



საქართველოს ტექნიკური  
უნივერსიტეტი  
1922 წლიდან

შალვა ბოსიკაშვილი

ნიადაგ-გრუნტის წყლისმიერი ეროზიული  
პროცესები და მათთან ბრძოლის  
თანამედროვე საინჟინრო ტექნოლოგიის  
შემუშავება საქართველოში გამავალი ენერგო  
დერეფნების მაგალითზე

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა მშენებლობა

შიფრი 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

2023წ

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი სამშენებლო

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით შალვა ბოსიკაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ნიადაგ-გრუნტის წყლისმიერი ეროზიული პროცესები და მათთან ბრძოლის თანამედროვე საინჟინრო ტექნოლოგიის შემუშავება საქართველოში გამავალი ენერგო დერეფნების მაგალითზე“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

22, თებერვალი 2023 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი/ხელმძღვანელები: პროფესორი ზურაბ გვიშიანი

რეცენზენტი: პროფესორი ირმა ინაშვილი

რეცენზენტი: პროფესორი არჩილ მაღალაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2023წ

ავტორი: შალვა ბოსიკაშვილი

დასახელება: „ნიადაგ-გრუნტის წყლისმიერი ეროზიული პროცესები და მათთან ბრძოლის თანამედროვე საინჟინრო ტექნოლოგიის შემუშავება საქართველოში გამავალი ენერგო დერეფნების მაგალითზე“

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: მშენებლობის ინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა 22 თებერვალი 2023

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

ავტორის ხელმოწერა შ. ბოსიკაშვილი

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

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

## რეზიუმე

დადგენილია მტს-ის ხევში არსებული მოწყვლადი ფერდობის ნიადაგ-გრუნტის გეოტექნიკური და ქიმიური პარამეტრები, რის საფუძველზე შეიძლება ითქვას, შემდეგი: გრანულომეტრიული მაჩვენებლების მიხედვით, გრუნტები თიხურ ქანებს განეკუთვნებიან, სადაც თიხა-მტვროვანი ფრაქცია 80% აჭარბებს, ხოლო ქვიშა და უხეშნატეხოვანი ფრაქცია 20% არ აღემატება. იგი ნახევრად მყარი კონსისტენციის, საშუალოდ ტენიან გრუნტებს მიეკუთვნება. პლასტიკურობის რიცხვის მიხედვითაც იგი თიხურ გრუნტებს წარმოადგენს საშუალო ფორიანობით. მექანიკური მახასიათებლების მიხედვით საშუალოდ კუმშვადი ქანების კატეგორიაში გადის (კუმშვადობის კოეფიციენტი  $a=0.01-0.03$ ), სიმტკიცის მაჩვენებლები ამ გრუნტებს ახასიათებს როგორც საშუალო შეჭიდულობისა და შიდა ხახუნის ძალების მქონე გრუნტებს. გრუნტი წყლოვანი გარემოს მიმართ არამდგრადი ხასიათით გამოირჩევა. ქიმიური თვალსაზრისით ნიადაგი დაბალ მარილიანია და რეაქცია სუსტი ტუტე აქვს, ჰუმუსის შემცველობა დაბალია 0,8%, რაც მიუთითებს ნიადაგ-გრუნტების ადვილად გარეცხვის შესაძლებლობაზე, რაც ერთ-ერთი მნიშვნელოვან საფუძველს წარმოადგენს მოწყვლად ფერდობზე ნიადაგ-გრუნტის ეროზიული პროცესების ფორმირების. საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საცდელ უბნებზე განხორციელებული კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ გეოხალიჩა „ნესგო“ ყველა მიმართულებით (ნიადაგის ეროზიისაგან დაცვა, ბიომრავალფეროვნების აღდგენის შესაძლებლობა) უფრო ეფექტურია (საველე პოლიგონის II საცდელი უბნის ზედაპირის დაახლოებით 80-85% შევსებულია ბალახოვანი და ხე მცენარეებით) ვიდრე გეოხალიჩა „სეკუმატი“ (საველე პოლიგონის II საცდელი უბნის ზედაპირის დაახლოებით 30-40% შევსებულია ბალახოვანი და ხე მცენარეებით). პოლიგონის საკონტროლო უბანზე განხორციელებული ექსპერიმენტის ფარგლებში დადგენილია, წვიმის ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის წრფივი დამოკიდებულება. დადგენილია საველე პოლიგონის ფარგლებში მოსული წვიმის ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირი,  $r=0,62$ . მიღებული მონაცემი შეიძლება დამაკმაყოფილებელ შედეგად ჩაითვალოს. განისაზღვრა პოლიგონის საცდელ უბნებზე ვეგეტირებული ბალახოვანი მცენარეების საშუალო დინამიკის საიმედოობა, რომელიც 51%-ია. მიღებული შედეგის მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ, რომ დასაცავ ფერდობზე შეიძლება აღდგეს ადრე არსებული ბიომრავალფეროვნება. მარტივი კომპიუტერული პროგრამით ჩატარდა პოლიგონის საკონტროლო უბანზე ფორმირებული ნაღვარევის დინამიკის კომპიუტერული მოდელირება, რომლის მიხედვითაც ვიზუალური თვალსაზრისით, მნიშვნელოვნად გაძლიერდა მოწყვლადი ფერდობის დახრამვითი პროცესები, რაც საჭიროებს ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ეფექტური ღონისძიებების განხორციელებას. დადგენილია, რომ ნიაღვარის დელეს წყალშემკრებ აუზში ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიის



ინტენსიობა შეადგენს 5-10 ტ/ჰა, რომლის შესაჩერებლად საჭიროა ეროზიული პროცესების საწინააღმდეგო ეფექტური და ოპერატიული ღონისძიებების ჩატარება, რადგან ნიაღვარის ღელეს წყალშემკრებ აუზში ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიული პროცესები პროვოცირებას უწევს ღვარცოფული და მეწყრული მოვლენების ფორმირებას, რაც მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ რისკებს შეიცავს ნიაღვარის ღელეს გავლენის ზონაში გამავალი ენერგო დერეფნის სხვადასხვა ინფრასტრუქტურის ობიექტების უსაფრთხო ფუნქციონირების მიმართ. დადგენილია ნიაღვარის ღელეს წყალსადინარში, წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვების ჩანართთა რაოდენობა და მოცულობა, ქვის ჩანართების საშუალო დიამეტრისა და კონფიგურაციის გათვალისწინებით, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ნატანდატვირთული ნაკადების საწინააღმდეგო ეფექტური სტრატეგიის ჩამოყალიბებისა და შესაბამისად ენერგო დერეფნების უსაფრთხო ფუნქციონირების უზრუნველყოფისათვის. განხორციელებული ეკონომიკური გათვლებების შედეგად დადგენილია, რომ გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს საშუალებით ეროზირებული ფერდობის რეაბილიტაციის შემდგომ, თხილის პლანტაციის მაგალითზე, 8 წლის შემდეგ 1 ჰა-ზე მოგება შეადგენს 153 120 ლარს, რაც მიაწინებს გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს ეკონომიკურ ეფექტიანობაზე.

## Summary

Chemical characteristics of the soil-ground and physical-mechanical characteristics constituting the vulnerable slope in the ravine of Mts have been determined, according to which the following can be said: According to granulometric indicators, the soils belong to clay rocks, where the clay-dusty fraction exceeds 80%, and the sand and gravel fraction does not exceed 20%. It belongs to medium-moist soils of semi-solid consistency. According to the number of plasticity, it represents clay soils with medium porosity. According to the mechanical characteristics, it belongs to the category of moderately compressible rocks (coefficient of compressibility  $a=0.01-0.03$ ), the strength indicators characterize these soils as soils with medium cohesion and internal friction forces. The soil is characterized by its unstable nature in relation to the water environment. All these features significantly contribute to the development of degradation processes on the slopes, especially erosion processes. From the chemical point of view, the soil is low in salinity and has a weak alkaline reaction, the humus content is less than 0.8%, which indicates the possibility of easy washing of soil-groundns, important formation basis of soil-ground erosion processes on vulnerable slopes. According to research carried out on the test sites of the field integrated polygon, it is determined that the "Nesgeo" geocarpet is more effective in all directions (protection against soil erosion, the possibility of restoration of biodiversity) (about 80-85% of the surface of the field polygon II test area is filled with grass and tree

plants) than the "Sekumat" geocarpet (Approximately 30-40% of the surface of the test area of Field Polygon II is filled with herbaceous and woody plants), this is confirmed both by the comparison of the eroded solid mass brought from the respective areas, as well as by the dynamics of the growth and frequency of herbaceous plants growing on the geomats, which gives the basis for its introduction in the regulation of vulnerable slopes. Within the framework of the experiment carried out on field integrated polygon, it has been determined that there is an approximate linear relationship between the intensity of precipitation and solid runoff. A correlation relationship between the intensity of rainfall within the field polygon and the solid runoff formed was established, which is  $r = 0.62$  and is a satisfactory result, because it is middle of the average relationship between parameters and is reliable for interdependence of obtained experimental data by measurement. Based on use of a computer program, computer modeling of the dynamics of the debris developed in the control area of the field polygon was carried out, according to which, from a visual point of view, the tilting processes of the vulnerable slope were significantly strengthened, which requires the implementation of effective measures against soil erosion. It is determined that the intensity of soil erosion on the slopes in the Niaghvari Ghele catchment basin is 5-10 T/ha, to stop it, it is necessary to carry out effective and operative measures against erosion processes, because the erosion processes on the slopes in the Niaghvari Ghele catchment basin provoke the formation of landslides and mudflows, which can provoke significant environmental risks in relation to the safe operation of various infrastructure facilities of the energy corridor passing through the area of influence. The number and volume of stone inclusions transported by the water flow in the channel of Niaghvari Ghele is determined, taking into account the average diameter and configuration of stone inclusions, which is of great importance for the establishment of an effective strategy against sediment-laden flows and, accordingly, for ensuring the safe functioning of energy corridors. Based on economic calculations, we can say, that with the help of Nesgeo geomat after restoration of vulnerable slope, in the case of planting a hazelnut plantation on it, after 8 years, the discounted profit per 1 ha is 153,120 GEL, which represents a significant economic effect and provides the basis for the introduction of the "Nesgeo" geomat.

## შინაარსი

შესავალი .....	11
<b>თავი 1. ნიადაგის ეროზიული პროცესების შესწავლის და მართვის თანამედროვე ასპექტები .....</b>	<b>17</b>
1.1 ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების მიმოხილვა.....	17
1.2 ნიადაგის ეროზიული პროცესების გამომწვევი ძირითადი ფაქტორები .....	19
1.3 ნიადაგის ეროზიული პროცესების საწინააღმდეგო ღონისძიებები .....	20
<b>თავი 2. ბორჯომის ხეობის ლანდშაფტური და თანამედროვე გეოეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება .....</b>	<b>32</b>
2.1 ბორჯომის ხეობის ლანდშაფტური და ეკოლოგიური მდგომარეობის დახასიათება.....	32
2.2. დაბა წალვერის მიმდებარე (მტს-ის ხევი) ნახანძრალ ფერდობებზე არსებული ეროზიული უბნების გამოვლენა .....	34
<b>თავი 3. ბორჯომის ხეობაში არსებული ენერგო დერეფნის ინფრასტრუქტურის მიმდებარე მოწყვლად ფერდობებზე წყლისმიერი ნიადაგის ეროზიული პროცესების და მისი საწინააღმდეგო ფიტოსაინჟინრო ღონისძიებების ეფექტურობის კვლევა .....</b>	<b>41</b>
3.1 საველე ინტეგრირებული პოლიგონის მუშაობის პრინციპები .....	41
3.2 მოწყვლად ფერდობზე მოწყობილი საველე ინტეგრირებული პოლიგონის ფარგლებში მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების ინტენსიობის, ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების ეფექტურობისა და ბიომრავალფეროვნების აღდგენის შესაძლებლობის კვლევა ..	44
3.3 პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე წყლისმიერი ეროზიული პროცესების ანალიზი .....	62
3.4 პოლიგონის საცდელ უბნებზე აღმოცენებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიდიდეების ვალიდურობის შეფასება ..	67

3.5 საველე პოლიგონზე ჩატარებული ცდების შედეგად მიღებული მონაცემების გამოყენების საფუძველზე ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების დინამიკის სიმულაციური მოდელირება .....	70
3.6 სოფელ დაბაში გამავალი ენერგო დერეფნის მიმდებარე ნიაღვარის ღელეში არსებულ მოწყვლად ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიული პროცესების შედეგად დენუდირებული მყარი მასის რაოდენობრივი მახასიათებლების დადგენა .....	77
3.7. ნიაღვარის ღელეს წყალსადინარში წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების რაოდენობისა და მოცულობის დადგენა ქვის ჩანართების საშუალო დიამეტრისა და კონფიგურაციის გათვალისწინებით.....	82
<b>თავი 4. ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიების ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება .....</b>	<b>89</b>
4.1 გეოხალიჩა ნესგეოს ეკონომიკური ეფექტიანობა.....	89
<b>დასკვნა .....</b>	<b>94</b>

### ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. ნიადაგ-გრუნტის გრანულომეტრული შემადგენლობა.....	38
ცხრილი 2. ნიადაგ-გრუნტის ფიზიკური თვისებები.....	38
ცხრილი 3. ნიადაგ-გრუნტის მექანიკური თვისებები.....	39
ცხრილი 4. ნიადაგ-გრუნტის ქიმიური ანალიზის შედეგები.....	40
ცხრილი 5. განხორციელებული ექსპერიმენტის შედეგები პოლიგონზე.....	50
ცხრილი 6. გეოხალიჩებზე ვეგეტირებული მზვანე მასის განვითარების დინამიკა.....	56
ცხრილი 7. პოლიგონის უბნებზე ფორმირებული მყარი ჩამონადენის სიდიდეები.....	62
ცხრილი 8. პოლიგონზე ჩატარებული გაზომვების უმცირეს კვადრატთა მეთოდით შეფასება.....	63



