიაშია. წყალსაცავში შეიმჩნევა დაღეჯილი ნატანის მოცულობის სწრაფი ზრდა, რის გამოც მცირდება წყლის მოცულობა და იგი კარგავს თავის მთავარ დანიშნულებას – წყლის დაგროვებისა და რეგულირების. სიონის წყალსაცავზე ჩატარებული საველე კვლევები მოიცავდა მისი ფსკერის ბათომეტრიას (ნახ. 17). ფსკერის ბათომეტრიული აზომვები ჩატარდა ბათომეტრიული რუკის გამოყენებით შერჩეულ 3 კვეთში: I – დალამვის ზონაში, II და III – დალექვის ზონაში (ნახ. 18).



ნახ. 17. სიონის წყალსაცავის ბათომეტრია

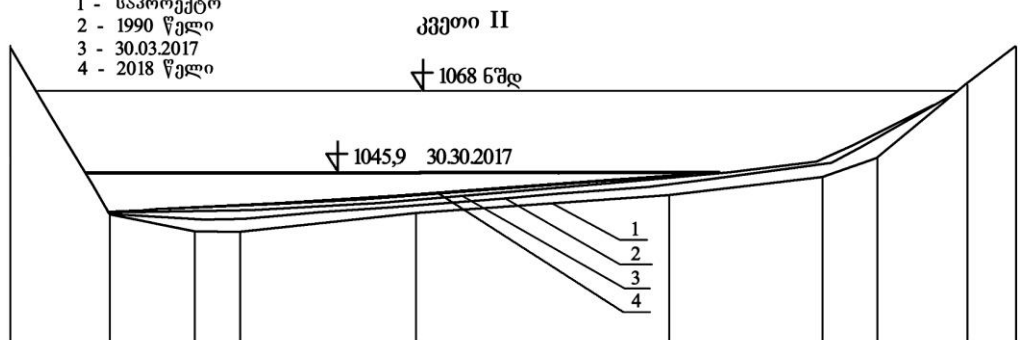


ბ) მარცხენა ნაპირი 1 - საპროექტო 2 - 1990 წელი 3 - 30.03.2017 4 - 2018 წელი კვეთი I მარჯვენა ნაპირი

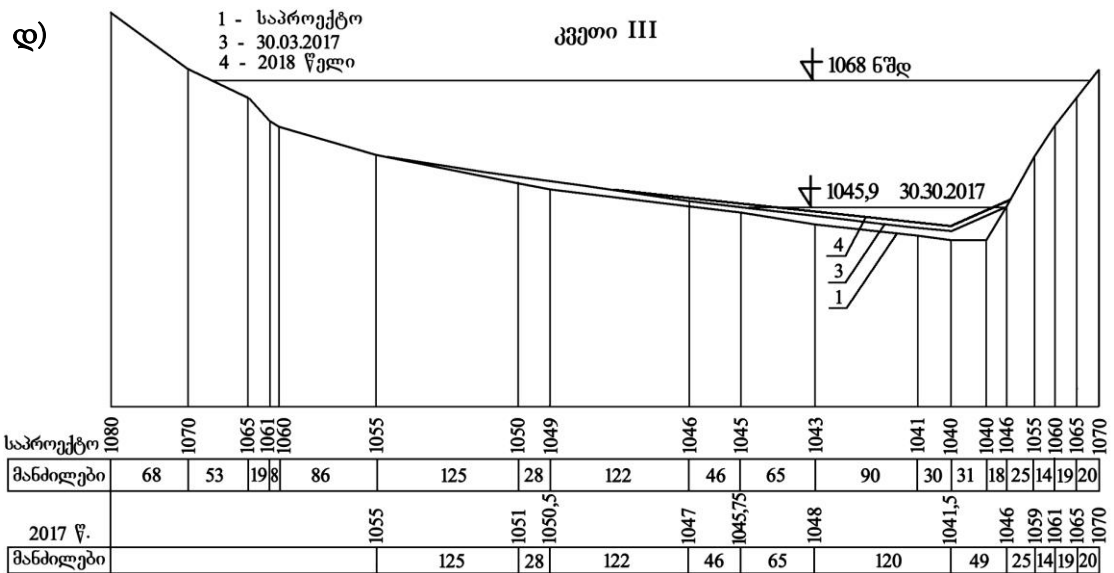


საპროექტო	1880	1065	1050	1045	1040	1035	1030	1025	1020	1015	1010	1005	1004	1004	1004	1010	1050	1070	1075
მანძილები	355	130	60	130	190	70	135	185	200	125	190	110	100	70	60	120	80	50	80
1990 წელი		1050	1046,5		1037,5	1035,3	1033	1025	1020		1014,3	1014	1013,5	1013,5	1014	1015	1019,5	1022,5	1030
მანძილები		70	250		100	15	100	200	305		60	40	155	50	60	60	40	60	
30.03.2017		1050		1011		1033,5		1023		1016	1013	1013	1014	1014	1020	1030			
მანძილები			226		214		360		325		100	130	135	100	115				

გ) 1 - საპროექტო 2 - 1990 წელი 3 - 30.03.2017 4 - 2018 წელი



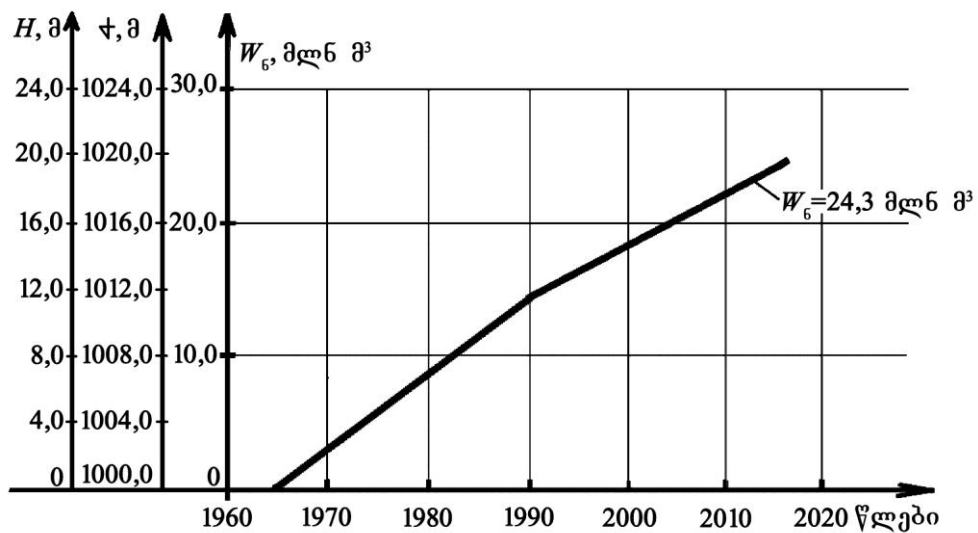
საპროექტო	1080	1065	1080	1080	1055	1080	1045	1050	1000	1080
მანძილები	110	95	50	195	200	170	60	100	55	1061
1990 წელი	1006	1005	1000	1235	1350	1011	1090,3	1041,5	1060,5	
მანძილები	45	100	100	100	50	100	100	225	150	
30.03.2017	1235	1236	1135,2	1305	1310,5	1301	1341,5	1340	1341,5	
მანძილები		75	60	80	60	75	175	135	150	



ნახ. 18. სიონის წყალსაცავის განივკვეთების მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1963-2018 წ.წ.):

ა - სიონის წყალსაცავის ფსკერის დაღამვისა და დაღექვის 2018 წლის მონაცემები; ბ - I კვეთი; გ - II კვეთი; დ - III კვეთი

საპროექტო ორგანიზაციების მიერ სამუშაოების შედეგები 1990 წელს ჩატარებული და 2017-2018 წწ. ჩვენ მიერ ჩატარებული საველე სამუშაოების მონაცემების ანგარიშის შედეგები მოყვანილია ნახაზზე 19 და ცხრილში 25.



ნახ. 19. სიონის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1963-2018 წწ.)
(H - ნატანის სისქე კაშხალთან, მ)

ამგვარად, 2018 წლისთვის სიონის წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილია 25,0 მლნ მ³-დე ნატანი, კაშხლის მიმდებარე ნაწილში ნატანის სიმაღლე

25,0 მეტრამდეა. 1963 წლიდან დაღეჟვის პროცესი თითქმის თანაბარია, ხოლო სედიმენტაციური პროცესის გამო დაგროვილი ნატანის მოცულობა (ანუ 1963 წლიდან ნებისმიერ დრომდე) შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ემპირიული ფორმულით:

$$W_{\text{ნატ.}} = 0,45 \cdot (t - 1963), \text{ მლნ მ}^3, \quad (7)$$

სადაც t არის საანგარიშო წელი.

ცხრილი 25

სიონის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების მაჩვენებლები

საველე სამუშაოების ჩატარების წელი	წყალსაცავის საპროექტო სრული მოცულობა $V_{\text{სრ}}$, მლნ მ ³	ექსპლუატაციაში შესვლის წელი	ნმდ ნიშნული, მ	წყალსაცავის სიგრძე და სიგანე (L/B), კმ	წყალსაცავის მაქსიმალური სიღრმე (H), მ	წყალსაცავის სარკვის ფართობი ნმდ-ზე (F), კმ ²	ნატანის ჯამური მოცულობა ($W_{\text{ნ}}$) მლნ მ ³	ნატანის დაგროვების ინტენსივობა ($W_{\text{ნ}}/t$) მლნ მ ³ /წელ.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1990	325,0	1963	1068,0	11,5/20	68,0	11,4	13,12	0,47
2017	—	—	—	—	—	—	24,30	0,43
2018	—	—	—	—	—	—	25,0	0,45

VI.3. თბილისის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები

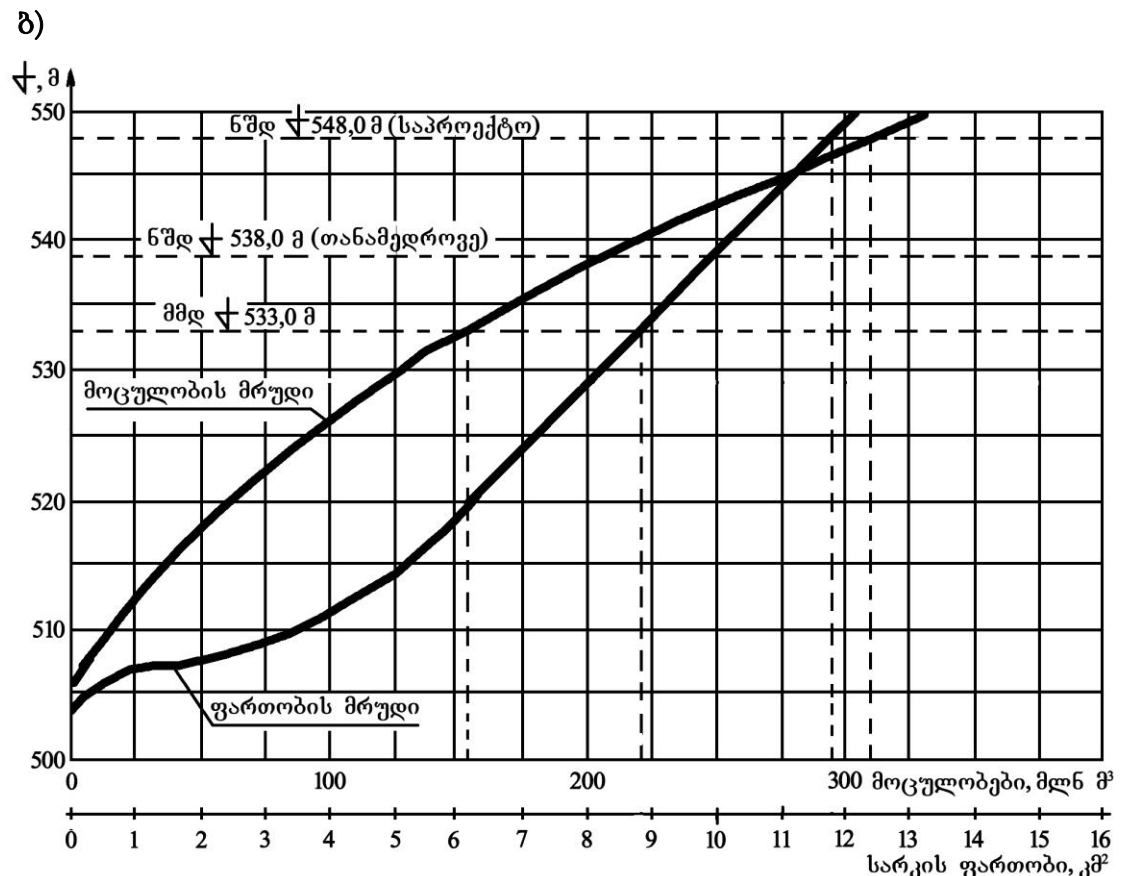
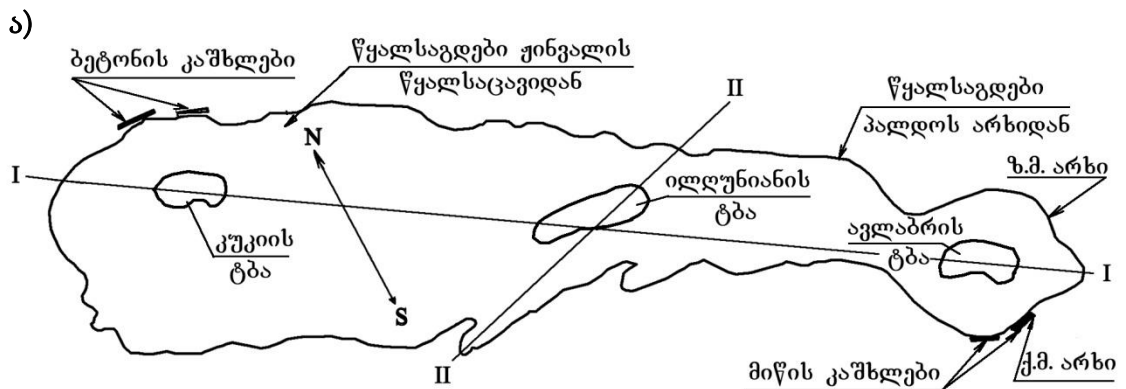
VI.3.1. თბილისის წყალსაცავიანი სისტემის მოკლე აღწერა

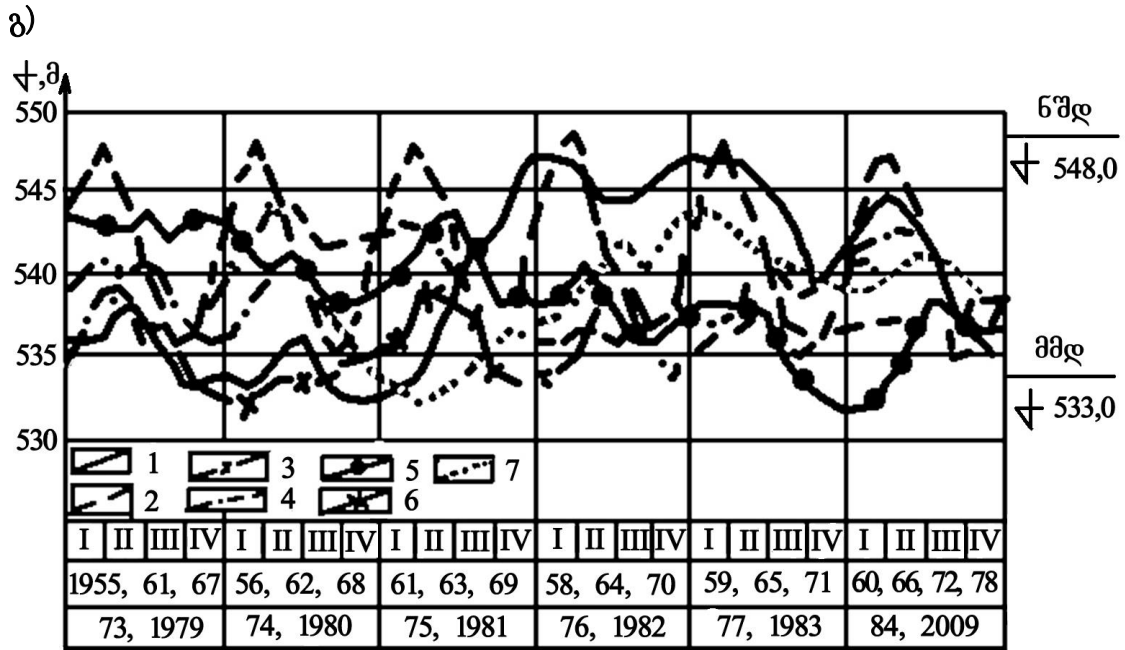
თბილისის წყალსაცავი წარმოადგენს ძირითად კვანძს ზემო სამგორის სარწყავი სისტემის ნაგებობათა კომპლექსში. $V_{\text{სრ}} = 215,0$ მლნ მ³, $V_{\text{ნას}} = 155,0$ მლნ მ³ და $V_{\text{მგვ}} = 215,0$ მლნ მ³. წყალსაცავი შესავსები ტიპისაა, შექმნილია სამი მარილიანი ტბის ბაზაზე და იკვებება მდ. იორის ზემო სამგორის მაგისტრალური არხით – ხარჯი – 130,0 მ³/წმ და ჟინვალის წყალსაცავიდან – ხარჯი – 9,8 მ³/წმ.

ტბების ქვაბულებით წარმოქმნილი ღრმული გაჭიმულია ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ, 8,0 კმ სიგრძის და 2,0 კმ-მდე სიგანის, მაქსიმალური სიღრმე – 45,0 მ, საშუალო – 26,0 მ. მისი ფსკერი შევსებულია დელუვიალურ-პროლუვიალური დანალექებით, წარმოდგენილია

თიხით და შემოსაზღვრულია ბრტყელი ტერასისებრი შემაღლებებით.

წყალსაცავის საპროექტო სრული მოცულობა იყო $V_{სრ} = 308,0$ მლნ მ³, სასარგებლო მოცულობა – $V_{სს} = 155,0$ მლნ მ³. გასული საუკუნის 70-იან წლებში განვითარებული უარყოფითი მოვლენების გამო (წყლის ფილტრაცია ორი ბეტონის კაშხლის პერიმეტრიდან და თბილისის საცხოვრებელი რაიონის (თმქ) დატბორვა) წყლის დონე შეამცირეს 10,0 მეტრით – $\nabla 548,0$ მ-დან $\nabla 538,0$ მ-მდე. წყალსაცავის მაქსიმალური სრული მოცულობა შემცირდა და შეადგენს $V_{სრ} = 215,0$ მლნ მ³-ს, ხოლო სასარგებლო (ნახ. 20).





ნახ. 20. თბილისის წყალსაცავი

ა) წყალსაცავიანი სისტემის სქემა; ბ) წყალსაცავის სარკის ფართობებისა და მოცულობების მრუდები; გ) წყალსაცავის დონური რეჟიმის გრუნტები

წყალსაცავი შექმნილია 9,0 და 12,0 მ სიმაღლის ორი ბეტონის კაშხლით და 10,0 მ და 12,0 მ სიმაღლის ორი მიწის კაშხლით.

წყალსაცავის ფსკერის გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობს ქვიშნარები და მესამეული ასაკის ფიქალისებრი თიხები. მისი სამხრეთი ნაწილი დაფარულია მეოთხეული დანალექებით. ჩრდილოეთ ნაწილში კარსტული ქანებია. ძირითადი ქანები წარმოდგენილია ქვიშნარებით და არგილიტებისა და ალევრიტების ქანებით. დონური რეჟიმი არასტაციონარულია. დონის დამუშავების სიმაღლეა 13,0 მ. ქარისმიერი ღელვა მიმართულია წყალსაცავის გასწვრივ. ქარის სიჩქარეა 23,0-34,0 მ/წმ, უზრუნველყოფა – 2,55%, ტალღის სიმაღლე – 1,2-1,4 მ. ღელვა გამოირჩევა ძლიერ არარეგულარობით.

წყალსაცავი ძირითადად გამოიყენება საირიგაციოდ და სასმელი წყლისათვის. ქვედა სარწყავ მაგისტრალურ არხში წყლის აღება ხორციელდება წყალსაცავის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, კომპურა ტიპის წყალმიმღებით. ამავე რაიონში ხდება წყლის აღება თბილისისა და რუსთავის წყალმომარაგებისათვის.

VI.3.2. თბილისის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების ფორმირება და პროგნოზირება

თბილისის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესები, ძირითადად, მიმდინარეობს მის ღრმულეებში არსებულ სამ ჩამირულ ტბაში – კუკიის, ილღუნიანის და ავლაბრის (ნახ. 20,ა) თბილისის წყალსაცავის სედიმენტაციური პროცესების შეფასების საკითხები აგრეთვე მნიშვნელოვანია, რადგან ეს ობიექტი შექმნილია გასული საუკუნის შუა წლებში და იგი უკვე „დაბერების“ (დაძველების), ანუ მისი ფუნქციონირების საიმედოობის შემცირების სტადიაში. თბილისის წყალსაცავზე ჩატარებული საველე კვლევები მოიცავდა მისი ფსკერის ბათომეტრიას ორ კვეთში და ილღუნიანის ყოფილი ტბის მონაკვეთზე, რაც გამოწვეულია ნატანის ძირითადი დაგროვებით ილღუნიანის ტბის ღრმულში (ნახ. 20 ა, ბ, გ). პროცესის ასეთი თავისებურება განპირობებულია ორი ფაქტორით: 1) ძლიერი ტალღური მოქმედებით ილღუნიანის ტბისკენ, რის გამოც ნატანი ჩაედინება მის ღრმულში და 2) ამ უბნის ნაპირების ძლიერი დასერილობით და მცირე ყურეებით, სადაც გროვდება ნატანის მნიშვნელოვანი მოცულობა (ნახ. 21, 22, 23; ცხრ. 26).

ცხრილი 26

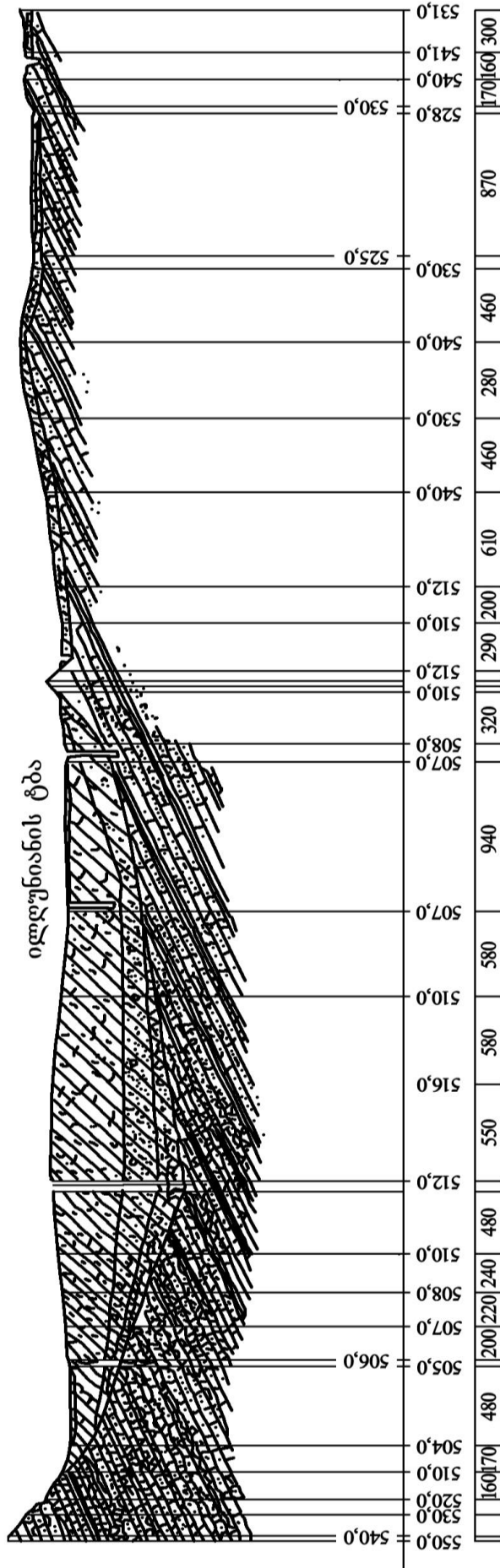
თბილისის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების მაჩვენებლები

წელი	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ მ ³			დაგროვილი ნატანის რაოდენობა (ილღუნიანის ტბის ღრმულში), მლნ მ ³	% ($V_{სრ}$ -დან)	ერთ წელიწადში დაგროვილი ნატანის მოცულობა მლნ მ ³ /წელ.
	$V_{სრ}$	$V_{ავდ}$	$V_{სს}$			
საპროექტო	308,0	155,0	153,0			
1970 *)	215,0	—	60,0			0,15
1978	215,0	—	60,0	3,23	1,5	0,16
2019	215,0	—	—	9,0	3,0	0,18

*) ფილტრაციული მოვლენების გამო 1970 წლიდან წყლის დონე არ აღემატება $\pm 543,0$ მ ნიშნულს, ხოლო $V_{სრ} \leq 215,0$ მლნ მ³.

ა)

ჭრელი I-I



გინერალიზებული
თიხვარი

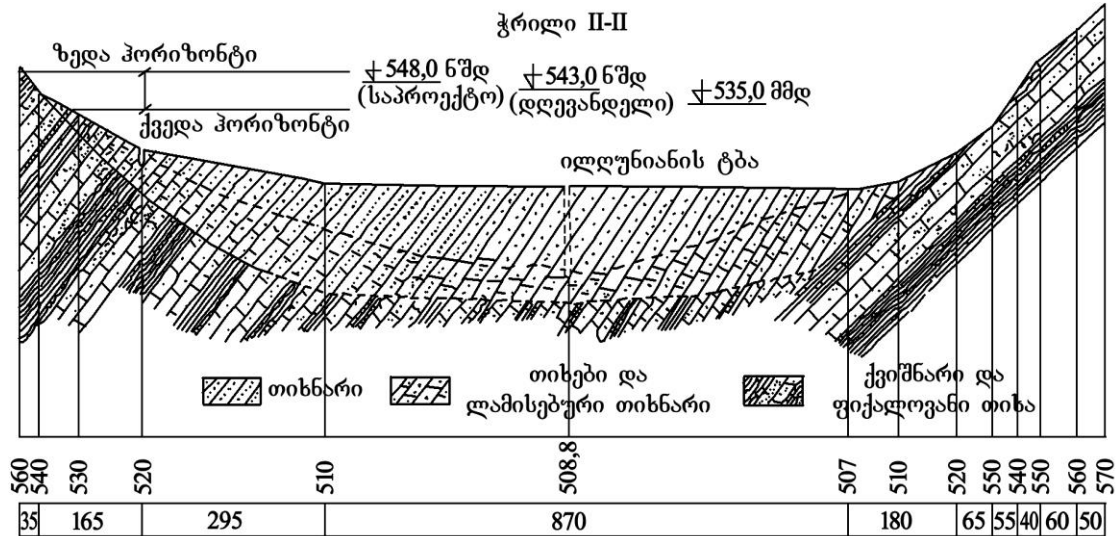
გინერალიზებული ლამი
და ლამისებური თიხა

გინერალიზებული
თიხა

კენჭნარი ქვიშოვანი
შემცებით

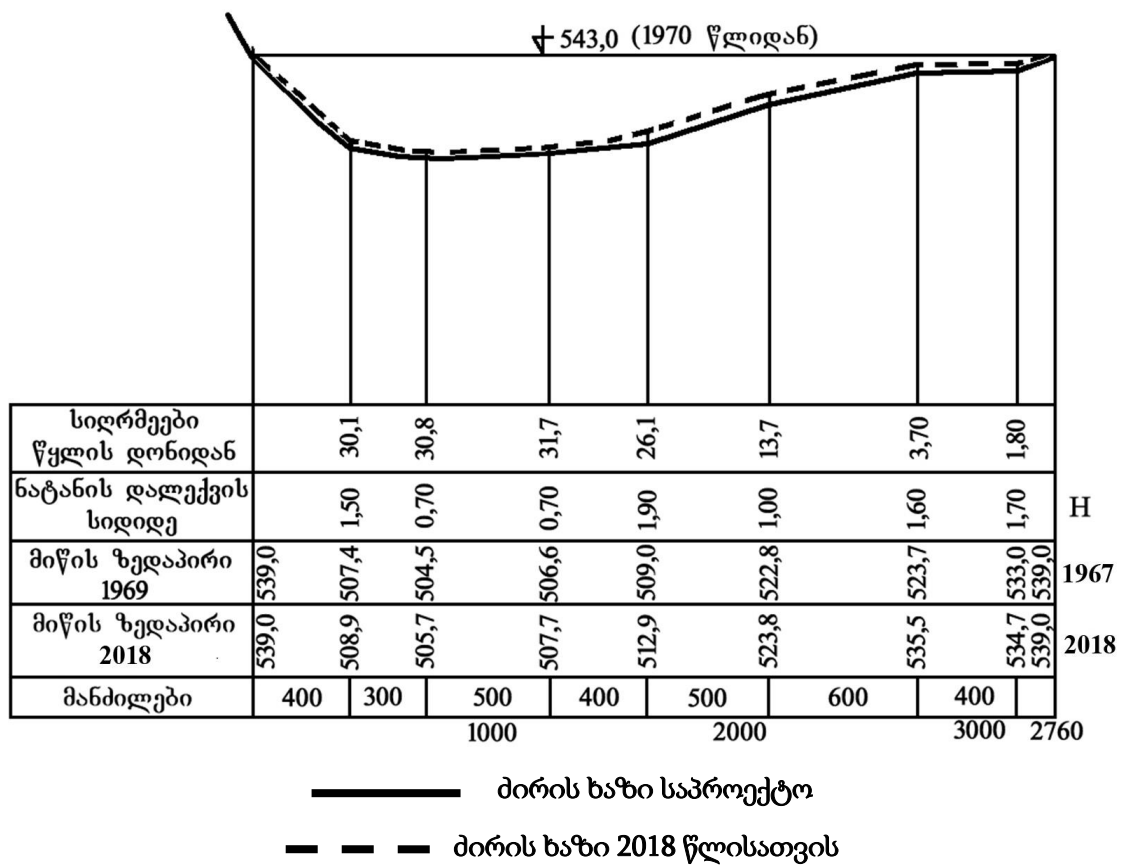
ქვიშვარი და
ფიქალოვანი თიხა

ბ)

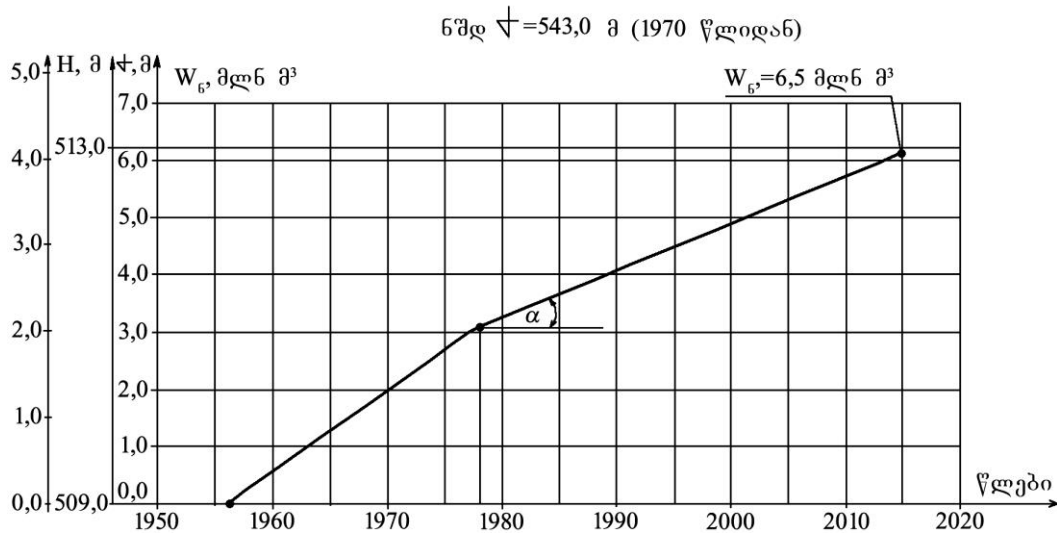


ნახ. 21. თბილისის წყალსაცავის განივკვეთების მოსილვა

- ა) ილლუნიაანის ტბის გასწვრივი ჭრილი (I-I);
- ბ) ილლუნიაანის ტბის გრძივი ჭრილი (II-II).



ნახ. 22. თბილისის წყალსაცავის ფსკერზე (ილლუნიაანის ყოფილი ტბის ღრმულში) ნატანის მოცულობის პროფილი (მარჯვენა ნაპირთან)



ნახ. 23. თბილისის წყალსაცავის ფსკერის დაღამვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (H -დაღამვის სისქე ილღუნიანის ტბის ფსკერზე)

ამრიგად, 2018 წლისთვის თბილისის წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილია **9,0 მლნ მ³-დე** ნატანი. სედიმენტაციური პროცესის დინამიკა შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ემპირიული ფორმულით

$$W_{\text{ფ}} = 3,23 + 0,18(t - 1970) \text{ მლნ მ}^3, \quad (8)$$

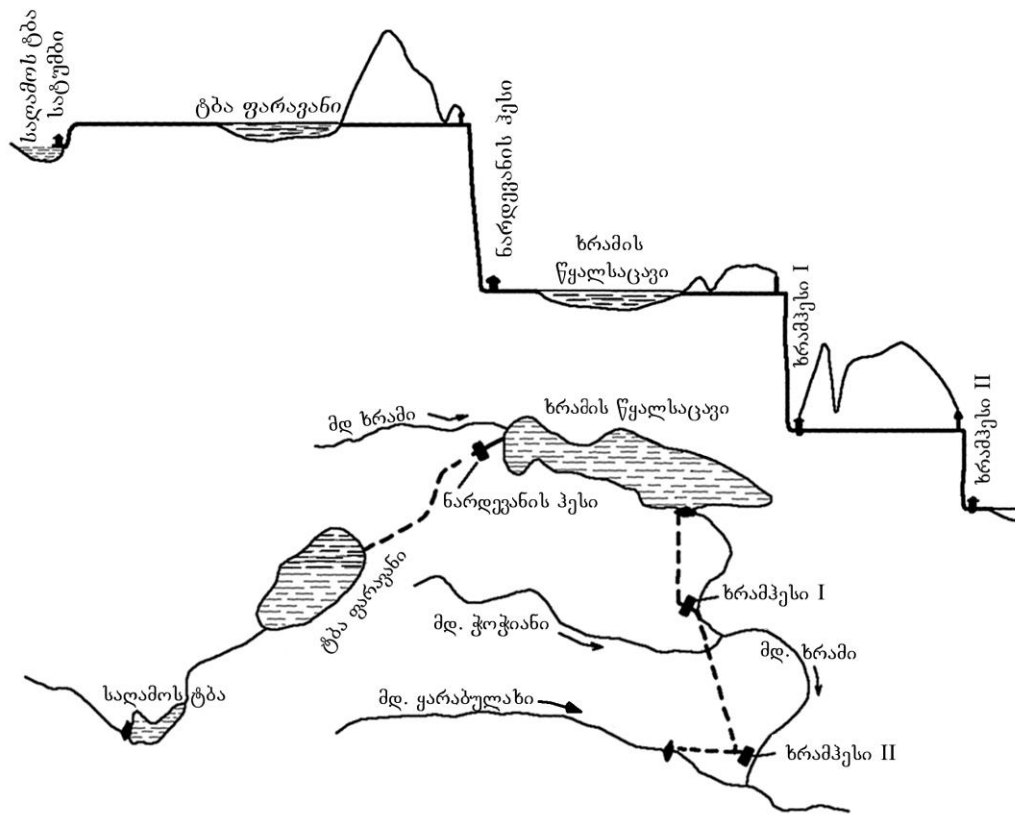
სადაც $V_{\text{სრ}} = 215,0$ მლნ მ³ არის თბილისის წყალსაცავის სრული მოცულობა 1970 წლიდან; t – საანგარიშო პერიოდი 1970 წლიდან.

VI.4. ხრამის (წალკის) წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები

ხრამის (წალკის) წყალსაცავი იყენებს მდ. ქცია-ხრამის ზედა და შუა დინებებს. წყალსაცავის სათავე მდებარეობს მისი და მდ. მტკვართან შერთვის ადგილიდან 117,0 კმ-ზე (**ნახ. 24**). წყალსაცავის რაიონში ხეობის სიგანე არის 0,7-0,8 კმ. მდინარის საშუალო წლიური ხარჯი კაშხლის კვეთში 9,78 მ³/წმ-ია, მას უკავია წალკის ქვაბული. ხრამის წყალსაცავის სრული მოცულობა $V_{\text{სრ}} = 312,0$ მლნ მ³.

ხრამის (წალკის) წყალსაცავი წარმოადგენს ხრამქესი-1-სა და ხრამქესი-2-ის კასკადის ძირითად ნაგებობას. ხრამის წყალსაცავიდან გამოსული გაფილტრული წყალი ამუშავებს დაშბაშის მცირე ჰეს-ს, მისი სიმძლავრე 224 000 კვტ-ია. ბოლო წლებში ენერგეტიკული გამოყენების

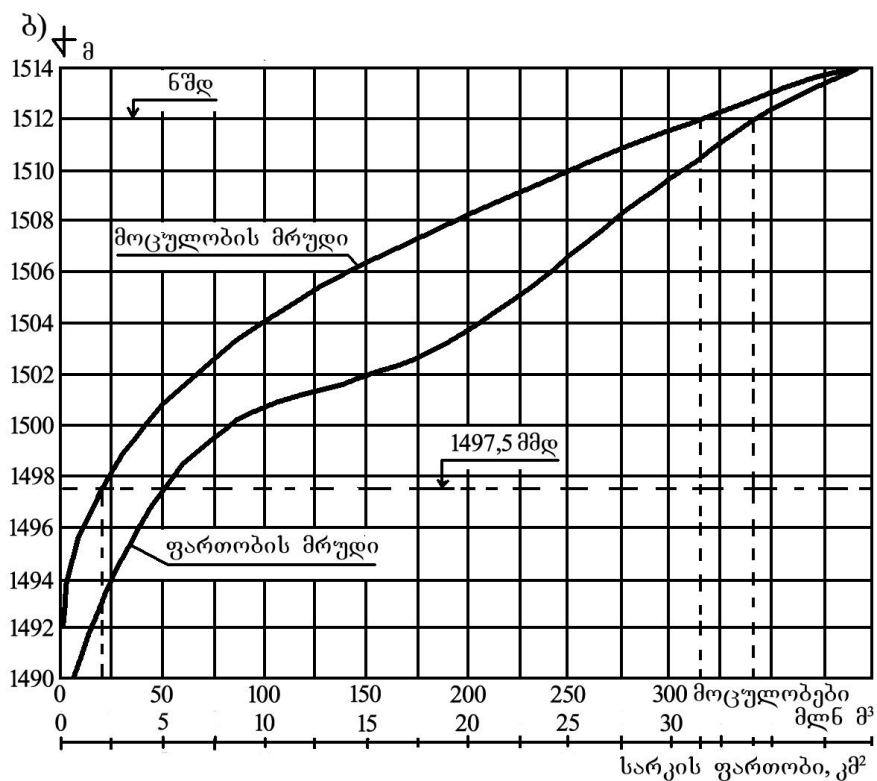
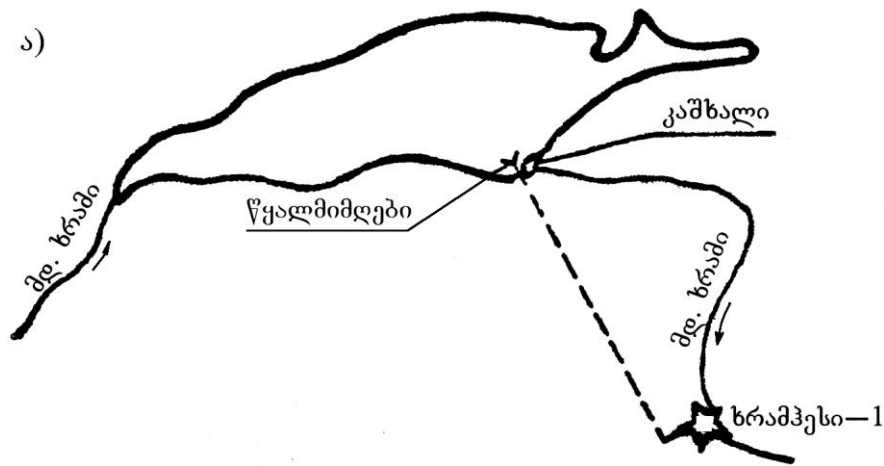
გარდა, წყალსაცავიდან ხდება წყლის იძულებითი გამოშვება მელიორაციული მიზნებისათვის. წყალსაცავი მაღალმთიანია, კალაპოტური ტიპის, სანაპირო კალთების დახრილობა 5°-დან 90°-მდეა, სიგრძე – 14,5 კმ, საშუალო სიგანე – 2,4 კმ, მაქსიმალური – 3,5 კმ, საშუალო სიღრმე – 9,3 მ, მაქსიმალური – 25,0 მ. წყალსაცავის რაიონი ხასიათდება მკაცრი კლიმატით, წლიური ტემპერატურა მერყეობს +26°C-დან –30°C -მდე. წყალსაცავის ყინულოვანი ფენის სისქე 18-25 სმ-ია, მისი ხანგრძლივობა – 2-3 თვე. დონური რეჟიმი განისაზღვრება ჰესის მუშაობით: დონის დამუშავება აღწევს 14,5 მ-ს (პროექტის მიხედვით, ნახ. 25). წყლის დონის გადაადგილების სიჩქარე აღწევს 1,0-6,0 სმ/დღელამეში.

