

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ირინა ხუბულავა

მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში ეროზიული და  
მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენების შესწავლა და  
მათთან ბრძოლის თანამედროვე ღონისძიებების შემუშავება

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა „სასოფლო-სამეურნეო მელიორაცია“

შიფრი 0415

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

2018 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

აგრარული მეცნიერებების და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი, ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ირინა ხუბულავას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს სახელწოდებით: „მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში ეროზიული და მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენების შესწავლა და მათთან ბრძოლის თანამედროვე ღონისძიებების შემუშავება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აგრარული მეცნიერებების და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად მის განხილვას.

2018 წელი

თანახელმძღვანელი: აკადემიური დოქტორი გოგა ჩახაია

აკადემიური დოქტორი ზურაბ ლობჯანიძე

რეცენზენტი: ტ.მ.დ., პროფესორი დავით გუბელაძე

რეცენზენტი: აკადემიური დოქტორი გიორგი ხერხეულიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
2018

ავტორი: ირინა ხუბულავა

დასახელება: „მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში ეროზიული და მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენების შესწავლა და მათთან ბრძოლის თანამედროვე ღონისძიებების შემუშავება“

ფაკულტეტი: აგრარული მეცნიერებების და ბიოსისტემების ინჟინერინგი

ხარისხი: აგროინჟინერიის დოქტორის აკადემიური ხარისხი

სხდომა ჩატარდა:

-----

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

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და როგორც მთლიანი ნაშრომის, ისევე 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 საჭიროებენ მხოლოდ სპეციფიკურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილი თეორიული და საველე ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების ანალიზის საფუძველზე მიღებულია შედეგები: ლაბორატორიულ პირობებში დადგენილია საკვლევი ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური მახასიათებლები, რომლის მიხედვითაც შეფასებულია მოწყვლადი ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის ეროზიულობა; საველე პირობებში განსაზღვრულია მდინარე გლდანისხევის ხეობაში მოწყვლად ფერდობზე მოწყობილი, საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგ-გრუნტის ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლები; საველე ექსპერიმენტით დადგენილია გეოხალიჩა ლუფაერომატის ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ეფექტურობა, საკონტროლო და საცდელი უბნებიდან ფორმირებული მყარი ჩამონადენების ერთმანეთთან შედარების გზით; დადგინდა საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მოსულ ნალექების ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის აპროქსიმირებული წრფივი დამოკიდებულება, რომელიც მიღებულია საველე ექსპერიმენტული მონაცემების უმცირეს კვადრატა მეთოდით დამუშავების შედეგად; საველე ექსპერიმენტის მონაცემების მიხედვით დადგენილი იქნა, ნალექების ინტენსიობასა და საკონტროლო უბანზე ფორმირებულ მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირი, რომელიც ტოლია  $r = 0,62$ , რაც დამაკმაყოფილებელ შედეგად შეგვიძლია მივიჩნიოთ, რადგან იგი თავსდება პარამეტრებს შორის საშუალო კავშირის შუალედში და მიუთითებს გაზომვით მიღებულ საექსპერიმენტო მონაცემების ურთიერთდამოკიდებულების საიმედოობაზე; საიმედოობის თეორიის გამოყენების საფუძველზე დადგენილია, საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საცდელ უბნებზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის საშუალო დინამიკის ვალიდურობა, რომელიც 51-52%-ს შეადგენს, რაც იძლევა მოწყვლად ფერდობზე მწვანე საფარის აღდგენის საფუძველს; სპეციალურად შექმნილი კომპიუტერული პროგრამის გამოყენების საფუძველზე განხორციელდა საველე პოლიგონის საკონტროლო უბანზე განვითარებული ნალვარევის და საცდელ უბნებზე აღმოცენებული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის კომპიუტერული მოდელირება; დადგინდა მდინარე გლდანისხევის ხეობის მოწყვლად მიკრო წყალშემკრებ აუზებში მიმდინარე ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლები; საველე და ლაბორატორიულ პირობებში განხორციელებული კვლევების საფუძველზე დადგინდა მდინარე გლდანისხევის ხეობაში არსებული მეწყრული ფერდობის საინჟინრო გეოლოგიური მახასიათებლები; არაერთგვაროვანი ცოცვის სიბრტყის მქონე მეწყრული სხეულის წონასწორობის სხვადასხვა პირობების გათვალისწინებით, დადგინდა მამკოდას დასახლების მიმდებარედ არსებული მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი; საკვლევი ფერდობისთვის

მიღებული გრუნტის ფენის კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო დამოკიდებულებების გათვალისწინებით, სველი და მშრალი გრუნტის შემთხვევაში, განხორციელდა მეწყრული ფერდობის მდგრადობის რღვევის კრიტიკული სიღრმის პროგნოზი; განხორციელდა მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის სხვადასხვა პროცენტული უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯების პროგნოზირება; ბმული ღვარცოფის მუდმივი ხარჯით მოძრაობის დროს წარმოქმნილი უწყვეტი ტალღის სიჩქარის მხედველობაში მიღებით კორექტირებული იქნა ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის საანგარიშო დამოკიდებულება; შემუშავებული და დაპატენტებულია გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალი კონსტრუქცია; განსაზღვრულია მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის მიმართ გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეფექტურობის მახასიათებლები, რომლის მიხედვითაც ნაგებობაზე მოქმედი ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის საწყისი მნიშვნელობა, გარკვეული დაშვებების ფარგლებში 2÷125-ჯერ კლებულობს; განხორციელებული ეკონომიკური გათვლების შედეგად დადგენილია, რომ გეოხალიჩა ლუფაერომატის საშუალებით მოწყვლადი ფერდობის აღდგენის შემდგომ, მასზე თხილის პლანტაციის გაშენების შემთხვევაში, 8 წლის შემდეგ დისკონტირებული მოგება 1 ჰა-ზე შეადგენს 53120 ლარს, რაც მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს წარმოადგენს; დადგენილია გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა მრუდხაზოვანი ფორმის ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობასთან შედარებით, რომელიც შეადგენს 247,5 ლარი/გრძ.მ.

## Resume

On the base of analyses the results of theoretical and field experimental researches presented in the paper, following results have been received: Physical-mechanical and chemical characteristics of soil-ground of the investigated slope has been established in laboratory conditions, according to which the erosion degree of vulnerable slope soil-ground has been estimated. Quantity characteristics of the erosion processes of soil-ground running on the control area of field integrated polygon, installed at the vulnerable slope of the river Gldaniskhevi valley, have been determined in the field conditions. Anti-soil erosion efficiency of geomat Luffaeromat has been estimated with the field experiment, by means of comparison the sediment runoff formatted from control and experimental areas. It was determined linear attitude between the intensity of precipitates and the sedimental runoff at the control area of the field integrated polygon, which has been received as a result of treatment the field experimental data by the least squares method. According to field experimental data correlation union between the intensity of precipitates and the sediment runoff at the control area was determined, which is

equal  $r = 0,62$ , that can be considered a satisfactory result, because it is placed in the average connection span between the parameters and indicates the reliability of interdependency of the experimental data obtained by measuring. According to the theory of reliability, validity of the average dynamics of growth the herbaceous plants grown at the areas of the integrated polygon which is 51-52%, that indicates the possibility of restoring green cover on vulnerable slope. Computer modelling of the dynamics of gully developing at the control area of the field polygon and of growth the herbaceous plants growing at the experimental area, has been accomplished with the use of a specially made computer program. Quantitative characteristics of the erosion processes running in the catchment micro basins of the river Gldaniskhevi valley have been determined. Engineering-geological characteristics of the landslide slope existed in the Gldaniskhevi valley have been determined on the base of field and laboratory researches. The landslide slope factor has been determined at the Mamkoda settlement adjoining hill side, having taken into account different equilibrium conditions of heterogeneous creeping depth landslide body. The prediction of the landslide slope rupture critical depth in case of moist and dry ground, taking into account critical angle of slope inclination, has been implemented. The forecasting of various percentage reliability maximal discharges of the predictable debris flow in the river Gldaniskhevi catchment basin has been implemented. Taking into account the speed of continuous wave arisen during the coherent debris flow movement with constant discharge, computing dependence of the debris flow impulsive force has been corrected. A new through type anti-debris flow construction has been elaborated and patented. Efficiency characteristics of the through type anti-debris flow construction against the predictable debris flow in the river Gldaniskhevi catchment basins, have been defined, according to which the initial value of the impulsive force within the limits of definite assumption cancels 2÷125 times at the construction. As a result of economical calculations it is determined, that after rehabilitation of the vulnerable slope with the help of geo mat Luffaeromat, in case of growing the nut plantation there, the discount profit at 1 ha will be 53120 Gel, that is considerable economical effect. Yearly effectiveness of the through type anti-debris flow construction against the curvilinear shape jumping-off ground type anti-debris flow construction is determined, that is 247,5 Gel/ linear m.

## შინაარსი

შესავალი	11
<b>თავი 1. სტიქიურ-ეგზოდინამიკური პროცესების შესწავლის და რეგულირების თანამედროვე ასპექტები</b>	19
1.1 ნიადაგის ეროზიული პროცესების, მეწყრული და ღვარცოფული მოვლენების გავრცელების თანამედროვე მდგომარეობა	19
1.2 სტიქიურ-ეგზოდინამიკური პროცესების განმაპირობებელი ძირითადი ფაქტორები	26
1.3 კვლევის თანამედროვე მეთოდების ანალიზი	40
1.4 ნიადაგის ეროზიის, მეწყრული და ღვარცოფული მოვლენების საწინააღმდეგო თანამედროვე ღონისძიებები	49
<b>თავი 2. მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების ინტენსიობისა და ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების ეფექტურობის კვლევა</b>	54
2.1 მდ. გლდანისხევის წყალშემკრები აუზის ლანდშაფტური და გეოეკოლოგიური მდგომარეობის დახასიათება	54
2.2 მდ. გლდანისხევის ხეობაში მოწყვლად ფერდობზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების სავსე კვლევა	57
2.3 სავსე პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების მათემატიკური ანალიზი	76
2.4 სავსე პოლიგონის საცდელ უბნებზე დამონტაჟებულ გეოხალიჩებზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მნიშვნელობების ვალიდურობის შეფასება	84
2.5 საკვლევი ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების და საცდელ უბნებზე დამონტაჟებულ გეოხალიჩებზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის კომპიუტერული მოდელირება	88
2.6 მდ. გლდანისხევის ხეობაში მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლების პროგნოზირება	97
<b>თავი 3. მდ. გლდანისხევის ხეობაში არსებული მეწყრული ფერდობის მდგრადობის შეფასება და პროგნოზირება</b>	101
3.1 მდ. გლდანისხევის ხეობაში არსებული მეწყრული ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის საინჟინრო გეოლოგიური მახასიათებლების დადგენა	101
3.2 მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის დადგენა	116
3.3 მეწყრული ფერდობის მდგრადობის პროგნოზირება	117
<b>თავი 4. მდ. გლდანისხევის ხეობაში მოსალოდნელი ღვარცოფის პროგნოზირება და მართვის თანამედროვე ღონისძიების შემუშავება</b>	120
4.1 მდ. გლდანისხევის ხეობაში მოსალოდნელი ღვარცოფის სხვადასხვა პროცენტული უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯების პროგნოზირება	120

4.2 ბმული ღვარცოფის მუდმივი ხარჯით მოძრაობის დროს წარმოქმნილი უწყვეტი ტალღის დამრტყმელი ძალის საანგარიშო დამოკიდებულების კორექტირება	124
4.3 მდინარე გლდანისხევის ხეობაში მოსალოდნელი ღვარცოფის ზემოქმედების შეფასება გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალ კონსტრუქციაზე	128
<b>თავი 5. ნიადაგის ეროზიის სარეგულაციო და ღვარცოფსაწინააღმდეგო თანამედროვე ღონისძიებების ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება</b>	139
5.1 გეოხალიჩა ლუფაერომატის გამოყენებით მთის ეროზირებული ფერდობის აღდგენის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება	139
5.2 გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება	143
<b>ზოგადი დასკვნები</b>	147
<b>გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა</b>	150



1. ნიადაგ-გრუნტის ფიზიკური თვისებები	60
2. ნიადაგ-გრუნტის მექანიკური თვისებები	61
3. ნიადაგ-გრუნტის გრანულომეტრიული შემადგენლობა	61
4. ნიადაგ-გრუნტის ქიმიური მახასიათებლები	62
5. საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე განხორციელებული საველე ექსპერიმენტის შედეგები	66
6. გეოხალიჩებზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკა	71
7. საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე ფორმირებული მყარი ჩამონადენის მონაცემები	76
8. საველე ექსპერიმენტების დროს განხორციელებული გაზომვების შედეგების უმცირეს კვადრატთა მეთოდით შეფასება	78
9. ნალექების ინტენსიობასა და საკონტროლო უბანზე ფორმირებულ მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირის დადგენა	81
10. I საცდელ უბანზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ინტერვალები და სიხშირეები	84
11. II საცდელ უბანზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ინტერვალები და სიხშირეები	86
12. ეროზიულ ფერდობზე ნაღვარევის გაზომილი პარამეტრების ცვლილება სხვადასხვა ინტენსიობის ნალექების ფორმირებისას	91
13. ჯოხთანის ხევის და მამკოდას დასახლების მიმდებარედ არსებულ წყალშემკრებ აუზში ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლები	99
14. ჭრილი B-C, გრუნტის ლითოლოგიური აგებულება	104
15. ჭრილი A-C, გრუნტის ლითოლოგიური აგებულება	105
16. B-C ჭრილის ლაბორატორიული კვლევა	108
17. ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K - ბუნებრივი)	109
18. ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K - სველი)	110
19. ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K - ბუნებრივი სეისმურობით)	110
20. ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K - სველი სეისმურობით)	111
21. A-C ჭრილის ლაბორატორიული კვლევა	112
22. ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K - ბუნებრივი)	113
23. ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K - სველი)	114
24. ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K - ბუნებრივი სეისმურობით)	115
25. ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K - სველი სეისმურობით)	115
26. მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი K	117
27. ხარჯის კოეფიციენტსა (A) და უზრუნველყოფის კოეფიციენტის (P%) დამოკიდებულება	123

28. ჯობთანისხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის სხვადასხვა პროცენტული უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯი	124
29. მთის დეგრადირებული ფერდობის გეოხალიჩა ლუფაერომატი ადგენის სუფთა დაყვანილი ეფექტის გაანგარიშება	141
30. გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ღირებულების გაანგარიშება	145

## ნახაზების ნუსხა

ნახ. 2.2.1. გეოხალიჩებზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკა	74
ნახ. 2.3.1. საკონტროლო უბნის მყარი ჩამონადენის დამოკიდებულება ნალექის ინტენსიობაზე	80
ნახ. 3.11. მეწყრული სხეულის ტოპოგემა	103
ნახ.3.1.2. B-C ჭრილი	106
ნახ. 3.1.3. A-C ჭრილი	107
ნახ. 3.3.1 ფერდობის კრიტიკულ ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი	118
ნახ. 4.2.1 კალაპოტის გასწვრივ მუდმივი ხარჯის მქონე ბმული ღვარცოფის უწყვეტი ტალღის საანგარიშო სქემა	125
ნახ. 4.2.2 წინააღმდეგობაზე ღვარცოფის დატვირთვების ზრდისა და სიჩქარის დამოკიდებულების შედარებითი გრაფიკი	127
ნახ. 4.3.1. გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის საერთო ხედი	129
ნახ. 4.3.2. გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის გეგმა	129
ნახ. 4.3.3. ნაგებობის წინხედი (ქვედა ბიეფიდან)	130
ნახ. 4.3.4. ნაგებობის გვერდხედი	130
ნახ. 4.3.5. გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედებისას, ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტების ცვლად დიამეტრსა და ნაგებობის ყრუ ნაწილზე მოქმედ დამრტყმელ ძალას შორის დამოკიდებულება	137
ნახ. 4.3.6 გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედებისას, ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტების ცვლად დიამეტრსა და ნაგებობის გავლის შემდეგ მიღებულ დამრტყმელ ძალას შორის ფუნქციური დამოკიდებულება	138

## შესავალი

### საკვლევი საკითხის სიახლე და აქტუალობა

ბუნებრივი გარემოს დაცვა საშიში გეოლოგიური, მეტეოროლოგიური და ბუნების სხვა უარყოფითი მოვლენებისგან წარმოადგენს თანამედროვე საზოგადოების გადაუდებელ ამოცანას. აღსანიშნავია, რომ უკანასკნელ პერიოდში, მსოფლიოში სტიქიური მოვლენები იმდენად გააქტიურდა, რომ მათ წინააღმდეგ ბრძოლა კიდევ უფრო პრიორიტეტული გახდა კაცობრიობისათვის.

გამონაკლისი არც საქართველოა, რადგან საქართველოს ტერიტორიაზე გავრცელებული ბუნებრივი კატასტროფების სახეობიდან (მიწისძვრა, ტორნადო, თოვლის ზვავი, წყალდიდობა, ღვარცოფი) ძლიერ გააქტიურდა ღვარცოფული მოვლენები, რომელსაც ადგილი აქვს თითქმის ყველა მთისა და მთისწინა რეგიონში, სადაც ძირითადად ფორმირდება ეროზიული და მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენები.

ეს პრობლემა განსაკუთრებულ აქტუალობას იძენს გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდში, როდესაც ხშირი წვიმები და თოვლის ინტენსიური დნობა მთიან რეგიონებში ქმნიან ღვარცოფული ნაკადების წარმოშობისათვის ხელსაყრელ პირობებს. ღვარცოფული ნაკადების წარმოშობის მოულოდნელობისა და მოქმედების ხანმოკლეობის და აგრეთვე მათთვის დამახასიათებელი დიდი დამანგრეველი ძალის გამოვლინების გამო, მათ წინააღმდეგ ბრძოლა ხშირად სცილდება მატერიალურ მხარეს და მოიცავს სოციალურ სფეროსაც, ვინაიდან ხშირად იქმნება სიტუაცია, როდესაც აუცილებელი ხდება მოსახლეობის არა დროებითი ევაკუაცია, არამედ ხანგრძლივი ვადით, სხვა ნაკლებად საშიშ ადგილებში მათი ჩასახლება.

საქართველოში მიწის სავარგულების 65% ვერტიკალურ ზონალურ რთულ რელიეფშია განლაგებული. აქ მიწათმოქმედების არასწორი წარმოება მნიშვნელოვნად განაპირობებს ეროზიული პროცესების და ღვარცოფული

მოვლენების განვითარებას. ამავე ზონაში მდებარეობს 700 ათასი ჰა და მეტი სათიბ-საძოვრები, რომელთა რაციონალური გამოყენება მეცხოველეობის განვითარების დიდი რეზერვაა. [1]

არსებულის შენარჩუნება და ახალი ფართობების ათვისება მთისა და მთისწინა ზონებში მოითხოვს ეროზიული და მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენებისგან მიწის რესურსების დაცვის თანამედროვე ღონისძიებების გატარებას, გარემოს ეკოლოგიური მდგრადობის შენარჩუნების გათვალისწინებით, რათა შესაძლებელი იყოს მათი პოტენციალის სრულყოფილად გამოყენება, ქვეყნის მცირემიწიანობის პირობებში. ეს მოგვცემს იმის საშუალებას, რომ დიდი კაპიტალური დანახარჯების გარეშე ათვისებულ იქნას ახალი სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები და გადიდდეს სოფლის მეურნეობის პროდუქციის წარმოება.

საქართველოში ეროზიული პროცესებით დაზიანებული მიწების ფართობი დიდ სიდიდეს აღწევს. ქვეყანაში სულ ეროზირებულია სახნავების 30%, აღმოსავლეთ საქართველოში - 29%, მათ შორის ადიგენის რაიონში - 72%, გურჯაანის - 69%, ბორჯომის - 64%, დუშეთის - 54%, ახალციხის - 71%. ყველაზე ნაკლებად ეროზირებულია სახნავები ლაგოდეხის - 2%, ყვარლის - 6%, დედოფლის წყაროს - 8%, ნინოწმინდას - 12 % რაიონებში. დასავლეთ საქართველოში ეროზირებულია სახნავების 33%. ყველაზე მძიმე მდგომარეობა აღინიშნება ქალაქ ჭიათურის ზონაში - 96%, ჩოხატაურის - 94%, მესტიის - 89%, ამბროლაურის - 81% და ხარაგაულის - 79% რაიონებში. ქვეყანაში ეროზირებულია სახნავების 33%. შექმნილი სიტუაციიდან გამომდინარე, საჭიროა დროულად და კვალიფიციურად განხორციელდეს ეროზიის საწინააღმდეგო პრევენციული ღონისძიებები ამ პროცესების მინიმუმაციის მიზნით. პრევენციული ღონისძიებები გამოიყენება საფრთხისა და მასთან დაკავშირებული კატასტროფების უარყოფითი შედეგების თავიდან აცილების მიზნით. შეუძლებელია სტიქიური ბუნებრივი მოვლენების უმეტესობის მოქმედების სრული შეჩერება. თუმცა შეიძლება მათ მიერ გამოწვეული ზარალის შემცირება. პრევენციული

ლონისძიებების მეშვეობით შესაძლებელია ზომების მიღება იმ მიზნით, რომ ესა თუ ის სტიქიური მოვლენა არ იქცეს კატასტროფად. პრევენციული ღონისძიება არის იმისათვის, რომ თავიდან ავიცილოთ ზარალი, გამოწვეული საფრთხის ან მსგავსი ბუნებრივი ან ტექნოგენური კატასტროფების დროს (მაგალითად, ხეების დარგვა თავიდან აგვაცილებს ნიადაგის ეროზიასა და მეწყერს, შეასუსტებს გვალვას და ა.შ.) [2].

საქართველოს ტერიტორიაზე საშიშ გეოლოგიურ პროცესებს შორის მეწყერულ-გრავიტაციული მოვლენებით გამოწვეულ შედეგებს განსაკუთრებული ადგილი უკავია ქვეყნის ეკონომიკაში. საქართველოში ფიქსირებული მეწყერების 70% სამეურნეო-საინჟინრო ათვისების ზონებშია მოქცეული. მათგან სხვადასხვა ხარისხით დაზიანებულია 1,5 მილიონ ჰექტარზე მეტი მიწა. მეწყერები საშიშროების ზონაში იმყოფება 2000-მდე დასახლებული პუნქტი, 200 ათასზე მეტი მოსახლით. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, საჭიროა აქტიურად განხორციელდეს ან დაინერგოს მეწყერსაწინააღმდეგო საინჟინრო და ბიოსაინჟინრო თანამედროვე, რესურსმზობი და ეფექტური ღონისძიებები.

ბოლო ორი საუკუნის მანძილზე, საქართველოს ღვარცოფული ბუნების მქონე მდინარეთა აუზებში დაფიქსირებულია 800-მდე ექსტრემალური გამოვლინება; მათგან გამოწვეული კატასტროფული შედეგები აღინიშნა: მდ. თერგის აუზში 77-ჯერ, მდ. არაგვის აუზში - 38, მდ. ენგურის აუზში - 65, მდინარე ცხენისწყლის აუზში - 40, მდ. რიონის აუზში 120, მდ. აჭარისწყლის აუზში - 22, მდ. მტკვრის ზემო წელში - 90-ჯერ; დაღუპულია ასეულობით ადამიანი.

ზემოაღნიშნული ბუნებრივი სტიქიური მოვლენების უახლოესი პერიოდის გამოვლინებას წარმოადგენს ქ. თბილისში 2015 წლის 13 ივნისში მდინარე ვერეს ხეობაში მომხდარი კატასტროფა, რომელიც გამოიწვია დედაქალაქის პარალიზება, იყო ადამიანთა მსხვერპლი. აღნიშნული კატასტროფის გამომწვევ ძირითად მიზეზთან, წყალმოვარდნასთან ერთად დიდი როლი შეასრულა მდინარე ვერეს მარჯვენა შენაკადში ჯოხანის ხევში

ფორმირებულმა მეწყრული გენეზისის ღვარცოფულმა მოვლენებმა, რომელმაც გარკვეული პერიოდი გადაკეტა მდინარე ვერეს კალაპოტი და ხელი შეუწყო მდინარე ვერეს წყლის ნაკადში დიდი ოდენობით მყარი მასის და ხე-ტყის მოხვედრას, რამაც განაპირობა ქ. თბილისში არსებული წყალგამტარი გვირაბების ფუნქციონირების შეზღუდვა და საბოლოოდ კატასტროფული შედეგების მიღება.

ქ. თბილისის გარშემო არსებული მოწყვლადი წყალშემკრები აუზებიდან, ასევე ყურადსაღებია მდინარე გლდანისხევი, სადაც ინტენსიურად ფორმირდება ნიადაგის ეროზიით და მეწყრით პროვოცირებული ღვარცოფული მოვლენები, რაც დიდ საფრთხეს უქმნის სოფ. გლდანის და გლდანულას დასახლებას.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, საჭიროა ბუნების სტიქიური მოვლენების შესწავლის თანამედროვე მეთოდების და ბუნების დაგრადაციული პროცესების საწინააღმდეგო საიმედო, რესურსმზოგი და ეფექტური თანამედროვე ღონისძიებების დამუშავება, სტიქიური მოვლენების ეფექტური მართვის მექანიზმის შესამუშავებლად.

**სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია** მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში მიმდინარე ეროზიული და მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენების შესწავლა და მათი რეგულირებისათვის თანამედროვე ღონისძიებების შემუშავება.

აღნიშნული მიზნის მისაღწევად შესრულებული იქნა შემდეგი ძირითადი სამუშაოები:

✓ ლაბორატორიულ პირობებში დადგენილია საკვლევი ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური მახასიათებლები, რომლის მიხედვით შეფასებულია მოწყვლადი ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის ეროზიულობა;

✓ საველე ექსპერიმენტით დადგენილია გეოხალიჩა ლუფაერომატის ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ეფექტურობა, საკონტროლო და

საცდელი უბნებიდან ფორმირებული მყარი ჩამონადენების ერთმანეთთან შედარების გზით;

✓ სპეციალურად შექმნილი კომპიუტერული პროგრამის გამოყენების საფუძველზე განხორციელდა საველე პოლიგონის საკონტროლო უბანზე განვითარებული ნაღვარების და საცდელ უბნებზე აღმოცენებული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის კომპიუტერული მოდელირება;

✓ არაერთგვაროვანი ცოცვის სიბრტყის მქონე მეწყრული სხეულის წონასწორობის სხვადასხვა პირობების გათვალისწინებით, დადგინდა მამკოდას დასახლების მიმდებარედ არსებული მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი;

✓ განხორციელდა მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის სხვადასხვა პროცენტული უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯების პროგნოზირება;

✓ ბმული ღვარცოფის მუდმივი ხარჯით მოძრაობის დროს წარმოქმნილი უწყვეტი ტალღის სიჩქარის მხედველობაში მიღებით კორექტირებული იქნა ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის საანგარიშო დამოკიდებულება;

✓ შემუშავებული და დაპატენტებულია გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალი კონსტრუქცია;

✓ დადგენილია გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა მრუდხაზოვანი ფორმის ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობასთან შედარებით, რომელიც შეადგენს 247,5 ლარი/გრძ.მ.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები:** კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში ეროზიული და მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენები. ჩატარებული თეორიული, საველე და ლაბორატორიული კვლევების დროს გამოყენებულ იქნა ჰიდრაულიკაში, საინჟინრო გეოლოგიასა და საინჟინრო ეკოლოგიაში საყოველთაოდ აღიარებული სამეცნიერო-ტექნიკური მიდგომები და მეთოდები.

**ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე:**

- ლაბორატორიულ პირობებში დადგენილია საკვლევი ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური მახასიათებლები;
- საველე პირობებში განსაზღვრულია მდინარე გლდანისხევის ხეობაში მოწყვლად ფერდობზე მოწყობილი, საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგ-გრუნტის ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლები;
- საველე ექსპერიმენტით, საკონტროლო და საცდელი უბნებიდან ფორმირებული მყარი ჩამონადენების ერთმანეთთან შედარების გზით დადგენილია გეოხალიჩა ლუფაერომატის ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ეფექტურობა;
- საველე ექსპერიმენტული მონაცემების უმცირეს კვადრატთა მეთოდით დამუშავების შედეგად დადგენილია, საველე პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მოსულ ნალექების ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის წრფივი დამოკიდებულება;
- საველე ექსპერიმენტის მონაცემების მიხედვით დადგენილი იქნა, ნალექების ინტენსიობასა და საკონტროლო უბანზე ფორმირებულ მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირი;
- საიმედოობის თეორიის გამოყენების საფუძველზე დადგენილია, საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საცდელ უბნებზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის საშუალო დინამიკის ვალიდურობა (51-52%);
- კომპიუტერული პროგრამის გამოყენების საფუძველზე განხორციელდა საველე პოლიგონის საკონტროლო უბანზე განვითარებული ნაღვარევის და საცდელ უბნებზე აღმოცენებული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის კომპიუტერული მოდელირება;
- საველე და ლაბორატორიულ პირობებში განხორციელებული კვლევების საფუძველზე დადგინდა მდინარე გლდანისხევის ხეობაში არსებული მეწყრული ფერდობის საინჟინრო გეოლოგიური პარამეტრები;



- არაერთგვაროვანი ცოცვის სიბრტყის მქონე მეწყრული სხეულის წონასწორობის სხვადასხვა პირობების გათვალისწინებით, დადგინდა მამკოდას დასახლების მიმდებარედ არსებული მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი;

- საკვლევი ფერდობისთვის მიღებული გრუნტის ფენის კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო დამოკიდებულებების გათვალისწინებით განხორციელდა მეწყრული ფერდობის მდგრადობის რღვევის კრიტიკული სიღრმის პროგნოზი სველი და მშრალი გრუნტის შემთხვევაში;

- ბმული ღვარცოფის მუდმივი ხარჯით მოძრაობის დროს წარმოქმნილი უწყვეტი ტალღის სიჩქარის მხედველობაში მიღებით კორექტირებული იქნა ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის საანგარიშო დამოკიდებულება;

- შემუშავებული და დაპატენტებულია გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალი კონსტრუქცია;

- განსაზღვრულია მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის მიმართ გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეფექტურობის მახასიათებლები (ნაგებობაზე მოქმედი ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის საწყისი მნიშვნელობა, გარკვეული დაშვებების ფარგლებში 2÷125-ჯერ კლებულობს);

- განხორციელებული ეკონომიკური გათვლების შედეგად დადგენილია, გეოხალიჩა ლუფაერომატის ეკონომიკური ეფექტი;

- დადგენილია გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა მრუდხაზოვანი ფორმის ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობასთან შედარებით.

**შედეგების გამოყენების სფერო.** ნაშრომში შემუშავებული ცალკეული კონკრეტული ამოცანების შედეგები დიდ დახმარებას გაუწევს გარემოს დაცვაში, საინჟინრო ეკოლოგიაში, ღვარცოფმცოდნეობაში, ჰიდრაულიკაში, და სხვა მომიჯნავე დარგებში მოღვაწე მეცნიერებს სამომავლო კვლევების განხორციელებაში, ასევე პრაქტიკოს ინჟინრებს ეროზიული და მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენების შესწავლაში და მათთან ბრძოლის

ლონისძიებების შემუშავებაში. მიღებული შედეგები საფუძვლად დაედება ეროზიულ-ღვარცოფული პროცესებისაგან დამცავი ლონისძიებების შემუშავებასთან დაკავშირებულ საინჟინრო ამოცანების ოპტიმალურ გადაწყვეტას.

**დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, 5 თავისა და ძირითადი დასკვნებისაგან. იგი მოიცავს 162 ნაბეჭდ გვერდს, მათ შორის 14 ნახაზს და 30 ცხრილს; გამოყენებულია 125 დასახელების ლიტერატურა.

## თავი 1. სტიქიურ-ეგზოდინამიკური პროცესების შესწავლის და რეგულირების თანამედროვე ასპექტები

### 1.1. ნიადაგის ეროზიული პროცესების, მეწყრული და ღვარცოფული მოვლენების გავრცელების თანამედროვე მდგომარეობა

დედამიწაზე მიმდინარე კლიმატის ცვლილების გამო გახშირდა მაღალი ინტენსივობის ნალექების ფორმირება, რაც იწვევს ნიადაგის დეგრადაციას მთისა და მთისწინა უბნებში, სადაც ხდება ნიადაგ-გრუნტის ინტენსიური ეროზიული პროცესები, იგი ანადგურებს ნიადაგის ნაყოფიერ ფენას და პროვოცირებას უწევს მეწყრულ და ღვარცოფულ მოვლენებს.

ნიადაგის ეროზიული პროცესები ფართოდ არის გავრცელებული საქართველოშიც, კერძოდ ხრამებს, დარტაფებს და სხვა ეროზიულ ფორმებს სასოფლო-სამეურნეო წარმოების ზონის ტერიტორიის 20-25% უჭირავს.

კლიმატის ცვლილების და მოსალოდნელი შედეგების მიხედვით, ლანდშაფტების შეცვლის და დეგრადაციის პრობლემა ემუქრება საქართველოს ტერიტორიის თითქმის 3,5% ანუ 2330 კმ<sup>2</sup>-ს. ამგვარი პროცესებისთვის აუცილებელი გახდება პრევენციული ქმედებების განხორციელება.

ეროზირებულ ნიადაგებს საქართველოში მთელი სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების 33 პროცენტი უკავია. ეროზირებული მილიონი ჰექტრიდან 330 ათასი სახნავ-სათესი ფართობია, რომელთაგან 221 ათასი წყლისმიერ ეროზიას განიცდის.

წყლისმიერი ეროზია დიდი ინტენსიობით მიმდინარეობს და საშიშ მასშტაბებს იღებს საქართველოს ტენიანი სუბტროპიკული და მშრალი ზონების გორაკ-ბორცვიან და მთისწინა ნაწილში. დადგენილია, რომ 10 – 20<sup>0</sup> დაქანების ფერდობებიდან ზოგჯერ წელიწადში ჩამოირეცხება ჰექტარზე 200 – 300 ტონამდე ნიადაგი, წყალნალარების სიღრმე ხშირად 0,5-3 მეტრს და

უფრო მეტსაც აღწევს. გარკვეული პირობების არსებობისას ასეთი წყალნალარები თანდათან ხრამებად და ხევებად გადაიქცევა.

აღმოსავლეთ საქართველოში მშრალი სუბტროპიკული კლიმატის პირობებში, მცენარეულობით დაუფარავ ფერდობებზე წყლისმიერი ეროზია უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს, რასაც განაპირობებს აქ გავრცელებული ნიადაგების ეროზიისადმი დაბალი მდგრადობა. ამ რეგიონში 6-12<sup>0</sup>-ით დაქანებულ ფერდობებზე ინტენსიური წვიმების დროს ერთი ჰექტარიდან ყოველწლიურად ჩამოირეცხება 30-40 ტონა, ხოლო თავსხმა წვიმებისას 100-200 ტონამდე ნიადაგი [2].

საქართველოში ასევე დიდი მასშტაბებით ხასიათდება საავტომობილო გზების ინტენსიური მშენებლობის დროს ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგის ტექნოგენური ეროზია, რაც ეკოლოგიური საფრთხის შემცველია, რადგან ხშირ შემთხვევაში ადგილი აქვს ეროზირებული მასის ჩქაროსნულ საავტომობილო მაგისტრალზე მოხვედრას და შესაბამისად საავარიო სიტუაციის შექმნას, საავტომობილო ნაკადის მოძრაობის შეზღუდვას ან შეჩერებას (იხ. ფოტო 1.1.1).

ნიადაგის ეროზიას მნიშვნელოვანწილად ხელს უწყობს ხეობებში წარმოქმნილი ხანძარი, რადგან ნადგურდება ციცაბო ფერდობებზე განფენილი ტყის მასივები, ბიომრავალფეროვნება და ნიადაგის აქტიური ფენა. ამ მხრივ აღსანიშნავია ბორჯომის ხეობა, სადაც 2008 და 2017 წლებში გაჩენილმა ხანძრებმა წარმოქმნა **1000 ჰა-მდე** მოწყვლადი ფერდობი, რის გამოც განადგურდა ტყის მასივები და ამჟამად, აქტიურად მიმდინარეობს ნიადაგის ეროზია (იხ. ფოტო 1.1.2).



**ფოტო 1.1.1** საქართველოში გამავალი სატრანსპორტო დერეფნების მიმდებარედ არსებულ მოწყვლად ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზია



**ფოტო 1.1.2.** ბორჯომის ხეობის ნახანძრალი ფერდობი

ნიადაგის ეროზია წარმოადგენს მეწყრული მოვლენების ფორმირების ხელშემწყობ ფაქტორს. აღსანიშნავია, რომ მეწყრული მოვლენები დიდი

სიხშირით ვლინდება როგორც მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში, ასევე საქართველოშიც [3] და ძლიერ ნეგატიურ ზეგავლენას (ხშირად კატასტროფული შედეგებით) ახდენს ასეულობით დასახლებული პუნქტის, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების, სატრანსპორტო და ენერგოდერეფნების, მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ანძების, ჰიდროტექნიკურ-სამელიორაციო ობიექტებისა და სამთო-ტურისტული კომპლექსების ეკოლოგიურ უსაფრთხოებაზე. სტიქიის საშიშროების არეალში მოქცეულია თითქმის ყველა ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული ზონა - შავი ზღვისპირეთიდან დაწყებული მაღალმთიან-ნივალურით დამთავრებული, სადაც გეოეკოლოგიური სიტუაცია უკიდურესად გართულებულია. აღნიშნულ რეგიონებში განვითარებული მეწყრული მოვლენებით გამოწვეული უარყოფითი სოციალურ-ეკონომიკური, დემოგრაფიული და ეკოლოგიური შედეგები მოიცავენ ადამიანის საქმიანობის ყველა სფეროს. ყველაზე საგანგაშო კი ის არის, რომ ამ მოვლენას ხშირად თან სდევს ადამიანთა მსხვერპლიც. სტიქიის ფონური გააქტიურების პირობებში კი საერთო ეკონომიკური ზარალი ათეული მილიონი დოლარით განისაზღვრება, ხოლო მისი ექსტრემალური განვითარების შემთხვევაში ასეულ მილიონებს აჭარბებს.

განსაკუთრებულად მძიმე ვითარებაა შექმნილი მთიან რეგიონებში, სადაც სტიქიის ექსტრემალური გააქტიურების პირობებში არცთუ იშვიათად საჭირო ხდება მოსახლეობის აყრა ისტორიულად დამკვიდრებული საცხოვრებელი ადგილებიდან და გაყვანა სხვა რეგიონებში. ამას XX საუკუნის მეორე ნახევარში მოჰყვა ათეულობით სოფლის დაცარიელება მთაში და მიწების გავერანება. ყველაზე საგანგაშო კი ის არის, რომ ამ მოვლენებს ხშირად თან სდევს ადამიანთა მსხვერპლი. მარტო 1987 წლიდან დღემდე საქართველოში სტიქიამ შეიწირა 600-ზე მეტი ადამიანი, ხოლო ბოლო 35 წლის განმავლობაში მათმა რიცხვმა 1000-ს გადააჭარბა. ამავე პერიოდში სტიქიით დაზარალებული ადგილებიდან გადაყვანილ იქნა 60 ათასამდე ოჯახი.

საქართველოში თუ XX საუკუნის ბოლო ათწლეულებამდე მეწყრულ-ღვარცოფული პროცესების გააქტიურების ექსტრემუმი უმეტესწილად ემორჩილებოდა გარკვეულ ციკლორობას და, ადგილის გეოლოგიურ-კლიმატური პირობებიდან გამომდინარე, მეორდებოდა საშუალოდ 3-5 და 8-11 წლის განმავლობაში ერთხელ, მე-20 ს. 90-იანი წლებიდან მოყოლებული პროცესების საშუალო ფონს ზემოთ გააქტიურება აღინიშნება თითქმის ყოველ წელს, ხოლო მათი ექსტრემალური გამოვლინების ინტერვალები მნიშვნელოვნად არის შემცირებული. აღნიშნული პროცესების უარყოფითი მოქმედების არეალში ექცევა სულ ახალი და ახალი ტერიტორიები, დასახლებული პუნქტები, საინჟინრო-სამეურნეო ობიექტები და სხვ. უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოში არ არსებობს მეწყრული პროცესების ციფრული ინვენტარი. უკანასკნელ ხანებში მეწყრების შესახებ მოპოვებული ინფორმაციის საფუძველზე დაფიქსირდა დაახლოებით მანამდე უცნობი მეწყრის 700, შემთხვევა. თუმცა ეს რაოდენობა ძალიან მცირეა იმ პროცესების საერთო რაოდენობასთან შედარებით, რომლებიც ბოლო ათწლეულების განმავლობაში გამოვლინდა. ამ პერიოდში საქართველოს ტერიტორიაზე დაფიქსირდა დინამიკაში მყოფი და საშიშროების რისკის ზონაში მყოფი 53 ათასამდე მეწყრულ-გრავიტაციული უბანი, 3000-მდე ღვარცოფტრანსფორმირებადი წყალსადინარი, რომელთა საშიშროების რისკის არეალში მოქცეულია 3000-მდე დასახლებული პუნქტი [4].

როგორც გარემოს დაცვის სამინისტროს გარემოს ეროვნული სააგენტოს გეოლოგიური სტიქიის შედეგების ინფორმაციულ ბიულეტენებშია აღნიშნული, საქართველოში გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან მოყოლებული გეოდინამიკურად დაძაბულ რეგიონებში სტიქიური გეოლოგიური პროცესების გამოვლინება, როგორც წესი, თითქმის ყოველ წელს საშუალო ფონს ზემოთ აღინიშნებოდა და, შესაბამისად, მნიშვნელოვანია მათგან მიყენებული ეკონომიკური ზარალი [5].

საქართველოს გეოგრაფიული მდებარეობა განსაკუთრებულ მნიშვნელობას ანიჭებს მას როგორც სატრანზიტო ფუნქციის მქონე ქვეყანას.