<b>ცხრილი 9.</b> წვიმის ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირის დადგენა.....	65
<b>ცხრილი 10.</b> პოლიგონის პირველ უბანზე განვითარებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიდიდეების ინტერვალები და სიხშირეები.....	68
<b>ცხრილი 11.</b> პოლიგონის მეორე უბანზე განვითარებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიდიდეების ინტერვალები და სიხშირეები.....	69
<b>ცხრილი 12.</b> საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე წარმოქმნილი ნალვარევეების მახასიათებლების ცვლილება განსხვავებული წვიმის ინტენსიობის შემთხვევაში.....	72
<b>ცხრილი 13.</b> ეროზიის კლასის და რაოდენობრივი მახასიათებლების განსაზღვრა.....	80
<b>ცხრილი 14.</b> ნიაღვარის დელეს აუზში მოწყვლადი ფერდობების ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები.....	81
<b>ცხრილი 15.</b> წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის ფორმის მახასიათებელი სიდიდის (E) და კალაპოტის სიმქისის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულების საანგარიშო განტოლებები.....	85
<b>ცხრილი 16.</b> წყლის ნაკადის მიერ გადაადგილებული ქვის მასის რაოდენობრივი მონაცემები და მოცულობები.....	88
<b>ცხრილი 17.</b> ეროზირებული ფერდობის გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს გამოყენებით აღდგენის სუფთა დაყვანილი ეფექტის გაანგარიშება.....	97

## **ნახაზების ნუსხა**

<b>ნახ.1.</b> საფეხურიანი ტერასის სქემა.....	20
<b>ნახ.2.</b> ტერასების სახეები ნიადაგ-გრუნტის მიხედვით.....	24
<b>ნახ.3.</b> მდინარე გუჯარეთის წყლის მიმდებარედ არსებული ნახანძრალი ტერიტორიები.....	33
<b>ნახ.4.</b> საველე ინტეგრირებული პოლიგონის სქემა.....	41
<b>ნახ.5.</b> გეოხალიჩებზე ამოსული ბალახოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკა .....	58
<b>ნახ.6.</b> გეოხალიჩებზე ამოსული ხე მცენარეების ზრდის დინამიკა.....	58
<b>ნახ.7.</b> გეოხალიჩებზე ამოსული ბუჩქოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკა	59

<b>ნახ.8.</b> პოლიგონის საკონტროლო უბანზე ფორმირებული მყარი ჩამონადენის დამოკიდებულება წვიმის ინტენსიობაზე.....	65
<b>ნახ.9.</b> მტს-ის ხევის მოწყვლად ფერდობზე მოწყობილი საკვლევი ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების სიმულაციური მოდელირება.....	76
<b>ნახ.10.</b> პარალელეპიპედის ფორმის ქვების მახასიათებელსა (E) და მდინარის კალაპოტის ხახუნის (f) შორის დამოკიდებულება.....	86
<b>ნახ.11.</b> კუბის ფორმის ქვების მახასიათებელსა (E) და მდინარის კალაპოტის ხახუნის (f) შორის დამოკიდებულება.....	86
<b>ნახ.12.</b> სფეროს ფორმის ქვების მახასიათებელსა (E) და მდინარის კალაპოტის ხახუნის (f) შორის დამოკიდებულება.....	87
<b>ნახ.13.</b> ელიფსის ფორმის ქვების მახასიათებელსა (E) და მდინარის კალაპოტის ხახუნის (f) შორის დამოკიდებულება.....	87

## შესავალი

ნაშრომის აქტუალურობა საქართველოს სატრანზიტო პოტენციალი საყოველთაოდ ცნობილია. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ენერჯის და ენერგომატარებლების ტრანსპორტირებას, ამ სახის პროექტებს ქვეყნისათვის უდიდესი ეკონომიკური და პოლიტიკური მნიშვნელობა აქვს. შესაბამისად განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ენერგო და სატრანსპორტო დერეფნების მშენებლობას. ზემოაღნიშნული პროექტების განხორციელებისას მნიშვნელოვანი ყურადღება უნდა დაეთმოს ასეთ დერეფნებში გეოლოგიურად სენსიტიურ უბნებს, რომლებზეც განვითარებულმა ეროზიულმა, მეწყრულმა და ღვარცოფულმა პროცესებმა შესაძლოა საგრძნობლად დააზიანონ აღნიშნული პროექტებით გათვალისწინებული ინფრასტრუქტურა (გზები, მილსადენები, მაღალი ძაბვის გადამცემი ხაზები, რკინიგზა და ა.შ) და მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ზარალი მოუტანონ სახელმწიფოს.

ნიადაგის წყლისმიერ ეროზიას განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს მსოფლიოს წინაშე მდგარ ეკოლოგიურ პრობლემათა შორის. ათასობით წელი დასჭირდა ბუნებას, რომ დედამიწის ზედაპირზე ნაყოფიერი ნიადაგი, ქვეყნის ერთ-ერთი უპირველესი სიმდიდრე შექმნილიყო. მისი დაცვა, გაფრთხილება და მომავალი თაობებისათვის შენარჩუნება ჩვენი ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა.

საყოველთაოდ აღიარებულია, რომ მიუხედავად მოსავლიანობის საგრძნობი მატებისა მსოფლიოში, რაც ძირითადად განპირობებულია ჰერბიციდების, სასუქების, მოწინავე აგროტექნიკისა და მაღალეფექტური ჯიშების გამოყენებით, მიწების მელიორაციის დანერგვით, მთელ რიგ რეგიონებში ადგილი აქვს უშუალოდ ნიადაგის ნაყოფიერების შემცირებას, რისი უმთავრესი მიზეზიც სწორედ ნიადაგის ეროზიაა. უკვე მრავალი საუკუნეა, რაც კაცობრიობა ნიადაგის ეროზიის შედეგად მნიშვნელოვან ზარალს განიცდის. ამ ზარალმა ბოლო ათწლეულებში მნიშვნელოვნად იმატა, მაგრამ მსოფლიოს მთელი რიგი ქვეყნების გამოცდილება და ჩვენი

ქვეყნის სხვადასხვა რეგიონებში მიწათმოქმედების ნიადაგდამცავი სისტემის დანერგვის დადებითი შედეგები გვაიმედებენ, რომ შესაძლებელია ეროზიული მოვლენების გავრცელების არეალისა და ინტენსივობის მნიშვნელოვნად შემცირება, ოღონდ ამისათვის საჭიროა ქვეყნის მთელი ძალების მობილიზება და მიზანსწრაფული შრომა გასატარებელ ღონისძიებათა სათანადო დაფინანსებისა და სამეცნიერო-ტექნიკური უზრუნველყოფის პირობებში.

ეროზია უდიდეს ზარალს აყენებს წყლის რესურსებს, კომუნალურსა და საგზაო მეურნეობას, ეროვნული მეურნეობის სხვადასხვა დარგებს. ეროზიული პროცესების შედეგად წარმოშობილი ხრამები და ხევები ანაწევრებენ ფართობებს, ართულებენ მათ დამუშავებას, ხელს უწყობენ მდინარეებისა და წყალსაცავების დაღექვას, იზღუდება სატრანსპორტო და ენერგო დერეფნების ფუნქციონირება.

ეროზიული პროცესების გავრცელების თვალსაზრისით, არასახარბიელო მდგომარეობამდე ქვეყანა მიიყვანა ნიადაგის დამუშავების წესების დარღვევამ, დიდქანობიანი ფართობების უსისტემო დამუშავებამ და ასეთი ფართობებისათვის სასოფლო-სამეურნეო კულტურების არასწორმა შერჩევამ, კონკრეტული პირობებისათვის შეუფერებელი სასოფლო-სამეურნეო მექანიზმების გამოყენების შედეგად ნიადაგის დატკეპნამ, ნიადაგის ზედაპირის დამცავი მცენარეული საფარის გამეჩხრებამ, საძოვრების არასწორმა და ზედმეტად ინტენსიურად გამოყენებამ, ტყეებისა და ბუჩქნარების უსისტემო გაკაფვამ, ტყის მასივებში ხშირმა ხანძრებმა და ა.შ. აღნიშნულ მიზეზთა გამო ქვეყნის რიგ რეგიონებში: ზემო იმერეთში, მთიან აჭარაში, კავკასიონის მთელ მთისწინეთში და სხვ., ეროზიულმა პროცესებმა კატასტროფული ხასიათი მიიღო. გააქტიურდნენ ეროზიის თანმდევი ისეთი საშიში პროცესები, როგორცაა ღვარცოფები, მეწყრები და ხრამწარმოქმნა. დღეისათვის საქართველოში აღრიცხულია 10000-მდე მეწყერი, 3000-მდე ღვარცოფული აუზი.



ბოლო პერიოდში წარმოიქმნა მრავალი ისეთი ფაქტორი, რომელმაც განაპირობა ეროზიული პროცესების გაძლიერება. კერძოდ, ტყის მასივებში ხანძრის შედეგად ხდება მცენარეული საფარისა და ნიადაგის აქტიური ფენის განადგურება, რაც იწვევს წყლისმიერი ეროზიული პროცესების, ღვარცოფული და მეწყრული მოვლენების პროვოცირებას და შესაბამისად ენერგო დერეფნების ზოლში არსებული სხვადასხვა სიმძლავრის ელექტრო გადამცემი ინფრასტრუქტურის ეკოლოგიური უსაფრთხოების შემცირებას, რის გამოც საჭიროა ეფექტური, საიმედო და რესურსმზობი ნიადაგდაცვითი საინჟინრო და ფიტომელიორაციული ღონისძიებების შემუშავება.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ საქართველოს რიგ რეგიონებში დარღვეულია საუკუნეების მანძილზე ჩამოყალიბებული ბუნებრივ-ეკოლოგიური წონასწორობა. ადგილი აქვს სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ნაყოფიერების საგრძნობ შემცირებას, ეკოლოგიური რისკების მატებას, რაც მნიშვნელოვანი მიზეზია მოსახლეობის ინტენსიური მიგრაციისა ბარში და ამით გამოწვეული რიგი პრობლემებისა,

**ნაშრომის მიზანი.** ბორჯომის ხეობაში (მტს-ის და ნიაღვარის ხევი) არსებული ენერგო დერეფნის მიმდებარე ფერდობებზე მომხდარი ხანძრის შედეგად პროვოცირებული ეროზიული პროცესების შესწავლა და მათი რეგულირებისათვის თანამედროვე საინჟინრო, ფიტომელიორაციული ღონისძიებების შემუშავება.

**კვლევის ამოცანები.** დასახული მიზნის მისაღწევად გამოყენებული იქნა თეორიული, საველე და ლაბორატორიული მეთოდები, რომლის მიხედვითაც გადაწყვეტილი იქნა შემდეგი ამოცანები, კერძოდ:

- გამოვლენილია მტს-ის ხევში, ნახანძრალ ფერდობებზე არსებული ეროზიული უბნები;
- მტს-ის ხევის მოწყვლად ფერდობზე მოწყობილი იქნა საველე ინტეგრირებული პოლიგონი (საცდელი და საკონტროლო უბნები);

- განისაზღვრა პოლიგონის საკონტროლო უბნის გეოტექნიკური და ქიმიური პარამეტრები;
- დადგინდა მტს-ის ხევში ეროზირებულ ფერდობებზე წყლისმიერი ეროზიულის განმაპირობებელი ძირითადი ფაქტორები;
- საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე განხორციელებული ექსპერიმენტების შედეგად დადგენილია ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების ინტენსიობის და ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო გეოხალიჩების ეფექტურობა;
- განხორციელდა პოლიგონის საკონტროლო უბანზე წყლისმიერი ეროზიულის ანალიზი;
- შეფასდა პოლიგონზე განთავსებულ გეოხალიჩებზე განვითარებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიდიდეების ვალიდურობა;
- განხორციელდა საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე წყლისმიერი ეროზიის დინამიკის სიმულაციური მოდელირება;
- დადგენილი იქნა ბორჯომის ნახანძრალი ხეობის მიკრო წყალსადინრებში არსებული დეგრადირებული მთის ფერდობების ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები;
- დადგინდა ბორჯომის ნახანძრალი ხეობის მიკრო წყალსადინრებში არსებულ დეგრადირებულ მთის ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიული პროცესების შედეგად დენუდირებული მასის რაოდენობრივი მახასიათებლები;
- დადგენილი იქნა ნიაღვარის ხევის წყალსადინარში წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების რაოდენობა და მოცულობა ქვის ჩანართების საშუალო დიამეტრისა და კონფიგურაციის გათვალისწინებით;
- გეოხალიჩა „ნესგო“-ს გამოყენებით შეფასებული იქნა ეროზირებული ფერდობის აღდგენის ეკონომიკური ეფექტიანობა.

**მეცნიერული სიახლე.** ნაშრომში განხორციელებული კვლევის მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:

შესწავლილია ბორჯომის ნახანძრალ ხეობაში მიმდინარე ეროზიული პროცესების მაპროვოცირებელი ფაქტორები.

მტს-ის ხეობაში განხორციელებული სავლე კვლევების შედეგად დადგინდა პოლიგონის საკონტროლო უბანზე წყლისმიერი ეროზიის რაოდენობრივი მახასიათებლები, ასევე ბუნებრივი მასალისაგან დამზადებული, რესურსზოგი გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ეფექტურობა, მსოფლიოში აპრობირებულ გეოხალიჩა „სეკუმატთან“ შედარებით.

სავლე მონაცემების მათემატიკურად დამუშავების შედეგად დადგენილია, პოლიგონის საკონტროლო უბანზე ფორმირებულ წვიმის ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის წრფივი დამოკიდებულება.

ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე დადგინდა წვიმის ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირი.

დადგენილია პოლიგონის საცდელ უბნებზე განვითარებული მწვანე მასის ზრდის საშუალო დინამიკის ვალიდურობა, რაც 51% შეადგენს.

დადგენილი იქნა ნიაღვარის ღელეს წყალსადინარში არსებული დეგრადირებული მთის ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიის ინტენსიობა და დენუდირებული მასის რაოდენობრივი მახასიათებლები;

დადგენილი იქნა ნიაღვარის ხევის წყალსადინარში წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების რაოდენობა და მოცულობა ქვის ჩანართების საშუალო დიამეტრისა და კონფიგურაციის გათვალისწინებით, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ნატანდატვირთული ნაკადების საწინააღმდეგო საინჟინრო ღონისძიებების შემუშავებისას;

განხორციელებული ეკონომიკური გათვლების შედეგად დადგენილია, ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს ეკონომიკური ეფექტი.

**კვლევის პერსპექტიული ობიექტები:** ბუნებრივი და ტექნოგენური გენეზისის ეროზირებული ფერდობები, ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო საინჟინრო, ფიტომელიორაციული ღონისძიებები.

**კვლევის მეთოდი.** საველე, ლაბორატორიული და თეორიული კვლევა, კომპიუტერული პროგრამირება, საინვესტიციო პროექტების ეკონომიკური ანალიზისა და შეფასების მეთოდები.

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება და შედეგების რეალიზაცია.** ნაშრომის ფარგლებში მიღებული შედეგების მიხედვით შესაძლებელია მოწყვლადი ფერდობის მართვა და ასევე, შედეგები შესაძლებელია რეალიზებულ იქნას ბუნებრივ და ტექნოგენურ ფერდობებზე ნიადაგის ეროზიის რეგულირებისათვის და ბიომრავალფეროვნების აღსადგენად.

**ნაშრომის აპრობაცია.** დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა 20.05-22.05 2022წ. ა.შირაკაცის სახელობის საერთაშორისო ურთიერთობების ერევნის უნივერსიტეტში გამართულ საერთაშორისო სამეცნიერო და ტექნიკურ კონფერენციაზე "საინჟინრო მეცნიერებათა პრობლემები".

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავის, 83 დასახელების ლიტერატურული წყაროსა და დასკვნისაგან. ძირითადი ტექსტი 103 კომპიუტერული ნაბეჭდი გვერდია, მათ შორის 13 ნახაზი და 17 ცხრილია.



# თავი 1. ნიადაგის ეროზიული პროცესების შესწავლის და მართვის თანამედროვე ასპექტები

## 1.1 ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების მიმოხილვა

ეროზია ლათინური სიტყვაა და ნიშნავს „ამოჭმას“. გეოგრაფიულ მეცნიერებებში ეროზიის სხვადასხვა გაგება არსებობს. ერთი, ეროზიას უწოდებენ ზედაპირის დანაწევრებას დენუდაციის შედეგად, ნიადაგმცოდნეები კი ეროზიის ქვეშ გულისხმობენ ნიადაგის ზედა ნაყოფიერი ფენის ან ზოგჯერ მთელი პროფილის ჩამორეცხვა-წადებას სხვადასხვა ბუნებრივი ძალების მოქმედებით [15,16,17,18]. ისტორიულად ამ მოვლენამ ძალიან დიდი როლი შეასრულა ხალხთა მიგრაციაში და შესაძლოა ძველი ცივილიზაციების დაცემის ერთ-ერთი მაპროვოცირებელი ფაქტორიც იყო [1,2,4,5,6,7,10,11,20,43,44,48,49,50,51,52,53,54,63].

მე-20 საუკუნის 30-იანი წლებიდან მეცნიერები გვთავაზობენ ეროზიის სახეების უამრავ კლასიფიკაციას, გვხვდება უამრავი ტერმინი; დაჩქარებული, თეორიული, ნორმალური, ანთროპოგენური, აქტიური, სანაპირო, ხაზობრივი, ქიმიური, ბიოლოგიური, მცინვარული, დახრამვა, ფერდობული, ირიგაციული, კარსტული, კრიოგენული, სუფოზია, სოლიფლუქცია, წყალქვეშა, ექსცესიური, რეგრესიული, ზედაპირული, კალაპოტური, აგროტექნოლოგიური, ტექნოლოგიური, ტექნოგენური, პოტენციური, სეზონური და კიდევ უამრავი სხვა [50]. მათგან საკმაოდ წარმატებულად ითვლება გ. შვებსის კლასიფილაცია. კერძოდ, იგი გამოყოფს წყლისმიერი ეროზიის რამდენიმე ტიპს და ქვეტიპს [46,10,55]. უფრო კონკრეტულად, ნაშრომი გულისხმობს შვებსის ცხრილის მიხედვით ეროზიის პირველი სამი ტიპის შედეგად დაკარგული ნიადაგის რაოდენობრივ შეფასებას [46].

ეროზია, თავის მხრივ, იმდენად საინტერესო და მრავალმხრივი პროცესია, რომ მასზე უამრავი ნაშრომი არსებობს. ნიადაგის ეროზიის პირველი სამეცნიერო გაანგარიშება დაკავშირებულია გერმანელი მეცნიერის-ევალდ ვოლნის სახელთან, XIX საუკუნის ბოლოს. მ. ზასლავსკის

გამოცემული აქვს სახელმძღვანელო „ეროზიისმცოდნეობა“ [43]. მიუხედავად სამეცნიერო ლიტერატურის სიუხვისა, ამ პროცესის კვლევისას ინფორმაცია საკმარისი არასოდეს არის, ამას მისი მრავალმხრივობა განაპირობებს და კიდევ ის გარემოება, რომ ეროზიულ პროცესებს სხვადასხვა მეცნიერული მიმართულებები იკვლევენ. ეროზიას სწავლობენ ნიადაგმცოდნეები, ჰიდროლოგები, გეომორფოლოგები და სხვა.

დიდია ქართველი მეცნიერების დამსახურება ნიადაგის ეროზიული პროცესების შესწავლასა და მის საწინააღმდეგო ღონისძიებების შემუშავებაში. კვლევები ამ მიმართულებით დაიწყო ჯერ კიდევ 1930-იანი წლებიდან და გრძელდება დღემდე. სწორედ ამ შრომების შედეგად შეიქმნა ჯერ კიდევ 1970-80 წლებში საქართველოს სსრ ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების ერთიანი პროგრამა, რომელიც გათვლილი იყო 1976-1999 წლებში სამოქმედოდ. სამწუხაროდ, ქვეყანაში შექმნილი ვითარების გამო მისი შესრულება ვერ მოხერხდა [48,49,50].

სხვადასხვა სამეცნიერო ინსტიტუტებში, მათ შორის მიწათმოქმედების, ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის, ნიადაგმცოდნეობის ინსტიტუტებში მიმდინარეობდა ეროზიული პროცესების კვლევა, ხდებოდა ეროზიით დაზიანების ხარისხის განსაზღვრა და შესაბამისად იგეგმებოდა ნიადაგის ნაყოფიერების გაუმჯობესების ღონისძიებები. ნიადაგის ეროზიის შესწავლას დიდი ადგილი აქვს დათმობილი ც. მირცხულავას შრომებში [10,11,13,14,15,16,17,18,50].

ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიის შესწავლას და ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების შემუშავებას საკმაოდ დიდი ხნის ისტორია აქვს. მიუხედავად ამისა, ნიადაგის ეროზიისაგან დაცვის და შესაბამისად მოწყვლად ფერდობებზე ბიომრავალფეროვნების აღსადგენად საჭიროა ტანამედროვე, ინოვაციური ტექნოლოგიების შექმნა, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ქვეყნის ეკოლოგიური და ეკონომიკური წინსვლისათვის.

## 1.2 ნიადაგის ეროზიული პროცესების გამომწვევი ძირითადი ფაქტორები

ნიადაგის ეროზიის გამომწვევი ძირითადი ფაქტორებია:

1. რელიეფის მნიშვნელობა დიდია ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების თვალსაზრისით, რადგან რთული, დანაწევრებული რელიეფი განსაზღვრავს ფერდობზე ჩამოდინებული წყლის ნაკადის გამრეცხუნარიანობას[6,19];

2. კლიმატი. საქართველოს მთელი ტერიტორია ხასიათდება განსხვავებული კლიმატური მაჩვენებლებით, რაც გამოიხატება პერიოდულობით, კერძოდ: თბილ პერიოდში ფორმირდება სხვადასხვა ინტენსიობის წვიმები, ნალექების სიდიდე აღწევს 80-160 მმ-ს, ხოლო ინტენსიობა 2-5 მმ წუთში, რაც მნიშვნელოვნად განაპირობებს ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების ფორმირებას.

3. ნიადაგები. ნიადაგის წარმოშობა განისაზღვრა ბაზისურ ქანებზე მრავალი ფაქტორის ზემოქმედებით (რელიეფი, კლიმატი, მიკროორგანიზმები და სხვ.). აღსანიშნავია, რომ საქართველოს ნიადაგები 49 ტიპის ნიადაგებით არის წარმოდგენილი, აქედან ყველაზე მეტად განიცდის ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების ზეგავლენას ლიოსისებური ტიპის თიხნარები, რასაც საქართველოს ტერიტორიის დიდი ნაწილი უკავია;

რაც შეეხება ნიადაგის, წყლისმიერი ეროზიული პროცესების მიმართ მდგრადობას, იგი პირდაპირ კავშირშია მის ფიზიკურ, ქიმიურ, მექანიკურ, ნაწილაკების შეჭიდულობასა და მინერალურ შემადგენლობაზე. მნიშვნელოვანია ნიადაგში ჰუმუსის შემცველობა, რადგან იგი განსაზღვრავს მის ჰიდროფილურობას და შესაბამისად წყლისმიერი ეროზიისადმი მის მდგრადობის უნარს[34,15,21,40,41];

4. ანთროპოგენული ზემოქმედება მნიშვნელოვან როლს თანაშობს ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების ფორმირებაში, რაშიც იგულისხმება: მთის ფერდობებზე ტყის მასივების არაგონივრული ჭრა,

მთიან რეგიონებში მდელოებზე მოსახლეობის მიერ საქონლის არასისტემური ძოვება, ტექნოგენური ფერდობების ფორმირება საგზაო და ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის რეალიზებისას[22,23].

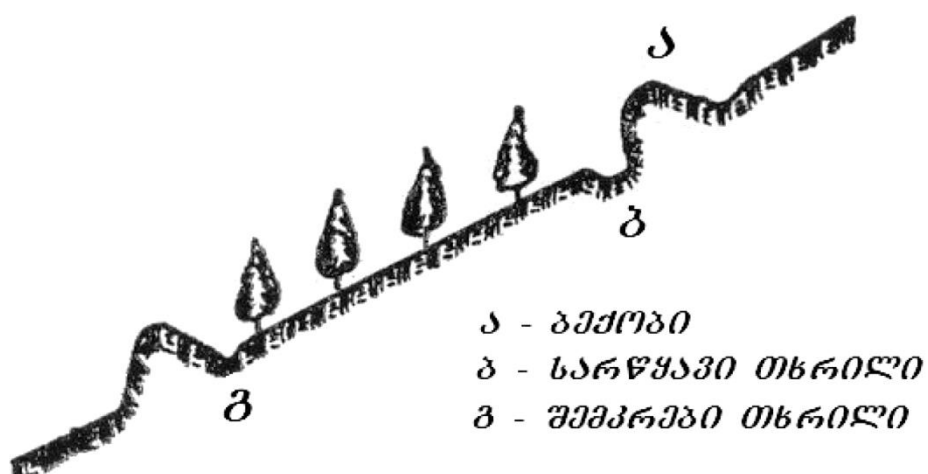
### 1.3 ნიადაგის ეროზიული პროცესების საწინააღმდეგო ღონისძიებები

ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების საწინააღმდეგო ღონისძიებების შეიძლება დავყოთ: აგროტექნიკურ, ჰიდროტექნიკურ, სატყეო და ფიტო-მელიორაციულ ღონისძიებებად[3,21,25,26,27,60,61].

ნიადაგის ეროზიის შესამცირებლად პირველ რიგში საჭიროა შემცირდეს ზედაპირული ჩამონადენის კოეფიციენტი და ფართობის ქანობი. მეორე ღონისძიება შრომატევადია და მას, როგორც ქვემოთ აღვნიშნავთ, უკიდურეს შემთხვევაში ვიყენებთ.

ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგოდ ყველაზე ხშირად მიმართავენ ფერდობის დატერასებას, რომლის მიზანია ნიადაგის ზედაპირის გარეცხვის შემცირება[65].

პრაქტიკაში არსებობს დატერასების ორი ძირითადი სახე: საფეხურისებრი და ბექობების საშუალებით; ბექობების საშუალებით დატერასება მეტად მარტივი და იაფი ღონისძიებაა (ნახ. 1.3.1).



ნახ. 1.3.1 საფეხურიანი ტერასის სქემა



მოცემულ შემთხვევაში ფართობს არ ეცვლება ბუნებრივი ქანობი, მხოლოდ ჰორიზონტალების მიმართულებით გაკეთებული ბექობებით ფართობი იყოფა 20±50 მ-ის სიგანის ტერასებად. ბექობების საშუალებით დატერასება მისაღებია 0,087-დან 0,176 ქანობის მქონე ფართობებზე ე.ი. 5°-დან 10°-მდე. ეს დაახლოებით ის საზღვარია, რომლის შემდეგ უკვე მექანიზაციის გამოყენება შეუძლებელია. 10°-ზე ზევით უკვე საჭიროა ქანობის შემცირება და საფეხურებრივი დატერასების გამოყენება.