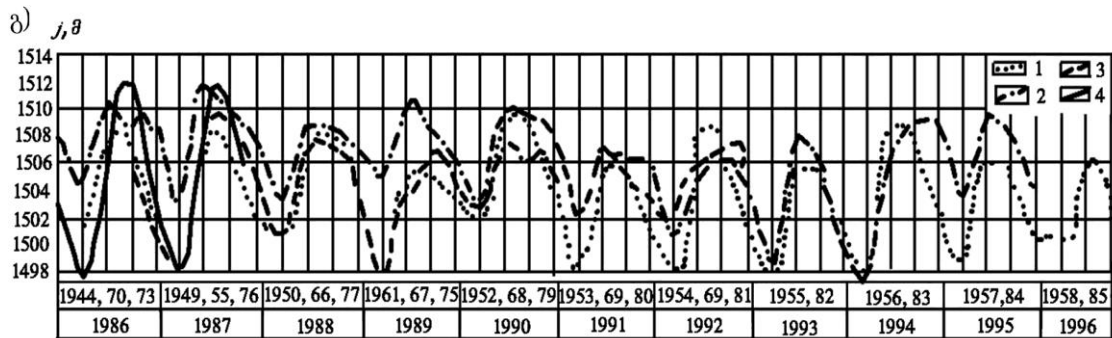


ნახ. 24. მდ. ხრამის გამოყენების სქემა

ხრამის (წალკის) წყალსაცავი წარმოადგენს ხრამპეესი-1-სა და ხრამპეესი-2-ის კასკადის ძირითად ნაგებობას. ხრამის წყალსაცავიდან გამოსული გაფილტრული წყალი ამუშავებს დაშბაშის მცირე ჰეს-ს, მისი სიმძლავრე 224 000 კვტ-ია. ბოლო წლებში ენერგეტიკული გამოყენების გარდა, წყალსაცავიდან ხდება წყლის იძულებითი გამოშვება მელიორაციული

მიზნებისათვის. წყალსაცავი მაღალმთიანია, კალაპოტური ტიპის, სანაპირო კალთების დახრილობა 5°-დან 90°-მდეა, სიგრძე – 14,5 კმ, საშუალო სიგანე – 2,4 კმ, მაქსიმალური – 3,5 კმ, საშუალო სიღრმე – 9,3 მ, მაქსიმალური – 25,0 მ. წყალსაცავის რაიონი ხასიათდება მკაცრი კლიმატით, წლიური ტემპერატურა მერყეობს +26°C-დან –30°C -მდე. წყალსაცავის ყინულოვანი ფენის სისქე 18-25 სმ-ია, მისი ხანგრძლივობა – 2-3 თვე. დონური რეჟიმი განისაზღვრება ჰესის მუშაობით: დონის დამუშავება აღწევს 14,5 მ-ს (პროექტის მიხედვით, ნახ. 25). წყლის დონის გადაადგილების სიჩქარე აღწევს 1,0-6,0 სმ/დღელამეში.





ნახ. 25. ხრამის წყალსაცავი

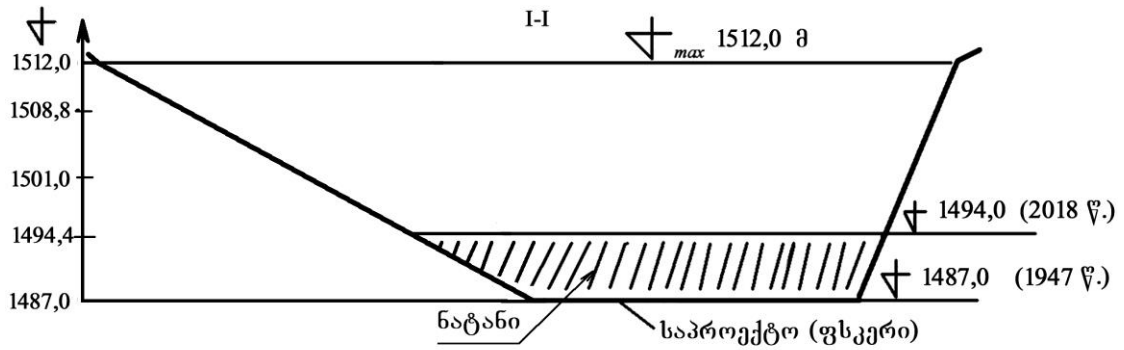
ა) წყალსაცავიანი სისტემის სქემა; ბ) წყალსაცავის მოცულობისა და სარკის ფართობის საპროექტო მრუდები; გ) წყალსაცავის დონური რეჟიმის მრუდები

ქარის რეჟიმი გამოირჩევა დიდი ცვლილებებით. ქარის მაქსიმალური სიჩქარეა 35,0 მ/წმ, მაქსიმალური განმეორებითობისაა ჩრდილო რუმბების ქარები. ტალღის სიმაღლე ყველაზე დიდი განმეორებითობისას (9,0-12,0 მ/წმ, უზრუნველყოფა – 40%) აღწევს 0,75-1,15 მ. შტორმული ტალღის სიგრძე 1,5-1,8 მ-ია. წყალსაცავს ძირითადად იყენებენ ენერგეტიკული და სარწყავი მიზნებისათვის. მუშაობს ორი ჰესი – ხრამჰესი-I და ხრამჰესი-II. პირველი – წალკის წყალსაცავის ხარჯზე; მეორე – გვირაბული დერივაციის ხარჯზე, ხრამჰეს I-ის ქვევით 400 მეტრი სიმაღლიდან ვარდნისას. ხრამჰეს II-დან წყალი გამოიყენება სარწყავად. ჰიდროკვანძის ნაგებობებში შედის 113,0 მ სიგრძისა და 32,0 მ სიგანის ქვის ნაყარი კაშხალი ფოლადის ეკრანით, წყალსაგდები და წყალსაშვები გადამფარავი ფარებით, წყალმიმღები-სიღრმითი წყალსაღები.

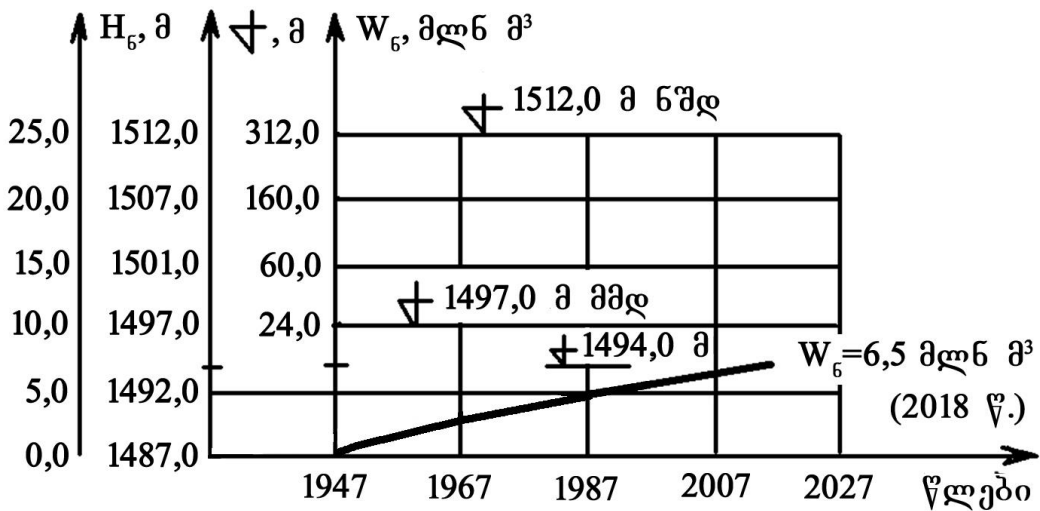
VI.4.1. ხრამის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების

ფორმირება და პროგნოზირება

ხრამის (წალკის) წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილი ნატანის მოცულობის რაოდენობა დადგინდა წყალსაცავის ფსკერის საპროექტო რუკების, რომლებიც შედგენილი იყო წყალსაცავის შევსებამდე (1947 წ.) და ჩვენ მიერ ექოლოტირების საშუალებით მიღებული რუკების საფუძველზე (ნახ. 26, 27, 28).



ნახ. 27. ხრამის წყალსაცავის განივკვეთის მოსილვა კაშხალთან ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1947–2018 წ.წ.)



ნახ. 28. ხრამის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1947–2018 წ.წ.)
(H – ნატანის სისქე კაშხალთან)

ამგვარად, 2018 წლისათვის ხრამის წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილია 6,5 მლნ მ³ ნატანი. ნატანის დაგროვების ინტენსივობა $W_6/t = 0,092$ მლნ მ³/წელიწადში.

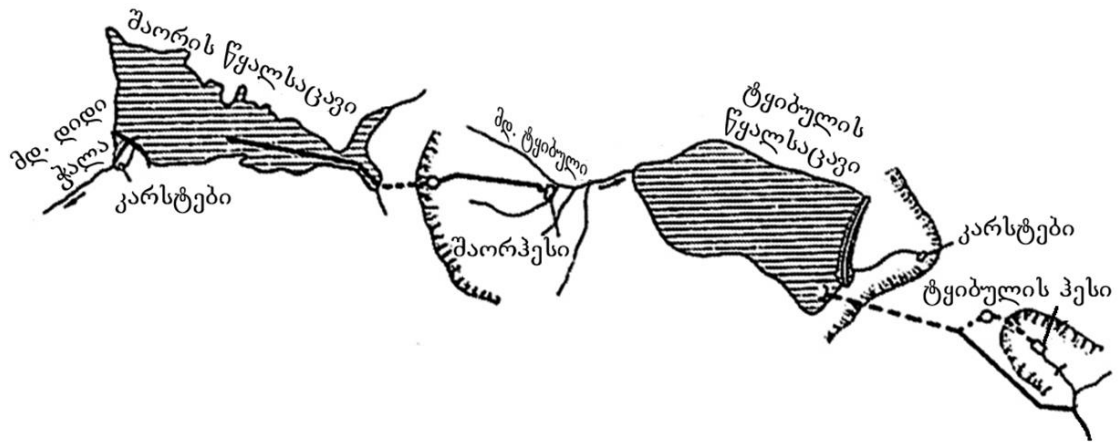
ხრამის წყალსაცავში დაგროვილი ნატანის ჯამური მოცულობა ნებისმიერ დროში შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ემპირიული ფორმულით:

$$W_{6,t} \approx 0,092 \cdot (t - 1947) \text{ მლნ მ}^3, \quad (9)$$

სადაც 0,092 ნატანის დაგროვების ინტენსივობაა წყალსაცავის აგების შემდეგ, მლნ მ³; t – საანგარიშო წელიწადი.

VI.5. შაორის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები

შაორის წყალსაცავი ($V_{სრ} = 90,0$ მლნ მ³) წარმოადგენს შაორი-ტყიბულის კასკადის პირველ საფეხურს (ნახ. 29). მისი განსაკუთრებულობაა კარსტულ რაიონში განლაგება. წყალსაცავის მკვებავი მდინარეები – დიდი ჭალა და ტყიბულა – ქედის ძირში ჩაედინება კარსტულ ორმოებში, შემდეგ კი გამოდის მიწის ზედაპირზე.



ნახ. 29. შაორი-ტყიბულის კასკადის სქემა

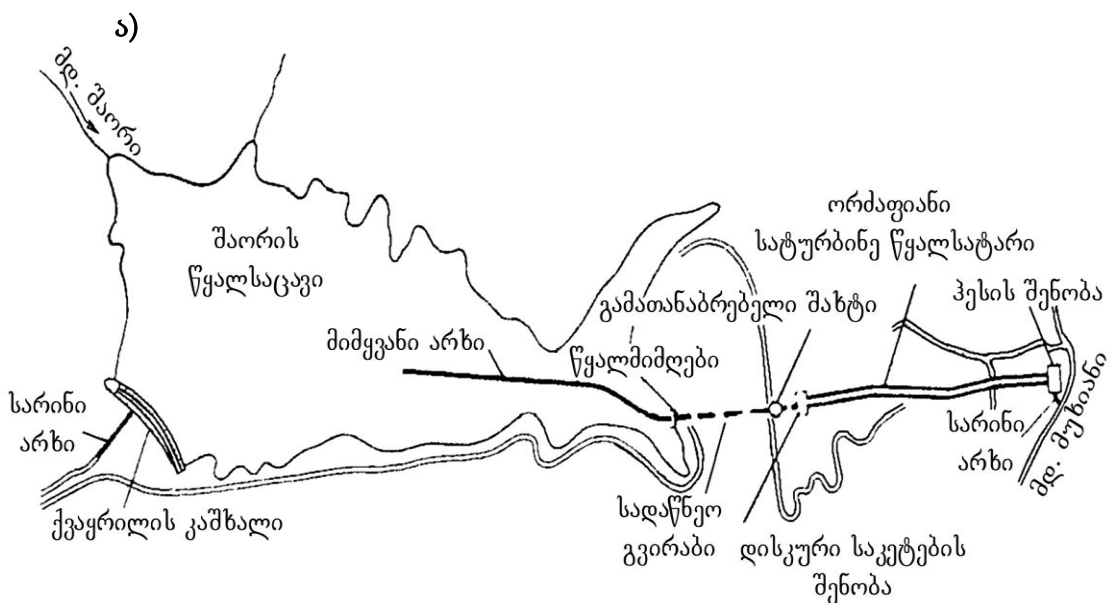
ამ გარემოებამ განაპირობა კასკადის ორიგინალური სქემის შექმნა, შაორის პლატოზე აშენებულია კაშხალი, რომელიც უკეტავს წყალს კარსტულ ორმოებში მისასვლელს, სადაც მდინარე იკარგება. წყალსაცავიდან წყლის მიწოდება ჰეს-თან ხორციელდება სადაწნეო გვირაბებით, ნარეკვავის ქედის გავლით. გეოლოგიური თვალსაზრისით, შაორის ქვაბული აგებულია მეოთხეული პერიოდის გრუნტებით, რომელთა ქანები წარმოდგენილია ალუვიალური და დელუვიალური დანალექებით, თიხნარებით. წყალსაცავი მაღალმთიანია, სამკუთხა ფორმის. მისი ფერდები დამრეცი ($\alpha = 20^\circ - 30^\circ$) და დაბალია, სამხრეთ-აღმოსავლეთისა და ჩრდილო-დასავლეთის გამოკლებით, სადაც ნაპირების სიმაღლე 4,0–5,0 მ-ს აღწევს, ხოლო დახრილობა – $60^\circ - 80^\circ$ -ს, სიგრძე 7,5 კმ-ია, საშუალო სიგანე – 1,76 კმ, მაქსიმალური – 3,0 კმ, საშუალო სიღრმე – 6,3 მ, ხოლო მაქსიმალური – 12,3 მ. წყალსაცავი წლიური რეგულირებისაა. დამუშავების მაქსიმალური დონე

წლიურ ჭრილში 13,0 მ-ს შეადგენს და უშუალოდ უკავშირდება ჰეს-ის მუშაობის რეჟიმს. მოცულობა და სარკის ფართობი იცვლება წყლის დონის შესაბამისად.

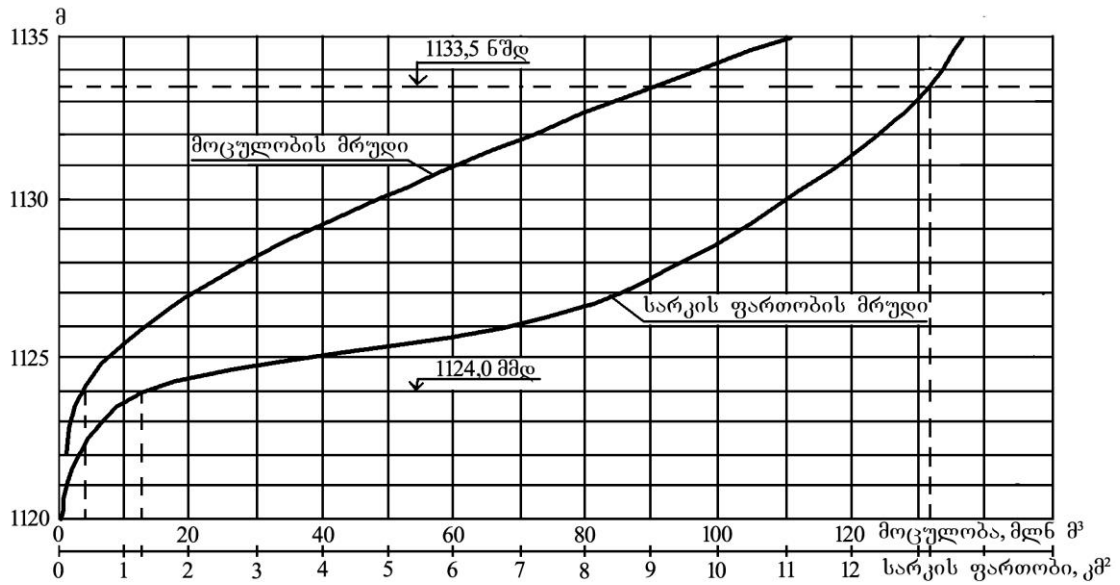
კლიმატი ტენიანია, ცხელი ზაფხულით, ცივი ზამთრით და უხვი ნალექებით. ჰაერის ტემპერატურის ამპლიტუდა $24^{\circ}\text{C}-25^{\circ}\text{C}$. თოვლის საფარის სისქე 75,0 სმ-ია. ჭარბობს სამხრეთისა და აღმოსავლეთის რუმბების ქარები. ქარის მაქსიმალური სიჩქარე 20,0 მ/წმ-მდეა (იანვარი-მარტი), შტილის უზრუნველყოფა – 52%. მთის ქედები იცავს ქვაბულს ქარის მოქმედებისაგან. ტალღების მაქსიმალური სიმაღლე 0,7-0,9 მ-ია, მაგრამ მცირე უზრუნველყოფით, რადგან ქარის მაქსიმალური სიჩქარე იმ პერიოდშია, როცა წყალი დაფარულია ყინულით.

პროექტის მიხედვით, წყალსაცავი გამოიყენება ენერგეტიკული მიზნებისათვის და ქ. ტყიბულის ტექნიკური წყალმომარაგებისათვის. ჰეს-ის საანგარიშო დაწნევა 473,0 მ-ია, საერთო სიმძლავრე – 9600 კვტ. (ნახ. 30).

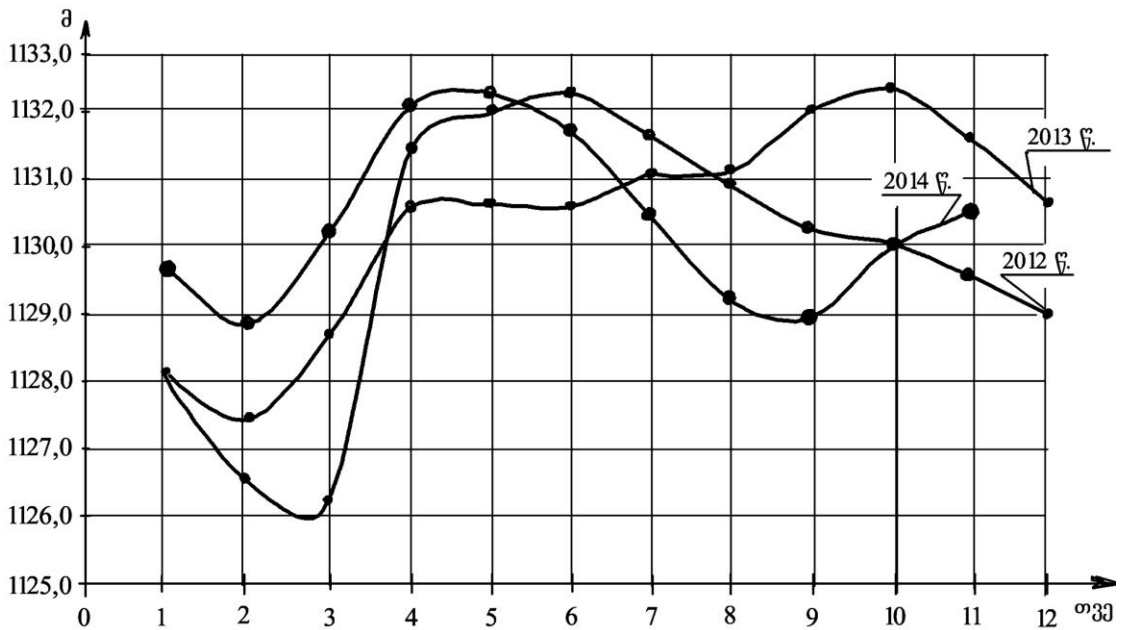
წყალსაცავის ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში შედის: ქვაყრილი კაშხალი თიხის ეკრანით, სიგრძით 1210,0 მ და 11,5 მ სიმაღლის, ფსკერული წყალგასაშვები, გათვლილი $26,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ხარჯზე, ზედაპირული წყალგადამგდები, გათვლილი $30,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ხარჯზე, წყალსაცავის ფსკერზე არსებული მიმყვანი არხი 3706,0 მ სიგრძის და 5,0 მ სიღრმის და ჰეს-ის წყალმიმღები (ნახ. 30).



ბ)



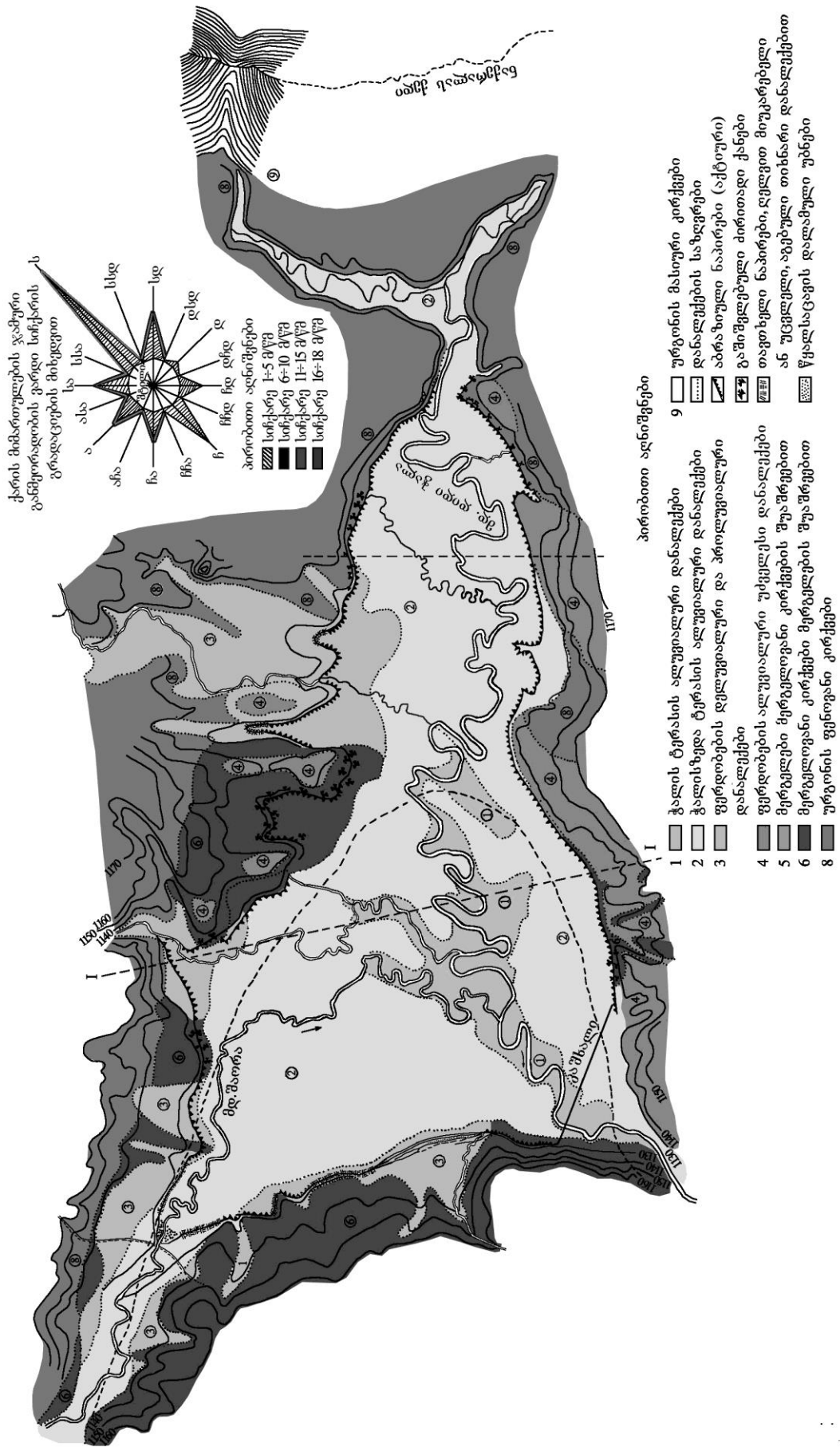
ბ)



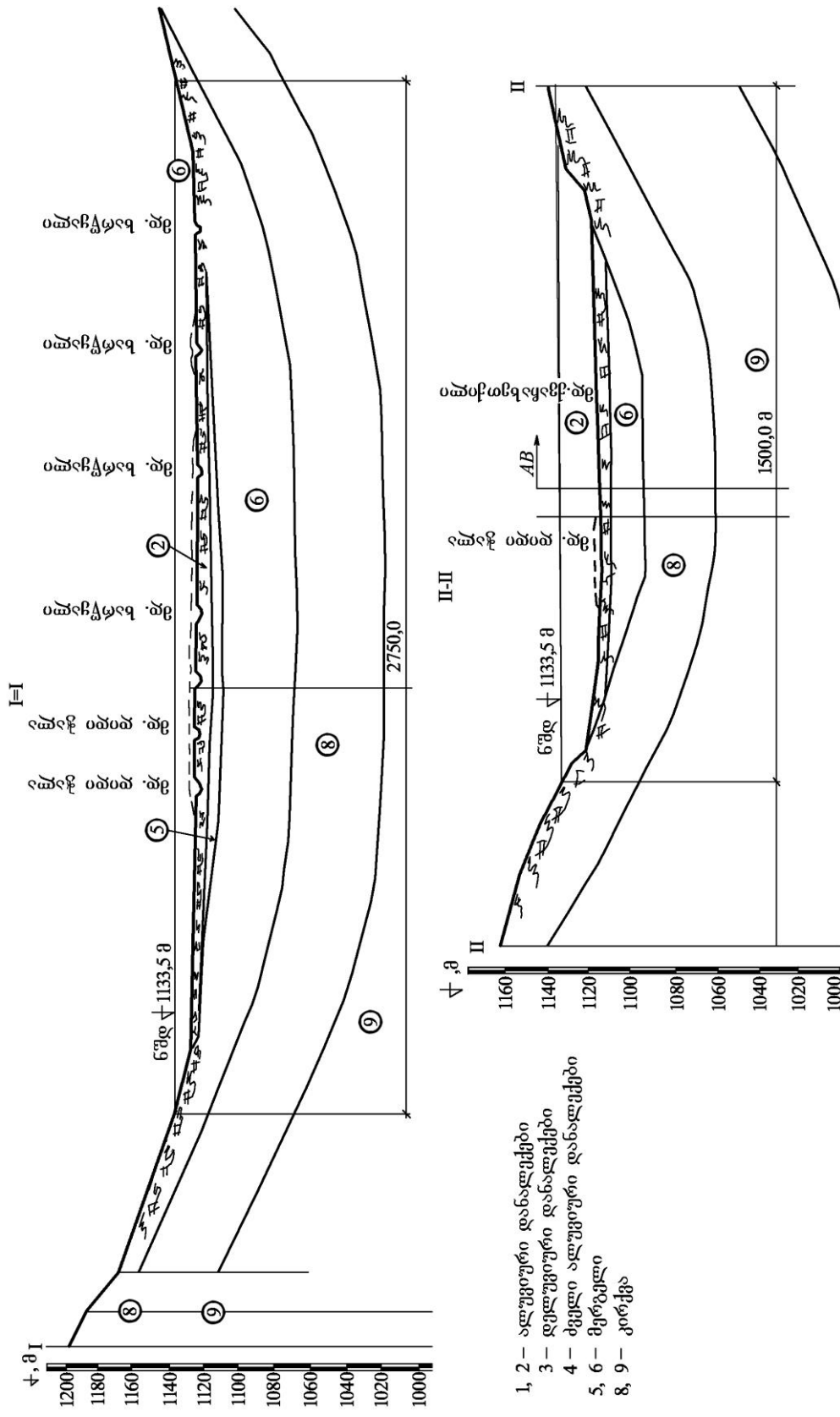
ნახ. 30. შაორის წყალსაცავი

ა) შაორის წყალსაცავიანი სისტემის სქემა; ბ) შაორის წყალსაცავის სარკის ფართობებისა და მაცულობების მრუდები; გ) წყალსაცავის დონური რეჟიმის მრუდი

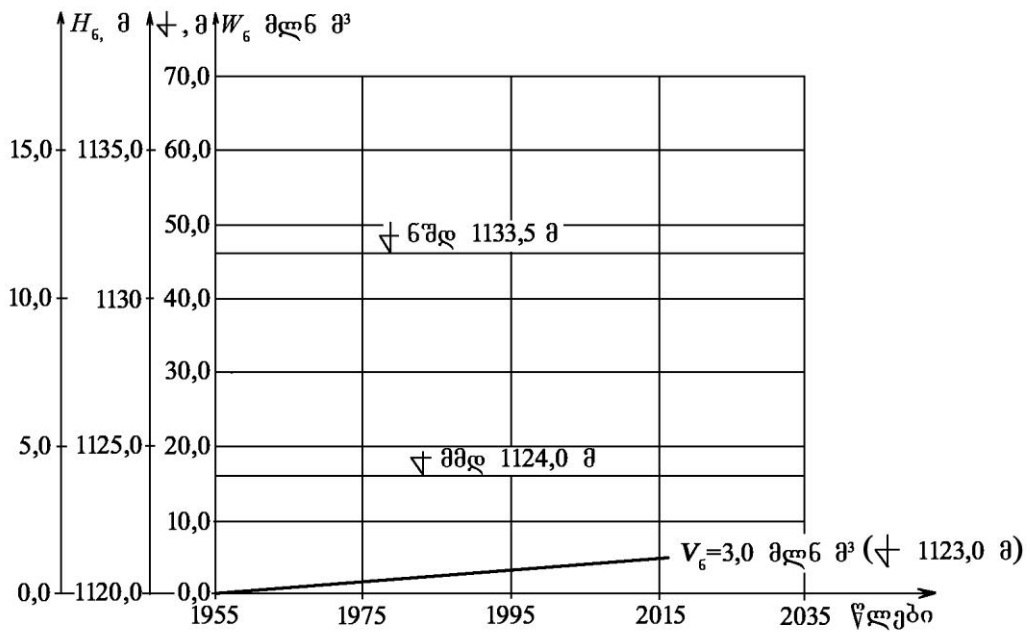
შაორის წყალსაცავის ფსკერზე ნატანის მაცულობის რაოდენობა დადგინდა წყალსაცავის ფსკერის საპროექტო რუკების, რომლებიც შედგენილი იყო წყალსაცავის შევსებამდე (1955 წ.) და ჩვენ მიერ ჩატარებული ფსკერის ექოლოტირების შედეგად მიღებული რუკების შედარებით (ნახ. 31, 32, 33).



ნახ. 31. შორანის წყალსაცავის ფსკერის ტოპოგრაფია



ნახ. 32. შაორის წყალსაცავის განივკვეთების მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1955-2018 წ.წ.)



ნახ. 33. შაორის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1955–2019 წწ.)
(H_6 – ნატანის სისქე კაშხალთან)

ამგვარად, 2019 წლისათვის შაორის წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილია **3,0 მლნ მ³ ნატანი**. ნატანის დაგროვების ინტენსივობა $W_6/t = 0,05$ მლნ მ³/წელიწადში.

შაორის წყალსაცავში დაგროვილი ნატანის ჯამური მოცულობა ნებისმიერ დროში შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ემპირიული ფორმულით:

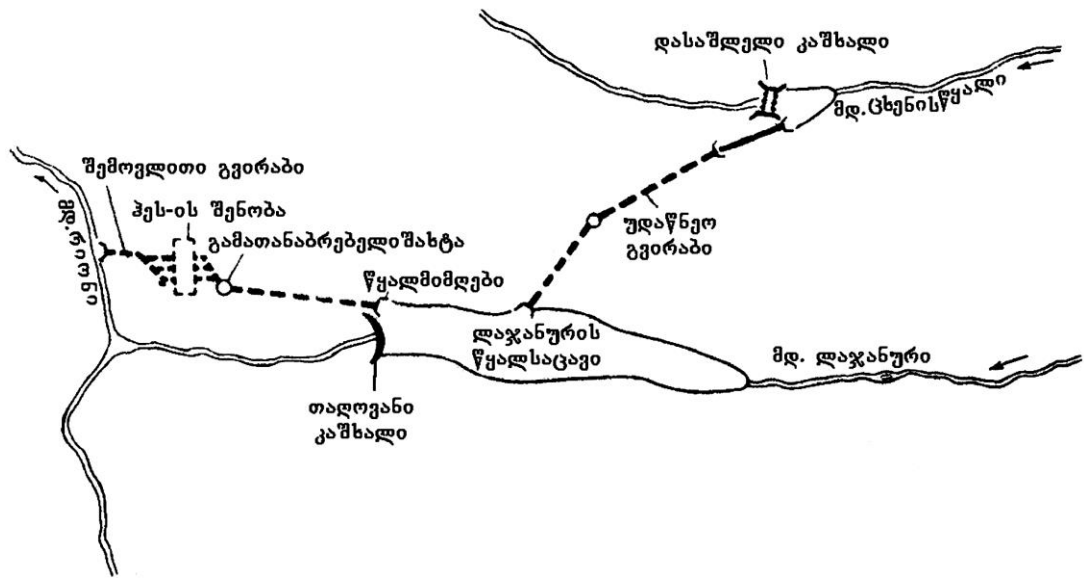
$$W_{6,t} \approx 0,05 \cdot (t - 1955) \text{ მლნ მ}^3, \quad (10)$$

სადაც 0,05 ნატანის დაგროვების ინტენსივობაა წყალსაცავის აგების შემდეგ, მლნ მ³; t – საანგარიშო წელიწადი.

VI.6. ლაჯანურის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები

ლაჯანურის წყალსაცავის სისტემის ჰიდროტექნიკური სქემა შედგება ბეტონის თაღოვანი კაშხლისაგან, სიმაღლით 69,0 მ, წყალმიმღებისაგან ($Q = 100,0$ მ³/წმ) და შემოვლითი გვირაბისაგან (ნახ. 34,35) მდ. ცხენისწყლის და ლაჯანურის ჩამონადენის გაერთიანებით მიღებულია 134,0 მ-ის დაწნევა, საანგარიშო ხარჯით – 420 მ³/წმ, წყალსაცავის სრული მოცულობა

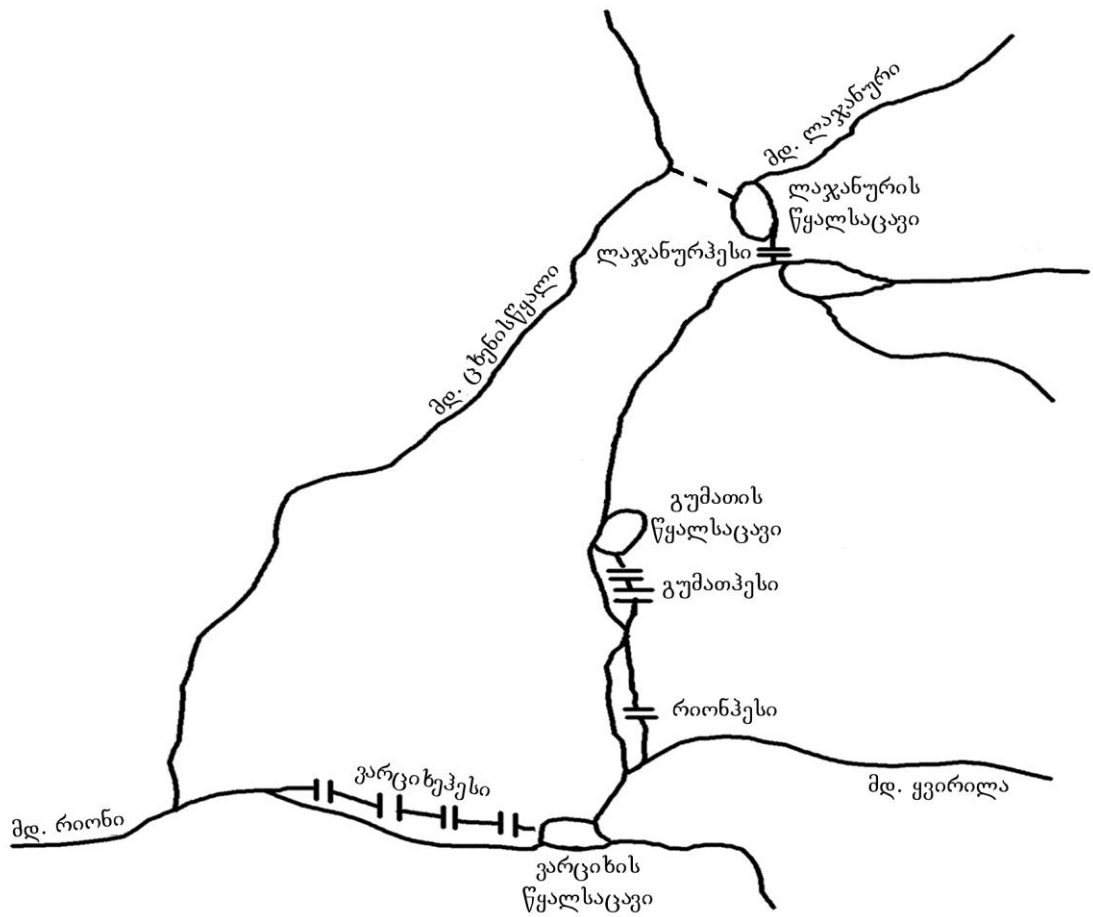
$V_{სრ} = 24,0$ მლნ მ³. ლაჯანურის კაშხალი პირველი თაღოვანი კაშხალია, რომლითაც დაედო საფუძველი საქართველოში თაღოვანი კაშხლებისა და მიწისქვეშა ჰესების შენებას. წყალსაცავი მდებარეობს ამოზნექილი ნაპირების მქონე ხეობაში. მისი სიგანე მერყეობს 10,0-დან 80,0 მ-მდე. კალთები ძლიერ დანაწევრებულია ხეობებით. მდინარის საშუალო წლიური ხარჯი კაშხლის კვეთში არის 10,5 მ³/წმ, მაქსიმალური – 183,0 მ³/წმ, მდ. ცხენისწყლიდან გადაგდება – 60,0 მ³/წმ.



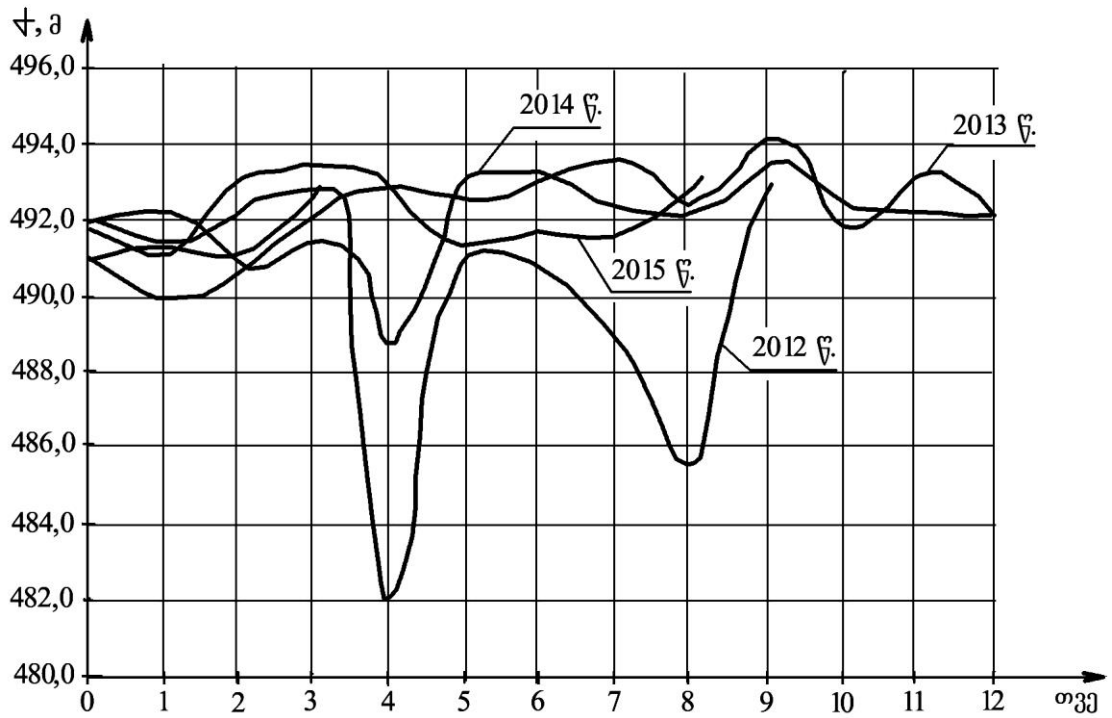
ნახ. 34. ლაჯანურ-ჰესის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების სქემა

ხეობის გეოლოგიური აგებულება რთულია. მისი ფსკერი და მაღალი ფერდები აგებულია სხვადასხვა ფორმაციის ქანებისაგან. ქვედა, ვიწრო, კაშხლის მიმდებარე ნაწილი აგებულია სქელფენიანი, მყარი კირქვისაგან, რომელიც ეკუთვნის შუა და ქვედა ეოცენს და პალეოცენს; ჩრდილო და სამხრეთ ნაპირების ზედა უბნები შედგება ქვიშისა და მერგელისნაირი თიხებისაგან, დასავლეთით მათ ცვლის ფიქალისებრი მაიკოპის ოლიგოცენის თიხები.

წყალსაცავის ორივე ნაპირი ფართოდაა წარმოდგენილი ქვიშნარებით. მასში წყლის დონის აწევამ გამოიწვია გრუნტის წყლების შეტბორვა, რის შედეგადაც გააქტიურდა მეწყერი, მთელი სამხრეთ-დასავლეთი კალთა მეწყრულია; მეწყრები ვითარდება წყალსაცავის აღმოსავლეთ ბოლოშიც, მდ. ხელეშურის დელესთან.