დღესდღეობით საქართველოს ტერიტორიაზე გადის არა მარტო სატრანსპორტო (საავტომობილო და სარკინიგზო), არამედ ენერგეტიკული (ნავთობის და გაზის) დერეფნებიც, რომლის მშენებლობა გარკვეულ ზეგავლენას ახდენს ჩვენი ქვეყნის ლანდშაფტზე (წარმოიქმნება მოწყვლადი ტექნოგენური ფერდობები), რასაც ემატება კლიმატის ცვლილება და საბოლოოდ აქტიურდება ისეთი გეოდინამიკური პროცესები როგორცაა ეროზიულ-მეწყრული გენეზისის ღვარცოფები [1, 6-11].

აღსანიშნავია, რომ საქართველოს ტერიტორიის 29 % ღვარცოფული მოვლენების გავრცელების არეალშია მოქცეული და შესაბამისად როგორც მოსახლეობის, ასევე ინფრასტრუქტურის მიმართ ძალიან დიდია ეკოლოგიური რისკები [1].

ზემოაღნიშნული რისკების თვალსაჩინო მაგალითს წარმოადგენს 2011 წლის ივნისის თვეში რიკოთის უღელტეხილზე განვითარებული მოვლენები, სადაც ინტენსიური წვიმებით პროვოცირებულმა ღვარცოფმა გადაკეტა საავტომობილო გზა, შეწყდა სატრანსპორტო მიმოსვლა დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს შორის, შეფერხდა მილიონობით ტონა სხვადასხვა სახის ტვირთების დანიშნულების ადგილამდე დროულად მიტანის პროცესი, იყო ადამიანთა მსხვერპლი [1, 2, 5].

მდინარე თერგის მარცხენა შენაკადის, მდინარე ყაბახის ხეობაში 2014 წლის 17 მაისს მოხდა დიდი მასშტაბის ბუნებრივი კატასტროფა [3,12-14]. კერძოდ, მდინარე ყაბახის წყალშემკრებ აუზში, მცინვარ დევდორაკის დნობის შედეგად ფორმირებული იქნა 20-25 მ სიმაღლის ღვარცოფი, რომელმაც გადაკეტა მდინარე თერგის კალაპოტი და შეიწირა 7 ადამიანის სიცოცხლე, დაანგრია რუსეთ-საქართველო-სომხეთ-აზერბაიჯანის დამაკავშირებელი, სტრატეგიული მნიშვნელობის, საქართველოს სატრანზიტო-საავტომობილო სამხედრო გზის 500 მ სიგრძის მონაკვეთი (იხ. ფოტო 1.1.3).





**ფოტო 1.1.3 ღვარცოფის მიერ დანგრეული რუსეთ-საქართველო-სომხეთ-აზერბაიჯანის დამაკავშირებელი, სატრანზიტო-საავტომობილო სამხედრო გზის 500 მ სიგრძის მონაკვეთის საერთო ხედი**

აღნიშნულმა ღვარცოფმა მწყობრიდან გამოიყვანა საქართველოში გამავალი რუსეთ-სომხეთის 1200 და 750 მმ-იანი დიამეტრის 2 გაზსადენი, რის გამოც დიდი ხნით შეუწყდა სომხეთს გაზის მიწოდება.

შექმნილი სიტუაციიდან გამომდინარე, ეკოლოგიური საფრთხის წინაშე აღმოჩნდა მდინარე თერგის კალაპოტის ქვედა ნიშნულზე მოქცეული მშენებარე დარიალჰესის ჰიდროტექნიკური ნაგებობები.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ღვარცოფის ფორმირების ადგილებში წარმოიშვა ახალი მოწყვლადი უბნები, რის გამოც მოსალოდნელია ღვარცოფის განმეორებითი ფორმირება, რასაც კიდევ უფრო დიდი ზიანის მოტანა შეუძლია როგორც საქართველოსთვის, ასევე აღნიშნული სატრანსპორტო მაგისტრალით მოსარგებლე სამხრეთ კავკასიის ქვეყნებისათვის.

მდინარე ვერე ხეობაში 2015 წლის 13-14 ივნისში მოსულმა დიდი რაოდენობის ნალექებმა გამოიწვია წყალდიდობა და ხელი შეუწყო მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენების ფორმირებას [4], რომლის გამოვლინება იყო სოფელ ახალდაბის მიმდებარე ტერიტორიაზე, კერძოდ, მდინარე ვერეს მარჯვენა შენაკადის, ჯოხანის ხევის წყალშემკრები აუზი,

პსადაც მოწყვლად ფერდობზე განვითარებულმა მეწყრულმა პროცესებმა განაპირობა ღვარცოფის ფორმირება.

საქართველოში არსებული ღვარცოფული ხასიათის მდინარეთა წყალშემკრებ აუზებში გააქტიურებული, სხვადასხვა გენეზისის ღვარცოფული მოვლენების გამო, აუცილებელია განხორციელდეს ღვარცოფსაწინააღმდეგო ეფექტური და რესურსმზოგი ღონისძიებები, რათა მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი ეკოლოგიური რისკები.

## 1.2. სტიქიურ-ეგზოდინამიკური პროცესების განმაპირობებელი ძირითადი ფაქტორები.

**ნიადაგის ეროზიის გამომწვევ ძირითად ფაქტორებს განეკუთვნება:**

რ ე ლ ი ე ფ ი. რელიეფი უდიდეს როლს ასრულებს ეროზიული პროცესების წარმოქმნასა და მიმდინარეობაზე. რელიეფის ტიპზეა დამოკიდებული ატმოსფერული ნალექების შედეგად ფერდობის ზედაპირზე ფორმირებული წყლის ნაკადის ენერგია. რაც მეტია ფერდობის დაქანება და სიგრძე, მით მეტია ზედაპირული ნაკადის კინეტიკური ენერგია, დინების სიჩქარე და შესაბამისად მისი ეროზიული მოქმედებაც.

ნ ი ა დ ა გ ე ბ ი. ნიადაგი ბიოსფეროს უმთავრესი კომპონენტია, იგი შეიქმნა ბიოსფეროს ევოლუციის პროცესში ქანებზე კლიმატის, რელიეფის, ფიტოცენოზის და მიკროორგანიზმების კომპლექსური ფაქტორების ზემოქმედების შედეგად.

ეროზიული პროცესების ინტენსიობა ბევრად არის დამოკიდებული ნიადაგწარმომქმნელ ქანებზე. ეროზიას ყველაზე მეტად განიცდიან ის ნიადაგები, რომლებიც განვითარებულია ლიოსებსა და ლიოსისებრ თიხნარებზე, რომელთაც ქვეყანაში საკმოდ დიდი ფართობი უკავია.

ეროზიისადმი მდგრადობის უნარი დიდადაა დამოკიდებული ნიადაგის ფიზიკურ-ქიმიურ, წყლოვან-ფიზიკურ მახასიათებლებზე, ნიადაგის მექანიკურ შემადგენლობაზე, ნიადაგის ნაწილაკების შეჭიდულობაზე, წყალგამძლეობაზე, და სხვა. ნიადაგის ეროზიისადმი

მდგრადობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ნიადაგში ჰუმუსის რაოდენობასა და შთანთქმის ტევადობაზე. ორგანული ნივთიერებები და კოლოიდური ნაწილაკები ხელს უწყობენ წყალგამძლე აგრეგატებსა და ნიადაგის ნაწილაკებს შორის ურთიერთკავშირს, რაც ამცირებს ეროზიის ინტენსიობის გამოვლინებას.

აქედან გამომდინარე, ეროზიისადმი მდგრადობით გამოირჩევა მძიმე მექანიკური შედგენილობის ნიადაგები.

ქვიშიანი ნიადაგები ძალიან მაღალი წყალგამტარობით ხასიათდებიან. შესაბამისად ეროზიული საშიშროება მინიმალურია.

კ ლ ი მ ა ტ ი. ატმოსფერული ნალექები, რელიეფთან ერთად, წარმოადგენს ზედაპირული ჩამონადენის უმუალო მიზეზს, ხოლო ეს უკანასკნელი იწვევს ეროზიულ პროცესებს. საქვეყნოდ ცნობილია, რომ ზედაპირული ჩამონადენი წარმოიქმნება მაშინ, თუ ატმოსფერული ნალექების მოსვლის სისწრაფე აჭარბებს ნიადაგში წყლის ჩაჟონვის სისწრაფეს. ამიტომ ატმოსფერული ნალექების სიხშირე და განსაკუთრებით ინტენსივობა წარმოადგენს ნიადაგის ეროზიის გამომწვევ ერთ-ერთ მთავარ ფაქტორს. მცირე სიძლიერის წვიმის დროს ნიადაგის ჩამორეცხვას ან სულ არ აქვს ადგილი, ან უმნიშვნელოა. დადგენილია, რომ 0.5<sup>0</sup> დახრილობის მქონე ფერდობზეც შეიძლება მნიშვნელოვნად ჩამორეცხოს ნიადაგი, თუ ინტენსიური წვიმაა [15].

ფერდობებიდან გამონადენი წყლის ზედაპირული ნაკადებით და ნიადაგის ჩამორეცხვით ყოველწლიურად იკარგება არამარტო ნიადაგში არსებული, არამედ ნაკვეთში ხელოვნურად, განოციერების მიზნით შეტანილი სასუქებიც, როგორც მინერალური, ისე ორგანული და ასევე შხამქიმიკატები, რომლებიც აგროწესების თანახმად ყოველწლიურად საკმაოდ დიდი რაოდენობით გამოიყენება. ამ მიმართულებით ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ ზოგჯერ შეტანილი სასუქების 10-30% იკარგება დიდი ინტენსიობის წვიმების შედეგად ფერდობებზე ფორმირებული ნიადაგის ეროზიის გამო [16].

აქედან გამომდინარე, რაც უფრო ხშირი და ინტენსიურია წვიმები, განსაკუთრებით, წლის იმ პერიოდში, როდესაც მიმდინარეობს ნიადაგის გამაფხვიერებელი სამუშაოები, მით უფრო ძლიერია ნიადაგის ჩამორეცხვა, ასეთ პირობებში ნიადაგის ჩამორეცხვა წარმოებს მცირე დახრილობის მქონე ფერდობებზეც [17].

ნალექების სიხშირესა და ინტენსივობასთან ერთად ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს წვიმების ხანგრძლივობასაც. ამრიგად, ატმოსფერული ნალექების საერთო წლიური რაოდენობა არ თამაშობს ისეთ დიდ როლს ნიადაგის ეროზიულ პროცესებში, როგორც ნალექების სიხშირე, ხანგრძლივობა და შესაბამისად ინტენსივობა.

ანთროპოგენული ფაქტორი. ანთროპოგენული ზემოქმედება (არასწორი ხვნა, ტექნოგენური ფერდობები, მწვანე საფარის მოსპობა და ა.შ.) განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს ეროზიულ პროცესებზე, რაც გამოიხატება ეროზიის აჩქარებულ განვითარებაში და რასაც ადამიანის არარაციონალური სამეურნეო საქმიანობა განაპირობებს. ამის ერთ-ერთი მიზეზი ადამიანთა სამეურნეო საქმიანობის სწორად წარმართვის დასაბუთებული მეცნიერული რეკომენდაციების უქონლობაა, ან არსებული რეკომენდაციების პრაქტიკულად გამოუყენებლობა. ყოველივე ამის გამო ადამიანები თავიანთი სამეურნეო საქმიანობით ნებით თუ უნებლიეთ იწვევენ ეროზიული პროცესების განვითარებას [18].

#### **მეწყრული მოვლენების გამომწვევი ძირითადი ფაქტორები:**

მეწყრული პროცესის, როგორც სიმძიმის ძალის გამოვლინების, მიზეზები შეიძლება იყოს: ფერდობების კონფიგურაციის შეცვლა, მათი მასის მატება, სეისმური ბიძგები, გამოფიტვა, ქანების განმკვრივება, ფერდობების ძირის ჩამოჭრა, ჰიდროსტატიკური და ჰიდროდინამიკური ძალების მოქმედებით ქანების სიმტკიცის შესუსტება და სხვ. ყველა ამ ცალკეულ ფაქტორს შეუძლია მეწყრული მოვლენის წარმოქმნა,

ა. შუკო ფაქტორებს, რომლებიც განსაზღვრავენ ეგზოდინამიკური პროცესების სირთულეს და ხასიათს, ყოფს სამ ძირითად ჯგუფად: მუდმივ,

მდორედ ცვლად და სწრაფად ცვლად ფაქტორებად. პირველი ჯგუფის ფაქტორია რეგიონის გეოლოგიური და გეომორფოლოგიური აგებულება. იგი განაპირობებს რეგიონში მიმდინარე პროცესების გენეტიკურ ცვლილებებს და მათი გამოვლენის ინტენსივობას. მეორე ჯგუფის ფაქტორები შეიძლება ორ ნაწილად დაიყოს: დამოუკიდებელ (ტექტონიკური მოძრაობები და კლიმატი) და წარმოებულ (ჰიდროგეოლოგიური პირობები, ნიადაგები, მცენარეულობა) ფაქტორებად. მეორე ჯგუფის ფაქტორები განსაზღვრავენ ეგზოდინამიკური პროცესების განვითარების საერთო ტენდენციას. ა. შუკო მესამე ჯგუფის ფაქტორებსაც ორ ნაწილად ყოფს. დამოუკიდებელ (მეტეოროლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობები, სეისმურობა) და ადამიანის სამეურნეო საქმიანობად. ამ ჯგუფის ფაქტორები განსაზღვრავენ ეგზოდინამიკური პროცესების აქტივიზაციის რეჟიმს. ძირითადი ფაქტორებიდან ყალიბდება ე.წ. წარმოებული ფაქტორები (ტენიანობა, ზედაპირული ჩამონადენი, სეზონური ცვალებადობა, გაყინვა-ლღობა, ქანების სიმტკიცე, დეფორმაციის თავისებურებანი და სხვა). შემდგომში ა. შუკოს კლასიფიკაცია განავითარა და კონკრეტული რეგიონებისათვის განავრცო ტ. პიოტროვსკაიამ. საქართველოს ტერიტორიისათვის სტიქიური დამანგრეველი პროცესების ძირითადი განმსაზღვრელი ფაქტორები მოცემულია და დასაბუთებულია ე. წერეთლისა და მისი მოწაფეების შრომებში. ეგზოდინამიკური პროცესებისა და სტიქიური მოვლენების განვითარების ძირითადი განმსაზღვრელი ფაქტორია რეგიონში ნიადაგისა და ქანების საინჟინრო გეოლოგიური პირობები. მთის ქანები ითვლებიან გეოდინამიკური პროცესების განმსაზღვრელ ბაზისად, რამდენადაც ისინი არიან რეგიონის საინჟინრო გეოლოგიური პირობების უმნიშვნელოვანესი ელემენტი-ბაზა ფუნდამენტი, რომელმაც უნდა განიცადოს ნებისმიერი სახისა და გენეზისის ეგზოდინამიკური პროცესი. ქანი შეიძლება აგებული იყოს რომელიმე ერთი მინერალიდან (კირქვა), ან მინერალთა აგრეგატიდან, რომელთაც ახასიათებთ გეოგრაფიულად გავრცელების დიდი არე და არის მიწის ქერქის

მაშენებელი. ძირითადად ქანები განიხილება, როგორც მრავალკომპონენტური დინამიური სისტემა, რის შედეგადაც ყალიბდება მისი თანამედროვე მდგომარეობა, სტრუქტურულ-ტექსტურული აგებულება და პეტროფიზიკური თვისებები, რომლებიც იცვლებიან დიაგენეზიდან ჰიპერგენეზამდე. ე. წერეთლის მიერ მოცემულია ქანების საინჟინრო გეოლოგიური ტიპიზაცია, რომელთა ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები განსაზღვრავენ სტიქიურ დამანგრეველი პროცესების ხასიათს და მასშტაბებს [19-28].

დადგენილია, რომ მეწყრული პროცესების ჩამოყალიბებას ძირითადად განაპირობებს კლიმატური პირობების გამწვავება შედარებით ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში.. ჰიდრომეტეოროლოგიური გამოკვლევებით დადგენილია, რომ დღელამეში 30 მმ ნალექი იწევს საშიში ეგზოდინამიკური პროცესების განვითარების პროვოცირებას, ხოლო (80-120) მმ დღელამური ნალექები ნაკლებად მკვეთრი რელიეფის პირობებშიც კი განაპირობებს მეწყრული მოვლენების განვითარებას.

სტიქიური დამანგრეველი პროცესების ფორმირებაზე და აქტივიზაციაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ადამიანის ყოველდღიური შრომითი საქმიანობა. ადამიანის დამოკიდებულება ბუნებასთან ისტორიულად ჩამოყალიბებული ხანგრძლივი და მუდმივი პროცესია. ცივილიზაციის საწყის პერიოდში ანთროპოგენური მოვლენების როლი ბუნებრივი სტაბილური პირობების დარღვევაში შედარებით უმნიშვნელო იყო, ხოლო მე-20 საუკუნიდან, სამეცნიერო ტექნიკური რევოლუციის ეპოქაში, ადამიანის გავლენა მკვეთრად გაიზარდა. აღნიშნულ საკითხებზე ჩატარებულია მრავალი გამოკვლევა და მოცემულია რეკომენდაციები ბუნებაში სტაბილური წონასწორობის შესანარჩუნებლად. ა. კოტლოვი გამოყოფს ადამიანის ზემოქმედების შედეგად გარემოს ცვალებადობის ორ კატეგორიას: 1. ბუნებრივ ანთროპოგენურს და 2. ანთროპოგენურს. პირველი შეიძლება წარმოიშვას და განვითარდეს ადამიანის საინჟინრო-სამეურნეო საქმიანობის ზემოქმედების გარეშე, თუმცა მისი შემდგომი განვითარება

ხარისხობრივად და რაოდენობრივად განისაზღვრება უკვე ანთროპოგენური ფაქტორით. მეორე ანთროპოგენური (ტექნოგენური) პროცესები მთლიანად გამოწვეულია ბუნებაზე ადამიანის ზემოქმედებით. ამის უამრავი მაგალითი აღინიშნება საქართველოს პირობებში, კერძოდ, მეწყრული მოვლენები თბილისში, კავკასიონის სამხრეთი ფერდის, აჭარა-თრიალეთსა და ცივ-გომბორის ქედებზე, მთიან აჭარაში, სვანეთში, მთიულეთში, შავი ზღვის სანაპირო ზოლში და სხვა. ფერდობების დეფორმაციას, ეროზიული პროცესების, მეწყერებისა და ღვარცოფების წარმოშობას ხელს უწყობს არარაციონალურად დაგეგმილი ჰიდროტექნიკური, საგზაო, სასოფლო და საქალაქო მშენებლობები. სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების არაგეგმაზომიერმა ათვისებამ, ფერდობებზე ტყეების გაჩეხვამ გამოიწვია მეწყრული პროცესების გააქტიურება (ახალი კერების წარმოშობა, ჩაკირული კერების გამოცოცხლება). არაგონივრული სამუშაოების ჩატარების შედეგად, ბოლო წლებში, საქართველოში მკვეთრად გაუარესდა გეოეკოლოგიური მდგომარეობა. მთელ რიგ სარწყავ ფართობებზე გრუნტის წყლის დონემ აიწია, რამაც გამოიწვია გრუნტების დაჯდომა და ნიადაგის დაჭაობება, მაგისტრალური სარწყავი არხების ზონაში სუფოზიური ძაბრების და მეწყრული კერების წარმოშობა. მსხვილი წყალსაცავების ნაპირების თითქმის 70% დეფორმირებულია სხვადასხვა ტიპის გეოდინამიკური პროცესებით [36,37,43,44].

#### **ღვარცოფული მოვლენების გამომწვევი ძირითადი ფაქტორები.**

სტიქიურ-დამანგრეველი გეომორფოლოგიური მოვლენები, მათ შორის ღვარცოფები, მრავალი ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორებით განპირობებული მეტად რთული პროცესია, ეს ფაქტორებია: ჰიდრომეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური, გეოლოგიური, გეომორფოლოგიური, ნიადაგურ-მცენარეული და ანთროპოგენური.

ჰიდრომეტეოროლოგიური ფაქტორები: ღვარცოფების ფორმირებას ძირითადად განაპირობებს მოსული ნალექების ხანგრძლიობა და ინტენსიობა. კოკისპირული წვიმები ღვარცოფის წარმოშობის კუთხით

შეიძლება ატარებდეს ორგვარ ხასიათს: 1) მთის ქანების წვიმის წყლით თანდათანობით გაჯერება, რომელიც ხელს უწყობს გრავიტაციული ძალებით მიღებული ქანების გროვების, მეწყრული მასივების, დაფერდებული გრუნტების ჩამოცურებასა და მათი არამდგრად მდგომარეობაში მოყვანას. 2) დამატებით წყლით გაჯერება, რაც იწვევს მთის ქანების მასივების წონასწორობის დაკარგვასა და მდინარის კალაპოტში ჩამოშვავებას.

პირველი ეტაპი ამზადებს ღვარცოფულ მასას ფორმირებისათვის. ეს ეტაპი შეიძლება იყოს ხანგრძლივი.

მეორე ეტაპი წარმოადგენს უშუალო იმპულსს ღვარცოფის ფორმირებისათვის.

გლაციალური (მყინვარული) ღვარცოფის ფორმირებისას ძირითად მეტეოროლოგიურ ფაქტორს წარმოადგენს ჰაერის ტემპერატურა იმ პერიოდში, როცა მიმდინარეობს მყინვარის ინტენსიური დნობის პროცესი. ასეთი ტიპის ღვარცოფის წარმოშობისათვის განსაკუთრებით ხელშემწყობ ფაქტორს წარმოადგენს დღე-ღამის განმავლობაში დადებითი (+) ტემპერატურის არსებობა, ინტენსიური აბლაციის ზონაში.

ღვარცოფწარმომშობი მეტეოროლოგიური ფაქტორები მჭიდროდ არის დაკავშირებული ჰიდროლოგიურ ფაქტორებთან. განსაკუთრებით ეს ეხება კატასტროფული ხასიათის გლაციალურ ღვარცოფებს.

მყინვარული ტბის გარღვევის შედეგად წარმოქმნილი წყალმოვარდნა იწვევს ღვარცოფის ფორმირებას. ამ შემთხვევაში დიდი მნიშვნელობა აქვს მთის მდინარეთა აუზის კალაპოტის ქსელის განლაგებას, რადგან რამდენიმე შენაკადის ერთ კალაპოტში მოქცევის დროს შეიძლება გაიზარდოს მდინარის წყლის ხარჯი და დაიწყოს ნაპირების გარეცხვისა და ღვარცოფის წარმოქმნის პროცესი.

ღვარცოფის წყლით საზრდოობაში ზედაპირულის გარდა არცთუ ისე იშვიათად ღებულობს მონაწილეობას მიწისქვეშა წყლები. გრუნტის წყლის ჰორიზონტი ხშირად განლაგებულია სანაპირო დაცურების სიბრტყის



გასწვრივ, რაც იწვევს ამ მასივების წონასწორობის დაკარგვასა და მათი მდინარის კალაპოტში ჩამოშვავებას.

აქედან გამომდინარე ჰიდროლოგიური ფაქტორების გარდა ღვარცოფის წარმოქმნაში შეიძლება მონაწილეობა მიიღოს ჰიდროგეოლოგიურმა ფაქტორებმაც.

ჰიდროლოგიური ფაქტორების როლი უნდა განვიხილოთ სამი პოზიციიდან: პირველი - მთის ქანების და ნიადაგების ფილტრაციული თვისებების ზეგავლენა ზედაპირული ჩამონადენის რაოდენობაზე. მეორე - ღვარცოფების თხევადი შემადგენლობის ფორმირებაში მიწისქვეშა წყლების ზემოქმედება თანამედროვე გეოლოგიური პროცესების აქტიურობაში, რომელიც თავის მხრივ ამზადებს და აყალიბებს ღვარცოფული ნარევის მყარ შემადგენელს.

ზედაპირული ნალექების ფილტრაციული თავისებურება დამოკიდებულია ქანების ზედაპირის შემადგენელი შრის გრანულომეტრიულ შემცველობაზე და მასში ნაწილაკების მინერალოგიურ შემადგენლობაზე, ტენიანობაზე და სხვა.

ნიადაგის წყალშელწევადობა დამოკიდებულია მის გენეზისზე, სტრუქტურაზე და მასში ჰუმუსის რაოდენობაზე, ხოლო კლდოვანი ქანების წყალშელწევადობა კი განისაზღვრება მისი ნაპრალების რაოდენობით.

აერაციის ზონის სიძლიერე მთიან რეგიონებში მერყეობს ფართო დიაპაზონში. იგი უმნიშვნელოა ნივალურ სარტყელში, სადაც განვითარებულია მრავალწლიანი მყინვარები, რომლებიც სიმაღლით 100 მ-ს აღწევენ.

ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე წყალშელწევადობის ხარისხი დამოკიდებულია ზედაპირის დენუდაციის ინტენსიობაზე.

ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა ცხადყვეს, რომ თუ ინფილტრირებული ნალექების წყალშელწევადობა ქვემოთ მდებარე ფენაში მცირეა, მაშინ ზედა ფენაზე წარმოიქმნება გრუნტის წყალი, რომელიც მოძრაობს ჰორიზონტის გასწვრივ და გამოიყოფნება მის ზედაპირზე.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ზედა ფენების წყალშელწევადობა მცირეა ქვედა ფენების წრალშელწევადობაზე, გრუნტის წყალი არ წარმოიქმნება და წყალი თავისუფლად ჩაიჟონება მიწისქვეშა წყლების დონემდე.

თანამედროვე მორენაში გრუნტის წყლების მოძრაობას მთელი რიგი თავისებურებები გააჩნია. ჩვეულებისამებრ, მორენები გამდიდრე-ბულნი არიან, როგორც წვრილფრაქციული მასალით, ისე მსხვილ-მონატეხი გაყინული ქანებით, რომელთა რაოდენობრივი და პეტროგრაფიული შემადგენლობა განაპირობებს მორენის გალღვობის სიღრმეს და სიჩქარეს.

ამრიგად, წყალი თანამედროვე მორენებში მოძრაობს ცალკეული ნაკადების სახით თერმოკარსტულ არხებში. ასეთი ნაკადების დებეტი შესაძლებელია იყოს ძალზედ მნიშვნელოვანი. მათმა ზედაპირზე გამოსვლამ შეიძლება მოგვცეს მთელი მდინარის სათავე (მაგ. მდ. პატარა ალმატინკა). მაშასადამე თანამედროვე მორენები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ ღვარცოფების ფორმირებაში [30-34].

აღსანიშნავია, რომ ღვარცოფწარმოშობი ნიაღვრების ჩამოყალიბებაში უშუალო მონაწილეობას იღებენ არა მარტო გრუნტის წყლები და შიდამორენის დახურული წყალსატევების რღვევები, არამედ მიწისქვეშა წყლებიც. ისინი იწვევენ რა სხვა სახის ეგზოგენურ-გეოლოგიური პროცესების აქტივიზაციას (მეწყერები, გამოფიტვა) მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ ღვარცოფის მყარი შემადგენლის ფორმირებაშიც.

ღვარცოფში მყარი მასის მახასიათებელი განისაზღვრება გეოლოგიური ფაქტორებით. მთავარ როლს ასრულებს მთის ქანების ლითოლოგიური შემადგენლობა. ღვარცოფის მყარი შემადგენლის წარმომქმნელ მთავარ ეგზოგენურ პროცესს წარმოადგენს ნიადაგის საფარისა და დედა ქანების ნგრევა და ნაშალი მასალის დაგროვება, მათი გადაადგილება ფერდოს ქვევით და მთის წყალშემკრების კალაპოტში. მთის ქანების დაშლის პროცესი მიმდინარეობს მუდმივად გამოფიტვის პროცესების ზემოქმედებით. განსაკუთრებით ზემოქმედებს ყინულოვანი გამოფიტვა. ამ მიმართულებით ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა ცხადყო, რომ ზემო აღნიშნული გამოფიტვის

დროს კლდოვანი მასის ფერდოს 1 მ<sup>2</sup> ფართობზე წარმოიქმნება 1.5-3.0 კგ. ნაშალი მასალა (ქანების ლითოლოგიის, სიმტკიცისა და ფერდოს ექსპოზიციის გათვალისწინებით). ეს ნიშნავს, რომ 1 კმ<sup>2</sup> კლდოვანი ფერდოს ზედაპირიდან მყინვარული გამოფიტვის შედეგად წარმოიქმნება 1200 მ<sup>3</sup> მთის ქანების ნაშალი მასალა. თუ დაუშვებთ საშუალოდ ღვარცოფის წარმოქმნას შორის 10 წლის პერიოდს, მაშინ მხოლოდ კლდოვანი ფერდოდან წარმოქმნილი ღვარცოფწარმომშობი მასალის მოცულობა შეადგენს 12000 მ<sup>3</sup> 1 კმ<sup>2</sup>-დან [35-37].

ღვარცოფწარმომქმნელი მყარი მასა აგრეთვე წარმოიქმნება კალაპოტის ნაპირების და ფსკერის გარეცხვის შედეგად.

მთის ქანების ნგრევის პროცესში დიდი წვლილი შეაქვს ტექტონიკურ პროცესებს, რომლებიც ბიძგს აძლევენ ეგზოგენური პროცესებისა და ღვარცოფის შემადგენელი მყარი მასის ფორმირებას.

საერთო გეოლოგიურ-ინჟინრული კლასიფიკაციის მიხედვით, რომელიც დამუშავებულ იქნა ე. მ. სერგეევი, ვ. ა. პრიკლინსკის, ლ. დ. ბელის, პ. ნ. პანუკოვის მიერ ყველა მთის ქანები დაყოფილ იქნა სამ კლასად. პირველ კლასს განეკუთვნება მაგმური, მეტამორფული და დანალექი ქანები, მეორე კლასში გაერთიანებულია დანალექი ქანები და ნიადაგები, მესამე კლასში კი ხელოვნური გრუნტები [38-43].

პირველი კლასის ქანები ხასიათდებიან მტკიცე და დეფორმაციული თვისებების მაღალი მნიშვნელობებით. ისინი ეწინააღმდეგებიან წყლისმიერ გარეცხვას და ამ მხრივ არ იღებენ მონაწილეობას ღვარცოფების ჩამოყალიბებაში. ღვარცოფული მოვლენების წარმოქმნის პროცესში ეს ქანები შეიძლება განხილულ იქნან, როგორც ნაშალი მასალის წყარო, რომელიც გამოფიტვის ან სხვა დარღვევების შედეგად წარმოიქმნენ.

მეორე კლასის მთის ქანები (მაგარი, მტკიცე კავშირების გარეშე) განსაკუთრებულ სიტუაციებში (ნაკადში წყლის დიდი ხარჯი და სიჩქარე) შესაძლებელია უშუალოდ ჩათრეულ იქნას ღვარცოფულ ნარევაში, დაშლის წინაპირობების არსებობის გარეშე.

ყოველი გენეტიკური ჯგუფის ქანებისათვის დამახასიათებელია ძირითადი, მეორეხარისხოვანი და შემთხვევითი მინერალების კომპლექსი, ამიტომ სხვადასხვა ჯგუფის მთის ქანები სხვადასხვანაირად იფიტებიან. ყველაზე ძლიერ ცვლილებებს მინერალოგიურ შემადგენ-ლობაში განიცდიან მაგმური და მეტამორფული ქანები, ხოლო დანალექი ქანები იცვლებიან უმნიშვნელოდ. აქედან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ღვარცოფულ კერებში მყარი შემადგენლის, რომელიც ყალიბდება მაგმური და მეტამორფული ქანების ფიზიკური გამოფიტვის შედეგად, წვრილდისპერსიული ნაწილი არ შეიცავს თიხის მინერალებს და ასეთ კერებში ბმული ღვარცოფის ფორმირება უფულებელყოფილია.

იმ კერებში, რომლებიც აგებული არიან დანალექი ქანებით, რომლებიც შეიცავენ თიხის მინერალებს, უმნიშვნელო მექანიკური დანაწევრებისას ქმნიან ბმულ ღვარცოფებს.

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მთის ქანებში ორგანული ნივთიერებების არსებობას. ისინი შეიძლება შეგვხვდეს ჰუმუსის სახით, რომელსაც მაღალი ჰიდროფილურობა გააჩნია, რაც ქანს ანიჭებს პლასტიკურობას და ზრდის მის ტენტევადობას. მაგალითად, ქვიშაქვებში ჰუმუსის ცოტა რაოდენობით დამატება მას 10-ჯერ უფრო წყალგაუმტარს ხდის, ვიდრე იგი დამატებამდე იყო. ღვარცოფულ ნარევი ჰუმუსის მცირე დოზით დამატება კი საერთოდ ცვლის მის რეოლოგიურ თვისებებს.

გეომორფოლოგიური ფაქტორი დიდ ზეგავლენას ახდენს ღვარცოფის ფორმირებასა და მის დინამიკაზე. ეს ზეგავლენა გამოიხატება ღვარცოფის წარმოქმნის, მოძრაობის და გამოტანის კონუსის განფენისას., რაც უფრო დიდი არის წყალშემკრები აუზის ქანობი და მისი დანაწევრების ხარისხი, მით უფრო სწრაფად ხდება არამდგრადი მთის მასივების წონასწორობის დაკარგვა და მით უფრო მატულობს ღვარცოფის სიჩქარე და მყარი მასალის მიტაცების უნარი.

მთის წყალშემკრები აუზის რელიეფის მეზო და მიკრო ფორმა, კალაპოტის და ფერდობების განლაგების ხასიათი, კალაპოტის ქსელის

მორფომეტრული მახასიათებლები, ყველაფერი ეს განსაზღვრავს ღვარცოფის მოძრაობის რეჟიმს, ხასიათს და გამოტანის კონუსის განფენის ფართობს.

მთები ახდენენ არსებით ზეგავლენას ჰაერის მასების ცირკულაციაზე, კონტროლს უწევენ ნალექების განაწილებას. მთებში ირღვევა ნორმალური ბუნებრივი ზონალობა და ვლინდება სიმაღლითი სარტყელები. ნალექების განაწილების მიხედვით გამოყოფენ სიმაღლითი სარტყელების ორ ვარიანტს: ტენიან და კონტინენტურ სარტყელებს. სიმაღლითი ზონალობის სტრუქტურაზე დიდ გავლენას ახდენს ფერდობის ექსპოზიცია. ჩრდილოეთი ფერდობები სითბოს იღებენ მცირე რაოდენობით და გატყიანებული არიან, ვიდრე სამხრეთი ფერდობები.

განსხვავებულ განედებზე ფერდობების ზედაპირის სხვადასხვა ხარისხით გათბობა განსაზღვრავს მთის ქანების დაშლის სხვადასხვა ხასიათს [44-48], რასაც არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება ამა თუ იმ აუზის ეკოლოგიური მდგომარეობისა და კერძოდ, ღვარცოფსაშიშროების შეფასებასა და ღვარცოფული მოვლენების ინტენსიობაში.

თოვლიანი ხაზის ქვემოთ მკვეთრად გამოირჩევა სამი მორფოლოგიური სარტყელი: 1. ზემო ნივალური სარტყელი, რომელსაც გააჩნია მკვეთრად დანაწევრებული რელიეფი, პიკური მწვერვალები და მახვილური თხემები. ფერდობები აქ იმდენად ციცაბოა, რომ მათზე ვერ ჩერდება ვერც თოვლი და ვერც გამოფიტვის პროდუქტები. აქ ინტენსიურად არის განვითარებული ყინულოვანი გამოფიტვა და ფერდობების ძირში თუ ყინულების ზედაპირზე თავს იყრის მსხვილმონატეხი მასალის დიდი რაოდენობა.

ნივალურ სარტყელში ღვარცოფული კერების წარმოშობა ამა თუ იმ ხარისხით დამოკიდებულია თანამედროვე ყინულების მოქმედებასთან. ღვარცოფის მყარი შემადგენელი ნაწილი ფორმირდება მორენის ხარჯზე, ხოლო თხევადი კი თოვლის და ყინულის დნობის შედეგად. ველების და ტაფობების ზედაპირი უპირატესად აკუმულირებულია და წარმოადგენს ღვარცოფული გამონატანის გაჩერების ადგილს.

სხვადასხვა ფაქტორებს შორის პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს ნიადაგურ-მცენარეული საფარის მდგომარეობა. ტყის მცენარეების სიჭარბე ან სინაკლებე განაპირობებს წყალშემკრებ აუზში ღვარცოფის ფორმირების შესაძლებლობას.

მთის წყალშემკრებები, რომელთა ფერდოს ზედაპირზე განფენილია მაღალი და ხშირი ტყე, მძლავრი ფესვთა სისტემით, ნაკლებად ღვარცოფსაშიშია. ტყე თავისი ფესვთა სისტემით აცემენტებს ნიადაგს და იცავს მის სტრუქტურას რღვევისაგან. ხის ფესვები, ბუჩქები, ბალახის საფარი იცავს ნიადაგს გარეცხვისა და მზის სხივების ზემოქმედებისაგან, აგრეთვე ამცირებს ეროზიას და ფიზიკური გამოფიტვის პროცესს [23,25,29]

ხე-ბუჩქოვანი მცენარეული საფარი აკავებს მოსული ნალექების მნიშვნელოვან ნაწილს, ამცირებს ჩამონადენს დროის მიხედვით, ხოლო ტყეში არსებული საფარი ზრდის ნიადაგის წყალშედლწევადობას. ტყე ამცირებს წვიმის წვეთის მექანიკურ ზემოქმედებას, განსაკუთრებით სეტყვისას ფერდოს ზედაპირზე და ბოლოს ხშირი ტყე წარმოადგენს ბარიერს ქვების დაგორების და ღვარცოფის ფორმირებისათვის აუცილებელი პირველადი მასისთვის, ამიტომ მთის ფერდობების გატყიანება წარმოადგენს ყველაზე ქმედით საშუალებას ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებების ჩატარებისათვის. აგრეთვე ბუჩქოვანი და ბალახოვანი მცენარეები იცავენ მთის ნიადაგების ზედაპირს გამოფიტვისა და დაშლისაგან. ბალახითა და ბუჩქნარით დაფარულ ფერდობებზე იშვიათად აქვს ადგილი ღვარცოფის მასაზრდოებელი მყარი ნატანის ფორმირების კერის არსებობას.

გატყიანებული ნიადაგები სხვა გენეტიკურ ტიპებთან შედარებით, გამოირჩევა მეტი წყალშედლწევადობით და წყალშთანთქმით. ტყის საფენი წარმოადგენს ჯერ კიდევ გაუხრწნელი ფოთლების გროვას. ეს ქვეჰორიზონტი თავისი ფიზიკური თვისებებით ძლიერ განსხვავდება სხვა ჰორიზონტებისაგან. გრუნტის ჩონჩხის მოცულობითი წონა მერყეობს 0.04-0.2 გ/სმ<sup>3</sup> დიაპაზონში. სრული ტენტევადობა აღწევს 10-45%-მდე. ტყის საფენის მიერ წყლის გაცემა მცირეა, მას შეუძლია შეინარჩუნოს 10-20 მმ

წყლის მოცულობა. ამას გარდა, იგი იცავს ქვემოთ მდებარე ჰორიზონტების სტრუქტურას წვიმის წვეთების მექანიკური ზემოქმედებისაგან, დალამვასა და დაშლისაგან; ტყის საფენი ასევე მოქმედებს ნიადაგის ტემპერატურულ რეჟიმზე ამცირებს გაყინვის სიღრმეს.

ანთროპოგენური ფაქტორები: ღვარცოფწარმომქმნელ ანთროპოგენურ ფაქტორებს განეკუთვნება, მთაში ადამიანის მიერ განხორციელებული ქმედებები, რომლებიც ხშირ შემთხვევაში იწვევს ღვარცოფის ფორმირებას ან მის აქტივიზაციას. ამ ფაქტორებიდან მთავარია მთის ფერდობებზე ტყის არასისტემური ჭრა. მთის ფერდოს მდგომარეობაზე აგრეთვე მოქმედებს პირუტყვის მიერ მდელს არაკონტროლირებადი ძოვება და ამით მიწისზედა და ნიადაგის საფარის დეგრადაცია. ასეთი დეგრადაციის შედეგად ხდება ნიადაგის ჩამორეცხვა და მცენარეთა ფესვთა სისტემის გაშიშვლება, რაც იწვევს მოსული ნალექების უარყოფით მექანიკურ ზემოქმედებას, კლებულობს ინფილტრაცია და მატულობს ზედაპირული ჩამონადენი, რაც ხელს უწყობს ღვარცოფის ფორმირებას.

ერთ-ერთ ღვარცოფწარმომქმნელ ანთროპოგენურ ფაქტორს წარმოადგენს არასწორი აგროტექნიკა, რომელსაც განეკუთვნება მთის ფერდოს გრძივად ხვნა, რის შედეგად წარმოიქმნება ლარტაფი, რომელიც განეკუთვნება მთის ეროზიის კერას.

ზემოთ აღნიშნულ ანთროპოგენურ ფაქტორებს შეიძლება უწოდოთ აგროგენური ფაქტორები, მაგრამ არსებობს კიდევ ტექნოგენური ფაქტორები, რომლებიც დიდწილად განაპირობებენ ღვარცოფის წარმოქმნას ესენია [49, 50],:

- მთის დამამუშავებელ საწარმოთა მიერ, დამუშავებული მთის ქანების ყრილების არასწორი ორგანიზება დიდი ქანობის მქონე მთის ფერდობებზე, Plusადაც ნალექების მოსვლისას ხდება ამ მასის წყლით გაჯერება და წარმოიქმნება ღვარცოფი. ასეთი სახით წარმოქმნილი ღვარცოფი ზოგჯერ თავისი სიმძლავრით აჭარბებს ბუნებრივად წარმოქმნილ ღვარცოფის სიმძლავრეს.

- რკინიგზისა და საავტომობილო ტრასის გაყვანის მიზნით მთის ქანების მასიურად აფეთქებისას.

- მშენებლობისას და სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვების მიზნით კარიერებზე მუშაობისას ნიადაგის რეკულტივაციის არსებობა.

- ციცაბო მთის ფერდოზე გამავალი საირიგაციო არხების გადავსებისა და დაურეგულირებელი წყლის გამვებისას.

- საწარმოო მრეწველობის ნარჩენებით ჰაერის სხვადასხვა გაზებით გაჯერებისას, რომელიც მომაკვდინებლად მოქმედებს ნიადაგურ-მცენარეულ საფარზე.

აღნიშნული ღვარცოფწარმომქმნელი აგროგენური და ტექნოგენური ფაქტორების ერთობლიობა წარმოადგენს რეალურ საფრთხეს, რომელსაც აქვს ანთროპოგენური გენეზისი და საჭიროა რაციონალური ღონისძიებების ჩატარება, რათა თავიდან იქნას აცილებული სტიქიური უბედურებები.