იმ შემთხვევაში, როდესაც დატერასებასთან ერთად ფართობი საჭიროებს რწყვას, ტერასის თავში, ე.ი. ზედა ბექობის ქვედა მხარეს გაყვანილი უნდა იქნეს სარწყავი თხრილი (ბ), ხოლო ტერასის ბოლოში გატარებული თხრილი (გ) შემკრები თხრილის როლს ასრულებს. ასეთი სახით დატერასება გავრცელებულია ატენის ხეობაში (გორის რ-ნი), სადაც ფერდობების ქანობი 0,125-ზე მეტს აღწევს, ხოლო ტერასების სიგანე 8±15 მ-ს უდრის.

დატერასების დროს მისი ქვედა ფერდის გამაგრება სასურველია ჩატარდეს ქვის მასალის გამოყენებით, თუ ამის საშუალება არ არის, გამაგრება სრულდება კორდიანი მიწის ბელტების დალაგებითა და დატკეპნით (ფოტო 1.3.2)



ფოტო 1.3.2 ქვის ტერასების საერთო ხედი

ტერასებს უნდა მიეცეს ჰორიზონტალური მდებარეობა ჰორიზონტალური მიმართულებით. მძიმე მექანიკური შედგენილობის ნიადაგებზე, სადაც ნიადაგში წყლის ჩაჟონვა მეტად მცირეა და მოსალოდნელია ტერასებზე ზედმეტი წყლის დაგროვება, ტერასებს უნდა მიეცეს დაქანება ჰორიზონტალების მიმართულებით [46].

ტერასებზე ნიადაგის ფენები ბუნებრივად უნდა იყოს განაწილებული. ამას მოითხოვს, სხვათა შორის, ნიადაგის ფენების თავისებურება – წინ აღუდგეს წყლისმიერ ეროზიას – გადარეცხვას.

დასავლეთ საქართველოს სუბტროპიკული ზონის ნიადაგების შესწავლის დროს აღმოჩნდა, რომ ნიადაგის სხვადასხვა ფენის გადარეცხვისადმი გამძლეობა მეტად დიდ ფარგლებში მერყეობს. მოყვანილი მასალიდან აშკარად ჩანს ტერასების მომზადების დროს ფენების ბუნებრივი გაადგილების დაცვის საჭიროება.

ნიადაგის ზედა ფენა აუცილებლად უნდა მოთავსდეს, როგორც ტერასის, ისე მისი გვერდების ზედაპირზე. თუ ტერასების მომზადების დროს მის ზედაპირზე მეორე ან, მით უმეტეს, მესამე ჰორიზონტი მოხვდა, მისი გამძლეობა ნაკლები იქნება და ადგილი ექნება გადარეცხვას (ფოტო 1.3.3).



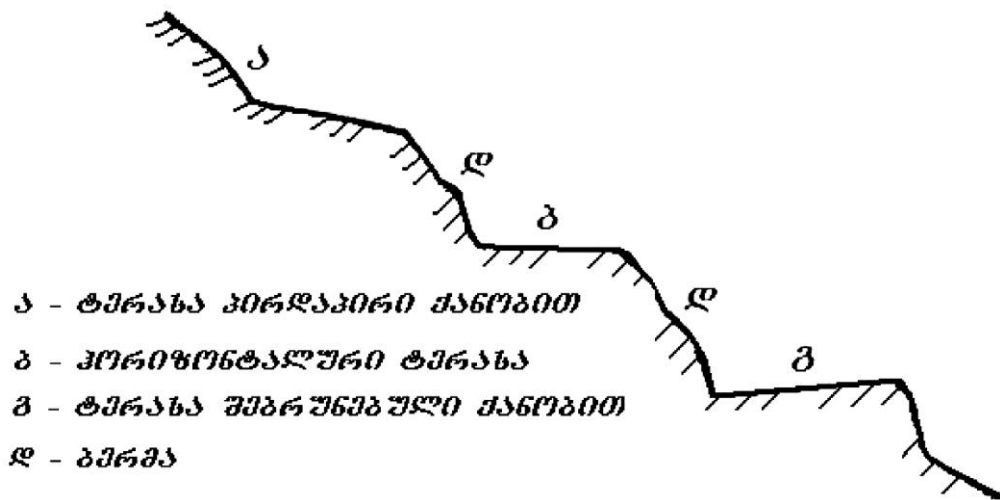
**ფოტო 1.3.3 საფეხურისებრი ტერასის საერთო ხედი**

გადარეცხვის შემცირება აუცილებლად მოითხოვს, აგრეთვე, თვით ტერასების შემადგენელი ქანების ზუსტად შერჩევას ნიადაგის თვისებათა მიხედვით.

ნიადაგის თვისებათა მიხედვით ტერასებს შეიძლება მიეცეს სამი სახის მდებარეობა:

- 1) ჰორიზონტალური მდებარეობა;
- 2) მდებარეობა პირდაპირი ქანობით;
- 3) მდებარეობა უკუქანობით.

უკანასკნელი სახის უკუქანობით ტერასა (ნახ. 1.3.4) ყველაზე მეტად აკმაყოფილებს ზემოაღნიშნულ მოთხოვნებს და გამოიყენება მძიმე მექანიკური შედგენილობისა და მცირე წყალჟონვადობის მქონე ნიადაგში.



ნახ. 1.3.4 ტერასების სახეები ნიადაგ-გრუნტის მიხედვით

პირდაპირი ქანობის მქონე ტერასა მისაღებია მსუბუქი მექანიკური შედგენილობის ნიადაგებზე, სადაც წყალჟონვადობა საკმაოდ დიდია და ტერასების ქანობი იმ პრინციპითაა შერჩეული, რომ ტერასაზე დაგროვილი წყალი ასწრებდეს ნიადაგში ჩასვლას და ზედაპირული ჩამონადენიც მინიმუმამდე იყოს დაყვანილი [41,43].

რაც შეეხება კორიზონტალურ ტერასებს, ამ უკანასკნელთა გამოყენება საშუალო მექანიკური შედგენილობის ნიადაგებშია მისაღები.

დატერასება ისე უნდა ჩატარდეს, რომ მცენარისათვის ნორმალური პირობები შეიქმნას; ერთ-ერთ ასეთ პირობას საკვები ნივთიერებით უზრუნველყოფა წარმოადგენს, ვინაიდან ზედა ფენები შედარებით მდიდარია მცენარისათვის საკვები ნივთიერებით, ამიტომ ამ მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად საჭიროა აგრეთვე ნიადაგის ფენების ბუნებრივი განლაგების დაცვა. ამგვარად, ეს მოთხოვნილება არ ეწინააღმდეგება ჩვენ მიერ აღნიშნულ პირველ მოთხოვნილებას, სადაც საჭირო აღმოჩნდა ფენების ბუნებრივი გაადგილების დაცვა.

როგორც თავიდანვე აღინიშნა, დატერასების მიზანია გადარეცხვის შემცირება და წყალ-ჰაეროვანი რეჟიმის რეგულირება. ამ უკანასკნელი მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად საჭიროა ნიადაგის ფენების ისეთი განლაგება, რომელიც უზრუნველყოფს ტენის საკმაოდ რაოდენობით

შეთვისებასა და ზედა ფენებში დაგროვებას, სადაც მცენარის ფესვთა სისტემის უმეტესი ნაწილია გავრცელებული.

წყალმოთხოვნილებასაც ნიადაგის ფენების ბუნებრივი განლაგება აკმაყოფილებს, ვინაიდან წყლის შეთვისების უნარი ნიადაგის ზედა ფენებს გაცილებით მეტი აქვს და, როგორც ქვემოთ მოყვანილი ცნობებიდან ჩანს, ნიადაგის ზედა ფენებში წყალტევადობაც გაცილებით მეტია.

უკანასკნელი მოთხოვნილებაა – მექანიზაციის პირობების გაუმჯობესება და ღირებულებების შემცირება.

მექანიზაციის პირობების გასაუმჯობესებლად, დატერასების გარდა, საჭიროა ფერდობებზე გზების გათვალისწინება და ტერასიდან ტერასაზე გადასვლის გაადვილება. ამის გარდა, თვით ტერასებსაც ისეთი განი უნდა მიეცეს, რომ ის განსაზღვრული რაოდენობის მცენარეთა მწკრივებს იტევდეს და მანქანის გამოყენებასაც ხელს უწყობდეს.

ღირებულების გასაიაფებლად დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე გვერდების ქანობის შერჩევასაც, ვინაიდან, რაც უფრო დიდი ქანობი აქვს გვერდებს, მით მეტ ადგილს იკავებენ ისინი და, ამიტომ, მით უფრო მეტი ფართობი იკარგება უსარგებლოდ.

სასარგებლო ფართობის დანაკარგი დამოკიდებულია ასევე იმ ფართობის ქანობაზე, რომლის დატერასებასაც ვაწარმოებთ.

დატერასებას საერთოდ არ აწარმოებენ 25÷30°-ზე ზევით, უმეტეს შემთხვევაში, ასეთ საზღვრად 25° ითვლება.

სასარგებლო ფართობის დანაკარგის ოდენობა დამოკიდებულია ასევე ტერასების სახეზეც. მაგ., 25° ქანობის მქონე ფართობის დატერასების პირობებში, თუ ტერასების გვერდების ქანობი არის 1,0° – სასარგებლო ფართობის დანაკარგი იქნება:

- ტერასები პირდაპირი ქანობით - 41,8%;
- ჰორიზონტალური ტერასები - 51,8%;
- ტერასები შებრუნებითი ქანობით - 57,8%.

აქედან ცხადია, თუ რამდენად მნიშვნელოვანია ნიადაგის თვისებათა დეტალურად შესწავლა, ვინაიდან ამ თვისებათა მიხედვით უნდა იქნეს შერჩეული როგორც ტერასების ქანობი, ისე ტერასების გვერდების ქანობიც. მხოლოდ ამ ელემენტების შერჩევაზეა დამოკიდებული სასარგებლო ფართობის დანაკარგის ოდენობა.

ტერასების გვერდების ქანობის შერჩევისას მხედველობაში არის მისაღები ის გარემოებაც, რომ ტერასის ქვედა გვერდს განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. საქმე ის არის, რომ თვით ტერასა ორი ნაწილისაგან შედგება: შიგა ნაწილის, რომელიც თხრილშია და მყარი მდგომარეობა აქვს და გარე ნაწილისაგან, რომელიც ყრილისაგან შედგება და მეტად არამდგრადია. ტერასის მეორე ნაწილი განსაკუთრებულ ღონისძიებას მოითხოვს გასამაგრებლად.

ტერასის გარეგანი ნაწილის გასამაგრებლად, ჩვეულებრივ, ქვედა გვერდის ქანობის შემცირებას მივმართავთ, რაც, ცხადია, ფართობის დანაკარგს ადიდებს ან, თუ ამის საშუალება არის, ტერასის ქვედა გვერდს ქვის ჯებირით ვამაგრებთ [44].

ქვის ჯებირით ტერასის ქვედა გვერდის გამაგრებას საქართველოშიც აქვს ადგილი. მაგალითად, ატენის ხეობაში (გორის რაიონი) და მესხეთში ძლიერი ქანობის მქონე ფართობი ზოგჯერ დატერასებულია და ტერასების ქვედა გვერდები გამაგრებულია ქვის ჯებირით.

თუ ქვის მასალა არ მოგვეპოვება და მისი მოზიდვა დიდ ხარჯს მოითხოვს, ტერასების ქვედა გვერდების გასამაგრებლად მაქსიმალურად უნდა გამოვიყენოთ გვერდების ზედაპირზე კორდიანი მიწის ბელტების დალაგება და დატკეპნა.

თვით ტერასების დამზადების დროს, ნიადაგის ზედა ფენა, ჩვეულებრივ, კორდიანი და საკვები ნივთიერებით მდიდარი, ცალკე უნდა დაიყაროს, რომ შემდეგში ტერასის გასწორების დროს, ეს ფენა ზედაპირზე დალაგდეს და ტერასის გვერდების გასამაგრებლად გამოდგეს.

ცალკე უნდა დაიწყოს, აგრეთვე, ნიადაგის მეორე და მესამე ფენები, რომლებსაც შემდეგში ისეთივე განლაგება უნდა ჰქონდეს ტერასის ზედაპირზე.

რაც შეეხება ტერასების განს, ეს უკანასკნელი, როგორც უკვე იყო აღნიშნული, დამოკიდებულია მექანიზაციის მოთხოვნილებისა და კულტურათა თავისებურებაზე. ყოველ შემთხვევაში, უნდა გვახსოვდეს, რომ ტერასების გაგანიერება იწვევს ხარჯების ზრდას, ვინაიდან საჭიროა მეტ სიღრმეზე ნიადაგის გაჭრა და მეტი მიწის სამუშაოების წარმოება, ამიტომ ტერასის ზედმეტად გაგანიერება არც ისე ხელსაყრელია.

ტერასების გაგანიერებისა და ამასთან დაკავშირებული სიღრმის გადიდების დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის გარემოებაც, რომ ფერდობებზე მთის ქანები შედარებით ახლო მდებარეობენ ზედაპირთან დაღრმად გათხრის დროს შესაძლებელია მათი გამოშვლება და ტერასების უფრო ნაკლებ ნაყოფიერ ფენებზე მოთავსება. ამიტომ, აუცილებელია, დატერასებამდე გეოლოგიური პირობების ზუსტად შესწავლა და მთის ქანების მდებარეობის მიხედვით ტერასების განის გაანგარიშება.

დატერასების დროს აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ტერასებს შორის უძრავი ადგილის დატოვება (დაახლოებით 0,5 მ), რომლის დანიშნულებაც მეტი სიმაგრის შექმნა და მისი გზად გამოყენება [31].

ამგვარად, დატერასებისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული: ტერასის განი, გვერდები, მათი ქანობი და ტერასებს შორის უძრავი ადგილი, რომელსაც ბერმა ეწოდება.