ნახ. 35. მდ. რიონის გამოყენების სქემა

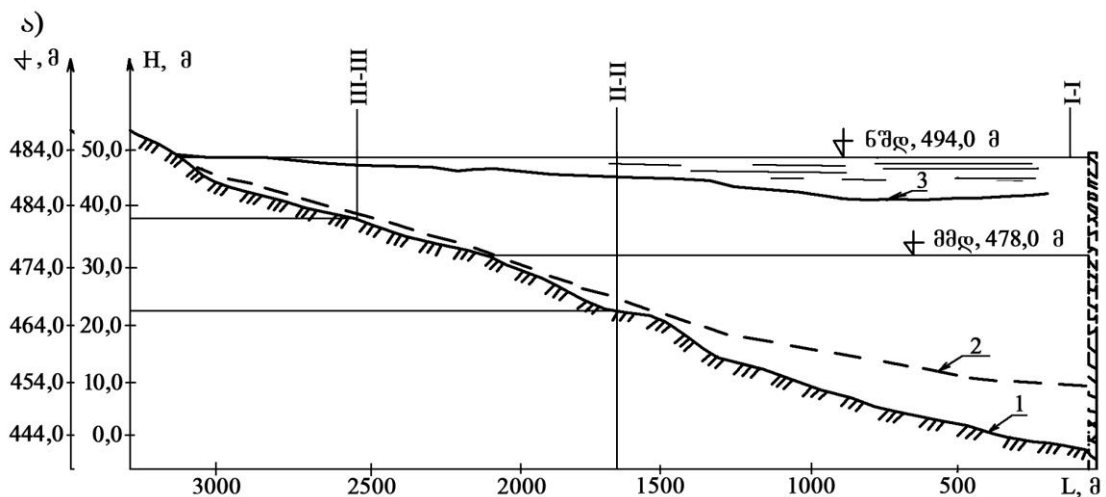


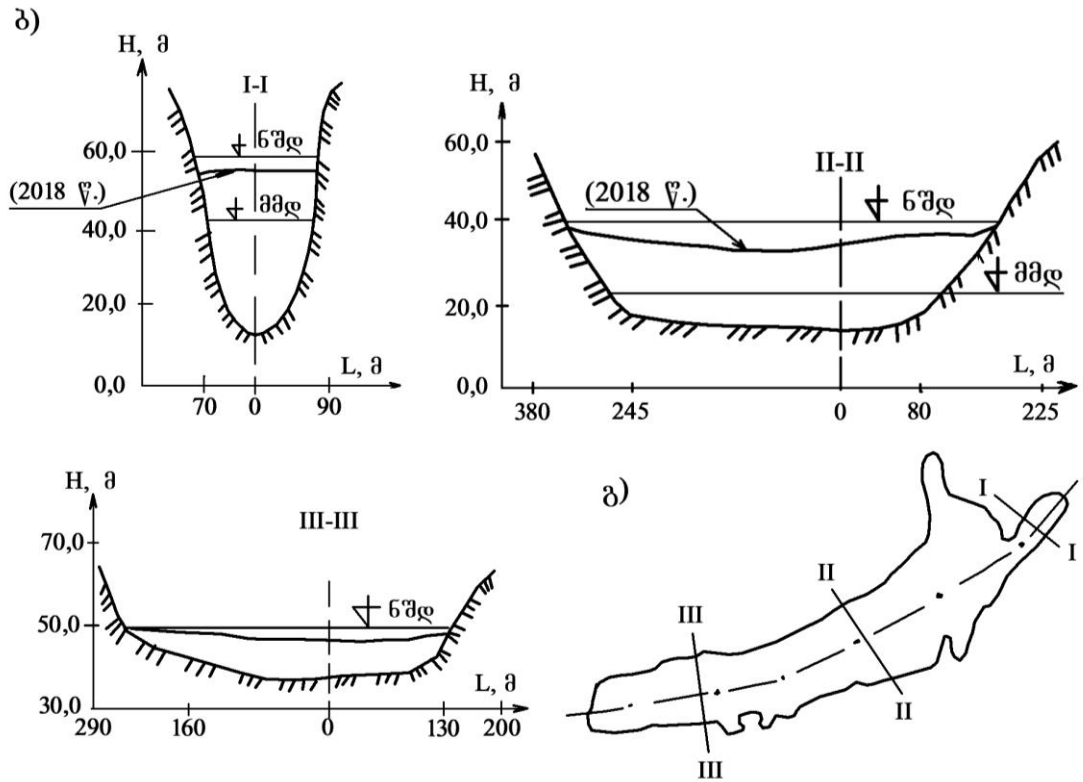
ნახ. 36. ლაჯანურის წყალსაცავის დონური რეჟიმის მრუდები.

წყალსაცავი მიეკუთვნება საშუალო კალაპოტური ტიპის წყალსატევს. აქვს გაწელილი ოვალური ფორმა. სიგრძე 3,2 კმ, საშუალო სიგანე – 0,28 კმ, მაქსიმალური – 0,45 კმ; საშუალო სიღრმე – 30,0 მ, მაქსიმალური – 70,0 მ. დონური რეჟიმი არასტაბილურია. დამუშავება – 16,0 მ, თუმცა ტაფობის ნატანით ავსების გამო ხარჯი არ რეგულირდება და ჰეს-ი მუშაობს ჩამოდინების მიხედვით. წყალსაცავის მოცულობა და სარკის ფართობი არსებითად შეიცვალა ტაფობის დალექვის შედეგად. წყალსაცავი გარშემორტყმულია მაღალი მთებით, რომლებიც იცავს მას ქარისაგან. შტილის 60%-ია, ქარის სიჩქარე – 8,0-10,0 მ/წმ. კლიმატი ტენიანია, ხშირი წვიმებით. წყალსაცავი გამოიყენება ენერგეტიკის მიზნებისათვის. დაწნევა 134,0 მ-ია. სათავო კვანძის ნაგებობებში შედის: თაღოვანი წყალგადასაშვები კაშხალი, 69,0 მ სიმაღლის, წყალმიმღები ორი ხვრელით, 100,0 მ³/წმ ხარჯით, ფსკერული გამრეცხი გალერეებით, რომლებიც გადადის 6,0 მ დიამეტრის გამრეცხ გვირაბში. წყალგადამგდები, გათვლილი 30,0 მ³/წმ ხარჯზე, წყალსაცავის ფსკერზე არსებული მიმყვანი არხი, 3706,0 მ სიგრძის და 5,0 მ სიღრმის და ჰესის წყალმიმღები.

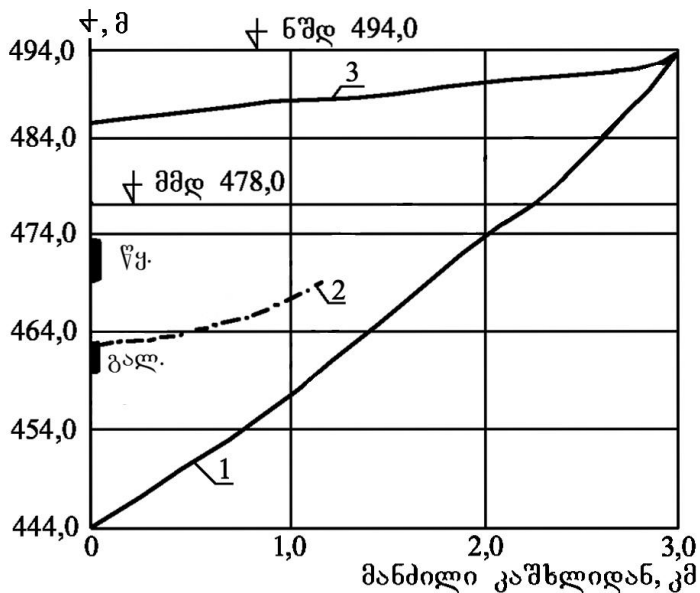
ბოლო კვლევები ამ წყალსაცავზე ჩატარდა ქართველი მკვლევარების მიერ გასული საუკუნის შუა წლებში, რის მერეც მსგავსი კვლევები წყალსაცავზე არ ჩატარებულა.

საველე სამუშაოების შედეგების საფუძველზე აგებულ იქნა ლაჯანურის წყალსაცავის ფსკერზე ამჟამინდელი განივი პროფილები (ნახ. 37, 38).





ნახ. 37. ლაჯანურის წყალსაცავის ფსკერის მოსილვის დინამიკა
 ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1960–2018 წ.წ)
 (ა – გრძივი პროფილი, ბ – განივი პროფილები, გ – პროფილების განლაგება)
 1 – საპროექტო; 2 – 1963 წ.; 3 – 2018 წ.



ნახ. 38. ლაჯანურის
 წყალსაცავის ფსკერზე
 საანგარიშო მოსილვის
 პროცესების დინამიკა 1963
 წლიდან.
 1 – მდინარე ლაჯანურის
 კალაპოტის საპროექტო
 ნიშნულები;
 2 – 1963 წ.; 3 – 2018 წ.

კვლევების შემდგომ ეტაპზე დამუშავდა წყალსაცავის ფსკერის
 სედიმენტაციური პროცესების დინამიკის პროგნოზირების მეთოდიკა

რეგრესიული განტოლების გამოყენებით. დღეისათვის ლაჯანურის წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილია 18,0 მლნ მ³ ნატანი $\left(K_{\text{ნატ}} = \frac{W_{\text{ნატ}}}{V_{\text{სრ}}} = 70\% \right)$, ლაჯანურის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების პროგნოსტიკულ რეგრესიულ განტოლებას აქვს სახე:

$$W_{\text{ნატ}} \approx 0,32 \cdot (t - 1961) \text{ მლნ მ}^3, \quad (11)$$

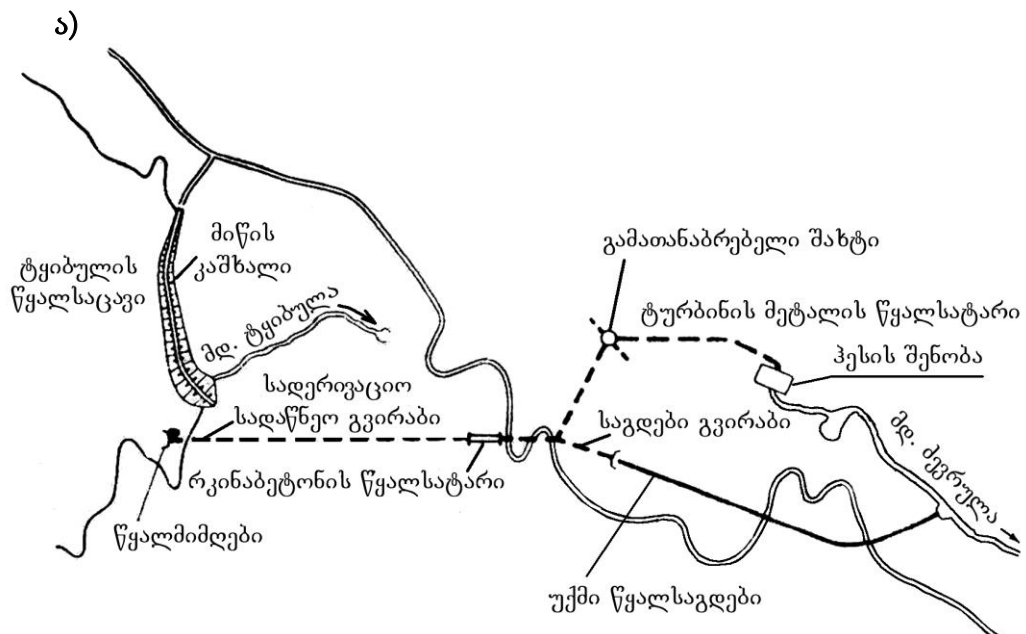
სადაც t – საანგარიშო წელიწადია.

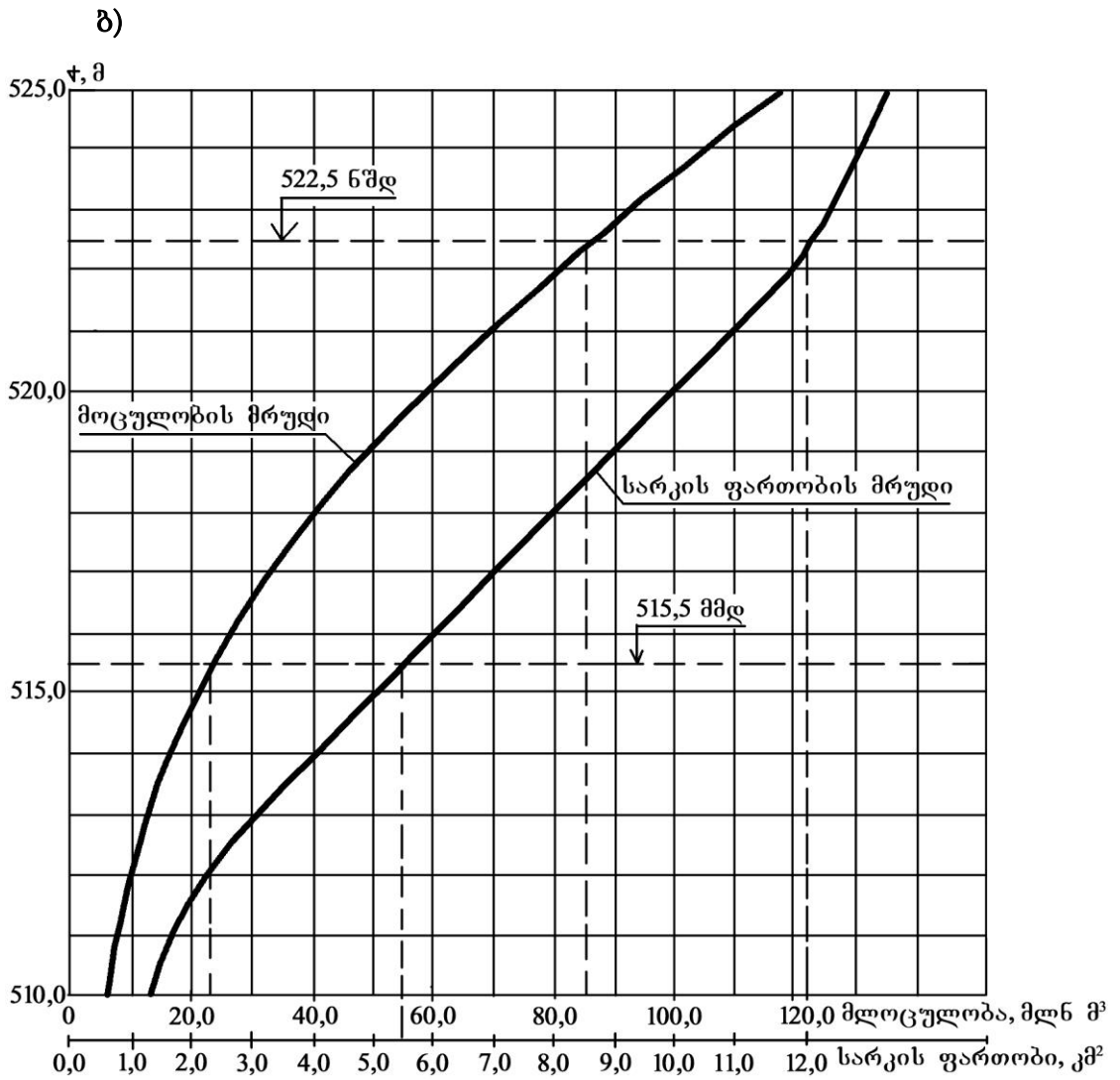
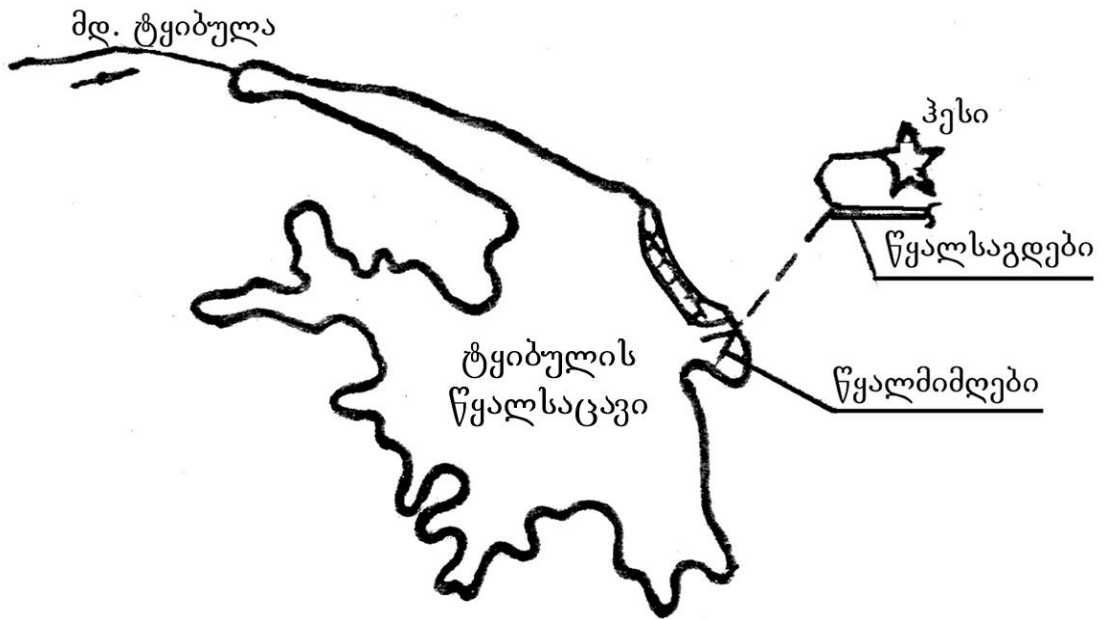
თუ წყალსაცავის სედიმენტაციური პროცესები გაგრძელდა ასეთი დინამიკით, მაშინ წყალსაცავი დაკარგავს თავის ძირითად დანიშნულებას – წყლის სასარგებლო მოცულობის დაგროვებას.

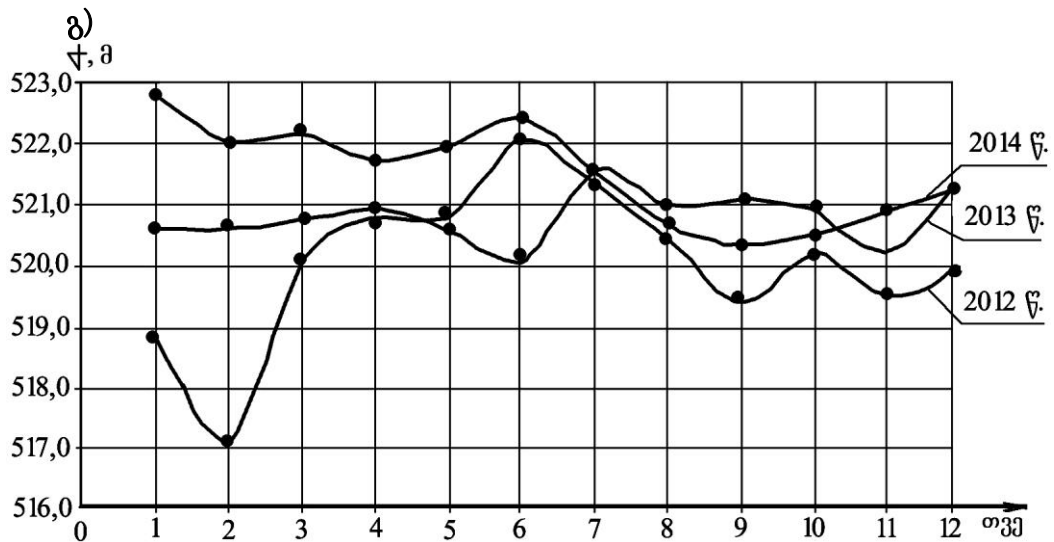
VI.7. ტყიბულის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების კვლევები

ტყიბულის წყალსაცავი – მდებარეობს მდ. ტყიბულაზე. სათავო კვანძი მდებარეობს 12,0 კმ-ზე მდ. ტყიბულას შესართავიდან (ნახ. 39).

ტყიბულის წყალსაცავის სისტემა დამატებით იკვებება გადამუშავებული წყლით შაორის ჰესიდან. წყალსაცავი შექმნილია ახალსოფლის ქვაბულში, მდ. ტყიბულას კარსტში ჩაქცევის წინ. ქვაბული მონოკლინური სტრუქტურისაა და ეყრდნობა კირქვას.







ნახ. 39. ტყიბულის წყალსაცავი

- ა) ტყიბულის წყალსაცავის სისტემის სქემა;
 ბ) ტყიბულის წყალსაცავის სარკის ფართობებისა და მოცულობების მრუდები;
 გ) ტყიბულის წყალსაცავის დონური რეჟიმის მრუდები

ტაფობის გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობს განსხვავებული ქანების კომპლექსი. ქვაბულის კალთები აგებულია იურიული და ცარცის დანალექებით, „მთავრის“ ჩათვლით. ეს ქანები ხასიათდება ძალიან სუსტი წყალშეღწევადობით და ამიტომ წყლის გავლა წყალსაცავის ჩრდილოეთ რაიონიდან გამორიცხულია. გამონაკლისია ურგონული კირქვები, რომლებიც ნაპრალებიანია და დაკარსტულია, თუმცა ისინიც წყალსაცავის მხარეს დრენირებს და ამიტომ ამ მიმართებით არც ისინია საშიში. ფილტრაციის მხრივ უფრო საშიშია კაშხლის სამხრეთი რაიონი, რომელიც აგებულია ზემო ცარცული კარსტული კირქვებით, რომლებიც ალაგ-ალაგ ძლიერ დანაწევრებულია.

წყალსაცავის ტაფობის ფსკერზე, მძლავრი მეოთხეული ასაკის დანალექების ქვეშ გაწოლილია იურიული და ცარცული ძირითადი ქანები. ტბური ალუვიალური დანალექები ძირითადად წარმოდგენილია 100,0 მ სიმძლავრის თიხნარებით, კაშხლის მხარეს ისინი 350,0 მ-მდე იზრდება. წყალსაცავის დასავლეთ კალთაზე, რომელიც აგებულია ტუფის გენური ქვიშნარებისაგან, კარგადაა გამოსახული ალუვიური ზონა, სიმძლავრით 0,5-1,05 მ. კალთებზე თიხნარების დანალექებია დიდი რაოდენობის

კირქვებით, სიმძლავრით 1,0-1,5 მ, იშვიათად – 4,0 მ. ნაპირების საშუალო სიმაღლეა 5,0-დან 200,0 მ-მდე, დახრილობა – 25°-30°, ზოგან – 45°-50°. პარამეტრული მონაცემებით, წყალსაცავი დამახასიათებელია მთიანი ზონებისათვის. აქვს ძლიერ დასერილი სანაპირო ზოლი და ღრმად შედის მდ. ტყიბულას და გელას შესართავში, სადაც წარმოქმნის ვიწრო, გაჭიმულ ყურეებს. მისი სიგრძეა 6,0 კმ, საშუალო სიგანე – 1,9 კმ (მაქსიმალური – 3,7 კმ). საშუალო სიღრმე 16,0 მ-ია (მაქსიმალური – 32,0 მ).

წყალსაცავი სეზონური რეგულირებისაა. დონის მაქსიმალური საპროექტო დამუშავება 6,0–7,0 მ-ია და იცვლება შენაკადების რეჟიმის შესაბამისად. წყალსაცავის მოცულობა და სარკის ფართობი ექსპლუატაციის პროცესში მცირედ იცვლება. ქარები, ძირითადად, აღმოსავლეთ რუმბები-საა. ქარის მაქსიმალური სიჩქარეა 34,0 მ/წმ, საშუალო – 11,0-15,0 მ/წმ, უზრუნველყოფა – 21%, შტილი – 50%. წყალსაცავის მდებარეობა ხელს უწყობს 0,8-0,1 მ სიმაღლის ტალღების წარმოქმნას.

წყალსაცავი გამოიყენება ენერგეტიკული მიზნებისათვის. საანგარიშო დაწნევა 293,0 მ-ია, სიმძლავრე – 80,0 ათასი კვტ. იგი კალაპოტური ტიპისაა, აგებულია 36,0 მ სიმაღლის მიწის კაშხლით. წყლის აღება ხდება სადაწნეო დერივაციაში და ხორციელდება ორგანოსავლელიანი წყალმიმღებით, რომელიც მარჯვენა ნაპირზეა განთავსებული. წყალი მიედინება სადაწნეო გვირაბში ($Q = 34,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$) და შემდეგ ტურბინების წყალსატარის 4 ტოტის გავლით მიეწოდება ოთხ ტურბინას. წყლის გადაგდება ჰესიდან მდინარის კალაპოტში ხორციელდება გამომყვანი არხით და წყალგადასაშვებით.

ტყიბულის წყალსაცავი (ექსპლუატაციაში შევიდა 1956 წელს, $V_{სრ} = 84,0$ მლნ მ³) მიეკუთვნება მთის წყალსაცავების ტიპს, რადგან მისი ნორმალური დონის ნიშნულები (ნშდ) 400,0-ზე მაღლაა (ნახ. 40, 41, 42).

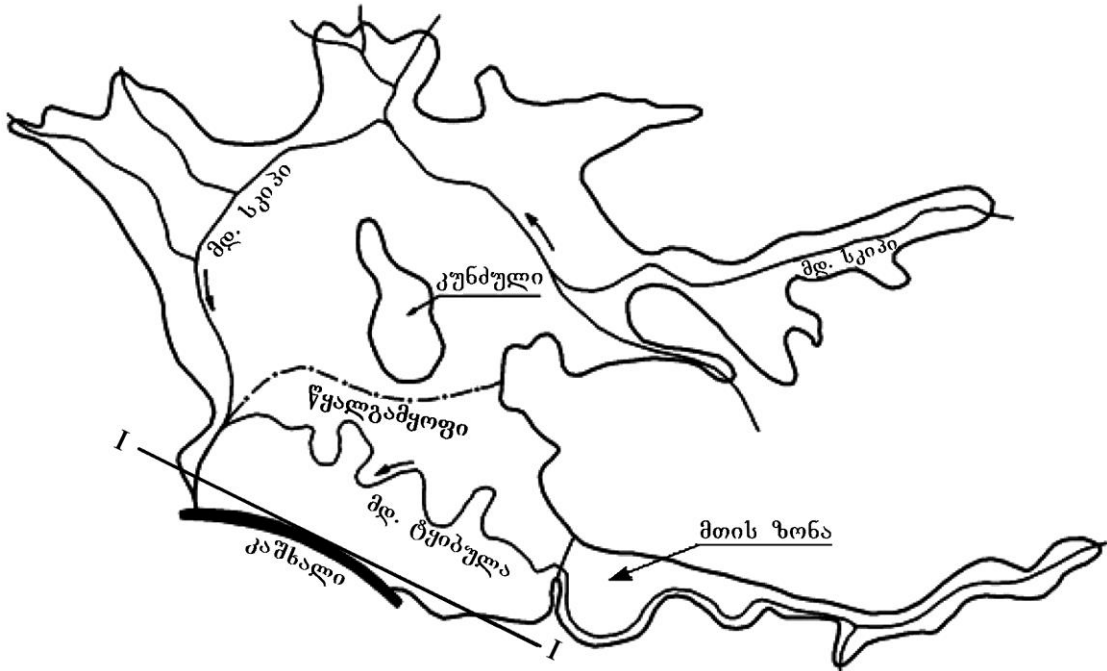
დღეისათვის ტყიბულის წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილია $W_{\text{გ}} = 3,91$ მლნ მ³ ნატანი, ხოლო ნატანის დაგროვების ინტენსივობა $W_{\text{გ}}/t = 0,063$ მლნ მ³/წელიწადში.

ტყიბულის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების

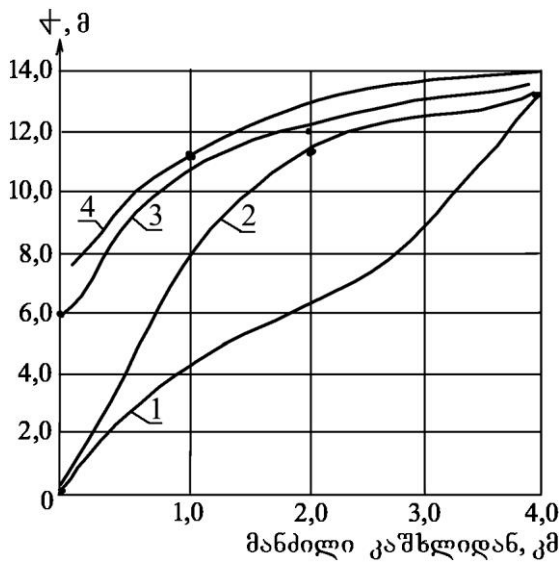
პროგნოსტიკულ განტოლებას აქვს სახე:

$$W_6 = 0,063 (t - 1956) \text{ მლნ მ}^3, \quad (12)$$

სადაც t – წყალსაცავის ექსპლუატაციის წელია აგების შემდეგ (1956 წ.).

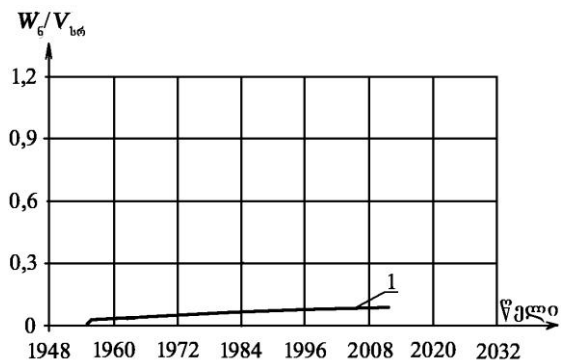


ნახ. 40. ტყიბულის წყალსაცავის გეგმა



ნახ. 41. ტყიბულის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკა (1960–2018 წ.წ)

1 – მდინარე ტყიბულის კალაპოტის საპროექტო ნიშნულები, 2 – 1960 წ., 3 – 1966 წ., 4 – 2018 წ.



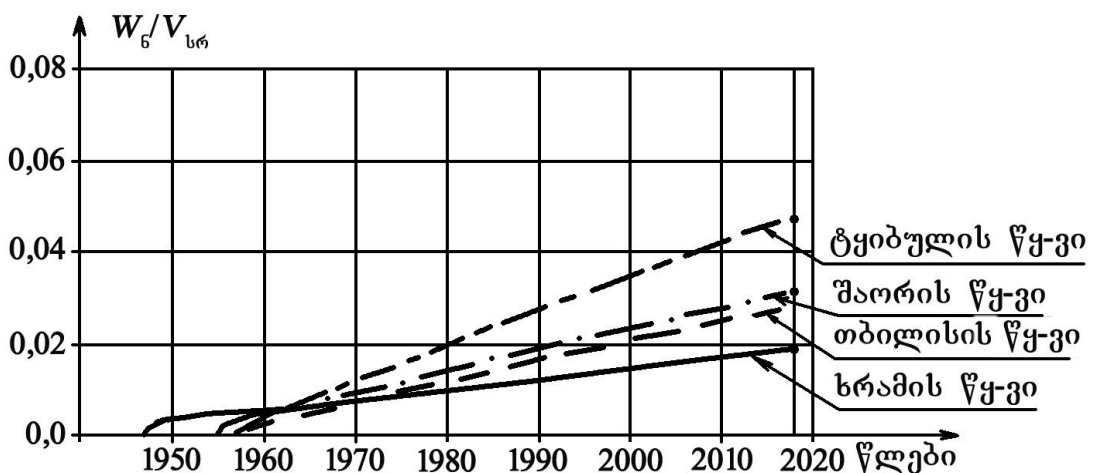
ნახ. 42. ტყიბულის წყალსაცავის ფსკერზე საანგარიშო სედიმენტაციური პროცესების ინტენსივობა

VI.8. ჟინვალის, სიონის, თბილისის, ხრამის, შაორის, ლაჯანურის და ტყიბულის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების პროგნოსტიკული ჯგუფების დამუშავება

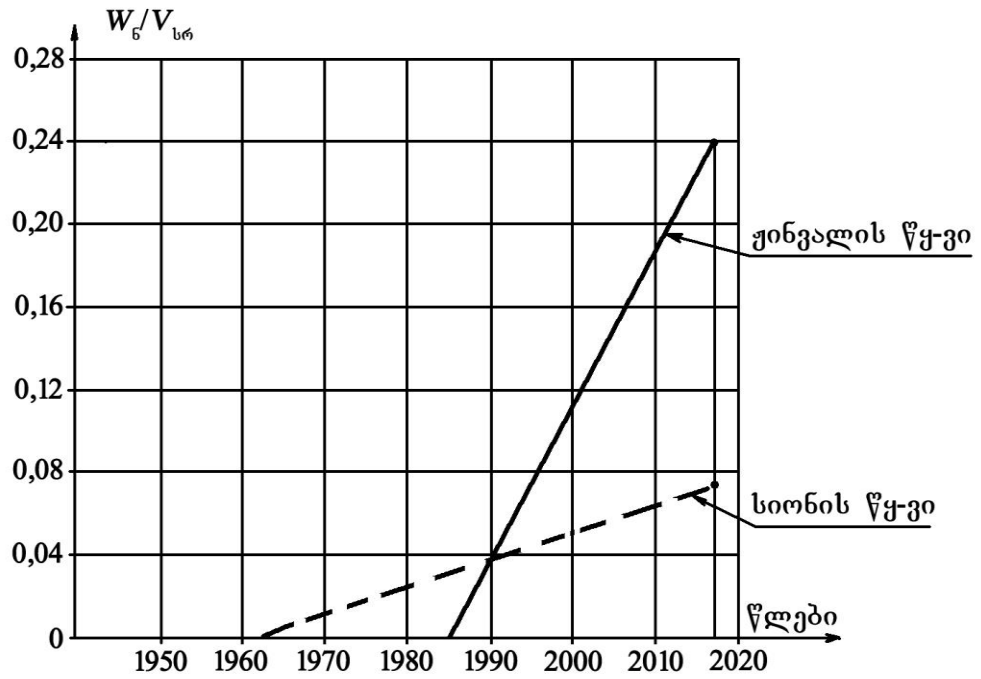
საქართველოს წყალსაცავების რეგიონული თავისებურებები განსაზღვრავს სედიმენტაციური პროცესების ინტენსივობას და დანალექის განაწილებას წყალსაცავების ფსკერზე. ამიტომ საჭიროა სედიმენტაციური პროცესების პროგნოზირება წყალსატევების ტიპიზაციის გათვალისწინებით.

როგორც ჩვენმა კვლევებმა გვიჩვენა, მთის წყალსაცავების ფსკერის დალექვა მიმდინარეობს წყალსაცავების სამი ტიპის მიხედვით. პროგნოზი ტარდება ემპირიული დამოკიდებულებების და მრუდების გამოყენებით (ნახ. 43, 44, 45; ცხრ. 27).

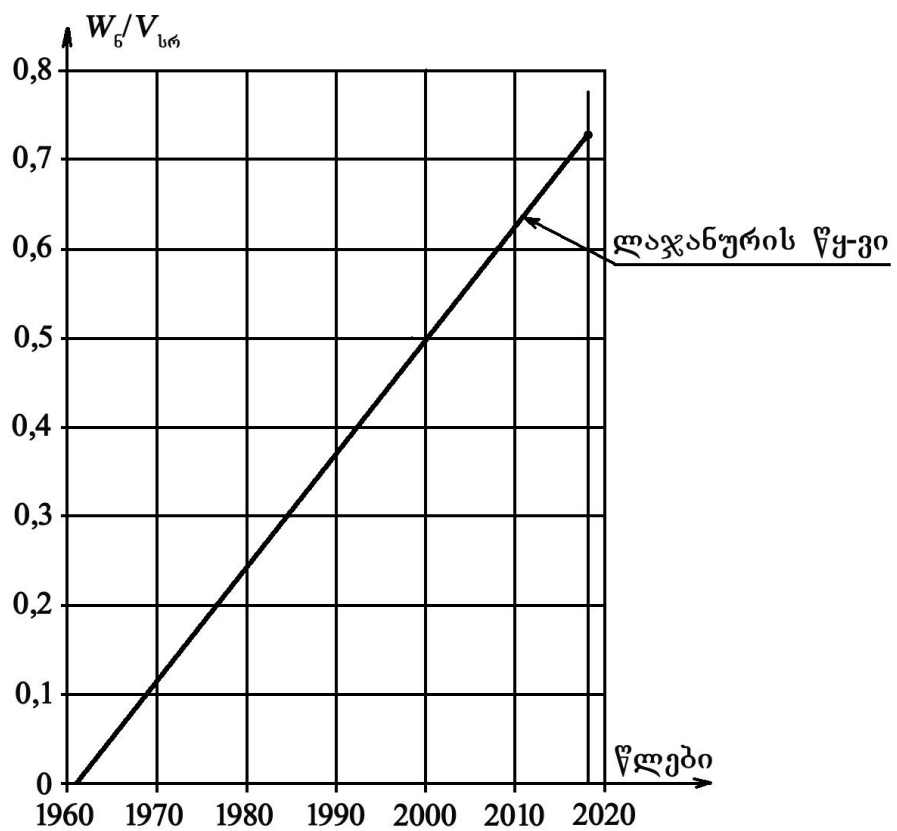
პირველი ტიპის წყალსაცავები – მცირედ დალექვადია. აქ, ძირითადად, ნალექი იძირება წყალსაცავის ყველაზე ღრმა ადგილებში – კაშხალთან. ესენია: ტყიბულის, შაორის, ხრამის და თბილისის წყალსაცავები (ნახ. 43). მეორე ტიპის წყალსაცავები – საშუალოდ დალექვადია. ესენია – სიონის და ჟინვალის წყალსაცავები (ნახ. 44). მესამე ტიპის წყალსაცავი – ინტენსიურად დალექვადი – ლაჯანურის წყალსაცავი (ნახ. 45).



ნახ. 43. საქართველოს პირველი ტიპის წყალსაცავების (ტყიბულის, შაორის, თბილისის, ხრამის) ფსკერის დალექვის შედარებითი გრაფიკები (2019 წლისათვის)



ნახ. 44. საქართველოს მეორე ტიპის წყალსაცავების (ჭინვალის, სიონის) ფსკერის დაღეკვის შედარებითი გრაფიკები (2019 წლისათვის)

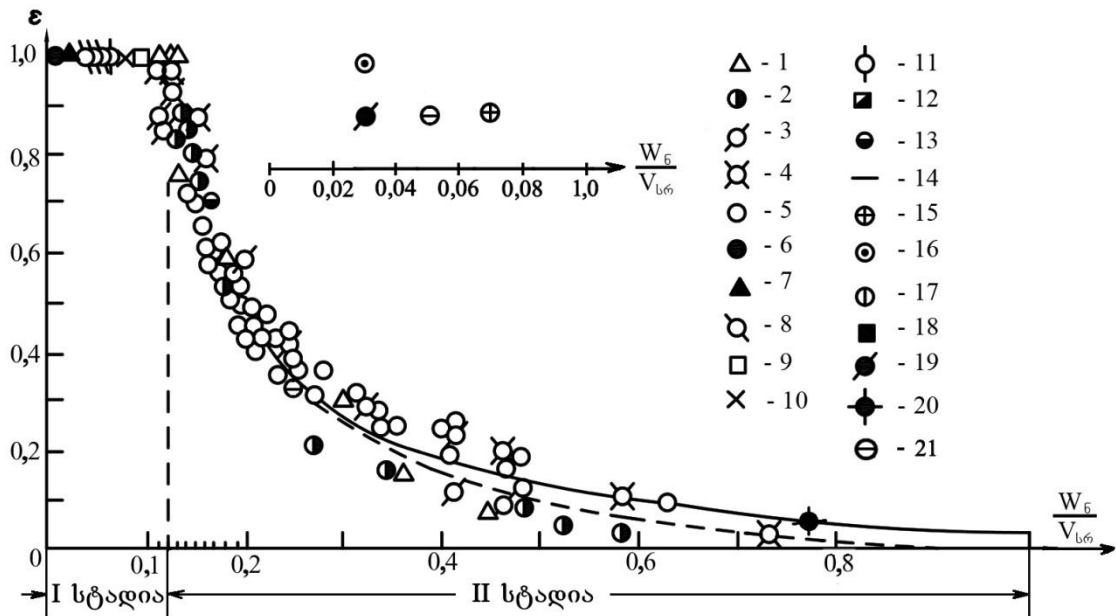


ნახ. 45. საქართველოს მესამე ტიპის წყალსაცავის – ლაჯანურის ფსკერის დაღეკვის გრაფიკი (2019 წლისათვის)

საქართველოს წყალსაცავების ფსკერის დაღეკვის ძირითადი მაჩვენებლები (2019 წლისათვის)

№	წყალსაცავის დასახელება	ექსპლუატაციაში შესვლის წელი	წყალსაცავის სრული მოცულობა (V _{სრ}), მლნ მ ³	წყალსაცავის მკვდარი მოცულობა (V _{მკვდ}), მლნ მ ³	წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობა (V _{სარგ}), მლნ მ ³	V _{სრ} /F, კმ	კაშხლის სიმაღლე, მ	კაშხლის ტიპი	წყალსაცავის წმდ ნიშნული, მ	წყალსაცავის სიგრძე (L) და სიგანე (B), კმ	წყალსაცავის მაქსიმალური სიღრმე, H, მ	წყალსაცავის სარკის ფართობი წმდ-ზე, კმ ²	ნატანის დაგროვება საშუალოდ წელიწადში, W _{წ/წ} , მლნ მ ³ /წელიწადში	ნატანის დანალექების მოცულობა 2019 წლისათვის . W _წ , მლნ მ ³	W _წ /V _{სრ}	დანალექის სიმაღლე კაშხალთან, მ	წყალსაცავის ტიპი დაღეკვის მიხედვით	დანალექების დაგროვების მოცულობა პროგნოსტიკული განტოლებებით, საანგარიშო (ტ) წლისათვის, მლნ მ ³	დაღეკვის სტადია
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	ხრამის	1947	312,0	20,0	292,0	9,17	32,0	ქვაყრილის	1512,0	14,0/3,5	25,0	34,0	0,092	6,5	0,021	7,0	I	N1 0,092(t-1947)	პირველი, W _წ /V _{სრ} < 0,12
2	თბილისის	1956	215,0	60,0	155,0	26,10	9,0 15,0 10,0 12,0	2 - ბეტონის 2 - მიწის	548,0	9,0/2,0	45,0	11,8	0,18	8,0	0,03	4,3	I	N2 3,23+0,18(t-1970)	პირველი, W _წ /V _{სრ} < 0,12
3	შაორის	1955	90,0	3,0	87,0	5,17	14,0	ქვაყრილის	1132,0	7,5/3,0	12,3	13,2	0,05	3,0	0,033	2,5	I	N3 0,05(t-1955)	პირველი, W _წ /V _{სრ} < 0,12
4	ჟინვალის	1985	520,0	150,0	370,0	45,20	102,0	ქვა-მიწის	810,0	12,0/1,0	98,0	11,52	8,1	125,0	0,21	23,0	II	N4 65+8,1(t-2010)	მეორე, W _წ /V _{სრ} > 0,12
5	სიონის	1963	325,0	25,0	300,0	28,50	86,0	მიწის	1068,0	11,5/2,0	68,0	11,4	0,45	25,0	0,08	20,0	II	N5 0,45(t-1963)	მეორე, W _წ /V _{სრ} > 0,12
6	ლაჯანურის	1961	24,6	7,0	17,6	17,1	70,0	ბეტონის	494,0	3,2/0,45	67,8	1,4	0,32	18,0	0,73	45,0	III	N6 0,32(t-1961)	მესამე, W _წ /V _{სრ} > 0,12
7	ტყიბულის	1956	84,0	22,0	61,0	7,3	36,0	მიწის	522,5	6,0/3,7	32,0	11,5	0,063	3,91	0,047	14,0	I	N7 0,063(t-1956)	პირველი, W _წ /V _{სრ} < 0,12

რუსეთის, აშშ-ს, უზბეკეთისა და საქართველოს მთის წყალსაცავებზე ჩატარებული კვლევების თანახმად, წყალსაცავის „ამღვრევის“¹⁾ ცვლილების ხარისხი შეიძლება გაიყოს ორ სტადიად (ნახ. 46).