### 1.3. კვლევის თანამედროვე მეთოდების ანალიზი

#### ნიადაგის ეროზიის კვლევის თანამედროვე მეთოდები

XX საუკუნეში თითქმის ერთდროულად შეიქმნა ეროზიის თეორიის ძლიერი სკოლები საბჭოთა კავშირში და აშშ-ში.

გამოჩნდა ა.ს. ვოზნესენკის, ს.ს. სობოლევის, ა.ნ. კოსტიაკოვის, მ.ა. ველიკანოვის, ც.ე. მირცხულავას, ხ.ხ. ბენეტის, ვ.კ. ვიშმაიერის, დ.დ. სმიტის, ხორტონის, კირკბის, რ. პ. მორგანის, ჟ. ვ. და სხვ. შრომები [51-61].

ეროზიული პროცესების კვლევისათვის ამჟამად გამოიყენება სავსე, სტაციონალური და ლაბორატორიული ნიადაგის ჩარეცხვადობის შესწავლის მეთოდები ნიადაგის საფარის მდგომარეობის ცვლილებების, მისი მორფოლოგიის და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების ფიქსაციის გზით. ნიადაგის ჩარეცხვადობა განისაზღვრება ნატანის მოცულობის დადგენით, რომელიც ჩამორეცხება ფართობის ერთეულიდან დროის ერთეულში.

ნიადაგის ჩამორეცხვის დასადგენად გამოიყენება ეროზიული პროცესების შეფასების შემდეგი მეთოდები:



- ბალიანი შეფასების მეთოდი;
- რეპერების მეთოდი;
- მოცულობითი მეთოდი, როდესაც განისზღვრება ნაღვარელების მოცულობით. ამ მეთოდის გამოყენების დროს დასაშვებია, რომ ჩამორეცხვა ხდება მხოლოდ რუბში და ნაკადულებში;
- ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო მდგრადობის შეფასება (ხ. მიდლტონის, ა.ს, ვოზნესენსკის და სხვ. მეთოდი);
- ეროზიის შეფასების მეთოდი მოსავლიანობის შედეგების მიხედვით, ნიადაგის ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლების მიხედვით და ა.შ.;
- ჩამონადენის მოედანზე დაკვირვების მასალების სტატისტიკური დამუშავების მეთოდი (ემპირიული დამოკიდებულების მიღება, მაგალითად ვიშმაიერის ფორმულის);
- მეთოდები, რომლის გამოყენების დროს გამოიყენება ეროზიული პროცესის ჰიდრომექანიკური აღწერა, რომლის საფუძველად დევს ეროზიული პროცესის ფიზიკის და მექანიკის ანალიზი.

მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია მონაცემების შედარებაზე და ფართოდ გავრცელებულია აშშ-ში, გვადლევს საშუალებას რაოდენობითი შეფასების ფერდობული ეროზიის ცალკეული ეტაპების ექსპერიმენტული მონაცემების კვლევის პირობებში და სტანდარტულ პირობებში შედარების გზით [61].

ეროზიული პროცესების ბალიანი შეფასების დროს თითოეული ფაქტორი, რომელიც განსაღვრავს ეროზიას, შეფასდება ბალებით.

სრულად ემპირიული მეთოდი დაფუძნებულია ექსპერიმენტული გამოკვლევების მონაცემების მონაცემების დამუშავებაზე.

პირველი შრომები, რომლებიც მიძღვნილი იყო ნიადაგის ეროზიის პროგნოზს, ემპირიული ხასიათის იყო. პროგნოსტიკური გაანგარიშებების დროს ითვალისწინებდნენ მხოლოდ ერთ ფაქტორს. შემდეგ კვლევები ფართოვდებოდა, საანგარიშო დამოკიდებულებებში დაიწყეს სხვა ფაქტორების ჩართვას.

ხანგრძლივი პერიოდი ეროზიის შესწავლის ძირითადი მეთოდი იყო მისი გამოკვლევა ბუნებრივი და ხელოვნური ნალექების ზემოქმედების ქვეშ საკვლევი ფართობების სხვადასხვა ქანობების დროს. კვლევების ამ სახეობას მიძღვნილი არის [57,60,61,53,59]. ხ.ხ. ბენეტის, გ.ვ. მ.ნ. მ. კირკობის, რ. მორგანის, ა.ნ. კოსტიაკოვის, რ. ხორტონის, და სხვ. შრომები.

ეროზიული პროცესების სხვადასხვა ეტაპების ემპირიულ შეფასებას მიძღვნილია ა.ნ. კოსტიაკოვის, ხ. ბენეტის, ც. მირცხულავას და სხვ. შრომები [53,57,56].

რ.ბ. ხორტონმა განახორციელა საფუძვლიანი კვლევები ეროზიის შესწავლაზე და ფაქტორებზე, რომლებიც მას განაპირობებენ. ეროზიული პროცესების შესწავლისათვის მან დაუშვა იგვევობა ნაკადის წატაცებული ძალის და ჰიდრაულიკური ხახუნის ძალის. მან პირველმა შემოთავაზა ცნება ეროზიის არყოფნის ზოლის და აქტიური ეროზიის ზოლის [59].

გ.ი. შვებსმა მნიშვნელოვანი წვლილი შემოიტანა ეროზიის კვლევის მეთოდების განვითარებაში. მან შემოთავაზა თავსხმა წვიმებით ნიადაგის ჩამორეცხვის გაანგარიშების დამოკიდებულება [62]:

$$q = adv \left( \frac{\bar{v} - v_0''}{v_0} \right) \text{ კგ/წ,} \quad (1.3.1)$$

სადაც  $a$  - პროპორციულობის კოეფიციენტი;

$d$  - ჩამორეცხილი ნაწილაკების დიამეტრი, მმ;

$v$  - ნაკადის სიჩქარე, მ/წ;

$\bar{v}$  - ენერგეტიკური პარამეტრი, რომელიც დამოკიდებულია წვეტების ენერგიისაგან და წვიმის ჩამოდინების სიჩქარისაგან;

$v_0''$  - ენერგეტიკური პარამეტრის საწყისი მნიშვნელობა, რომლის დროს იწყება ჩამორეცხვა გარკვეული სიდიდის ნაწილაკების.

პროფესორ ი. ყრუაშვილის მიერ დაამუშავებული იქნა ზედაპირული მორწყვის დროს ფორმირებული ნიადაგ-გრუნტების წყლისმიერი ეროზიის საპროგნოზო მეთოდოლოგია [63].

ემპირიული მეთოდის გამოყენების ნათელ მაგალითს წარმოადგენს ვიშმაიერის უნივერსალური განტოლება, და ასევე ვიშმაიერის-სმიტის

განტოლება. ეს განტოლება მიღებულია ფართომასშტაბიანი კვლევების საფუძველზე, რომლებიც იყო ჩატარებული აშშ-ში[58]:

$$A = 0,224 RKLSCP, \quad (1.3.2)$$

A - ნიადაგის დანაკარგი, კგ/(მ<sup>2</sup>, წელიწადი);

R - წვიმის ეროდირებული უნარის ფაქტორი;

K - ეროზიისადმი ნიადაგის მიდრეკილების ფაქტორი;

L - ფერდობის სიგრძის ფაქტორი;

S - ქანობის ფაქტორი;

C - მემცენარეობის სისტემის წარმოების

P - ეროზიის წინააღმდეგ ბრძოლის ფაქტორი.

ც. მირცხულავამ დაამუშავა მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ერთობლივ გათვალისწინებაზე ნიადაგის წინააღმდეგ ეროზიაზე, ზემოქმედების ნაკადის ძალის, და ასევე ჩატარების პროცესის პირობების. ც. მირცხულავას მიერ გაანგარიშებული დასაშვები არაგამრეცხი სიჩქარის დამოკიდებულება აქამდე შედის ნორმატიულ დოკუმენტებში [64]:

$$V_s = \log \frac{8,8h}{d} \sqrt{\frac{2gm}{0,88\rho_0n} [(\rho_1 - \rho_2)d + 2C_gK]} \quad (1.3.3)$$

სადაც d არის ნაწილაკის დიამეტრი;

m - მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;

n - გადატვირთვის კოეფიციენტი;

C<sub>g</sub> - გრუნტის საანგარიშო უმცირესი წინააღმდეგობა გარეცხვაზე;

ρ<sub>1</sub>, ρ<sub>2</sub> - შესაბამისად, გრუნტისა და წყლის სიმკვრივეებია;

K - შეჭიდულობის ხვედრითი ძალის არაერთგვაროვნების კოეფიციენტი;

h - ნაკადის სიღრმე.

### მეწყურული მოვლენების კვლევის თანამედროვე მეთოდები

სხვადასხვა ტიპის ნაგებობათა დაპროექტებისა და მშენებლობისათვის წარმოებულ საინჟინრო-გეოლოგიურ კვლევებში ხშირად გვიხდება ფერდობებისა და ხელოვნური ფერდობების მდგრადობის ხარისხის დადგენა, რაზედაც უშუალოდ არის დამოკიდებული საინჟინრო ნაგებობების

ნორმალური ექსპლუატაცია. ეს პრობლემა განსაკუთრებით აქტუალურია საქართველოს პირობებისათვის, რომლის მთავორიანი რელიეფისა და გეოლოგიური აგებულების მრავალფეროვნების გათვალისწინება აუცილებელია საინჟინრო სამუშაოების ნორმალური ფუნქციონირებისათვის.

მეწყრული ფერდობებისა და ხელოვნური ფერდობების მდგრადობის შესაფასებლად გამოიყენება შემდეგი მეთოდები:

1. ქანების მდგრადობის პირობები ცოცვის ბრტყელი ზედაპირის შემთხვევისათვის;
2. ქანების მდგრადობის პირობები ტეხილი (ბრტყელ-საფეხურიანი) ზედაპირის შემთხვევისათვის;
3. მასივის მდგრადობის პირობები ცოცვის წრიულცილინდრული ზედაპირის შემთხვევისათვის;
4. წრიულცილინდრულზედაპირიანი მეწყრული სხეულის მდგრადობის კოეფიციენტის ანგარიში;
5. მეწყრის ცოცვის ყველაზე სარწმუნო ზედაპირის ცენტრის დადგენის გრაფიკულიტიკური მეთოდი;
6. ერთგვაროვან ქანებში ცოცვის სავარაუდო ზედაპირის აგების გ. ფისენკოს მეთოდი;
7. ფერდობის მდგრადობის შეფასების ფართობული მეთოდი;
8. ფერდობის მდგრადობის შეფასების ხახუნის წრიული ზედაპირის მეთოდი (φ წრის);
9. ფერდობის მდგრადობის შეფასების მასლოვ-ბერერის ჰორიზონტალური ძალების მეთოდი;
10. ზღვრული წონასწორობის ფერდობის პროფილის აგების პროფესორ ნ. მასლოვის F3-ის მეთოდი;
11. მდგრადი ფერდობის პროფილის აგების გ. სოკოლოვსკის მეთოდი;
12. ფერდობის მდგრადობის შეფასება მასში ჰიდროსტატიკური წნევის გათვალისწინებით;

13. ფერდობის მდგრადობის შეფასება სეისმურობის გათვალისწინებით.

მეწყრული ფერდობებისა მდგრადობის შესაძლო დარღვევების შესწავლა უნდა ხდებოდეს საკვლევო ტერიტორიის საერთო ბუნებრივ-ისტორიულ პირობებთან მჭიდრო კავშირში, ვინაიდან თანამედროვე პრაქტიკაში ჯერ არ არის ისეთი სრულყოფილი გამოთვლის მეთოდი, რომელიც ამომწურავ პასუხს გასცემდა რთულ საინჟინრო-გეოლოგიურ კითხვებს. გამოთვლა მხოლოდ გვეხმარება კონკრეტული საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების დადგენაში [65].

#### **ღვარცოფული მოვლენების კვლევის თანამედროვე მეთოდები**

ღვარცოფული მოვლენების კვლევას საფუძველი ჩაეყარა მე-19 საუკუნის მეორე ნახევარში, რადგან ეს მოვლენა, თავისი დამან-გრეველი ძალის გამო, აუცილებელს ხდიდა მოსახლეობისა და სხვადასხვა ობიექტების დაცვას.

ღვარცოფული მოვლენების კვლევისა და მასთან ბრძოლის ღონისძიებების დასახვის საქმეში პრიორიტეტი ეკუთვნის ავსტრიელ, ფრანგ და შვეიცარიელ მეცნიერებს, შემდეგ კი გამოჩნდა რუსი მკვლევარების ნაშრომებიც. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს მ.პ. პსარევი, ვ.ი. ლისნევსკი, ნ.ნ. პილცოვი, კ.ი. ბოგდანოვიჩი, ა.ლ. ბრილინსკი, ი.ვ. მუშკეტოვი, ი.ი. როშჩინი და სხვები, რომლებიც იფარგლებოდნენ მხოლოდ ღვარცოფული მოვლენების ბუნების აღწერითა და მასთან ბრძოლის ფიტომელიორაციული მეთოდების დანერგვით, რაც დღესაც აქტუალურია [66,67].

ყოფილ საბჭოთა კავშირის სივრცეში, ღვარცოფების ჰიდრავლიკურ და ჰიდროლოგიურ კვლევებს მიეძღვნა შემდეგ მეცნიერთა მ.ა. ველიკანოვის, პ.ს. ნეპოროჟნის, ი.ვ. ეგიაზაროვის, მ.ს. გაგოშიძის, მ.ა. მოსტკოვის, ს.მ. ფლეიშმანის, ი.ი. ხერხეულიძის, გ.ნ. ხმალადის და სხვების შრომები, რომლებმაც საფუძველი ჩაუყარეს ღვარცოფების კვლევის ფუნდამენტურ მიმართულებებს [68-75].

შემდგომი თაობის მეცნიერები დაკავებული იყვნენ ღვარცოფების კლასიკური ჰიდრავლიკური მეთოდების და მასთან შერწყმული ჰიდრომექანიკის, გრუნტების მექანიკის, რეოლოგიის, ჰიდროტექნიკის საკითხების კვლევით, რომელიც გულისხმობს ღვარცოფის თანაბარი, არათანაბარი, დაუმყარებელი მოძრაობისა და ღვარცოფის ნაგებობაზე ზემოქმედების საკითხების დამუშავებას.

აღნიშნულ პერიოდში წარმოდგენილი ნაშრომები, რომლებიც ეხებოდა ღვარცოფის დინამიკის საკითხებს, ეკუთვნოდა შემდეგ მეცნიერებს: ი.ვ. ბოგოლუბოვას, ს.ს. გრიგორიანს, გ.მ. ბერუჩაშვილს, ი.ი. მეჩიტოვს, ც.ე. მირცხულავას, ი.ბ. ვინოგრადოვს, ვ.გ. სანოიანს, მ.ვ. ცოვიანს, თ.გ. ვოინიჩ-სიანოჟენსკის, ნ.ბ. კერესელიძეს, ო.გ. ნათიშვილს, ტ.ხ. ახმედოვს, უ.რ. მირზა-ზადეს, ლ.ა. სულაქველიძეს, ზ.ს. იორდანიშვილს, ვ.ი. თევზაძეს, გ. ი. ხერხეულიძეს და სხვებს. განსაკუთრებით აღსანიშნავია აკად. ც. მირცხულავას შრომები, რომელიც გულისხმობს ღვარცოფული მოვლენების შესწავლაში საიმედოობის თეორიის საფუძვლების გამოყენებას. აგრეთვე, აკად. ო. ნათიშვილის მიერ შემოთავაზებული ჰიდრავლიკური განტოლებები, რომლებიც მთელი რიგი პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის შესაძლებლობას იძლევიან. შემდგომ ეს ტრადიციები გაგრძელებული იქნა: გ.ვ. გავარდაშვილის, დ.კ. ფრუიძის, ლ.დ. სოხაძის, ვ.ა. მოჩალოვის, ბ.ს. სტეპანოვის, მ.ა. მაქარაშვილის, ი.გ. ყრუაშვილის, რ.ვ. დიაკონიძის, ნ.გ. კვაშილავას, ე.გ. კუხალაშვილი, მ.ს. კუპრავეიშვილის და სხვების მიერ. ამ პერიოდს ეკუთვნის საზღვარგარეთელი სპეციალისტების ანალოგიური ხასიათის შრომები. მათ შორის აღსანიშნავია: რ.რ. კარრი, ტ.ს. პირსონი, კ. იანო, ა. დაიდო, ტ. ტაკახაში და სხვების პუბლიკაციები [76,77,32-34, 50, 78, 79].

აკად. ც. მირცხულავას მიერ პირველად დადგენილ იქნა კავშირი ბმული ღვარცოფის მოძრაობასა და კატასტროფის მათემატიკურ თეორიას შორის [80-82].

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ღვარცოფის მოძრაობის საშუალო სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებების დადგენას მიეძღვნა მრავალი მეცნიერის შრომები. ს.მ. ფლეიშმანის მიერ შემოთავაზებული ფორმულა დაფუძნებული იყო ბმული ღვარცოფული ნარევის ტალახოვანი შემავსებლის სიბლანტის ექსპერიმენტულ გაზომვაზე, მაგრამ ექსპერიმენტში გამოყენებული დაბალი კონცენტრაციების ნიმუშები, რეალურ ნაკადთან შედარებით, სიბლანტის დაბალ მნიშვნელობებს იძლეოდნენ, რაც ზღუდავდა ფორმულის გამოყენების საზღვრებს.

ი.ი. ხერხელიძის მიერ შემოთავაზებულ ფორმულაში არ იყო ინფორმაცია წვრილდისპერსული და მყარი ჩანართების რაოდენობაზე. ღვარცოფის მოძრაობის სიჩქარის დამოკიდებულება მხოლოდ სიღრმესა და ქანობზე არ წარმოადგენს სრულყოფილს, მყარი ფაზის კონცენტრაციის მკაცრი საზღვრების დანიშვნის შემთხვევაშიც კი.

ბმული ღვარცოფის, გამოყოფილ ნაკვეთურზე მომქმედი ძალის დინამიკური წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე, ზ.ს. იორდანიშვილმა მიიღო ფორმულა, ნარევის შემადგენელი ძირითადი კომპონენტების რაოდენობრივი შემადგენლობის გათვალისწინებით. ამ ნახევრადემპირიული დამოკიდებულებებით განსაზღვრული სიჩქარეების მნიშვნელობები ახლოს არიან ბუნებრივ მონაცემებთან კალაპოტის სწორხაზოვანი დ პრიზმული უბნებისათვის. აღნიშნული ფორმულის ნაკლი მდგომარეობს იმაში, რომ იგი არ ითვალისწინებს ღვარცოფულ ნარევაში მსხვილი ჩანართების დიამეტრის ზეგავლენას, თუმცა ამ უკანასკნელმა ასახვა ჰპოვა ექსპერიმენტით განსაზღვრული ძვრისადმი საწყისი წინააღმდეგობის დადგენისას.

გ.მ. ბერუჩაშვილის მიერ მიღებული ბმული ღვარცოფის მაქსიმალური ხარჯის საანგარიშო ფორმულა კვეთში ნაკადის საშუალო სიჩქარის დადგენის საშუალებას იძლევა. იგი მორფომეტ-რი-ული მაჩვენებლების გარდა შეიცავს სხვა პარამეტრებსაც, რომლებიც სპეციალურ საველე და

ლაბორატორიული კვლევების ჩატარებას მოითხოვს სიჩქარეთა კონკრეტული მნიშვნელობების მისაღებად.

ბმული ღვარცოფის მოდელის რეოლოგიური განტოლების ინტეგრირების შედეგად ი.ბ. ვინოგრადოვმა მიიღო დამოკიდებულება, რომელიც შეიცავდა ღვარცოფული ნარევის სიბლანტის და შინაგანი ხახუნის მახასიათებლების კომპლექსს. ფორმულაში მხედველობაში მიღებულ იქნა ძვრისადმი ნარევის საწყისი წინააღმდეგობა და სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტი.

ღვარცოფების მოძრაობის საშუალო სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებების ანალიზმა გვიჩვენა, თუ რამდენად განსხვავდება ერთმანეთისაგან ავტორთა შეხედულებები ერთი და იგივე მოვლენის მიმართ, რაც განპირობებულია როგორც ბმული ღვარცოფების მოძრაობის მექანიზმის სირთულით, რასაც ემატება შემთხვევითი ხასიათის ბუნებრივი ფაქტორების ზემოქმედება და ბუნებრივი თუ ლაბორატორიული კვლევების შედეგად მიღებული მონაცემების არასაკმარისობა.

მთის წყალსადინარებში ღვარცოფების ჩამოყალიბების და განვითარების ფაქტორები განხილულია შემდეგ მეცნიერთა ვ.ი. თურმანიას, ა.ი. შეკოს, ნ.ა. რჟანიცის, ე.დ. წერეთელის, დ.დ. წერეთელის, ლ.დ. ბელის, თ.ზ. კიკილაშვილის და სხვათა შრომებში [38,39,40,83].

ბმული ღვარცოფული ნარევის ფიზიკურ-მექანიკური, რეოლოგიური და ჰიდრაულიკური პარამეტრების დასადგენი ექსპერიმენტები ვისკოზიმეტრზე და სპეციალურ ღვარცოფულ დანადგარზე პირველად განხორციელებულ იქნა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის “ჰიდროეკოლოგიის” ინსტიტუტის თანამშრომლების მიერ. ექსპერიმენტების საფუძველზე მიღებულ იქნა რეკომენდაციები ბმული ღვარცოფების საანგარიშოდ, როგორც მათი დინამიკური მახასიათებლების დასადგენად, ასევე ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე მათი ზემოქმედების მხრივ. ბმული ღვარცოფების რეოლოგიური მახასიათებლების ლაბორატორიული გზით დადგენის თვალსაზრისით



აღსანიშნავია ბ.ს სტეპანოვის, ა.მ. ჯონსონის, ი.ტ. ცუკერმანის, პ.ა. რებინდერის, ე.კ. რაბკოვას, ვ.დ. ლომთაძის, ბ.ს. მამედ-ზადეს, ვ.ნ. ვარდუგინის, რ.ზ. ვაფინის, ს.რ. მესჩანის, ა.ხ. კიმის ლაბორატორიული ექსპერიმენტები [84-86].

ბმული ღვარცოფების ნაგებობაზე ზემოქმედების თეორიული და ექსპერიმენტული ხასიათის სისტემატიური კვლევები განხორციელებულ იქნა სამოციან წლებში “ჰიდროეკოლოგიის”, “ჰიდრომეტეოროლოგიის” და ყაზახეთის მეცნიერებათა აკადემიის ენერგეტიკის ინსტიტუტების ლაბორატორიებში. ანალოგიური სახის ექსპერიმენტები საზღვარგარეთის ქვეყნებიდან ჩატარებულ იქნა მხოლოდ იაპონიაში როგორც ლაბორატორიულ პირობებში, ასევე ბუნებაში [87-92].

#### **1.4. ნიადაგის ეროზიის, მეწყრული და ღვარცოფული მოვლენების საწინააღმდეგო თანამედროვე ღონისძიებები.**

##### **ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო თანამედროვე ღონისძიებები**

ნიადაგის ეროზიის წინააღმდეგ არსებული ღონისძიებები შეიძლება სამ ჯგუფად დავყოთ: აგროტექნიკური, ფიტომელიორაციული და ჰიდროტექნიკური. ესენია: 1) შიშველი ადგილების მცენარეულობით დაფარვა, 2) ღრმა ხვნა, 3) ხვნა განივი მიმართულებით, 4) ორგანული სასუქების შეტანა.

ფიტომელიორაციულ ღონისძიებებს ეკუთვნის: დაცვითი ზოლების გაშენება და მაღლობების გამწვანება. რაც შეეხება ჰიდროტექნიკურ ღონისძიებებს, მათ რიცხვს ეკუთვნის რადიკალური ღონისძიება – დატერასება.

**დატერასება** - დატერასების მიზანია შემცირდეს და მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი ნიადაგის ზედაპირის გადარეცხვა. ამის გარდა, დატერასება აუმჯობესებს ნიადაგის წყლისა და ჰაერის რეჟიმს, არეგულირებს ნიადაგის აერაციას, ხელს უწყობს ფერდობებზე მექანიზაციის გამოყენებას. ტერასები –

სხვადასხვა მიზეზით წარმოქმნილი ბუნებრივი საფეხურებია მთის კალთებზე, ხეობის ფერდობებზე, ტბისა და ზღვის ნაპირებზე. განარჩევენ შემდეგი წარმოშობის ტერასებს: მდინარეულ, ტბიურ, ზღვიურს და შერეულ ტერასებს.

**საფეხურისებრი დატერასება** - საფეხურებიანი დატერასების დროს, როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, მთის ფერდობის ქანობი იცვლება. დატერასების ასეთი წესი გამოიყენება 10°-ზე მეტი ქანობის მქონე ფერდობზე. დატერასება ისე უნდა ჩატარდეს, რომ ფართობი მაქსიმალურად იქნეს დაცული გადარეცხვისაგან.

**ეროზირებულ ფერდობზე ბუშლაგების მოწყობა** - დაზიანებული, გაშიშვლებული ფერდობის გამაგრების მიზნით პრაქტიკაში ერთ-ერთ ეფექტურ მეთოდს – ტირიფის ტოტების (კალმების) გამოყენებით მცირე ტერასების ე.წ. ბუშლაგების შექმნა წარმოადგენს.

ამ ღონისძიების მთავარი მიზანია ეროზიის განვითარების შეჩერება და ამით სამყოფელის შესაბამისი მცენარეული თანასაზოგადოების თვითაღდგენის პროცესის სტიმულირება. ღონისძიების ჩასატარებლად მცენარის მოსვენების პერიოდში (გაზაფხულზე – ფოთლების გამოტანამდე, ან შემოდგომით – ფოთოლცვენის შემდეგ) იჭრება 60-70 სმ სიგრძის ღეროს კალმები (ტოტები) [93].

მრავალფეროვანი ამოცანები, რომლებიც დაკავშირებულია ეროზიულ პროცესებთან და მათთან ბრძოლასთან აუცილებელია გავითვალისწინოთ, რომ თანამედროვე ინოვაციური ღონისძიებების შემუშავება მეტად პრიორიტეტული საკითხია.

ნიადაგის ეროზიულ პროცესებთან ბრძოლის მიმართულებით ბოლო დროს მსოფლიოში ინტენსიურად გამოიყენება სხვადასხვა მასალისაგან დამზადებული გეოხალიჩები, რომლებიც საჭიროა განსხვავებულ კლიმატურ პირობებში სხვადასხვა ქანობის მქონე მოწყვლად ფერდობებზე ბიომრავალფეროვნების აღსადგენად [94].

ცნობილია შემდეგი ფართოდ გავრცელებული ტექნოლოგიები: „ენკამატი“, „სეკუმატი“, „ბონტერა“ და მრავალი სხვა.

აღსანიშნავია, რომ ზემოხსენებული გეოხალიჩები ძვირადღირებულია და მათი გამოყენება შეზღუდულია დიდი ქანობის ფერდობებზე ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგოდ. ამიტომ ძალიან მნიშვნელოვანია საიმედო, ეფექტური და ეკონომიური გეოხალიჩის შემუშავება, რომლის დამზადება უნდა იყოს მარტივი და წარმოადგენდეს მოწყვლადი ფერდობების სტაბილიზაციის და ბიომრავალფეროვნების აღდგენის ეფექტურ და რეალურ ღონისძიებას.

### **მეწყურული მოვლენების საწინააღმდეგო თანამედროვე ღონისძიებები**

თანამედროვე მეწყურსაწინააღმდეგო ღონისძიებები შესაძლებელია ორ ძირითად ჯგუფად დაიყოს: I ჯგუფში ერთიანდებიან ის ღონისძიებები და საშუალებები, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან მძიმე საინჟინრო კონსტრუქციების მშენებლობასთან - რკინა-ბეტონის საყრდენი კედლები, მიწაყრილები, გაბიონები, ხიმინჯები, რთული სადრენაჟო სისტემები და სხვ., და II ჯგუფის ღონისძიებები, რომლებიც ძირითადად სატყეო-მელიორაციული საშუალებებით შეიფარგლება. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ პირველი მათგანი მიმართულია მეწყურული სხეულის დამძრავი ძალების საპირისპიროდ და მათ შემაკავებელ ღონისძიებას წარმოადგენს, ხოლო მეორე, ამ უკანასკნელ ძალთა წარმოქმნელი ფაქტორების გასანეიტრალებლად მიმართული და ფერდობის აღდგენით ხასიათს ატარებს. მხედველობაში მისაღებია ის, რომ მძიმე საინჟინრო ღონისძიებები ძალზე ძვირად ღირებული საშუალებებია. მათი მშენებლობა კი დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული და ეკოლოგიურადაც არაა გამართლებული.

### **ღვარცოფული მოვლენების საწინააღმდეგო თანამედროვე ღონისძიებები**

მსოფლიოში არსებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებები პირობითად შეიძლება დავყოთ 4 ჯგუფად: ა) ევროპული, ბ) აფრიკული, ც) ამერიკული, დ) აზიური.

ა) ევროპული მიმართულება-ეროზიულ-ღვარცოფული მოვლენების საწინააღმდეგო ღონისძიებების შესწავლის კუთხით ძირითადი წარმომადგენელია ფრანგული სკოლა, სადაც ახლო წარსულში უპირატესობას ანიჭებდნენ სატყეო მელიორაციას, შემდეგ კი ძირითადი და მეორე ან მესამე რიგის წყალსადინარებში ახორციელებდნენ სხვადასხვა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობას (ბარაჟების, დამბების, კალაპოტის გაწმენდა და სხვა). ბოლო დროს ინერგება ახალი ცხაურა ტიპის ბარაჟები. ამ საქმის პიონერები არიან ფრანგები, ავსტრიელები, შვეიცარიელები. სოციალისტურ სივრცეში (ბულგარეთი, რუმინეთი, ჩეხოსლოვაკია, იუგოსლავია) ღვარცოფსაწინააღმდეგოდ იყენებენ ბარაჟებსა და ფიტომელიორაციულ ღონისძიებებს.

ბ) აფრიკული მიმართულება-გულისხმობს ეროზიულ-ღვარცოფული მოვლენების საწინააღმდეგოდ ბალახეული კულტურების მოყვანა-გავრცელებას, ფერდობის დატერასებას, ხეების დარგვას, ტყის ნაკრძალების შექმნას, რათა არ მოხდეს ხეების ჩეხვა და შესაბამისად ეროზიის წარმოქმნა.

გ) ამერიკული მიმართულება-ღვარცოფსაწინააღმდეგოდ გამოიყენება ჰიდროტექნიკური ნაგებობების კომპლექსი, უპირატესად დიდი გაბარიტების. ბოლო დროს კი გამოიყენება ცხაურა ტიპის მსუბუქი კონსტრუქციები, რომელიც შედგება რკინა-ბეტონის მასალისაგან.

დ) აზიური მიმართულება-წარმოადგენს ევროპულისა და აფრიკული მიმართულების სინთეზს, მაგრამ ბოლო წლებში, განსაკუთრებით კი იაპონიაში გამოჩნდა მრავალი ორიგინალური ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციები. ადრე იაპონიაში გამოიყენებოდა სხვადასხვა მასალისაგან და სიმაღლისაგან შემდგარი განივი კვეთის მქონე ნაგებობები. ბოლო დროს კი გამოიყენება სხვადასხვა სახის გამჭოლი ტიპის ნაგებობები [72].

## თავი 2. მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების ინტენსიობისა და ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების ეფექტურობის კვლევა

### 2.1. მდ. გლდანისხევის წყალშემკრები აუზის ლანდშაფტური და გეოეკოლოგიური მდგომარეობის დახასიათება

მდ. გლდანისხევის წყალშემკრები აუზი მდებარეობს აღმოსავლეთ საქართველოში, ქ. თბილისის ჩრდილოეთ ნაწილში. მდ. გლდანისხევის სათავე მდებარეობს საგურამოს ქედის სამხრეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან 1162 მ სიმაღლეზე. მდინარე მიემართება ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან სამხრეთ-დასავლეთისაკენ. მდინარე მტკვარს ერთვის ავჭალასთან. ზემოთში მდინარე ცნობილია როგორც „ლელებნიხევი“ (ამ მონაკვეთში იგი ვიწროა და ტყითა შემოსილი), ქვემო მონაკვეთში კი „გლდანულა“ ეწოდება. მდ. გლდანისხევის საერთო სიგრძეა 17 კილომეტრი, აუზის ფართობი 63 კმ<sup>2</sup>. მდინარე საზრდოობს თოვლის, წვიმისა და მიწისქვეშა წყლებით. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე, წყალმოვარდნა - ზაფხულში და შემოდგომაზე. ახასიათებს წყლის მცირე ხარჯი, რაც აიხსნება მისი წყლის გამოყენებითა და ცოტა შენაკადებით. მდ. გლდანისხევის ხეობა შუა და ქვემო დინებაში ვრცელია, აქვს დაბალნაპირებიანი კალაპოტი. მდ. გლდანისხევის ერთვის 9 მცირე შენაკადი. წყლის საშუალო წლიური ხარჯია 0,21 მ<sup>3</sup>/წმ. მდინარის მარჯვენა მხარეზე გაშემებულია თბილისის უბანი ავჭალა, მარცხენა მხარეზე კი უბანი გლდანულა [95].

ეკოლოგიური თვალსაზრისით, მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში, არსებული ლანდშაფტურ-კლიმატური, სტრუქტურულ-ტექტონიკური პირობები და რელიეფის დიდი კონტრასტულობა ხელს უწყობს ბუნებრივი კატასტროფების მაღალ რისკს.

მდ. გლდანისხევის ტერიტორია მოიცავს გლდანის დასახლების ზედა ნაწილს, სოფ. გლდანს, გლდანულას დასახლებას და მიმდებარე აგარაკებს.

გლდანის მე-8 საპრობილისა და მის ახლომდებარე ტერიტორიას. დიდი ტბების (გლდანის ტბა, თეთრი ტბა), პატარა ტბის, შემოგარენს, მდ. გლდანისხევის ხეობის მოკლე მონაკვეთს, გლდანულას ხიდთან და მისი მარჯვენა შენაკადის, ღვარცოფული ხევის ქვემო წელს, ნასერალის ქედს, გლდანის ძველი ნაგავსაყრელის ტერიტორიას, მდ. ხევძმარის ხეობასა და ახალი რკინიგზის ხაზის მონაკვეთს, ასევე, გლდანი-ნორიოს მონაკვეთის შემოვლითი გზის გარკვეულ ნაწილს [96].

გეოლოგიურად მდ. გლდანისხევი მრავალფეროვნებით არ გამოირჩევა. მისი მცირე ნაწილი აგებულია მეოთხეული ნაფენებით, ალუვიონით, ღორღით, რიყნარით, რომლებიც მდ. გლდანისხევის ხეობაში საკმაოდ ვიწრო ზოლად ვრცელდება. ტერიტორიის უდიდესი ნაწილი აგებულია ზედა პალეოგენური და ქვედა ნეოგენური თიხებით, თიხოვანი ფიქლებით, იშვიათად ქვიშაქვებით, ზოგან კონგლომერატებით. უკიდურეს სამხრეთ-აღმოსავლურ ნაწილში, გეოლოგიური სუბსტრატი წარმოდგენილია შუა ნეოგენური მასიური და წყალგაუმტარი თიხებით, თიხოვანი ფიქლებით, რომლებიც რიგ შემთხვევებში მაღალი სიმყიფითა და ადვილად შლადობით გამოირჩევა. აღნიშნული მდგომარეობა განაპირობებს გეომორფოლოგიური და გეოდინამიური პროცესების ინტენსივობას, კერძოდ მეწყერსაშიში ქანების წყლით გაჯერება იწვევს ნიადაგისა და დედაქანის მოწყვეტას და დამკრას, რასაც შესაძლებელია მოჰყვეს კატასტროფული შედეგები [96].

აღსანიშნავია, რომ მდ. გლდანისხევი აქტიური წყალმოვარდნებით ხასიათდება, თუმცა წყალმოვარდნებისა და ღვარცოფების თვალსაზრისით უფრო დიდი საფრთხის შემცველია არა მდ. გლდანისხევი, არამედ მისი მარჯვენა შენაკადი, რომელიც მას გლდანულას ხიდთან უერთდება. მოკლე ნაკადის ფორმირება და დიდი შეფარდებითი ვარდნა ხელს უწყობს სტრუქტურული და ქვა-ტალახიანი ნაკადების უშუალოდ საყოფაცხოვრებო ობიექტებთან მოვარდნას, რაც აზიანებს გზებს, ხიდებს, დამცავ ნაგებობებს და სხვა საკომუნიკაციო ერთეულებს. გარდა ამისა, პერიოდულად ხდება ნატანი მასალით კალაპოტის ამოვსება, რომლის გაუწმენდაობის

შემთხვევაში დაგროვილი მასა ავსებს ხევს და მორიგი მოვარდნისას მნიშვნელოვნად იზრდება მიმდებარე საცხოვრებელი უბნის დაზიანების საფრთხე. აღნიშნულმა პროცესებმა არაერთგზის გამოიწვია საინჟინრო კაპიტალური ნაგებობების დაზიანება და ნგრევა, რასაც სავალალო შედეგები მოჰყვა.

ისევე როგორც მთელ საქართველოში, გეოდინამიკური პროცესები ძალზე აქტიურია თბილისსა და მის შემოგარენშიც, სადაც მოწყვლად გარემოში ვითარდება გრავიტაციული მეწყერები, ღვარცოფები, ნიადაგის ეროზია და დენუდაციური პროცესები. დედაქალაქში და მის შემოგარენში მეწყრის დაახლოებით 60 ზონაა აღრიცხული, 20 კილომეტრის სიგრძის (საერთო სიგრძე), ინტენსიური გრავიტაციული პროცესების შედეგად დაზიანებული 50 ფერდობებით. გარემოს ეროვნული სააგენტოს გეოლოგიური საშიშროებების შემსწავლელი ჯგუფის მიერ დადგინდა, რომ არსებული აქტიური მეწყერების უმეტესობა ქალაქის ინფრასტრუქტურისა თუ საცხოვრებელი სახლების შეუსაბამო დაგეგმარების და მშენებლობის შედეგია. ამჟამად, ერთ-ერთი ყველაზე აქტიური მეწყრული ზონა: მდ. გლდანისხევის წყალშემკრები აუზია.

მდინარე გლდანისხევის აუზში გავრცელებული ბუნებრივი კატასტროფებიდან ერთ-ერთი ძირითადი ყურადღების ობიექტია ღვარცოფული მოვლენები, რომელსაც ადგილი აქვს თითქმის ყველა მთისა და მთისწინა რეგიონში. ეს პრობლემა განსაკუთრებულ აქტუალობას იძენს გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდში, როდესაც ხშირი წვიმები და თოვლის ინტენსიური დნობა ქმნიან ღვარცოფების ფორმირებისათვის ხელსაყრელ პირობებს.

მხოლოდ ამ ერთ აუზში 91 მეწყრული სხეული და 5 ღვარცოფული ხეხია დაფიქსირებული. მართალია, ამ მდინარის სათავე მცხეთის რაიონშია, მაგრამ უშუალოდ თბილისზე ზემოქმედებს. გამოყოფილია ის 12 უბანი, სადაც დამცავი ღონისძიებები დაუყოვნებლივ უნდა ჩატარდეს. მეწყრის რისკით ყველაზე დიდი საფრთხის ქვეშ არის მამკოდას სააგარაკე

დასახლება, სადაც დღეს მუდმივად ცხოვრობს მოსახლეობა. არ შეიძლება მდინარის ჭალა-კალაპოტის საცხოვრებლად ათვისება, ვინაიდან ჭალა 10-12 წელიწადში ერთხელ აუცილებლად დაიტბორება და რა სავალალო შედეგებიც მივიღეთ ვერეს ხეობაში, იგივე შეიძლება მოხდეს [97].

## **2.2. მდ. გლდანისხევის ხეობაში მოწყვლად ფერდობზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების საველე კვლევა**

მდ. გლდანისხევის ხეობაში ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიის ინტენსიობის შესწავლის მიზნით განხორციელდა საველე სარეკოგნოსცირებო კვლევები, რომლის დროსაც დაფიქსირდა მამკოდას დასახლების მიმდებარედ ძლიერ ეროზირებული ფერდობი (იხ. ფოტო 2.2.1). აღნიშნული ფერდობი შერჩეული იქნა საკვლევ ობიექტად, სადაც მ. კუზნეცოვის მეთოდოლოგიის მიხედვით დადგენილი იქნა საველე ინტეგრირებული პოლიგონის პარამეტრები, კერძოდ, სიგრძე 5,2 მ, I, II საცდელი და საკონტროლო უბნების სიგანე 0,9 მ. საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე კვლევები განხორციელდა აპრობირებული მეთოდოლოგიის მიხედვით [98,99].



**ფოტო 2.2.1 ეროზირებული ფერდობი (საკვლევ ობიექტი)**



შერჩეულ ეროზირებულ ფერდობზე მოწყობილი იქნა საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საცდელი და საკონტროლო უბნები (ფოტო 2.2.2).

საველე პოლიგონის საცდელ უბნებზე დაფენილი იქნა ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო გეოხალიჩები, კერძოდ, I საცდელ უბანზე გეოხალიჩა Jute Mat, ხოლო II საცდელ უბანზე გეოხალიჩა ლუფაერომატი. საველე პოლიგონის საცდელ უბნებზე გეოხალიჩების დაფენამდე მოთავსებული იქნა ორგანული სასუქი ორგანიკათი დამუშავებული მცენარე კონდარის თესვები.



ფოტო 2.2.2 საველე ინტეგრირებული პოლიგონი

საველე კვლევები განხორციელდა შემდეგი თანმიმდევრობით: საწყის ეტაპზე საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო (ეროზირებული) უბნიდან აღებული იქნა ნიადაგ-გრუნტის სინჯები მათი ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური მახასიათებლების დადგენის მიზნით (იხ. ფოტო 2.2.3).



**ფოტო 2.2.3 საკვლევი ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო (ეროზირებული) უბნიდან ნიადაგ-გრუნტის სინჯების აღების პროცესი**

ლაბორატორიულ პირობებში განსაზღვრული იქნა ნიადაგ-გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები და გრანულომეტრიული შემადგენლობა, რომელიც მოცემულია ცხრილში 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3.