ფართობის დატერასებამდე საჭიროა ტერასების განივი მიმართულების აღნიშვნა ფართობზე და შემდეგ მისი ზოლებად დაყოფა. თითოეული ზოლი უნდა შეიცავდეს მომავალი ტერასის გვერდებისათვის საჭირო ფართობს, თვით ტერასის ფართობსა და ბერმას.

მხოლოდ ზოლების გამოყოფის შემდეგ იწყება თითოეული ზოლის დატერასება, თითოეული ზოლის განი, ფართობის ქანობისა და ტერასების განის მიხედვით, გვერდების 1,0°-იანი ქანობის შემთხვევაში.



მთის ფერდობის საფეხურისებრ დატერასებას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა გააჩნია, რადგან მისი სწორად დაპროექტება უზრუნველყოფს არა მარტო ფერდობის მდგრადობას, არამედ ასევე, ტერასებს შორის სივრცეში ნიადაგ-გრუნტის წყლისმიერი ეროზიის შემცირებას.

**ბრძოლა ნიადაგის დახრამვასთან.** წყლის მექანიკური მოქმედების ძლიერ სახეს დახრამვა წარმოადგენს. დახრამვის საწყისი სტადიაა ნიადაგის ზედაპირის გადარეცხვა.

გადარეცხვის პირველივე სტადიაზე ადგილი აქვს ხრამის წარმოშობას. ის ადგილი, საიდანაც იწყება დახრამვა, ცნობილია ეროზიის ბაზისის სახელწოდებით.

ხრამს სამი ნაწილი აქვს: 1) ზედა ნაწილი, სადაც ინტენსიური დახრამვა მიმდინარეობს. აქ ქანობის მნიშვნელობა მაქსიმალურია; 2) საშუალო ნაწილი, სადაც ქანობი შედარებით ნაკლებია, ხოლო გრუნტის გადატანასთან ერთად ადგილი აქვს ზემოდან ჩამოტანილი ნაწილაკების დალექვასაც; 3) ქვედა ნაწილი, სადაც მხოლოდ გრუნტის ნაწილაკების დალექვა წარმოებს და ქანობიც მცირეა [46].

მძიმე მექანიკური შედგენილობის ნიადაგების შემთხვევაში ტერასებს უნდა მიეცეს დაქანება ჰორიზონტალების მიმართულებით. ნიადაგის თვისებათა მიხედვით ტერასებს შეიძლება მიეცეს 3 სახის მდებარეობა:

1. ჰორიზონტალური მდებარეობა;
2. მდებარეობა პირდაპირი ქანობით;
3. მდებარეობა შებრუნებითი ქანობით.

პირდაპირი ქანობის ტერასები გამოიყენება მჩატე მექანიკურ ნიადაგებში, შებრუნებითი ქანობით მძიმე მექანიკურ ნიადაგებში, რაც შეეხება ჰორიზონტალურ ტერასებს იგი გამოიყენება საშუალო მექანიკურ ნიადაგებში.

მთის ფერდობის დატერასება ისე უნდა ჩავატაროთ, რომ შესაძლებელი იყოს მექანიზაციის მაქსიმალურად გამოყენება. იმ



შემთხვევაში, როდესაც მთის ფერდობის დახრილობა იცვლება  $25\pm 30^\circ$ -მდე, შემთხვევაში დატერასების ჩატარება არაა რეკომენდებული.

ხრამის ზრდა, როგორც პრაქტიკამ დაგვანახა, წარმოებს როგორც სიგრძეზე, ასევე სიგანეზე. ხრამის სიგანეზე ზრდა მხოლოდ მაშინ წყდება, როდესაც ხრამის გაღრმავება ჩერდება და მისი ნაპირები დაფერდებულ მდგომარეობას მიიღებენ. ბოლოს ხრამის ნაპირები თანდათანობით მცენარეულობით იფარება და თვითონ ხრამი, რომლის მოქმედება უკვე ჩამქრალია, ხევის სახელწოდებითაა ცნობილი. ამგვარად, ხრამსა და ხევს შორის ის განსხვავებაა, რომ ხრამი მოქმედია, მისი ზრდა მიმდინარეობს, ხოლო ხევი იგივე ხრამია, მხოლოდ უკვე ჩამქრალი.

დახრამვის წინააღმდეგ ბრძოლაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა გადარეცხვის წინააღმდეგ ბრძოლას აქვს, ვინაიდან გადარეცხვის პროცესის შენელების გზით მთლიანად იქნება აცილებული დახრამვის მიზეზიც.

იმ შემთხვევაში, როდესაც დახრამვა უკვე წარმოიშვა, საჭიროა:

1. შევწყვიტოთ დახრამვის პროცესის შემდგომი განვითარება;
2. დავამაგროთ დახრამვის პროცესში უკვე დაზიანებული ადგილები.

დახრამვის პროცესის შენელების ერთ-ერთ საშუალებად ითვლება ხრამის თავზე ბეჭობიანი თხრილების ჰორიზონტის მიმართულებით  $5\pm 10$  მ. დაშორებით შემოვლება, ასევე დახრამვის საწინააღმდეგოდ გამოიყენება ბარაჟები [3,40,67,74,75,76,77,78,79,80].] (ფოტო 1.3.5)



**ფოტო 1.3.5 ხრამის რეგულირება ბაჟების გამოყენებით**

ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების საწინააღმდეგოდ ცნობილია მრავალი სახის და მასალის გეოხალიჩები, როგორცაა: „ენკამატი“, „სეკუმატი“, „ბონტერა“, „ჯუთამატი“ (ფოტო 1.3.6) და მრავალი სხვა.



**ფოტო 1.3.6 ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო გეოხალიჩა „ჯუთამატი“ დარეგულირებული ფერდობის საერთო ხედი**

ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების საწინააღმდეგო ტექნოლოგიების უმრავლესობის რეალიზება დიდ დანახარჯებთან არის დაკავშირებული, ასევე დიდი დახრის მქონე ფერდობებზე ბევრი მათგანის გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი ამიტომ საჭიროა იაფი, ეფექტური ტექნოლოგიების შექმნა ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების მინიმუმამდე დასაყვანად.

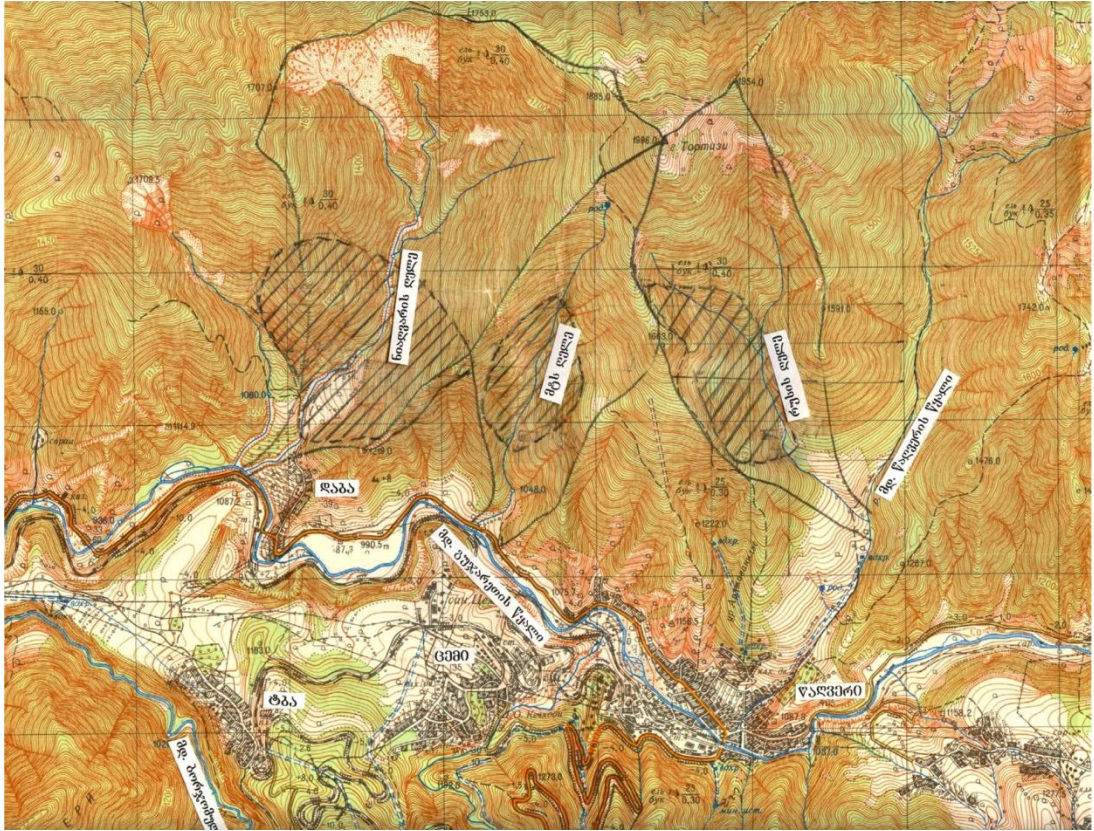
## თავი 2. ბორჯომის ხეობის ლანდშაფტური და თანამედროვე გეოეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება

### 2.1 ბორჯომის ხეობის ლანდშაფტური და ეკოლოგიური მდგომარეობის დახასიათება

ბორჯომის ხეობას მნიშვნელოვანი როლი აკისრია ბორჯომი-ბაკურიანის რეკრეაციული და ტურისტული კონიუნქტურის მდგრადი განვითარების მიმართულებით, რისთვისაც აუცილებელია ბორჯომის ხეობის ლანდშაფტის, ტყის მასივების შენარჩუნება და ეკოლოგიური მდგომარეობის დაცვა[23,24,37,38,42].

აღსანიშნავია, რომ 2008 წლის ეკოციდის შემდეგაც რამდენჯერმე გაჩნდა ხანძარი წალვერის მიმდებარედ, ბორჯომის მიმართულებით, მდინარე გუჯარეთის (წყლის) მარჯვენა სანაპიროზე და მოიცვა ტყით დაფარული ტერიტორიის მნიშვნელოვანი ნაწილი. ხანძრისაგან განადგურებულმა ფართობმა, დაახლოებით, 1000 ჰექტარი შეადგინა. ბორჯომ-ხარაგაულის ეროვნულ პარკში სამი კერა დაფიქსირდა ზოვეტის, ქვაბისხევისა და ლიკანის მიდამოებში. საბედნიეროდ, აქ ხანძრის ლიკვიდაცია მალე მოხდა, ხოლო დანარჩენ ბუფერულ ზონაში, რომელიც ესაზღვრებოდა ნეძვის ალკვეთილს, ტყის დიდი მასივი მთლიანად გადაიწვა. ასევე ხანძრისგან განადგურდა წალვერის მიმდებარე ტერიტორიები, კერძოდ, სოფ. დაბაში მდ. ნიაღვარის ღელეს, ე.წ. მტს-ის ღელეს და რუსის ღელეს წყალშემკრებ აუზებში არსებული ტყის მასივები [3] (ნახ. 2.1.1).





**ნახ. 2.1.1 მდინარე გუჯარეთის წყლის მიმდებარედ არსებული ნახანძრავი ტერიტორიები**

ამ ტერიტორიაზე ძირითადად, მუქი წიწვოვანებია წარმოდგენილი: სასნოვსკის ფიჭვი, ნორდმანის სოჭი და აღმოსავლური ნაძვი, ისინი კავკასიისათვის ენდემურ სახეობებს წარმოადგენენ. მცნება `კავკასია` ამ შემთხვევაში ფართოდ განიხილება, მასში იგულისხმება მისი სამხრეთი ნაწილიც, რომელიც ნაწილობრივ თურქეთის ტერიტორიასაც მოიცავს. აქ არსებული ტყის დიდი კორომები თითქმის მთლიანადაა გადამწვარი. სამწუხაროდ. მისი აღდგენა რთული იქნება. როდესაც ტყე ნადგურდება, ირღვევა ბიოლოგიური განვითარების ციკლი და წიწვოვანი ტყეების ადგილზე, თუ არ ჩავერიეთ, შესაძლოა ქეროპიტული, მეორადი ტყე მივიღოთ, რომელიც მთლიანად შეცვლის არსებულ წიწვოვან ტყეებს და საბოლოო ჯამში მივიღებთ არა ჩვენთვის ძვირფასი წიწვოვანი ტყის მასივს, არამედ გამეჩხერებულ, უხარისხო ბუჩქნარებით დაფარულ ფერდობებს.

ბორჯომის ხეობაში განვითარებულმა ხანძრებმა გამოიწვია ბუნებრივი პირობებისა და ნიადაგის თვისებების გაუარესება, ზოგ

ჰუმუსოვანი 2÷10 სმ ფენის დეგრადირება, რამაც შეიქმნა ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების, მეწყრების, ღვარცოფებისა და წყალდიდობების ფორმირების საფუძველი, რამაც მნიშვნელოვანი რისკების წინაშე დააყენა, როგორც დასახლებული პუნქტები, ასევე ენერგო დერეფნის ნორმალური ფუნქციონირება [3].

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, საჭიროა დავიწყოთ ქმედითი ღონისძიებები განადგურებული ტყის მასივების ადგილობრივი სახეობების აღდგენაზე, რაც მთავარია, აღდგენა უნდა მოხდეს იგივე მცენარეული საფარით და არა მეორადით. სამწუხაროდ, როცა წიწვოვანი საფარი ნადგურდება, ჩანაცვლება უკვე სხვა ტიპის მცენარეებით ხდება, რაც დიდი ზიანს აყენებს ბუნებას.