ნახ. 46. მთის წყალსაცავების დალექვის პროცესის არსებული და საქართველოს წყალსაცავების კვლევების ანალიზის გრაფიკი პირველ და მეორე სტადიაში
 1 – ფარხადის ბიეფი, 1949 წ.; 2 – იგივე, 1951 წ.; 3 – იგივე, 1952 წ.; 4 – ხიშრაუსის ბიეფი, 1958 წ.; 5 – ლაბორატორიული მონაცემები; 6 – ყარა-ყუმის წყალსაცავი; 7 – ტაშკერპრინის წყალსაცავი (1939-1961 წ.წ.); 8 – ტეჯენის წყალსაცავი (1950-1959 წ.წ.); 9 – ბოზ-სუსის ბიეფი; 10 – ლაბორატორიული ბიეფი №1; 11 – ოსტინის წყალსაცავი (აშშ); 12 – ბოსენი (აშშ); 13 – უჩკურგანის ჰესის ბიეფი; 14 – ფორმულა (I.4); 15 – სიონის წყალსაცავი (2018 წ.); 16 – თბილისის წყალსაცავი, 2018 წ.; 17 – ჟინვალის წყალსაცავი (2018 წ.); 18 – ხრამის წყალსაცავი (2018 წ.); 19 – შაორის წყალსაცავი (2018 წ.); 20 – ლაჯანურის წყალსაცავი (2018 წ.); 21 – ტყიბულის წყალსაცავი (2018 წ.)

პირველ სტადიაში „ამღვრევის“ ხარისხი მუდმივი რჩება და 1-ის ტოლია ($\epsilon = W_{\text{საანგ.}}/W_6 = 1$); მეორე სტადიაში, იმის მიხედვით, თუ როგორ იზრდება $W_6/V_{\text{სრ.}}$, „ამღვრევის“ ხარისხი მცირდება 1-დან 0-მდე. თუ არ გავითვალისწინებთ ჩარეცხვებს ზედა ბიეფიდან, მაშინ პირველ სტადიაში ხდება ნატანის სრული დალექვა, ე.ი. $\epsilon = 1$. მეორე სტადიაში გადასვლისას

¹⁾ ტერმინი „ამღვრევა“, ჩვენი აზრით, უფრო შეესაბამება განსახილველ მოვლენას, ვიდრე ტერმინი „გაღიაება“ (осветление), რომელიც მიღებულია რიგი მკვლევარების მიერ.

იწყება შეტივტივებული ნატანის ქვედა ბიეფში გამოტანა. ნატანის დალექვის პირველი სტადიიდან მეორე სტადიაში გადასვლის მაჩვენებელია (ნახ. 46):

$$W_6 / V_{br} \leq 0,12$$

ანუ $V_{br} \geq 8,22W_6$,

მაშინ, წყალსაცავის დალექვის პერიოდი პირველი სტადიის განმავლობაში იქნება:

$$t = V_{br} / Q_6,$$

სადაც Q_6 – ნატანის საშუალო წლიური ხარჯია.

წყალსაცავის დალექვის მეორე (კრიტიკულ) სტადიაში „ამღვრევის“ ხარისხის (ε) ცვლილება შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$\varepsilon = 0,041(W_{საანგ} / W_6)^{1,5}$$

რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 46-ზე უწყვეტი წირით.

მეორე სტადიის დალექვის პერიოდი (t'') იქნება:

$$t'' = \frac{48,8W_{\sigma}^{1,5}}{Q_{\sigma}} \left(\frac{1}{\sqrt{W'_{\sigma} - W''_{\sigma}}} - \frac{1}{\sqrt{W'_{\sigma}}} \right).$$

შესაბამისად, დანალექის მოცულობა იქნება:

$$W''_{\sigma} = W'_{\sigma} - \frac{1}{\left(\frac{tQ_{\sigma}}{48,8W_{საანგ}^{1,5}} + \frac{1}{W'_{\sigma}} \right)}.$$

ჩვენი კვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ ხრამის, თბილისის, ტყიბულის, შაორის წყალსაცავები ჯერ დალექვის პირველ სტადიაშია, ჟინვალის და სიონის წყალსაცავები – დალექვის მეორე სტადიაშია, ხოლო ლაჯანურის წყალსაცავი უკვე მესამე სტადიაშია (ცხრ. 27; ნახ. 46).

თავი VII. საქართველოს წყალსაცავების

აბრაზიული¹⁾ ნაპირების კვლევები

საქართველოს წყალსაცავების (ჟინვალის, სიონის, თბილისის, ხრამის, შაორის, ლაჯანურის და ტყიბულის) ნაპირების აბრაზიული პროცესების დინამიკის და პროგნოზირების კვლევების ჩვენი ძირითადი შედეგები მოყვანილია შრომებში [44, 45].

VII.1. ჟინვალის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები

მთის წყალსაცავების ნაპირების ფორმირების პროცესები იწყება წყალსაცავების შევსებიდან. წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავება შედის ათ ყველაზე საშიშ ტექნობუნებრივ პროცესში. წყალსაცავის ნაპირების ფორმირების ზონაშია სანაპირო ტერიტორიებისა და ნაგებობების დაკარგვა. წყალსაცავების აბრაზიული პროცესების გაანგარიშებისას საჭიროა ნაპირების გარეცხვის ზედა და ქვედა საზღვრების, დახრამვის სიმაღლის, დახრილობის და სიგანის დადგენა.

კვლევების საფუძველზე გამოვლინდა, რომ: მთის წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავების ძირითადი მოქმედი ფაქტორებია – ქარ-ტალღური რეჟიმი, დონის დამუშავება, სანაპირო ზონის კონფიგურაცია, ფერდობის დახრილობა და გრუნტების ტიპი. ნაპირების გადამუშავების გამოკვლევა განხორციელდა ნაპირების ყველა კონკრეტული უბნისათვის.

VII.1.1. ჟინვალის წყალსაცავის ნაპირზე განვითარებული

აბრაზიული პროცესები

მდ. არაგვის შუა ნაწილი, სადაც შექმნილია ჟინვალის წყალსაცავი – მესტია-თიანეთის ნაკვეთის სისტემას ეკუთვნის, გეოლოგიური შემადგენლობა მეზოზოის და კაინოზოის დანალექებია. აქ ფერდობებზე დელუვიული-პროლუვიული დანალექებია, ხოლო ცალკეულ ციცაბო მონაკვეთებზე – მეოთხეული დანალექები არ არსებობს. მდ. ფშავის-არაგვის და არაგვის ზედა ნაწილი ცარცული და ეოცენის პერიოდის დანალექებით ხასიათდება.

¹⁾ აბრაზია [ლათ. abrasio] – მოფხვკა, ნაპირების ტალღებით გარეცხვის პროცესი

მეოთხეული პერიოდის დანალექები სუსტადაა გავრცელებული. ფერდობებზე ფლიშური ფაციებია გავრცელებული: მერგელი, თიხოვანი, ფიქალე-ბი, არგილიტები და კონგლომერატი. საველე-საექსპედიციო კვლევების შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ **ჟინვალის წყალსაცავის პერიმეტრის აბრაზიული პროცესების კვლევების შედეგად გამოყოფილია ექვსი სენსიტიური მონაკვეთი (ნახ. 47):**

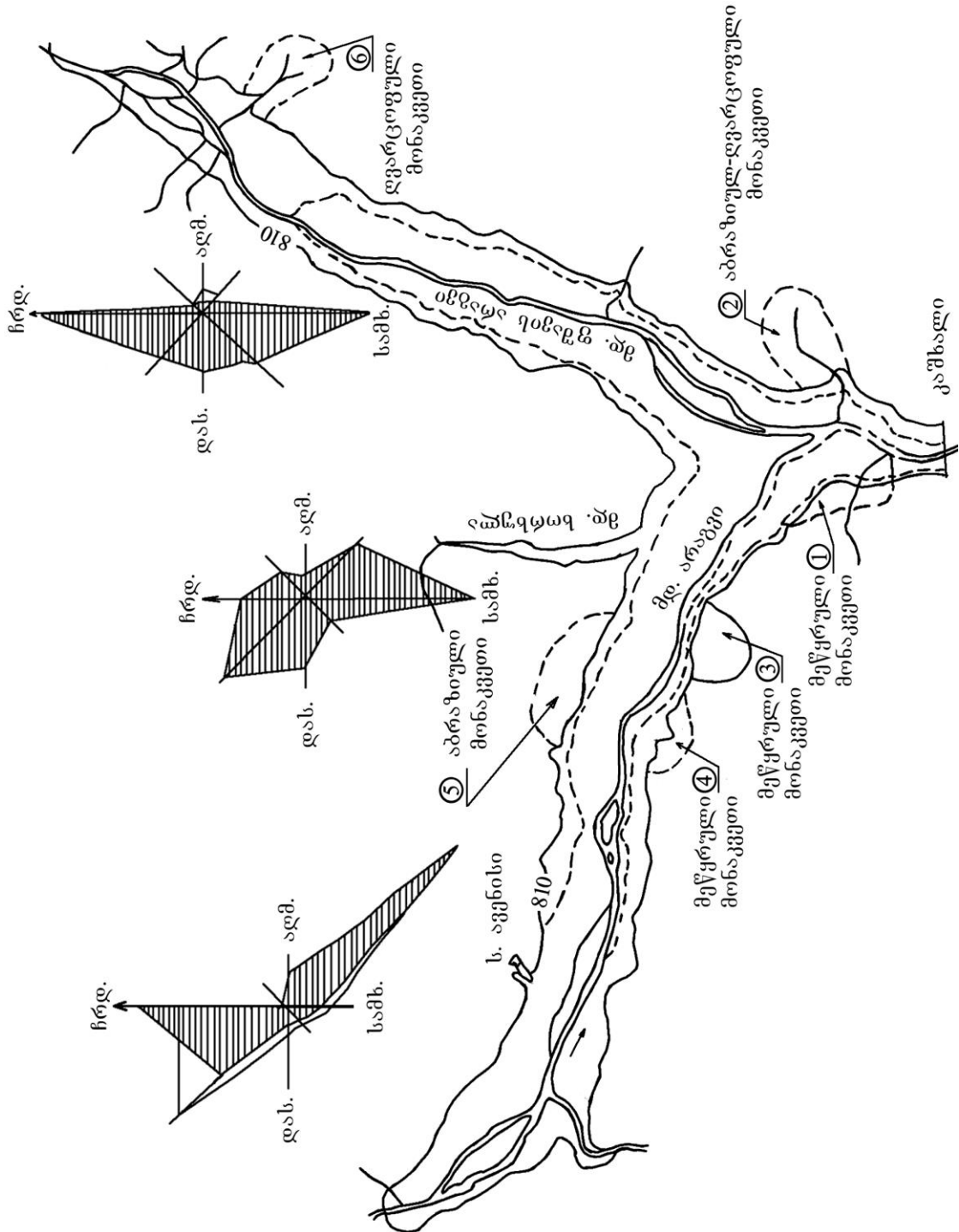
1. **მეწყერული მონაკვეთი** – განლაგებულია მდ. არაგვის მარჯვენა ნაპირზე, კაშხლის მიმდებარე ზონაში, სადაც მოქმედებს ჩრდილო-აღმოსავლეთის მიმართულების ქარები (იხ. დანართი).
2. **აბრაზიულ-ღვარცოფული მონაკვეთი** – განლაგებულია მდ. ფშავის-არაგვის მარცხენა ნაპირზე, კაშხლის მიმდებარე ზონაში;
3. **მეწყერული მონაკვეთი** – განლაგებულია მდ. არაგვის მარჯვენა ნაპირზე, სადაც მოქმედებს სამხრეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულების ქარები;
4. **მეწყერული მონაკვეთი** – განლაგებულია მდ. არაგვის მარჯვენა ნაპირზე, სოფ. ანანურის ქვემოთ, სადაც მოქმედებს სამხრეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულების ქარები;
5. **აბრაზიული მონაკვეთი** – განლაგებულია მდ. არაგვის მარცხენა ნაპირზე;
6. **ღვარცოფული მონაკვეთი** – განლაგებულია მდ. ფშავის-არაგვის მარცხენა ნაპირზე.

წყალსაცავის მარჯვენა ნაპირთან შეტბორვის გამო იძირება დაცლილი შენობები (იხ. დანართი). წყალსაცავის ზედა ნაწილში (მარჯვენა ნაპირთან) დალექილია ნალექი და ნაპირთან სულ რაღაც 15,0÷20,0 მ-ში აშენებულია აგარაკები, რომლებიც დროთა განმავლობაში აუცილებლად დაიტბორება.

როგორც ჩანს, ამ მონაკვეთზე წყალდამცავი ზონები სრულიად დაუცველია, რამაც უკვე გამოიწვია შენობების ჩაძირვა, ხოლო საყოფაცხოვრებო ნარჩენები – მთლიანად ეშვება წყალსაცავში.

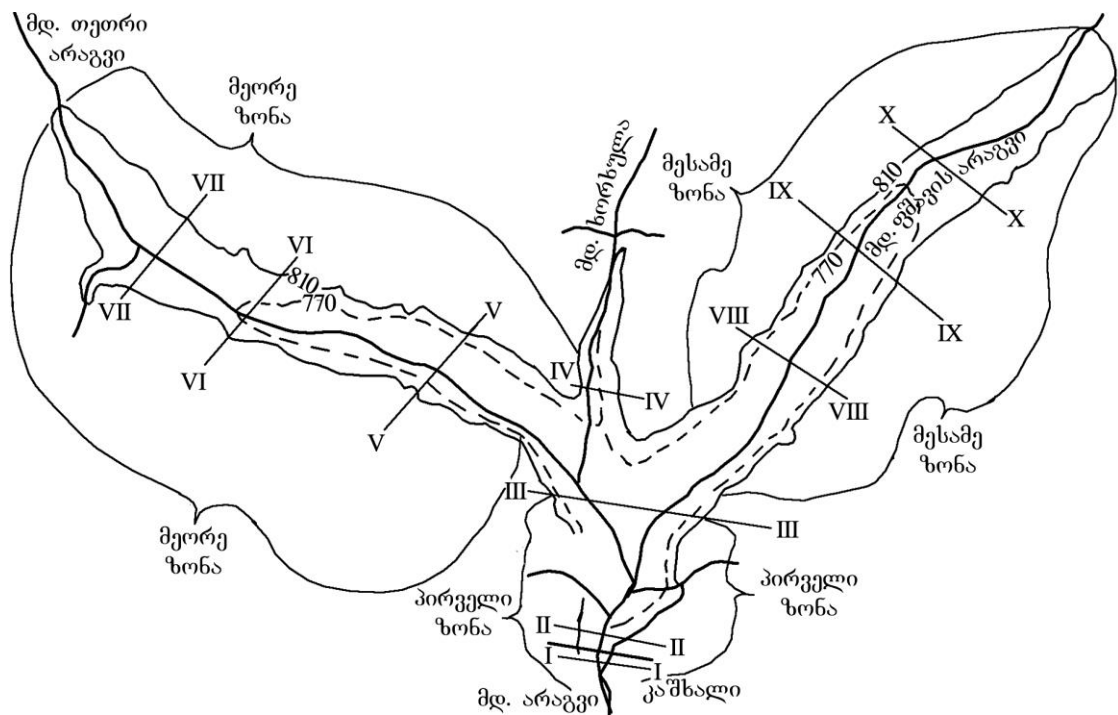
გეოლოგიურ-ჰიდროლოგიური მახასიათებლების მიხედვით წყალსაცავის რაიონი დაყოფილია სამ ზონად (ნახ. 48): **პირველი ზონა** –

მდ. არაგვის, ფშავის-არაგვის და ხორხეს შეერთების ადგილიდან კაშხლის კვეთამდე; მეორე ზონა – ხეობური ზონა მდ. არაგვის, ფშავის არაგვის და ხორხეს შეერთების ადგილიდან – მდ. არაგვის შეტბორვის მრუდამდე; მესამე ზონა – მდ. ფშავის არაგვის, ხორხულას და არაგვის შეერთებიდან – მდ. ხორხულას შეერთების მრუდამდე.



ნახ. 47. ქინვალის წყალსაცავის პერიმეტრზე აბრაზიულ-დვარცოფული მონაკვეთების სქემა (ქარის ვარდის დატანით)

პირველ ზონაში – მარჯვენა მონაკვეთის მეწყერულ ფერდობებზე – მოქმედებს, ძირითადად, აღმოსავლეთის 1-2%-იანი უზრუნველყოფის ქარები, ამიტომ ის მცირედ გარეცხვადია; მარცხენა მონაკვეთის ფერდობზე მოქმედებს ჩრდილო-დასავლეთის 12-15%-იანი უზრუნველყოფის ქარები. **მეორე ზონა** – მდ. არაგვის ხეობაში მარჯვენა მეწყერული მუდმივად შეტბორილი მონაკვეთია; მარჯვენა აბრაზიული მუდმივად შეტბორილი მონაკვეთი, რომელზეც მოქმედებს, ძირითადად, სამხრეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის 40-45%-იანი უზრუნველყოფის ქარები; **მესამე ზონა** – მდ. ფშავის არაგვის ხეობაში მარცხენა და მარჯვენა მუდმივად შეტბორილი მონაკვეთია.

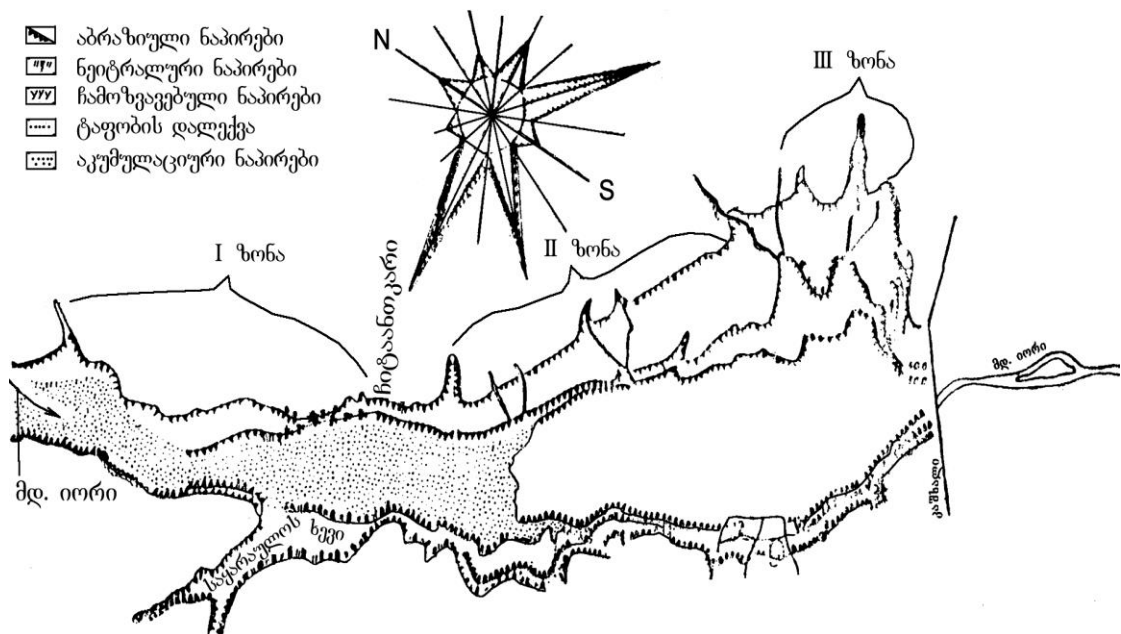


ნახ. 48. ჟინვალის წყალსაცავზე განივი კვეთების გეგმის სქემა გეოლოგიურ-ჰიდროლოგიური ზონების მიხედვით

VII.2. სიონის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები

სიონის წყალსაცავზე ჩატარებული ნაპირების აბრაზიული პროცესების კვლევები გვიჩვენებს, რომ ნაპირების მონოტონური და უწყვეტი გადამუშავების პროცესი გრძელდება ექსპლუატაციის დაწყებიდან (ნახ. 49). სიონის წყალსაცავის პერიმეტრი აბრაზიული პროცესების მიხედვით

შეიძლება დავყოთ სამ ზონად: პირველი ზონის ზედა ნაწილი (სოფ. მაჭალოლანიდან – სოფ. ჯიხომდე) – ვიწრო ხეობაა ციცაბო ნაპირებით, რომელიც ძირითადი ქანებისაგან შედგება, სანაპირო ზონის ცვლილება უმნიშვნელოა; მეორე ზონის გაფართოებული შუა ნაწილის მარჯვენა ნაპირი უფრო დამრეცია, დაფარულია დელუვიის ფენით (6,0÷12,0 მ), რომლის ქვეშ სარმატის კონგლომერატებია. ფერდობების დამრეცობამ, ფერდობის ექსპოზიციამ ქარების მიმართულებასთან, განაპირობა აბრაზიის განვითარება ღრმულების წარმოქმნით. საფარი ფენა გარეცხილია დიდ სიღრმეზე. მარცხენა ნაპირი მთელ სიმაღლეზე აგებულია ძველი მეოთხეული თიხოვანი კონგლომერატებით, გამკვრივებულია და გამიშვლებულია ტერასებით მთელ სიმაღლეზე. ციცაბო ფერდობებმა და თიხოვანმა გრუნტებმა აქ განაპირობა ზვავსაშიში მოვლენების არსებობა წყლის დონის დაწვევისას. მესამე ზონის წყალღრმა ზონა ასიმეტრულია. მარჯვენა ფერდობი ადრე დაფარული იყო 10,0÷15,0 მ-ის სიმძლავრის დელუვიებით, წარმოდგენილი თიხოვანი და კაჭარი შემადგენლობის კონგლომერატებით. ფერდობის დაქანებამ და მისმა ექსპოზიციამ განაპირობა აბრაზიის ინტენსიური განვითარება. ზედა ფენა თითქმის მთლიანად გამორეცხილია.



ნახ. 49. სიონის წყალსაცავის ნაპირების აბრაზიული პროცესების განვითარება (I, II, III) ზონების მიხედვით

ფსკერის სხვადასხვა ნაწილში გვხვდება მეწყრული ხასიათის მოვლენები, რომელთა დიდი ნაწილი (წყალსაცავის ბოლო ნაწილში და მარჯვენა ნაპირის ცალკეულ უბნებზე) გამოწვეულია, ძირითადად, მდინარის მიერ დელუვიალური დანალექების წარეცხვით. გამოკვლევების შედეგებმა საშუალება მოგვცა შეგვესრულებინა სანაპირო ფერდობების ტიპიზაცია და მიგველო მთელი რიგი რაოდენობრივი მაჩვენებლები.

სიონის წყალსაცავის სანაპირო ზონის ფორმირებისას განვითარდა აბრაზიული, აკუმულაციური, ნეიტრალური და დაჭაობებული ნაპირები (ნახ. 49).

I – აბრაზიული ტიპის ნაპირები იყოფა 4 ქვეტიპად: 1) დენუდაციურ-აბრაზიული – რომელზეც ძირითადი ქანები დაფარულია მცირე სიმძლავრის (0,3-0,5 მ) დელუვიებით და წარეცხილია ექსპლუატაციის პირველივე წელს. წარეცხვას ექვემდებარება კონგლომერატების და თიხების ზედა ფენები, 20,0÷40,0 სმ-ის სიმძლავრის, აბრაზია მიმდინარეობს საკმაოდ ნელა, წამყვანი პროცესი გამოფიტვას, ნგრევის პროდუქტები ღელვის შედეგად გადაადგილდება წყალქვეშა ფერდობის ქვედა მონაკვეთზე (დახრილობა 23÷25°). აბრაზიულ-წარეცხილი ნაპირები – პროცესის ინტენსიურობის მიხედვით იყოფა ზედაპირულ, სუსტად, საშუალო და ძლიერ წარეცხილ ნაპირებად. ზედაპირულად წარეცხილ ნაპირებზე არ წარმოიქმნება წანარეცხის საფეხურები. სუსტად წანარეცხ ნაპირებზე – (ძირითადად, სოფ. კუპრიაანთ-კარი და სიონი) – კონცხის სათავეში – ნაპირები ძლიერ დასერილია, რაც ზრდის წარეცხვის ინტენსივობას. საშუალოდ და ძლიერ წარეცხილი ნაპირები, აგებული მეოთხეული კონგლომერატებით (მდ. იორის II და III ტერასა – კაჭარ-კენჭოვანი დანალექები ქვიშის შემავსებლით), დელუვიალური თიხნარით და კონგლომერატების დაშლის პროდუქტებით – კირქვით და ქვიშაქვით. ზვავ-შვავური ნაპირები განვითარებულია მაღალ, დამრეც ფერდობებზე, რომლებიც აგებულია ფაშარ-შეკავშირებული დანალექებით და გამოფიტულია ძირითადი ქანებისაგან, წყალსაცავის ზედა ნაწილში, საყარაულოს ხევის შესართავის ზევით, მცირე ლოკალური უბნების სახით, მთელ პერიმეტრზე ფენის სიმძლავრეა 3,0÷9,0 მ, დაცურების

სიჩქარე – $0,3 \pm 0,6$ მ/წელიწადში.

როგორც ცალკე სახეობა, მშრალი ხევის შუა ნაწილში გამოირჩევა რთული კონფიგურაციის უბანი. ვერტიკალური დანალექები საკმაოდ მტკიცეა ცემენტირებული და სიმკვრივის მიხედვით ახლოსაა სარმატულ კონგლომერატებთან. ზვავური ნაპირები – ძირითადად განვითარებულია წყალსაცავის გაფართოებულ ნაწილში, დელუვიალურ დანალექებში. მეწყრებით მოცული ფერდობის განფენილობა ამ უბანზე $350,0 \pm 400,0$ მ-ს აღწევს. მეწყერის დაცურება ხდება ძირითადი თიხნარის ზედაპირზე, გადაადგილების სიჩქარე – $0,3 \pm 0,6$ მ/წელიწადში.

II – აკუმულაციური ნაპირები – პროცესის განვითარების მიხედვით იყოფა 2 ტიპად: 1) ტალღურ-აკუმულაციური – აგებულია ნაპირების დაშლილი მასალისაგან, გვხვდება ფართო ყურეებში, ახასიათებს შეზღუდული განვითარება. 2) ალუვიალურ-აკუმულაციური ტიპის, წარმოდგენილია მდ. იორის შესართავში, დანალექები წარმოქმნილია ლამოვან-ქვიშიანი ნატანების ხარჯზე და ხასიათდება რთული აგებულებით.

III – ნეიტრალური ნაპირები – იყოფა 2 ტიპად: 1) მსხვილი კლდოვანი ტიპის – მდებარეობს ჩრდილო-დასავლეთით (სოფ. საყარაულოს ჩრდილო-ეთით), 300 მ-ის მანძილზე და ჩრდილო-აღმოსავლეთის ფერდობზე (სოფ. ჩიტანთ-კარი), 500 მ-ის სიგრძით; 2) თავთხელი დაბალი ნაპირები – აგებულია მეოთხეული და თანამედროვე დანალექებით, იმ უბნებში სადაც სანაპირო ზოლი თანხვდება ტერასების ზედაპირს და მისი დახრილობა 5° -მდეა.

IV – დაჭაობებული ნაპირები – შეზღუდული გავრცელებისაა, შეიმჩნევა მცირე ქანობის უბნებზე ($1 \pm 1,5^\circ$) წყალსაცავის ქვედა ნაწილში. აღმოსავლეთ ნაპირის დაჭაობება (კაშხალსა და ლოდების-ხევს შორის ქანობი $10 \pm 15^\circ$) გამოწვეულია გრუნტის წყლების შეტბორვით და ზედაპირზე გამოსვლით დატბორვის ნიშნულის ზევით; ნაპირების აღნიშნული ტიპები და მათი გავრცელების რაიონები უკავშირდება მნიშვნელოვანი განმეორებადობის დონეს ($1040,0$ მ). წყალსაცავში წყლის ჰორიზონტის ცვლილებისას ისინი იცვლება. მაგალითად, მარცხენა ნაპირის ნეიტრალური უბნები წყლის დონის დაკლების შემდეგ (ნიშნული $1035,0 \pm 1030,0$ მ) 2 კმ-ის სიგრძეზე

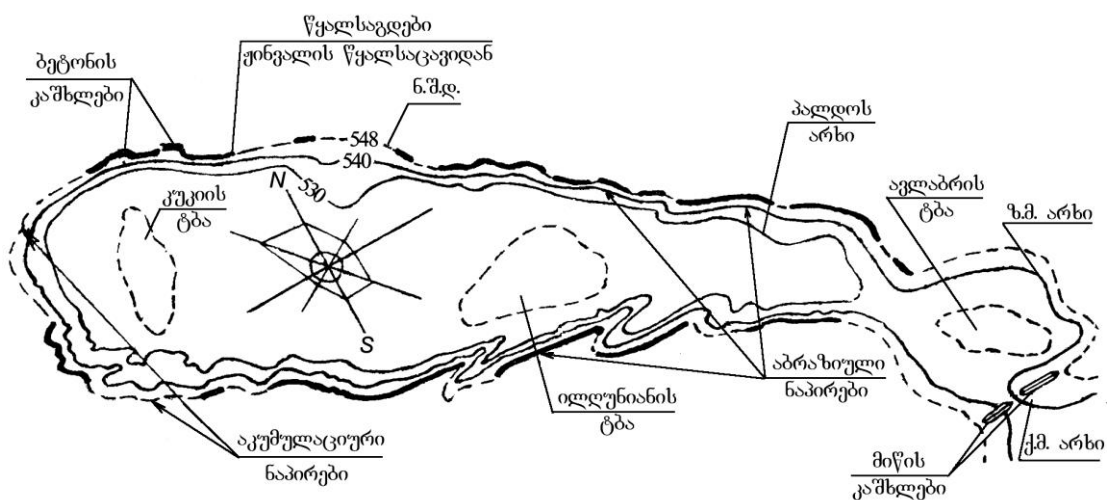
აბრაზიული ხდება, რაც დაკავშირებულია ტერასის ზედაპირიდან კიდის გადანაცვლების საფეხურზე.

VII.3. თბილისის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები

თბილისის წყალსაცავი განეკუთვნება მცირე მთისწინეთის წყალსაცავების ტიპს. მისი ნაპირები, ძირითადად, აბრაზიული ტიპისაა. ნაპირების ფერდობები გასწორებული ფორმისაა, ხოლო ძირითადი ქანების ზედაპირზე გამოსვლის ადგილებში მკვეთრ ფორმასღებულობენ. წყალსაცავის რაიონში განვითარებულია ზედა ნეოცენური ასაკის დანალექი ქანები. ნაპირების გეოლოგიური აგებულება განპირობებულია:

- თანამედროვე დანალექებით – შლამურ-თიხოვანი, დელუვიურ-პროლუვიური და ხრამისეული დანალექებით;
- ძირითადი ქანებით – წარმოდგენილია ქვიშაქვის, ალევროლიტებისა და არგილიტისებური თიხის სახით.

თანამედროვე და ძირითადი წარმოშობის ნაპირები ინტენსიურად იმსხვრევა. ნაპირების ამ თავისებურებების გამო ჩატარდა წყალსაცავის ნაპირების დარაიონება მათი ძირითადი გენეტიკური ტიპების გამოყოფით (ნახ. 50; ცხრ. 28, 29).



ნახ. 50. თბილისის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა

———— აბრაზიული ნაპირები; - - - - აკუმულაციური ნაპირები

თბილისის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება († 545.0 მ-ზე)

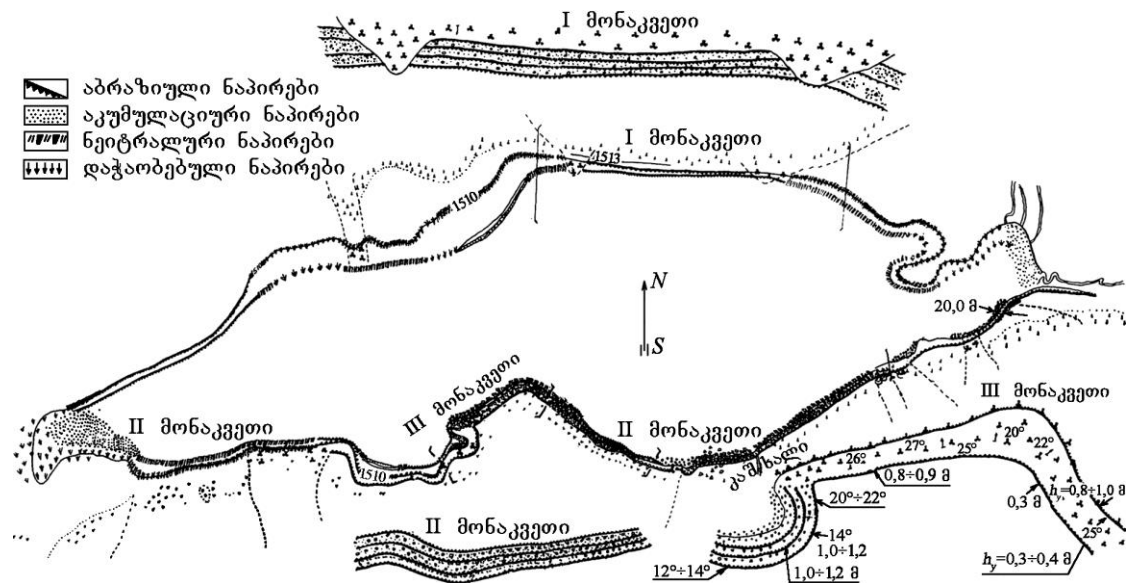
ნაპირების გენეტიკური ტიპები	სიგრძე, კმ	ნაპირების სახეობა	თანამედროვე გეოლოგიური პროცესები	ლითოლოგია	ფერდობის საშუალო დახრილობა	გადამუშავების სიმძლავრე, მ	ნაპირების ადგილმდებარეობა
1	2	3	4	5	6	7	8
I აბრაზიული	19,8 (83%)				-		
დენუდაციურ-აბრაზიული	1,0 (4,2%)	ა) სუსტად გადამუშავებული	გამოფიტვა	არკოზული, მკვრივი, ქვიშაქვა	30-65°	-	სამხრეთ-აღმოს. ნაპირი ავლაბრის ტბამდე
(გასწორებული)	4,51 (18,9%)	ბ) ძლიერ გადამუშავებული	გამოფიტვა-აბრაზია	ქვიშაქვა ალევროლიტები, თიხა	10-20°	1-3	სამხ.-აღმოსავლეთის და სამხ.-დას. ნაპირი
აბრაზიული	6,37 (26,7%)	ა) სუსტად გარეცხილი	აბრაზია	ს.შ. თიხნარი	5-6°	0,2-0,3	ავლაბრის ტბასთან
	1,83 (7,7%)	ბ) საშუალოდ გარეცხილი	აბრაზია	მძიმე თიხნარი ქვიშაქვა,	6-11°	0,5-2,0	სამხ.- აღმ. I მონაკვეთი
	3,13 (13,3%)	გ) ძლიერ გადამუშავებული	აბრაზია	ალევროლიტები, თიხა	10-16°	2-4	ჩრდ.-აღმოს. ნაპირი
ჩამოზვავება ჩამოშვავება	2,91 (12,2%)	-	შვავი აბრაზია	ქვიშაქვა	25-50°	1-2	ჩრდ.-დასავლ. და სამხრეთის ნაპირები
II აკუმულაციური	0,8(3,3%)	მეჩეჩი	აკუმულაცია	ხრემოვანი ქვიშაქვა	1-5°	0,3	ლოკალური მონაკვეთები ყურეს სათავეებში
III ნეიტრალური	3,3(13,7%)	დაბალი გამრეცხი	-	ხრამის ალუვიუმი	1-5°	-	მდ. კვინის-ხევის და ავლაბრის ტბასთან

თბილისის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების კრებსითი მაჩვენებლები

ნაპირის ტიპი	სიგრძე, კმ (± 545,0 მ)
ნაპირის საერთო სიგრძე, კმ	23,9
I. აბრაზიული, კმ	19,8
II. აკუმულაციური, კმ	0,8
III. ნეიტრალური, კმ	3,3

VII.4. ხრამის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები

ხრამის წყალსაცავის პერიმეტრზე გამოყოფილია ოთხი (4) ძირითადი მონაკვეთი (ნახ. 51): I – აბრაზიული ნაპირები, რომლებიც წარმოდგენილია კლდოვანი და ბმული ქანებით; II – აკუმულაციური ნაპირები, რომლებიც წარმოდგენილია ტალღურ-აკუმულაციური ტიპის ნაპირებით; III – ნეიტრალური ნაპირები; IV – დაჭაობებული (ან ლაგუნის ტიპის) ნაპირები.



ნახ. 51. ხრამის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა

სხვადასხვა გენეტიკური ტიპების ნაპირების სიგრძის მაჩვენებლები მოყვანილია ცხრილებში 30, 31.

ხრამის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება († 1506,0 მ-ზე)

იდექი	ნაპირის გენეტიკური ტიპები	სიგრძე, კმ	ნაპირების სახეობა	თანამედროვე გეოლოგიური პროცესები	ლითოლოგია	ნაპირის საშუალო დახრილობა	ნაპირის გადამუშავების სიმძლავრე, მ	მონაკვეთის ადგილმდებარეობა	
I	აბრაზიული	14,5 (52%)							
	აბრაზიული კლდოვანი	0,7 (2,6%)	სუსტად გადამუშავებული	აბრაზია	დოლერიტები	5°-10°	0,2-0,3	სამხ.აღმ.; ს. წინწყაროს ზემოთ	
		1,5(5,4%)	საშუალოდ გადამუშავებული	—	ანდეზიტო-ბაზალტი	10°-15°	0,2-0,3	სამხრ. – დას.	
		1,2(4,3%)	ძლიერ გადამუშავებული	—	დოლერიტები	20-30°	5,0-6,0	კაშხლის მიმდებარე	
	აბრაზიული ბმული		1,2(4,3%)	ზედაპირულად ჩამორეცხილი	ჩამორეცხილი	ქვიშნარი	5°-9°	0,1-0,2	სამხრ.-დას.; ჩრდ
			2,0(7,2%)	სუსტად წარეცხვადი	აბრაზია	თიხნარი, ალუვიონი	10°-16°	0,3-0,5	სამხრ.-დას.; ჩრდ
			2,8(10,0%)	საშუალოდ წარეცხვადი	—	—	18°-25°	0,5-3,0	სამხრ.; ჩრდ -დას.
			3,2(11,5%)	ინტენსიურად წარეცხვადი	—	—	60°-80°	3,0-12,0	სამხრ. –აღმ.
	ზვავური, ფლატისებური	1,0(3,5%)	მაღალი დახრამული	ზვავი, ხრამები, აბრაზიული	ბმული თიხნარი	60°-70°	2,5-5,0	სამხრ. –აღმ.	
	მეწყერული	0,9(3,2%)	ტერასირებული	მეწყერი, აბრაზია	დელუვიალური თიხნარი	36°-45°	1,0-3,0	სამხრ. –აღმ.	
II	აკუმულაციური	3,4(12,0%)							
	ტალღურ-აკუმულაციური	0,40(1,5%)	პლაჟის ტიპის	აკუმულაცია	ხრეში, კენჭი	2,0°-4,0°	0,5-0,7	სამხრ. – დას; სამხრ.	
	ალუვიურ-აკუმულაციური	3,0(10,5%)	ლამი	აკუმულაცია	ალუვიური ნალექი	<2°	0,6-0,8	მდინარეების შესართავები	
	ლაგუნის ტიპი	2,8(10%)	დამრეცი	—	ნატანის დანალექი	<2°	—	სამხრ. – დას; ჩრდ.	
III	ნეიტრალური	6,0(21%)	რიყისებური		თიხნარები, ქვიშა	2°-5°	—	სამხრ.-დას; ჩრდ.- აღმ.	
IV	დაჭაობებული	1,6(5%)	დაბალი		თიხნარი, ლამი	1°	—	ჩრდ. – აღმ.	