ლაბორატორიული კვლევის შედეგად დადგინდა შემდეგი: ეროზირებული ფერდობის ამგები ქანები ძირითადად თიხნარ გრუნტებს განეკუთვნებიან. მათში დიდი რაოდენობითაა უხეშნატეხოვანი მასალა, რაც შეჭიდულობის ძალებს საგრძნობლად ამცირებს. ფერდობის ამგები ქანების დეგრადაციის ხელშემწყობ ფაქტორად შეიძლება ჩაითვალოს ასევე აღნიშნული ქანების მაღალი ფორიანობა, ზედა ფენების ძალზე დაბალი ბუნებრივი სიმკვრივე და ასევე წყლოვანი გარემოს მიმართ არამდგრადი ხასიათი. ყოველივე ეს თვისებები საგრძნობლად უწყობს ხელს ფერდობებზე დეგრადაციული პროცესების განვითარებას, განსაკუთრებით კი ეროზიულ პროცესებს.

ცხრილი 2.2.1 ნიადაგ-გრუნტის ფიზიკური თვისებები

მონოლითის №						ფიზიკური თვისებები														
გეოლოგიური ინდექსი																				
მონოლითის ალების ინტერვალი მ						პლასტიკურობა		სიმკვრივე												
1	2	3	4	5	6	ბ.ბ.	ტენიანობა დენადობის ზღვარზე $W_d$	ბ.ბ.	ტენიანობა პლასტიკურობის ზღვარზე $W_s$	%	გ/სმ <sup>3</sup>	ბუნებრივი $\rho$	გ/სმ <sup>3</sup>	გრუნტის ჩონჩხის $\rho_n$	ტენიანობა $W$	ფორიანობა, $n$	ფორიანობის კოეფიციენტი, $e$	ტენიანობის ხარისხი, $S_r$	დენადობის მაჩვენებელი, $I_L$	
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
dQ <sup>IV</sup>						0.6	0.47	0.24	23	2.75	1.9	1.50	0.27	0.46	0.84	0.886	0.13			
0.5	0.6	0.5	0.7	0.5	0.6	0.5	0.45	0.23	22	2.75	1.88	1.49	0.26	0.46	0.84	0.848	0.14			
0.46	0.45	0.44	0.46	0.44	0.46	0.45	0.44	0.24	20	2.74	1.88	1.47	0.28	0.46	0.87	0.886	0.18			
0.28	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.24	22	2.75	1.89	1.49	0.27	0.46	0.85	0.876	0.15			
18	22	20	22	22	22	22	22	22	20	2.76	1.88	1.48	0.27	0.46	0.86	0.862	0.18			
2.75	2.76	2.75	2.74	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.76	1.88	1.48	0.27	0.46	0.86	0.862	0.18			
1.87	1.88	1.89	1.88	1.89	1.88	1.88	1.88	1.88	1.89	1.87	1.88	1.48	0.27	0.46	0.86	0.862	0.18			
1.44	1.48	1.49	1.47	1.49	1.48	1.48	1.48	1.47	1.49	1.44	1.48	1.49	0.27	0.46	0.86	0.862	0.18			
0.3	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.27	0.3	0.27	0.27	0.27	0.46	0.86	0.862	0.18			
0.48	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.48	0.46	0.46	0.46	0.46	0.86	0.862	0.18			
0.91	0.86	0.85	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.85	0.91	0.86	0.86	0.84	0.84	0.86	0.862	0.18			
0.905	0.862	0.876	0.886	0.876	0.862	0.862	0.862	0.886	0.876	0.905	0.862	0.862	0.848	0.848	0.862	0.862	0.18			
0.11	0.18	0.15	0.18	0.15	0.18	0.15	0.15	0.18	0.15	0.11	0.18	0.18	0.14	0.14	0.18	0.18	0.18			

ცხრილი 2.2.2 ნიადაგ-გრუნტის მექანიკური თვისებები

მონოლითის №	გეოლოგიური ინდექსი	მონოლითის ალუბის ინტერვალი მ	მექანიკური თვისებები			
			კუმშვა		სიმტკიცე	
			კუმშვადობის კოეფიციენტი, a	საერთო დეფორმაციის მოდული, E <sub>0</sub>	შინაგანი ხახუნის კუთხე φ <sup>0</sup>	შეჭიდულობა, C
			მპა	მპა	გრად	მპა
1	2	4	19	21	22	23
1	dQ <sub>IV</sub>	0.6	0.02	38.49	18	0.032
2		0.5	0.03	30.70	16	0.030
3		0.7	0.02	25.66	17	0.033
4		0.5	0.01	77.83	16	0.029
5		0.6	0.02	38.90	18	0.034
6		0.5	0.02	39.78	16	0.031

ცხრილი 2.2.3 ნიადაგ-გრუნტის გრანულომეტრიული შემადგენლობა

მონოლითის №	გეოლოგიური ინდექსი	მონოლითის ალუბის ინტერვალი მ	გრანულომეტრიული შემადგენლობა			
			ფრაქციის ზომა მმ			
			თიხა	მტვერი	ქვიშა	უხეშ-ნატეხი-ვანი
			<0,002	0,002-0,05	0,05-1,0	>1,0
1	2	3	4	5	6	7
1	dQ <sub>IV</sub>	0.6	46.6	42.4	9.8	1.2
2		0.5	43.4	40.4	15.5	0.7
3		0.7	40.3	39.6	16.6	3.5
4		0.5	42.7	43.5	11.8	2.0
5		0.6	43.4	42.4	10.8	3.4
6		0.5	41.8	42.4	11.7	4.1

ლაბორატორიულ პირობებში ასევე განისაზღვრა ნიადაგ-გრუნტის სინჯების ქიმიური მახასიათებლები, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილი 2.2.4-ის სახით.

ცხრილი 2.2.4 ნიადაგ-გრუნტის ქიმიური მახასიათებლები

ნიმუშის დასახელება	ნიმუშის აღები თარიღი	ნიმუშის აღების ადგილი	pH	HCO <sub>3</sub> - მგ/100 გ	Cl- მგ/100 გ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> მგ/100 გ	Ca <sup>2+</sup> მგ/100 გ	Mg <sup>2+</sup> მგ/100 გ	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> მგ/100გ	ჰუმუსი %
ნიადაგი	19.03.2017	მამკოდას დასახლების მიმდებარე ფერდობი	7,46	61	195,25	95	100	30	20,7	0,4

ანალიზიდან ჩანს, რომ წყლით გამონაწურში გახსნილი მარილების შემცველობა საკმაოდ მაღალია. ჰუმუსის შემცველობის მიხედვით ნიადაგი მცირედ ჰუმუსიანია, რადგანაც ნიადაგის 0-20 სმ ფენაში მისი შემცველობა 0,4 %-ს არ აღემატება, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ საკვლევი პოლიგონის ნიადაგ-გრუნტები ძლიერ ეროზიული ტენდენციისაა.

საველე კვლევის მომდევნო ეტაპი მოიცავდა შემდეგი პარამეტრების დადგენას: საველე ინტეგრირებული პოლიგონის სიახლოვეს დამონტაჟებული პლუვიოგრაფის მეშვეობით (იხ. ფოტო 2.2.1) იზომებოდა ნალექების რაოდენობა და დროის გათვალისწინებით დგინდებოდა ნალექების საშუალო ინტენსიობა.





**ფოტო 2.2.1** საველე ინტეგრირებული პოლიგონის სიახლოვეს დამონტაჟებული პლუვიოგრაფი

საველე კვლევის პროცესში, სპეციალური სენსორული ხელსაწყოს მეშვეობით, ყოველი წვიმის წინ ისაზღვრებოდა სამივე უბნის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის საწყისი ტენიანობა.

საკვლევ ინტეგრირებულ პოლიგონზე ნიადაგის ეროზიული პროცესების ინტენსიობის შესწავლის მიზნით კვლევები განხორციელდა შემდეგი თანმიმდევრობით: მორიგი წვიმის დროს საცდელი და საკონტროლო უბნებიდან ფორმირებული თხიერი ჩამონადენი მყარ ჩამონადენთან ერთად, ნატანმიმღების გავლით, მიღების მეშვეობით, ჩაედინებოდა საკვლევ პოლიგონის ქვევით მდებარე დიდ რეზერვუარებში ჩადგმულ მცირე ზომის კასრებში (იხ. ფოტო 2.2.2).



**ფოტო 2.2.2 ნატანმიმღები რეზერვუარები და კასრები**

რეზერვუარებში ჩადგმულ მცირე ზომის კასრებში მოხვედრილი თხიერი და მყარი ჩამონადენების მოცულობის დადგენა წარმოებდა საზომი ცილინდრის გამოყენებით (იხ. ფოტო 2.2.3).



**ფოტო 2.2.3 თხიერი და მყარი ჩამონადენების მოცულობის დადგენის პროცესი**



საკვლევი პოლიგონიდან ფორმირებული თხიერი და მყარი ჩამონადენის მოცულობის დადგენის შემდეგ ხდებოდა მღვრიე სითხიდან მყარი ჩამონადენის გამოყოფა, გარკვეული პერიოდის განმავლობაში მისი სტატიკურ მდგომარეობაში გაჩერებით, შემდეგ ხორციელდებოდა მყარი ჩამონადენის გამოშრობა სპეციალურ საშრობში 105°C 4 საათის განმავლობაში (იხ. ფოტო 2.2.4), შემდეგ აწონვა და შესაბამისად ეროზირებული ნიადაგ-გრუნტის მასის დადგენა.



**ფოტო 2.2.4 ლაბორატორიულ პირობებში ეროზირებული ნიადაგ-გრუნტის წონის დადგენა**

საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე განხორციელებული კვლევის მონაცემები მოცემულია ცხრილი 2.2.5-ის და ნახ. 2.2.1-ის სახით.



საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე განხორციელებული საველე ექსპერიმენტის  
შედეგები

№	საველე ექსპერიმენტის განხორციელების თარიღი	პლუვიოგრაფის მონაცემი		პოლიგონის უბნები	ნიადაგის საწყისი ტენიანობა (%)	თხიერი ჩამონადენი (ლიტრი)	მყარი ჩამონადენი (კგ)
		ნალექების რაოდენობა (მ)	ნალექების ინტენსიობა (მ/წმ)				
1	19.03.2017	0,0864	0,000002398	I საცდელი	66	0,5	0,0002
				II საცდელი	64	0,3	0,00011
				საკონტროლო	61	1,89	0,012
2	27.03.2017	0,0406	0,000001128	I საცდელი	65	0,44	0,0019
				II საცდელი	61	0,29	0,001
				საკონტროლო	58	1,76	0,0035
3	02.04.2017	0,2286	0,00000635	I საცდელი	68	1,75	0,0035
				II საცდელი	67	1,5	0,0019
				საკონტროლო	62	18,2	0,107
4	10.04.2017	0,2489	0,00000401	I საცდელი	65	0,8	0,006
				II საცდელი	64	0,55	0,0023
				საკონტროლო	58	15,9	0,098
5	12.04.2017	0,0762	0,000003175	I საცდელი	69	0,22	0,0021
				II საცდელი	67	0,15	0,0008
				საკონტროლო	63	1,9	0,018
6	14.04.2017	0,0991	0,000004127	I საცდელი	72	0,45	0,0035
				II საცდელი	70	0,1	0,0012
				საკონტროლო	66	2,75	0,040
7	22.04.2017	0,0330	0,000000917	I საცდელი	65	0,1	0,0007
				II საცდელი	63	0,05	0,00012
				საკონტროლო	57	1,5	0,016
8	24.04.2017	0,0914	0,00000234	I საცდელი	71	0,58	0,0021
				II საცდელი	70	0,2	0,0009
				საკონტროლო	65	3,62	0,04
9	03.05.2017	0,1143	0,000002721	I საცდელი	62	0,5	0,0019
				II საცდელი	61	0,1	0,0075
				საკონტროლო	53	2,55	0,045

10	07.05.2017	0,0813	0,000002267	I საცდელი	65	0,25	0,0021
				II საცდელი	64	0,17	0,0008
				საკონტროლო	58	1,9	0,030
11	10.05.2017	0,1956	0,000003621	I საცდელი	67	1,2	0,009
				II საცდელი	65	1,1	0,001
				საკონტროლო	59	8,3	0,076
12	14.05.2017	0,0330	0,000001375	I საცდელი	68	0,69	0,0041
				II საცდელი	67	0,29	0,00093
				საკონტროლო	61	3,62	0,022
13	18.05.2017	0,1118	0,00000266	I საცდელი	68	0,45	0,0015
				II საცდელი	66	0,1	0,0005
				საკონტროლო	60	2,55	0,38
14	19.05.2017	0,1702	0,000003545	I საცდელი	74	0,85	0,0085
				II საცდელი	73	0,15	0,0075
				საკონტროლო	67	6,55	0,062
15	20.05.2017	0,0508	0,000001141	I საცდელი	76	2,0	0,0081
				II საცდელი	75	1,8	0,0056
				საკონტროლო	69	4,32	0,009
16	21.05.2017	0,0279	0,000000931	I საცდელი	78	0,7	0,00041
				II საცდელი	76	0,3	0,0001
				საკონტროლო	71	1,6	0,011
17	24.05.2017	0,0889	0,000002469	I საცდელი	73	2,4	0,0092
				II საცდელი	71	2,0	0,0067
				საკონტროლო	67	6,32	0,012
18	08.06.2017	0,1346	0,000002804	I საცდელი	62	0,76	0,0085
				II საცდელი	60	0,11	0,0075
				საკონტროლო	51	4,4	0,062
19	10.06.2017	0,1143	0,000003175	I საცდელი	71	0,56	0,0019
				II საცდელი	70	0,14	0,00056
				საკონტროლო	56	3,55	0,048
20	11.06.2017	0,2413	0,000006702	I საცდელი	76	1,9	0,0025
				II საცდელი	75	1,6	0,0018
				საკონტროლო	70	19,8	0,120
21	14.06.2017	0,1651	0,000003139	I საცდელი	74	1,2	0,009
				II საცდელი	73	1,0	0,001
				საკონტროლო	68	2,0	0,071
22	16.06.2017	0,0127	0,000000705	I საცდელი	77	0,3	0,0004
				II საცდელი	76	0,2	0,0001
				საკონტროლო	71	0,7	0,01
23	20.06.2017	0,2515	0,000004656	I საცდელი	69	1,55	0,0021
				II საცდელი	67	1,34	0,0013
				საკონტროლო	59	9,7	0,133

24	28.06.2017	0,0254	0,000000846	I საცდელი	57	0,5	0,002
				II საცდელი	55	0,3	0,001
				საკონტროლო	49	1,4	0,012
25	29.06.2017	0,1778	0,000003704	I საცდელი	72	4,7	0,023
				II საცდელი	71	1,6	0,002
				საკონტროლო	67	18,8	0,072
26	30.06.2017	0,0254	0,000000705	I საცდელი	77	0,55	0,0005
				II საცდელი	76	0,25	0,0003
				საკონტროლო	68	1,5	0,016
27	05.07.2017	0,001	0,000000556	I საცდელი	54	0,43	0,003
				II საცდელი	53	0,09	0,0011
				საკონტროლო	45	2,5	0,04
28	06.07.2017	0,002	0,000000833	I საცდელი	67	0,41	0,0018
				II საცდელი	65	0,25	0,001
				საკონტროლო	59	1,7	0,003
29	07.07.2017	0,0079	0,00000263	I საცდელი	72	0,2	0,0019
				II საცდელი	71	0,12	0,0006
				საკონტროლო	67	1,8	0,015
30	08.07.2017	0,75	0,00000208	I საცდელი	78	0,5	0,0001
				II საცდელი	77	0,28	0,0009
				საკონტროლო	73	1,84	0,012
31	15.08.2017	0,15	0,000000625	I საცდელი	56	1,7	0,0078
				II საცდელი	55	1,5	0,0052
				საკონტროლო	47	4,1	0,006
32	01.09.2017	0,17	0,000000567	I საცდელი	46	0,45	0,0001
				II საცდელი	44	0,24	0,0008
				საკონტროლო	39	1,8	0,012
33	28.09.2017	0,1143	0,00000272	I საცდელი	42	0,72	0,0038
				II საცდელი	41	0,32	0,0009
				საკონტროლო	33	3,75	0,027
34	29.09.2017	0,1397	0,00000259	I საცდელი	68	0,8	0,041
				II საცდელი	67	0,35	0,00098
				საკონტროლო	60	4,0	0,030
35	01.10.2017	0,254	0,00000529	I საცდელი	69	1,5	0,0023
				II საცდელი	68	1,2	0,0016
				საკონტროლო	62	6,5	0,104
36	02.10.2017	0,254	0,00000529	I საცდელი	74	0,55	0,008
				II საცდელი	73	0,08	0,0059
				საკონტროლო	68	4,2	0,074
37	03.10.2017	0,1524	0,00000362	I საცდელი	75	0,5	0,0019
				II საცდელი	73	0,15	0,0008
				საკონტროლო	69	3,5	0,044
38	04.10.2017	0,1549	0,00000287	I საცდელი	77	0,4	0,066
				II საცდელი	76	0,12	0,0007
				საკონტროლო	71	5,2	0,042

39	09.10.2017	0,0051	0,00000142	I საცდელი	61	1,7	0,0069
				II საცდელი	59	0,9	0,0034
				საკონტროლო	49	3,8	0,005
40	10.10.2017	0,1524	0,00000317	I საცდელი	73	0,4	0,052
				II საცდელი	71	0,08	0,0006
				საკონტროლო	67	2,8	0,043
41	16.10.2017	0,1651	0,00000344	I საცდელი	65	0,45	0,002
				II საცდელი	63	0,08	0,008
				საკონტროლო	56	2,5	0,050
42	28.10.2017	0,1524	0,00000363	I საცდელი	56	0,45	0,0015
				II საცდელი	53	0,11	0,0007
				საკონტროლო	45	2,3	0,044
43	07.11.2017	0,0254	0,00000141	I საცდელი	62	0,47	0,0002
				II საცდელი	60	0,25	0,00012
				საკონტროლო	54	1,8	0,011
44	08.11.2017	0,0102	0,00000567	I საცდელი	76	0,2	0,0018
				II საცდელი	73	0,11	0,0006
				საკონტროლო	69	1,3	0,016
45	10.11.2017	0,0406	0,00000169	I საცდელი	75	0,35	0,0006
				II საცდელი	73	0,09	0,0019
				საკონტროლო	70	2,2	0,004
46	20.11.2017	0,0152	0,00000844	I საცდელი	67	0,62	0,0039
				II საცდელი	66	0,25	0,00088
				საკონტროლო	61	3,2	0,025
47	03.12.2017	0,0508	0,00000212	I საცდელი	74	0,38	0,0004
				II საცდელი	73	0,07	0,0003
				საკონტროლო	69	2,5	0,006
48	21.12.2017	0,0914	0,00000305	I საცდელი	76	0,2	0,001
				II საცდელი	74	0,05	0,004
				საკონტროლო	70	1,1	0,02
49	02.01.2018	0,2159	0,0000044	I საცდელი	72	1,2	0,009
				II საცდელი	70	0,8	0,001
				საკონტროლო	65	7,1	0,082
50	09.01.2018	0,0381	0,00000127	I საცდელი	73	1,1	0,0015
				II საცდელი	72	0,65	0,0004
				საკონტროლო	68	3,2	0,003
51	13.01.2018	0,0356	0,00000119	I საცდელი	75	0,3	0,0001
				II საცდელი	74	0,04	0,0002
				საკონტროლო	70	1,1	0,002
52	14.01.2018	0,0635	0,00000151	I საცდელი	78	0,38	0,00012
				II საცდელი	77	0,06	0,00025
				საკონტროლო	74	1,3	0,002
53	25.01.2018	0,0036	0,000000987	I საცდელი	71	0,85	0,002
				II საცდელი	69	0,4	0,001
				საკონტროლო	66	1,9	0,0049
54	27.01.2018	0,0033		I საცდელი	76	0,7	0,0002

			0,000000917	II საცდელი	75	0,3	0,0001
				საკონტროლო	72	1,7	0,0017
55	13.02.2018	0,0066	0,00000183	I საცდელი	69	0,32	0,0022
				II საცდელი	66	0,15	0,0008
				საკონტროლო	61	1,8	0,0132
56	18.02.2018	0,0023	0,000000635	I საცდელი	71	0,4	0,0017
				II საცდელი	70	0,1	0,0005
				საკონტროლო	67	1,5	0,0169
57	26.02.2018	0,0048	0,00000134	I საცდელი	69	1,2	0,0025
				II საცდელი	66	0,7	0,001
				საკონტროლო	63	2,5	0,0058
58	09.03.2018	0,0041	0,00000113	I საცდელი	67	0,9	0,0009
				II საცდელი	65	0,4	0,0003
				საკონტროლო	60	2,3	0,0044

გარდა საკონტროლო უბნიდან ფორმირებული ჩამონადენისა, საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საცდელ უბნებზე ხორციელდებოდა გეოხალიჩებზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის დადგენა უშუალო გაზომვებით (იხ. ფოტო 2.2.5, 2.2.6)



ფოტო 2.2.5 გეოხალიჩა “Jute Mat”-ზე ამოსული მცენარეების სიმაღლის გაზომვის პროცესი



**ფოტო 2.2.6. გეობალიჩა ლუფაერომატზე ამოსული მცენარეების სიმაღლის გაზომვის პროცესი**

საველე პოლიგონის საცდელ უბნებზე დაფენილ გეობალიჩებზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის შედეგები მოცემულია ცხრილი 2.2.6-ის და ნახ. 2.2.1-ის სახით.

ცხრილი 2.2.6

გეობალიჩებზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკა

	საველე ექსპერიმენტის განხორციელების თარიღი	საცდელი უბნები	ბალახოვანი მცენარეების საშუალო სიმაღლე h (სმ)
1	19.03.2017	I საცდელი უბანი (გეობალიჩა Jute Mat)	0
		II საცდელი უბანი (გეობალიჩა ლუფაერომატი)	0
2	27.03.2017	I საცდელი უბანი (გეობალიჩა Jute Mat)	1,1
		II საცდელი უბანი (გეობალიჩა ლუფაერომატი)	2,5
3	02.04.2017	I საცდელი უბანი (გეობალიჩა Jute Mat)	1,4
		II საცდელი უბანი (გეობალიჩა ლუფაერომატი)	3,3
4	10.04.2017	I საცდელი უბანი (გეობალიჩა Jute Mat)	1,8
		II საცდელი უბანი (გეობალიჩა ლუფაერომატი)	5,1
5	12.04.2017	I საცდელი უბანი (გეობალიჩა Jute Mat)	2,0
		II საცდელი უბანი (გეობალიჩა ლუფაერომატი)	5,1
6	14.04.2017	I საცდელი უბანი (გეობალიჩა Jute Mat)	2,3

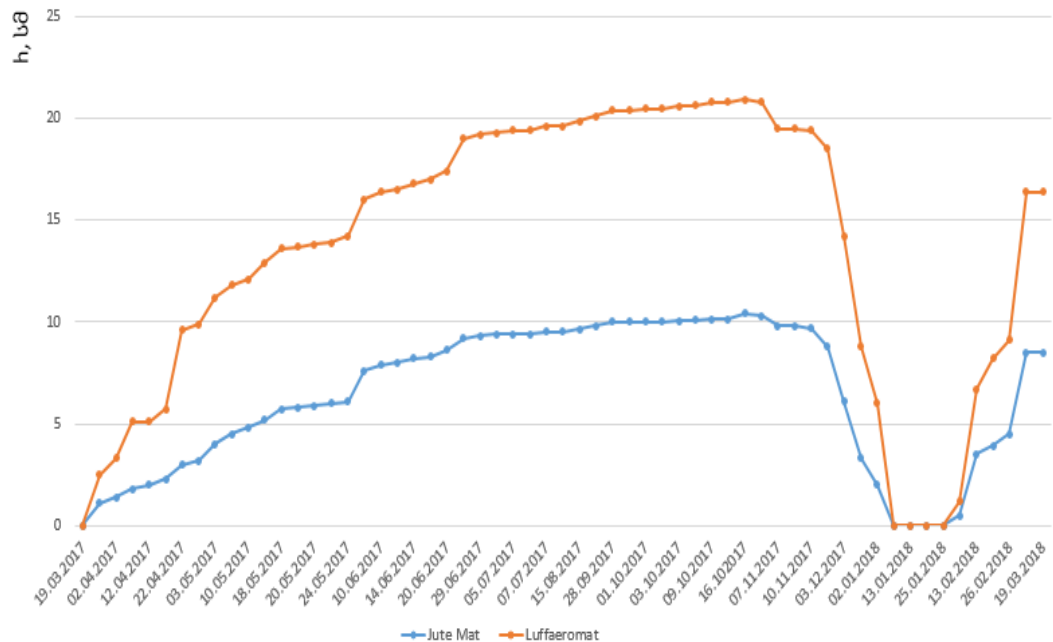








		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა ლუფაერომატი)	0,0
53	25.01.2018	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა Jute Mat)	0,0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა ლუფაერომატი)	0,0
54	27.01.2018	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა Jute Mat)	0,5
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა ლუფაერომატი)	1,2
55	13.02.2018	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა Jute Mat)	3,5
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა ლუფაერომატი)	6,7
56	18.02.2018	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა Jute Mat)	3,9
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა ლუფაერომატი)	8,2
57	26.02.2018	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა Jute Mat)	4,5
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა ლუფაერომატი)	9,1
58	19.03.2018	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა Jute Mat)	8,5
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა ლუფაერომატი)	16,4



### ნახ. 2.2.1 გეოხალიჩებზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკა

საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე კვლევები განხორციელდა 19.03.2017-19.03.2018 და მიღებული იქნა მნიშვნელოვანი მონაცემები, როგორც საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების, ასევე საცდელ უბნებზე დამონტაჟებული გეოხალიჩების ეფექტურობისა და მათ მიერ მოწყვლად ფერდობზე ბიომრავალფეროვნების აღდგენის შესახებ (იხ. ფოტო 2.2.7).



ფოტო 2.2.7 საკვლევი პოლიგონის საერთო ხედი

როგორც ფოტო 2.2.7-დან ჩანს საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე აქტიურად მიმდინარეობს ნაღვარევის ფორმირება, რაც დროთა განმავლობაში კიდევ უფრო გაძლიერდება, ასევე ნათელია, რომ საკვლევი პოლიგონის I საცდელ უბანზე დამონტაჟებულ გეოხალიჩა Jute Mat-ზე ნაკლებად არის ამოსული ბალახოვანი მცენარეები ვიდრე გეოხალიჩა ლუფაერომატზე, აგრეთვე ამავე უბნიდან ეროზირებული მყარი მასა მეტია (0,351კგ), ვიდრე გეოხალიჩა ლუფაერომატით დაფარული II საცდელი უბნიდან (0,101კგ) (იხ. ცხრილი 2.2.7), რაც ადასტურებს ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგოდ გეოხალიჩა ლუფაერომატის ეფექტურობას და შესაბამისად მოწყვლად ფერდობებზე ბიომრავალფეროვნების აღდგენის შესაძლებლობას.

საკონტროლო უბნიდან (ფართობი 4,68 მ<sup>2</sup>) 1 წლის განმავლობაში ფორმირებული მყარი ჩამონადენის (ეროზირებული) მასა შეადგენს 1,951 კგ, ანუ წელიწადში - ერთ ჰექტარზე 5 ტონამდე, რაც რ. მორგანის შკალის მიხედვით მიეკუთვნება ეროზიის მესამე კლასს.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარეობს

ჩვენი ეროზიული პროცესები, რაც ნეგატიურად აისახება როგორც მოცემული ფერდობის, ასევე მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრები აუზის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე [100,101].

ცხრილი 2.2.7. საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე ფორმირებული მყარი ჩამონადენის მონაცემები

№	ექსპერიმენტის ჩატარების თარიღი	I საცდელი უბანი, ეროზირებული ნიადაგ-გრუნტი (კგ)	II საცდელი უბანი, ეროზირებული ნიადაგ-გრუნტი (კგ)	საკონტროლო უბანი, ეროზირებული ნიადაგ-გრუნტი (კგ)
1	19.03.2017-19.03.2018	0,351	0,101	1,951

ამრიგად, საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საცდელ უბნებზე განხორციელებული კვლევებიდან ჩანს, რომ გეოხალიჩა ლუფაერომატი უფრო ეფექტურია ვიდრე გეოხალიჩა „Jute Mat“, ეს დასტურდება როგორც შესაბამისი უბნებიდან ჩამოტანილი ეროზირებული მყარი მასის ერთმანეთთან შედარებით, ასევე გეოხალიჩებზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკით, რაც იძლევა საფუძველს დაინერგოს იგი მოწყვლადი ფერდობების რეგულირების მიზნით.

### 2.3. საველე პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების მათემატიკური ანალიზი

თბილისის შემოგარენში, ისევე როგორც მთელ საქართველოში გეოდინამიკური პროცესები ძალზე აქტიურია, კერძოდ მოწყვლად გარემოში ვითარდება ნიადაგის ეროზია და დენუდაციური პროცესები. დედაქალაქში და მის შემოგარენში აღრიცხულია 20 კილომეტრის სიგრძის (საერთო სიგრძე) ინტენსიური ეროზიულ-გრავიტაციული პროცესების შედეგად დაზიანებული ფერდობები, რაც მიუთითებს სენსიტიური უბნების მოწყვლადობის შეფასებისა და ნიადაგ-გრუნტის დამცავი ეფექტური ღონისძიების შექმნის აუცილებლობაზე.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში, მამკოდას დასახლების მიმდებარედ არსებულ მოწყვლად ფერდობზე მოწყობილი იქნა ნიადაგის ეროზიის ინტენსიობისა და ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების ეფექტურობის დადგენის მიზნით, საველე ინტეგრირებული პოლიგონი. ამ პოლიგონის ფარგლებში ერთდროულად ხორციელდებოდა როგორც ნიადაგის ეროზიის დინამიკის შესწავლა, ასევე 2 ერთმანეთისაგან განსხვავებული გეოხალიჩის (მსოფლიოში აპრობირებული გეოხალიჩა „Jute Mat“-ის და ქართული პროდუქტის ლუფაერომატის) ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ეფექტურობის კვლევა.

საველე ექსპერიმენტების დროს განხორციელებული გაზომვების შედეგების აპროქსიმაციისათვის გამოვიყენეთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდი [102].

ჩვენ მიერ დამუშავებული იქნა საველე პოლიგონის საკონტროლო უბანზე განხორციელებული 58 ექსპერიმენტის (იხ. თავი 2.2, ცხრილი 2.2.5) მონაცემები, კერძოდ საკონტროლო უბანზე ფორმირებული მყარი ჩამონადენის დამოკიდებულება ნალექების ინტენსიობასთან.

განგარიშებისათვის აუცილებელი პარამეტრები მოცემულია ცხრილ 2.3.1-ში.

საველე ექსპერიმენტების დროს განხორციელებული გაზომვების შედეგების  
უმცირეს კვადრატთა მეთოდით შეფასება

№	x (ნალექების ინტენსიობა მმ/წმ)	y (საკონტ- როლო უბნის მყარი ჩამონადენი, გ)	$x^2$	xy	$y_{\text{გამ}}$
1	0,002398	12	0,00000575	0,0288	26,6
2	0,001128	3,5	0,00000127	0,00395	-7,8
3	0,00635	107	0,0000403	0,679	133,9
4	0,00401	98	0,0000161	0,393	108,8
5	0,003175	18	0,0000101	0,0572	47,7
6	0,004127	40	0,0000170	0,165	73,5
7	0,000917	16	0,000000841	0,0147	-13,6
8	0,00234	40	0,00000548	0,0936	23,5
9	0,002721	45	0,00000740	0,122	28,9
10	0,002267	30	0,00000514	0,068	23,0
11	0,003621	76	0,0000131	0,275	59,8
12	0,001375	22	0,00000189	0,0303	-1,2
13	0,00266	38	0,00000708	0,101	33,7
14	0,003545	62	0,0000126	0,22	57,7
15	0,001141	9	0,0000013	0,0103	-7,5
16	0,000931	11	0,000000867	0,0103	-13,2
17	0,002469	12	0,0000060	0,0296	28,5
18	0,002804	62	0,00000786	0,174	37,6
19	0,003175	48	0,0000101	0,152	47,7
20	0,006702	120	0,0000449	0,804	143,4
21	0,003139	71	0,003139	0,223	46,7
22	0,000705	10	0,000000497	0,00705	-19,4
23	0,004556	133	0,0000208	0,0606	85,2
24	0,000846	12	0,000000716	0,102	-15,5

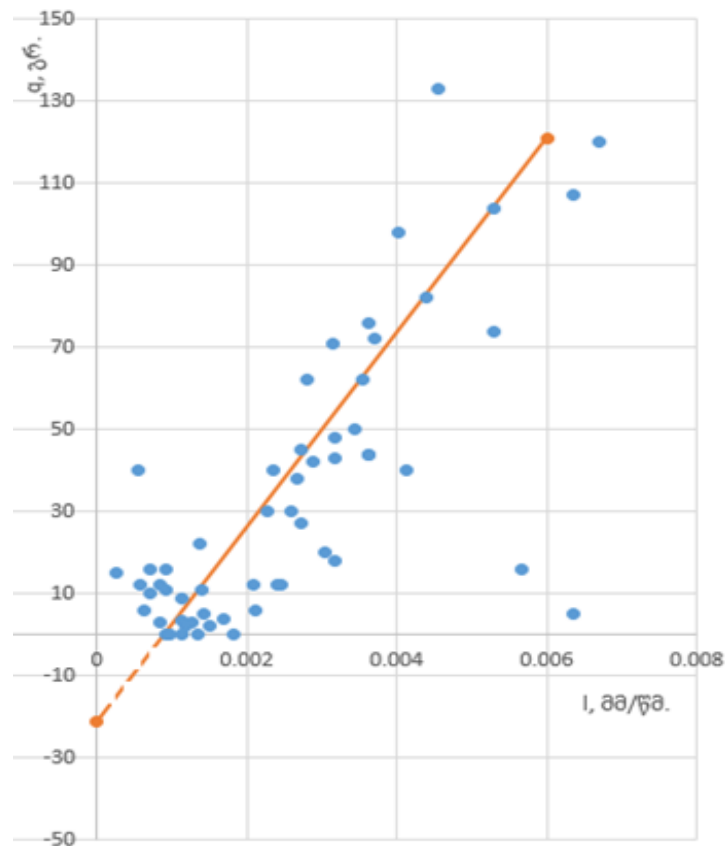
25	0,003704	72	0,0000137	0,267	62,0
26	0,000705	16	0,000000497	0,0113	-19,4
27	0,000556	40	0,000000309	0,0222	15,1
28	0,000833	3	0,000000694	0,0025	-15,9
29	0,000263	15	0,00000692	0,395	32,8
30	0,00208	12	0,00000433	0,025	17,9
31	0,000625	6	0,000000391	0,00375	-21,5
32	0,000567	12	0,000000321	0,0068	-23,1
33	0,00272	27	0,0000074	0,0734	35,3
34	0,00259	30	0,00000671	0,077	31,8
35	0,00529	104	0,000028	0,55	105,1
36	0,00529	74	0,000028	0,391	105,1
37	0,00362	44	0,0000131	0,159	59,8
38	0,00287	42	0,00000824	0,121	39,4
39	0,00142	5	0,00000201	0,0071	0,04
40	0,00317	43	0,0000001	0,136	47,5
41	0,00344	50	0,0000118	0,172	54,9
42	0,00363	44	0,0000132	0,16	60,0
43	0,00141	11	0,00000199	0,0155	-0,2
44	0,00567	16	0,0000321	0,0907	115,4
45	0,00169	4	0,000000286	0,00676	7,4
46	0,00844	25	0,00000712	0,211	190,6
47	0,00212	6	0,00000449	0,0127	19,0
48	0,00305	20	0,0000093	0,061	44,3
49	0,00440	82	0,0000194	0,361	80,9
50	0,00127	3	0,00000161	0,00381	-4,0
51	0,00119	2	0,00000142	0,00238	-6,2
52	0,00151	2	0,00000228	0,00151	2,5
53	0,000987	4,9	0,000000974	0,000484	-1,09
54	0,000917	1,7	0,000000841	0,00156	-2,4

55	0,00183	13,2	0,00000335	0,02416	15,9
56	0,00635	5	0,0000403	0,03175	107,1
57	0,00134	5,8	0,0000018	0,00777	6,0
58	0,00113	4,4	0,00000128	0,00497	1,8
	$\Sigma=[x]= 0,156146$	$\Sigma =[y]=1940,5$	$\Sigma = [x^2]=$ 0,000522	$\Sigma=[xy]=$ 7,241504	$\Sigma$ [y <sub>გამ</sub> ]=2091,9

სტატისტიკური რიგის ჯამური მახასიათებლების განტოლებათა სისტემაში შეტანის შედეგად ვღებულობთ წრფივ დამოკიდებულებას x და y პარამეტრებს შორის:

$$y = -21 + 20175x \quad (2.3.1)$$

აღნიშნული დამოკიდებულებით მიღებული ნალექების ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის წრფივი დამოკიდებულება ნაჩვენებია ნახ. 2.3.1-ზე



ნახ. 2.3.1 საკონტროლო უბნის მყარი ჩამონადენის დამოკიდებულება ნალექების ინტენსიობაზე

ამრიგად, საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე განხორციელებული ექსპერიმენტის ფარგლებში დადგინდა ნალექების ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის აპროქსიმირებული წრფივი დამოკიდებულება.

საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე ნალექების ინტენსიობასა და საკონტროლო უბანზე ფორმირებულ მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირის დასადგენად გამოყენებული იქნა შემდეგი საველე ექსპერიმენტული მონაცემები (იხ. ცხრილი 2.3.2) [103].

ცხრილი 2.3.2

ნალექების ინტენსიობასა და საკონტროლო უბანზე ფორმირებულ მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირის დადგენა

№	$x_i$ (ნალექების ინტენსიობა მმ/წმ)	$y_i$ (საკონტროლო უბნის მყარი ჩამონადენი გ)	$(x_i - \bar{x})$	$(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	0,002398	12	-0,000292	-20,6	0,00602	0,0000000853	424,36
2	0,001128	3,5	-0,00156	-29,1	0,0454	0,00000243	846,81
3	0,00635	107	0,00366	74,4	0,2723	0,0000134	5535,36
4	0,00401	98	0,00132	65,4	0,08633	0,00000174	4277,16
5	0,003175	18	0,000485	-14,6	-0,00708	0,000000235	213,16
6	0,004127	40	0,00144	7,4	0,01066	0,00000207	54,76
7	0,000917	16	-0,00177	-16,6	0,02938	0,00000313	275,56
8	0,00234	40	-0,00035	7,4	0,00259	0,000000123	54,76
9	0,002721	45	0,000031	12,4	0,00038	0,000000001	153,76
10	0,002267	30	-0,000423	-2,6	0,0011	0,000000179	6,76



11	0,003621	76	0,000931	43,4	0,04041	0,000000867	1883,56
12	0,001375	22	-0,00132	-10,6	0,01399	0,00000174	112,36
13	0,00266	38	-0,00003	5,4	-0,00016	0,0000000009	29,16
14	0,003545	62	0,000855	29,4	0,02514	0,000000731	864,36
15	0,001141	9	-0,00155	-23,6	0,03658	0,0000024	556,96
16	0,000931	11	-0,00176	-21,6	0,03802	0,0000031	466,56
17	0,002469	12	-0,000221	-20,6	0,00455	0,000000049	424,36
18	0,002804	62	0,000114	29,4	0,00335	0,000000013	876,16
19	0,003175	48	0,000485	15,4	0,00747	0,000000235	237,16
20	0,006702	120	0,00401	87,4	0,35047	0,0000161	7638,76
21	0,003139	71	0,000449	38,4	0,01724	0,000000202	1474,56
22	0,000705	10	-0,00199	-22,6	0,04497	0,00000396	510,76
23	0,004556	133	0,00187	100,4	0,18775	0,0000035	10080,16
24	0,000846	12	-0,00184	-20,6	0,0379	0,00000339	424,36
25	0,003704	72	0,00101	39,4	0,03979	0,00000102	1552,36
26	0,000705	16	-0,00199	-16,6	0,03303	0,00000396	275,56
27	0,000556	40	-0,00213	7,4	-0,01576	0,00000454	54,76
28	0,000833	3	-0,00186	-29,6	0,05506	0,00000346	876,16
29	0,000263	15	-0,00243	-17,6	0,04277	0,0000059	309,76
30	0,00208	12	-0,00061	-20,6	0,01257	0,000000372	424,36
31	0,000625	6	-0,00207	-26,6	0,05506	0,00000428	707,56
32	0,000567	12	-0,00212	-20,6	0,04367	0,00000449	424,36
33	0,00272	27	0,00003	-5,6	-0,00017	0,0000000009	31,36
34	0,00259	30	-0,0001	-2,6	0,00026	0,00000001	6,76
35	0,00529	104	0,0026	71,4	0,018564	0,00000676	5097,96
36	0,00529	74	0,0026	41,4	0,10764	0,00000676	1713,96
37	0,00362	44	0,00093	11,4	0,0106	0,000000865	129,96
38	0,00287	42	0,00018	9,4	0,00169	0,000000032	88,36
39	0,00142	5	-0,00127	-27,6	0,03505	0,00000161	761,76
40	0,00317	43	0,00048	10,4	0,00499	0,00000023	108,16
41	0,00344	50	0,00075	17,4	0,01305	0,00000056	302,76

42	0,00363	44	0,00094	11,4	0,01072	0,000000884	129,76
43	0,00141	11	-0,00128	-21,6	0,02765	0,00000164	466,56
44	0,00567	16	0,00298	-16,6	-0,04947	0,00000888	275,56
45	0,00169	4	-0,001	-28,6	0,0286	0,000001	817,96
46	0,00844	25	0,00575	-7,6	-0,0437	0,0000331	57,76
47	0,00212	6	-0,00057	-26,6	0,01516	0,000000325	707,56
48	0,00305	20	0,00036	-12,6	-0,0454	0,00000013	158,76
49	0,00440	82	0,00171	49,4	0,08447	0,00000292	2440,36
50	0,00127	3	-0,00142	-29,6	0,04203	0,00000202	876,16
51	0,00119	2	-0,0015	-30,6	0,0459	0,00000225	936,36
52	0,00151	2	-0,00118	-30,6	0,03611	0,00000139	936,36
53	0,000987	4,9	-0,0017	-27,7	0,047709	0,00000289	767,29
54	0,000917	1,7	-0,00177	-30,9	0,05469	0,00000313	954,81
55	0,00183	13,2	-0,00086	-19,4	0,01668	0,00000074	376,36
56	0,00635	16,9	0,00366	-15,7	-0,05746	0,0000134	246,49
57	0,00134	5,8	-0,00135	-26,8	0,03618	0,00000182	33,64
58	0,00113	4,4	-0,00156	-28,2	0,04399	0,00000243	19,36
	Σ = 0,156146	Σ =1891,9			Σ = 2,049424	Σ = 0,0001834801	Σ = 60488,73

კორელაციის კოეფიციენტის  $r$  გაანგარიშება ხდება შემდეგი ფორმულის (2.3.2) მიხედვით:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{2,049424}{\sqrt{0,0001834801 \cdot 60488,73}} = \frac{2,049424}{3,33} = 0,62, \quad (2.3.2)$$

სადაც  $\bar{x} = 0,00269$  - არის ნალექების ინტენსიობის საშუალო არითმეტიკული, ხოლო  $\bar{y} = 32,6$  - არის საკონტროლო უბანზე ფორმირებული მყარი ჩამონადენის საშუალო არითმეტიკული.