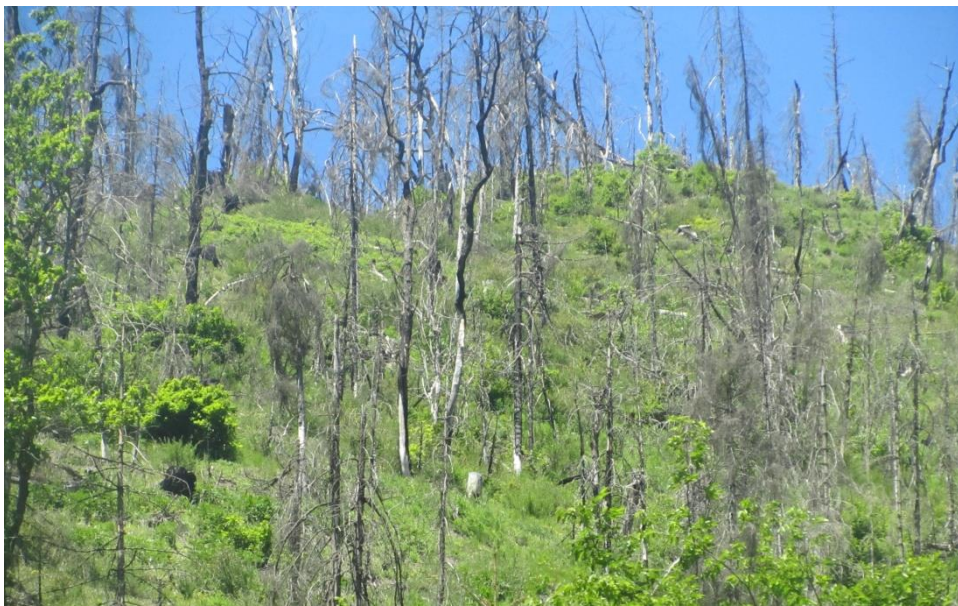
## **2.2. დაბა წალვერის მიმდებარე (მტს-ის ხევი) ნახანძრალ ფერდობებზე არსებული ეროზიული უბნების გამოვლენა**

ჩვენ მიერ მდინარე გუჯარეთის წყლის ხეობაში, დაბა წალვერის მიმდებარე ნახანძრალ ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიული პროცესების გამოვლენის და შესწავლის მიზნით განხორციელდა მონიტორინგი, რომლის დროსაც გამოვლინდა მრავალი მოწყვლადი უბნები, სადაც, ძირითადად ხანძრის გავლენით, გაპლიერებულია ნიადაგის ეროზიული პროცესები, რაც მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს აღნიშნულ უბნებზე ღვარცოფული და მეწყრული მოვლენების პროვოცირების. დაფიქსირდა, წალვერის მიმდებარე (მტს-ის ხევი) ნახანძრალ ფერდობებზე (ფოტო 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3)





ფოტო 2.2.1 ეკოციდის შედეგად განადგურებული ტყის მასივი



ფოტო 2.2.2 ნახანძრალი ტყე



**ფოტო 2.2.3 ხანძრის შედეგად დეგრადირებული ფერდობი**

ზემოაღნიშნული ფოტო მასალიდან ნათლად ჩანს ნახანძრალი ტყის მასივი, სადაც განვითარებულია სხვადასხვა სიმძლავრის ნიადაგის დეგრადაციული პროცესები, რომელიც უარყოფით გავლენას მოახდენს ნახანძრალი ფერდობების გავლენის ზონაში არსებული ენერგო დერეფნების უსაფრთხო ფუნქციონირებაზე (ფოტო 2.2.4).



**ფოტო 2.2.4 მტს-ის ხევის არეალში არსებული ენერგო ინფრასტრუქტურა (ელექტრო ენერჯის ტრანსფორმატორი და მაღალი ძაბვის ელექტრო სადენები)**

ზემოაღნიშნული ნიადაგის დეგრადაციული პროცესების შესწავლისა და მათი საწინააღმდეგო ღონისძიებების შესამუშავებლად, შესაბამისად ენერგო დერეფნის ეკოლოგიური რისკების მინიმუმამდე დასაყვანად, ჩვენ მიერ შერჩეული იქნა მტს-ის ხევში არსებული ნახანძრალი მთის



მოწყვლადი ფერდობი (ფოტო 2.2.5), სადაც ჩვენ მიერ მოწყობილი იქნა ნიადაგის ეროზიული პროცესების დინამიკის და ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების ეფექტურობის შესასწავლად საჭირო საველე პოლიგონი.



**ფოტო 2.2.5 მტს-ის ხევში საველე პოლიგონის მოსაწყობად შერჩეული მოწყვლადი ფერდობი**

როგორც ფოტო 2.2.5-დან ჩანს, მოწყვლად ფერდობზე აქტიურ ფაზაშია მცირე ნალვარეების ფორმირების პროცესი, რაც გამოიწვევს დიდი ინტენსიობის ნიადაგის ეროზიას და შესაბამისად ღვარცოფული მოვლენების ფორმირებას, რაც დიდ საფრთხეს შეუქმნის მტს-ის ხევის ძირში განთავსებულ ენერგეტიკულ ინფრასტრუქტურას.

### **2.3. ეროზირებული ფერდობის ნიადაგის ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური მახასიათებლების დადგენა**

მტს-ის ხევის ეროზირებული ფერდობიდან აღებული იქნა ნიადაგის როგორც დარღვეული, ასევე მონოლითური სახის ნიმუშები, მათზე ჩატარდა ლაბორატორიული კვლევები მათი გრანულომეტრიული შემადგენლობის (ცხრილი 2.3.1), ფიზიკური (ცხრილი 2.3.2) და მექანიკური (2.3.3) თვისებების განსაზღვრის მიზნით [28,29,30,36,58,59].

**ცხრილი 2.3.1**  
**ნიადაგ-გრუნტის გრანულომეტრული შემადგენლობა**

მონოლითის #	გეოლოგიური ინდექსი	მონოლითის აღების ინტერვალი მ	გრანულომეტრული შემადგენლობა			
			ფრაქციის ზომა მმ			
			თიხა	მტვერი	ქვიშა	უხესნატეხოვანი
			<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

**ცხრილი 2.3.2**  
**ნიადაგის ფიზიკური თვისებები**

მონოლითის #	გეოლოგიური ინდექსი	მონოლითის აღების ინტერვალი მ	ფიზიკური თვისებები										
			პლასტიკურობა			სიმკვრივე			ტენიანობა W	ფორიანობა n	ფორიანობის კოეფიციენტი e	ტენიანობის ხარისხი S <sub>r</sub>	დენადობის მაჩვენებელი I <sub>L</sub>
			ტენიანობა დენადობის ზღვარზე W <sub>d</sub>	ტენიანობა პლასტიკურობის ზღვარზე W <sub>p</sub>	პლასტიკურობის რიცხვი I <sub>p</sub>	გრუნტის ნაწილაკების ρ <sub>s</sub>	ბუნებრივი ρ <sub>II</sub>	გრუნტის ჩონჩხის ρ <sub>c</sub>					
			გ.გ.	გ.გ.	%	გ/სმ <sup>3</sup>	გ/სმ <sup>3</sup>	გ/სმ <sup>3</sup>	გ.გ.	გ.გ.	გ.გ.	გ.გ.	გ.გ.
1	dQ <sub>I</sub> v	0.6	0.47	0.24	23	2.75	1.9	1.50	0.27	0.46	0.84	0.886	0.13
2		0.5	0.45	0.23	22	2.75	1.88	1.49	0.26	0.46	0.84	0.848	0.14
3		0.7	0.46	0.24	22	2.74	1.88	1.47	0.28	0.46	0.87	0.886	0.18
4		0.5	0.44	0.24	20	2.75	1.89	1.49	0.27	0.46	0.85	0.876	0.15
5		0.6	0.45	0.23	22	2.76	1.88	1.48	0.27	0.46	0.86	0.862	0.18
6		0.5	0.46	0.28	18	2.75	1.87	1.44	0.3	0.48	0.91	0.905	0.11

ცხრილი 2.3.3  
ნიადაგის მექანიკური თვისებები

მონოლითის #	გეოლოგიური ინდექსი	მონოლითის ალვის ინტერვალი მ	მექანიკური თვისებები			
			კუმშვა		სიმტკიცე	
			კუმშვადობის კოეფიციენტი, a	საერთო დეფორმაციის მოდული $E_0$	შინაგანი ხახუნის კუთხე, $\varphi^0$	შეჭიდულობა, C
			მპა	მპა	გრად.	მპა
1	2	4	19	21	22	23
1	d <sub>QIV</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

ლაბორატორიული კვლევების შედეგად დადგინდა შემდეგი: გრანულომეტრიული მაჩვენებლების მიხედვით, გრუნტები თიხურ ქანებს განეკუთვნებიან, სადაც თიხა-მტვროვანი ფრაქცია 80% აჭარბებს, ხოლო ქვიშა და უხეშნატეხოვანი ფრაქცია 20% არ აღემატება (ცხრილი 2.3.1). იგი ნახევრად მყარი კონსისტენციის, საშუალოდ ტენიან გრუნტებს მიეკუთვნება. პლასტიკურობის რიცხვის მიხედვითაც იგი თიხურ გრუნტებს წარმოადგენს საშუალო ფორიანობით (ცხრილი 2.3.2). მექანიკური მახასიათებლების მიხედვით საშუალოდ კუმშვადი ქანების კატეგორიაში გადის (კუმშვადობის კოეფიციენტი  $a=0.01-0.03$ ), სიმტკიცის მაჩვენებლები ამ გრუნტებს ახასიათებს როგორც საშუალო შეჭიდულობისა და შიდა ხახუნის ძალების მქონე გრუნტებს. გრუნტი წყლოვანი გარემოს მიმართ არამდგრადი ხასიათით გამოირჩევა. ნიადაგის აღნიშნული

თვისებები ხელს უწყობს მოწყვლად ფერდობებზე ეროზიული პროცესების ფორმირებას [73] (ცხრილი 2.3.3).

ჩვენ მიერ აგრეთვე განხორციელდა ნიადაგ-გრუნტის ნიმუშების ქიმიური ანალიზი მისი ქიმიური შემადგენლობის დასადგენად [35] (ცხრილი 2.3.4). ლაბორატორიაში საკვლევად შემოსული ნიადაგის ნიმუში პირველ რიგში მომზადებული იქნა საანალიზოდ, რაც გულისხმობს მის მიყვანას ჰაერმშრალ მდგომარეობამდე, შემდეგ მომზადდა ნიადაგის წყლით გამონაწერი, რომელშიც განისაზღვრა ძირითადი კათიონებისა და ანიონების შემცველობა  $Cl^-$ ;  $HCO_3^-$ ;  $SO_4^{2-}$ ;  $Ca^{2+}$ ;  $Mg^{2+}$ . ნიადაგის რეაქციის pH და ჰუმუსის შემცველობა:

ცხრილი 2.3.4  
ნიადაგ-გრუნტის ქიმიური ანალიზის შედეგები

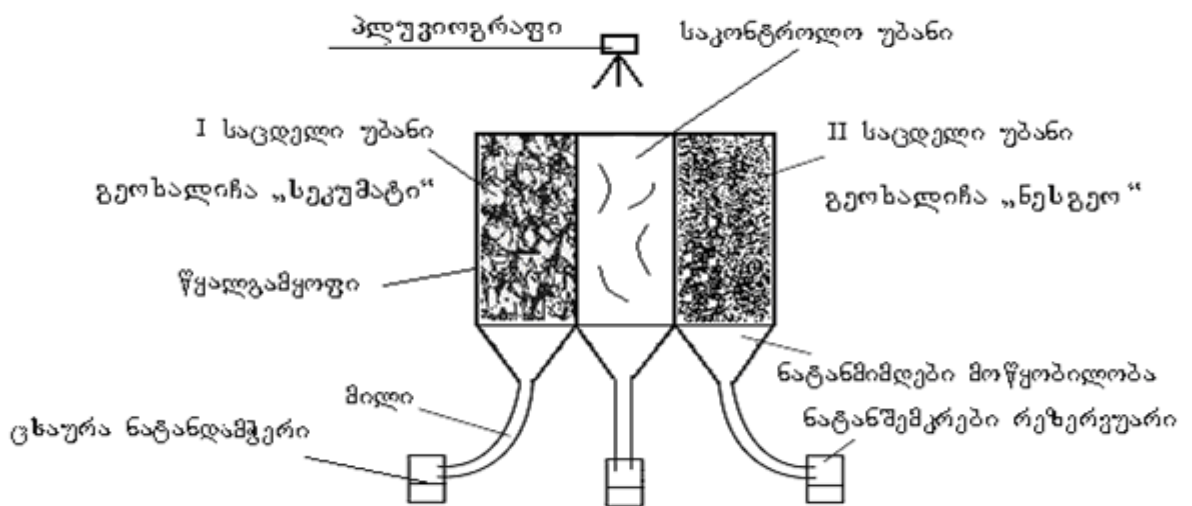
#	pH	$Cl^-$ mg/100g	$HCO_3^-$ mg/100g	$SO_4^{2-}$ mg/100g	$Ca^{2+}$ mg/100g	$Mg^{2+}$ mg/100g	H ჰუმუსი %	შეფასება
1	7,76	7,0	109,8	17	20	12	0,8	შავმიწა ნიადაგი

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ ნიადაგი დაბალ მარილიანია და რეაქცია სუსტი ტუტე აქვს. ჰუმუსის შემცველობა დაბალია, რაც ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საფუძველს წარმოადგენს მოწყვლად ფერდობზე ნიადაგ-გრუნტის ეროზიული პროცესების ფორმირების.

თავი 3. ბორჯომის ხეობაში არსებული ენერგო დერეფნის ინფრასტრუქტურის მიმდებარე მოწყვლად ფერდობებზე წყლისმიერი ნიადაგის ეროზიული პროცესების და მისი საწინააღმდეგო ფიტოსაინჟინრო ღონისძიებების ეფექტურობის კვლევა

3.1 საველე ინტეგრირებული პოლიგონის მუშაობის პრინციპები

დაბა წალვერის მიმდებარე მტს-ის ხევის ნახანძრალ ფერდობზე მოწყობილი იქნა ნიადაგის ეროზიის და მისი საწინააღმდეგო ღონისძიებების ეფექტურობის შესასწავლად საჭირო საველე პოლიგონი, რომლის პარამეტრები დადგინდა აპრობირებული მეთოდოლოგიის [47] მიხედვით (ნახ. 3.1.1, ფოტო 3.1.1).