**ხრამის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების
კრებსითი მონაცემები**

ნაპირის სიგრძე, კმ ნაპირის ტიპი	‡ 1512,0 მ დონეზე		‡ 1497,0 მ დონეზე	
	კმ	%	კმ	%
ნაპირის საერთო სიგრძე	31,0	100,0	28,0	100,0
I. აბრაზიული	15,8	51,0	14,2	51,0
II. აკუმულაციური	1,2	3,8	3,4	12,0
III. ნეიტრალური	7,0	22,6	6,0	21,5
IV. ლაგუნისებური	–	–	1,6	5,5
ან დაჭაობებული	7,0	22,6	2,8	10,0

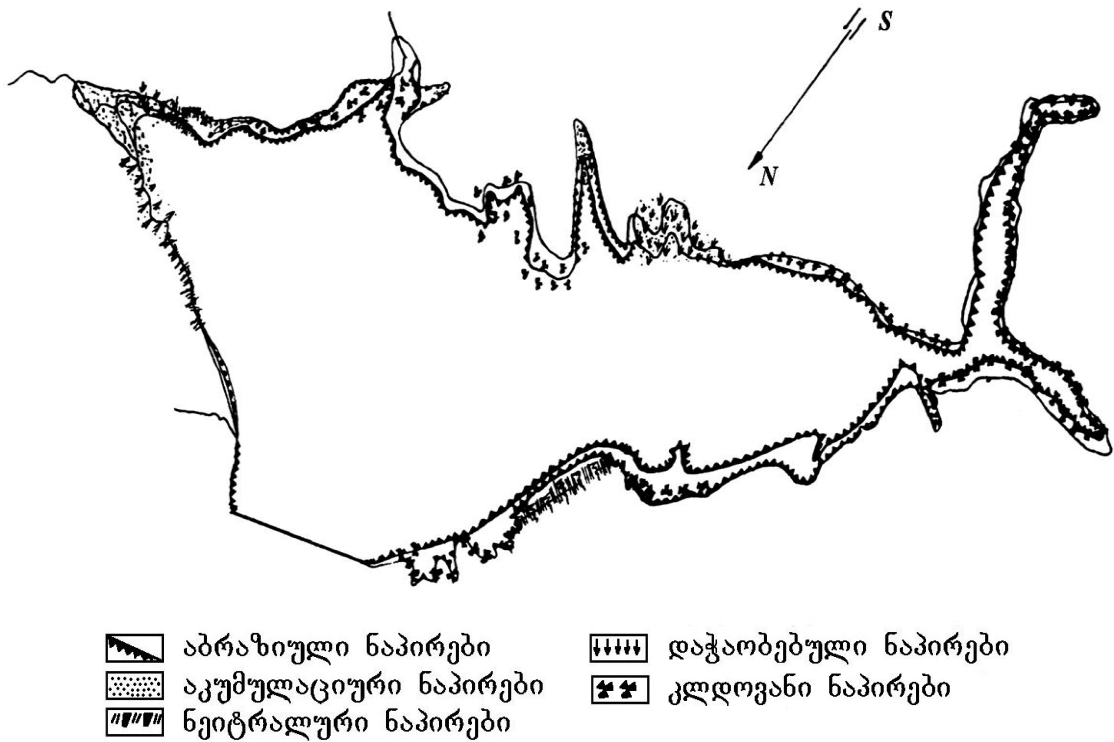
ჩატარებული საველე სამუშაოების საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ:

1. ხრამის წყალსაცავის ნაპირები, ძირითადად, აბრაზიული ტიპისაა, რომლებიც ტალღების ზემოქმედებითაა გამოწვეული;
2. ქარის რეჟიმი გამოირჩევა სიმძლავრის და მიმართულების დიდი ცვალებადობით;
3. ძირითადი ქანებისგან შედგენილი ნაპირების ფორმირების ფაქტორებია გამოფიტვა და ყინვით გამოწვეული აბრაზია.
4. დაჭაობებული ნაპირების აბრაზია გამოწვეულია ქანების წყალთან ურთიერთქმედებით და ჯდენით.
5. აბრაზიული პროცესების სიჩქარე საკმაოდ დაბალია.

VII.5. შაორის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები

შაორის წყალსაცავის ტერიტორიაზე კლიმატური პირობები, ფერდობების გეოლოგიური შემადგენლობა და ტექტონიკური გარღვევები განაპირობებს კარსტული მოვლენების წარმოქმნას – თაბაშირი, ქვა, ქვამარილი და სხვ. შაორის წყალსაცავის პერიმეტრზე გვხვდება ნაპირების ყველა

გენეტიკური ტიპი (ნახ. 52, ცხრ. 32, 33): I – აბრაზიული ნაპირები, რომლებიც წარმოდგენილია თიხნარის, კენჭოვანი, ხრეშოვანი და გლაუკონიტური კირქვიშები კარსტული ქანებით; II – აკუმულაციური; III – ნეიტრალური და IV – დაჭაობებული ნაპირები.



ნახ. 52. შაორის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა

ცხრილი 32

შაორის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების კრებსითი მონაცემები (+ 1132,0 მ)

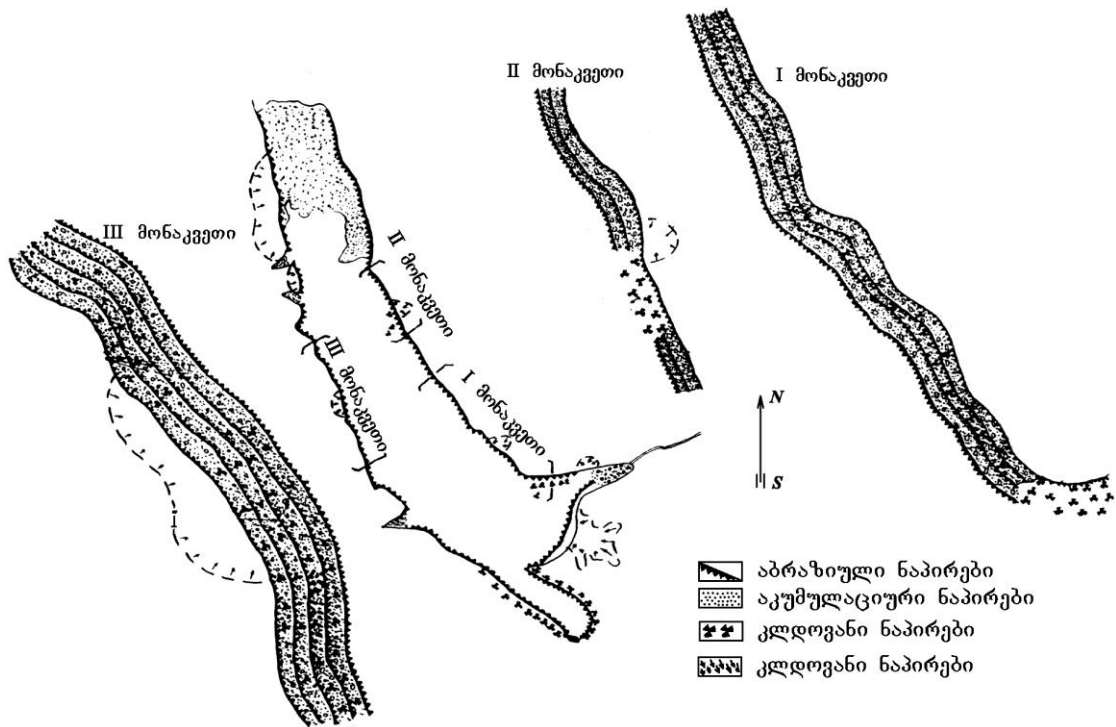
ნაპირის ტიპი	ნაპირის სიგრძე, კმ
ნაპირის საერთო სიგრძე	27,5
I. აბრაზიული,	21,0
II. აკუმულაციური	1,2
III. ნეიტრალური	1,9
IV. დაჭაობებული	3,4

შაორის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება (+ 1132,0 მ-ზე)

ინდექსი	ნაპირების გენეტიკური ტიპები	სიგრძე, კმ	ნაპირების სახეობები	თანამედროვე გეოლოგიური პროცესები	ლითოლოგია	ნაპირების საშ. დახრილობა, გრადუსი	ნაპირის გადამუშავების სიმძლავრე, მ	მონაკვეთის ადგილმდებარეობა
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	აბრაზიული	21(74,6%)						
	აბრაზიულ-წარეცხვადი	3,0 (10,6%)	სუსტად გადამუშავებული	აბრაზია	თიხნარი, ალუვიური კენჭი	5°-8°	0,3-0,5	ჩრდ. - ჩრდ. დასავ.
		4,1(14,6%)	საშუალოდ გადამუშავებული	—	დელუვიურ-თიხოვანი, ალუვიური, კენჭოვანი	8°-20°	1,0÷2,0	სამხრ. - აღმ. ჩრდ. - დას. ჩრდ. - აღმ.
		6,2(22,1%)	ძლიერ გადამუშავებული	—	—	>20°	2,0÷4,0	ჩრდ. - დას.
	ზვავურ ფლატისებური	0,6(2,1%)	ციცაბო წყალქვეშა	ფლატი, ზვავი, აბრაზია	თიხნარი	40°-50°	3,0-5,0	სამხრ. - დას.
	მეწყერული	0,2(0,7%)	წყალქვეშა	მეწყერული აბრაზიული	თიხნარი	>25°	1,0-2,0	სამხ. - აღმ.
	დაკარსტული	6,9(24,5%)	წყალქვეშა	კარსტი, აბრაზია	კირქვა, მერგელი	25°-45°	0,5÷2,0	სამხ. - აღმ.; ჩრდ. - დას.
II	აკუმულაციური	1,2(4,2%)						
	ტალღურ-აკუმულაციური	0,7(2,5%)	პლაჟისებური	აკუმულაცია	ხრეშოვანი (d=0,5-3,02 სმ)	2°-4°	0,5÷0,7	ჩრდ. - აღმ.
	ალუვიურ-აკუმულაციური	0,5(1,7%)	დამრეცი	—	ლამოვან-ქვიშოვანი	2°-4°	0,6-1,0	მდ. შაორის შესართავში
III	ნეიტრალური	1,9(6,6%)						
	ძირითადი	1,1(3,8%)	ციცაბო წყალქვეშა		კირქვა	>45°		ჩრდ. - აღმ.; სამხ. - აღმ.
	მეოთხეული დანალექები	0,8(2,8%)	დაბალი		თიხნარი	1°-3°		სამხ. - აღმ.
IV	დაჭაობებული	3,4(12,2%)						
	ფლოტოგენური	2,1(7,5%)	დაბალი		თიხნარი ლამისებური	1°-1,5° <3°		ჩრდ.-აღმ.; სამხ. - აღმ.
	ჭაობები	1,3(4,7%)	საშუალო		ლამისებური			მდ. თეთრი ჭალას ჩრდ. - აღმ.

VII.6. ლაჯანურის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები

ლაჯანურის წყალსაცავის ნაპირები წარმოდგენილია სხვადასხვა ფორმაციის ქანებით: წყალსაცავის ქვედა ნაწილი – კირქვით, წყალსაცავის ზედა ნაწილი – სილაქვა და მერგელის თიხა, შუა ნაწილი – ძირითადი ქანები. წყალსაცავის გარშემო მაღალი მთებია, ამიტომ აქ ქარის სიმძლავრე უმნიშვნელოა – $8,0 \div 10,0$ მ/წმ. წყალსაცავზე გაბატონებულია მცირე სიმაღლის ტალღები, რის გამოც ნაპირებზე აბრაზიული პროცესები უმნიშვნელოა (ნახ. 53, ცხრ. 34, 35). როგორც ვხედავთ, ლაჯანურის წყალსაცავის ნაპირებზე გავრცელებულია სამი გენეტიკური ტიპი: აბრაზიული (ძირითადი), აკუმულაციური და ნეიტრალური.



ნახ. 53. ლაჯანურის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა

ცხრილი 34

ლაჯანურის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების კრებსითი მონაცემები (+ 496,0 მ)

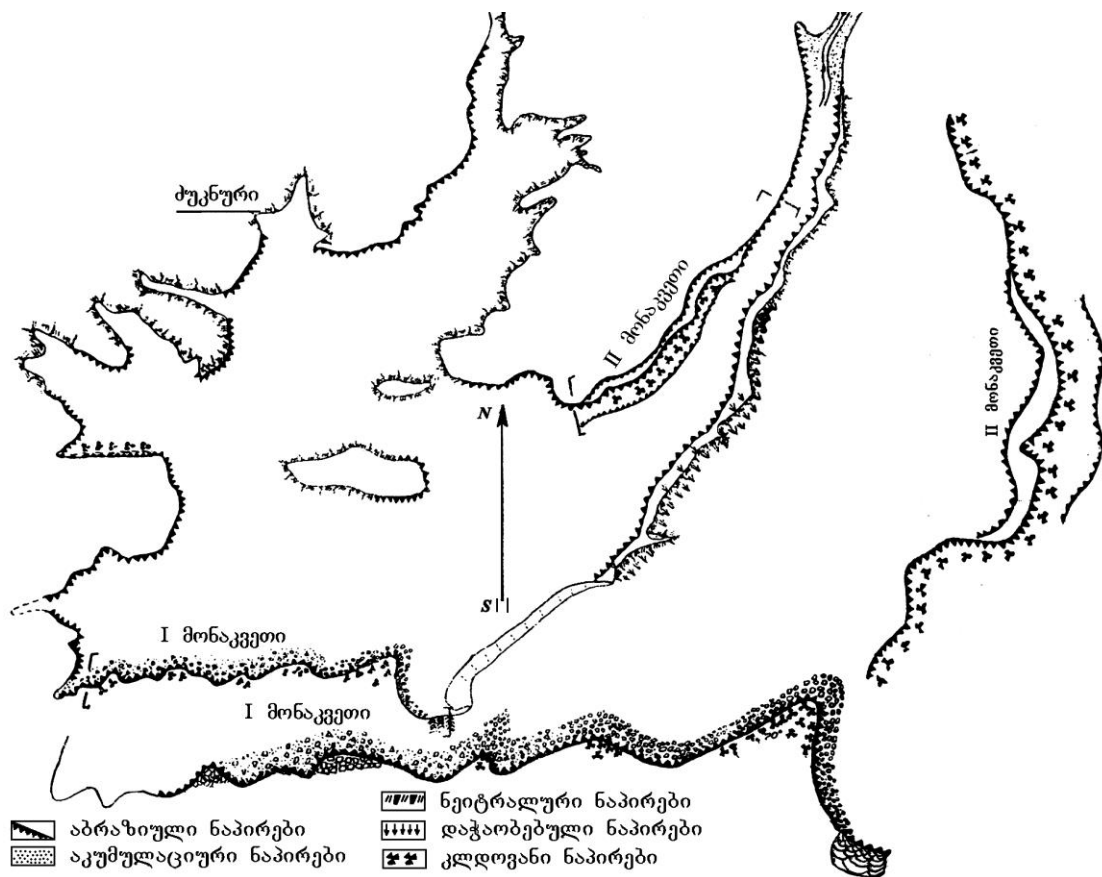
ნაპირის ტიპი	ნაპირის სიგრძე, კმ
ნაპირის საერთო სიგრძე	27,5
I. აბრაზიული,	6,98
II. აკუმულაციური	1,18
III. ნეიტრალური	0,6

ლაჯანურის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება († 496,0 მ-ზე)

ინდექსი	ნაპირების გენეტიკური ტიპები	სიგრძე, კმ	ნაპირების სახეობები	თანამედროვე გეოლოგიური პროცესები	ლითოლოგია	ნაპირების საშუალო დახრილობა გრადუსი	ნაპირის გადამუშავების სიმძლავრე, მ	მონაკვეთის ადგილმდებარეობა
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	აბრაზიული	6,78(80,2%)						
	აბრაზიული (ძირითადი ქანები)	0,55(6,5%)	საშუალოდ წარეცხვადი	აბრაზია გამოფიტვა	ქვიშაქვა, მერგელური	25°-55°	0,3-0,6	ნაპირების ორივე მხარეს კანიონები
	აბრაზიულ-გარეცხვადი (მეოთხეული დანალექები)	2,77(17,1%)	სუსტად წარეცხვადი	აბრაზია	თიხნარი, ალუვიურ-პროლუვიული დანალექები	7°-15°	0,4-0,6	მარჯვენა ნაპირების ზედა და საშუალო ნაწილი
	მეწყრული	3,45(4,0%)	საშუალოდ წარეცხვადი			>20°	2,0÷4,0	ჩრდ. – დას.
	მეწყრული ძირითადი ქანები	2,8(33%)	ციცაბო საფეხურებიანი	მეწყერი, აბრაზია	თიხოვანი ქანები	25°-45°	1,0-3,0	აღმოსავლეთის მარჯვენა ნაპირი
	მეოთხეულ ქანებში	0,65(7,8%)	—	—	დელუვიალური თიხნარი	25°-30°	1<2,0	აღმოსავლეთის ნაპირი
II	აკუმულაციური	1,18(13,9%)	—	—				
	ალუვიურ-აკუმულაციური	0,7(8,3) 0,48(5,6%)	ლამოვანი ფხვიერი დანალექი	აკუმულაცია	აკუმულაციური დანალექი	<2° 2°-3°	1,5±1,7 <1,2	სათავეში კაშხლის მიმდებარე ტერიტორია
III	ნეიტრალური	0,6(5,9%)	კლდოვანი ციცაბო		კირქვა, ქვიშაქვა		25°-60°	მარჯვენა ნაპირის კანიონური ნაწილი

VII.7. ტყიბულის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირების კვლევები

ტყიბულის წყალსაცავი აგებულია „ახალი სოფლის ქვაბულში“, მდინარე ტყიბულას კარსტულ ჩანაქცევში (ნახ. 54). წყალსაცავის ქვაბული დაყოფილია სამ რაიონად – ჩრდილოეთის, ფსკერული და სამხრეთის. ჩრდილოეთის რაიონი სუსტად შეღწევადია და აბრაზიული პროცესები თითქმის არ ვითარდება. ფსკერული რაიონი დაფარულია ალუვიური, თიხოვანი და თიხნარის დანალექით და იგი სუსტად შეღწევადია. სამხრეთის კაშხლის მიმდებარე რაიონში გავრცელებულია კარსტული მოვლენები, რომელთა ინტენსივობა იზრდება მდ. ტყიბულას ჩანაქცევში და იგი ყველაზე სახიფათო რაიონია წყლის დანაკარგის მიხედვით. წყალსაცავის ნაპირი ძლიერ დაკლაკნილი ფორმისაა მრავალი ბუხტებით და ყურეებით. ქარები, ძირითადად, აღმოსავლეთის რუმბისაა. ქარის მაქსიმალური სიჩქარეა 34,0 მ/წმ. წყალსაცავის ნაპირებზე გვხვდება ყველა სახის გენეტიკური ტიპები (ცხრ. 36, 37).



ნახ. 54. ტყიბულის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა

ტყიბულის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება (+ 520,0 მ-ზე)

ინდექსი	ნაპირების გენეტიკური ტიპები	სიგრძე, კმ	ნაპირების სახეობები	თანამედროვე გეოლოგიური პროცესები	ლითოლოგია	ნაპირების საშუალო დახრილობა, გრადუსი	ნაპირის გადამუშავების სიმძლავრე, მ	მონაკვეთის ადგილმდებარეობა
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	აბრაზიული	22,0(52,6%)						
	აბრაზიული	2,0(4,9%)	სუსტად წარეცხვადი	გამოფიტვა წამორეცხვა	ქვიშაქვა, კირქვა	45°	0,20-0,4	ჩრდ. და – ჩრდ. დას. „მცირე“ კუნძული
		2,45(5,8%)	საშუალოდ წარეცხვადი	გამოფიტვა აბრაზია	ქვიშა-თიხოვანი ქანები	30°-55°	0,5-0,8	სამხრ. და დას. ნაპირი
	აბრაზიულ-წარეცხვადი, ბმული გრუნტები	3,07(7,3%)	სუსტად წარეცხვადი	ჩამორეცხვა აბრაზია	ალუვიურ-დელუვიური, ქვიშა-თიხნარი	10°-16°	0,3-0,5	სამხრ. და დას. ჩრდ. და აღმ.
		6,4(15,6%)	საშუალოდ წარეცხვადი	აბრაზია		17°-25°	1,0÷1,2	სამხ. აღმ. და სამხრ. ნაპირი
		5,9(14,5%)	ძლიერ წარეცხვადი	ზვავი, ფლატე, აბრაზია	დელუვიური თიხნარი	25°-40°	>1,2	სამხ. აღმ. და სამხრ. ნაპირი
	ზვავურ ფლატისებური	1,8(4,5%)	მაღალი	ზვავი, ფლატე, აბრაზია	დელუვიური თიხნარი	45°-55°	2,0	დას. ნაპირის სამხრეთის ნაწილი
მეწყერული,	0,5(1,2%)	ტერასირებული	მეწყერები, აბრაზია	დელუვიური თიხნარი	25°-30°	3,5-5,0	დას. ნაპირის სამხ.-ის ბოლოები	
II	აკუმულაციური	5,0(11,8%)						
	ტალღურ-აკუმულაციური	1,5(3,5%)		აკუმულაცია, ჩამორეცხვა	ნატანი	2°-4°	0,4÷0,8	სამხ.-ის ნაპირის აღმ.-ის ნაწილი
	ალუვიურ-აკუმულაციური	3,5(8,3%)		აკუმულაცია	ნატანებურ-ხრე-შოვანი დანალექები	1°	2,0-4,0	მდ. ტყიბულის შესართავში
III	ნეიტრალური	9,1(23,8%)		დაბალი	ხრემოვან-თიხოვანი და თიხნარისებური დანალექები	2°-5°		აღმ. ნაპირის მონაკვეთები და ყურეების სათავეები
IV	დაჭაობებული	5,0 (11,8%)		ძალიან დაბალი	ალუვიურ-პროლუვიური თიხნარები	1÷1.5°		აღმ. და დას. ნაპირები

ამგვარად, წყალსაცავის ზედაპირზე წარმოიქმნება მაღალი სიმაღლის ტალღები. ნაპირების, რომელთა თიხნარისგან შედგენილი ფერდობების დახრილობის კუთხე $\alpha > 10^\circ$ -ზე მეტია, აბრაზიული პროცესების აჩქარება განპირობებულია ამოზნექილი ნაპირით, დონის დამუშავების ციკლურობით და თიხნარისგან შედგენილი დანალექების გამოფიტვით.

ძირითადი ქანებისაგან შედგენილი ნაპირები – მდგრადია.

ცხრილი 37

ტყიბულის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების კრებსითი მონაცემები (+ 496,0 მ-ზე)

ნაპირის ტიპი	ნაპირის სიგრძე, კმ
I. აბრაზიული,	22,0
II. აკუმულაციური	5,0
III. ნეიტრალური	9,0
IV. დაჭაობებული	5,0

**თავი VIII. მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების
წარეცხვის საზღვრების ანგარიშის ანალიზური და
ოპტიმიზირებული მეთოდები**

**VIII.1. მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის
ზედა საზღვრის (α_1) ანგარიშის ანალიზური მეთოდი**

საქართველოს ძირითადი წყალსაცავები იყო შექმნილი გასული საუკუნის შუა წლებში. ამიტომ მათ ნაპირებზე აბრაზიულმა პროცესებმა მოახდინა მნიშვნელოვანი გარდაქმნები. დღევანდელ დროისათვის არ არსებობს მთის წყალსაცავების ნაპირებზე აბრაზიული პროცესების პროგნოზირებისათვის გაანგარიშების მეთოდიკა. ქვემოთ მოგვყავს წყალსაცავების ნაპირებზე აბრაზიული პროცესების პროგნოზირების მარტივი მეთოდი, რომელიც პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის სრულად საკმარისია. სამუშაო შესრულდა მთის წყალსაცავების ნაპირებზე მრავალრიცხოვან საველე და თეორიულ და მასალის ანალიზის საფუძველზე.

ამ მიმართულების ერთ-ერთი პირველმა მკვლევარმა, ტექნ. მეცნ. დოქტორმა, პროფესორმა **ნინო ვარაზაშვილმა** გამოავლინა მთის წყალსაცავების განსხვავებები (ცხრ. 38), [1].

ცხრილი 38

**სხვადასხვა ტიპის წყალსაცავების ძირითადი
მორფომეტრიული რიცხობრივი მაჩვენებლები**

№	ძირითადი მაჩვენებლები	აღნიშვნები	ერთეულის განზომილება	რაოდენობრივი მაჩვენებლები		
				ვაკის წყ-ბი	მთისწინეთის წყ-ბი	მთის წყ-ბი
1	2	3	4	5	6	7
1	რელიეფის მთიანობის მაჩვენებელი	a	–	1,0±0,6	0,6±0,29	0,29±0,1
2	მორფომეტრიული მაჩვენებელი	H^2/F	–	$9 \cdot 10^{-9} \div 2 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-4} \div 2 \cdot 10^{-3}$
3	წყლის დონის რხევების ამპლიტუდა	ΔA	მ	<6,0	6÷20	>20
4	წყლის მოცულობის გამოყენების მაჩვენებელი	$W_{სრ.}/W_{სას}$	–	0,4±0,6	0,5±0,7	0±0,95

ცხრილი 38 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
5	წყლის მოცულობის ნაზრდი 1 მ დაწნევაზე	$W_{სას}/H$	მლნ მ ³ /მ	500÷2000	50÷500	1,0÷50,0
6	წყლის მოცულობის და წყალსაცავის ზედაპირის ფართობის თანაფარდობა	$W_{სას}/F$	მლნ მ ³ /კმ ²	5÷15	15÷50	50÷120
7	მიწების დატბორვის ფართობის და სასარგებლო მოცულობის თანაფარდობა	$S_{დატ}/W_{სას}$	კმ ² /მლნ მ ³	150÷120	110÷50	46÷25
8	1 მ დაწნევაზე დატბორვის ფართობი	$S_{დატ}/H$	კმ ² /მ	250÷65	55÷30	0,25÷0,08
9	წყლის ზედაპირის ფართის პროცენტი ნშდ-ის ნიშნულზე წყალმარჩხობის საერთო ფართობისგან	$F_{წყმარჩხ.}/F_{საერ.}$	%	20÷15	10÷6	6-4
10	$A_b=f(a)$	A_b	–	0,010	0,014	0,016÷0,018

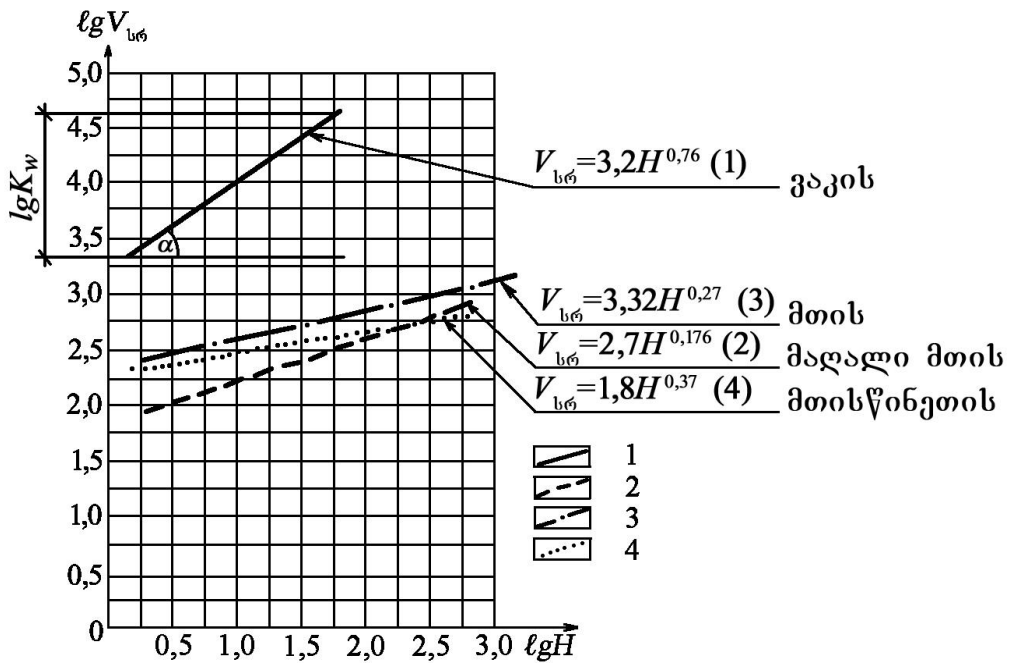
გაანგარიშებისას გამოყოფილია წყალსაცავების ფერდების ოთხი ძირითადი ტიპი: არაბმული, ბმული, ნახევრად კლდოვანი და კლდოვანი გრუნტებისგან შედგენილი ფერდები. სხვადასხვა ტიპის წყალსაცავების ჯგუფებისათვის (ცხრ. 39) დამუშავებულია აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის პროგნოზირების ახალი მეთოდები [44, 45].

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვა დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე: ნაპირთან დღევის ტალღურ ენერგიაზე; დონურ რეჟიმზე, ფერდის გრუნტების წარეცხვის უნარზე და ამ პროცესის სიჩქარეზე, მაშინ შეიძლება გამოვყოთ გაანგარიშების ორი ძირითადი პოზიცია – წყალსაცავის დონის 6,0 მ-დე გადაადგილების და წყალსაცავის დონის – 6,0 მ-ზე მეტი გადაადგილებისას.

საქართველოს წყალსაცავების საპროგნოზო ჯგუფები

№	წყალსაცავების ჯგუფი	წყლის დონის რხევის ამპლიტუდა, ΔA , მ	წყალსაცავის დონის გადაადგილების სიჩქარე, $V_{სრ}$, მ/დღელამეში	მორფომეტრიული მაჩვენებელი H^2/F	რელიეფის მთიანეთის მაჩვენებელი „ა“ ^{*)}
1	კვაზისტაბილური	<6	<0,03	$8 \cdot 10^{-9} \div 3 \cdot 10^{-7}$	0,84
2	არასტაბილური	6 ÷ 20	0,03 ÷ 0,08	$3 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-5}$	0,57
3	დონის საშუალო დამუშავების	20 ÷ 50	0,08 ÷ 0,50	$3 \cdot 10^{-5} \div 3 \cdot 10^{-4}$	0,36
4	დონის სწრაფი დამუშავების	50 ÷ 100	0,50-1,5	$3 \cdot 10^{-4} \div 8 \cdot 10^{-4}$	0,27
5	დონის ინტენსიური დამუშავების	>100	>1,5	$<8 \cdot 10^{-3}$	0,12

^{*)} რელიეფის მთიანობის კოეფიციენტის („ა“) მნიშვნელობა დამოკიდებულია წყალსაცავის მოცულობაზე ($V_{სრ}$), ე.წ. მთლიანობაზე (K_w) ფართობზე (F) და სიღრმეზე (H), $V_{სრ} = K_w \cdot H^a$ (ნახ. 55)



ნახ. 55. წყალსაცავის მოცულობის ($V_{სრ}$), სიღრმის (H), რელიეფის მაჩვენებლის („ა“) და საანგარიშო კოეფიციენტის (K_w)-ს დამოკიდებულება^{*)}

I – ვაკის წყალსაცავების მოცულობის მრუდი ($a = 0,76$, $K_w = 3,2$); 2 – იგივე მთისწინეთის წყალსაცავებისათვის ($a = 0,37$, $K_w = 1,8$); 3 – იგივე მთის წყალსაცავებისათვის ($a = 0,27$, $K_w = 3,32$); 4 – იგივე მაღალმთიანი წყალსაცავებისათვის ($a = 0,176$, $K_w = 2,7$)

^{*)} $a = \lg V_{სრ} / \lg H = \text{tg } \alpha$ – წირების დახრილობის კუთხის ტანგენსის ტოლია; $\lg K_w$ – მონაკვეთი ($\lg V_{სრ}$) ღერძზე. იხ. ნახ. 55.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვა დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე: ნაპირთან ღელვის ტალღურ ენერგიაზე; დონურ რეჟიმზე, ფერდის გრუნტების წარეცხვის უნარზე და ამ პროცესის სიჩქარეზე, მაშინ შეიძლება გამოვყოთ გაანგარიშების ორი ძირითადი პოზიცია – წყალსაცავის დონის 6,0 მ-დე გადაადგილების და წყალსაცავის დონის – 6,0 მ-ზე მეტი გადაადგილებისას.

პირველი პოზიციის გაანგარიშებისას აბრაზიული ნაპირის წარეცხვის პროგნოზირებისათვის მიღებულია ენერგეტიკული მეთოდი, რომლის დროსაც წარეცხილი გრუნტის მოცულობა იანგარიშება ქვემოთ მოტანილი დამოკიდებულების გამოყენებით [7]:

$$Q = EK_{წარ} \cdot K_{ნაპ} \cdot t_{წ}^b, \quad (13)$$

სადაც Q არის ნაპირის 1 მ სიგრძეზე ქანების წარეცხილი გრუნტის მოცულობა, მ³; E – ნაპირის 1 მ სიგრძეზე ღელვის მრავალწლიური საშუალო ენერგია, ტ·მ; $K_{წარ}$ – მთის ქანების წარეცხვის კოეფიციენტი, მ³/მ; $K_{ნაპ}$ – ნაპირის სიმაღლით განპირობებული კოეფიციენტი; $t_{წ}$ – წარეცხვის მოქმედების დრო (წელი); b – ხარისხის მაჩვენებელი; $K_{წარ}$ და $K_{ნაპ}$ -ის მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში 40.

ცხრილი 40

($K_{წარ}$) და ($K_{ნაპ}$) მნიშვნელობები

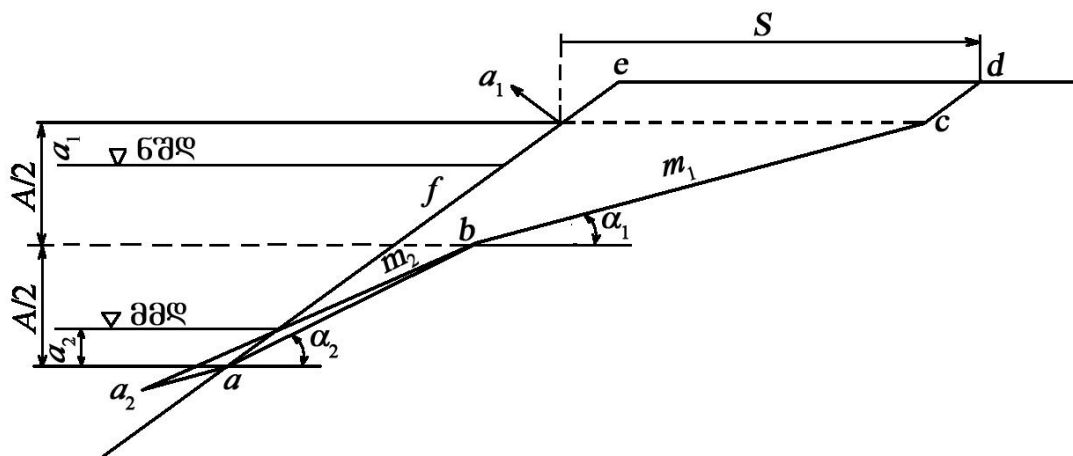
№	ქანების კლასი	$K_{წარ}$, მ ³ /მ	$K_{ნაპ}$
1	ძლიერ წარეცხვადი ქანები	0,0065±0,003	0,03
2	სუსტად წარეცხვადი ქანები (ქვიშა, თიხამიწა, ქვიშნარი)	0,003±0,001	0,035
3	საშუალოდ წარეცხვადი (მძიმე თიხამიწა, ტბური, თიხა)	0,001±0,0005	0,04
4	ძნელად წარეცხვადი (ქვიშა-ქვა, ზღვის თიხა)	<0,0005	0,05

(b)-ხარისხის მაჩვენებლის მნიშვნელობა ტოლია $b = 0,45 \pm 0,95$, $b_{ნაპ} = 0,7$. მსხვილი ალუვიური ქვიშებისაგან, ხრეშის და კენჭის ნარევისათვის – $b = 0,5$; საშუალო მარცვლოვანი ქვიშებისაგან და ხრეშისათვის $b = 0,6$; ალუვიური წვრილი და მტვრისებური ქვიშებისაგან და ქვიშნარისათვის –

$b=0,8$; მხატე ქვიშნარისათვის – $b=0,9$. წარეცხვის პროფილი იგეგმება საინჟინრო-გეოლოგიურ ნახაზზე, წარეცხვის ზედა და ქვედა საზღვრამდე.

საანგარიშო ჰორიზონტებია: ზედა – ნორმალური შეტბორვის დონე (ნშდ), ქვედა მკვდარი მოცულობის დონე – (მმდ). ანგარიშის ძირითადი ელემენტებია: a_1 – წარეცხვის ზედა საზღვარი და a_2 – წარეცხვის ქვედა საზღვარი; $m = \text{ctg} \alpha$ – მდგრადი ფერდის გასაშუალებული კუთხის კოტანგენსი; პროცესის ცალკეული სტადიების ხანგრძლივობა. წარეცხვის საბოლოო (ინტეგრალური) პროფილი განისაზღვრება მისი ცალკეული ცვლილებების ჯამის სახით.

მეორე პოზიციის გაანგარიშება (დონის გადაადგილება 6,0 მ-ზე მეტი გადავამუშავებისას) ჩატარდა გრაფონალიტიკური მეთოდის გამოყენებით [1]. ფერდის ერთგვაროვანი გრუნტებისგან აგებული ნაპირის წარეცხვის საბოლოო სიგანე (S) განისაზღვრება. ქვემოთ მოყვანილი ნახაზის გამოყენებით (ნახ. 56).



ნახ. 56. ერთგვაროვანი გრუნტისგან აგებული ნაპირის წარეცხვის საბოლოო სიგანის განსაზღვრა
 ae – ბუნებრივი ფერდის ზედაპირი, $abcd$ – წარეცხილი ფერდის ზედაპირი

ფერდის წარეცხვის ზედა ზღვარი (a_1) დამოკიდებულია ფერდზე ტალღების აგორების სიმაღლეზე (h_{runup}), ფერდზე ტალღურ ($h_{\text{ტალ.მოდ}}$) და ქარისეულ ($h_{\text{ქარ.მოდ}}$) მოდენაზე:

$$a_1 = h_{\text{runup}} + h_{\text{ტალ.მოდ}} + h_{\text{ქარ.მოდ}} \text{ მ,} \quad (14)$$

სადაც $h_{\text{runup}} = 1,1 h_1 \% \cdot K_r \cdot K_{\text{run}}$, მ; $h_{\text{ტალ.მოდ}} = 0,5 h_1 \%$, მ; $h_{\text{ქარ.მოდ}} = 0,0010 h_1 \%$, მ [1].

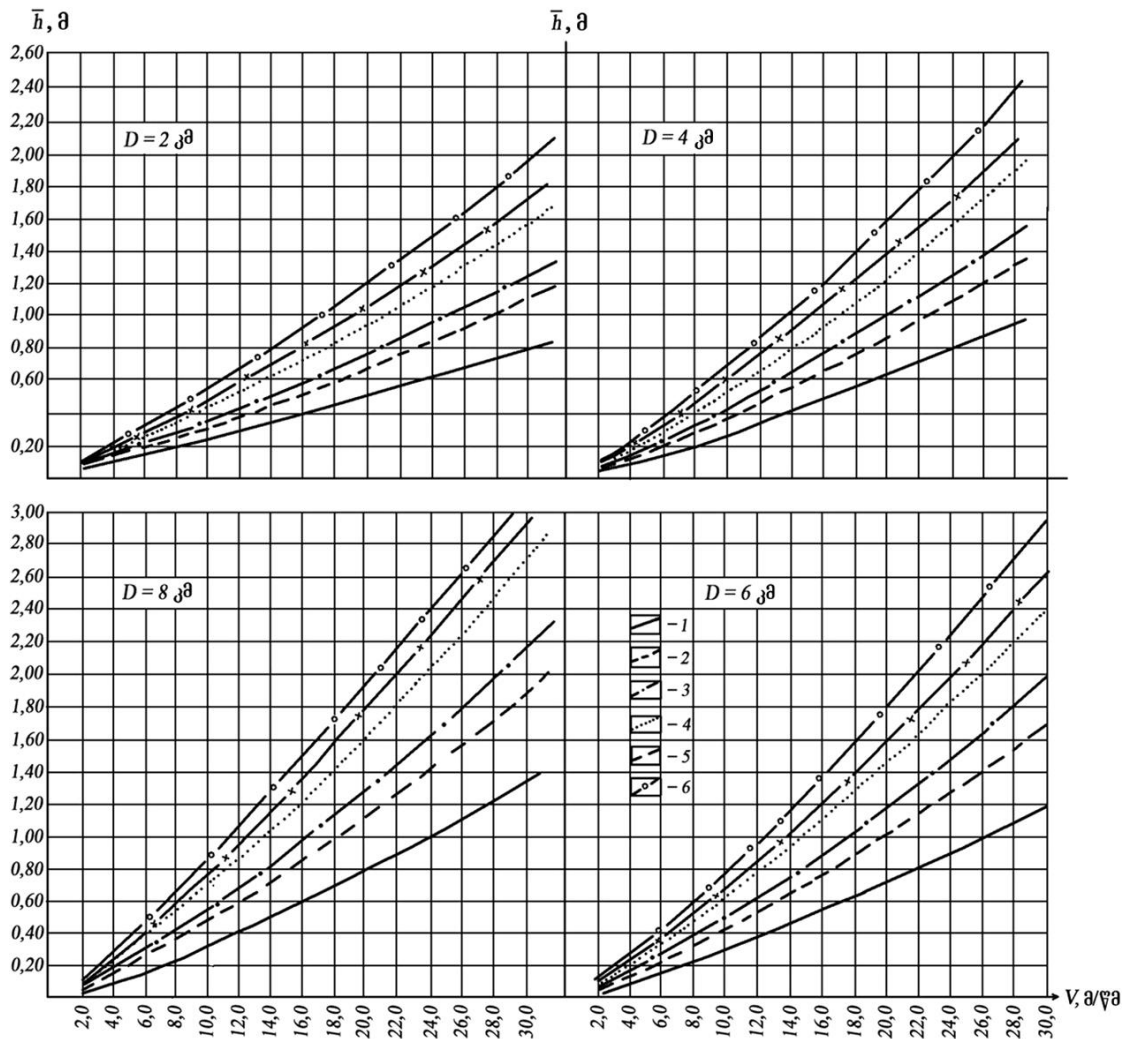
ქარისეული მოდენის მნიშვნელობა მთის წყალსაცავების პირობებში, ტალღის გაქანების მცირე სიგრძის გამო ($D \leq 10,0$ კმ), ტოლია – $h_{ქარ.მოდ} = 0,001 h_{1\%}$, ამიტომ, პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის, $h_{ქარ.მოდ}$ -ის მნიშვნელობას უგულებელვყოფთ; $h_{1\%}$, $\lambda_{1\%}$ (მ) – ტალღის 1%-იანი უზრუნველყოფის სიმაღლე და სიგრძეა „ღრმა“ წყალზე. სტატისტიკური მონაცემების არარსებობისას $h_{1\%}$ იანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებით – $h_{1\%} = \bar{h}_{ღრმა} \cdot P_{1\%}$, სადაც $\bar{h}_{ღრმა} = A_b \cdot V_c^{1,2} \cdot D^{0,4}$ მ; საანგარიშო მრუდები $h_{ღრმა} = f(A_b \cdot V_c \cdot D)$ ნაჩვენებია ნახაზზე 57; $A_b = 0,010 \div 0,018$, A_b -ს მნიშვნელობები რელიეფის მაჩვენებლის (ა) შესაბამისად, მოყვანილია ცხრილში 38; V_c – არის ქარის სიჩქარე, მ/წმ; D – ტალღის გაქანების სიგრძე, კმ, $P_{1\%} = 1,1$ – დელვის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია დელვის 1%-იან უზრუნველყოფაზე; K_{run} – კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ფერდის ჰორიზონტთან დახრილობის კუთხეზე (α°), $K_{run} = 1,2$ – თუ $\alpha^\circ = 6 \div 18$, $K_{run} = 0,5$, თუ $\alpha = 3^\circ \div 5^\circ$, $K_{run} > 2,0$, ხოლო თუ $\alpha^\circ > 13^\circ$; K_f – ფერდის სიმქისის კოეფიციენტი (ცხრ. 41).