მოცემული მონაცემების მიხედვით განსაზღვრული იქნა ნალექების ინტენსიობასა და საკონტროლო უბანზე ფორმირებულ მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირი, რომელიც ტოლია  $r = 0,62$ , რაც დამაკმაყოფილებელ შედეგად შეგვიძლია მივიჩნიოთ, რადგან იგი თავსდება

პარამეტრებს შორის საშუალო კავშირის შუალედში და მიუთითებს გაზომვით მიღებულ საექსპერიმენტო მონაცემების ურთიერთდამოკიდებულების საიმედოობაზე.

**2.4 საველე პოლიგონის საცდელ უბნებზე დამონტაჟებულ გეოხალიჩებზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მნიშვნელობების ვალიდურობის შეფასება**

მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში არსებულ ეროზირებულ ფერდობზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიის დინამიკის და ეროზიის საწინააღმდეგო გეოხალიჩების ეფექტურობის დასადგენად მოწყობილ საველე ინტეგრირებული პოლიგონის I და II უბნებზე დამონტაჟებულ გეოხალიჩებზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მნიშვნელობების ვალიდურობის და შესაბამისად ბიომრავალფეროვნების აღდგენის შესაძლებლობის შესაფასებლად საიმედოობის თეორიის გამოყენებით განხორციელდა შემდეგი კვლევები:

სტატისტიკურ რიგად გამოყენებული იქნა ცხრილ 2.2.6-ში ნაჩვენები მონაცემები. პოლიგონის I საცდელ უბანზე (გეოხალიჩა Jute mat-ით დაფარული) ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ინტერვალები და სიხშირეები მოცემულია ცხრილში 2.4.1.

ცხრილი 2.4.1

I საცდელ უბანზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ინტერვალები და სიხშირეები

გეოხალიჩა Jute Mat-ზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ინტერვალები $h_{საშ.}$	0-5	5-10	10-15
სიხშირეები ( $m_i$ )	21	30	7
$f(h_{საშ.})$	0,362	0,517	0,121

მათემატიკური ლოდინი გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$m = \sum_{i=1}^n f(h_{\text{ს.შ.}}) \cdot (h) = 2,5 \cdot 0,362 + 7,5 \cdot 0,517 + 12,5 \cdot 0,121 = 6,295$$

(2.4.1)

ამონაყარის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} = 6,343 \quad (2.4.2)$$

საშუალო კვადრატული გადახრა ტოლია:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n}} = 3,516 \quad (2.4.3)$$

გეოხალიჩა Jute Mat-ზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ნორმალური განაწილების სიმკვრივის ფორმულას შემდეგი სახე აქვს:

$$f(h_{\text{ს.შ.}}) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}}, \quad (2.4.4)$$

აღნიშნული ფორმულიდან განისაზღვრება განაწილების ფუნქცია, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}} \quad (2.4.5)$$

გეოხალიჩა Jute Mat-ზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის გასაშუალოებული სიმაღლეების საიმედოობა ტოლია:

$$P(h_{\text{ს.შ.}}) = \Phi^* \left( \frac{6,343 - 6,295}{3,516,71} \right) = \Phi^* (0,014) = 0,506; \quad (2.4.6)$$

ხოლო რისკი:

$$r(h_{\text{ს.შ.}}) = 1 - 0,506 = 0,494. \quad (2.4.7)$$

ანალოგიური თეორიული კვლევები განხორციელდა საველე ინტეგრირებული პოლიგონის II საცდელი უბნისთვის (გეოხალიჩა

ლუფაერომატიტ დაფარული), კერძოდ პოლიგონის II საცდელ უბანზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ინტერვალები და სიხშირეები მოცემულია ცხრილში 2.4.2.

ცხრილი 2.4.2

II საცდელ უბანზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ინტერვალები და სიხშირეები

გეოხალიჩა ლუფაერომატზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ინტერვალები $h_{საშ.}$	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
სიხშირეები ( $m_i$ )	8	10	11	18	11
$f(h_{საშ.})$	0,138	0,172	0,189	0,310	0,189

$$m = \sum_{i=1}^n f(h_{საშ.}) \cdot (h) = 2,5 \cdot 0,138 + 7,5 \cdot 0,172 + 12,5 \cdot 0,189 + 17,5 \cdot 0,310 + 22,5 \cdot 0,189 = 13,27 \quad (2.4.8)$$

ამონაყარის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} = 13,58 \quad (2.4.9)$$

საშუალო კვადრატული გადახრა ტოლია:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n}} = 6,85 \quad (2.4.10)$$

გეოხალიჩა ლუფაერომატზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ნორმალური განაწილების სიმკვრივის ფორმულას შემდეგი სახე აქვს:

$$f(h_{საშ.}) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}}, \quad (2.4.11)$$

აღნიშნული ფორმულიდან განისაზღვრება განაწილების ფუნქცია, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t)dt = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}} dt \quad (2.4.12)$$

გეოხალიჩა ლუფაერომატზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის გასაშუალოებული სიმაღლეების საიმედოობა ტოლია:

$$P(h_{\text{ს.შ.}}) = \Phi^* \left( \frac{13,58-13,27}{6,85} \right) = \Phi^* (0,045) = 0,518; \quad (2.4.13)$$

ხოლო რისკი:

$$r(h_{\text{ს.შ.}}) = 1 - 0,518 = 0,482. \quad (2.4.14)$$

ზემოაღნიშნული გამოთვლების საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საცდელ უბნებზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის საშუალო დინამიკის საიმედოობა 51-52%-ს შეადგენს, რაც დამაკმაყოფილებელია, რადგან იგი მინიმუმს მოწყვლად ფერდობზე მწვანე საფარის აღდგენის შესაძლებლობაზე.

**2.5. საკვლევი ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების და საცდელ უბნებზე დამონტაჟებულ გეოხალიჩებზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის კომპიუტერული მოდელირება**

მდინარე გლდანისხევის მარჯვენა სანაპიროს მიმდებარე (მამკოდას სააგარაკე დასახლება) მთის ფერდობზე მოწყობილი საკვლევი ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე, სხვადასხვა ინტენსიობის ნალექების ფორმირებისას მიმდინარე ეროზიული პროცესების დინამიკის შესასწავლად განხორციელდა 58 საველე ექსპერიმენტი (იხ. ფოტო 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3)



**ფოტო 2.5.1 ეროზიულ მთის ფერდობზე მოწყობილი საველე ინტეგრირებული პოლიგონი (კვლევის დასაწყისი)**





ფოტო 2.5.2 საკვლევი პოლიგონის საკონტროლო და საცდელი უბნები კვლევის დასრულებისას



ფოტო 2.5.3 საკვლევი პოლიგონის საკონტროლო და საცდელი უბნები კვლევის დასრულებისას (ხედი ზევიდან ქვევით)

საველე ექსპერიმენტის ფარგლებში ხდებოდა ნაღვარეების პარამეტრების (საშუალო სიგანე და ძირის სიგანე, საშუალო სიღრმე) ცვლილების დადგენა დანიშნულ ერთიდაიმავე 3 კვეთში (იხ. ფოტო 2.5.4, 2.5.5, 2.5.6).





ფოტო 2.5.4 ნაღვარევის პარამეტრების გაზომვის პროცესი (კვეთი 1)



ფოტო 2.5.5 ნაღვარევის პარამეტრების გაზომვის პროცესი (კვეთი 2)





ფოტო 2.5.6 ნაღვარევის პარამეტრების გაზომვის პროცესი (კვეთი 3)

საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე განვითარებული ნაღვარევის გაზომილი ცვლადი პარამეტრები მოცემულია ცხრილი 2.5.1-ის სახით.

ცხრილი 2.5.1

ეროზიულ ფერდობზე ნაღვარევის გაზომილი პარამეტრების ცვლილება  
სხვადასხვა ინტენსიობის ნალექების ფორმირებისას

ექსპერი მენტის №	საველე ექსპერიმენტის ჩატარების თარიღი	ნალექების ინტენსიობა, მ/წმ	ნაღვარევის კვეთი	B ნაღვარევის საშუალო სიგანე, სმ	b ნაღვარევის ძირის საშუალო სიგანე, სმ	h ნაღვარევის საშუალო სიღრმე, სმ
1	19.03.2017	0,000002398	I კვეთი	5,0	1,67	1,11
			II კვეთი	9,9	2,78	2,26
			III კვეთი	10,6	3,3	2,8
2	27.03.2017	0,000001128	I კვეთი	5,6	1,87	1,24
			II კვეთი	10,5	3,05	2,46
			III კვეთი	11,5	3,6	3,0
3	02.04.2017	0,00000635	I კვეთი	6,4	2,04	1,4
			II კვეთი	11,7	3,35	2,75
			III კვეთი	12,7	3,9	3,3

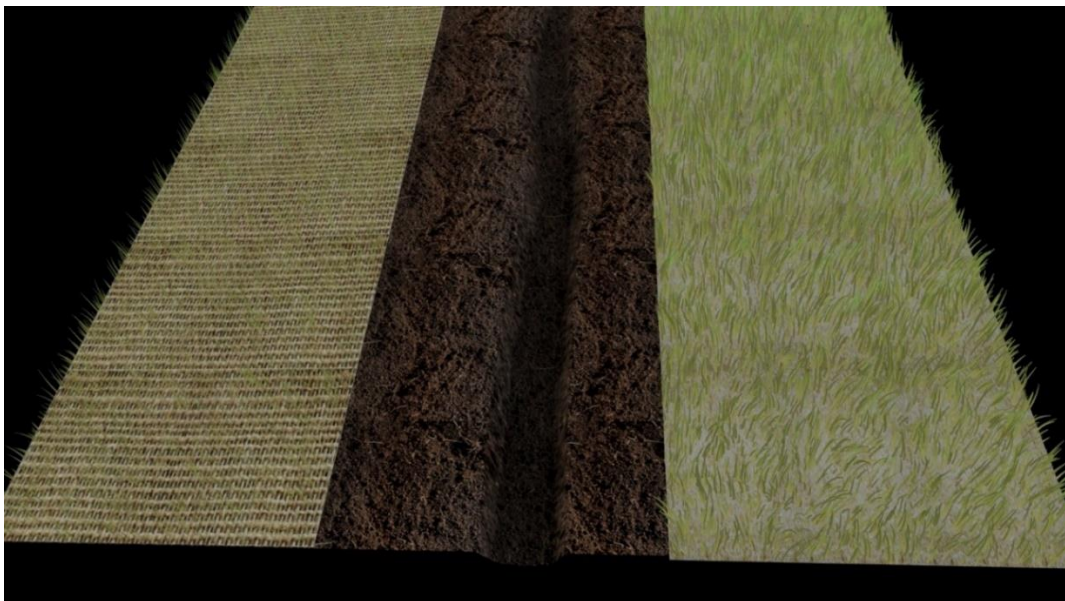
4	10.04.2017	0,00000401	I კვეთი	6,4	2,14	1,42
			II კვეთი	12,7	3,56	2,9
			III კვეთი	13,56	4,24	3,6
5	12.04.2017	0,000003175	I კვეთი	6,45	2,18	1,43
			II კვეთი	12,78	3,6	2,93
			III კვეთი	13,65	4,3	3,65
6	14.04.2017	0,000004127	I კვეთი	6,59	2,2	1,46
			II კვეთი	13,08	3,67	2,98
			III კვეთი	13,96	4,36	3,7
7	22.04.2017	0,000000917	I კვეთი	6,78	2,26	1,5
			II კვეთი	13,46	3,78	3,06
			III კვეთი	14,38	4,48	3,8
8	24.04.2017	0,00000234	I კვეთი	6,81	2,28	1,51
			II კვეთი	13,48	3,81	3,08
			III კვეთი	14,40	4,50	3,84
9	03.05.2017	0,000002721	I კვეთი	6,97	2,32	1,54
			II კვეთი	13,84	3,89	3,14
			III კვეთი	14,8	4,6	3,9
10	07.05.2017	0,000002267	I კვეთი	7,0	2,34	1,55
			II კვეთი	13,88	3,9	3,16
			III კვეთი	15,0	4,65	3,95
11	10.05.2017	0,000003621	I კვეთი	7,16	2,38	1,58
			II კვეთი	14,22	3,9	3,22
			III კვეთი	15,2	4,72	4,0
12	14.05.2017	0,000001375	I კვეთი	7,35	2,45	1,63
			II კვეთი	14,6	4,0	3,3
			III კვეთი	15,6	4,85	4,1
13	18.05.2017	0,00000266	I კვეთი	7,53	2,51	1,67
			II კვეთი	14,9	4,1	3,39
			III კვეთი	15,9	4,9	4,15
14	19.05.2017	0,000003545	I კვეთი	7,54	2,52	1,68
			II კვეთი	15,0	4,2	3,4
			III კვეთი	16,0	5,0	4,2
15	20.05.2017	0,000001141	I კვეთი	7,72	2,58	1,72
			II კვეთი	15,37	4,3	3,47
			III კვეთი	16,4	5,12	4,3
16	21.05.2017	0,000000931	I კვეთი	7,74	2,6	1,73
			II კვეთი	15,4	4,35	3,5
			III კვეთი	16,5	5,15	4,38
17	24.05.2017	0,000002469	I კვეთი	7,9	2,64	1,76
			II კვეთი	15,74	4,4	3,54
			III კვეთი	16,77	5,25	4,4
18	08.06.2017	0,000002804	I კვეთი	8,08	2,7	1,8
			II კვეთი	16,11	4,5	3,62
			III კვეთი	17,14	5,37	4,5
19	10.06.2017	0,000003175	I კვეთი	8,25	2,75	1,83
			II კვეთი	16,4	4,5	3,63
			III კვეთი	17,4	5,4	4,52
20	11.06.2017	0,000006702	I კვეთი	8,26	2,76	1,84
			II კვეთი	16,5	4,6	3,7

			III კვეთი	17,5	5,5	4,6
21	14.06.2017	0,000003139	I კვეთი	8,44	2,84	1,88
			II კვეთი	16,75	4,7	3,77
			III კვეთი	17,9	5,62	4,7
22	16.06.2017	0,000000705	I კვეთი	8,54	2,88	1,9
			II კვეთი	17,0	4,75	3,8
			III კვეთი	18,1	5,7	4,75
23	20.06.2017	0,000004656	I კვეთი	8,62	2,9	1,92
			II კვეთი	17,12	4,8	3,84
			III კვეთი	18,3	5,74	4,8
24	28.06.2017	0,000000846	I კვეთი	8,8	2,95	1,96
			II კვეთი	17,5	4,9	3,92
			III კვეთი	18,67	5,86	4,9
25	29.06.2017	0,000003704	I კვეთი	8,9	2,99	1,98
			II კვეთი	17,8	4,96	3,95
			III კვეთი	18,8	5,9	4,95
26	30.06.2017	0,000000705	I კვეთი	9,0	3,0	2,0
			II კვეთი	18,0	5,0	4,0
			III კვეთი	19,0	6,0	5,0
27	05.07.2017	0,000000556	I კვეთი	9,1	3,03	2,02
			II კვეთი	18,22	5,05	4,04
			III კვეთი	19,23	6,07	5,06
28	06.07.2017	0,000000833	I კვეთი	9,2	3,06	2,04
			II კვეთი	18,44	5,1	4,08
			III კვეთი	19,45	6,14	5,11
29	07.07.2017	0,00000263	I კვეთი	9,31	3,09	2,07
			II კვეთი	18,66	5,15	4,13
			III კვეთი	19,68	6,2	5,16
30	08.07.2017	0,00000208	I კვეთი	9,42	3,12	2,09
			II კვეთი	18,88	5,2	4,17
			III კვეთი	19,9	6,27	5,21
31	15.08.2017	0,000000625	I კვეთი	9,53	3,15	2,11
			II კვეთი	19,09	5,26	4,21
			III კვეთი	20,12	6,34	5,26
32	01.09.2017	0,000000567	I კვეთი	9,64	3,18	2,14
			II კვეთი	19,3	5,31	4,26
			III კვეთი	20,34	6,41	5,32
33	28.09.2017	0,00000272	I კვეთი	9,7	3,21	2,17
			II კვეთი	22,25	6,1	4,9
			III კვეთი	23,4	7,4	6,2
34	29.09.2017	0,00000259	I კვეთი	9,9	3,3	2,2
			II კვეთი	22,28	6,2	5,0
			III კვეთი	23,42	7,5	6,3
35	01.10.2017	0,00000529	I კვეთი	10,2	3,4	2,3
			II კვეთი	22,3	6,21	5,1
			III კვეთი	23,45	7,51	6,35
36	02.10.2017	0,00000529	I კვეთი	10,3	3,45	2,35
			II კვეთი	22,31	6,22	5,12
			III კვეთი	23,46	7,52	6,36
			I კვეთი	10,4	3,6	2,5

37	03.10.2017	0,00000362	II კვეთი	22,32	6,23	5,13
			III კვეთი	23,47	7,53	6,37
38	04.10.2017	0,00000287	I კვეთი	10,5	3,7	2,6
			II კვეთი	22,33	6,24	5,14
			III კვეთი	23,48	7,54	6,38
39	09.10.2017	0,00000142	I კვეთი	10,74	3,9	2,8
			II კვეთი	22,35	6,26	5,16
			III კვეთი	23,5	7,56	6,4
40	10.10.2017	0,00000317	I კვეთი	10,75	3,91	2,8
			II კვეთი	22,36	6,28	5,18
			III კვეთი	23,52	7,58	6,6
41	16.10.2017	0,00000344	I კვეთი	10,76	3,92	2,82
			II კვეთი	22,38	6,3	5,3
			III კვეთი	23,54	7,6	6,7
42	28.10.2017	0,00000363	I კვეთი	10,9	4,0	3,0
			II კვეთი	22,5	6,5	5,6
			III კვეთი	23,7	7,8	6,9
43	07.11.2017	0,0000041	I კვეთი	11,2	4,3	3,3
			II კვეთი	22,78	6,8	6,0
			III კვეთი	23,9	8,0	7,2
44	08.11.2017	0,00000567	I კვეთი	11,3	4,4	3,4
			II კვეთი	22,79	6,81	6,1
			III კვეთი	23,9	8,1	7,21
45	10.11.2017	0,00000169	I კვეთი	11,35	4,45	3,45
			II კვეთი	23,0	7,0	6,3
			III კვეთი	24,1	8,3	7,4
46	20.11.2017	0,00000844	I კვეთი	11,5	4,6	3,6
			II კვეთი	23,2	7,2	6,5
			III კვეთი	24,3	8,45	7,5
47	03.12.2017	0,00000212	I კვეთი	11,7	4,8	3,8
			II კვეთი	23,3	7,3	8,0
			III კვეთი	24,4	8,5	7,5
48	21.12.2017	0,00000305	I კვეთი	11,9	8,5	7,5
			II კვეთი	23,5	7,5	8,2
			III კვეთი	24,6	8,7	7,7
49	02.01.2018	0,00000441	I კვეთი	12,1	5,3	4,3
			II კვეთი	23,58	7,55	6,85
			III კვეთი	24,65	8,75	7,75
50	09.01.2018	0,00000127	I კვეთი	12,3	5,5	4,5
			II კვეთი	23,6	7,57	6,87
			III კვეთი	24,72	8,79	7,8
51	13.01.2018	0,00000119	I კვეთი	12,5	5,7	4,7
			II კვეთი	23,61	7,58	6,88
			III კვეთი	24,72	8,79	7,81
52	14.01.2018	0,00000151	I კვეთი	12,51	5,71	4,71
			II კვეთი	23,62	7,59	6,89
			III კვეთი	24,73	8,8	7,81
53	25.01.2018	0,000000987	I კვეთი	12,53	5,73	4,73
			II კვეთი	23,63	7,63	6,91
			III კვეთი	24,75	9,0	7,83

54	27.01.2018	0,000000917	I კვეთი	12,54	5,74	4,74
			II კვეთი	23,64	7,64	6,92
			III კვეთი	24,76	9,1	7,84
55	13.02.2018	0,00000183	I კვეთი	12,56	5,76	4,76
			II კვეთი	23,66	7,66	6,94
			III კვეთი	24,8	9,32	7,88
56	18.02.2018	0,000000635	I კვეთი	12,58	5,78	4,78
			II კვეთი	23,68	7,68	6,96
			III კვეთი	24,8	9,32	7,88
57	26.02.2018	0,00000134	I კვეთი	12,64	5,84	4,84
			II კვეთი	23,73	7,73	7,1
			III კვეთი	24,82	9,34	7,91
58	19.03.2018	0,00000113	I კვეთი	12,67	5,87	4,87
			II კვეთი	23,8	7,8	7,2
			III კვეთი	24,88	9,4	7,95

საკვლევი კვლევის მონაცემების კამერალურად დამუშავების შემდგომ განხორციელდა ნიადაგის ეროზიული პროცესების დინამიკის და ეროზიის საწინააღმდეგო გეოხალიჩების ეფექტურობის კომპიუტერული მოდელირება (ვიზუალიზაცია) (იხ. ნახ. 2.5.7), რაც წარმოადგენს საკითხისადმი ინოვაციურ მიდგომას, ვინაიდან ეს მეთოდი გვაძლევს საშუალებას წარმოვადგინოთ ვიქონიოთ როგორც მდინარე გლდანისხევის მარჯვენა სანაპიროს მიმდებარე მთის ფერდობზე (მამკოდას სააგარაკე დასახლება) ნიადაგის ეროზიული პროცესების განვითარებაზე, ასევე ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების ეფექტურობის შესახებ [104,105] .



ფოტო. 2.5.7 საკვლევი ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების კომპიუტერული მოდელირება

აღნიშნული ეროზიული პროცესების დინამიკის კომპიუტერული მოდელირება განხორციელდა შემდეგი თანმიმდევრობით:

1. საველე მონაცემები გადატანილი იქნა excel-ში და დამახსოვრებული იქნა CSV ფაილად (experiment\_data.csv) ;

2. Embarcadero Delphi XE5-ზე დაწერილი იქნა პროგრამა, რომელიც კითხულობს ამ CSV ფაილიდან მონაცემებს და თითოეული ექსპერიმენტისთვის გენერირებული იქნა Heightmap-ს BMP სურათის სახით;

3. Autodesk 3Ds MAX 2014-ში შექმნილი იქნა ზედაპირი, სადაც გაკეთდა დისპლაცემენტ და გენერირებული heightmap-ების საშუალებით, ასევე დადებული იქნა მატერიალი, რომელიც მუქდება სიღრმის მიხედვით ნაღვარევის უკეთ გამოსაჩენად.

აგრეთვე გაკეთდა ვიდეორგოლი Sony Vegas-ის გამოყენებით, სადაც ნაჩვენებია მდინარე გლდანისხევის მარჯვენა სანაპიროს მიმდებარე მთის ფერდობზე მოწყობილი საკვლევი ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების და საცდელ უბნებზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკა.

აღნიშნული კომპიუტერული მოდელირების მასალებიდან ჩანს, მდინარე გლდანისხევის მარჯვენა სანაპიროს მიმდებარე მთის ფერდობზე მოწყობილ საველე ინტეგრირებული პოლიგონის ფარგლებში 1 წლის განმავლობაში განხორციელებული საველე კვლევის შედეგები, კერძოდ: საკონტროლო უბანზე მიმდინარეობს ინტენსიური ეროზიული პროცესები (ფერდობის დახრამვითი პროცესები), რაც ზოგადად დამახასიათებელია აღნიშნული მოწყვლადი ფერდობისთვის, ხოლო საცდელ უბნებზე დამონტაჟებული გეოხალიჩებიდან გამოიკვეთა გეოხალიჩა ლუფაერომატის უპირატესობა (ფერდობის აღდგენის შესაძლებლობა) მსოფლიოში აპრობირებულ გეოხალიჩა „Jute Mat“-თან შედარებით.



**2.6. მდ. გლდანისხევის ხეობაში მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლების პროგნოზირება**

მდ. გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში არსებული მოწყვლადი ფერდობების გამოსავლენად განხორციელდა საველე სარეკოგნოსცირებო კვლევები. საველე კვლევების დროს გაირკვა, რომ განსაკუთრებული მოწყვლადობით გამოირჩევა მდ. გლდანისხევის მარჯვენა შენაკადის ჯოხთანის ხევის და ასევე მარჯვენა სანაპიროზე მდებარე მამკოდას დასახლების მიმდებარედ არსებული წყალშემკრები აუზები (ფოტო 2.6.1, 2.6.2).



**ფოტო 2.6.1 ეროზიულ-მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული ხასიათის შენაკადის ჯოხთანის ხევის წყალსადინარის და მისი მიმდებარე დეგრადირებული ფერდობის საერთო ხედი**





**ფოტო 2.6.2 მდინარე გლდანისხევის მარჯვენა სანაპიროს მიმდებარე (მამკოდას სააგარაკე დასახლება) დამეწყრილი ფერდობი (ხედი ქვევიდან ზევით)**

ფოტოებიდან ჩანს, რომ ზემოაღნიშნულ წყალშემკრებ აუზებში მიმდინარეობს აქტიური კალაპოტური და სიბრტყითი (ფერდობული) ეროზია, ასევე მეწყრული პროცესები, რაც განაპირობებს ღვარცოფული მოვლენების ფორმირებას და შესაბამისად ეკოლოგიური რისკების მატებას, რადგან აღნიშნულ წყალშემკრებ აუზებში მოსალოდნელი სტიქიური მოვლენები ემუქრება როგორც ჯოხთანის ხევის ქვედა ნაწილში არსებულ დასახლებულ პუნქტებს, ასევე მამკოდას სააგარაკე დასახლებას.

შექმნილი სიტუაციიდან გამომდინარე, პირველ ეტაპზე საჭიროა შეფასდეს მოწყვლად ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლები.

საველე-სარეკოგნოსცირებო კვლევის შედეგებისა და ტოპოგრაფიული რუკების გამოყენების საფუძველზე, აპრობირებული (2.6.1) დამოკიდებულებით გაანგარიშებული იქნა მდ. გლდანისხევის მარჯვენა შენაკადის ჯოხთანის ხევის და ასევე მარჯვენა სანაპიროზე მდებარე

მამკოდას დასახლების მიმდებარედ არსებულ წყალშემკრებ აუზში ფერდობების ეროზიის კოეფიციენტის (E) მნიშვნელობები [104]

$$E = \left[ 0,58 + 1,40 \left( \frac{F_1}{F_0} \right) \right] \left( \frac{t}{T} \right)^{0,21} \quad (2.6.1)$$

სადაც,  $F_1$ -მდინარის წყალშემკრებ აუზში გაშიშვლებული ტერიტორიის ფართობია (კმ<sup>2</sup>);  $F_0$ -მდინარის წყალშემკრები აუზის მთლიანი ფართობი (კმ<sup>2</sup>);  $t$ -საკვლევი დროის ინტერვალი (წელი);  $T$ -მთლიანი დაკვირვების პერიოდი (ჩვენ შემთხვევაში  $T=30$  წელს).

(2.6.1) დამოკიდებულებით გაანგარიშებული ფერდობების ეროზიის კოეფიციენტის (E) მნიშვნელობების დამოკიდებულება ფერდობების ეროზიის კლასთან შეფასებულია პროფესორ რ. მორგანის შკალის მიხედვით [104,105]. აღნიშნული მეთოდი იძლევა ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიული პროცესების ინტენსიობის პროგნოზირების საშუალებას.

(2.6.1) დამოკიდებულებით გაანგარიშებული და რ. მორგანის შკალის მიხედვით დადგენილი სიდიდეები მოცემულია ცხრილში 2.6.1.

ცხრილი 2.6.1

ჯოხთანის ხევის და მამკოდას დასახლების მიმდებარედ არსებულ წყალშემკრებ აუზში ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლები.

№	მდინარის დასახლება	წყალ-შემკრები აუზის ფართობი (კმ <sup>2</sup> )		ეროზიის კოეფიციენტის (E) მნიშვნელობები წლების მიხედვით					ეროზიის კლასი	ეროზიის ინტენსიურობა წელიწადში (ტ/ჰა)
		მთლიანი $F_0$ (კმ <sup>2</sup> )	ეროზირებული $F_1$ (კმ <sup>2</sup> )	2016	2020	2025	2030	2035		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ჯოხთანის ხევი	6,16	1,29	0,54	0,65	0,76	0,82	0,87	მესამე	5-10
2	მამკოდას დასახლება	9,41	1,79	0,52	0,63	0,73	0,79	0,85	მესამე	5-10

ზემოაღნიშნულ წყალშემკრებ აუზებში ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიის ინტენსიობა შეადგენს 5-10 ტ/ჰა, რაც ემთხვევა ჩვენ მიერ საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე განხორციელებული კვლევის შედეგებს.

მდინარე გლდანისხევში მოწყვლად ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიის ინტენსიობის დადგენის მიზნით განხორციელებული თეორიული და საველე კვლევებით მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ნიადაგის ინტენსიური ეროზია პროვოცირებას უწევს მეწყრული და ღვარცოფული მოვლენების ფორმირებას და განაპირობებს მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ რისკებს მდინარე გლდანისხევში არსებული დასახლებული პუნქტებისა და საგზაო ინფრასტრუქტურის მიმართ.

### თავი 3. მდ. გლდანისხევის ხეობაში არსებული მეწყრული ფერდობის მდგრადობის შეფასება და პროგნოზირება

#### 3.1. მდ. გლდანისხევის ხეობაში არსებული მეწყრული ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის საინჟინრო გეოლოგიური მახასიათებლების დადგენა

მდ. გლდანისხევის ტერიტორია მოიცავს გლდანის დასახლების ზედა ნაწილს, სოფ. გლდანს, გლდანულას დასახლებას და მიმდებარე აგარაკებს. გლდანის მე-8 საპყრობილისა და მის ახლომდებარე ტერიტორიას. დიდი ტბების (გლდანის ტბა, თეთრი ტბა), პატარა ტბის, შემოგარენს, მდ. გლდანისხევის ხეობის მოკლე მონაკვეთს, გლდანულას ხიდთან და მისი მარჯვენა შენაკადის, ღვარცოფული ხევის ქვემო წელს, ნასერალის ქედს, გლდანის ძველი ნაგავსაყრელის ტერიტორიას, მდ. ხევძმარის ხეობასა და ახალი რკინიგზის ხაზის მონაკვეთს, ასევე, გლდანი-ნორიოს მონაკვეთის შემოვლითი გზის გარკვეულ ნაწილს [96].

გეოლოგიურად მდ. გლდანისხევი მრავალფეროვნებით არ გამოირჩევა. მისი მცირე ნაწილი აგებულია მეოთხეული ნაფენებით, ალუვიონით, ღორღით, რიყნარით, რომლებიც მდ. გლდანისხევის ხეობაში საკმაოდ ვიწრო ზოლად ვრცელდება. ტერიტორიის უდიდესი ნაწილი აგებულია ზედა პალეოგენური და ქვედა ნეოგენური თიხებით, თიხოვანი ფიქლებით, იშვიათად ქვიშაქვებით, ზოგან კონგლომერატებით. უკიდურეს სამხრეთ-აღმოსავლურ ნაწილში, გეოლოგიური სუბსტრატი წარმოდგენილია შუა ნეოგენური მასიური და წყალგაუმტარი თიხებით, თიხოვანი ფიქლებით, რომლებიც რიგ შემთხვევებში მაღალი სიმყიფითა და ადვილად შლადობით გამოირჩევა. აღნიშნული მდგომარეობა განაპირობებს გეომორფოლოგიური და გეოდინამიური პროცესების ინტენსივობას, კერძოდ მეწყერსაშიში ქანების წყლით გაჯერება იწვევს ნიადაგისა და დედაქანის მოწყვეტას და დაძვრას, რასაც შესაძლებელია მოჰყვეს კატასტროფული შედეგები [96].

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, საჭიროა შეფასდეს მდ. გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში დამაბულ მდგომარეობაში არსებული მთის ფერდობების მდგრადობა.

ჩვენ მიერ შესასწავლად შერჩეული იქნა მდ. გლდანისხევის მარჯვენა სანაპიროზე არსებული მეწყრული ფერდობი. იგი მოიცავს ზედა თხემურ ნაწილს და მის მთისწინა კალთებამდე ვრცელდება. მისი სიგრძე 180 მეტრია, სიგანე 140, დაქანება 10-30° შორის მერყეობს (სიმაღლეთა სხვაობა 70 მ), ქვედა ნაწილი გატყიანებულია, ზედა ნაწილობრივ ბუჩქნართა დაფარული. რელიეფი მეწყრისთვის დამახასიათებელი ტალღისებურ საფეხურისებურია. რელიეფში კარგად იკვეთება მოწყვეტის რამდენიმე საფეხური სიმაღლით 2,0-2,5 მ (იხ. ფოტო 3.1.1).



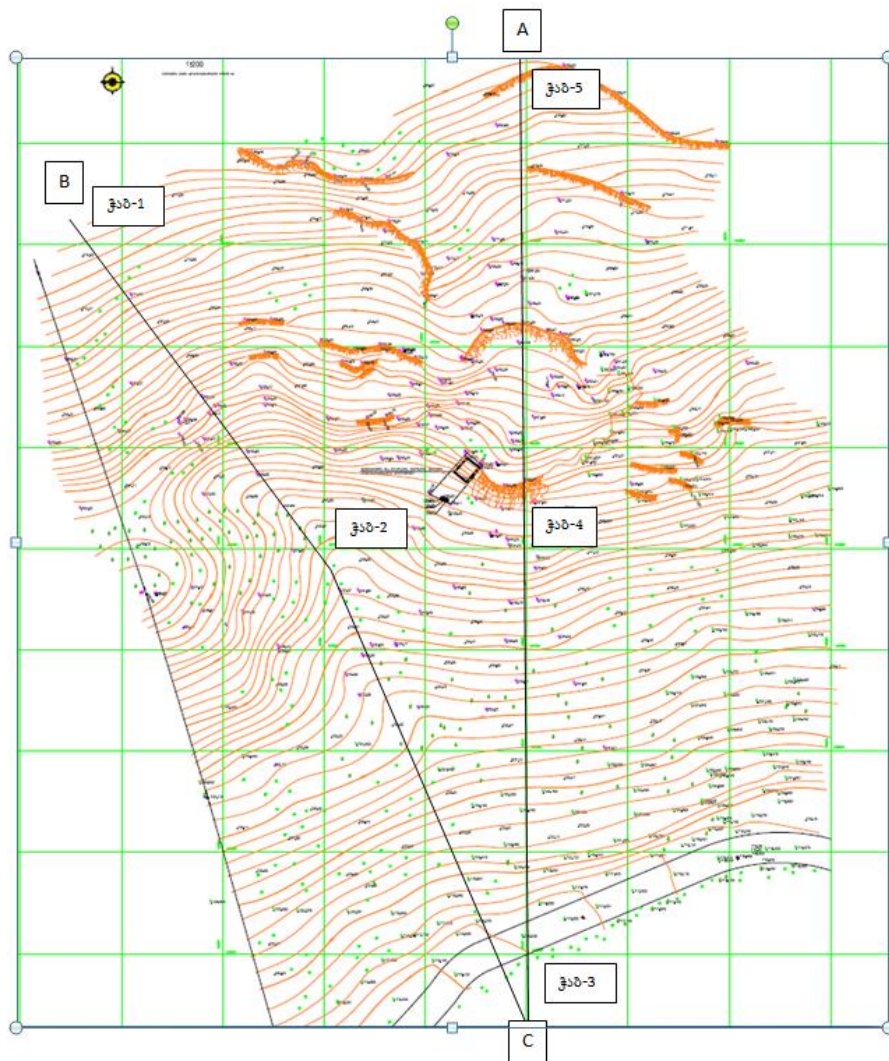
**ფოტო 3.1.1 მდინარე გლდანისხევის მარჯვენა სანაპიროს მიმდებარე დამეწყრილი ფერდობი (ზედი ზევიდან ქვევით)**

ფერდობი აგებულია პალეოგენური ასაკის ქვიშაქვებისა და არგილიტების მორიგეობით ( $P_2^2$ ). ქანების გაშიშვლებები საკმაოდ გამოფიტულია და ხშირად დაშლილ მდგომარეობაშიც გვხვდება.

ზემოდან ეს ქანები გადაფარულია ელუვიურ-გელუვიური გენეზისის თიხა-თიხნაროვანი ქანებით ლორღისა და ნატეხების ჩანართებით. მათი

სიმძლავრე 2,0-4,5 მეტრამდე მერყეობს, თუმცა ზოგიერთ უბნებზე აჭარბებს კიდევ მას. ეს ქანები ბუნებრივ მდგომარეობაში მყარი ან ნახევრად მყარი კონსისტენციის მდგომარეობაში იმყოფება. დასველებულ მდგომარეობაში ამ ქანების სიმტკიცის მახასიათებლები მკვეთრად მცირდება, რაც მეწყრული მოვლენების განვითარების ერთ-ერთი მიზეზია.

მდ. გლდანისხევში მეწყრული ფერდობის მდგრადობის შესწავლის მიზნით, ჩვენ მიერ განხორციელდა საველე-სარეკოგნოსცირებო კვლევები, კერძოდ, განხორციელდა დამეწყრილი ფერდობის ტოპოგრაფიული აგეგმვა და შეიქმნა ტერიტორიის ტოპოგრაფიული რუკა (იხ. ნახ. 3.1.1).





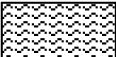



ნახ. 3.1.1 მეწყრული სხეულის ტოპო-გეგმა

საკვლევ ფერდობზე შერჩეული იქნა მახასიათებელი ჭრილის ხაზები, სადაც მოწყობილი იქნა 5 ჭაბურღილი. ჭაბურღილებიდან აღებული იქნა ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშები და განხორციელდა ლაბორატორიული კვლევები გრუნტის ლითოლოგიური აგებულების შესაფასებლად (იხ. ცხრილი 3.1.1, 3.1.2).

ცხრილი 3.1.1





ჭრილი B-C, გრუნტის ლითოლოგიური აგებულება

ჭრილი B-C (ჭაბურღილი 1)						
გეოლოგიური ინდექსი	სგე-№	სიღრმე		ფენის სიმძლავრე	ლითოლოგიური ჭრილი	გრუნტის წყლების დონე
		დან	მდე			
edQ <sub>IV</sub>	1	0,0	9,5	9,5		-
P <sub>2</sub> <sup>3</sup>	2	9,5	9,7	0,2		-
ჭრილი B-C (ჭაბურღილი 2)						
გეოლოგიური ინდექსი	სგე-№	სიღრმე		ფენის სიმძლავრე	ლითოლოგიური ჭრილი	გრუნტის წყლების დონე
		დან	მდე			
edQ <sub>IV</sub>	1	0,0	6,4	6,4		-
P <sub>2</sub> <sup>3</sup>	2	6,4	8,2	1,8		-
ჭრილი B-C (ჭაბურღილი 3)						
გეოლოგიური ინდექსი	სგე-№	სიღრმე		ფენის სიმძლავრე	ლითოლოგიური ჭრილი	გრუნტის წყლების დონე
		დან	მდე			
dQ <sub>IV</sub>	1	0,0	5,0	5,0		-

P <sub>2</sub> <sup>3</sup>	2	5,0	6	1,0		-
-----------------------------	---	-----	---	-----	---	---

ცხრილი 3.1.2

ჰრილი A-C, გრუნტის ლითოლოგიური აგებულება

ჰრილი A-C (ჰაბურდილი 4)						
გეოლოგიური ინდექსი	სგე-№	სიღრმე		ფენის სიმძლავრე	ლითოლოგიური ჰრილი	გრუნტის წყლების დონე
		დან	მდე			
dQ <sub>IV</sub>	1	0.0	5.0	5.0		-
P <sub>2</sub> <sup>3</sup>	2	5.0	5.8	0.8		-
ჰრილი A-C (ჰაბურდილი 5)						
გეოლოგიური ინდექსი	სგე-№	სიღრმე		ფენის სიმძლავრე	ლითოლოგიური ჰრილი	გრუნტის წყლების დონე
		დან	მდე			
dQ <sub>IV</sub>	1	0.0	6.8	6.8		-
P <sub>2</sub> <sup>3</sup>	2	6.8	8.3	1.5		-

პირობითი ნიშნები



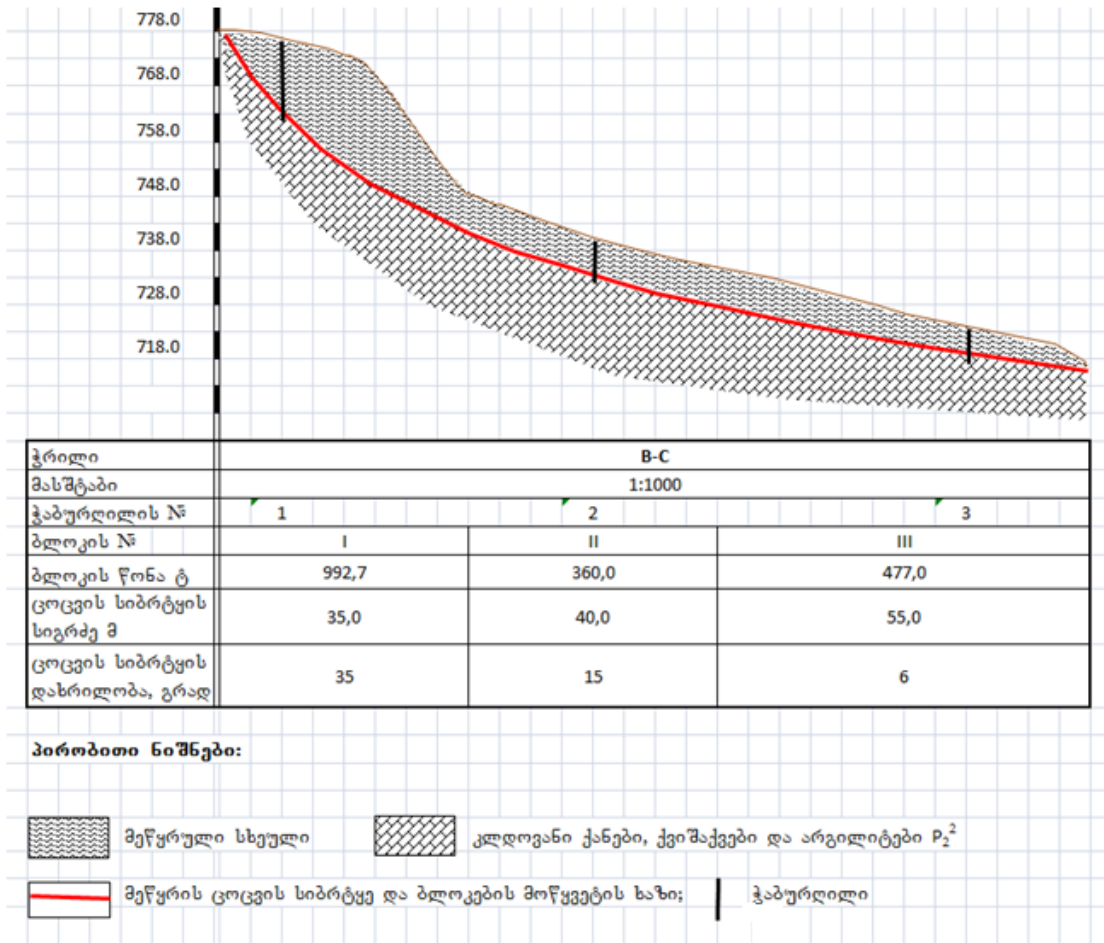
სგე-1, დელუვიური თიხები, ნახევრად მაგარი კონსისტენციის.