ნახ. 3.1.1 საველე ინტეგრირებული პოლიგონის სქემა





**ფოტო 3.1.1** საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საერთო ხედი

ნიადაგის ეროზიის საკვლევი საველე ინტეგრირებული პოლიგონი შედგება სიმეტრიულად განლაგებული, ტოლი ფართობის მქონე, 2 საცდელი და 1 საკონტროლო უბნისაგან.

აღნიშნული საველე პოლიგონის I საცდელი უბნის ეროზირებული ნიადაგ-გრუნტის ზედაპირზე დაფენილი და ხის ანკერებით დამაგრებული იქნა გეოსინთეტიკური მასალისაგან დამზადებული, ლაბირინთისებრი სტრუქტურის მქონე გეოხალიჩა „სეკუმატი“, მასში ჩაითესა ბორჯომის ხეობაში გავრცელებული, უნიკალური ენდემური ჯიშის ბალახოვანი და ხე-ბუჩქოვანი მცენარეების თესლები [74,75,76,77,78,79,80].

II საცდელი უბნის ეროზირებული ნიადაგ-გრუნტის ზედაპირზე დაფენილი და ხის ანკერებით დამაგრებული იქნა ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ნატურალური ბამბისა და მარლის შრისაგან შემდგარი ინოვაციური გეოხალიჩა „ნესგეო“, რომელთა შრეებს შორის მოთავსებული იქნა ბორჯომის ხეობაში გავრცელებული, უნიკალური ენდემური ჯიშის ბალახოვანი და ხე-ბუჩქოვანი მცენარეების თესლები, ხოლო საკონტროლო უბანზე განხორციელდა ეროზიული პროცესების დინამიკის შესწავლა სხვადასხვა ინტენსიობის ნალექების ფორმირებისას.

საველე ინტეგრირებული პოლიგონის შესაძლებლობები დიდია, რადგან მის ფარგლებში ერთდროულად ხდება როგორც ნიადაგის ეროზიის

დინამიკის შესწავლა, ასევე ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო 2 ერთმანეთისაგან განსხვავებული გეოხალიჩის ეფექტურობის დადგენა. მისი მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: პოლიგონის საზღვრებში მოსული ნალექების ინტენსიობის განსაზღვრა ხდება საველე ინტეგრირებული პოლიგონის ახლოს დამონტაჟებული პლუვიოგრაფის საშუალებით. პოლიგონის საკონტროლო და საცდელ უბნებზე მოსული ინტენსიური ნალექის შედეგად ფორმირებული მყარი და თხიერი ჩამონადენი ნატანმიმღებისა და მილების საშუალებით გადადიოდა ნატანშემკრებ რეზერვუარში, სადაც ცხაურა ნატანდამჭერზე ილექებოდა მყარი ჩამონადენი, რომლის სათანადო ტემპერატურაზე გამოშრობის შემდეგ განისაზღვრებოდა მისი მოცულობა. ამის შემდეგ საველე პოლიგონის ორივე საცდელი უბნიდან ცალ-ცალკე მიღებული მყარი ჩამონადენის მოცულობები შედარება ხდებოდა საკონტროლო (ეროზირებული) უბნიდან ჩამოდინებული მყარი ჩამონადენის მოცულობებთან, საიდანაც განისაზღვრებოდა ორივე გეოხალიჩის ეროზიის საწინააღმდეგო ეფექტურობის მახასიათებელი.

საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საცდელ უბნებზე დამონტაჟებულ გეოხალიჩებში ჩათესილი ბორჯომის უნიკალური ენდემური ჯიშის ბალახოვანი და ხე-ბუჩქოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკის განსაზღვრა ხდებოდაა მცენარეთა სიმაღლეების უშუალო გაზომვების საშუალებით.

საველე ინტეგრირებული პოლიგონის ზემოაღნიშნული შესაძლებლობების იძლევა საფუძველს შევასოთ ლოკალურად მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესები და შევარჩიოთ ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო და ბიომრავალფეროვნების აღმდგენი ეფექტური ღონისძიება.



**3.2 მოწყვლად ფერდობზე მოწყობილი საველე ინტეგრირებული პოლიგონის ფარგლებში მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების ინტენსიობის, ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების ეფექტურობისა და ბიომრავალფეროვნების აღდგენის შესაძლებლობის კვლევა**

დაბა წალვერის მიმდებარე მტს-ის ხევის ნახანძრალ ფერდობზე მოწყობილ პოლიგონზე განხორციელდა საველე კვლევები ნიადაგის ეროზიის დინამიკის შესასწავლად და ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიის სარეგულაციო გეოხალიჩების ეფექტურობის დასადგენად, რომლის დროსაც პლუვიოგრაფის მეშვეობით (ფოტო 3.2.1) იზომებოდა ნალექების რაოდენობა, ხოლო დროის გათვალისწინებით ნალექების ინტენსიობა (ფოტო 3.2.2). საველე კვლევის პროცესში, ტენსაზომით იზომებოდა ნიადაგ-გრუნტის საწყისი ტენიანობა. საცდელი და საკონტროლო უბნებიდან (ფოტო 3.2.3) ფორმირებული ჩამონადენი, ნატანმიმღების (ფოტო 3.2.4) და მილების საშუალებით, ჩაედინება რეზერვუარებში (ფოტო 3.2.5) ჩადგმულ მცირე ზომის კასრებში (ფოტო 3.2.6).



**ფოტო 3.2.1** საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე განთავსებული პლუვიოგრაფი



ფოტო 3.2.2 საველე პოლიგონზე განთავსებულ პლუვიოგრაფში არსებული წვიმის წყლის მოცულობის დადგენა



ფოტო 3.2.3 საველე პოლიგონის საკონტროლო და საცდელი უბნები





ფოტო 3.2.4 საველე პოლიგონის საკონტროლო უბნის ნატანმიმღები



ფოტო 3.2.5 საველე პოლიგონის ქვევით განთავსებული რეზერვუარები



**ფოტო 3.2.6** საველე პოლიგონის ქვევით განთავსებულ დიდ რეზერვუარებში მოთავსებული მცირე მოცულობის ნატანმიმღები კასრები

პოლიგონის უბნებიდან ფორმირებული ჩამონადენების მოცულობის დადგენა წარმოებდა სპეციალური ცილინდრის საშუალებით(ფოტო 3.2.7), სადაც ხდებოდა თხიერი ჩამონადენიდან მყარი მასის გამოყოფა (ფოტო 3.2.8) და გამოშრობა საშრობში 105°C 4 საათის განმავლობაში, შემდეგ ნიადაგ-გრუნტის მოცულობის დადგენა [64,68,69,70].





ფოტო 3.2.7 ნატანმიმღები რეზერვუარიდან სინჯის აღება



**ფოტო 3.2.8 ნატანმიმღები რეზერვუარიდან აღებულ სინჯში მიმდინარე მყარი ჩამონადენის დალექვის პროცესი**

ზემოაღნიშნული ქრონოლოგიით განხორციელებული საველე კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრილში 3.2.1.

ცხრილი 3.2.1

განხორციელებული ექსპერიმენტის შედეგები პოლიგონზე

საველე ექსპერიმენტის ს ნომერი	პლუვიოგრაფის მონაცემი		საკონტროლო და საცდელი უბნები	საწყისი ტენიანობა ნიადაგის (%)	ჩამონადენი თხიერი (ლიტრი)	ჩამონადენი მყარი (კგ)
	ნალექების რაოდენობა (მმ)	ნალექების ინტენსიობა (მმ)				
1	17,7	5,7	I საცდელი უბანი	54	0,02	0,001
			II საცდელი უბანი	53	1,0	0
			საკონტროლო უბანი	45	0,05	0,011
2	22,4	8,9	I საცდელი უბანი	67	0,044	0,024
			II საცდელი უბანი	65	2,0	0
			საკონტროლო უბანი	59	0,09	0,035
3	18,3	7,4	I საცდელი უბანი	72	0,02	0,003
			II საცდელი უბანი	71	1,5	0
			საკონტროლო უბანი	67	0,06	0,017
4	9,8	3,2	I საცდელი უბანი	78	0,001	0,0002
			II საცდელი უბანი	77	0,5	0
			საკონტროლო უბანი	73	0,008	0,003
5	28,7	9,2	I საცდელი უბანი	56	0,1	0,012
			II საცდელი უბანი	55	1,8	0
			საკონტროლო უბანი	47	0,4	0,09
6	14,1	2,9	I საცდელი უბანი	46	0,001	0,0002
			II საცდელი უბანი	44	0,5	0
			საკონტროლო უბანი	39	0,008	0,003
7			I საცდელი უბანი	42	0,09	0,01



	23,4	7,1	II საცდელი უბანი	41	1,5	0
			საკონტროლო უბანი	33	0,35	0,07
8	15,3	3,1	I საცდელი უბანი	68	0,002	0,00025
			II საცდელი უბანი	67	0,6	0
			საკონტროლო უბანი	60	0,0083	0,0041
9	17,2	5,9	I საცდელი უბანი	69	0,07	0,009
			II საცდელი უბანი	68	1,3	0
			საკონტროლო უბანი	62	0,31	0,06
10	8,4	2,3	I საცდელი უბანი	74	0,001	0,0002
			II საცდელი უბანი	73	0,4	0
			საკონტროლო უბანი	68	0,007	0,0034
11	41	1,1	I საცდელი უბანი	75	0	0
			II საცდელი უბანი	73	0	0
			საკონტროლო უბანი	69	0	0
12	35	0,9	I საცდელი უბანი	77	0	0
			II საცდელი უბანი	76	0	0
			საკონტროლო უბანი	71	0	0
13	25	0,7	I საცდელი უბანი	54	0	0
			II საცდელი უბანი	53	0	0
			საკონტროლო უბანი	45	0	0
14	27	0,8	I საცდელი უბანი	67	0	0
			II საცდელი უბანი	65	0	0
			საკონტროლო უბანი	59	0	0

15	27	4,8	I საცდელი უბანი	72	0,07	0,011
			II საცდელი უბანი	71	1,4	0
			საკონტროლო უბანი	67	0,38	0,075
16	29,3	6,1	I საცდელი უბანი	78	0,15	0,01
			II საცდელი უბანი	77	1,8	0
			საკონტროლო უბანი	73	2,9	0,45
17	32	7,9	I საცდელი უბანი	56	1,6	0,1
			II საცდელი უბანი	55	7,2	0
			საკონტროლო უბანი	47	5,1	1,15
18	36	8,4	I საცდელი უბანი	46	1,8	0,12
			II საცდელი უბანი	44	9,3	0
			საკონტროლო უბანი	39	6,3	1,3
19	21,0	4,5	I საცდელი უბანი	42	0,15	0
			II საცდელი უბანი	41	3,0	0
			საკონტროლო უბანი	33	1,5	0,52
20	14,8	3,6	I საცდელი უბანი	68	0,1	0
			II საცდელი უბანი	67	1,6	0
			საკონტროლო უბანი	60	0,9	0,15
21	19,3	4,2	I საცდელი უბანი	69	0,12	0
			II საცდელი უბანი	68	1,3	0
			საკონტროლო უბანი	62	0,69	0,12
22			I საცდელი უბანი	74	0	0
			II საცდელი უბანი	73	0	0

	5,2	1,4	საკონტროლო უბანი	68	0,01	0,009
23	21,2	4,4	I საცდელი უბანი	75	0,5	0
			II საცდელი უბანი	73	1,2	0
			საკონტროლო უბანი	69	0,8	0,09
24	14,6	3,6	I საცდელი უბანი	77	0,35	0
			II საცდელი უბანი	76	0,9	0
			საკონტროლო უბანი	71	0,45	0,042
25	14,8	3,4	I საცდელი უბანი	54	0,32	0
			II საცდელი უბანი	53	0,85	0
			საკონტროლო უბანი	45	0,41	0,038
26	13,0	4,8	I საცდელი უბანი	67	0,42	0
			II საცდელი უბანი	65	0,92	0
			საკონტროლო უბანი	59	0,65	0,085
27	12,1	3,6	I საცდელი უბანი	72	0,37	0
			II საცდელი უბანი	71	0,87	0
			საკონტროლო უბანი	67	0,61	0,079
28	13,3	5,2	I საცდელი უბანი	78	1,1	0
			II საცდელი უბანი	77	6,2	0
			საკონტროლო უბანი	73	5,1	0,80
29	15,6	7,2	I საცდელი უბანი	56	1,46	0
			II საცდელი უბანი	55	9,2	0
			საკონტროლო უბანი	47	8,1	1,22
30			I საცდელი უბანი	46	0,12	0

	8,1	2,2	II საცდელი უბანი	44	2,3	0
			საკონტროლო უბანი	39	1,2	0,3
31	17,5	8,6	I საცდელი უბანი	42	1,5	0
			II საცდელი უბანი	41	9,8	0
			საკონტროლო უბანი	33	8,8	1,5
32	12,1	5,4	I საცდელი უბანი	68	0,3	0
			II საცდელი უბანი	67	3,8	0
			საკონტროლო უბანი	60	3,2	0,8

ასევე ტარდებოდა გეოხალიჩებზე აღმოცენებული ბალახოვანი საფარის ზრდის დინამიკის დადგენა (ფოტო 3.2.9, 3.2.10, 3.2.11)



ფოტო 3.2.9 გეოხალიჩა ნესგეოზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის დადგენის პროცესი





ფოტო 3.2.10 გეობალიჩა ნესგეოზე ამოსული ხე-მცენარეების სიმაღლეების გაზომვის პროცესი



ფოტო 3.2.11 გეობალიჩა სეკუმატზე ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის დადგენის პროცესი

პოლიგონზე დაფენილ გეობალიჩებზე აღმოცენებული მწვანე მასის დინამიკის მონაცემები მოცემულია ცხრილი 3.2.2-ის და ნახ. 3.2.1, ნახ. 3.2.2, ნახ. 3.2.3-ის სახით.