ცხრილი 41

ფერდის ზედაპირის სიმქისის კოეფიციენტის (K_f) მნიშვნელობები

№	ფერდის გამაგრების ტიპი	სიმქისის კოეფიციენტი, K_f	სიმქისის კოეფიციენტის მნიშვნელობა განვილიეს კუტერის მიხედვით, n	ხაზოვანი სიმქისე, ε
1	2	3	4	5
1	ბეტონის ფილები	0,95÷1,0	< 0,014	< 1,0
2	თიხა-ხრემოვანი ფერდი	0,90÷0,44	0,015÷0,020	1,0÷1,1
3	ნაყარი მომრგვალებული ქვისგან	0,76÷0,89	0,020÷0,025	1,1÷6,0
4	ნაყარი ნაგლეჯი ქვისგან	0,71÷0,75	0,025÷0,030	6,1÷50,0
5	ნაყარი ბეტონის ბლოკებისგან	0,5÷0,71	≥ 0,030	> 50,0

ფერდის წარეცხვის ზედა საზღვრის a_1 -ს გრაფიანალიტიკური მეთოდით გაანგარიშების მაგალითი მოყვანილია ცხრილში 43.



ნახ. 57. ტალღის გასაშუალებული სიმაღლის ($\bar{h}_{გ.გ}$), სიჩქარის (V_c), ტალღის გაქანების (D) და (A_b)-ს დამოკიდებულება $\bar{h}_{გ.გ} = f(A_b, V_c, D)$, სადაც 1 - $A_b = 0,01$; 2 - $A_b = 0,014$; 3 - $A_b = 0,016$; 4 - $A_b = 0,020$; 5 - $A_b = 0,022$; 6 - $A_b = 0,025$.

VIII.2. მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) ანგარიშის ანალიზური მეთოდი

ბმული გრუნტებისგან შედგენილი წყალსაცავების ნაპირების წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) გაანგარიშება ანალიზური მეთოდით

წყალსაცავების ბმული გრუნტებისგან შედგენილი ნაპირების წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) გაანგარიშების საფუძვლად მიღებულია წყლის ნაკადის მოქმედი ($V_{სან.}$) და დასაშვები არაგამარეცხი ($V_{დას.}$) სიჩქარეების ტოლობა:

$$V_{\text{საბ.}} = V_{\text{ფაბ.}}, \quad (15)$$

სადაც $V_{\text{ფაბ.}}$ – ფსკერული არაგამრეცხი სიჩქარეა, მისი მნიშვნელობა ბმული გრუნტებისათვის ყველა შესაძლო ფაქტორების გათვალისწინებით განისაზღვრება აკად. ც. მირცხულავას მიერ შემოთავაზებული ფორმულით [46]:

$$V_{\text{ფაბ.}} = 1,25 \sqrt{\frac{2gm_p}{2,6\gamma_{\text{ფყ.}}n_u} (\gamma_{\text{გრ.}} - \gamma_{\text{ფყ.}}) d_{\text{საშ.}} + 1,25K_0 C_\gamma^H}, \quad (16)$$

ხოლო $V_{\text{საბ.}}$ – წყლის ნაკადის საანგარიშო სიჩქარე, რომლის მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს სითხეების ტალღური მოძრაობის თეორიიდან, კერძოდ ჰერსტნერის ტროქოიდალური ტალღების თეორიიდან (ტალღის სიმაღლის – h , სიგრძის – λ და წარეცხვის ქვედა საზღვრის a_2 გათვალისწინებით) [47]:

$$V_{\text{საბ.}} = \frac{n_u \pi h}{\sqrt{\frac{\pi \lambda}{g} \cdot sh \frac{4\pi a_2}{\lambda}}}, \quad (17)$$

სადაც λ , h – წყალსაცავის ზედაპირზე ქარისეული ტალღის სიგრძე და სიმაღლეა, მ; $\gamma_{\text{ფყ.}}$, $\gamma_{\text{გრ.}}$ – წყლის და გრუნტის ხვედრითი წონა, კგ/მ³; n_u – მუშაობის გადატვირთვის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაკადის პულსაციურ მნიშვნელობას და განისაზღვრება ფორმულით [46]:

$$n_u = \left(\frac{V_{\text{max}}}{\bar{V}} \right)^2, \quad (18)$$

სადაც V_{max} – მაქსიმალური პულსაციური ფსკერული სიჩქარეა; \bar{V} – გასაშუალებული ფსკერული სიჩქარე (სპეციალური კვლევების არარსებობისას $n=4$); m_p – გრუნტის ნაწილაკების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კოლოიდურ მდგომარეობაში ნატანის ზემოქმედებას, 0,1 კგ/მ³; $d_{\text{საშ.}}$ – გრუნტის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი, ტ; $g = 9,81$ მ/წმ² – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება; K_0 – ბმული გრუნტების ერთგვაროვნობის კოეფიციენტი, განისაზღვრება ფორმულით $K_0 = d_{\text{საშ.}} / d_{\text{ფ}}$, სადაც $d_{\text{საშ.}}$ – გრუნტის დიამეტრის საშუალო მნიშვნელობაა, $d_{\text{ფ}}$ – ნაწილაკების დიამეტრი, რომელთა რაოდენობა ნარევის მასის 95%-ზე ნაკლებია; $C_\gamma^H = 0,035$ ტ/მ² – ბმული გრუნტების დადლილობის ნორმატიული სიმტკიცე; C – ბმული გრუნტების

საანგარიშო შეჭიდულობა.

ნაბიჯი 1: ფორმულების 16 და 17 გათანაბრებისას ($V_{საან.} = V_{ფსკ.}$)^{*)} მივიღებთ:

$$1,25 \sqrt{\frac{2gm_p}{2,6\gamma_{ფყ.}n_u}(\gamma_{ფრ.} - \gamma_{ფყ.})d_{საშ.} + 1,25K_0C_\gamma^H} = \frac{0,75\pi h}{\sqrt{\frac{\pi\lambda}{g} \cdot sh \frac{4\pi a_2}{\lambda}}}; \quad (19)$$

ნაბიჯი 2: განტოლება (19)-ის ორივე მხარე ავიყვანოთ კვადრატში:

$$1,25^2 \left[\frac{2gm_p}{2,6\gamma_{ფყ.}n_u}(\gamma_{ფრ.} - \gamma_{ფყ.})d_{საშ.} + 1,25K_0C_\gamma^H \right] = \frac{0,75^2 \pi^2 h^2}{\frac{\pi\lambda}{g} \cdot sh \frac{4\pi a_2}{\lambda}};$$

ნაბიჯი 3: არითმეტიკული გაანგარიშების შემდეგ, მივიღებთ:

$$1,25^2 \left[\frac{2 \cdot 9,81 \cdot m_p}{2,6\gamma_{ფყ.}n_u}(\gamma_{ფრ.} - \gamma_{ფყ.})d_{საშ.} + 1,25K_0C_\gamma^H \right] = \frac{0,56 \cdot 9,86h^2}{\frac{3,14\lambda}{9,81} \cdot sh \frac{4 \cdot 3,14 \cdot a_2}{\lambda}}$$

ანუ
$$\frac{11,77 \cdot m_p}{1,0 \cdot \gamma_{ფყ.}n_u} [(\gamma_{ფრ.} - \gamma_{ფყ.})d_{საშ.} + 1,25K_0C_\gamma^H] = \frac{5,52 \cdot h^2}{0,32\lambda \cdot sh \frac{12,56a_2}{\lambda}}$$

აქედან:
$$11,77 \frac{m_p}{\gamma_{ფყ.}n_u} [(\gamma_{ფრ.} - \gamma_{ფყ.})d_{საშ.} + 1,25K_0C_\gamma^H] = 17,25 \frac{h^2}{\lambda \cdot sh \frac{12,56a_2}{\lambda}}$$

ანუ:
$$11,77m_p [(\gamma_{ფრ.} - \gamma_{ფყ.})d_{საშ.} + 1,25K_0C_\gamma^H] \cdot \lambda \cdot sh \frac{12,56a_2}{\lambda} = \gamma_{ფყ.}n_u \cdot 17,25h^2$$

ანუ:
$$sh \frac{12,56a_2}{\lambda} = \frac{\gamma_{ფყ.}n_u \cdot 17,25h^2}{11,77m_p [(\gamma_{ფრ.} - \gamma_{ფყ.})d_{საშ.} + 1,25K_0C_\gamma^H] \cdot \lambda}$$

აქედან:
$$sh \frac{12,56a_2}{\lambda} = \frac{1,47\gamma_{ფყ.}n_u h^2}{\gamma m_p [(\gamma_{ფრ.} - \gamma_{ფყ.})d_{საშ.} + 1,25K_0C_\lambda^H] \cdot \lambda}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ჰიპერბოლოიდური სინუსი ტოლია:

$$x = Sh\gamma, \text{ აქედან } \gamma = Arshx$$

მაშინ
$$\frac{12,56a_2}{\lambda} = Arsh \frac{1,47\gamma_{ფყ.}n_u h^2}{\gamma m_p [(\gamma_{ფრ.} - \gamma_{ფყ.})d_{საშ.} + 1,25K_0C_\lambda^H] \cdot \lambda}$$

^{*)} ტოლობა $V_{საან.} = V_{ფსკ.}$ განპირობებულია თეორიული საანგარიშო ($V_{საან.}$) და ფსკერული ($V_{ფსკ.}$) ნატურული კვლევების შედეგად მიღებული სიჩქარეების გატოლებით.

აქედან **ბმული** გრუნტებისგან შედგენილი ნაპირის წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$a_2 = 0,796 \cdot \lambda \cdot Arsh \frac{1,47 \gamma_{\text{წყ}} \cdot n_u \cdot h^2}{\gamma m_p [(\gamma_{\text{გრ.}} - \gamma_{\text{წყ.}}) d_{\text{საშ.}} + 1,25 K_0 C_\lambda^Y] \cdot \lambda} \quad (20)$$

წყალსაცავების წარეცხილი ნაპირის ქვედა საზღვრის (a_2)

ანალიზური მეთოდით გაანგარიშების მაგალითი

(ბმული გრუნტები)

მივიღოთ, რომ: გრუნტის და წყლის ხვედრითი წონა – $\lambda_{\text{გრ}} = 2600$ კგ/მ³; წყლის ხვედრითი წონა – $\lambda_{\text{წყ}} = 1000$ კგ/მ³; გადატვირთვის კოეფიციენტი – $n_u = 0,4$; მუშაობის პირობების კოეფიციენტი – $m_p = 1,0$); ბმული გრუნტების ერთგვაროვნობის კოეფიციენტი – $K_0 = 0,4$; ბმული გრუნტების დაღლილობის ნორმატიული სიმტკიცე – $C_\gamma^H = 0,035C$, სადაც $C = 0,01 \div 0,06$. ამ პირობებისათვის, ბმული მსხვილი გრუნტებისათვის ($d_{\text{საშ.}} = 0,000008$ მ) იქნება:

$$a_2 = 0,796 \cdot \lambda \cdot Arsh \frac{1,47 \gamma_{\text{წყ}} \cdot n_u \cdot h^2}{\gamma m_p [(\gamma_{\text{გრ.}} - \gamma_{\text{წყ.}}) d_{\text{საშ.}} + 1,25 K_0 C_\lambda^Y] \cdot \lambda}$$

ან

$$a_2 \approx 0,08 \cdot \lambda \cdot Arsh \frac{1,47 \cdot 0,4 \cdot n_u \cdot h^2}{\lambda [1,0 \cdot (2,6 - 1,0) \cdot 0,000008 + 1,25 \cdot 0,4 \cdot 0,0001]} \quad (21)$$

აქედან: **ბმული მსხვილი** გრუნტებისაგან შედგენილი წყალსაცავის ნაპირის წარეცხვის ქვედა საზღვრის დამოკიდებულება ჩაიწერება:

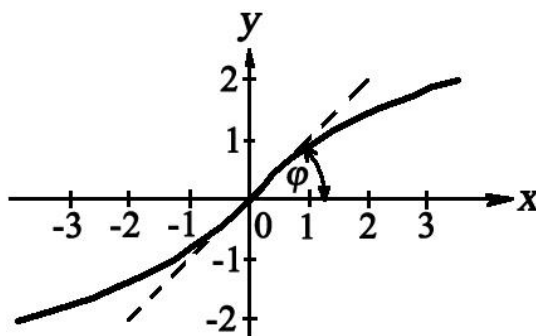
$$a_2 = 0,08 \cdot \lambda \cdot Arsh 1152,90 \frac{h^2}{\lambda} \quad (22)$$

მაგალითად, თუ $h = 1,4$ მ, $\lambda = 6,0$ მ, $d_{\text{საშ.}} = 0,008$ მმ, მაშინ

$$a_2 = 0,08 \cdot 6 \cdot Arsh \frac{1152,9 \cdot 1,96}{6} = 0,48 \cdot Arsh 400,0 = 0,48 \cdot 2,1 = 1,01 \text{ მ,}$$

$$a_2 = 1,01 \text{ მ,}$$

(სადაც $Arsh 400 = 2,1$ – ჰიპერბოლოიდური შებრუნებული სინუსის $y = Arsh x$ მნიშვნელობაა, იხ. ნახ. 58)



ნახ. 58. ჰიპერბოლოიდური შებრუნებული სინუსის მნიშვნელობა

ბმული წვრილი გრუნტებისათვის ($d_{საშ} \leq 0,001$ მმ = $0,000001$ მ) ფორმულა (20) მიიღებს სახეს:

$$a_2 = 0,08 \cdot \lambda \cdot Arsh \frac{0,58h^2}{\lambda(1,6 \cdot 0,000001 + 1,25 \cdot 0,4 \cdot 0,0001)} =$$

$$= 0,48 Arsh 8787,0 = 0,48 \cdot 2,3 = 1,1 \text{ მ.}$$

მაშასადამე, ბმული წვრილი გრუნტებისაგან შედგენილი წყალსაცავის ნაპირის წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) დამოკიდებულება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$a_2 = 0,08 \cdot \lambda \cdot Arsh \frac{h^2}{\lambda \cdot 0,000076} = 0,08 \cdot \lambda \cdot Arsh 13157 \frac{h^2}{\lambda}. \quad (23)$$

მაგალითად, თუ $h = 1,4$ მ, $\lambda = 6,0$ მ

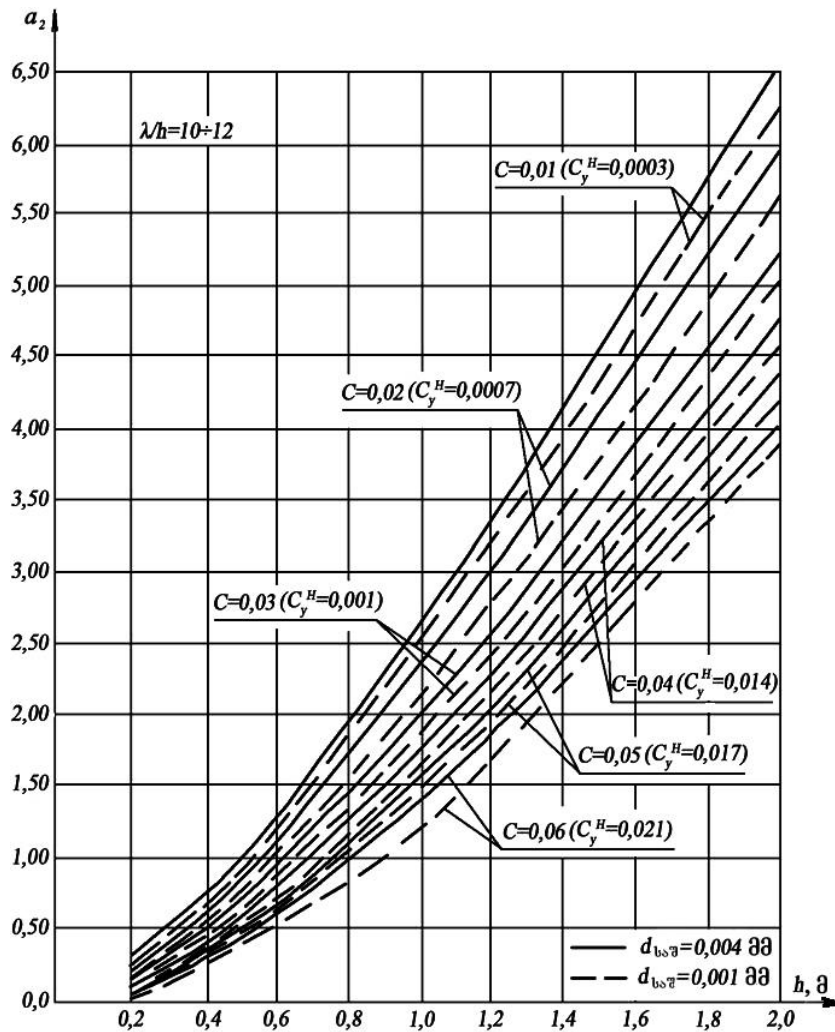
$$a_2 = 0,08 \cdot 6 \cdot Arsh \frac{1,96}{6 \cdot 0,000076} = 1,02 \text{ მ.}$$

VIII.2.1. ბმული გრუნტებისგან შედგენილი ნაპირის წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) გაანგარიშების ოპტიმიზაცია

როგორც ვხედავთ, ფორმულა (23) მრავალფაქტორიანი რთული ფორმულაა, სადაც გასათვალისწინებელია ცხრა ფაქტორი.

ბმული გრუნტებისგან აგებული ფერდის წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) გაანგარიშება შეიძლება გავამარტივოთ 59-ე ნახაზის გამოყენებით.

წყალსაცავის ერთგვაროვანი გრუნტებისგან წარეცხილი ფერდის საბოლოო საპროგნოზო პროფილის აგეგმვა ტარდება შემდეგი მიმდევრობით (ნახ. 56):



ნახ. 59. ბმული გრუნტებისგან აგებული ფერდის წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2), დამოკიდებულება ტალღის სიმაღლეზე (h), ფერდის გრუნტების შეჭიდულობაზე (C) და გრუნტის საშუალო დიამეტრზე ($d_{საშ}$)
 (1 - $d_{საშ} = 0,004$ მმ; 2 - $d_{საშ} = 0,001$ მმ; $\lambda/h = 10 \div 12$)

- 1) წერტილი (a)-დან ტარდება ხაზი, რომელიც დახრილია ჰორიზონტთან (α_2) კუთხით, (b) წერტილამდე. წერტილი (b) მდებარეობს (k) წერტილიდან გატარებული ჰორიზონტალური ხაზების (kb) და (ab) გადაკვეთაზე. (k) წერტილი ჰყოფს მანძილს (fa) ორ ტოლ ($A/2$) ნაწილად; კუთხე α_2 კუთხის მნიშვნელობა მოყვანილია ცხრილში 42.
- 2) მიღებული (b) წერტილიდან ტარდება ხაზი, რომელიც დახრილია ჰორიზონტიდან (α_1) კუთხით;
- 3) მიღებული (c) წერტილიდან, რომელიც მდებარეობს ჰორიზონტალურ ხაზზე (fc), ტარდება ხაზი (fc), იგი პარალელურია (α_1) ხაზთან;

4) მიღებული (S) მონაკვეთი – წარეცხილი ნაპირის საპროგნოზო სიგანეა.

ცხრილი 42

მდგრადი ფერდის დახრილობის კუთხე (α)

გრუნტის ტიპი		პირობები	
		წყლის დონის ზემოთ	წყალქვეშა
1	ხრემოვან-კენჭოვანი	30° $m = \text{ctg} \alpha = 1,73$	25° $m = \text{ctg} \alpha = 2,1$
2	მსხვილ და წვრილმარცვლოვანი ქვიშა	26°÷28° $m = \text{ctg} \alpha = 2,1 \div 1,9$	1,5°÷20° $m = \text{ctg} \alpha = 3,7 \div 2,7$
3	ქვიშნარი და თიხნარი	15°÷23° $m = \text{ctg} \alpha = 3,7 \div 2,4$	6°÷14° $m = \text{ctg} \alpha = 9,5 \div 1,1$
4	თიხა	> 20°	5° - 10°

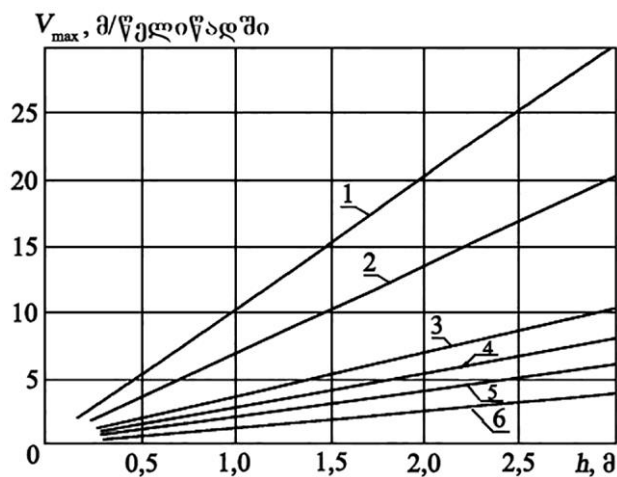
პერიოდი $T_{\text{წელ.}}$, რომლის მანძილზე წყალსაცავის ნაპირი საბოლოო პროფილს მიიღებს, იქნება:

$$T_{\text{წელ.}} = 2 \frac{S}{V_{\text{max}}} \text{ წელიწადი,} \quad (24)$$

სადაც V_{max} – ფერდის წარეცხვის მაქსიმალური სიჩქარეა, მ/წელიწადში (ნახ. 60).

პრაქტიკული, საორიენტაციო გაანგარიშებისას დასაშვებია:

– თიხნარით აგებული ფერდის წარეცხვის ზედა საზღვარი: $a_1 \approx h$, მ; ხოლო ქვედა საზღვარი $a_2 = 1,3 h$, მ, სადაც h -ტალღის სიმაღლეა (მ).



ნახ. 60. გრაფიკი $V_{\text{max}} = f(h)$

1 – ლიოსი; 2 – წვრილმარცვლოვანი ქვიშა; 3 – საშუალო მარცვლოვანი ქვიშა;

4 – თიხნარი; 5 – თიხა; 6 – მსხვილმარცვლოვანი ქვიშა

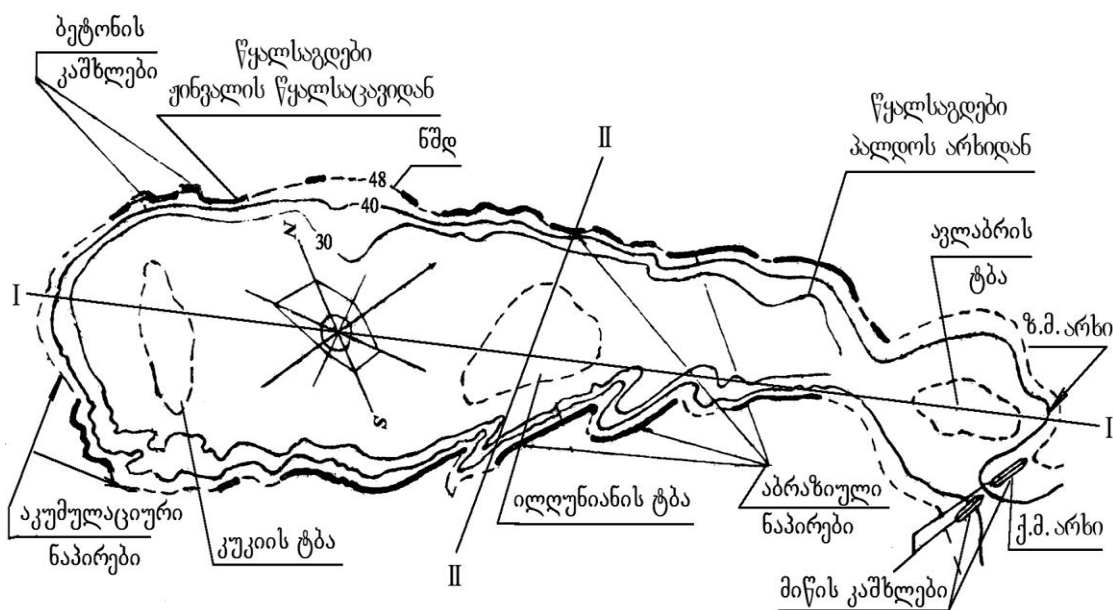
მაგალითი

თბილისის წყალსაცავის აბრაზიული პროგნოსტიკული ნაპირის აგების მაგალითი მოყვანილია ნახაზებზე 61, 62, 63 და ცხრილში 43.

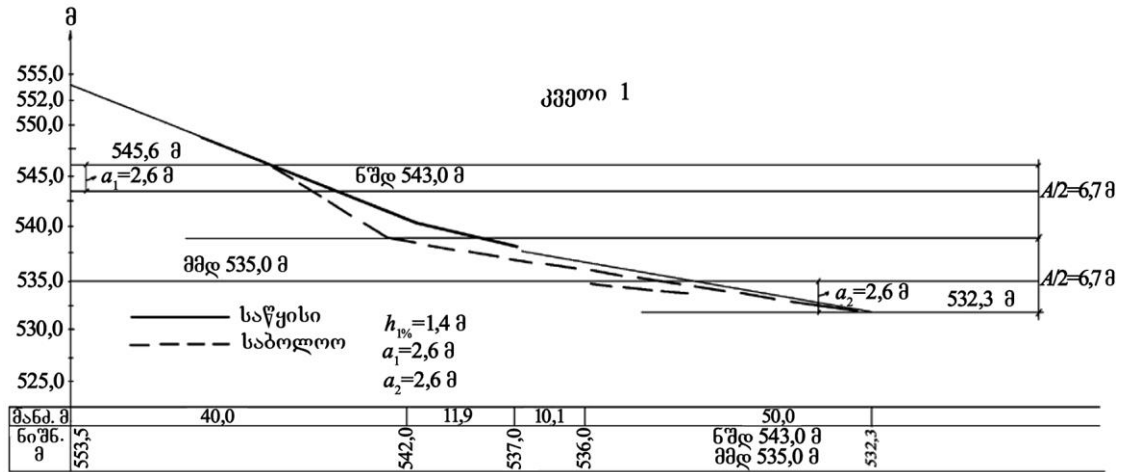
ცხრილი 43

თბილისის წყალსაცავის წარეცხვის ზედა (a_1) და ქვედა (a_2) საზღვრების გაანგარიშება
(განივკვეთი 1; $\lambda/h = 10$, $d_{საშ} = 0,004$ მმ; $C = 0,06$)

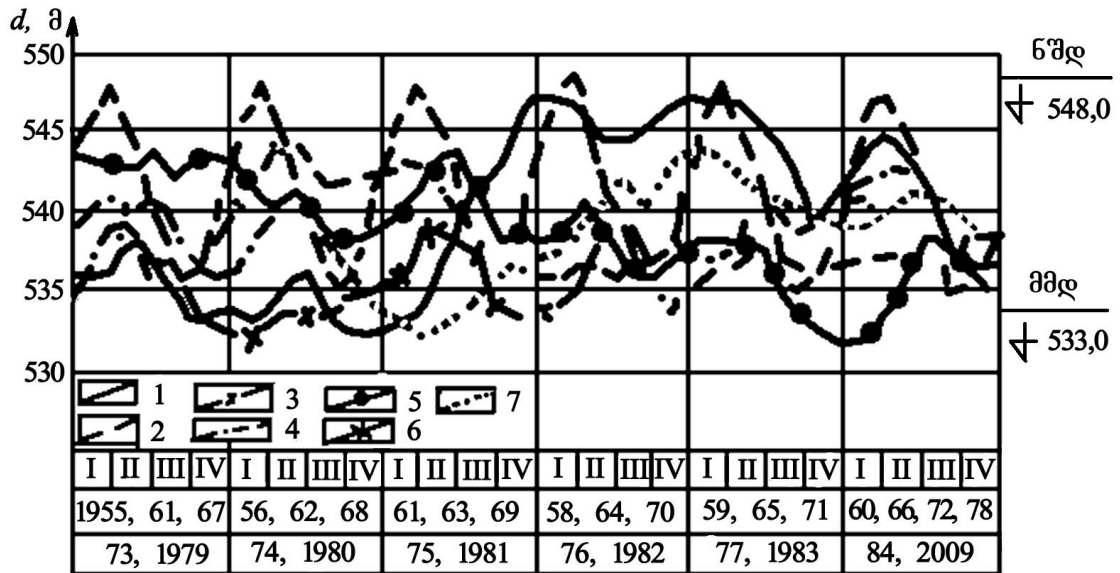
$A_0=f(a)$ (ცხრილი 38)	ტალღების გაქანების სიგრძე ქარის ჩ/დ-ის მიმართულებას, კმ	ჩ/დ-ის მიმართულების ქარის სიჩქარე V_c , მ/წმ	, მ; ნახ. 61	$P_{\%}$	$H_{1\%}$, მ	K_r ; ცხრ. 41	$K_{რთ}$ ($\alpha=12^\circ$)	$H_{რთ}$, მ	$H_{ცად.მოდ.}$, მ	$H_{ქარ.მოდ.}$, მ	a_1 (ფორმულა 14)	a_2 (ნახ. 59)	ბუნებრივი ფერდის დახრილობის კუთხე (წყლის დონის ზემოთ) α°_1	ბუნებრივი ფერდის დახრილობის კუთხე (წყალქვეშა) α°_2
1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,014	3,5	37,0	1,4	1,1	1,54	0,9	1,2	1,83	0,77	0,01	1,6	2,7	20,0	10,0
											1,3	1,5		



ნახ. 61. თბილისის წყალსაცავიანი სისტემის სქემა
(— აბრაზიული ნაპირი; - - - აკუმულაციური ნაპირი)



ნახ. 62. თბილისის წყალსაცავის აბრაზიული ნაპირის განივი პროფილი



ნახ. 63. თბილისის წყალსაცავის დონური რეჟიმი. 1 – 1955-1960 წ.წ.; 2 – 1961-1966 წ.წ.; 3 – 1967-1972 წ.წ.; 4 – 1973-1978 წ.წ.; 5 – 1979-1985 წ.წ.; 6 – საპროექტო გრაფიკი; 7 – 2009 წ. (თანამედროვე პერიოდში წყლის დონე არ აღემატება 541,0 ნიშნულს)

თავი IX. მთის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების განვითარების საწინააღმდეგო ღონისძიებები და ფსკერის გაწმენდის ზოგადი რეკომენდაციები

მთის და მთისწინეთის წყალსაცავების ექსპლუატაციის პრაქტიკის ანალიზმა აჩვენა, რომ მათში სედიმენტაციური პროცესები უფრო მაღალი ინტენსივობით მიმდინარეობს, ვიდრე ვაკის წყალსაცავებში. ეს პრობლემა აქტუალურია ამიერკავკასიის, შუა აზიის და სხვა მთიან რეგიონებში.

მთის წყალსაცავების დაპროექტებისას აუცილებელია წინასწარ განისაზღვროს მთის მდინარეების წლიური ჩამონადენის როგორც მნიშვნელოვანი არათანაბრობა, ასევე წყლის მყარი ნაწილაკებით გაჯერების მაჩვენებლები. სედიმენტაციური პროცესების შემცირების ღონისძიებები შეიძლება დაგყოს ორ ჯგუფად – **გამაფრთხილებელი და საექსპლუატაციო.**

გამაფრთხილებელი ღონისძიებებია – წყალსაცავში შემოსული ნატანის მოცულობის საერთო შემცირება მთის ნაკადის აუზში ნიადაგის ეროზიის შემცირებით. ესენია, მდინარის სათავეში ტყის გაშენების ღონისძიებები, წყალსაცავის და მდინარეების წყალდამცავი ზონების დანიშვნა და სხვ.

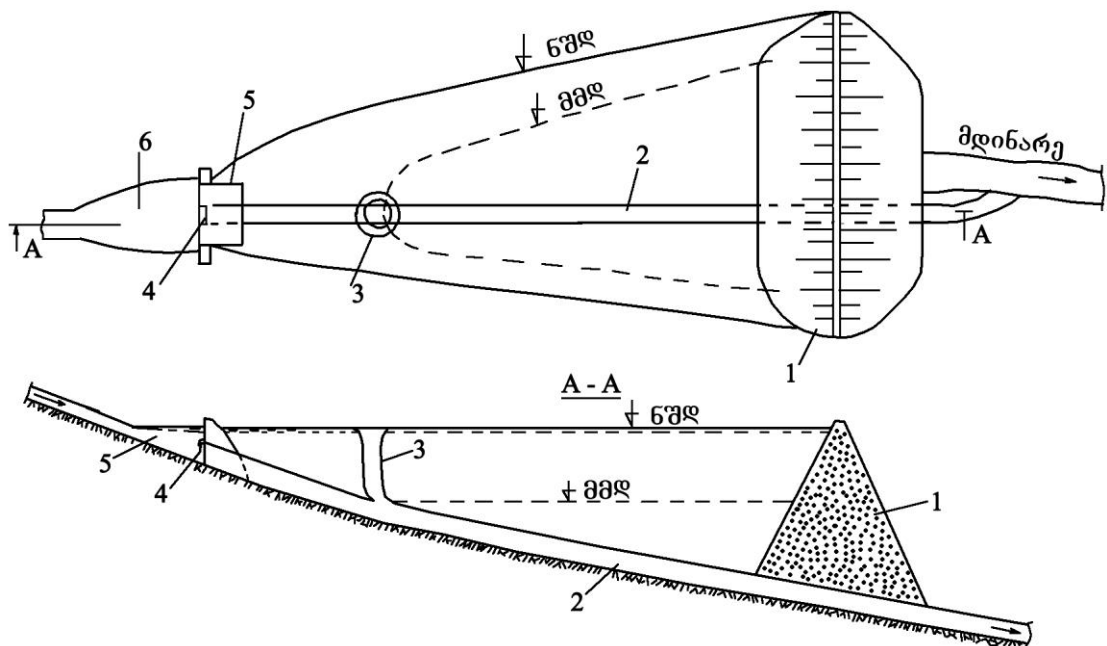
საექსპლუატაციო ღონისძიებებია – წყალსაცავის ფსკერის ჰიდრაგულიკური ჩარეცხვები ფსკერული გალერეების მეშვეობით; მექანიკური გაწმენდა; კაშხლის ქიმის ამაღლება წყალსაცავის მოცულობის გაზრდის მიზნით; წყლის ტრანზიტული ჩამოგდება გვერდითი წყალგამშვები მოწყობილობების – გამყვანი არხების, ტუნელის, ნატან-ამცილებელი მოწყობილობების მეშვეობით; ნაპირსამაგრი ნაგებობების მოწყობა და სხვ.

შვეიცარიაში ჩემი მივლინების დროს, რომელიც დაფინანსებული იყო შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მაგისტრანტის სასწავლო-კვლევითი პროგრამის საგრანტო პროექტის MR-2016-1-106 მიერ, ვერზასკას (Verzasca) წყალსაცავის ექსპლუატაციის პირობების შესწავლისას, გამოვლინდა რომ კაშხლის ძირში მოწყობილი ორი გამრეცხი გალერეა 200,0 მ სიღრმეზე დღემდე ნორმალურად მუშაობს. ასეთივე გამრეცხი გალერეები მოწყობილია შვეიცარიის მრავალი სხვა მაღალი კაშხლების

ძირში. ამ მეთოდის მთავარი ნაკლია – წყალსაცავის ფსკერზე, კაშხალთან, ვიწრო ღრმა კალაპოტის წარმოქმნა გამრეცხი ნაკადის მიერ, წყალსაცავის ფსკერის ძირითადი ნაწილი კი რჩება დასილული.

აღსანიშნავია ქართველი მეცნიერების მიერ შემოთავაზებული ნატან-ამცილებელი განებობები, რომელთა განლაგება შესაძლებელია წყალსაცავის სათავე ნაწილში [48, 49].

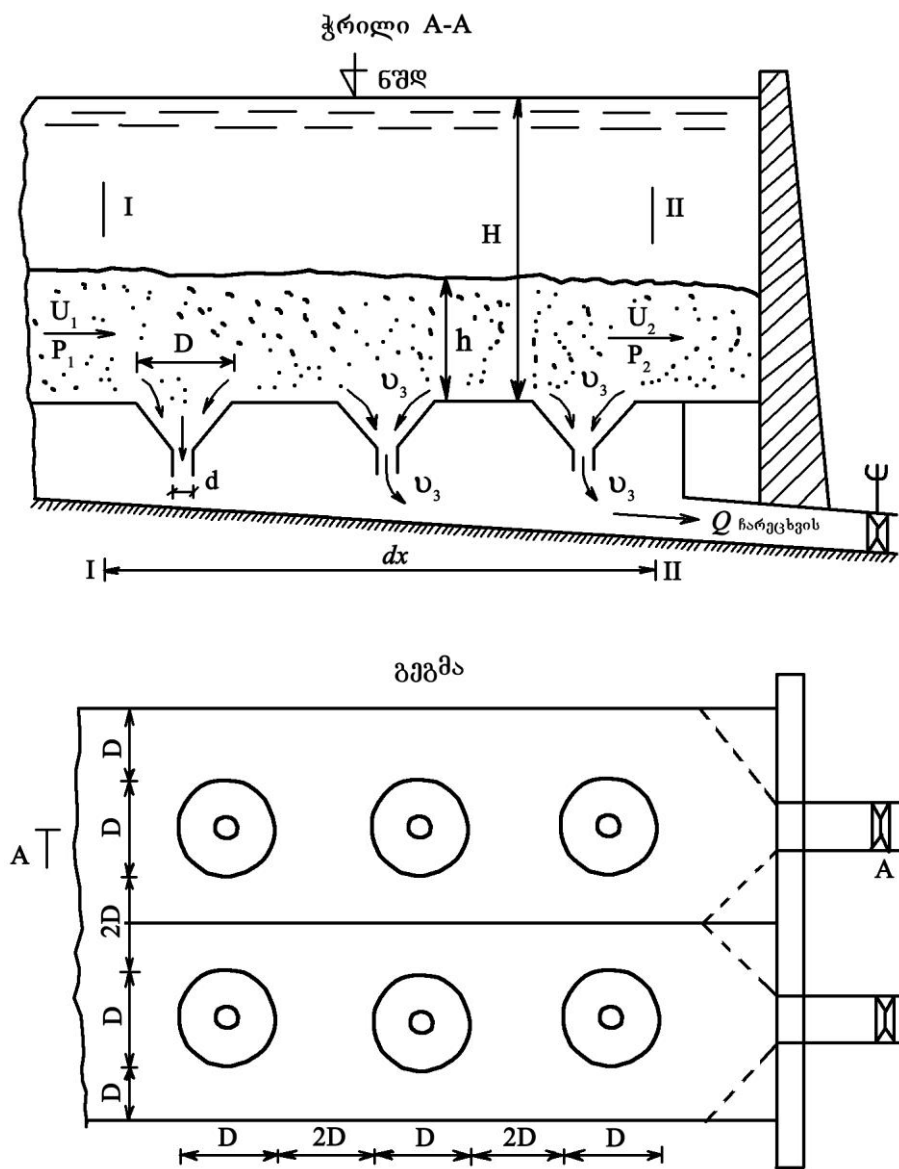
მთის წყალსაცავების ნატანისგან გაწმენდის საინტერესო შემოთავაზებაა აზერბაიჯანელი მეცნიერის მიერ წყალსაგდები ნაგებობების სათავე ნაწილის (წყალამღები კოშკის სახით) განლაგება მდინარის კალაპოტში წყალსაცავის ნორმალური დონის და მკვდარი მოცულობის დონეებს შორის (ნახ. 64) [50].



ნახ. 64. მთის წყალსაცავების ფსკერის ნატანისგან აცილების ნაგებობა
 1 – კაშხალი, 2 – ფსკერული მილები, 3 – ზედაპირული წყალსაგდები,
 4 – ფსკერული წყალმიმღები, 5 – ნატან-დამჭერი კაშხალი, 6 – ნატანის წინასწარი
 დაღექვის აუზი.

ჩვენი აზრით ასეთი ტიპის ნატან-დამჭერი ნაგებობა მთის მდინარეების პირობებში, სადაც მაღალია ნატანის სიმღვრივე, ძალიან მალე დაისილება. ასევე საინტერესო შემოთავაზებაა – ნატანის ჩამოგდება კაშხლის წინ ჩაძირული საღეჭარის მოწყობით (ნახ. 65), [50].