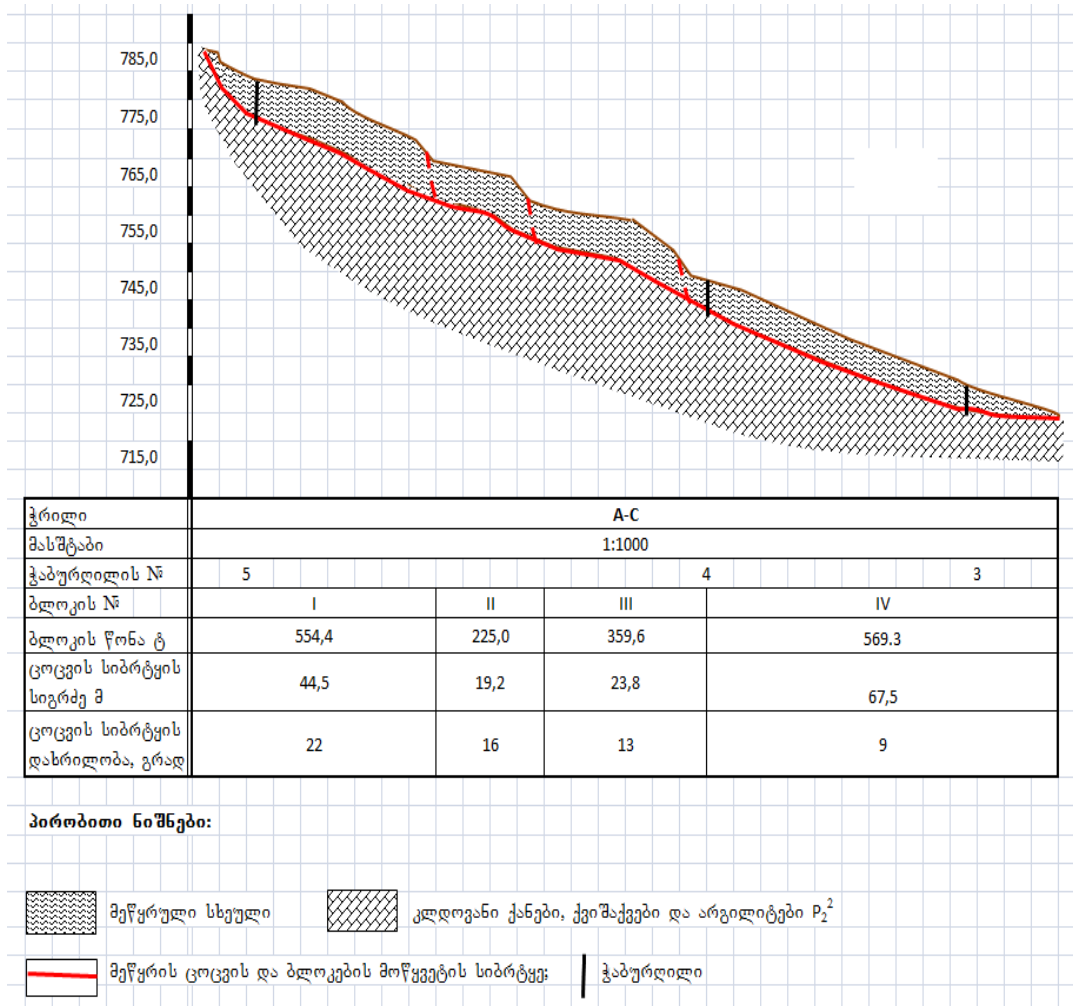


ზედა პალეოგენური ასაკის ქვიშაქვები და არგილიტები გამოფიტული, ზოგან დაშლილი.

მოწყვლად ფერდობზე მოწყობილი ჭაბურღილებიდან აღებული ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშების მიხედვით, ასევე აგებული იქნა ტერიტორიის გეოლოგიური ჭრილები (ნახ. 3.1.2, 3.1.3).



ნახ. 3.1.2 B-C ჭრილი



**ნახ. 3.1.3. A-C ჭრილი**

მეწყრული სხეულიდან აღებული ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშებში განისაზღვრა გრუნტის ფიზიკური თვისებები, სიმტკიცის მაჩვენებლები, ფერდობის მდგრადობის მახასიათებლები როგორც ბუნებრივი და სველი მდგომარეობის შემთხვევაში, ასევე სეისმურობის ფაქტორის გათვალისწინებით (იხ. ცხრილი 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5, 3.1.6, 3.1.7, 3.1.8, 3.1.9, 3.1.10, 3.1.11, 3.1.12).

B-C ჭრილის ლაბორატორიული კვლევა

ჭრილი B-C																
გიოლოგიური ინდექსი																
ნიმუშის აღების სიღრმე მ																
ფიზიკური თვისებები																
სიმტკიცე																
edQiv																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5,1	4,8	4,5	4,2	3,8	3,5											
0,38	0,38	0,35	0,32	0,33	0,32											
0,19	0,18	0,18	0,10	0,11	0,11											
19	20	17	22	22	21											
2,70	2,71	2,71	2,70	2,71	2,71											
1,90	1,87	1,84	1,88	1,90	1,85											
1,62	1,57	1,55	1,65	1,65	1,64											
0,17	0,19	0,19	0,14	0,15	0,13											
0,40	0,42	0,43	0,39	0,39	0,40											
0,66	0,72	0,75	0,64	0,64	0,66											
0,69	0,71	0,68	0,59	0,63	0,54											
0,11	0,05	0,06	0,18	0,18	0,10											
18	18	19	18	18	18											
0,20		0,20		0,22												
11		9		10												
18		0,15		0,16												

ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K ბუნებრივი)

ფერდობის მდგრადობის შეფასება, ჭრილი B-C (გრუნტების ბუნებრივი მდგომარეობა, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინების გარეშე)											
ბლოკის №	ბლოკის წონა P <sub>გ</sub>	ცოცვის სიბრტყე α				ქანების ძვრისადმი წინაღობა		შეჭიდულობა C	სეისმურობის კოეფიციენტი m	მდგრადობის კოეფიციენტი K	
		ტ	გრად	sin α	cos α	L სიგრძე	φ			tgφ	ბლოკის
	გრად						ტან	ტ/მ <sup>2</sup>			
I	992,7	35	0,57	0,82	35,0	18	0,32	0,22	0	0,48	1,7
II	360,0	15	0,26	0,97	40,0	19	0,34	0,20	0	1,37	
II I	477,0	6	0,10	0,99	55,0	18	0,32	0,20	0	3,31	

ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K სველი)

ბლოკის #	ფერდობის მდგრადობის შეფასება, ჭრილი B-C (გრუნტები დასველებულ მდგომარეობაში, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინების გარეშე)										
	ბლოკის წონა P <sub>გ</sub>	ცოცვის სიბრტყე α				ქანების ძვრისადმი წინაღობა		შეჭიდულობა C	სეისმურობის კოეფიციენტი m	მდგრადობის კოეფიციენტი K	
		φ	tgφ	ბლოკის	საშუალო						
	ტ	გრად	sin α			cos α	L სიგრძე L მ	გრად	ტან	ტ/მ <sup>2</sup>	
I	992,7	35	0,57	0,82	35,0	10	0,18	0,16	0	0,26	<b>1,0</b>
II	360,0	15	0,26	0,97	40,0	9	0,16	0,15	0	0,66	
III	477,0	6	0,10	0,99	55,0	11	0,19	0,18	0	2,05	

ცხრილი 3.1.6.

ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K ბუნებრივი სეისმურობით)

ბლოკის #	ფერდობის მდგრადობის შეფასება, ჭრილი B-C (გრუნტების ბუნებრივი მდგომარეობა, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით)										
	ბლოკის წონა P <sub>გ</sub>	ცოცვის სიბრტყე α				ქანების ძვრისადმი წინაღობა		შეჭიდულობა C	სეისმურობის კოეფიციენტი m	მდგრადობის კოეფიციენტი K	
		φ	tgφ	ბლოკის	საშუალო						
	ტ	გრად	sin α			cos α	L სიგრძე	გრად	ტან	ტ/მ <sup>2</sup>	
I	992,7	35	0,57	0,82	35,0	18	0,32	0,22	0,05	0,43	<b>1,3</b>
II	360,0	15	0,26	0,97	40,0	19	0,34	0,20	0,05	1,14	
III	477,0	6	0,10	0,99	55,0	18	0,32	0,20	0,05	2,23	

ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K სველი სეისმურობით)

ფერდობის მდგრადობის შეფასება, ჭრილი B-C (გრუნტები დასველებულ მდგომარეობაში, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით)												
ბლოკის #	ბლოკის წონა P <sub>გ</sub>	ცოცვის სიბრტყე α				ქანების ძვრისადმი წინაღობა		შეჭიდულობა C	სეისმურობის კოეფიციენტი m	მდგრადობის კოეფიციენტი K		
		ბ	გრად	sin α	cos α	სიგრძე L მ	φ			tgφ	ბლოკის	სამშუალო
	გრად						ტან	ტ/მ <sup>2</sup>				
I	992,7	35	0,57	0,82	35,0	10	0,18	0,16	0,05	0,24	<b>0,7</b>	
II	360,0	15	0,26	0,97	40,0	9	0,16	0,15	0,05	0,55		
III	477,0	6	0,10	0,99	55,0	11	0,19	0,18	0,05	1,38		

A-C ჭრილის ლაბორატორიული კვლევა

ჭრილი A-C																
გეოლოგიური ინდექსი		ფიზიკური თვისებები											სიმტკიცე			
ნიმუშის აღების სიღრმე მ		პლასტიკურობა			სიმკვრივე								ბუნებრივ მდგომარეობაში		დასველე ბული	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		ბ.ბ.	ბ.ბ.	%	გ/სმ <sup>3</sup>	გ/სმ <sup>3</sup>	გ/სმ <sup>3</sup>	ბ.ბ.	ბ.ბ.	ბ.ბ.	ბ.ბ.	ბ.ბ.	გრად.	მზა	გრად	მზა
		ტენიანობა დენადობის ზღვარზე $W_e$	ტენიანობა პლასტიკურობის ზღვარზე $W_s$	პლასტიკურობის რიცხვი $I_p$	გრუნტის ნაწილაკების $\rho_s$	ბუნებრივი $\rho$	გრუნტის ჩონჩხის $\rho^*$	ტენიანობა $W$	ფორიანობა, $n$	ფორიანობის კოეფიციენტი, $e$	ტენიანობის ხარისხი, $S_r$	დენადობის მაჩვენებელი, $I_L$	შინაგანი ხახუნ კუთხე, $\phi^0$	შეჭიდულობა, $C$	შინაგანი ხახუნ კუთხე, $\phi^1$	შეჭიდულობა, $C_1$
5.1	4.8	0.38	0.18	20	2.71	1.87	1.57	0.19	0.42	0.72	0.71	0.05	18	0.21	12	0.18
	4.5	0.35	0.18	17	2.71	1.84	1.55	0.19	0.43	0.75	0.68	0.06	19	0.20	13	0.15
	4.2	0.32	0.10	22	2.70	1.88	1.65	0.14	0.39	0.64	0.59	0.18	18	0.22	14	0.16
	3.8	0.33	0.11	22	2.71	1.90	1.65	0.15	0.39	0.64	0.63	0.18	19	0.20	13	0.15
	3.5	0.32	0.11	21	2.71	1.85	1.64	0.13	0.40	0.66	0.54	0.10	18	0.22	14	0.16

ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K ბუნებრივი)

ბლოკის №	ფერდობის მდგრადობის შეფასება, ჭრილი A-C (გრუნტების ბუნებრივი მდგომარეობა, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინების გარეშე)											
	ბლოკის წონა $P_e$	ცოცვის სიბრტყე $\alpha$				ქანების ძვრისადმი წინაღობა		შეჭიდუ ლობა C	სეისმურობის კოეფიციენტი m	მდგრადობის კოეფიციენტი K		
						$\phi$	tg $\phi$			ბლოკის	საშუალო	
	ტ	გრად	sin $\alpha$	cos $\alpha$	Lსიგრძე L მ	გრად	ტან	ტ/მ <sup>2</sup>	ბლოკის	საშუალო		
I	554,4	22	0,37	0,93	44,5	18	0,32	0,22	0	0,85	1,4	
II	225,0	16	0,28	0,96	19,2	19	0,34	0,20	0	1,26		
III	359,6	13	0,22	0,97	23,8	18	0,32	0,20	0	1,47		
IV	569,0	9	0,14	0,99	67,5	18	0,32	0,21	0	2,49		



## ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K სველი)

ბლოკის №	ფერდობის მდგრადობის შეფასება, ჭრილი A-C (გრუნტები დასველებულ მდგომარეობაში, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინების გარეშე)										
	ბლოკის წონა $P_f$	ცოცვის სიბრტყე $\alpha$				ქანების ძვრი-სადმი წინაღობა		შეჭიდულობა C	სეისმურობის კოეფიციენტი $m$	მდგრადობის კოეფიციენტი K	
		$\phi$	$tg\phi$							ბლოკის	საშუალო
	ტ	გრად	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	L სიგრძე L მ	გრად	ტან	ტ/მ <sup>2</sup>			
I	554,4	22	0,37	0,93	44,5	14	0,25	0,16	0	0,65	1,1
II	225,0	16	0,28	0,96	19,2	13	0,23	0,15	0	0,85	
III	359,6	13	0,22	0,97	23,8	13	0,23	0,18	0	1,05	
IV	569,0	9	0,14	0,99	67,5	12	0,21	0,17	0	1,66	

ცხრილი 3.1.11

ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K ბუნებრივი სეისმურობით)

ბლოკის №	ფერდობის მდგრადობის შეფასება, ჭრილი A-C (გრუნტების ბუნებრივი მდგომარეობა, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით)											
	ბლოკის წონა P <sub>გ</sub>	ცოცვის სიბრტყე α				ქანების ძვრისადმი წინაღობა		შეჭიდულობა C	სეისმურობის კოეფიციენტი m	მდგრადობის კოეფიციენტი K		
		φ	tgφ	ტ	გრად	sin α	cos α			L სიგრძე	გრად	ტან
	ტ	გრად	sin α	cos α	L სიგრძე	გრად	ტან	ტ/მ <sup>2</sup>	სეისმურობის კოეფიციენტი	ბლოკის	საშუალო	
I	554,4	22	0,37	0,93	44,5	18	0,32	0,22	0,05	0,74	1,0	
II	225,0	16	0,28	0,96	19,2	19	0,34	0,20	0,05	1,06		
III	359,6	13	0,22	0,97	23,8	18	0,32	0,20	0,05	1,19		
IV	569,0	9	0,14	0,99	67,5	18	0,32	0,21	0,05	1,83		

ცხრილი 3.1.12

ფერდობის მდგრადობის შეფასება (K სველი სეისმურობით)

ბლოკის №	ფერდობის მდგრადობის შეფასება, ჭრილი A-C (გრუნტები დასველებულ მდგომარეობაში, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით)											
	ბლოკის წონა P <sub>გ</sub>	ცოცვის სიბრტყე α				ქანების ძვრისადმი წინაღობა		შეჭიდულობა C	სეისმურობის კოეფიციენტი m	მდგრადობის კოეფიციენტი K		
		φ	tgφ	ტ	გრად	sin α	cos α			L სიგრძე	გრად	ტან
	ტ	გრად	sin α	cos α	L სიგრძე	გრად	ტან	ტ/მ <sup>2</sup>	სეისმურობის კოეფიციენტი	ბლოკის	საშუალო	
I	554,4	22	0,37	0,93	44,5	14	0,25	0,16	0,05	0,57	0,7	
II	225,0	16	0,28	0,96	19,2	13	0,23	0,15	0,05	0,72		
III	359,6	13	0,22	0,97	23,8	13	0,23	0,18	0,05	0,86		
IV	569,0	9	0,14	0,99	67,5	12	0,21	0,17	0,05	1,21		

ზემოაღნიშნული მეწყრული სხეულის ლითოლოგიური ჭრილებიდან ნათლად ჩანს მეწყრული სხეულის სრიალის ზედაპირი, რაც ქმნის საჭიროებას შეფასდეს მეწყრული ფერდობის მდგრადობა.

### 3.2. მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის დადგენა

მეწყრული ფერდობის მდგომარეობის შესაფასებლად საჭიროა ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის გაანგარიშება, რისთვისაც გამოყენებულია დახრილი არაერთგვაროვანი ცოცვის სიბრტყის მქონე მეწყრული სხეულების მდგრადობის საანგარიშო მეთოდი, როგორც ქანების ბუნებრივი მდგომარეობისათვის, ასევე სველ მდგომარეობაში. გათვალისწინებული იქნა რეგიონის სეისმური ხასიათი და მათი როლი ფერდობზე მოქმედი მძვრელი ძალების გაძლიერებაში. საბოლოოდ ფერდობის მდგრადობის გამოსათვლელად გამოყენებული იქნა შემდეგი ფორმულა:

$$k = N \operatorname{tg} \phi + CL / T \quad (3.2.1)$$

სადაც: N- შემაკავებელი ძალების მდგენელია და ტოლია:  $P_i \cos \alpha$ , სადაც  $P_i$  ბლოკის წონაა,  $\alpha$  მეწყრის ცოცვის სიბრტყის დახრის კუთხე მოცემული ბლოკის ფარგლებში;  $\phi$  ქანების ძვრისადმი წინაღობის კუთხე; C ქანში არსებული შეჭიდულობის ძალები, LL ცოცვის სიბრტყის სიგრძე; T მძვრელი ძალებისა და ტოლია  $P_i \sin \alpha$ ; თუ ამ ფორმულაში ჩავსვავთ სეისმურობის კოეფიციენტს  $m$ , რომელიც 8 ბალიანი ზონებისათვის 0,05-ის ტოლია.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, გამოყენებული ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$k = P_i (\cos \alpha - m \sin \alpha) + CL / P_i \sin \alpha \quad (3.2.2)$$

მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის K-ს მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 3.2.1.

მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი K

ჭრილი	მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი K			
	გრუნტების ბუნებრივი მდგომარეობა, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინების გარეშე	გრუნტების სველი მდგომარეობა, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინების გარეშე	გრუნტების ბუნებრივი მდგომარეობა, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით	გრუნტები დასველებულ მდგომარეობაში, სეისმურობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით
ჭრილი A-C	1.4	1.1	1.0	0.7
ჭრილი B-C	1.7	1.0	1.3	0.7
საშუალო	1.55	1.05	1.15	0.7

ცხრილში 3.2.1 მოცემული მონაცემებიდან შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ მეწყერი საკმაოდ აქტიურ ფაზაში იმყოფება, მასზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ატმოსფერული ნალექები წვიმის და თოვლის სახით, ასევე ფერდობი მგრძნობიარეა სეისმური მოვლენების მიმართ.

**3.3. მეწყრული ფერდობის მდგრადობის პროგნოზირება.**

მდ. გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ეკოლოგიური რისკების დადგენისათვის საჭიროა, საველე-სარეკოგნოსცირებო კვლევების შედეგად შერჩეული დამაბულ მდგომარეობაში მყოფი მეწყრული ფერდობის მდგრადობის პროგნოზირება, რისთვისაც განხორციელდა შემდეგი გაანგარიშებები:

- ფერდობიდან აღებული იქნა ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშები და ლაბორატორიულ პირობებში განისაზღვრა შემდეგი მახასიათებლები: შიდა ხახუნის კუთხე  $\varphi=13^{\circ}$ , შეჭიდულობა  $c = 1,3\text{ტ/მ}^2$ , ფორიანობა  $n = 0,5$ , მინერალის სიმკვრივე  $\rho_{\theta}=2,67\text{ტ/მ}^3$ , სითხის სიმკვრივე  $\rho_{\nu}=1\text{ტ/მ}^3$ .

ზემოაღნიშნული მონაცემები გამოყენებულ იქნა საკვლევ ფერდობზე გრუნტის ფენის კრიტიკული (როცა იწყება მოძრაობა) სიღრმის დასადგენად,

„მშრალი“ გრუნტის შემთხვევაში; გაანგარიშება განხორციელდა შემდეგი მეთოდოლოგიით [115-118]:

$$\frac{1}{z} \leq \frac{c}{\rho g z} = \sin \alpha - \tan \varphi \cos \alpha \quad (3.3.1),$$

სადაც  $\bar{z} = \frac{\rho g z}{c}$  - არის გრუნტის ფენის ფარდობითი სისქე, რომლის გაზრდა იწვევს ფერდობის დაძვრას;  $\alpha$  - არის ფერდობის დახრილობის კუთხე, ხოლო წყლით გაჯერებული ფერდობის შემთხვევაში გვაქვს:

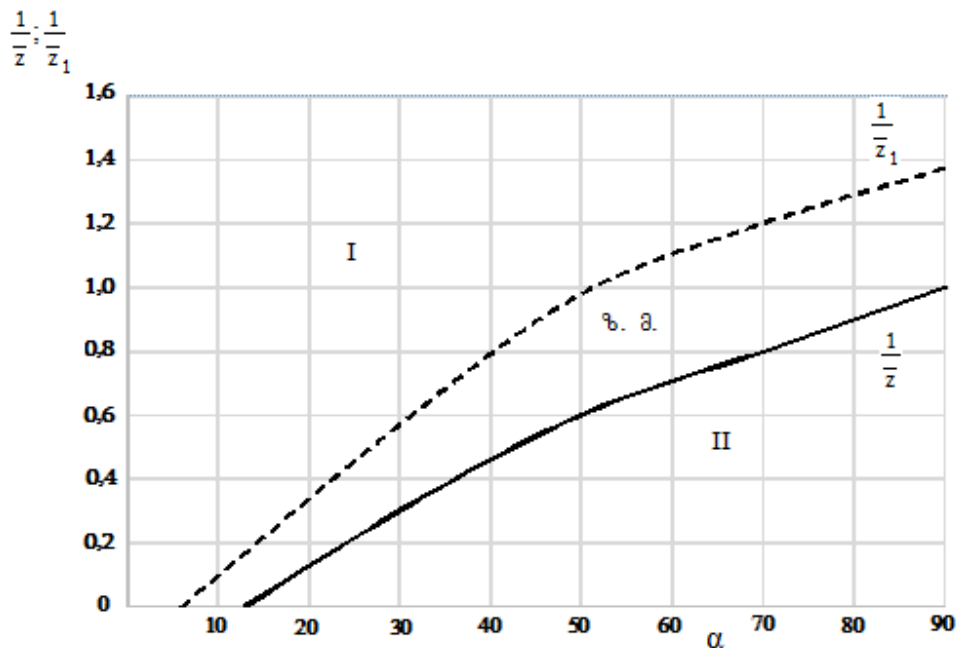
$$\frac{1}{z_1} \leq \frac{c}{\rho g z_1} = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho \theta}\right) \cdot (\sin \alpha - \tan \varphi \cos \alpha) + \frac{\rho_b}{\rho \theta} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{1}{1-n} \quad (3.3.2),$$

ჩვენი მონაცემების გათვალისწინებით მივიღებთ შემდეგ დამოკიდებულებებს:

$$\frac{1}{z} = \sin \alpha - 0.23 \cos \alpha \quad (3.3.3)$$

$$\frac{1}{z_1} = 1.374 \sin \alpha - 0.144 \cos \alpha \quad (3.3.4)$$

ზემოაღნიშნულ დამოკიდებულებებში ფერდობის კრიტიკულ ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულება გამოისახება ნახ. 3.3.1-ზე მოცემული გრაფიკის სახით.



ნახ. 3.3.1. ფერდობის კრიტიკულ ფარდობით სიღრმეებსა და ქანობს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

ნახაზზე I არე შეესაბამება ფერდობის მდგრად მდგომარეობას, ზ.მ. შეესაბამება ზღვრულ მდგომარეობას, ხოლო II კი ზღვარს მიღმიერ, ანუ როცა ფერდობი დაიძვრება.

„მშრალი“ გრუნტისთვის მივიღოთ  $\rho = 1.3 \text{ ტ/მ}^3$ , მაშინ  $\alpha = 30^\circ$ -ის შემთხვევაში

$$\frac{c}{\rho g z} \leq 0.3 \quad (3.3.5)$$

საიდანაც  $z \geq 3, (3) \text{ მ}$  და დაიწყება მოძრაობა.  $\alpha = 40^\circ$ -თვის  $z \geq 2.12 \text{ მ}$ , ხოლო  $\alpha = 50^\circ$ -თვის  $z \geq 1.66 \text{ მ}$ .

წყლით გაჯერებული გრუნტისთვის მოძრაობა დაიწყება  $30^\circ$  –ის შემთხვევაში.

$$\frac{c}{\rho g \cdot (1-n) \cdot g \cdot z_1} \leq 0.56 \quad (3.3.6)$$

საიდანაც  $z_1 \geq 1.76 \text{ მ}$ ,  $40^\circ$ -თვის  $z_1 \geq 1.20 \text{ მ}$ , ხოლო  $50^\circ$ -თვის  $z_1 \geq 1.00 \text{ მ}$ .

ზემოაღნიშნული ანგარიშიდან ჩანს, რომ წყლით გაჯერების შემთხვევაში მოძრაობაში მოდის დამეწყრილი ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის სისქის თითქმის ნახევარი, ვიდრე „მშრალი“ გრუნტის შემთხვევისას.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, წყლით გაჯერება ფერდობის დახრის კრიტიკულ კუთხეს (როცა იწყება მოძრაობა) ამცირებს დაახლოებით  $7^\circ \div 38^\circ$  –ით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, საკვლევი ფერდობი აშკარად მეწყერსაშიშია, რადგან საშუალოდ  $40^\circ$ -იანი კუთხის ქანობის შემთხვევაში, საკმარისია  $1.20 \text{ მ}$ -ის სიღრმის გრუნტის მასა, რომ წყლით გაჯერების პირობებში მოხდეს ფერდობის წონასწორობის დარღვევა.

ამრიგად, ანალოგიურად შეიძლება განხორციელდეს ფერდობების მდგრადობის პროგნოზირება ნებისმიერი მდინარის წყალშემკრებ აუზში, მეწყერსაშიშ უბნებზე.

## თავი 4. მდ. გლდანისხევის ხეობაში მოსალოდნელი ღვარცოფის პროგნოზირება და მართვის თანამედროვე ღონისძიების შემუშავება

### 4.1. მდ. გლდანისხევის ხეობაში მოსალოდნელი ღვარცოფის სხვადასხვა პროცენტული უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯების პროგნოზირება

საქართველოს ტერიტორიაზე გავრცელებული ბუნებრივი კატასტროფებიდან ერთ-ერთი ძირითადი ყურადღების ობიექტია ღვარცოფული მოვლენები, რომელსაც ადგილი აქვს თითქმის ყველა მთისა და მთისწინა რეგიონში. ეს პრობლემა განსაკუთრებულ აქტუალობას იძენს გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდში, როდესაც ხშირი წვიმები და თოვლის ინტენსიური დნობა მთიან რეგიონებში ქმნიან ღვარცოფების ფორმირებისათვის ხელსაყრელ პირობებს. ღვარცოფების წარმოშობის მოულოდნელობისა და მოქმედების ხანმოკლეობის გამო, აგრეთვე მათთვის დამახასიათებელი დიდი დამანგრეველი ძალის გამოვლინების შედეგად მათ წინააღმდეგ ბრძოლა ხშირად სცილდება მატერიალურ მხარეს და მოიცავს სოციალურ სფეროსაც, ვინაიდან ხშირად იქმნება სიტუაცია, როდესაც აუცილებელი ხდება მოსახლეობის არა დროებითი ევაკუაცია, არამედ ხანგრძლივი ვადით, სხვა ნაკლებად საშიშ ადგილებში მათი ჩასახლება.

ზემოაღნიშნული გარემოების გათვალისწინებით, საქართველოში არსებული ღვარცოფული ხასიათის მდინარეთა წყალშემკრებ აუზებში გააქტიურებული, სხვადასხვა გენეზისის ღვარცოფული მოვლენების გამო, აუცილებელია განხორციელდეს ღვარცოფსაწინააღმდეგო ეფექტურ-რესურსმზოგი ღონისძიებები, რათა მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი ეკოლოგიური რისკები [6].

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით ჩვენი კვლევის ობიექტს წარმოადგენს მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრები აუზი, რომელიც 64 კმ<sup>2</sup>-ია. მხოლოდ ამ ერთ აუზში 91 მეწყრული სხეული და 5 ღვარცოფული ხევია დაფიქსირებული [97].

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ჩვენ მიერ საკვლევად შერჩეული იქნა მდინარე გლდანისხევის მარჯვენა შენაკადის ჯოხთანის ხევის განსაკუთრებით მოწყვლადი წყალშემკრები აუზი, სადაც ბოლო პერიოდის მონაცემებით, 5 წლიანი ინტერვალით ფორმირდება ეროზიული და მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული მოვლენები, რასაც თან სდევს ადგილობრივი მოსახლეობის საკარმიდამო ნაკვეთების და სახლების ნგრევა.

აღნიშნულის გათვალისწინებით, ჯოხთანის ხევში მოსალოდნელი ღვარცოფის პროგნოზირებისათვის საჭირო მონაცემების მოსაპოვებლად, განხორციელდა საველე კვლევები (იხ. ფოტო 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4).

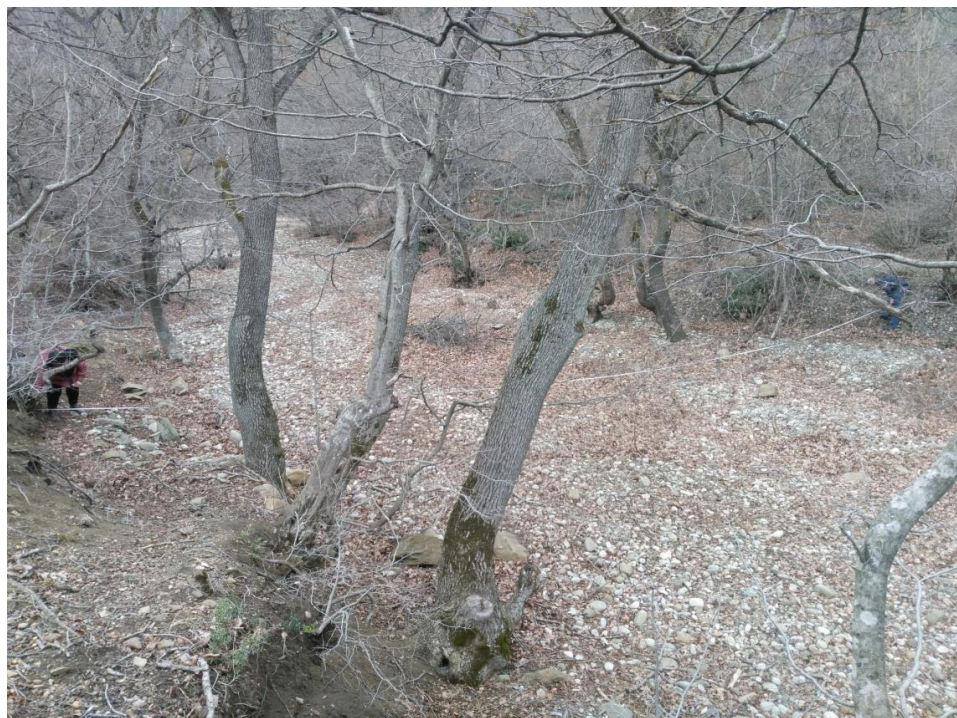


**ფოტო 4.1.1 ეროზიულ-მეწყრული გენეზისის ღვარცოფული ხასიათის შენაკადის ჯოხთანის ხევის წყალსადინარის და მისი მიმდებარე დეგრადირებული ფერდობის საერთო ხედი**





**ფოტო 4.1.2 ჯოხთანის ხევის კალაპოტში სედიმენტირებული  
ღვარცოფული მასა**



**ფოტო 4.1.3 ჯოხთანის ხევის კალაპოტის მახასიათებელი პარამეტრების  
გაზომვის პროცესი**





**ფოტო 4.1.4 ჯოხთანის ხევის კალაპოტის მარცხენა ნაპირზე დაფიქსირებული 1,2 მ სიმაღლის ღვარცოფის გავლის კვალი**

ჯოხთანის ხევის წყალშემკრებ აუზში განხორციელებული საველე კვლევების შედეგად მიღებული მონაცემების და პროფესორ გივი გავარდაშვილის მიერ მიღებული ემპირიული დამოკიდებულების [6] გამოყენებით დადგენილ იქნა ჯოხთანის ხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის სხვადასხვა პროცენტული უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯები (იხ. ცხრილი 4.1.2):

$$Q_{მაქს.} = A(34 + 400i) \cdot F_0^{0.61} \text{ (მ}^3\text{/წმ)}; \quad (4.1.1)$$

სადაც,  $i$  - შენაკადის საშუალო ქანობია;

$F_0$ - მდინარის წყალშემკრები აუზის ფართობი (კმ<sup>2</sup>),

$A$  - ხარჯის კოეფიციენტი, რომლის კავშირი უზრუნველყოფის კოეფიციენტთან ( $P$  %) მოცემულია ცხრილი 4.1.1-ის სახით.

ცხრილი 4.1.1

ხარჯის კოეფიციენტსა ( $A$ ) და უზრუნველყოფის კოეფიციენტის ( $P$ %)

დამოკიდებულება.

( $P$ %)– უზრუნველყოფის კოეფიციენტი.	0.1	1	3	5	10	25	50
$A$ – ხარჯის კოეფიციენტი	2.4	1	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2

ჯოხთანის ხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის სხვადასხვა პროცენტული უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯები

№	შენაკადის დასახელება	წყალშემკრებ აუზის ფართობი $F_0$ (კმ <sup>2</sup> )	შენაკადის სიმაღლეები ზღვის დონიდან $H$ (მ)		შენაკადის სიგრძე $L$ (კმ)	ქანობა $i$	ღვარცოფის სხვადასხვა უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯები $Q_{მაქს.}$ (მ <sup>3</sup> /წმ)		
			სათავე (მ)	შესართავი (მ)			0.1%	1%	10%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ჯოხთანის ხევი	10,6	1120	580	4,2	0,128	863,2	359,6	179,8

როგორც ცხრილი 4.1.2-დან ჩანს ჯოხთანის ხევი მოსალოდნელი ღვარცოფის 1%-იანი უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯი შეადგენს 359,6 (მ<sup>3</sup>/წმ), რაც ადგილობრივი მოსახლეობისათვის დიდ საფრთხეს წარმოადგენს და საჭიროა ქმედითი და ეფექტური საინჟინრო ღონისძიების განხორციელება მოსალოდნელი ეკოლოგიური კატასტროფის შესარბილებლად.

**4.2. ბმული ღვარცოფის მუდმივი ხარჯით მოძრაობის დროს წარმოქმნილი უწყვეტი ტალღის დამრტყმელი ძალის საანგარიშო დამოკიდებულების კორექტირება**

ღვარცოფული ნაკადის მოძრაობის პარამეტრების დამყარებული (სტაციონარული) ერთი მნიშვნელობა ხარჯის მდოვრე ცვლილების გამო თანდათან გადადის სხვა დამყარებულ მოძრაობაში, დინამიკური ეფექტების გარეშე, რომლებიც დაკავშირებულია ინერციასთან ან იმპულსთან, ამ შემთხვევაში ყოველთვის შეინიშნება უწყვეტი ტალღები. ეს კვაზისტაციონარული მოვლენა შეინიშნება ყველგან, როდესაც

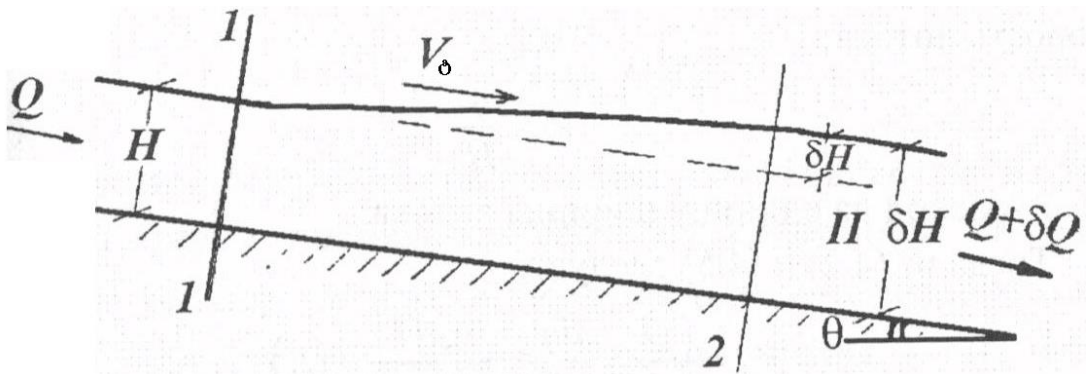
გრავიტაციური ძალები თანდათან წონასწორდება წინალობის ძალებით. განვიხილოთ ორი შემთხვევა: უწყვეტი ტალღების მოძრაობა მუდმივი და ცვლადი ხარჯებით [108].

ბუნებრივია, რომ ბმული ღვარცოფის ხარჯი სტაციონარული თანაბარი მოძრაობის რეჟიმის დროს დამოკიდებულია სიღრმე  $H$ -ზე.

უწყვეტი ტალღის სიჩქარე  $V_{\phi}$ , რომელიც გადის საკონტროლო კვეთებში 1-1 და 2-2 (ნახ. 4.2.1), შეიძლება განვსაზღვროთ უწყვეტობის პირობიდან; მოცემულ შემთხვევაში ადგილი აქვს შემდეგ ტოლობას:

$$Q - \omega V_{\phi} = Q + \delta Q - V_{\phi}(\omega + \delta\omega), \quad (4.2.1)$$

სადაც:  $Q$  - ნაკადის ხარჯი 1-1 კვეთში;  $Q + \delta Q$  - ნაკადის ხარჯი 2-2 კვეთში;  $\omega$  - ნაკადის ცოცხალი კვეთი 1-1 კვეთში;  $\omega + \delta\omega$  - ნაკადის ცოცხალი კვეთი 2-2 კვეთში;  $V_{\phi}$  - უწყვეტი ტალღის გავრცელების სიჩქარე.



ნახ. 4.2.1 კალაპოტის გასწვრივ მუდმივი ხარჯის მქონე ბმული ღვარცოფის უწყვეტი ტალღის საანგარიშო სქემა

(4.2.1) გამომდინარეობს:

$$V_{\phi} = \frac{\partial Q}{\partial \omega}, \quad (4.2.2)$$

იმის გათვალისწინებით, რომ

$$Q = V\omega, \quad (4.2.3)$$

(4.2.2) ნაცვლად გვაქვს:

$$V_{\phi} = \frac{\partial(\omega V)}{\partial \omega} = V \frac{\partial \omega}{\partial \omega} + \omega \frac{\partial V}{\partial \omega} \quad (4.2.4)$$

$$\text{ან} \quad V_{\phi} = V + \omega \frac{\partial V}{\partial \omega}, \quad (4.2.5)$$

სადაც  $V$  - საშუალო ნაკადის სიჩქარე ცოცხალ კვეთში.

(4.2.5) მივიღეთ, რომ უწყვეტი ტალღის სიჩქარე  $V_{\phi}$  საშუალო ნაკადის სიჩქარეზე ცოცხალ კვეთში მეტია ამ  $\omega \frac{\partial V}{\partial \omega}$  სიდიდით.

ბმული ღვარცოფის ხარჯი მოძრაობის თანაბარი რეჟიმების დროს უდრის:

$$Q = \frac{BgiH^3}{v_b} f(\beta), \quad (4.2.6)$$

სადაც:  $v_b = \mu_b/\rho_b$  - ბმული ღვარცოფის კინემატიკური სიბლანტე;  $\mu_b$  - ბმული ღვარცოფის დინამიკური სიბლანტე;  $\rho_b$  - ბმული ღვარცოფის სიმკვრივე.

$$f(\beta) = \frac{\beta}{2}(\beta^2 - 1) + \frac{1}{3}(1 - \beta^3). \quad (4.2.7)$$

ნაკადის საშუალო სიჩქარე კალაპოტში მართკუთხა განივი კვეთით:

$$V = \frac{q}{H} \quad (4.2.8)$$

სადაც  $q$  - ხარჯი ნაკადის სიგანის ერთეულზე.