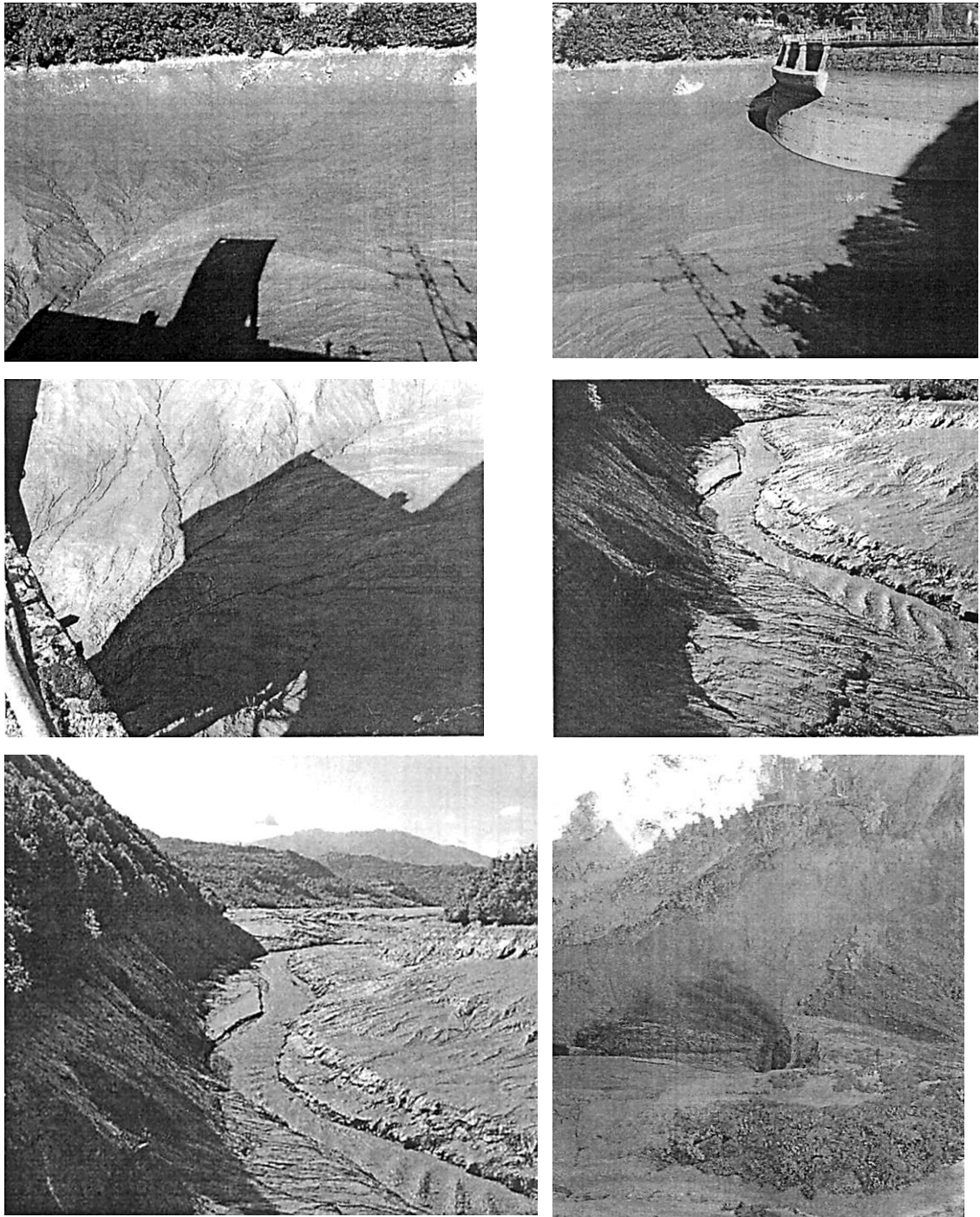
რაც შეეხება საქართველოს მთის წყალსაცავებს – ყველგან მოწყობილია კაშხლების ძირში გამრეცხი გალერეები. საქართველოს წყალსაცავების რეგულარული ჰიდრავლიკური ჩარევებები არ ტარდება, რის გამო ზოგიერთი მათგანი დასილულია ფსკერული ნატანით – გუმათის, ლაჯანურის, ვარციხის. ტყიბულის წყალსაცავის ფსკერი დასილულია ნახშირის შლამით, თბილისის წყალსაცავის წყალი, რომელსაც ვიყენებთ სასმელად – დაბინძურებულია უხამქიმიკატებით და მინერალური სასუქებით [32, 33].



ნახ. 65. ჩაძირული სალექარის სქემა

ლაჯანურის წყალსაცავის ფსკერის ნატანისგან ჰიდრავლიკური წარეცხვა ჩატარდა 2012 წელს. მაგრამ დადებითი ეფექტი არ ჰქონდა,

რადგან ნატანი უკვე ჩაკირულია და წყლის მიმართული ნაკადი მას ვერ მოერია (ფოტო 2).



ფოტო 2. ლაჯანურის წყალსაცავის ფსკერის ნატანისგან ჰიდრაულიკური ჩარეცხვის პროცესი, 2012 წელი.

წყალსაცავის ფსკერის ნატანისაგან გაწმენდის საერთო რეკომენდაციები
წყალსაცავის ფსკერის ნატანისაგან გაწმენდისათვის, საჭიროა შემდეგი მოსამზადებელი სამუშაოების ჩატარება:

ა) მოსამზადებელი სამუშაოები:

1. წყალსაცავის ფსკერის საპროექტო გეგმის და პროფილების მოძიება;
2. წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილი ნატანის მოცულობის დასადგენად უნდა ჩატარდეს მისი ფსკერის ექოლოტირება ყოველ 100×100 მ და ფსკერის თანამდროვე პროფილების აგეგმვა;
3. დაგროვილი ნატანის მოცულობის (W_6 , მ³) გაანგარიშება საპროექტო და თანამდროვე პროფილების შედარებით;
4. ნატანის სიმსხოს (d_6) და მისი ხვედრითი წონის (γ_6) დასადგენად ფსკერიდან გრუნტის სინჯების ამოღება და გრანულომეტრიული შემადგენლობის გაანგარიშება.

ბ) წყალსაცავის ფსკერიდან ნატანის გამორეცხვის პროცესი:

1. წყალსაცავის დონის დაწევა, თუნდაც მკვდარი მოცულობის დონემდე დონის დაცლის სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს 1,0 მ/დღე-ღამეში. დაცლის პროცესი სასურველია ჩატარდეს გაზაფხულის წყალდიდობის პერიოდის დაწყებამდე);
2. წყალსაგდები არხის ფაქტიური განივკვეთის ფართობის ($W_{ფაქ.}$, მ²), დახრილობის ($i_{ფაქ.}$) და სიგრძის ($l_{ფაქ.}$, მ) გაზომვა;
3. წყალსაგდებ არხში წყლის დინების ფაქტობრივი სიჩქარის ($V_{ფაქ.}$, მ/წმ) გაზომვა წყალსაცავის დონის საანგარიშო შესაბამისი ნიშნულის (∇ მმდ) დროს.

არხში წყლის ფაქტობრივი სიჩქარის ($V_{ფაქ.}$, მ/წმ) და ნატანით გაჯერებული წყლის კრიტიკული (არადალექვადი) სიჩქარის ($V_{კრ. არადალექვადი}$) სიდიდეების შედარება. ნატანის გამოტანა უნდა ხორციელდებოდეს

$$V_{ფაქ.} > V_{კრ. არადალექვადი} \quad (25)$$

პირობის დაცვით.

არხში არადალექვის კრიტიკული სიჩქარე ($V_{კრ. არადალექვადი}$) შესაბამისი წყლის დინების ფაქტობრივი სიჩქარის ($V_{ფაქ.}$), ნატანის საშუალო სიმსხოს ($d_{საშ.}$ მმ) და წყალსაგდები არხის დახრილობის (i) დროს იანგარიშება ა.ა. ჩერკასოვის ფორმულით [51]:

$$V_{\text{კრ. არადალექ.}} = 0,646 \alpha \beta R^{0,5}, \text{ მ/წმ} \quad (26)$$

სადაც α არის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ($R \cdot i \cdot 10^6$) სმ-ზე (იხ. ცხრ. 44); $R = \frac{\omega}{N}$, მ – გამყვანი არხის ჰიდრავლიკური რადიუსი; ω , მ² – გამყვანი არხის ცოცხალი კვეთი; χ , მ – გამყვანი არხის სველი პერიმეტრი; i – გამყვანი არხის დახრილობა; β – კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნატანის ჰიდრო-მექანიკურ ეკვივალენტზე (η), (β)-ს მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში 45.

ცხრილი 44

α -ს მნიშვნელობები

$R \cdot i \cdot 10^6$	α	$R \cdot i \cdot 10^6$	α	$R \cdot i \cdot 10^6$	α
50	0,97	200	0,995	350	1,015
75	0,975	225	1,00	400	11,02
100	0,98	275	1,005	450	1,095
125	0,985	300	1,01	500	1,03
150	0,99				

ცხრილი 45

β -ს მნიშვნელობები

η , გრ-სმ/ლ-წმ	β	η , გრ-სმ/ლ-წმ	β	η , გრ-სმ/ლ-წმ	β
0,001	0,735	0,2	0,950	1,5	1,075
0,01	0,815	0,3	0,975	2,0	1,090
0,2	0,840	0,4	0,990	3,0	1,120
0,03	0,860	0,5	1,005	4,0	1,140
0,04	0,870	0,6	1,015	5,0	1,160
0,05	0,880	0,7	1,025	7,0	1,180
0,06	0,880	0,8	1,030	10,0	1,215
0,08	0,900	0,9	1,040	15,0	1,250
0,10	0,915	1,0	1,045	20,0	1,270
0,15	0,935				

η – ნატანის ჰიდრომექანიკური ეკვივალენტია. მისი მნიშვნელობა ტოლია:

$$\eta = \frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma_1} \cdot \varepsilon \frac{\sum (\omega_i \cdot P_i)}{\sum P_i}, \quad (27)$$

სადაც γ – წყლის და ნატანის ხვედრითი წონაა; ε – გამყვან არხში ნაკადის

სიმღვრივე (ანუ ნატანით გაჯერებული ნაკადის 1,0 ლიტრში ნატანის რაოდენობა გრამებში); ω_i – ნატანის i -ური ხარისხის ნაწილაკების გასაშუალებული ჰიდრავლიკური სიმსხო, სმ/წმ; P_i – ამ ფრაქციის ნატანის რაოდენობა, %-ში.

თუ $\gamma_1 = 2,66$ ტ/მ³ და $\gamma = 1,0$ ტ/მ³, მაშინ:

$$\eta = 0,634\varepsilon \frac{\sum (\omega_i \cdot P_i)}{\sum P_i}, \quad (28)$$

სადაც ω -ს მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში 46.

ცხრილი 46

ჰიდრავლიკური სიმსხოს (ω_i) გასაშუალებული მნიშვნელობები, სმ/წმ

ფრაქციების დიამეტრი, მმ	ჰიდრავლიკური სიმსხოს გასაშუალებული მნიშვნელობა, (ω_i), სმ/წმ
0,001	0,00005
0,001-0,005	0,00158
0,005-0,010	0,01635
0,010-0,05	0,124
0,05-0,25	1,272
0,25-0,50	3,899
0,50-1,00	7,527

ამრიგად, ფორმულა (26)-ის გამოყენებით გაანგარიშებული ($V_{კრ. არადალექ.}$)-ის მნიშვნელობა ნაკლები უნდა იყოს ($V_{ფაქ.}$) (იხ. ფორმულა 25).

პრაქტიკული გაანგარიშებისას ($V_{კრ. არადალექ.}$)-ის მნიშვნელობები დასაშვებია მივიღოთ ცხრ. 47-ის მიხედვით.

ცხრილი 47

კრიტიკული არადალექვადი სიჩქარის მნიშვნელობები ($V_{კრ. არადალექ.}$), მ/წმ

შეტევნარებული ნატანის შემადგენლობა	არხის საშუალო სიღრმე,	$V_{კრ. არადალექ.}$, მ/წმ						
		P=0,1%	P=0,5%	P=1,0%	P=2,5%	P=5,0%	P=7,5%	P=10%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,25÷0,05 მმ 25%	0,30	0,22	0,28	0,32	0,39	0,45	0,49	0,52
	0,60	0,28	0,37	0,43	0,52	0,60	0,66	0,70
	1,00	0,34	0,45	0,52	0,64	0,75	0,82	0,87
0,05÷0,005 მმ 75%	1,50	0,39	0,54	0,62	0,76	0,89	0,97	1,04
	2,0	0,44	0,60	0,70	0,86	1,01	1,10	1,18
	2,5	0,48	0,66	0,77	0,94	1,11	1,22	1,30
	3,0	0,51	0,71	0,83	1,02	1,20	1,32	1,41

ცხრილი 47 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,025÷0,05 მმ 75%	0,30	0,28	0,37	0,42	0,50	0,58	0,64	0,68
	0,60	0,36	0,48	0,55	0,67	0,78	0,85	0,91
	1,00	0,43	0,59	0,68	0,83	0,97	1,06	1,13
0,05÷0,005 მმ 25%	1,50	0,51	0,69	0,80	0,98	1,15	1,26	1,35
	2,00	0,57	0,48	0,91	1,11	1,31	1,43	1,53
	2,50	0,61	0,86	0,99	1,22	1,44	1,57	1,69
	3,00	0,65	0,92	1,07	1,32	1,55	1,70	1,82
1,0÷0,25 მმ 25%	0,30	0,39	0,51	0,58	0,70	0,81	0,88	0,94
	0,60	0,50	0,67	0,76	0,93	1,06	1,18	1,26
	1,00	0,60	0,82	0,94	1,15	1,34	1,47	1,57
0,25÷0,05 მმ 75%	1,50	0,70	0,96	1,11	1,36	1,59	1,75	1,87
	2,00	0,78	1,08	1,26	1,54	1,80	1,98	2,12
	2,50	0,85	1,19	1,38	1,69	1,99	2,18	2,33
	3,00	0,92	1,28	1,49	1,83	2,15	2,36	2,53
1,0÷0,25 მმ 75%	0,30	0,57	0,73	0,84	1,00	1,16	1,27	1,35
	0,60	0,72	0,96	1,10	1,34	1,56	1,70	1,82
	1,00	0,87	1,18	1,36	1,66	1,93	2,12	2,22
0,25÷0,05 მმ 25%	1,50	1,01	1,39	1,61	1,96	2,30	2,52	2,70
	2,00	1,13	1,56	1,81	2,22	2,60	2,86	3,06
	2,50	1,23	1,71	1,99	2,44	2,87	3,15	3,37
	3,00	1,32	1,85	2,15	2,64	3,10	3,41	3,65

ამრიგად, თუ $V_{\text{ფაქტ.}} > V_{\text{კრ. არადალექ.}}$ – ნატანი არ დაილექება გამყვან არხში და ჩაირეცხება. წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭირო იქნება არხის კალაპოტის დალექილი ნატანისაგან პერიოდული მექანიკური გაწმენდა. გარდა ამისა, საჭირო იქნება წყალსაცავის ფსკერის პერიოდული ექოლოტირება – გამოტანილი ნატანის მოცულობების დასადგენად [52].

თავი X. მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვისგან დამცავი ღონისძიებები

X.1. მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვისაგან დამცავი არსებული და ახალი კონსტრუქციები

წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების დაცვა ახალი, თანამედროვე, მაღალი ტალღაჩამქრობის უნარის და მათი დაბალი თვითღირებულების მქონე ნაპირდამცავი ნაგებობების მეშვეობით – აქტუალური პრობლემაა.

თანამედროვე პერიოდში მრავალ ქვეყანაში უკვე უარი თქვეს მასიური, ერთიანი და ძვირადღირებული ნაპირდამცავი ნაგებობების გამოყენებაზე. შექმნილია სხვადასხვა მოხაზულობის ფიგურული მასივებისგან გამჭოლი კონსტრუქციები, რომელთა წონითი დიაპაზონი 0,5-5,0 ტონის ფარგლებშია [53÷57] (ნახ. 66; ფოტო 3, 4).

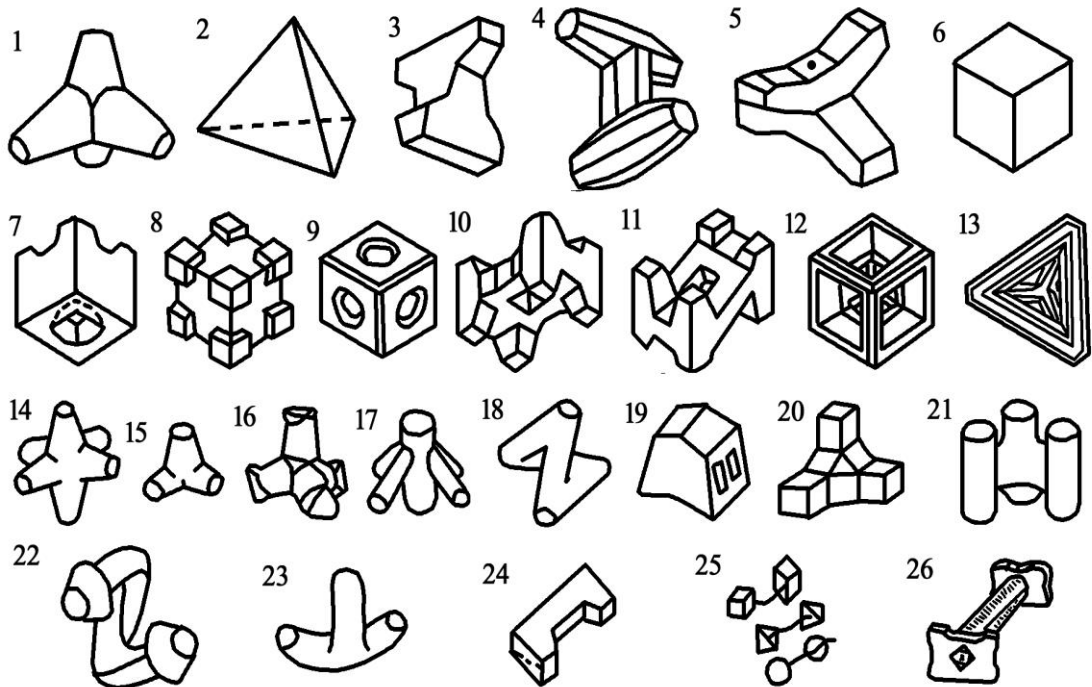
ფიგურული მასივების გამოყენებით შესაძლებელია აბრაზიული ციცაბო ($\alpha=33^\circ$ -მდე) ფერდების გამაგრება. ფიგურული მასივებისგან აგებული კონსტრუქციების ეფექტური მუშაობის ძირითადი ფაქტორია – ტალღების ენერჯის ჩახშობა და ფერდზე მათი აგორების სიმაღლის შემცირება (2÷30-ჯერ). ჰიდრომშენებლობის პრაქტიკაში მასივების მაქსიმალური წონა 60,0 ტონას აღწევს.



ფოტო 3. ტეტრაპოდები ხიდის საყრდენთან მდ. ლიახვზე (საქართველო)



ფოტო 4. აბრაზიული ნაპირის გამაგრება სპეციალური ოთხისრიანი კონსტრუქციების მრავალრიგიანი წყობით (აშშ)

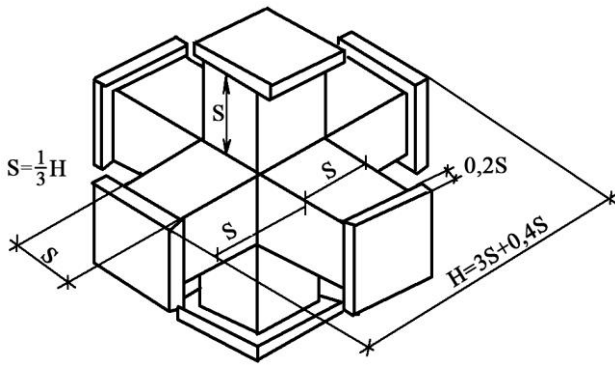


ნახ. 66. ფიგურული მასივების ძირითადი ტიპები

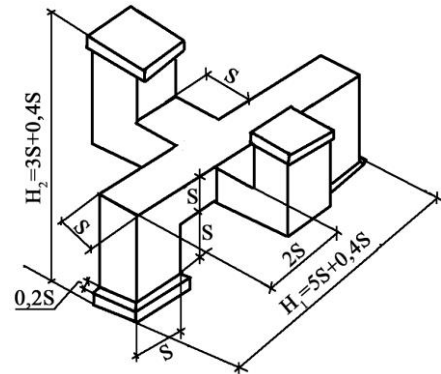
1 – ტეტრაპოდი; 2 – ტეტრაედრი; 3 – დიპოდი; 4 – დოლოსი; 5 – მი-ტიპი;
 6 – კუბუსი; 7 – მოდიფიცირებული კუბუსი; 8 – BH3 ბლოკი; 9 – სტიბლოკი;
 10 – H-სებრი ბლოკი; 11 – II-სებრი ბლოკი; 12 – КОБ-ბლოკი; 13 – ღრუ
 ტეტრაედრი; 14 – ჰექსპოდი; 15 – კვადრიპოდი; 16 – სტაბილოპოდი; 17 – სტაპოდი;
 18 – სტაბიტი; 19 – სვიბლოკი; 20 – ტრიპოდი; 21 – ტრიბარი; 22 – დინოზავრი; 23 –
 არტილისი; 24 – π-ბლოკი; 25 – შეკრული ბლოკები; 26 – ჰანტელისებური ბლოკი.

ბლოკების ტალღაჩამქრობი უნარის და ურთიერთშეკრულობის გაუმჯობესების, ფერდის ტალღების აგორების სიმაღლის შემცირებისათვის დამუშავდა ფასონური ბლოკების ახალი ტიპები – „ჰექსაბლოკის“ და „ტეტრა-

ბლოკის“ სახით (დასახელება შერჩეულია ჩვენ მიერ, მათი შვერილების რაოდენობის შესაბამისად – „ჰექს“ – ექვსი და „ტეტრა“ – ოთხი) (ნახ. 67, 68), [58, 59].



ნახ. 67. „ჰექსაბლოკის“ სქემა

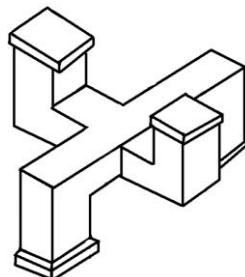
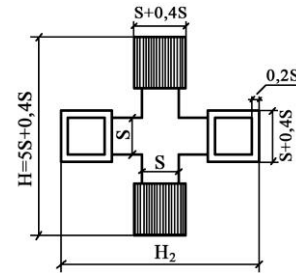
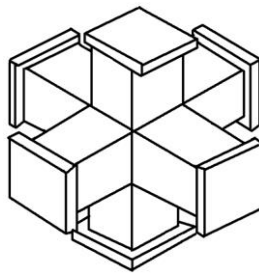
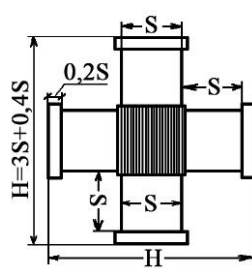


ნახ. 68. „ტეტრაბლოკის“ სქემა

ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ბლოკების – „ჰექსაბლოკის“ და „ტეტრაბლოკის“ და არსებული მასივების „ტეტრაპოდის“, „დიპოდის“ და „დოლოსის“ მასის შედარება მოყვანილია ნახაზზე 69.

ჰექსაბლოკი, $\gamma = 2,60 \text{ ტ/მ}^3$		
$P, \text{ ტ}$	0,21	1,64
$H, \text{ მ}$	0,75	1,50
$S, \text{ მ}$	0,22	0,44
$V, \text{ მ}^3$	0,08	0,63

ტეტრაბლოკი, $\gamma = 2,60 \text{ ტ/მ}^3$		
$P, \text{ მ}$	0,21	1,70
$H_1, \text{ მ}$	0,97	2,11
$H_2, \text{ მ}$	0,61	1,33
$S, \text{ მ}$	0,18	0,39
$V, \text{ მ}^3$	0,064	0,65



ტეტრაპოდი, $\gamma = 2,60 \text{ ტ/მ}^3$		
$P, \text{ მ}$	1,00	6,00
$H, \text{ მ}$	1,30	2,30

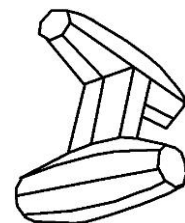
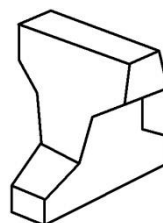
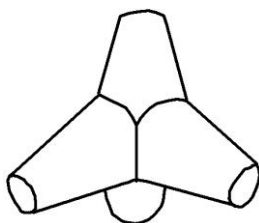
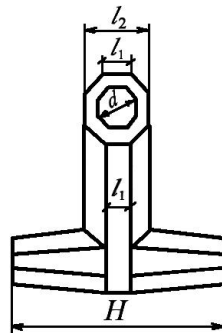
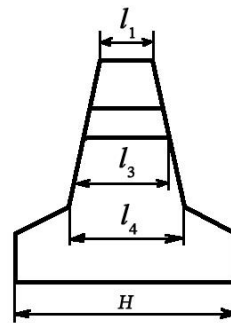
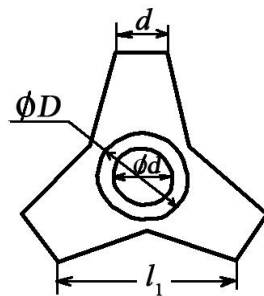
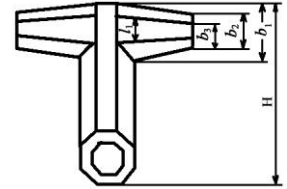
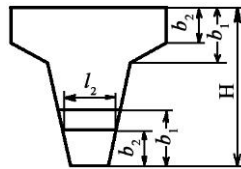
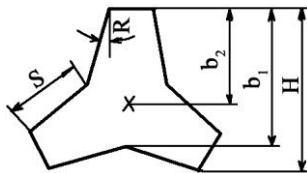
დიპოდი, $\gamma = 2,60 \text{ ტ/მ}^3$		
$P, \text{ მ}$	1,00	6,00
$H, \text{ მ}$	1,20	2,20

დოლოსი, $\gamma = 2,60 \text{ ტ/მ}^3$		
$P, \text{ მ}$	1,00	6,00
$H, \text{ მ}$	1,38	2,50

$d, \text{ მ}$	0,30	0,60
$D, \text{ მ}$	0,50	1,01
$S, \text{ მ}$	0,60	1,10
$b_1, \text{ მ}$	1,07	1,95
$b_2, \text{ მ}$	0,75	1,40
$\text{tg}\alpha$	0,22	0,22

$b_1, \text{ მ}$	0,41	0,76
$b_2, \text{ მ}$	0,26	0,48
$l_1, \text{ მ}$	0,75	1,40
$l_2, \text{ მ}$	0,28	1,52
$l_3, \text{ მ}$	0,45	0,82
$l_0, \text{ მ}$	0,57	1,04

$b_1, \text{ მ}$	0,43	0,80
$b_2, \text{ მ}$	0,28	0,51
$b_3, \text{ მ}$	0,11	0,81
$l_1, \text{ მ}$	0,18	0,33
$d, \text{ მ}$	0,30	0,55



ნახ. 69. ფიგურული მასივების – „ჰექსაბლოკის“, „ტეტრაბლოკის“, „ტეტრაპოდის“, „დიპოდის“ და „დოლოსის“ სქემები და მათი მახასიათებლები
 γ – ბეტონის მოცულობითი წონა (ტ/მ³)

ფერდზე „ტეტრაბლოკის“ და „ჰექსაბლოკის“ ნაყარის ყველაზე ეფექტური ზომების და ფორმის დასადგენად საჭიროა მასზე ტალღური დატვირთვის და ფერდზე ტალღის აგორების სიდიდის ($H_{run up}$) ანგარიში.

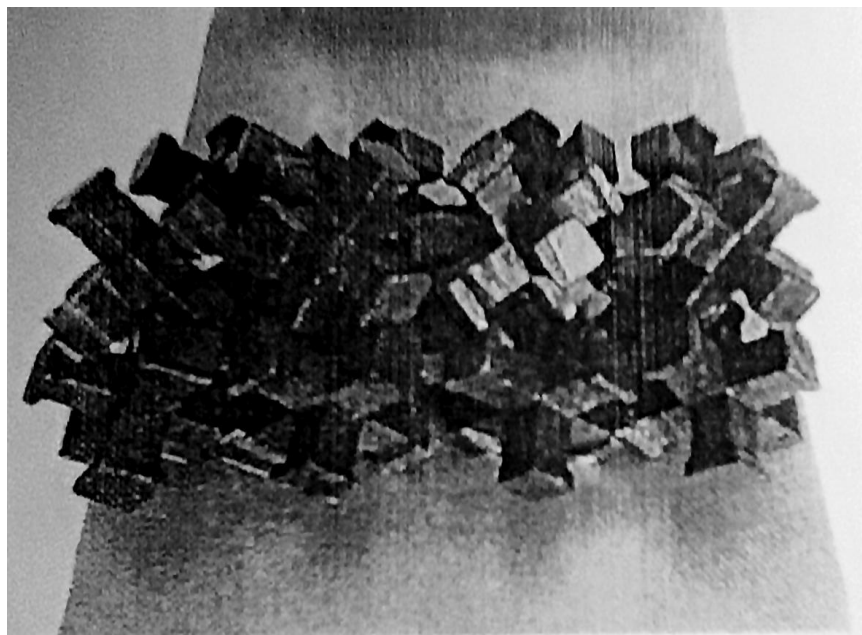
ა) ფერდის „ჰექსაბლოკებით“ ნაყარის ზედა საზღვრის პროგნოზირება ხორციელდება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$h_{run\ up,max\ (ჰექს.)} = k_{(ჰექს.)} \cdot k_w \cdot k_{run\ up(გლ.)} \cdot h_1, \quad (29)$$

სადაც $k_{ჰექს.} = 0,60$ – „ჰექსაბლოკებით“ გამაგრებული ფერდის სიმქისის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დადგენილია **ლაბორატორიული კვლევების** საფუძველზე. მისი მნიშვნელობა მიღებულია გლუვ ფერდზე ტალღის აგორების სიმაღლის ($h_{run\ up-გლ.}$) და „ჰექსაბლოკებით“ გამაგრებულ ფერდზე ტალღის აგორების სიმაღლის ($h_{run\ up-ჰექს.}$) შეფარდებით –

$$k_{(ჰექს.)} = \frac{h_{run\ up\ ჰექს.}}{h_{run\ up\ გლ.}} = 0,60 \quad (\text{იხ. ფოტო 5}); \quad k_w = 1,5 \quad - \text{კოეფიციენტი, რომლის}$$

მნიშვნელობა სამშენებლო ნორმატივების СНиП 2.06.04-82 მიხედვით დამოკიდებულია ქარის სიჩქარეზე და ფერდის დახრილობაზე); $k_{run\ up(გლ.)}$ – კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია გლუვ ფერდზე ტალღის დამრეცობაზე (λ/h) და ფერდის დახრილობაზე (α).



ფოტო 5. „ჰექსაბლოკებით“ გამაგრებული ფერდის მოდელი

ბ) ფერდის „ტეტრაბლოკებით“ ნაყარის ზედა საზღვრის ანგარიში იდენტურია. ლაბორატორიული კვლევების საფუძველზე მიღებულია,

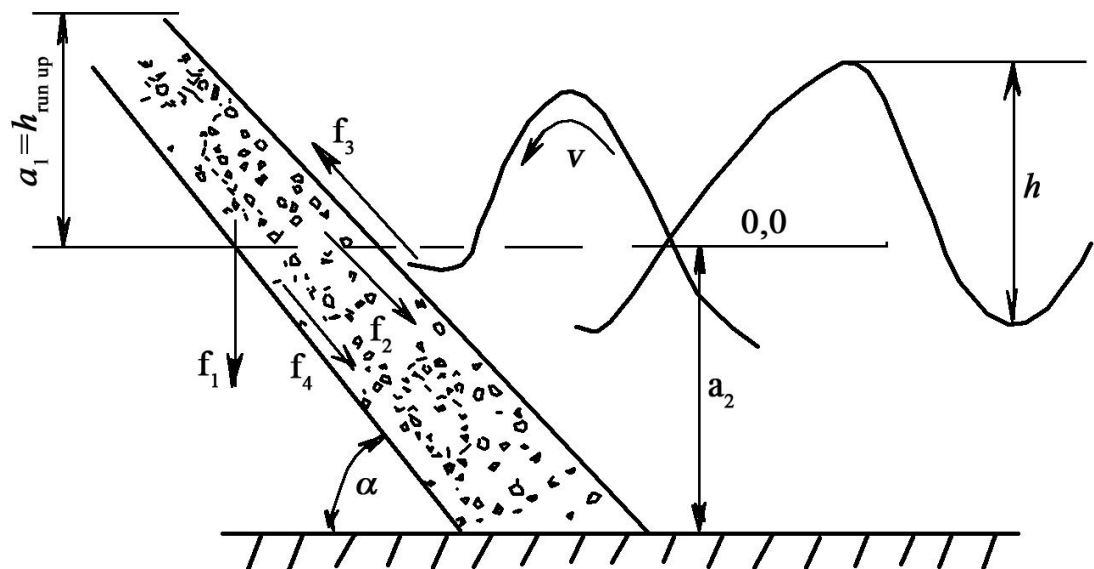
რომ $k_{ტეტრ.} = \frac{h_{run up ტეტრ.}}{h_{run up გლ}} = 0,55$. მაშინ „ტეტრაბლოკებით“ გამაგრებულ ფერდზე

ტალღის აგორების სიმაღლე იქნება:

$$h_{run up ტეტრ.} = 0,55 \cdot 1,5 \cdot 0,1 \cdot 10,0 = 0,83 \text{ მ,}$$

ანუ „ტეტრაბლოკებით“ გამაგრებულ ფერდზე ტალღის აგორების სიმაღლე 0,07 მ-ით (8%) ნაკლებია.

„ტეტრაბლოკის“ და „ჰექსაბლოკის“ ოპტიმალური წონის ანგარიში ტარდება სტაბილიზებადი და გამომწვევი ფაქტორების საფუძველზე, მსგავსების თეორიის გამოყენებით. ანგარიში ტარდება მიღებული განმსაზღვრელი პარამეტრების გათვალისწინებით, ესენია: m – „ტეტრაბლოკის“ მასა (ტ); ρ_m – „ტეტრაბლოკის“ მასალის სიმკვრივე (ტ/მ³); α – ფერდის დახრილობის კუთხე (გრადუსებში); h – ტალღის სიმაღლე (მ); λ – ტალღის სიგრძე (მ); θ – ტალღების ნაპირთან მოსვლის კუთხე (რადიანებში); ρ – წყლის სიმკვრივე; g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება; μ – წყლის კინემატიკური სიბლანტე (იხ. ნახ. 70).



ნახ. 70. „ტეტრაბლოკებით“ შექმნილი კონსტრუქციის მდგრადობის განმსაზღვრელი ფაქტორების სქემა

მაშინ, განმსაზღვრელი პარამეტრების სისტემა იქნება:

$$f(m, \rho_m, \rho, \alpha, h, \lambda, \theta, g, \mu) = 0. \quad (30)$$

პარამეტრების უგანზომილებო სახით გათვალისწინებით, დამოკიდებულება (30) ასე ჩაიწერება:

$$f \left(\frac{m}{\rho_m \cdot h^3}, \text{ctg} \alpha, \frac{\rho_m}{\rho}, \frac{h}{\lambda}, \theta, \frac{h^2}{\left(\frac{\lambda}{g}\right)^\mu} \right) = 0, \quad (31)$$

მაშინ მასივის ელემენტის ოპტიმალური მასა ჩაიწერება უნივერსალური დამოკიდებულების სახით:

$$m = \frac{a \rho_m h_{1\%}^3}{(\rho_m - \rho)^3 \text{ctg} \alpha} \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{1\%}}{h_{1\%}}}. \quad (32)$$

ცხრილში 48 და ნახაზზე 71 მოყვანილია სხვადასხვა ტიპის (დოლოსი, ტეტრაპოდი, ტრიბარი, სტაბიტი, ჰექსაბლოკი და ტეტრაბლოკი) მასივების ფაქტობრივი და საანგარიშო ოპტიმალური მასის მნიშვნელობები.

ცხრილი 48

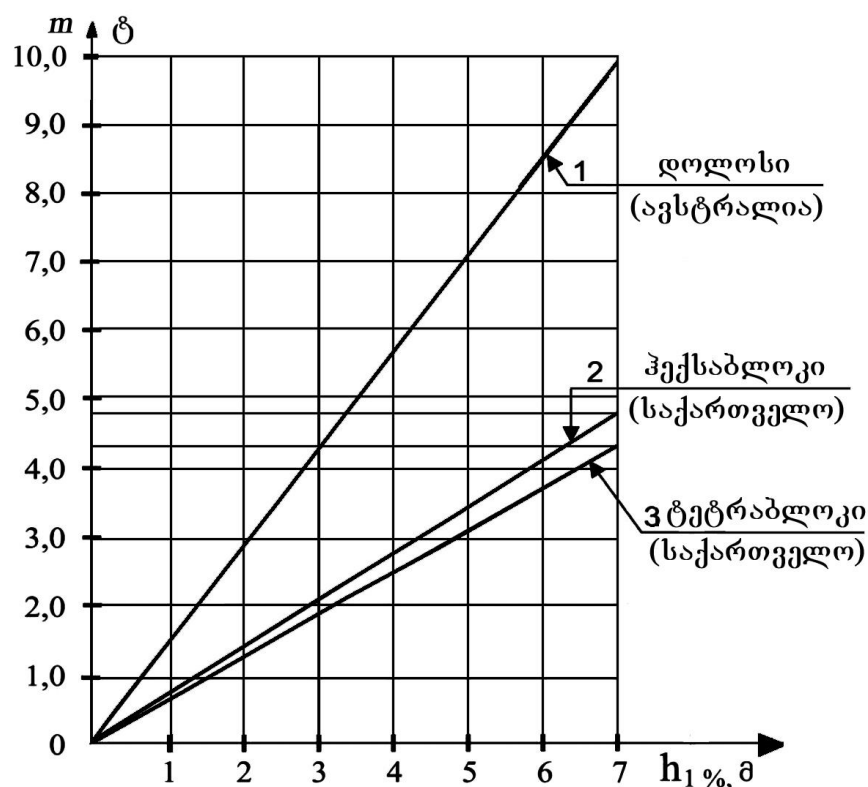
ვასონური ბლოკების ოპტიმალური წონის (m) მონაცემები

№	ადგილმდებარეობა /ბლოკების ტიპი	ფაქტობრივი მნიშვნელობები							საანგარიშო მნიშვნელობები m	
		d , მ	$h_{\%}$, მ	$\lambda_{\%}$, მ	$\sqrt{\frac{\lambda_{\%}}{h_{\%}}}$	$\text{Ctg} \alpha$	m , ტ	a , (ფ-ლა 32-ში)	საშმ. ნორმები m , ტ	ფ-ლა (32) m , ტ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	გუმბოლტი (აშშ)/დოლოსი	14,0	12,2	244	4,47	4,0	43,0	0,021	31	41
2	რიჩარდ ბეი (არაბეთი)/დოლოსი	17,9	9,0	134	3,86	2,0	30,0	0,021	29	29
3	ჰეი-პოინტი (ავსტრალია)/დოლოსი	10,0	6,1	90	3,84	2,0	10,0	0,023	9	9
4	მინა-რაისუნი (ომანი)/დოლოსი	13,0	7,0	140	4,47	1,5	20,0	0,02	22	21
5	ჰანს ბეი (სამხრ. არაბეთი)/დოლოსი	11,8	6,0	153	5,05	1,5	13,5	0,019	16	15
6	ტეიბლ ბეი (სამხრ. არაბეთი)/დოლოსი	8,8	4,5	130	5,38	1,5	6,0	0,018	7	7
7	კრიშენტ-სიტი (აშშ)/ტეტრაპოდი						25,0		22	24
8	ჰავაი/ტრიბარი						17,8		16	17

9	ინგლისი/სტაბიტი						25,0		23	24
10	საქართველო/ ჰექსაბლოკი	2,3	6,9	69	3,16	3,0		0,02		4,6
11	საქართველო/ ტეტრაბლოკი	2,3	6,9	69	3,16	3,0		0,02		4,4

ლაბორატორიულ პირობებში „ჰექსაბლოკების“ და „ტეტრაბლოკების“ გამოკვლევისათვის საჭიროა მექანიკური მსგავსების კანონის გამოყენება, რომელიც გულისხმობს გეომეტრიული, კინემატიკური და დინამიკური მსგავსების შენარჩუნებას ზღვრული და საწყისი პირობების დაცვით.

ტალღების და “ჰექსაბლოკებით” და “ტეტრაბლოკებით” ნაყარის ურთიერთქმედების მექანიზმის თავისებურებების გამოკვლევები ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ჰიდროტექნიკურ ლაბორატორიაში.



ნახ. 71. ბლოკების მდგრადობის გაანგარიშებული მასის (m) დამოკიდებულება ტალღის სიმაღლესთან (h)

ჰიდროდინამიკური და ფიზიკური ლაბორატორიული მახასიათებლების ნატურაში გადაანგარიშება ტალღების მსხვერვის (ჩამოქცევის) ზონა-

მდე, (სადაც პროცესი მიმდინარეობს ავტომოდელურ ზონაში), ხორციელდება მოდელირების წრფიული მასშტაბისა და ფრუდის კრიტერიუმის გამოყენებით, რომელიც ითვალისწინებს სიმძიმის (გრავიტაციული) ძალების იდენტურობას ($a_L = L_{ნატ} / L_{მოდ}$) ტალღების ჩამოქცევის ზონის შემდეგ (სადაც ავტომოდელირება აღარ სრულდება) ტალღის ფერდზე აგორების სიმაღლე და ფერდზე ტალღური წნევის ანგარიში ტარდება მასშტაბური შემასწორებელი კოეფიციენტის ($K=0,75$) გათვალისწინებით (ცხრ. 49).

ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ შემოთავაზებული ფიგურული მასივებით გამაგრებულ ფერდზე ტალღის აგორების სიმაღლე 40%-ით ნაკლებია. ტალღების სამოდელო და ნატურული პარამეტრების განისაზღვრება მოდელში და ნატურაში მათი ზომების შესაძლო მაქსიმალური სიდიდის შესაბამისად.

ცხრილი 49

ნატურული ჰიდროდინამიკური მახასიათებლების ლაბორატორიული გადაანგარიშება „ჰექსაბლოკის“ და „ტეტრაბლოკის“ გამოკვლევისათვის (ფრუდის კრიტერიუმის გამოყენებით ($F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}}$, $g = idem$, $p = idem$))

ფიზიკური სიდიდეები	მასშტაბური წრფივი მამრავლი $a_L = L_{ნატ} / L_{მოდ}$	მოდელური სიდიდეები ტალღების მსხვერვის ზონამდე	მოდელური სიდიდეები ტალღების მსხვერვის ზონაში მასშტაბური კოეფიციენტის $K = 0,75$ გათვალისწინებით
1	2	3	4
წრფივი ზომები			
h (ტალღის სიმაღლე), მ	$a_h = a_L = h_{ნატ} / h_{მოდ}$	$h_{მოდ} = h_{ნატ} / a_L$	$h_{მოდ} = h_{ნატ} / a_L$
λ (ტალღის სიგრძე), მ	$a_\lambda = a_L = \lambda_{ნატ} / \lambda_{მოდ}$	$\lambda_{მოდ} = \lambda_{ნატ} / a_L$	$\lambda_{მოდ} = \lambda_{ნატ} / a_L$
H_{∇} (წყლის სიღრმე), მ	$a_{\nabla} = a_L = H_{ნატ,\nabla} / H_{მოდ,\nabla}$	$H_{მოდ,\nabla} = H_{ნატ,\nabla} / a_L$	$H_{მოდ,\nabla} = H_{ნატ,\nabla} / a_L$
$l = 3,0 \cdot S^*$ (ჰექსაბლოკის სიმაღლე), მ	$a_l = a_L = l_{ნატ} / l_{მოდ}$	$l_{მოდ} = l_{ნატ} / a_L$	$l_{მოდ} = l_{ნატ} / a_L$
Ω (ფართობის სიდიდე), მ ²	$a_\Omega = a_L^2$	$\omega_{მოდ} = \omega_{ნატ} / a_L^2$	$\omega_{მოდ} = \omega_{ნატ} / a_L^2$

W (მოცულობის სიდიდე), მ ³	$a_W = a_L^3$	$W_{\text{მოღ}} = W_{\text{ნაბ}} / a_L^3$	$W_{\text{მოღ}} = W_{\text{ნაბ}} / a_L^3$
$h_{run up}$ ტალღის აგორების სიმაღლე, მ	$a_{run up} = a_L$	$h_{run up \text{ მოღ}} = h_{run up \text{ ნაბ}} / a_L$	$h_{run up \text{ მოღ}} = h_{run up \text{ ნაბ}} / a_L$
t (დრო, პერიოდი), წმ	$a_t = a_L^{1/2}$	$t_{\text{მოღ}} = t_{\text{ნაბ}} / \sqrt{a_L}$	$t_{\text{მოღ}} = t_{\text{ნაბ}} / \sqrt{a_L}$
V (წრფივი სიჩქარე), მ/წმ	$a_V = a_L^{1/2}$	$V_{\text{მოღ}} = V_{\text{ნაბ}} / \sqrt{a_L}$	$V_{\text{მოღ}} = V_{\text{ნაბ}} / \sqrt{a_L}$
α° (კუთხე), გრადუსი	$a_\alpha = 1$	$\alpha_{\text{მოღ}}^\circ = \alpha_{\text{ნაბ}}^\circ$	$\alpha_{\text{მოღ}}^\circ = \alpha_{\text{ნაბ}}^\circ$
m (მასა), ტ	$a_m = a_L^3$	$M_{\text{მოღ}} = M_{\text{ნაბ}} / a_L^3$	$M_{\text{მოღ}} = M_{\text{ნაბ}} / a_L^3$
F (ძალა), ტ(მ)	$a_F = a_L^3$	$F_{\text{მოღ}} = F_{\text{ნაბ}} / a_L^3$	$F_{\text{მოღ}} = F_{\text{ნაბ}} / a_L^3$
$E_{\text{გამჭ.}}$ (გამჭოლიანობა)	$A_{\text{გამჭ.}} = 1$	$E_{\text{გამჭ. მოღ}} = E_{\text{გამჭ. ნაბ}}$	$E_{\text{გამჭ. მოღ}} = E_{\text{გამჭ. ნაბ}}$
P (წნევა), ტ/მ ²	$a_P = a_L$	$P_{\text{მოღ}} = P_{\text{ნაბ}} / a_L$	$P_{\text{მოღ}} = P_{\text{ნაბ}} / a_L$

სადაც $l = 3,0 \cdot S^*$ – ჰექსაბლოკის და ტეტრაბლოკის ყველაზე ეფექტური ზომაა, რომელიც განპირობებულია მათი მაღალი ტალღაჩამქრობი ეფექტით, ფერდზე მდგრადობით და მათი მშენებლობის ტექნოლოგიის სიმარტივით.

X.2. მთის წყალსაცავების წყალდამცავი სანაპირო ზოლის

(ს. ზოლ.) და წყალდამცავი ზონის (წ. ზონ.) სიდიდეები

საქართველოს წყალსაცავების სანიტარულ-ტექნიკური მდგომარეობის წყლის და წყალსაცავში ცოცხალი ბიომის დასაცავად **საჭიროა** სანიტარული ზოლის (ს. ზოლ.) და წყალდამცავი ზონის (წ. ზონ.) საზღვრების დანიშვნა [2].

სანაპირო ზოლი (ს. ზოლ.) – ტერიტორია, რომელიც უშუალოდ ემიჯნება წყალსაცავის წყლის კიდეს და მის ტერიტორიაზე აკრძალულია სამეურნეო მოქმედებები. წყალდამცავი სანაპირო ზოლის (ს. ზოლ.) შიდა საზღვარია წყალსაცავის **შეტბორვის დონე**, ხოლო გარე საზღვარი ინიშნება ფორსირებული შეტბორვის დონის და ნაპირის 50-წლიანი **გადამუშავების** (შეტბორვის და ხრამების) გათვალისწინებით. წყალდამცავი სანაპირო ზოლის სიგანე (**ს. ზოლ.**) ინიშნება წყალსაცავის ნაპირების 1%-იანი უზრუნველყოფის დატბორვისას.

წყალდამცავი ზონის (**წ. ზონ.**) გაბარიტების განსაზღვრისას საჭიროა

დადგინდეს ბიოგენური დატვირთვის მოცულობა და ბუნებრივი ფილტრების შთანთქმის უნარი. ანგარიშის პირველი ეტაპია წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორიის დარაიონება მისი გამოყენების მიხედვით: სოფლის მეურნეობა, სელიტებური, მეცხოველეობა, სამრეწველო, ბუნებრივი ფილტრები და სხვ. შემდეგ განისაზღვრება ამ ტერიტორიების სიგრძე და ფართობი, ზედაპირის დახრილობა, ნიადაგების ტიპი, ოროგრაფია, ბიოგენური დატვირთვის თავისებურებანი, ეროზიული პროცესები, აბრაზია და ა.შ. თუ ფერდის ტერიტორია ტყით დაფარულია 70%-მდე, ტყე ფოთლოვანია და ქვიშნარი ნიადაგებია, ფერდი ჩრდილოეთის ექსპოზიციისაა და მისი დახრილობა 5°-ია, მაშინ პირველი მიახლოებით **წ. ზონ.**-ის და სანაპირო ზოლის ჯამური სიგანე $L_0 = 400,0 \div 500,0$ მ. სხვა შემთხვევაში **წ. ზონ.**-ის სიგანე ($L_{წ.ზონ.}$) განისაზღვრება დამოკიდებულებით [2]:

$$L_{წ.ზონ.} = L_{ს.ზოლ.} + (\pm \Delta \ell_i) \text{ მ}, \quad (33)$$

სადაც $L_{ს.ზოლ.}$ – წ.ზონის სიგანეა წყლის 1%-იანი ჩამონადენისას; $L_{ს.ზოლ.} = 400,0 \div 500,0$ მ; $\Delta \ell_i$ – ფერდის ეტალონური (5°) და ფაქტობრივი დახრილობების შემასწორებელია:

$$\Delta \ell_i = 0,27 L_{საშ} \cdot \Delta_i \text{ მ}, \quad (34)$$

სადაც $L_{საშ}$ – წ.ზონის საშუალო სიგანეა:

$$L_{საშ} = L_0 \cdot \lambda_{p\%} \cdot K_{ტყ} \cdot K_{ნიად.} \cdot K_{გ} \cdot K_{სიმქ.} \text{ მ}, \quad (35)$$

სადაც Δ_i – ფერდების ფაქტობრივი და ეტალონური დახრილობების სხვაობაა – $\Delta_i = \text{tg}5^\circ \div \text{tg}0,3^\circ$; $\lambda_{p\%} = 2,0$ – ფერდობული წყლის ჩამონადენის კოეფიციენტი ($C_s = 2C_v$); $K_{ტყ}$ – ტყის სახეობის კოეფიციენტი (ცხრ. 50).

ცხრილი 50

$K_{ტყ}$ კოეფიციენტის მნიშვნელობები ტყის სახეობების მიხედვით

ტყის სახეობა	ფოთლოვანი	შერეული	წიწვოვანი	ფერდზე თავისუფალი მცენარეები
$K_{ტყ}$	1,0	0,92	0,85	2,5

$K_{ნიად.}$ – ფერდის ნიადაგის კოეფიციენტი (ცხრ. 51).

ცხრილი 51

ნიადაგის კოეფიციენტი ($K_{ნიად.}$) ფერდის ნიადაგის სახეობის მიხედვით

ნიადაგი	მჩატე ნიადაგი	საშუალო ნიადაგი	მძიმე ნიადაგი
$K_{ნიად.}$	1,0	1,5	2,0

K_{η} – კოეფიციენტი ფერდის ექსპოზიციის მიხედვით (ცხრ. 52).

ცხრილი 52

K_{η} -ს მნიშვნელობები ფერდის ექსპოზიციის მიხედვით

ფერდის ექსპოზიცია	ჩრდ.-აღმ. და დასავლეთი	სამხ.-აღმ. და ჩრდ.-დას.	სამხრეთი და სამხ.-დას.
K_{η}	1,0	0,8	1,2

$K_{სიმქ.}$ – კოეფიციენტი ფერდის სიმქისის გათვალისწინებით: ფერდის გარდი-გარდმო მოხვნისას $K_{სიმქ.} = 1,6$; ფერდის გასწვრივ მოხვნისას $K_{სიმქ.} = 2,4$.

ანგარიშის მაგალითი

სიონის წყალსაცავისათვის სანაპირო ზოლის (ს. ზოლ.) და წყალდამცავი ზონის (წ. ზონ.) განსაზღვრა

სიონის წყალსაცავისათვის სანაპირო ზოლის (ს. ზოლ.) და წყალდამცავი ზონის (წ. ზონ.) პარამეტრები განსაზღვრულია მათი გამოყენების გათვალისწინებით – სახნავი სავარგულები, სათიბი, სელიტებური, ტყის მასივები და მეცხოველეობის ფერმები (ცხრ. 53).

ცხრილი 53

სიონის წყალსაცავის საანგარიშო მონაკვეთების ძირითადი მახასიათებლები

მონაკვეთების № (ნახ. 72)	გამოყენების სახეობა	განლაგება	სიგრძე 1068,0 მ ნიშნულზე, მ	საანგარიშო განივები	ფერდობის დახრილობა (გრადუსი)
I	სელიტებური ტერიტორია (ს. სიონი)	მარცხენა	1750	XI	
II	სახნავი	მარცხენა	5 000	(II,III,IV) მარცხენა	7-8
III	სათიბები	მარცხენა	5 000	(V,VII,VIII) მარცხენა	4-25
IV	ტყის	მარცხენა		(IX) მარცხენა	

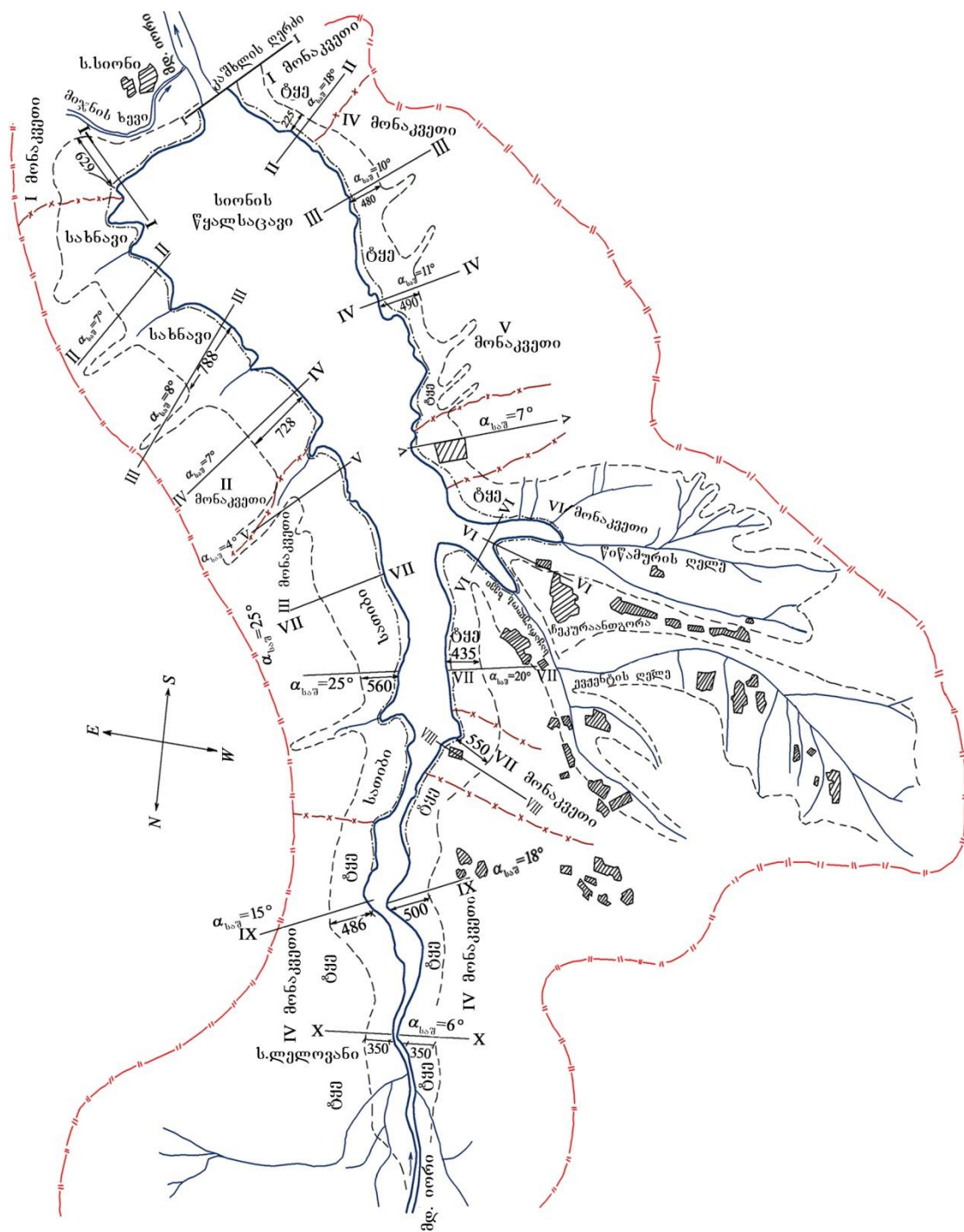
	მასივები		2 500	(X) მარცხენა	45
			3 000	(IX) მარჯვენა	6
			5 000	(X) მარჯვენა	12
				(I,II) მარჯვენა	6
				(III,IV) მარჯვენა	6-17
V	საქათმე	მარჯვენა	5 00	(V) მარჯვენა	7
VI	სელიტბური ტერიტორია	მარჯვენა	6 500	(VI) მარჯვენა	12
VII	სალორე	მარჯვენა	5 00	(VIII) მარჯვენა	10

წყალდამცავი სანაპირო ზოლის (ს. ზოლ.) შიდა საზღვარი – წყალსაცავის ნორმალური შეტბორვის დონეა, ხოლო გარე საზღვარი ინიშნება ფორსირებული შეტბორვის დონის ნაპირის **50 წლის** გადამუშავების მნიშვნელობით შეტბორვის და ხრამების გათვალისწინებით.

სანაპირო ზოლის (ს. ზოლ.) სიგანე ინიშნება წყალსაცავის დონის ერთპროცენტის უზრუნველყოფის დატბორვის ზოლიდან (ანუ +1070,0 მ-დან). შედეგები მოყვანილია 72, 73 ნახაზების და 54, 55 ცხრილების სახით.



ნახ. 72. სიონის წყალსაცავის რაიონის ნიადაგები



პირობითი აღნიშვნები

- წყლის კიდის მრუდი ფორსირებულ დონეზე
- მონაკვეთების საზღვრები
- - - სანაპირო ზოლის (სზ) გარე საზღვრები
- - - წყალდამცავი ზოლის (წზ) გარე საზღვრები
- წყალშემკრები აუზის გარე საზღვრები

ნახ. 73. სიონის წყალსაცავის წყალდამცავი ზონის საზღვრები

აზოტის და ფოსფორის დატვირთვა სიონის წყალსაცავში

ობიექტის დასახელება	რაოდენობითი მაჩვენებელი*	ნორმატივი კგ/წელ.		საერთო გამონატანი კგ/წელ.	
		აზოტი	ფოსფორი	აზოტი	ფოსფორი
სელიტებური ტერიტორიები	156 ჰა	6,0	3,0	936,0	468,0
ყოფითი ჩამონადენი		0,355	0,277		
მოსახლეობა	2325 ადამიანი	0,265	0,207	616,13	481,27
საკურორტო სეზონი	3150 ადამიანი	0,09	0,07	283,6	220,5
სახნავი მიწები	239 ჰა	3,0	1,0	717,0	239,0
საქონელი	160 სული	0,26	3,64	41,6	582,0
ღორები	400 სული	–	45,0		18000,0
ქათამი	50000 ფრთა	0,092	0,0092	460,0	46,0
საერთო რაოდენობა წელიწადში				3054,2	20036,77

* რაოდენობრივი მაჩვენებლები მოყვანილია 2010 წლის მონაცემების საფუძველზე

სიონის წყალსაცავისათვის წყალდამცავი ზონის (წ. ზონ.) სიგანის განსაზღვრა

მონაკვეთის №	კვეთის №	სანაპირო ზოლის (ს. ზოლ.) სიგანე, $L_{წ.ზოლ.}$, მ	დაბრლიობა (გრადუსი)	ექსპოზიცია	კოეფიციენტები				წ. ზონ. საშ. სიგანე $L_{საშ.}$ (ფ-ლა 35), მ	Δl_i , მ.	წყალდამცავი ზონის (წ. ზონ.) სიგანე, მ	
					K_{50} (ცხრ. 50)	K_{51} (ცხრ. 51)	K_{52} (ცხრ. 52)	$K_{1.6+2.4}$			$L_{წ.ზოლ.} = L_{ს.ზოლ.} + \Delta l_i$	საანგარიშო
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	I	400	4°	ჩდ	–	1, 2	0,8	1,6	614	7,8	621,8	622
II	II მარცხენა	400	9°	სდ	–	1, 2	1,2	1,6	768	23,6	791,6	740
II	III მარცხენა	400	8°	სდ	–	1, 2	1,2	1,6	768	20,1	788,1	788
II	IV მარცხენა	400	8°	სდ	–	1, 2	1,2	1,6	768	20,1	788,1	788
II	IV მარცხენა	400	8°	სდ	–	1, 2	1,2	1,6	768	20,1	781,1	788
III	V მარცხენა	400	4°	სდ	–	1, 2	1,2	1,6	768	7,8	775,8	730
III	VII მარცხენა	400	18°	სდ	–	1, 2	1,2	1,6	768	62,2	830,2	830
III	VIII მარცხენა	400	28°	დ	–	1, 2	1,0	1,6	640	82,9	723,0	560
IV	IX მარცხენა	400	16°	დ	1,0	1, 2	1,0	1,0	400	25,9	426,0	426

ცხრილი 55 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
IV	X მარჯვენა	400	12°	დ	1,0	1, 2	1,0	1,0	400	18,4	418,4	350
IV	IX მარჯვენა	400	10°	ჩა	1,0	1, 2	1,2	1,0	480	16,8	456,0	500
IV	X მარჯვენა	400	6°	აღმ	1,0	1, 2	1,0	1,0	400	6,5	406,5	385
IV	II მარჯვენა	400	16°	ჩა	1,0	1, 2	1,2	1,0	480	31,0	511,1	225
IV	III მარჯვენა	400	6°	ჩა	1,0	1, 2	1,2	1,0	480	8,2	482,0	480
IV	IV მარჯვენა	400	8°3'	ჩა	1,0	1, 2	1,2	1,0	480	14,2	474,2	480
IV	VII მარჯვენა	400	21°	აღმ	1,0	1, 2	1,0	1,0	400	35,6	435,6	435
V	V მარჯვენა	400	7°	აღმ	1,0	1, 2	1,0	1,6	640	13,8	653,8	653
VI	VI მარჯვენა	400	8°3'	სა	1,0	1, 2	0,8	1,6	512	13,8	525	575
VII	VIII მარჯვენა	400	6°	სა	1,0	1, 2	0,8	1,6	512	8,29	520	–

ზოლი, რომელიც ემიჯნება წყალსაცავს და რომლის სიგანეა 300,0 მ – მკაცრი რეჟიმის ზონაა; მეორე ზონა, რომლის სიგანეა 100,0 მ – შეზღუდული რეჟიმის ზონაა; მესამე ზონა, რომლის სიგანეა 100,0 მ – სადამკვირვებლო ზონაა. პირველ ზოლში უნდა აიკრძალოს: ახალი ობიექტების მშენებლობა, ნიადაგების უხამქიმიკატებით დამუშავება ქლორორგანული ნივთიერებების გამოყენებით, სასაფლაოების მოწყობა, სასაქონლო და საქათმე ფერმების მოწყობა. მეორე და მესამე ზოლებში – უნდა აიკრძალოს ახალი სასაფლაოების და ფერმების მოწყობა და წყალში ხსნადი სასუქების გამოყენება.

ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები

- აღწერილია და გაანალიზებულია უძველესი დროიდან შექმნილი წყალსაცავების ძირითადი მაჩვენებლები, მოყვანილია მსოფლიოს წყალსაცავების რაოდენობის და სრული მოცულობის დინამიკა;
- ნაშრომში დამუშავებულია საქართველოს მთის და მთისწინეთის რეგიონების 32 წყალსაცავის კლასიფიკაცია სიღრმის, ჰიდრომეტრიული, მორფოლოგიური, მოცულობის, წყლის ჩამონადენის დარეგულირების და სხვა მაჩვენებლების მიხედვით;
- კვლევებით ანალიზით დადგენილია, რომ მთის წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავების ძირითადი მოქმედი ფაქტორებია – ქარ-ტალღური რეჟიმი, დონის დამუშავება, სანაპირო ზონის კონფიგურაცია, ფერდობის დახრილობა, გრუნტების ტიპი და ნაპირების გადამუშავების გამოკვლევა უნდა ხორციელდებოდეს ნაპირების ყველა კონკრეტული უბნისათვის;
- დასაბუთებულია მთის და მთისწინეთის წყალსაცავებისათვის ნატურული კვლევების მონაცემების საჭიროება;
- ჩატარებული საველე სამუშაოების ანალიზის საფუძველზე, მთის წყალსაცავის დალექვის პროცესი დაყოფილია სამ ეტაპად: პირველი ეტაპი-შეინიშნება ფსკერის მონოტონურად დალექვა; მეორე ეტაპი- დალექვის პროცესის ინტენსივობის შემცირება, ქვედა ბიეფში ნატანის ჩამოგდებით; მესამე ეტაპი-ნატანის მთლიანად ჩამოგდება ქვედა ბიეფში, რომლის დროსაც პროცესი სტაბილურ ხასიათს იღებს;
- მოყვანილია ჟინვალის, სიონის, თბილისის, ხრამის, შაორის, ლაჯანურის და ტყიბულის წყალსაცავების სედიმენტაციურ-აბრაზიული პროცესების კვლევების შედეგები;
- დადგენილია, რომ საქართველოს წყალსაცავების სედიმენტაციური პროცესების (დალექვისა და დალამვის) შეფასების საკითხები მეტად მნიშვნელოვანია, ეს ობიექტები გასული საუკუნის შუა წლებშია შექმნილი და უკვე „დაბერების“ (დამველების), ანუ მათი ფუნქციონირების საიმედოობის შემცირების სტადიაშია. წყალსაცავებში შეიმჩნევა დალექილი ნატანის

მოცულობის სწრაფი ზრდა, რის გამოც მცირდება წყლის სასარგებლო მოცულობა და იგი კარგავს თავის მთავარ დანიშნულებას – წყლის დაგროვება და რეგულირება;

➤ გაანალიზებულია საქართველოს მთის რიგი წყალსაცავების – ჟინვალის, ხრამის, თბილისის, ტყიბულის, შაორის, სიონისა და ლაჯანურის – ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების მასშტაბები და დინამიკა, დამუშავებულია ამ პროცესების პროგნოსტიკული ჯგუფებისა და ოპტიმიზებული გაანგარიშების ახალი მეთოდი;

➤ დამუშავებულია წყალსაცავების (ჟინვალის, ხრამის, თბილისის, ტყიბულის, შაორის, სიონისა და ლაჯანურის) აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის მასშტაბები და მისი პროცესების გაანგარიშების ახალი ანალიზური მეთოდი;

➤ ანალიზმა გვიჩვენა, რომ საქართველოს წყალსაცავებში დაგროვილი ნატანით სრული შევსების საორიენტაციო პერიოდი <200 წელზე;

➤ შემოთავაზებულია ნაპირებზე აბრაზიული პროცესების შემცირების ახალი მეთოდი – ბეტონის ფიგურული ბლოკების – „ჰექსაბლოკის“ და „ტეტრაბლოკის“ გამოყენებით. ბლოკებით გამაგრებულ ფერდზე ტალღების აგორების სიმაღლე 30-40%-ით ნაკლებია, ვიდრე არსებული ბლოკებით (დოლოსი, ტრიბირი, სტაბიტი და სხვ.) გამაგრებულ ფერდზე. გარდა ამისა, „ჰექსაბლოკი“ და „ტეტრაბლოკი“ გამოირჩევა უფრო მაღალი ურთიერთშეკრულობით, ფერდზე მდგრადობით, მაღალი ტალღაჩამქრობი უნარით და რაც მთავარია – მცირე წონით;

➤ გაანგარიშებულია მთის წყალსაცავების წყალდამცავი სანაპირო ზოლის (წ.ზოლ.) და წყალდამცავი ზონის (წ.ზონ.) საზღვრების სიგანეების მნიშვნელობები;

➤ სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების გამოყენებით შესაძლებელი იქნება მრავალი სამუშაოს ჩატარება: წყალსატევების ფსკერის მოსილვის და ნაპირების აბრაზიული პროცესების მასშტაბისა და დინამიკის დადგენა; წყალსაცავის ფსკერიდან გაანგარიშებული ნატანის მოცულობის ამოღება წყალსაცავების წყლის სასარგებლო მოცულობის

მატებისთვის, რაც გაზრდის მელიორაციის და ჰიდროენერგეტიკის ეფექტიანობას და დაიცავს დასახლებულ პუნქტებს კატასტროფული დატბორვისაგან; წყალსაცავების კარიერიდან ამოღებული ნატანის გამოყენება საკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურის, სამშენებლო ინდუსტრიის განვითარებისა და ნიადაგის განაყოფიერებისათვის და სხვ.

➤ დამუშავებული ახალი ნაპირსამაგრი კონსტრუქციები – „ჰექსაბლოკითა“ და „ტეტრაბლოკით“ შესაძლებელი გახდება მთის წყალსაცავების ციცაბო ნაპირების დაცვა აბრაზიული პროცესებისაგან;

➤ კვლევებით მიღებული შედეგები გამოყენებული იქნება მელიორაციაში (მოსარწყავად), სასმელი წყლისთვის, ენერგეტიკაში, სარეკრეაციო მიზნებისათვის და ა.შ.

➤ კვლევის შედეგები ხელს შეუწყობს მთის წყალსაცავების სფეროში მოღვაწე მეცნიერებს, დამპროექტებელ და წყალსაცავების საექსპლუატაციო ორგანიზაციებს სამომავლო კვლევების და უარყოფითი პროცესების შესამცირებლად პრაქტიკული ღონისძიებების განხორციელებაში.

გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა

1. Варазашвили Н.Г., Гобечия Н.Г. Инженерно-экологические проблемы создания и эксплуатации водохозяйственных систем с водохранилищами в горных условиях. Тбилиси: "Мецნიერება", 2002, 512 стр.
2. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ. საქართველოს მთის წყალსაცავები და მათი ზემოქმედება გარემოზე. თბილისი: „უნივერსალი“, 2010, 159 გვ.
3. იორდანიშვილი ი.კ., იორდანიშვილი კ.თ. საქართველოს წყალსამეურნეო ობიექტების კადასტრი. თბილისი: „უნივერსალი“, 2015, 223 გვ.
4. კუპრეიშვილი შ., სიჭინავა ჰ., ლობჯანიძე ზ. საქართველოს მდინარეების ჰიდროტექნიკური კლასიფიკაციის კალაპოტები მახასიათებლების მიხედვით. სტუ-ს წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომები, №68, თბილისი: „უნივერსალი“, 2013, გვ. 57-63.
5. **Kandelaki N.**, Kupreishvili Sh. Efficiency of water reservoir construction in mountainous areas. 8th International Scientific and Technical Conference "Modern problems of water management, environmental protection, architecture and construction". Tbilisi: „Universal“, 2018, pp. 142-155.
6. Пышкин Б.А. Вопросы динамики берегов водохранилищ. АН УССР, Киев, 1963, 332 стр.
7. Варазашвили Н.Г., Макацария А.П. Классификация берегов горных водохранилищ применительно к задачам прогноза и их переформирования. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л., 1974, вып. 96. стр. 106-113.
8. Розовский Л.Б. Введение в теорию геологического подобия и натурного моделирования. М.: „Наука“, 1968, 198 стр.
9. Золотарев Г.С. Инженерно-экологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки. Труды лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР, т. 12, М., 1956, стр. 84-96.
10. Качугин Е.Г. Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ. М., 1961, стр. 3-87.
11. Богомолов А.Н., Шейн С.И., Богомолова О.А. Расчет устойчивости откосов с учетом их взаимного влияния в составе грунтового сооружения. Ж. „Гидротехническое строительство“, №5, М., 2014, стр. 37-46.
12. Кондратьев Н.Е. Расчеты береговых переформирований на водохранилищах. Л.: Гидрометеиздат, 1960, 230 стр.
13. Кантаржи И.Г., Рогачко С.И., Вайтман В.В. Волновая переработка поперечного пляжного откоса, сложенного неоднородным материалом. Ж. „Гидротехническое строительство“, №2, М., 2007, стр. 23-29.
14. გაგოშიძე შ., გოგოლაძე ა., კოდუა მ. მოუპირკეთებელი არხების სანაპირო ფერდობებზე გრძივი ტალღების ზემოქმედება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომათა კრებული, №1-2 (15-16),

- თბილისი, 2013, გვ. 57-61.
15. Минервина Е.Е., Хоситашвили Т.Р. Переформирование берегов горных водохранилищ. М.: „Энергия“, 1974, стр. 184-184.
 16. Варазшвили Н.Г. Основные положения теории прогноза формирования водохранилищ горных регионов. Труды международного симпозиума "Проблемы инженерной геологии в гидротехническом строительстве". Т.1, Тбилиси: „Мецниереба“, 1979, стр. 33-40.
 17. Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов. Л.: Гидрометеоиздат, 1977, стр. 210-258.
 18. Шамоу Г.И. Речные наносы. Л.: Гидрометеоиздат, 1969, 378 стр.
 19. Хмаладзе Г.Н. Выносы наносов реками Черноморского побережья Кавказа. Л.: Гидрометеоиздат, 1978, стр. 165-166.
 20. Гвелесиანი Л.Г., Шмальцель И.П. Заиление водохранилищ ГЭС. Тбилиси: „Энергия“, 1988, 86 стр.
 21. Варазшвили Н.Г. Основы методики прогноза формирования ложа водохранилищ горных регионов. Сб. Международной конференции по эрозионно-селевым явлениям и смежным проблемам. АН Грузии, Институт Грузводэкология, Тбилиси, 2001, стр. 53-59.
 22. Варазшвили Н.Г., Тевзадзе Т.В. Динамика формирования ложа водохранилищ горных регионов и особенности методики прогнозирования. Сборник трудов V конференции „Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей“. М., 1999, стр. 384-386.
 23. Воропаев Г.В., Авакян А.Б. Водоохранилища и их воздействие на окружающую среду. М.: „Наука“, 1986, 387 стр.
 24. Iordanishvili I., Iordanishvili K., Iremashvili I. Assessments of Ecological Reliability of Mountain Reservoirs Given Increased Frequency of Floods (as exemplified by the Sioni Reservoir). //International Symposium on „Floods and Modern Methods of Control Measures“. Tbilisi: „Universal“, 2009, pp. 202-209.
 25. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ., ჩარბაძე ზ., ჯავახიშვილი ლ. საქართველოს მთის წყალსაცავების სედიმენტაციური პროცესების ეკოლოგიური საიმედოობის შეფასება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული №66, თბილისი: „უნივერსალი“, 2011, გვ. 93-97.
 26. Iordanishvili K., Qigley B., Matcharadze C. Integrated sediment management plan of the cascade of reservoirs on the river Rioni. Aqua-Media International Ltd. POBOX 285 Wallington Surrey SM6 6 AN. UK Gernobbio. Italy International journal on Hydropower & Dams. 2014, p. 24.
 27. Метревели Г.С. Особенности режима уровней и баланса воды горных водохранилищ Грузии. Сборник резюме докладов II конгресса. НРБ, Варна, 1973, стр. 110-111.
 28. Петров Т.Н. Исследование процессов заиления Нурекского водохранили-

- შა. Ж. ГМ, №10, М., 2008, стр. 11-15.
29. Сванидзе Г. и др. Водные ресурсы Закавказья. Гидрометиздат, Л., 1988, 263 стр.
 30. Скрыльников В.А. Расчет заиления водохранилищ. Ж. „Гидротехническое строительство“, №8, М., 1988, стр. 30-33.
 31. Мирцхулава Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 303 стр.
 32. კუპრეიშვილი შ., სუპატაშვილი თ., დადიანი ქ., კიკნაძე ხ., მისასია ლ. სამრეწველო ნარჩენების გავლენა გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის „ინოვაციური ტექნოლოგიები და გარემოს დაცვა“ შრომათა კრებული, ქუთაისი, 2012.
 33. დიაკონიძე რ., ჩახაია გ., წულუკიძე ლ., ვარაზაშვილი ზ., სუპატაშვილი თ., კუპრეიშვილი შ., მთიულიშვილი ნ. თბილისის ზღვის ეკოლოგიური პრობლემები და მათი პრევენციის ღონისძიებები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული №68, თბილისი: „უნივერსალი“, 2013, გვ. 57-63.
 34. იორდანიშვილი ი., თევზაძე თ., იორდანიშვილი კ., ირემაშვილი ი., შავლაყაძე მ., **კანდელაკი ნ.**, ბილანიშვილი ლ. სიონის კაშხლის უსაფრთხოების შეფასება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №69, თბილისი: „უნივერსალი“, 2014, გვ. 123-126.
 35. იორდანიშვილი ი., ნატროშვილი გ., **კანდელაკი ნ.** სიონის მიწის კაშხლის სუფოზიური და ფილტრაციული პროცესების შეფასება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №70, თბილისი: „უნივერსალი“, 2015, გვ. 72-76.
 36. იორდანიშვილი ი., ირემაშვილი ი., ფოცხვერია დ., **კანდელაკი ნ.**, ბილანიშვილი ლ. გლობალური დათბობით გახშირებული სტიქიური მოვლენების გავლენა საქართველოს წყლის რესურსებზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №72, თბილისი: „უნივერსალი“, 2017, გვ. 75-87.
 37. Уйма А., Иорданишвили И., Иремашвили И., Варганов М., **Канделаки Н.**, Иорданишвили К. Качество водных ресурсов бассейнов Балтийского и Черного морей в условиях потепления климата. Сб. тр. IX Международной научно-технической конференции "Современные проблемы охраны окружающей среды, архитектуры и строительства". Тбилиси: „Универсал“, 2019, стр. 263-277.
 38. **Kandelaki N.**, Iordanishvili I., Ujma A., Iremashvili I., Iordanishvili I., Kupreishvili Sh., Shurgaia V., Natroshvili G. Impact of Natural Disasters on Water Resources of Georgia Caused by Global Warming, Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics. Institute of Hydro-engineering of the Polish Academy of Sciences, Vol. 66 (2019), 2019 №. 1-2 pp. 15-26.

39. Иорданишвили И.К., Иорданишвили К.Т., Хосрошвили Е.З., **Канделаки Н.В.** Оценка занесения горных водохранилищ Грузии. Сб. тр. 2-й Международной научно-технической конференции „Современные проблемы охраны окружающей среды, архитектуры и строительства“. Кобулет: „Универсал“, 2012, стр. 70-75.
40. Иорданишвили И.К., Иремашвили И.Р., Иорданишвили К.Т., **Канделаки Н.В.** Динамика формирования ложа водохранилищ Грузии. Сб. тр. VI-й Международной научно-технической конференции „Современные проблемы водного хозяйства, охраны окружающей среды, архитектуры и строительства“. Тбилиси: „Универсал“, 2016, стр. 78-89.
41. **კანდელაკი ნ.**, სილაგაძე ა. სიონის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების შეფასება და პროგნოზირება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №72, თბილისი: „უნივერსალი“, 2017, გვ. 99-106.
42. **კანდელაკი ნ.** ლაჯანურის და ტყიბულის წყალსაცავების სედიმენტაციური პროცესების დინამიკა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 86-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2019, გვ. 30.
43. **კანდელაკი ნ.** – ჟინვალის, თბილისის, ხრამის, ტყიბულის, შაორის და ლაჯანურის წყალსაცავების სედიმენტაციური პროცესების გაანგარიშება და პროგნოსტიკული ჯგუფების დამუშავება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 87-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტის გამომც., 2019.
44. Iordanishvili I., Iremashvili I., Iordanishvili K., Bilanishvili L., Potskhveria D., **Kandelaki N.**, Sukhishvili N. Graphoanalytical method of forecasting the transformation of abrasion banks of highland water reservoirs. VII International Scientific and Technical conference “Modern Problems of water management, environmental protection, architecture and construction”. Tbilisi: „Universal“, 2017, pp. 52-60.
45. Иорданишвили И., Иремашвили И., Иорданишвили К., **Канделаки Н.** Практический метод прогноза абразионных процессов на берегах горных водохранилищ. Ж. „Водные проблемы: Наука и техника“, Баку, 2018, стр. 27-38.
46. Мирцхулава Ц.Е. Водная эрозия почв. Тбилиси: „Мецნიერება“, 2000.
47. Gerstner F.I. Theori der Wellen. Gilberts Annabn der Physic. Bol, 32, 1809.
48. Херхеулидзе Г.И. К определению нагрузок от воздействия селевого потока на поперечные преграды. Тр. Зак. НИГМИ, вып. 40(46), Л., Гидрометеоиздат, 1972 г., стр. 76-113.
49. გავარდაშვილი გ., კუხალაშვილი ე., კუპრეიშვილი შ., გავარდაშვილი ნ. ღვარცოფსარეგულციო ელასტიური ბარაჟი. პატენტი, საიდენტიფიკაციო კოდი AP14656, 2018 წ.

50. Мамедов А.Ш., Мамедли А.А. Заиление горных водохранилищ и борьба с ним. VI Межд. научно-техническая конференция «Современные проблемы водного хозяйства, охрана окружающей среды, архитектура и строительство». Тбилиси: „Универсал“, 2016, стр. 121-125.
51. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчётам. М.: „Энергия“, 1972 г., стр. 202-203.
52. კანდელაკი ნ., კუპრეიშვილი შ. სედიმენტაციური პროცესების განვითარების საწინააღმდეგო ღონისძიებები მთის წყალსაცავებში. IX საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, თბილისი: „უნივერსალი“, 2019, გვ. 122-129.
53. Шеренков И.А., Складнев М.Ф. Применение бетонных блоков для защиты земляных откосов. Ж. „Гидротехническое строительство“, №2, М., 1971, стр. 51-54.
54. Иорданишвили И.К. Откосные крепления с повышенной волногасящей способностью для защиты берегов горных водохранилищ. Тбилиси: „Энергия“, 4(24), 2002, стр. 166-169.
55. Литвиненко Г.И., Стрекалов С.С. Расчет массы элементов крепления откосов оградительных сооружений морских берегов. Ж. „Гидротехническое строительство“, №3. М., 2002 г., стр.18-222.
56. Bilyway E., Ozbachceci B., Bacanlı S., Kiziroğlu G. A New Approach to Breakwater Design – 2B Block. Coastal Engineering Proceedings, Bilyay №35, 2016.
57. Soares F., Henrigues M.J., Roca C. Concrete Block Tracking in Breakwater Models. Conference: FIG Working Week, Helsinki, 2017.
58. კანდელაკი ნ., იორდანიშვილი ი., ირემაშვილი ი., კუპრეიშვილი შ., იორდანიშვილი კ. წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვისაგან დამცავი ახალი კონსტრუქციების დამუშავება. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ბუნების კატასტროფები საქართველოში: მონიტორინგი, პრევენცია, შედეგების შერბილება“. თბილისი: ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სხელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2019, გვ. 237-243.
59. Kandelaki N., Iordanishvili I., Iremashvili I., Ujma A., Shurgaia V., Iordanishvili K. Modeling Procedure of Coastal Protection Shaped Blocks with High Wave Suppressing and Interlocking Capacity. XXII International Scientific Conference on Advances in Civil Engineering Construction the form of Living Environment, Tashkent, Uzbekistan, 2019. E3S Web oxcont.

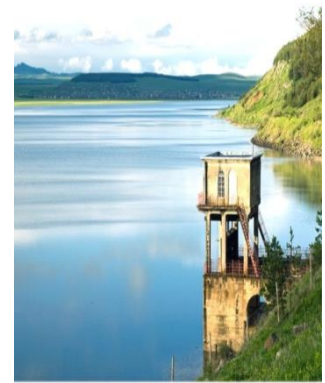
საქართველოს მთის წყალსაცავების ფოტოსურათებ



ჟინვალის წყალსაცავი



სიონის წყალსაცავი



ხრამის წყალსაცავი



შაორის წყალსაცავი



ლაჯანურის წყალსაცავი



თბილისის წყალსაცავი



ტყიბულის წყალსაცავი