მაშინ (4.2.2)-დან და (4.2.5)-დან მიიღება:

$$V_{\phi} = \frac{\partial Q}{\partial \omega} = \frac{dq}{dH} = \frac{3giH^2}{v_b} f(\beta) \quad (4.2.9)$$

(4.2.7) გათვალისწინებით:

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{q}{H} = \frac{giH^2}{v_b} f(\beta). \quad (4.2.10)$$

(4.2.8) და (4.2.9) შედარებით მივიღებთ:

$$V_{\phi} = 3 \bar{V}. \quad (4.2.11)$$

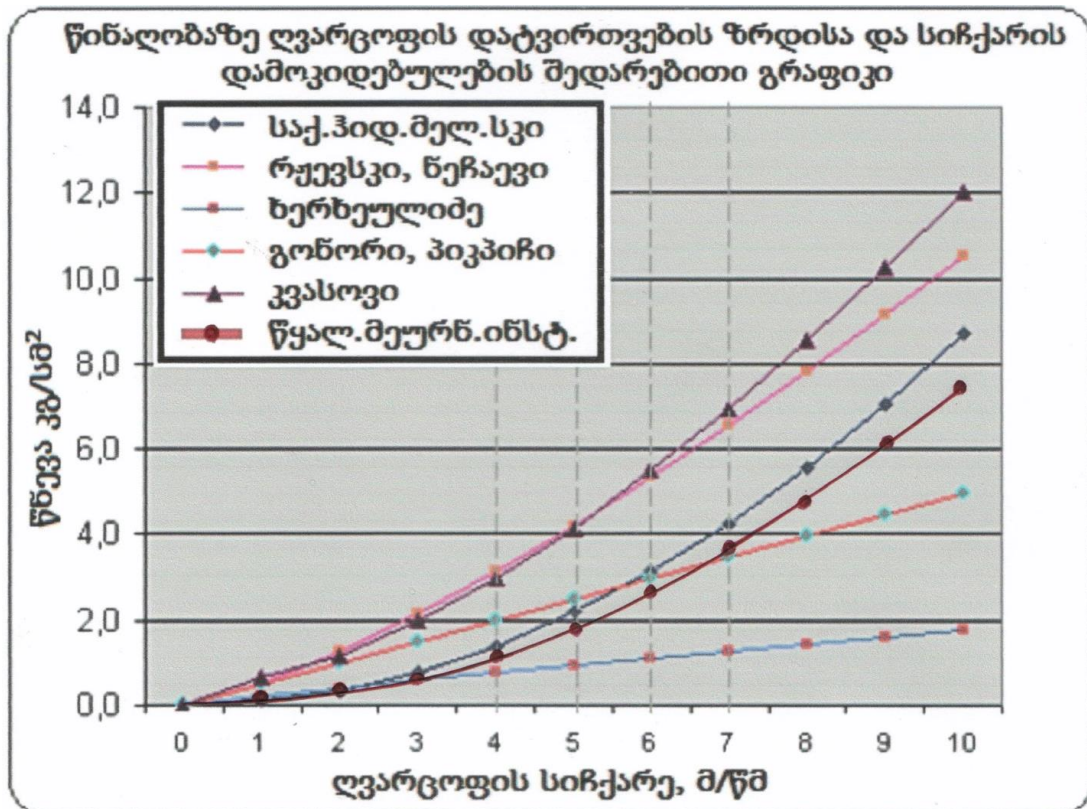
ამრიგად გამოდის, რომ უწყვეტი ტალღის სიჩქარე სამ ჯერ მეტია ვიდრე საშუალო ნაკადის სიჩქარე ცოცხალ კვეთში [108].

ზემოაღნიშნული მსჯელობის შედეგის გასათვალისწინებლად, შემოთავაზებული გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედების შესაფასებელ ფორმულაში, უწყვეტი ტალღების წინსვლითი ნაკადის მუდმივი ხარჯით მოძრაობის დროს ბმული ღვარცოფის საშუალო სიჩქარე უნდა გამრავლდეს 3-ზე, ანუ გვექნება  $\bar{V}$ -ს ნაცვლად  $3 \bar{V}$ , რაც უფრო მეტი სიზუსტით ასახავს ნაგებობაზე ბმული

ღვარცოფის ტალღურ ზემოქმედებას. შესაბამისად დამოკიდებულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$P = \frac{1,5 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot 3\bar{V}^2}{g} \cdot \left[ \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \left( \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right] \quad (4.2.12)$$

შესწორებული ფორმულის ვალიდურობის დასაზუსტებლად მიღებული შედეგები შედარებული იქნა სხვა ავტორების [109] მიერ წარმოდგენილი დამოკიდებულებებით მიღებულ შედეგებთან (იხ. ნახ. 4.2.2).



ნახ. 4.2.2

ამრიგად გრაფიკიდან ჩანს, რომ დაზუსტებული დამოკიდებულებით მიღებული შედეგები ახლოს არის ნატურაში ჩატარებული ექსპერიმენტით მიღებულ შედეგებთან, რაც გვაძლევს საფუძველს რეკომენდაცია გაუწიოთ აღნიშნულ დამოკიდებულებას წინსვლითი ნაკადის მუდმივი ხარჯით მოძრაობის დროს ბმული ღვარცოფის უწყვეტი ტალღების ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ზემოქმედების შესაფასებლად.



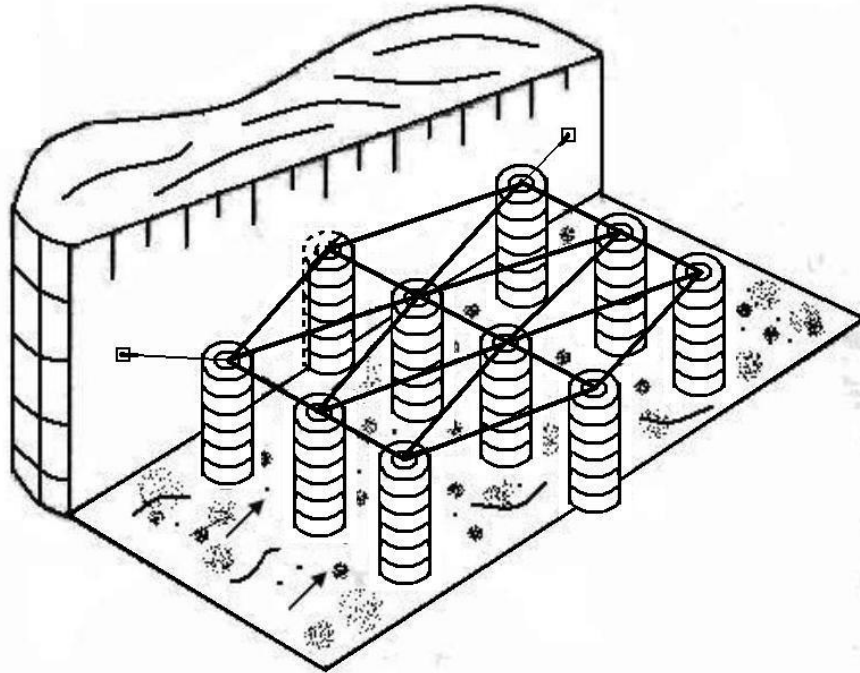
### 4.3. მდინარე გლდანისხევის ხეობაში მოსალოდნელი ღვარცოფის ზემოქმედების შეფასება გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალ კონსტრუქციაზე

მდ. გლდანისხევის ხეობაში განხორციელებული საველე და თეორიული კვლევის შედეგად გამოვლინდა განსაკუთრებით ღვარცოფსაშიში წყალსადინარი - ჯოხთანის ხევი, სადაც მოსალოდნელი ღვარცოფის 1%-იანი უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯი შეადგენს 359,6 (მ<sup>3</sup>/წმ), რაც ადგილობრივი მოსახლეობისათვის დიდ საფრთხეს წარმოადგენს და საჭიროა ქმედითი და ეფექტური საინჟინრო ღონისძიების განხორციელება მოსალოდნელი ეკოლოგიური კატასტროფის შესარბილებლად.

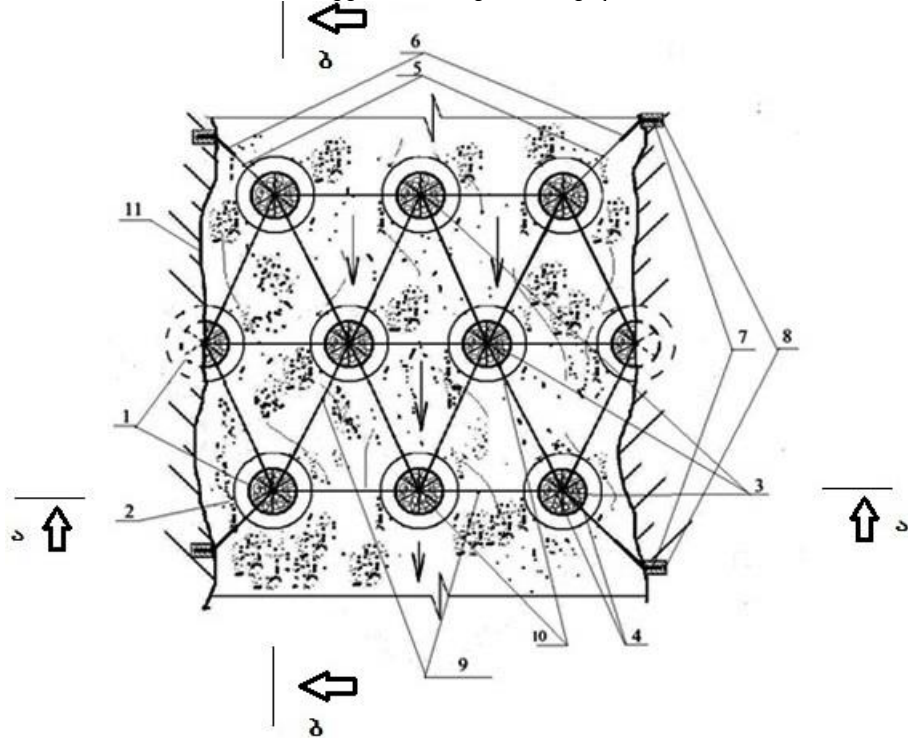
ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით შემუშავებული იქნა, გარსდენის პრინციპზე აგებული, რესურსმზოგი გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა [110-113], რომელიც შედგება ჭადრაკული სქემით შეკრული ცილინდრული ფორმის ელემენტებისაგან, რომლებიც წარმოადგენენ ლითონის ღერძის მქონე, მდინარის კალაპოტში არსებული ინერტული მასით სავსე ლითონის მილებს, რომლებზეც წამოცმულია საბურავები, ისინი ჩამაგრებულია რკინა-ბეტონის ფუძეზე (იხ. ნახ. 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4).

აღნიშნული გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის სქემის შემადგენელი ელემენტებია: (1) ლითონის მილი, (2) საბურავები, (3) ლითონის ღერძი, (4) ლითონის ღერძისა და მილის შემაერთებელი ლითონის ირიბანები, (5) მდინარის კალაპოტის ფერდობებზე ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის შემადგენელი ცილინდრული ელემენტების დასამაგრებელი ტროსი, (6) ტროსის მომჭერი, (7) მდინარის კალაპოტის ფერდობებზე ტროსების მომჭერების მისამაგრებელი ანკერები, (8) მდინარის კალაპოტის ფერდობებზე ანკერების დასამაგრებელი ბეტონი, (9) ნაგებობის ცილინდრული ელემენტების ერთმანეთთან შემაკავშირებელი ლითონის

ირიბანები, (10) მილში მოთავსებული ინერტული მასალა, (11) მდინარის კალაპოტის ფერდობები, (12) ნაგებობის რკინაბეტონის საძირკველი.



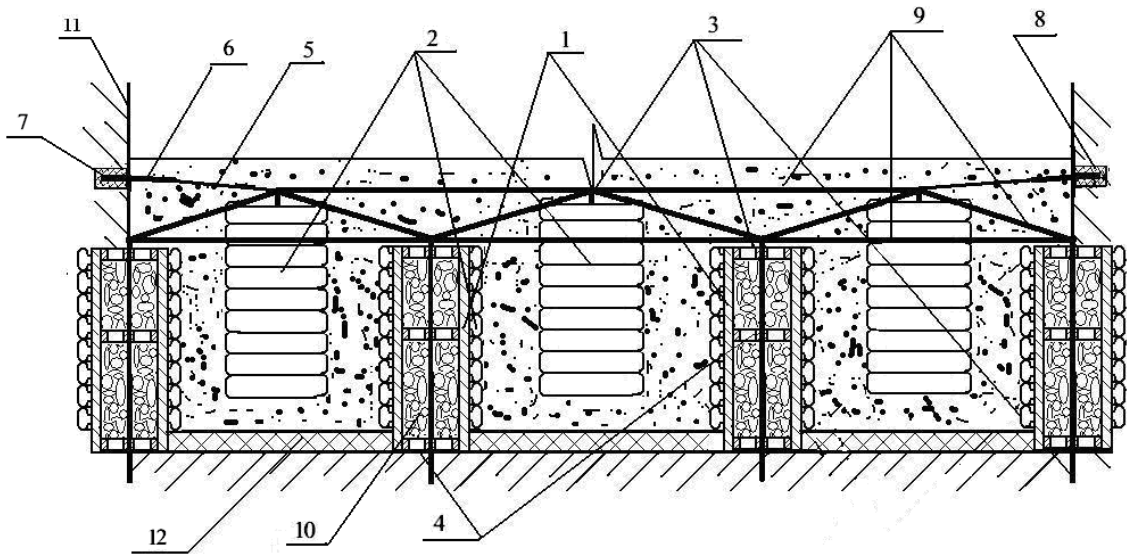
ნახ. 4.3.1. გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის საერთო ხედი



ნახ. 4.3.2. გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის გეგმა

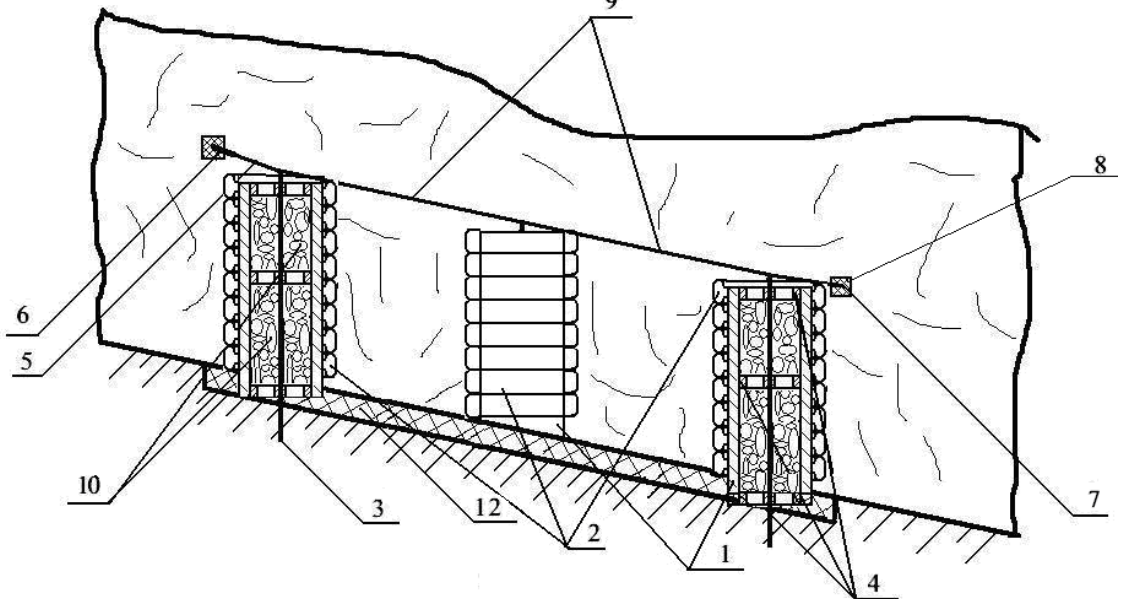


ჭრილი ა-ა



ნახ. 4.3.3. ნაგებობის წინხედი (ქვედა ბიევიდან)

ჭრილი ბ-ბ



ნახ. 4.3.4. ნაგებობის გვერდხედი

ზემოაღნიშნულ გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედების შესავასებლად მოცემულია ანგარიში ჯოხთანის ხევის წყალშემკრებ აუზში განხორციელებული საველე კვლევების შედეგად მიღებული მონაცემების და კონკრეტული დაშვებების გათვალისწინებით [114]:

თავდაპირველად უნდა აღინიშნოს, რომ ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტების რიგებს შორის დაცილება მიიღება  $L=10$  მ, ამიტომ  $L$ -ის სიმცირის გამო, ანგარიშში არ არის გათვალისწინებული ღვარცოფის ენერჯის სიგრძეზე დანაკარგი ნაგებობის ცილინდრული ელემენტების I რიგიდან III რიგამდე ღვარცოფის გავლისას. ყრუ ნაგებობის შემთხვევაში, ნაგებობაზე ღვარცოფის მოქმედი ძალის სიდიდე ტოლია:

$$P = K_1 \frac{\gamma \cdot Q^2}{g \cdot \omega} \quad (4.3.1)$$

სადაც  $K_1$  – ექსპერიმენტული კოეფიციენტი;

$\gamma$  – ღვარცოფის მოცულობითი წონა კგ/მ<sup>3</sup>-თან;

$Q$  – ღვარცოფის ხარჯია მ<sup>3</sup>/წმ-ში;

$g$  – სიმძიმის ძალის აჩქარება (მ/წმ<sup>2</sup>);

$\omega$  – ცოცხალი კვეთის ფართობი მ<sup>2</sup>.

ნაკადის მოძრაობის მოდელიდან გამომდინარე მიღებულია  $K_1$ -ის მნიშვნელობა.

$$K_1 = 1,5 \cdot \left[ \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \cdot \left( \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right] \quad (4.3.2)$$

სადაც  $h_0$  – ბმულობის შესაბამისი ექვივალენტური სიმაღლე;

$\varphi$  – შიგა ხახუნის კუთხე;

$H$  – ღვარცოფული ნაკადის სიმაღლე;

$\alpha$  – კალაპოტის ქანობი.

ზემოთ მოყვანილი აღნიშვნების გათვალისწინებით, ნაგებობაზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის სიდიდის საანგარიშო (კორექტირებულ) ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$P = \frac{1,5 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot 3\bar{V}^2}{g} \cdot \left[ \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \cdot \left( \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right] \quad (4.3.3)$$

ნაგებობაზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის მნიშვნელობა მისი გამჭოლუნარიანობის ფუნქციას წარმოადგენს, აქედან გამომდინარე, პირველ რიგში გაანგარიშება მის ანალოგიურ ყრუ ნაგებობაზე ხდება, რომლის

გათვალისწინებით, ნაგებობაზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის ძალა, როცა ნაკადის და კალაპოტის მახასიათებლებია მოცემული, ე.ი. როცა მოსალოდნელი ღვარცოფის 1%-იანი უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯი შეადგენს 359,6 (მ<sup>3</sup>/წმ), ჯობთანის ხევის ნაკადის სიმაღლე H=6,5 (მ)-ს, ღვარცოფსადინარის კალაპოტის სიგანე B=25 (მ)-ს, ნაკადის სიჩქარე V=1,8 (მ/წმ), მოცულობითი მასა  $\gamma = 2000$  კგ/მ<sup>3</sup>, შინაგანი ხახუნის კუთხე  $\varphi = 30^\circ$  -ს და სადინარის ქანობი  $i = 0,128$ , ტოლია:

$$P = \frac{1,5 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot 3\bar{V}^2}{g} \cdot \left[ \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \left( \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right] =$$

$$\frac{1,5 \cdot 2000 \cdot 205 \cdot 3(1,8)^2}{9,81} \left[ 0,991 \cdot 0,577 + \frac{5,5}{2 \cdot 6,5} \left( \frac{1 - 0,5}{0,866} \right) \right] = 4878,3 \text{ კ. ნ.}$$

რადგან შემოთავაზებული ნაგებობა არის გამჭოლი, გამავლობის კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით.

$$K_2 = \frac{\omega_{\text{გამჭოლი}}}{\omega} \quad \text{ან} \quad K_2 = \frac{(B - n \cdot d) \cdot H}{B \cdot H} = 1 - \frac{n \cdot d}{B}, \quad (4.3.4)$$

სადაც  $\omega_{\text{გამჭოლი}}$  - ნაგებობის რიგში, ცილინდრული ფორმის ელემენტებს შორის არსებული გამჭოლი ფართი;

$n$  - ნაგებობის რიგში, ცილინდრული ფორმის ელემენტების რაოდენობაა, ჩვენს შემთხვევაში ნაგებობის კონსტრუქციიდან გამომდინარე  $n = 3$ .

$d$  - ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტის დიამეტრი, ე.ი

$$K_2 = 1 - \frac{3 \cdot d}{25} = 1 - 0,12d; \quad K_2 = 1 - 0,12d, \text{ აქედან } d = \frac{1 - K_2}{0,12}; \quad (4.3.5)$$

რაც შეეხება გამჭოლი ნაგებობის პირველ რიგზე, ისევე როგორც ყოველ შემდგომ რიგზე მოქმედ დამრტყმელ ძალას, ყრუ ნაგებობასთან შედარებით, სხვადასხვა დაშვებების შემთხვევაში (სულ 5 დაშვება,  $m=1, \dots, 5$ ) როგორც პროცენტობით, ასევე წილობრივად მოცემულია ფუნქციური დამოკიდებულებების სახით.

$$\frac{P_{m \text{ ყრუ}}}{P} = f(K_2) \quad (4.3.6)$$

I დაშვება  $K_2 = 0,8$  მაშინ, (4.3.7)

$$\frac{P_{1 \text{ ყრუ}}}{P} = 20\% = 0,2, \quad (4.3.8)$$

ხოლო  $P_{1 \text{ ყრუ I რიგი}} = P \cdot 0,2 = 4878,3 \cdot 0,2 = 975,66$  კ.ნ. (4.3.9)

$$d_1 = \frac{1-0,8}{0,12} = 1(6) \text{ მ} - \text{ს.}$$

გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტების 1,(6) მ დიამეტრის შემთხვევაში, ნაგებობის პირველი რიგის შემადგენელ ელემენტებზე ღვარცოფის ზემოქმედების შემდეგ, ნაგებობის მეორე რიგის ელემენტებზე მოქმედი ნარჩენი დამრტყმელი ძალა  $P_{1 \text{ ნარჩენი I რიგი}}$  ტოლია:

$$P_{1 \text{ ნარჩენი I რიგი}} = P - P_{1 \text{ ყრუ I რიგი}} = 4878,3 - 975,66 = 3902,64 \text{ კ.ნ.},$$

(4.3.10)

ხოლო  $P_{1 \text{ ყრუ II რიგი}} = P_{1 \text{ ნარჩენი I რიგი}} \cdot 0,2 = 3902,64 \cdot 0,2 = 780,53$  კ.ნ. (4.3.11)

ნაგებობის მეორე რიგის შემადგენელი ცილინდრული ფორმის ელემენტებზე ღვარცოფის ზემოქმედების შემდეგ, ნაგებობის მესამე რიგის ელემენტებზე მოქმედი ნარჩენი დამრტყმელი ძალა  $P_{1 \text{ ნარჩენი II რიგი}}$  ტოლია:

$$P_{1 \text{ ნარჩენი II რიგი}} = P_{1 \text{ ნარჩენი I რიგი}} - P_{1 \text{ ყრუ II რიგი}} = 3902,64 - 780,53 = 3122,1 \text{ კ.ნ.}, \quad (4.3.12)$$

ხოლო  $P_{1 \text{ ყრუ III რიგი}} = P_{1 \text{ ნარჩენი II რიგი}} \cdot 0,2 = 3122,1 \cdot 0,2 = 624,4$  კ.ნ. (4.3.13)

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$P_{1 \text{ ნარჩენი III რიგი}} = P_{1 \text{ ნარჩენი II რიგი}} - P_{1 \text{ ყრუ III რიგი}} = 3122,1 - 624,4 = 2497,7 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.14)$$

ზემოაღნიშნული ანგარიშიდან ჩანს, რომ ნაგებობის ცილინდრული ელემენტების 1,(6) მ დიამეტრის შემთხვევაში, ნაგებობაზე ზემოქმედი ღვარცოფული ფრონტის საწყისი  $P=4878,3$  კ.ნ. ძალა, ნაგებობის გავლის შემდეგ შემცირდა დაახლოებით 2-ჯერ ( $P_{1 \text{ ნარჩენი III რიგი}}=2497,7$  კ.ნ.).

II დაშვება  $K_2 = 0,6$  მაშინ,

$$\frac{P_{2 \text{ ყრუ}}}{P} = 40\% = 0,4, \text{ ხოლო} \quad (4.3.15)$$

$$P_{2 \text{ ყრუ I რიგი}} = P \cdot 0,4 = 4878,3 \cdot 0,4 = 1951,3 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.16)$$

$$d_2 = \frac{1-0,6}{0,12} = \frac{0,4}{0,12} = 3(3) \text{ მ-ს} \quad (4.3.17)$$

გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტების 3,(3)მ დიამეტრის შემთხვევაში, ნაგებობის პირველი რიგის შემადგენელ ელემენტებზე ღვარცოფის ზემოქმედების შემდეგ, ნაგებობის მეორე რიგის ელემენტებზე მოქმედი ნარჩენი დამრტყმელი ძალა  $P_2$  ნარჩენი I რიგი ტოლია:

$$P_2 \text{ ნარჩენი I რიგი} = P - P_2 \text{ ყრუ I რიგი} = 4878,3 - 1951,3 = 2927,0 \text{ კ.ნ.}, \quad (4.3.18)$$

ხოლო

$$P_2 \text{ ყრუ II რიგი} = P_2 \text{ ნარჩენი I რიგი} \cdot 0,4 = 2927,0 \cdot 0,4 = 1170,8 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.19)$$

ნაგებობის მეორე რიგის შემადგენელი ცილინდრული ფორმის ელემენტებზე ღვარცოფის ზემოქმედების შემდეგ, ნაგებობის მესამე რიგის ელემენტებზე მოქმედი ნარჩენი დამრტყმელი ძალა  $P_2$  ნარჩენი II რიგი ტოლია:

$$P_2 \text{ ნარჩენი II რიგი} = P_2 \text{ ნარჩენი I რიგი} - P_2 \text{ ყრუ II რიგი} = 2927,0 - 1170,8 = 1756,2 \text{ კ.ნ.}, \quad (4.3.20)$$

$$\text{ხოლო } P_2 \text{ ყრუ III რიგი} = P_2 \text{ ნარჩენი II რიგი} \cdot 0,4 = 1756,2 \cdot 0,4 = 702,5 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.21)$$

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$P_2 \text{ ნარჩენი III რიგი} = P_2 \text{ ნარჩენი II რიგი} - P_2 \text{ ყრუ III რიგი} = 1756,2 - 702,5 = 1053,7 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.22)$$

ზემოაღნიშნული ანგარიშიდან ჩანს, რომ ნაგებობის ცილინდრული ელემენტების 3,(3)მ დიამეტრის შემთხვევაში, ნაგებობაზე ზემოქმედი ღვარცოფული ფრონტის საწყისი  $P=4878,3$  კ.ნ. ძალა, ნაგებობის გავლის შემდეგ შემცირდა დაახლოებით 4,6-ჯერ და შეადგინა  $P_2$  ნარჩენი III რიგი = 1053,7 კ.ნ.

### III დაშვება

$K_2 = 0,4$  მაშინ ,

$$\frac{P_3 \text{ ყრუ}}{P} = 60\% = 0,6, \text{ ხოლო} \quad (4.3.23)$$

$$P_3 \text{ ყრუ I რიგი} = P \cdot 0,6 = 4878,3 \cdot 0,6 = 2927,0 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.24)$$

$$d_3 = \frac{1-0,4}{0,12} = \frac{0,6}{0,12} = 5,0 \text{ მ-ს.} \quad (4.3.25)$$

გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტების 5,0 მ დიამეტრის შემთხვევაში, ნაგებობის პირველი რიგის შემადგენელ ელემენტებზე ღვარცოფის ზემოქმედების შემდეგ,

ნაგებობის მეორე რიგის ელემენტებზე მოქმედი ნარჩენი დამრტყმელი ძალა

$P_3$  ნარჩენი I რიგი ტოლია:

$$P_3 \text{ ნარჩენი I რიგი} = P - P_{3 \text{ ყრუ I რიგი}} = 4878,3 - 2927,0 = 1951,3 \text{ კ.ნ.}, \quad (4.3.26)$$

ხოლო

$$P_{3 \text{ ყრუ II რიგი}} = P_3 \text{ ნარჩენი I რიგი} \cdot 0,6 = 1951,3 \cdot 0,6 = 1170,8 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.27)$$

ნაგებობის მეორე რიგის შემადგენელი ცილინდრული ფორმის ელემენტებზე ღვარცოფის ზემოქმედების შემდეგ ნაგებობის მესამე რიგის ელემენტებზე მოქმედი ნარჩენი დამრტყმელი ძალა  $P_3$  ნარჩენი II რიგი ტოლია:

$$P_3 \text{ ნარჩენი II რიგი} = P_3 \text{ ნარჩენი I რიგი} - P_{3 \text{ ყრუ II რიგი}} = 1951,3 - 1170,8 = 780,5 \text{ კ.ნ.}, \quad (4.3.28)$$

$$P_{3 \text{ ყრუ III რიგი}} = P_3 \text{ ნარჩენი II რიგი} \cdot 0,6 = 780,5 \cdot 0,6 = 468,3 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.29)$$

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$P_3 \text{ ნარჩენი III რიგი} = P_3 \text{ ნარჩენი II რიგი} - P_{3 \text{ ყრუ III რიგი}} = 780,5 - 468,3 = 312,2 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.30)$$

ზემოაღნიშნული ანგარიშიდან ჩანს, რომ ნაგებობის ცილინდრული ელემენტების 5,0 მ დიამეტრის შემთხვევაში, ნაგებობაზე ზემოქმედი ღვარცოფული ფრონტის საწყისი  $P=4878,3$  კ.ნ. ძალა, ნაგებობის გავლის შემდეგ შემცირდა დაახლოებით 15,6-ჯერ და შეადგინა  $P_3$  ნარჩენი III რიგი  $=312,2$  კ.ნ.

**IV დაშვება**  $K_2 = 0,2$  მაშინ,

$$\frac{P_{4 \text{ ყრუ}}}{P} = 80\% = 0,8, \text{ ხოლო} \quad (4.3.31)$$

$$P_{4 \text{ ყრუ I რიგი}} = P \cdot 0,8 = 4878,3 \cdot 0,8 = 3902,64 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.32)$$

$$d_4 = \frac{1-0,2}{0,12} = \frac{0,8}{0,12} = 6, (6) \text{ მ-ს.} \quad (4.3.33)$$

გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტების 6,(6)მ დიამეტრის შემთხვევაში, ნაგებობის პირველი რიგის შემადგენელ ელემენტებზე ღვარცოფის ზემოქმედების შემდეგ, ნაგებობის მეორე რიგის ელემენტებზე მოქმედი ნარჩენი დამრტყმელი ძალა  $P_4$  ნარჩენი I რიგი ტოლია:

$$P_4 \text{ ნარჩენი I რიგი} = P - P_{4 \text{ ყრუ I რიგი}} = 4878,3 - 3902,64 = 975,66 \text{ კ.ნ.}, \quad (4.3.34)$$

$$P_{4 \text{ ყრუ II რიგი}} = P_4 \text{ ნარჩენი I რიგი} \cdot 0,8 = 975,66 \cdot 0,8 = 780,53 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.35)$$

ნაგებობის მეორე რიგის შემადგენელი ცილინდრული ფორმის ელემენტებზე ღვარცოფის ზემოქმედების შემდეგ, ნაგებობის მესამე რიგის ელემენტებზე მოქმედი ნარჩენი დამრტყმელი ძალა  $P_{4 \text{ ნარჩენი II რიგი}}$  ტოლია:

$$P_{4 \text{ ნარჩენი II რიგი}} = P_{4 \text{ ნარჩენი I რიგი}} - P_{4 \text{ ყრუ II რიგი}} = 975,66 - 780,53 = 195,13 \text{ კ.ნ.}, \quad (4.3.36)$$

ხოლო

$$P_{4 \text{ ყრუ III რიგი}} = P_{4 \text{ ნარჩენი II რიგი}} \cdot 0,8 = 195,13 \cdot 0,8 = 156,1 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.37)$$

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$P_{4 \text{ ნარჩენი III რიგი}} = P_{4 \text{ ნარჩენი II რიგი}} - P_{4 \text{ ყრუ III რიგი}} = 195,13 - 156,1 = 39,0 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.38)$$

ზემოაღნიშნული ანგარიშიდან ჩანს, რომ ნაგებობის ცილინდრული ელემენტების 6,(6)მ დიამეტრის შემთხვევაში, ნაგებობაზე ზემომქმედი ღვარცოფული ფრონტის საწყისი  $P=4878,3$  კ.ნ. ძალა, ნაგებობის გავლის შემდეგ შემცირდა დაახლოებით 125-ჯერ და შეადგინა  $P_{4 \text{ ნარჩენი III რიგი}} = 39$  კ.ნ.

V დაშვება  $K_2 = 0$  მაშინ,

$$\frac{P_{5 \text{ ყრუ}}}{P} = 100\% = 1,0, \quad (4.3.39)$$

ხოლო

$$P_{5 \text{ ყრუ I რიგი}} = P \quad (4.3.40)$$

$$d_5 = \frac{1-0}{0,12} = 8, (3) \text{ მ-ს.} \quad (4.3.41)$$

მეხუთე დაშვების შემთხვევაში, როცა გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტების დიამეტრი  $d=8,(3)$ მ და მათი რაოდენობა არის 3, მაშინ ნაგებობის სიგანეს ვღებულობთ  $3 \times 8,(3) = 25$ მ, აქედან გამომდინარე ნაგებობა წარმოადგენს ყრუ ნაგებობას, ანუ ნაგებობის ელემენტების სიგანე უტოლდება ღვარცოფსადინარის კალაპოტის სიგანეს  $B=25$  (მ)-ს.

გამჭოლი ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის გავლის (მესამე რიგი) შემდეგ, ღვარცოფული ნაკადის ნარჩენი დამრტყმელი ძალა, ნაგებობის ცილინდრული ელემენტების ცვლად დიამეტრებთან მიმართებაში ტოლია:

$$d_1=1,(6) \text{ შემთხვევაში } P_{15 \text{ ნარჩენი III რიგი}} = P_{15 \text{ ნარჩენი II რიგი}} - P_{1 \text{ ყრუ III რიგი}} = 3122,1 - 624,4 = 2497,7 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.42)$$

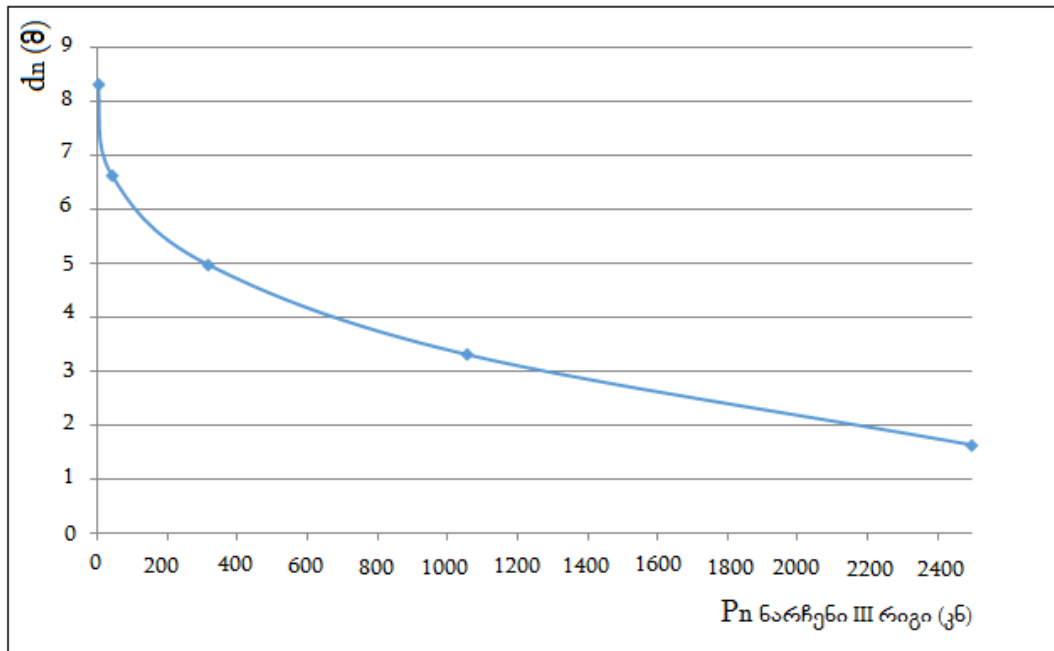
$$d_2=3,(3) \text{ შემთხვევაში } P_2 \text{ ნარჩენი III რიგი} = P_2 \text{ ნარჩენი II რიგი} - P_2 \text{ ყრუ III რიგი} = 1756,2 - 702,5 = 1053,7 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.43)$$

$$d_3=5,0 \text{ შემთხვევაში } P_3 \text{ ნარჩენი III რიგი} = P_3 \text{ ნარჩენი II რიგი} - P_3 \text{ ყრუ III რიგი} = 780,5 - 468,3 = 312,2 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.44)$$

$$d_4=6,(6) \text{ შემთხვევაში } P_4 \text{ ნარჩენი III რიგი} = P_4 \text{ ნარჩენი II რიგი} - P_4 \text{ ყრუ III რიგი} = 195,1 - 156,1 = 39 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.45)$$

$$d_5=8,(3) \text{ შემთხვევაში } P_5 \text{ ნარჩენი III რიგი} = 0 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.46)$$

მიღებული სიდიდეების მიხედვით ვაგებთ შემდეგ ფუნქციური დამოკიდებულების გრაფიკს  $d_n=f(P_n \text{ ნარჩენი III რიგი})$ , სადაც  $n$  – დაშვებების რაოდენობა იცვლება 1-5-ის ფარგლებში (იხ.ნახ. 5).



**ნახ. 4.3.5. გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედებისას, ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტების ცვლად დიამეტრსა და ნაგებობის გავლის შემდეგ მიღებულ ღვარცოფის ნარჩენ დამრტყმელ ძალას შორის ფუნქციური დამოკიდებულება**

გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის გავლის შემდეგ, ნაგებობის ცილინდრულ ელემენტებზე (ყრუ ნაწილი) მოქმედი ძალა, ნაგებობის ცილინდრული ელემენტების ცვლად დიამეტრებთან მიმართებაში ტოლია:

$$d_1=1,(6) \text{ შემთხვევაში } P_{1\text{ყრუ}} = P - P_1 \text{ ნარჩენი III რიგი} = 4878,3 - 2497,7 = 2380,6 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.47)$$



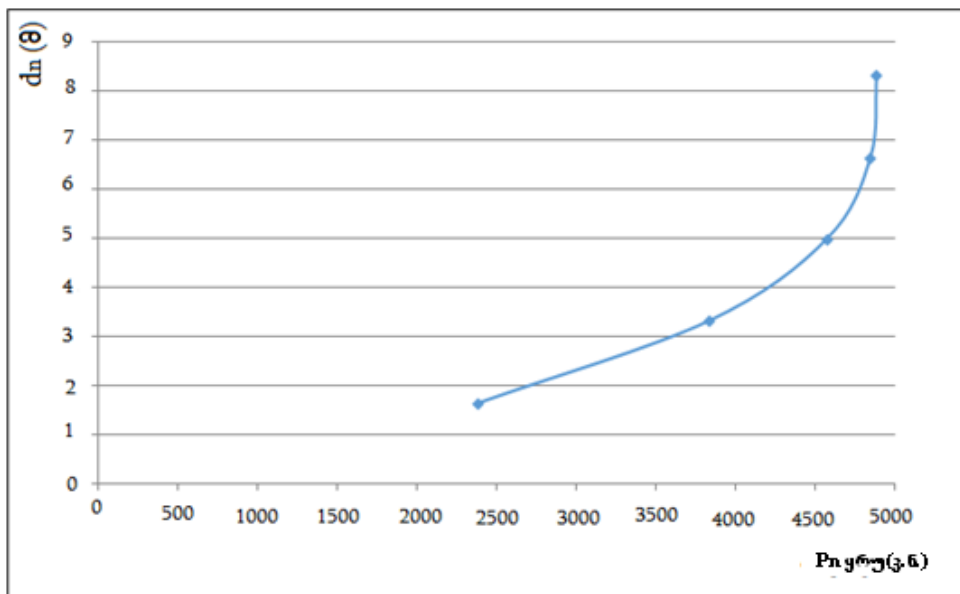
$$d_2=3,(3) \text{ შემთხვევაში } P_{2\text{ყრუ}} = P - P_{2 \text{ნარჩენი IIIრიგი}} = 4878,3 - 1053,7 = 3824,6 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.48)$$

$$d_3=5,0 \text{ შემთხვევაში } P_{3\text{ყრუ}} = P - P_{3 \text{ნარჩენი IIIრიგი}} = 4878,3 - 312,2 = 4566,1 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.49)$$

$$d_4=6,(6) \text{ შემთხვევაში } P_{4\text{ყრუ}} = P - P_{4 \text{ნარჩენი IIIრიგი}} = 4878,3 - 39 = 4839,3 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.50)$$

$$d_5=8,(3) \text{ შემთხვევაში } P_{5\text{ყრუ}} = P - P_{5 \text{ნარჩენი IIIრიგი}} = 4878,3 - 0 = 4878,3 \text{ კ.ნ.} \quad (4.3.51)$$

მიღებული სიდიდეების მიხედვით ვაგებთ შემდეგ ფუნქციური დამოკიდებულების გრაფიკს  $d_n=f(P_{n\text{ყრუ}})$ , სადაც  $n$  იცვლება 1-5-ის ფარგლებში (იხ.ნახ. 4.3.6).



**ნახ. 4.3.6. გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედებისას, ნაგებობის ცილინდრული ფორმის ელემენტების ცვლად დიამეტრსა და ნაგებობის ყრუ ნაწილზე მოქმედ დამრტყმელ ძალას შორის დამოკიდებულება**

ჩვენ მიერ შემუშავებული გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე ღვარცოფის ზემოქმედების აღწერისათვის განხორციელებული ანგარიშიდან ჩანს, რომ ნაგებობა წარმოადგენს ღვარცოფებთან ბრძოლის ეფექტურ საინჟინრო ღონისძიებას და მისი განხორციელება როგორც ჯობთანის ხევში მოსალოდნელი კატასტროფული ღვარცოფის, ასევე სხვა ანალოგიური ღვარცოფული ხევების რეგულირების თვალსაზრისით შესაძლებელია.

## თავი 5. ნიადაგის ეროზიის სარეგულაციო და ღვარცოფსაწინააღმდეგო თანამედროვე ღონისძიებების ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება

### 5.1. გეოხალიჩა ლუფაერომატის გამოყენებით მთის ეროზირებული ფერდობის აღდგენის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება

ნიადაგის წყლისმიერი ეროზია ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს პრობლემას წარმოადგენს თანამედროვე მსოფლიოში. მისი ზემოქმედებით ყოველწლიურად მთელ მსოფლიოში ასეულ-ათასობით ჰექტარი სასოფლო-სამეურნეო და სხვა დანიშნულების ნაყოფიერი ფართობი განიცდის დეგრადაციას.

ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგოდ მრავალი მეთოდი არის ცნობილი, მაგრამ ბოლო პერიოდში ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა მასალისაგან (ხელოვნური, ბუნებრივი) დამზადებული ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო გეოხალიჩები (სეკუმატი, ენკამატი, ერომატი, ჯუთა მატი და ა.შ). მათი ფართო გავრცელება განაპირობა მათმა ეფექტურობამ, საიმედოობამ, მონტაჟის სიმარტივემ, ეკონომიურობამ და რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია - მოწყვლად ფერდობზე ბიომრავალფეროვნების მყისიერმა აღდგენამ [94].

ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის გარემოს დაცვისა და საინჟინრო ეკოლოგიის განყოფილების ბაზაზე დამუშავდა გეოხალიჩა ლუფაერომატი [119-121].

როგორც ცნობილია გეოხალიჩების დანერგვისათვის ეფექტურობის და საიმედოობის მახასიათებელთან ერთად უმნიშვნელოვანესია მისი ეკონომიკური ეფექტიანობა.

აღნიშნულის გათვალისწინებით, კვლევის მიზანს წარმოადგენს ჩვენ მიერ შემუშავებული ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო გეოხალიჩა ლუფაერომატის ეკონომიკური მახასიათებლების დადგენა.

აღსანიშნავია, რომ გეოხალიჩა ლუფაერომატი მზადდება მარტივად, კერძოდ მცენარე ლუფას მშრალი ნაყოფის ბუნებრივად გამზადებული ბოჭკოვან-ლაბირინთისებრი შიგთავსებისაგან (იხ. ფოტო. 5.1.1), რომლებიც სიგრძეზე გაჭრის შემდეგ, ერთმანეთთან შეკავშირებულია კანაფის ძაფის ნაკერით და ქმნიან ერთიან გეოხალიჩას.



**ფოტო 5.1.1 გეოხალიჩა ლუფაერომატის საერთო ხედი**

გეოხალიჩა ლუფაერომატის გამოყენებით ეროზირებული ფერდობის აღდგენისა და შემდგომ, აღდგენილ ფერდობზე მრავალწლიანი კულტურის გაშენების გათვალისწინებით გაანგარიშებული იქნა გეოხალიჩის ეკონომიკური ეფექტურობა.

განგარიშება განხორციელდა შემდეგნაირად: წყლისმიერი ეროზიით დეგრადირებული მთის ფერდობის ეროზირებული უბნების ბუნებრივი პროდუქტიულობის აღდგენისათვის, ეროზირებული ფერდობის ზედაპირის დაცვის მიზნით გამოყენებული  $1\text{m}^2$  გეოხალიჩა ლუფაერომატის

კაპიტალური ხარჯები შეადგენს 5,11 ლარს, ამდენად, 1 ჰა მიწის ზედაპირის ეროზიის საწინააღმდეგო დაცვის ერთჯერადი ხარჯები განისაზღვრა 5,1 ლარი  $\times 10000 \text{ მ}^2 = 51100$  ლარი/ჰა.

გეოხალიჩით დაცულ ფართობზე ნავარაუდევია თხილის პლანტაციის გაშენება, რომლის საბითუმო ფასი შეადგენს  $6,5 \div 15$  ლარი/კგ; პლანტაციის გაშენების ღირებულება შეიძლება ავიღოთ 4000 ლარი/ჰა, ხოლო პლანტაციის მოვლის ყოველწლიური ხარჯები – 700 ლარი/ჰა. მაშინ სუფთა დაყვანილი ეფექტი (NPV), რომელიც გამოითვლება 5.1.1 ფორმულით [122-123].

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+r)^k} - \sum_{j=1}^m \frac{IC_j}{(1+i)^j} \quad (5.1.1)$$

სადაც:  $P_k$  – სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის ნაზრდი 1 ჰა–დან (ლარი);

$IC_j$  – პლანტაციის გაშენების და მოვლის ღირებულება (ლარი);

$r=i$  დისკონტირების კოეფიციენტი (0,12).

ზემოაღნიშნული დამოკიდებულებიდან გამომდინარე  $NPV=153\ 120$  ლარი (ცხრილი 5.1.1), ხოლო ინვესტიციების მომგებიანობის შიდა ნორმა (IRR) შესაბამისად შეადგენს 24%.

ცხრილი 5.1.1

მთის დეგრადირებული ფერდობის გეოხალიჩა ლუფაერომატით აღდგენის სუფთა დაყვანილი ეფექტის გაანგარიშება

წლები	კაპიტალური ხარჯები	პლანტაციის გაშენების და მოვლის ხარჯები	დისკონტირებული ხარჯები (დისკონტირების კოეფიციენტი 12%)	სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის ნაზრდი	დისკონტირებული შემოსავალი (დისკონტირების კოეფიციენტი 12%)	სუფთა დაყვანილი ეფექტი (NPV)
2018	51,1	4,00	49,04		0,00	-49,04
2019		0,70	0,55		0,00	-0,55
2020		0,70	0,50	15,00	10,65	10,15

2021		0,70	0,44	30,00	18,90	18,46
2022		0,70	0,40	40,00	22,80	22,40
2023		0,70	0,36	40,00	20,40	20,04
2024		0,70	0,32	40,00	18,00	17,69
2025		0,70	0,28	40,00	16,00	15,72
2026		0,70	0,25	40,00	14,40	14,15
2027		0,70	0,22	40,00	12,80	12,58
2028		0,70	0,20	40,00	11,60	11,40
2029		0,70	0,18	40,00	10,40	10,22
2030		0,70	0,16	40,00	9,20	9,04
2031		0,70	0,14	40,00	8,00	7,86
2032		0,70	0,13	40,00	7,20	7,07
2033		0,70	0,11	40,00	6,40	6,29
2034		0,70	0,11	40,00	6,00	5,90
2035		0,70	0,09	40,00	5,20	5,11
2036		0,70	0,08	40,00	4,80	4,72
2037		0,70	0,07	40,00	4,00	3,93
სულ			53,63		206,75	153,12

სუფთა დაყვანილი ეფექტის (NPV) და ინვესტიციების მომგებიანობის შიდა ნორმის (IRR) გაანგარიშება ცხადყოფს შემოთავაზებული ღონისძიების მაღალ ეფექტიანობას და ეკოლოგიურ-ეკონომიკურ ღირებულებას.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, დადგენილია ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო თანამედროვე მეთოდის - გეოხალიჩა ლუფაერომატის გამოყენებით ეროზირებული ფერდობის აღდგენისა და მასზე მრავალწლიანი კულტურის (თხილის პლანტაცია) გაშენების შემთხვევაში ეკონომიური ეფექტიანობა. გაანგარიშებულია განსახორციელებელი სამუშაოებისათვის გაწეული ხარჯი და გეოხალიჩა ლუფაერომატის

გამოყენებით აღდგენილი ფერდობიდან მიღებული დისკონტირებული შემოსავალი 20 წლიანი პერიოდისათვის (2017-2036 წწ).

ამრიგად, განხორციელებული ეკონომიკური გათვლების შედეგად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ დეგრადირებული ფერდობის აღდგენა გეოხალიჩა ლუფაერომატის გამოყენებით და შემდგომ მასზე თხილის პლანტაციის გაშენების ხარჯები უკვე 8 წლის შემდეგ (2024 წ.) მთლიანად ამოღებულია და 2036 წლისათვის დისკონტირებული მოგება 153 120 ლარს შეადგენს 1 ჰა-ზე. მიღებული შედეგებით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ეროზირებული ფერდობის რეგულირება აღნიშნული მეთოდის გამოყენებით მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა.

## 5.2 გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება

დღეს არსებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობები მეტად ექსტრემალურ სიტუაციებში ვერ გამოირჩევიან მდგრადობით ღვარცოფების მიმართ, რის შედეგადაც ხდება მათი ნგრევა (განადგურება) დასაცავ ობიექტებთან ერთად.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების ყველაზე მაღალი შემაკავებელი ეფექტი შეიძლება მიღებულ იქნას მხოლოდ ღვარცოფების ფიზიკურ-მექანიკური და დინამიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით და ასევე მისი გრადაციული ზონის მოქმედების დადგენით.

ღვარცოფების გავლით გამოწვეული სოციალური და ეკონომიკური ზიანი განისაზღვრება მილიონობით ლარით. მაგალითად ქ. ალმა-ატისთვის მიყენებული ზიანი განისაზღვრა 40 მილიონზე მეტი ლარით, ხოლო საქართველოში ყვარლის რაიონს, საქწყალპროექტის გათვლებით ყოველწლიურად 2 მილიონი ლარის ზარალი ადგება.

კვლევებით მიღებული ექსპერიმენტული და თეორიული დამოკიდებულებები ზღვრულ-წონასწორული მდგომარეობაში მყოფი, მაღალი სიმკვრივის ღვარცოფული ნაკადების მოძრაობა ძნელად

ექვემდებარება ეკონომიკურ შეფასებას, ამიტომ ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის კვლევა განხორციელდა ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციების მაგალითზე.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო მშენებლობაში ცნობილია სხვადასხვა ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების კონსტრუქციები, რომლებიც გამოიყენებიან კონკრეტულ შემთხვევაში ღვარცოფსადინარის მახასიათებლის გათვალისწინების პირობებში.

უნდა აღინიშნოს, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების მშენებლობა ხორციელდება დეფიციტური მასალებით (რკინაბეტონი), რომელთა ადგილზე მიტანა მთაგორიან პირობებში გაძნელებულია.

ჩვენ მიერ შემუშავებულ იქნა მაღალი საიმედოობის და ხანგრძლივობის ახალი გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა. ამავე დროს კონსტრუქციის შემუშავებისას კეთდებოდა აქცენტი მათ მაქსიმალურ საიმედოობაზე და მშენებლობის ღირებულების გაიაფებაზე.

ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების შემოთავაზებული კონსტრუქციის ეკონომიკური ეფექტიანობის დასადგენად შესადარებელ ბაზად შერჩეულ იქნა მრუდხაზოვანი ფორმის ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა. კაპიტალური დაბანდებები მრუდხაზოვანი ფორმის ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე შეადგენს 4050 ლარი/გრძ.მ.

კაპიტალური დაბანდებები გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობაზე შეადგენს 2400 ლარი/გრძ.მ მეტრზე (იხ. ცხრილი 5.2.1).

გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის ღირებულების  
განგარიშება

№	მასალის დასახელება	ერთეულის განზომილება	რაოდენობა	ერთეულის ღირებულება, ლარი	ღირებულება სულ, ლარი
1	ბეტონი	მ <sup>3</sup>	100	150	15000
2	არმატურა	ტ	7,5	1200	9000
3	ამორტიზირებული საბურავები	ცალი	50	10	500
4	ლითონის მილი (400 მმ)	მ	55	75	4125
5	ლითონის ღერძი (50 მმ)	მ	60	6,25	375
6	ფიქსატორები	ცალი	30	20	600
7	ლითონის ირიბანები	მეტრი	74	100	7400
8	ლითონის ბაგირი	მ	50	4,5	225
9	ბაგირების დამჭერები	ცალი	2	100	200
10	ინერტული მასალა საბურავებში	მ <sup>3</sup>	225	14	3150
11	ინერტული მასალა ლითონის მილში	მ <sup>3</sup>	7	14	98
სულ	დღგ				40673
					7321
სულ					47994
1გრძ.მ ღირ.					2400

წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის დანერგვით, წარმოებაში იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\mathcal{E}_{\text{წლიური}} = (K_1 - K_2)E, \quad (5.2.1)$$

სადაც  $K_1$  – კაპიტალური დაანდებები საბაზო ნაგებობის მშენებლობაში;

$K_2$  - კაპიტალური დაანდებები შემოთავაზებული ნაგებობის მშენებლობაში;



E - ნორმატიული ეფექტურობის კოეფიციენტი ( $E = 0,15$ );

$$\text{ჰულიური} = (4050 - 2400) \times 0,15 = 247,5 \text{ ლარი/ გრძ. მ.} \quad (5.2.2)$$

ამრიგად, გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის დანერგვის წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა შეადგენს 247,5 ლარი/ გრძ. მ., რაც იძლევა მისი დანერგვის შესაძლებლობას.

## ზოგადი დასკვნები

ნაშრომში წარმოდგენილი თეორიული და საველე ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების ანალიზის საფუძველზე მიღებულია შედეგები:

- ლაბორატორიულ პირობებში დადგენილია საკვლევი ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური მახასიათებლები, რომლის მიხედვითაც შეფასებულია მოწყვლადი ფერდობის შემადგენელი ნიადაგ-გრუნტის ეროზიულობა.
- საველე პირობებში განსაზღვრულია მდინარე გლდანისხევის ხეობაში მოწყვლად ფერდობზე მოწყობილი, საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგ-გრუნტის ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლები.
- საველე ექსპერიმენტით დადგენილია გეოხალიჩა ლუფაერომატის ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ეფექტურობა, საკონტროლო და საცდელი უბნებიდან ფორმირებული მყარი ჩამონადენების ერთმანეთთან შედარების გზით.
- დადგინდა საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მოსულ ნალექების ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის აპროქსიმირებული წრფივი დამოკიდებულება, რომელიც მიღებულია საველე ექსპერიმენტული მონაცემების უმცირეს კვადრატთა მეთოდით დამუშავების შედეგად.
- საველე ექსპერიმენტის მონაცემების მიხედვით დადგენილი იქნა, ნალექების ინტენსიობასა და საკონტროლო უბანზე ფორმირებულ მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირი, რომელიც ტოლია  $r = 0,62$ , რაც დამაკმაყოფილებელ შედეგად შეგვიძლია მივიჩნიოთ, რადგან იგი თავსდება პარამეტრებს შორის საშუალო კავშირის შუალედში და მიუთითებს გაზომვით მიღებულ საექსპერიმენტო მონაცემების ურთიერთდამოკიდებულების საიმედოობაზე.

- საიმედოობის თეორიის გამოყენების საფუძველზე დადგენილია, სავსე ინტეგრირებული პოლიგონის საცდელ უბნებზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის საშუალო დინამიკის ვალიდურობა, რომელიც 51-52%-ს შეადგენს, რაც იძლევა მოწყვლად ფერდობზე მწვანე საფარის აღდგენის საფუძველს.
- სპეციალურად შექმნილი კომპიუტერული პროგრამის გამოყენების საფუძველზე განხორციელდა სავსე პოლიგონის საკონტროლო უბანზე განვითარებული ნაღვარების და საცდელ უბნებზე აღმოცენებული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის კომპიუტერული მოდელირება.
- დადგინდა მდინარე გლდანისხევის ხეობის მოწყვლად მიკრო წყალშემკრებ აუზებში მიმდინარე ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლები, რომლებიც ემთხვევა სავსე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ეროზიული პროცესების რაოდენობრივ მახასიათებლებს, რაც მიუთითებს განხორციელებული თეორიული და სავსე კვლევების სარწმუნოობაზე.
- სავსე და ლაბორატორიულ პირობებში განხორციელებული კვლევების საფუძველზე დადგინდა მდინარე გლდანისხევის ხეობაში არსებული მეწყრული ფერდობის საინჟინრო გეოლოგიური პარამეტრები.
- არაერთგვაროვანი ცოცვის სიბრტყის მქონე მეწყრული სხეულის წონასწორობის სხვადასხვა პირობების გათვალისწინებით, დადგინდა მამკოდას დასახლების მიმდებარედ არსებული მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი.
- მიღებულია საკვლევ ფერდობზე გრუნტის ფენის კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო დამოკიდებულებები, რომლის მიხედვითაც განხორციელდა მეწყრული ფერდობის მდგრადობის რღვევის კრიტიკული სიღრმის პროგნოზი სველი და მშრალი გრუნტის შემთხვევაში, ფერდობის დახრის კრიტიკული კუთხის გათვალისწინებით.

- განხორციელდა მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის სხვადასხვა პროცენტული უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯების პროგნოზირება.
- ბმული ღვარცოფის მუდმივი ხარჯით მოძრაობის დროს წარმოქმნილი უწყვეტი ტალღის სიჩქარის მხედველობაში მიღებით კორექტირებული იქნა ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის საანგარიშო დამოკიდებულება, რომლის მიხედვითაც უფრო მეტი სიზუსტით აისახება ნაგებობაზე ბმული ღვარცოფის ტალღური ზემოქმედება.
- შემუშავებული და დაპატენტებულია გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ახალი კონსტრუქცია.
- განსაზღვრულია მდინარე გლდანისხევის წყალშემკრებ აუზში მოსალოდნელი ღვარცოფის მიმართ, გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქციის ეფექტურობის მახასიათებლები, რომლის მიხედვითაც ნაგებობაზე მოქმედი ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის საწყისი მნიშვნელობა, გარკვეული დაშვებების ფარგლებში 2=125-ჯერ კლებულობს.
- განხორციელებული ეკონომიკური გათვლების შედეგად დადგენილია, რომ გეოხალიჩა ლუფაერომატის საშუალებით მოწყვლადი ფერდობის აღდგენის შემდგომ, მასზე თხილის პლანტაციის გაშენების შემთხვევაში, 8 წლის შემდეგ დისკონტირებული მოგება 1 ჰა-ზე შეადგენს 53 120 ლარს, რაც მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს წარმოადგენს.
- დადგენილია გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის წლიური ეკონომიკური ეფექტურობა მრუდხაზოვანი ფორმის ტრამპლინის ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობასთან შედარებით, რომელიც შეადგენს 247,5 ლარი/გრძ. მ.

## გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა

1. <http://earthpapers.net/otsenka-selevoy-deyatelnosti-po-klimaticheskim-parametram>
2. <http://meteo.gov.ge/index.php?pg=sts&id=26>
3. [http://drm.cenn.org/Hazardassessment\\_files/Landslides\\_mudflows\\_rockfalls.pdf](http://drm.cenn.org/Hazardassessment_files/Landslides_mudflows_rockfalls.pdf)
4. <http://netgazeti.ge/news/31818>
5. [http://w3.cenn.org/CENN\\_Projects/MC\\_CCA/BrochuresTextbooks/Georgia/MC\\_CENN\\_DRR%20textbook\\_EU\\_ARM\\_140930.pdf](http://w3.cenn.org/CENN_Projects/MC_CCA/BrochuresTextbooks/Georgia/MC_CENN_DRR%20textbook_EU_ARM_140930.pdf)
6. გავარდაშვილი გ. ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფებისას მთის ლანდშაფტების უსაფრთხოების ღონისძიებები. გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2011, 237 გვ.
7. Gavardashvili G., Chakhaia G., Tsulukudze L. Assessment of the Stability of Debris-flow Riverbeds in Transport Corridor of Georgia. International Scientific Journal “Problems of Applied Mechanizms”. 2003, № 4(13) pp. 43-46.
8. Gavardashvili G., Tsulukudze L., Chakhaia G. Engineering-ecological Measures for the Protection of the Transport Corridors from Debris-flow. International Journal “Problems of Applied Mechanizms”. 2003, № 4(13) pp. 65-88.
9. Gavardashvili G., Chakhaia G. The Typology and Assessment of the Basins of the Principal Mud-flow Type Rivers of Georgia. Scientific Articles of the Georgian Hydro ecology Institute, Tbilisi, 2005, pp. 12-19.
10. . ხუბულავა ი., ჩახაია გ. მდ. გლდანისხევის ეკოლოგიური უსაფრთხოების შეფასება და ნიადაგის დეგრადაციის საწინააღმდეგო ღონისძიებების შემუშავება. გამომცემლობა „მწიგნობარი“ 2018, 90 გვ.
11. Kvashilava N., Chakhaia G., Tsulukudze L., Lobzhanidze Z., Kupreishvili Sh., Supatashvili T., Kvirvelia I., Khubulava I., Gogilava S. The Assessment Stability of Landslide Dangerous Slopes Existing in the Basin of River Jokhtaniskhevi. International Journal of Sciences: World Wide Journal of Multidisciplinary

- Research and Development. Reference Number: 3-2-12. ONLINE ISSN:2454-6615, [www.wvjmr.com](http://www.wvjmr.com), Impact Factor 4,25. India.
12. Gavardashvili G., Chakhaia G., Tsulukudze L., Kapezina O. Evaluation and Prediction of the Risk-Factors Post-Mudflow Processes Formed in the Gorge of the River Kabakhi (The Left Tributary of the River Tergi) on May 17, 2014 and Development of Modern Anti-Mudflow Measures. Scientific Proceedings of Ryazan Agro-technological State University P.A. Kostychev, № 11, Ryazan, Russia, 2014, pp.5.
  13. Gavardashvili G., Chakhaia G., Tsulukudze L., Kapezina O. Evaluation of the Environmental Safety of Small Kazbegi HPP by Consodering the Action of Devdorak Glacier Formed in the Bed of the River Kabakhi (Georgia). Czestochowa University of Technology. Construction of Optimezed Energy Potential. 1(15), Czestochowa, Poland, 2015, pp. 55-60.
  14. Chakhaia G. Prognosis of the Debris-flower Process for the Main Tributary of the River Tergi's Gorge. Scientific articles of the Georgian State Agrarian University. № XXVIII Tbilisi, 2004, pp. 205-207.
  15. ამბოკაძე ვ. ნიადაგის ეროზია და მის წინააღმდეგ ბრძოლა საქართველოში. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია, 1955.
  16. ლორჯომელაძე ო., გოგიჩაიშვილი გ., თურმანიძე ნ. ნიადაგის ეროზიული სამიშროების შეფასება სხვადასხვა ფაქტორებთან (ნალექები, რელიეფი, ნიადაგი, მცენარეულობა) დაკავშირებით. საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, 2009, № 26, გვ.175-179.
  17. ბრეგვაძე, მ. ნიადაგის ეროზია ზესტაფონის რაიონში. თბილისი: საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია, 1952.
  18. <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/62128>
  19. Шеко А.И. - Классификация геологических процессов и факторов, их обуславливающих. В кн. Геология зоны БАМ, т.2, Гидрогеология и инженерная геология, Ленинград, "Недра", 1988, с.236-243.

20. Шеко А.И., Круподеров В.С., Мальнева И.В. и др. - Факторы формирования и развития оползней и селей. В кн. "Оползни и сели", Центр международных проектов ГКНТ, М., 1984, с.16-50.
21. Шеко А.И., Островский А.Б., Коробкина И.С. - Палеографические особенности формирования оползневых склонов Черноморского побережья С. З. Кавказа. В кн. "Стихийные природные процессы: географические, экологические и социально-экономические аспекты", М., 2002, с.147-151.
22. Пиотровская Е.Ю. Неотектонические движения как фактор формирования типов геодинамической обстановки В кн. "Теоретические основы инженерной геологии. "Недра", М., 1985, с.174-183.
23. Херхеулидзе Г.И., Церетели Э.Д., Таташвили С.Г. - Селевые явления и селеопасные работы Груз. ССР Труды "ЗакниГМИ", вып. 83(90), "Гипрометиздат", М., 1984, с.10-24.
24. Церетели Э.Д., Татанидзе З.К., Хазарадзе В.Д., Куцнашвили О.З. и др. - Опасность какастрофических стихийных явлений Кавказа на рубеже XXI века. В кн. "Геоморфология Кавказа - новые идеи и подходы", Тбилиси, 2002, с.85-96.
25. Церетели Э.Д. Природно-катастрофические явления и проблема устойчивого развития Грузии и приграничных территорий. Диссертация на соискание ученой степени докт. геогр. наук, Тбилиси, 2003.
26. Церетели Э.Д., Вольский А.И., Бердзенишвили Д.П. и др. - Инженерно-геологические условия селеносного бассейна р. Дуруджи. "Грузгеология", фонды, Тбилиси, 1980.
27. Церетели Э.Д., Церетели Д.Д. - Геологические условия разведки селей в Грузии. "Мецниереба", Тбилиси, 1985, 185 с.
28. Церетели Э.Д., Бердзенишвили Д.П., Таташидзе З.К., Челидзе Т.Л. и др. Особенности формирования катастрофических селей в бассейне р.

- Дуруджи и безопасность г. Кварели. Тр. международной конференции, Тбилиси, 2002, с.229-235.
29. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. "Наука", М., 1978, 263 с.
  30. გობეჩია გ. ჰიდრორესურსების გამოყენებასთან დაკავშირებული საინჟინრო-ეკოლოგიური პრობლემები. საერთაშორისო კონფერენციის სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი, 2001, გვ. 42-45.
  31. Боголюбова И. В. Селевые потоки и их распространение на территории СССР. Под. ред. д-р. геол. наук. Б. Д. Зайкова. Л. "Гидрометеиздат". 1957. 152 с.
  32. Виноградов Ю. Б. Метод расчёта характеристик дождевых паводков. Л. 1967. 12 с.
  33. Виноградов Ю. Б. Некоторые вопросы формирования селевых потоков и методы их расчёта. Тр. Каз. НИИГ и М. Вопросы изучения селей. 1969. Вып. 33, с. 5-29.
  34. Виноградов Ю. Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Л. "Гидрометеиздат". 1977. 140 с.
  35. გობეჩია გ., წერეთელი ე., ტალიაშვილი დ., გაფრინდაშვილი მ. საქართველოში გეოეკოლოგიური სტიქიის საშიშროება და 2004-2005 წლების პროექსიზმები. ჟ. „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, 2005, № 10-12, გვ. 91-96.
  36. დიაკონიძე რ. ღვარცოფის ხარჯის დადგენის ოპერატიული მეთოდი აჭარის მდინარეთა მაგალითზე. საქჰიდროეკოლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, 2001, გვ. 46-49.
  37. Khubulava I. The Forecasting of Various Insure Maximal Discharges of Predictable Debris Flow of River Gldaniskhevi valley. 20<sup>th</sup> International Conference on Environmental, Biological, Ecological Sciences and Engineering World Academy of Science (WASET). Istanbul. Turkey. p.p. 2709-2712.



38. Белый Л.Д. Геологические основы классификации грунтов при изысканиях и проектировании гидроэнергетических сооружений. Л., М., Госэнергоиздат. 1954. 92 с.
39. Белый Л.Д. Теоретические основы инженерно-геологического картирования. М. "Недра". 1964. 168 с.
40. Белый Л.Д. Инженерная геология. М. Высшая школа. 1985. 231 с.
41. Панюков П.Н. Основы физической минералогии. 1966. Часть 1, М. 70 с.
42. Панюков П.Н. Основы физической петрографии. 1968. Часть 2, М. 106 с.
43. Сергеев Е.М. Грунтоведение. М. Из-во. МГУ. 1983. 389 с.
44. ცხოვრებაშვილი შ. ზოგადი გეომორფოლოგიის მოკლე კურსი. თსუ-ს გამომცემლობა, თბილისი, 1980, 253 გვ.
45. Геоморфология Грузии. Рельеф ГССР в аспектах пластики, происхождения, динамики и истории. (Ред. коллегия... Л.И. Маруашвили и др.) Тбилиси; "Мецниереба". 1971. 609 с.
46. Геоморфологическое картирование. Сб. ст. АН ССР. Геоморф. комис. (отв. ред. Г.С. Ганешин). М. "Наука". 1978. 239 с.
47. Джавахишвили А.Н. Геоморфологические районы Грузинской ССР. М. 1974.
48. Думитрашко Н.В. Горные страны европейской части СССР и Кавказа. М. "Наука". 1974. 360 с.
49. Варазашвили Н. Г., Гобечия Г. Н. Инженерно-экологические проблемы создания и эксплуатации водохозяйственных систем с водохранилищами в горных регионах. "Мецниереба". Тбилиси, 2002, 512 с.
50. Иорданишвили З. С., Сулаквелидзе Л. А. Прохождение селевых потоков по руслу горного потока Шави Дуруджи. 29. VII-1956. Тр. Груз. НИИГ и М. 1957. вып. 18-19; с. 514-522.
51. Вознесенский А. С. И Арцруни А.Б. Лабораторный метод определения противозерозионной устойчивости почв. Сб. «Вопросы противозерозионной устойчивости почв», Тбилиси, ЗакНИИВХ, 1940, с. 11-124

52. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. АН СССР, т. 1, 1948, т. II, 1960 248 с.
53. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М., Сельхозгиз, 1960, 622 с.
54. Великанов М.А. Русловой процесс. М. Физматгиз, 1958, 424 с.
55. Мирцхулава Ц.Е. Указания по определению допускаемых (неразмывающих) скоростей водного потока для связных грунтов. МСХ. 1962, 33 с.
56. Мирцхулава Ц.Е. Водная эрозия почв. Тбилиси, «Мецниереба», 2000, 421с.
57. Беннет Х.Х. Основы охраны почвы. М., ИЛ, 1958, 318 с.
58. Wishmeier W. H., and Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook No 537, United States Department of Agriculture, USA, Washington, D-C.
59. Хортон Р. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. ИЛ, 1948, 186 с.
60. Киркби М., Морган Р. Эрозия почв. М., Колос, 1984, 416 с.
61. Morgan R. P. C., Quinton J. N., Smith R.E., Govers G., Poesen J., Auerswald K., Ghisci G., Torri D. and Styczen M.E. 1997: The European soil erosion model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. In Boardman J. and Favis-Mortlock D., editors, Modelling soil erosion by water, Springer-Verlag NATO-ASI Global Change.
62. Швец Г.И. Теоретические основы эрозиоведения. Киев. Высшая школа. 1981, 222 с.
63. ყრუაშვილი ი. წყლისმიერი ეროზიული პროცესების პროგნოზირება და საინჟინრო ეკოლოგიური ამოცანების გადაწყვეტის მეთოდები. მონოგრაფია, გამომცემლობა „განათლება“, 1996.
64. Мирцхулава Ц.Е. Указания по определению допускаемых (неразмывающих) скоростей водного потока для связных грунтов. МСХ. 1962, с. 33.

65. ლაპიაშვილი მ. ფერდობის მდგრადობის საანგარიშო მეთოდები. ([http://gtu.ge/Geoldep/Pdf/ferdobis\\_mdgradobis\\_saangarisho\\_metodebi.pdf](http://gtu.ge/Geoldep/Pdf/ferdobis_mdgradobis_saangarisho_metodebi.pdf)).
66. Брилинский А. Л. Горные потоки, их природа и меры борьбы с ними. ОЦИВХ, 1930. 77с.
67. Брилинский А. Л. Горные потоки и меры борьбы с ними. Изд-во Тиф. Закоиз. 1936. 130 с.
68. Великанов М. А. Качественный динамический анализ селевого потока. Издательство. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. 1945. Т-9, №4. сс. 353-363.
69. Гагошидзе М. С. Селевые явления и борьба с ними. Из-во. «Сабчота Сакартвелო», Тбилиси, 1970, 385 с.
70. Гагошидзе М. С. Новый способ борьбы с селями. Сборник трудов ГрузНИИГиМ №2, 1951. 146-167 с.
71. Мостков М.А. Прикладная гидромеханика. Л., М., “Госэнергоиздат”. 1959. 246 с.
72. Флейшман С. М., Перов В. Ф. Сели. Москва, 1986, 126 с.
73. Шеко А.И. Методы изучения и прогноза экзогенных геологических процессов. М. “Недра“. 1988. 215 с.
74. Херхеулидзе И.И. Некоторые вопросы индустриального противоселевого строительства. Сб. ЗакНИГМИ, вып. 40 (46), Гидрометеиздат, Л., 1972. с. 6-41.
75. Хмаладзе Г. Н. Селевые потоки в Грузии. Тр. Тбилисского НИ гид. Ин-та. 1961. вып. 8. с. 68-93.
76. ნათიშვილი ო.გ., თევზაძე ვ.ი., დანელია ზ. ღვარცოფისა და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობების ჰიდრავლიკა. თბილისი, 1995, 78 გვ.
77. Беручашвили Г. М., Кокоришвили В. И. Некоторые результаты исследования селевых потоков. Вопросы изучения селей. Труды КазНИИГиМ. 1969; Вып. 33; с. 42-62.
78. ყრუაშვილი ი. ღვარცოფები და მათთან ბრძოლის მეთოდები.

- საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2014, 338 გვ.
79. ყრუაშვილი ი., კუხალაშვილი ე., ინაშვილი ე., ბზიავა კ. ღვარცოფული მოვლენები. რისკი, პროგნოზი, დაცვა. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2017, 250 გვ.
80. Мирцхулава Ц. Е. Надёжность гидромелиоративных сооружений. М. “Колос“. 1974. 279 с.
81. Мирцхулава Ц. Е. Основы физики и механики эрозии русел. Л. “Госэнергоиздат“. 1988. 303 с.
82. Мирцхулава Ц. Е. Вероятностная оценка нарушения экологического равновесия малых рек. Док. ВАСХНИЛ. 1991. №9. с. 59-63.
83. Ржаницын Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л. “Гидрометеиздат “. 1960. 238 с.
84. Степанов Б.С. Основные характеристики селевых потоков и селевой массы. Методы измерений. Труды Каз. Регион. НИИ. “Госкомгидрометал“. 1982. №79. 137 с.
85. Степанов Б. С., Цукерман И.Т. Оценка дальности продвижения селевых потоков на конусе выноса. Сборник “Селевые потоки“. М. 1984. №8. с. 39-42.
86. Сулаквелидзе Л.А. Новый тип барража-эластичный селезаградитель. Сборник трудов ГрузНИИГиМ, вып. 24, Тбилиси. 1966. с. 71-76.
87. Вардугин В.Н. Гранулометрический состав рыхлообломочных пород в селевых очагах на конусах выноса. Сборник “Селевые потоки“. М. 1977. №2. с. 94-106.
88. Вафин Р.Г. Исследование твёрдой составляющей селевых паводков. Сборник научных трудов САНИИРИ. 1977. №152. с. 62-68.
89. Ким А.Х. Некоторые вопросы реологии вязкопластичных дисперсных систем. Минск. 1960. 82 с.
90. Мамед-заде М.С. Некоторые физико-механические свойства структурных селевых потоков. Дан. Аз. ССР. 1957. Т-13; №3. с.263-269.

91. Медеуов А., Есжанов А., Тасболат Б. Теоретические аспекты оценки и управления селевым риском. “Грузгидроэкология“. Труды международной конференции. Тбилиси. 2001. с. 124-128.
92. Семехина А.С. Текстурно-структурные особенности селеформирующих грунтов и селевых отложений. М. 1985. №9. с. 32-35.
93. [http://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/156868/1/Irigacia\\_Dreneji\\_Erozia.pdf](http://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/156868/1/Irigacia_Dreneji_Erozia.pdf)
94. GEOMATE 2013 NAGOYA JAPAN. <http://www.conferencealerts.com/show-event?id=111897>
95. Кавришвили К., Физико-географическая характеристика окрестностей Тбилиси. Издательство «Мецниереба». 1965. Физическая география, 151 с.
96. <http://ecotourism.ge/bilikebi.pdf>
97. <http://www.kvirispalitra.ge/public/28374-dedaqalaqis-sashishi-ubnebi.html?device=xhtml>
98. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв. Издательство Московского университета. Издательство «КолосС». 2004. 235 с.
99. Мирцхулава Ц.Е. Методические рекомендации по прогнозу водной (дождевой) эрозии почв. ВАСХНИЛ, Москва, 1978, 62 с.
100. Хубулава И. В. Полевые исследования интенсивности эрозионных процессов почвогрунта на уязвимом склоне в долине реки Глданисхеви и эффективности современных противоэрозионных мероприятий. Сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы водного хозяйства, охраны окружающей среды, архитектуры и строительства», 2017, Тбилиси, с. 90-94.
101. ხუბულავა ი. მდ. გლდანისხევის არსებულ მოწყვლად ფერდობზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლების პროგნოზირება და ეროზიული უბნების მართვის მექანიზმების შემუშავება. ი. ჯავახისვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მეექვსე საფაკულტეტო კონფერენცია ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში. თბილისი, 2018.

102. ზერაგია პ. უმაღლესი მათემატიკა. გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, 1979, თავი XVI, გვ. 411-418.
103. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. Москва. Высшая школа, 2004, 479 с.
104. Khubulava I., Chakhaia G. Simulative modeling of the soil erosion processes. ANNALS OF AGRARIAN SCIENCE, Elsevier. 2018, Vol.16, № 2, pp.185-188.
105. Kelly L. Murdock. 3ds Max 2017. SDS Publications. 6800 Squibb RD Mission, KS, US. 2016.
106. ჩეკურიშვილი რ. ი., გავარდაშვილი გ. ვ., ნადარაია მ. მთის ლანდშაფტის კადასტრის შედგენა აეროკოსმოსური მეთოდების გამოყენებით. (მეთოდური მითითებები). თბილისი, 1994. 48 გვ.
107. Morgan R.P.C., Hann M. J. Shah Deniz Gas Export Project: erosion risk assessment. Crafeld University, UK, Silsoe, 2001., 25 p.
108. Натишвили О.Г., Тевзадзе В. И. Волны в селях. ООО Издательство «ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2011, Москва, 160 с.
109. Молжигитов С. К. Оценка ударной нагрузки селевого потока на поперечную жесткую преграду. International Journal of Applied and Fundamental Research №3, 2016.
110. <http://www.nplg.gov.ge/dlibrary/collect/0002/000689/G.N.disertacia-10.07.2013.pdf>
111. ჩახაია გ., წულუკიძე ლ., ვარაზაშვილი ზ., დიაკონიძე რ., ხუბულავა ი., სუპატაშვილი თ., ომსარაშვილი გ. გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის შეფასება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული №68. გამომცემლობა “უნივერსალი”. თბილისი, 2013, გვ.200-203.
112. Chakhaia G., Kukhalashvili E., Diakonidze R., Kvashilava N., Tsulukidze L., Kupreishvili S., Supatashvili T., Khubulava I. The Evaluation of Debris Flows Influence on the Pass through Type Debris Flow against Construction.

- American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS), 2016, Impact Factor 0,296, USA.
113. ჩახაია გ., წულუკიძე ლ., დიაკონიძე რ., კვაშილავა ნ., კუპრეიშვილი შ., ხუბულავა ი. გამჭოლი ტიპის ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა, საქართველო, საქპატენტი, პატენტის № P 6807, 2018.02.05.განაცხადის № 14158/01, 2016.05.27.
114. კუხალაშვილი ე., ომსარაშვილი გ. ბმული ღვარცოფის განივ ნაგებობებზე მოქმედი დამრტყმელი ძალის გაანგარიშება. საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტი სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტომი 3, №2(51). თბილისი, 2010, გვ. 70-73.
115. ნ. კვაშილავა. წყალგაჯერებულობის გავლენა ღვარცოფების წარმოქმნის პირობებზე. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მაცნე. 1982.106 ტ., №2, გვ. 353-356.
116. ვ. ლიატხერი, ნ. კვაშილავა. ღვარცოფების წარმოქმნის მექანიკური მოდელი. ჟ. „წყლის რესურსები“. 1984, №3, გვ. 96-108.
117. კვაშილავა ნ., ჩახაია გ., ვარაზაშვილი ზ., წულუკიძე ლ., ხუბულავა ი., სუპატაშვილი თ., მასიაია ლ. მდ. გლდანისხევის ხეობაში არსებული მეწყერსაშიში ფერდობის მდგრადობის შეფასება. ჟურნალი “მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, 2016, №2(722), გვ. 31-35.
118. Kvashilava N., Chakhaia G., Lobzhanidze Z., Tsulukidze L., Kupreishvili S., Supatashvili T., Kvirvelia I., Khubulava I., Gogilava S. The Assessment Stability of Landslide Dangerous Slopes Existing in the Basin of River Jokhtaniskhevi. International Journal of Sciences: World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development. 2017, Reference Number: 3-2-12, Impact Factor 4,25. India.
119. G. Chakhaia, Sh. Bosikashvili, Z. Varazashvili, R. Diakonidze, I. Khubulava, T. Supatashvili, L. Tsulukidze, M. Shavlakadze, F. Lortkifanidze – The Laboratory Research of Soil Erosion Against Geo mat „Nesfile” and „Nesgeo”. Collected

- papers of Water Management Institute of Georgian Technical University#67. Tbilisi. 2013, pp. 203-208.
120. G. Chakhaia, Z. Varazashvili, L. Tsulukidze, M. Shavlakadze, I. Khubulava, G. Omsarashvili, T. Supatashvili, O. Oqriashvili, N. Sukhishvili - The Laboratory Research of Resource Saving, Bioengineering Measure (Geo Mat "Luffaeromat") against Soil Degradation Running on the Vulnerability Mountain Slopes (Georgia). Collected papers of 4<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference "Modern Problems of Water Management, Environmental Protection, Architecture and Construction". Tbilisi. 2014, pp. 35-39.
121. ხუბულავა ი. ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო, ბუნებრივი მასალისაგან დამზადებული, თანამედროვე გეოხალიჩის ლაბორატორიული კვლევა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული №71, 2016, თბილისი, გვ. 154-159.
122. Бирман Ю., Шмидт С. Экономический анализ инвестиционных проектов: Пер. с англ. / Под.ред. Л.П.Белых. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997.
123. Бригхем Ю., Гапенски Л. Финансовый менеджмент: Пер. с англ./Под ред. В.В. Ковалева. – СПб: Экономическая школа, 1997.
124. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов : М.: Финансы и статистика, 1998.
125. ჩახაია გ, ვართანოვი მ., წულუკიძე ლ., კვაშილავა ნ., ხუბულავა ი., გოგილავა ს., კვიციანი ი. გეოხალიჩა „ლუფაერომატი“-ს გამოყენებით მთის ეროზირებული ფერდობის აღდგენის ეკონომიკური ეფექტიანობის გაანგარიშება. სტუ-ს წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული № 71, 2016. გვ. 133-136.