**ცხრილი 3.2.2**

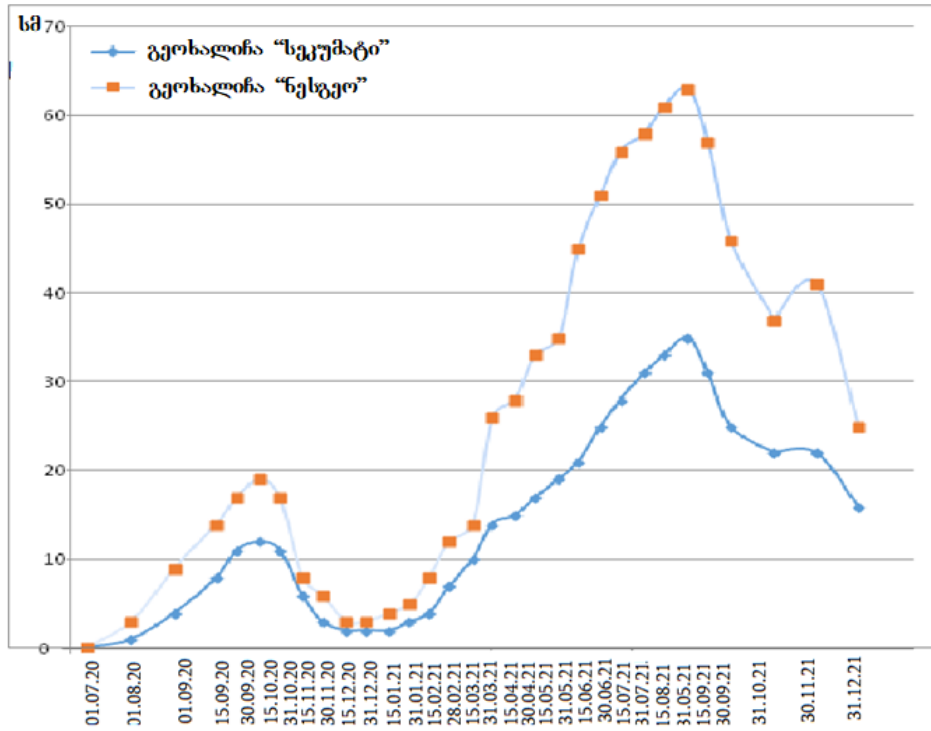
**გეოხალიჩებზე ვეგეტირებული მზვანე მასის განვითარების დინამიკა**

#	საველე ექსპერიმენტის განხორციელების თარიღი	საცდელი უბნები	ბალახოვანი მცენარეების საშუალო სიმაღლე h (სმ)	საშუალო სიმაღლე ხე მცენარეების h (სმ)	ბუჩქოვანი მცენარეების საშუალო სიმაღლე h (სმ)
1	1-31.07.2020	(გეოხალიჩა „სეკუმატი“) I საცდელი უბანი	1	0	0
		(გეოხალიჩა „ნესგეო“) II საცდელი უბანი	3	0	0
2	1-31.08.2020	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	4	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	9	1	2
3	1-30.09.2020	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	8	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	14	3	5
4	1-15.10.2020	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	11	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	17	10	11
5	16-31.10.2020	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	12	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	19	11	12
6	1-15.11.2020	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	11	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	17	11	12
7	16-30.11.2020	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	6	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	8	11	12
8	1-15.12.2020	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	3	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	6	11	12
9	16-31.12.2020	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	2	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	3	11	12
10	1-15.01.2021	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	2	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	3	11	12
11	16-31.01.2021	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	2	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	4	11	12
12	1-15.02.2021	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	3	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	5	11	12
13	16-28.02.2021	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	4	0	0
		II საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „ნესგეო“)	8	11	13
14	1-15.03.2021	I საცდელი უბანი (გეოხალიჩა „სეკუმატი“)	7	0	0

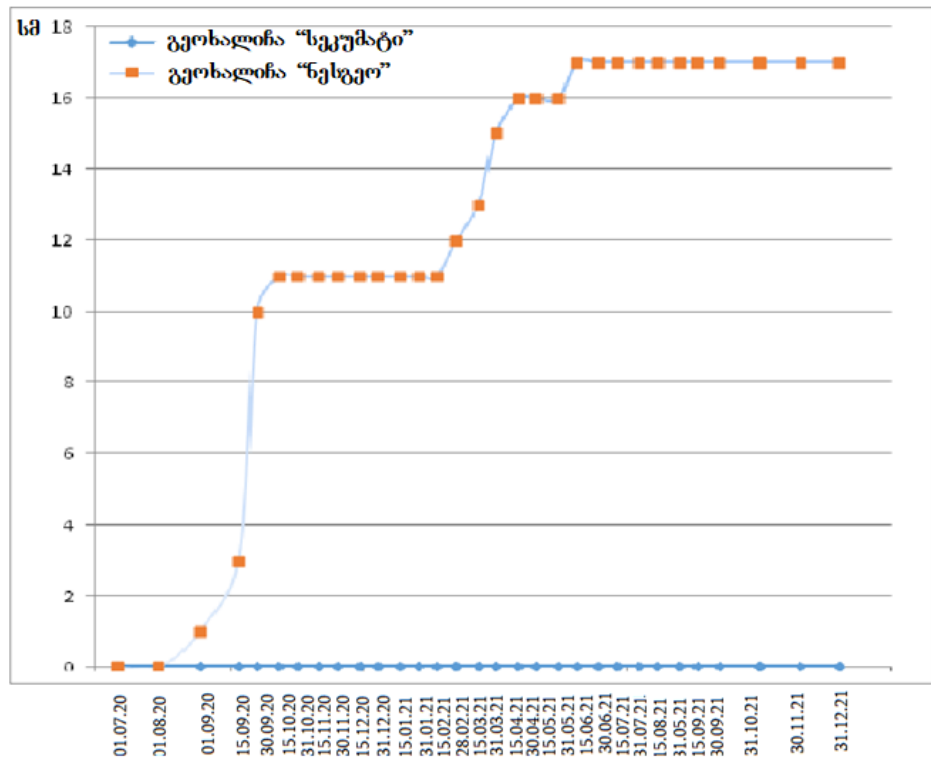




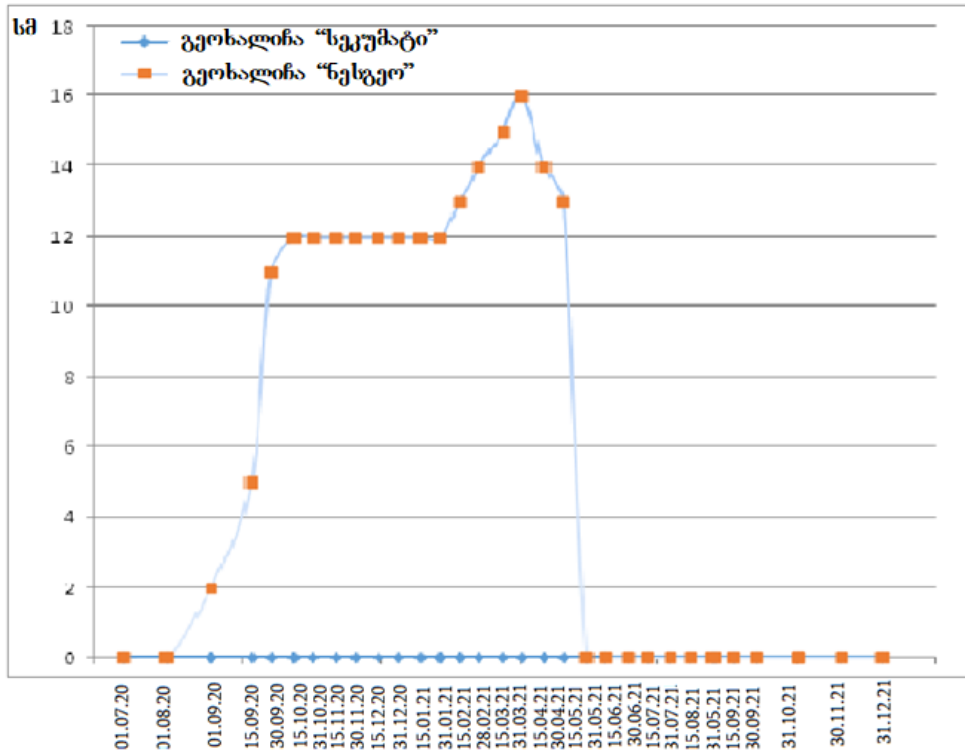
	II საცდელი უბანი (გეოხალიზა „ნესგეო“)	25	17	0
--	---------------------------------------	----	----	---



ნახ. 3.2.1 გეოხალიზებზე აღმოცენებული მწვანე მასის განვითარების დინამიკა



ნახ. 3.2.2 გეოხალიზებზე ამოსული ხე მცენარეების ზრდის დინამიკა



ნახ. 3.2.3 გეობლასტებზე ამოსული ბუჩქოვანი მცენარეების ზრდის დინამიკა

საველე პოლიგონზე ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგები მოცემულია (ფოტო 3.2.12, 3.2.13, 3.2.14, 3.2.15) სახით.



ფოტო 3.2.12 საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საერთო ხედი კვლევის დასაწყისში





ფოტო 3.2.13 საველე ინტეგრირებული პოლიგონის მდგომარეობა კვლევის დაწყებიდან 6 თვის შემდეგ



ფოტო 3.2.14 საველე ინტეგრირებული პოლიგონის მდგომარეობა კვლევის დამთავრებისას (18 თვის შემდეგ)





**ფოტო 3.2.15 მტს-ის ხევში, მოწყვლად ფერდობზე დამონტაჟებული საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საერთო ხედი კვლევის დამთავრებისას**

ამრიგად, როგორც ფოტო 3.2.12, 3.2.13, 3.2.14-დან ჩანს პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარეობს აქტიური ეროზია, ასევე ნათელია, რომ საველე პოლიგონის I საცდელ უბანზე დამონტაჟებულ გეოხალიჩა „სეკუმატზე“ ნაკლებად არის აღმოცენებული ვიდრე II საცდელ უბანზე დაფენილ გეოხალიჩა „ნესგეოზე“, იგივე შეიძლება ითქვას ხე და ბუჩქოვანი მცენარეების შემთხვევაში, ხოლო ბუჩქოვანი მცენარეების შემთხვევაში- გეოხალიჩა „ნესგეო“ გარკვეულწილად უზრუნველყოფს ბუჩქოვანი მცენარეების ვეგეტაციას, ხოლო გეოხალიჩა „სეკუმატი“ საერთოდ ვერ უზრუნველყოფს ბუჩქოვანი მცენარეების ვეგეტაციას, რაც ასევე მიუთითებს გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს პრიორიტეტზე.

საველე პოლიგონის I საცდელი უბნიდან ფორმირებული ეროზირებული მყარი მასა 0,301კგ-ს შეადგენს, ხოლო გეოხალიჩა „ნესგეოთი“ დაფარული II საცდელი უბნიდან ფორმირებული ეროზირებული მყარი მასა 0კგ-ს შეადგენს (ცხრილი 3.2.3), რაც აღნიშნავს „ნესგეო“-ს ეფექტურობას.



**ცხრილი 3.2.3**

**პოლიგონის უბნებზე 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	1.07.2020-31.12.2021	0,301	0	9,022

კვლევის პერიოდში, პოლიგონის საკონტროლო უბნიდან (ფართობი 4,5 მ<sup>2</sup>) ფორმირებული ეროზირებული მყარი მასა შეადგენს 9,022 კგ, ანუ წელიწადში - ერთ ჰექტარზე 13,366 ტონამდე, რაც მიეკუთვნება ეროზიის მეოთხე-მაღალ კლასს [71,72].

აღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარეობს წყლისმიერი ეროზიული პროცესები, რაც უარყოფითად მოქმედებს მტს-ის ხევის წყალშემკრები აუზის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე, რაც გამოიწვევს ღვარცოფულ მოვლენებს და შესაბამისად რისკის ქვეშ აღმოჩნდება მტს-ის ხევის ძირში არსებული ენერგო დერეფნის გარკვეული ინფრასტრუქტურა.

ამრიგად, საველე პოლიგონზე განხორციელებული კვლევების საფუძველზე ვასკვნით, რომ გეოხალიჩა „ნესგეო“ ყველა მიმართულებით (ნიადაგის ეროზიისაგან დაცვა, ბიომრავალფეროვნების აღდგენის შესაძლებლობა) უფრო ეფექტურია ვიდრე გეოხალიჩა „სეკუმატი“, რის გამოც მისი დანერგვა შესაძლებელია.

**3.3 პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე წყლისმიერი ეროზიული პროცესების ანალიზი**

დაბა წალვერის მიმდებარე მტს-ის ხევი საველე ინტეგრირებული პოლიგონის ფარგლებში, ნიადაგის ეროზიის დინამიკის შესწავლის მიზნით განხორციელებული ექსპერიმენტების დროს ჩატარებული გაზომვების

შედეგების ვალიდურობის შესაფასებლად გამოყენებულია უმცირეს კვადრატთა მეთოდი [8].

მათემატიკურად დამუშავდა 32 ექპერიმენტის (ცხრილი 3.2.1) მონაცემები, კერძოდ საკონტროლო უბანზე ფორმირებული მყარი ჩამონადენის დამოკიდებულება ნალექების ინტენსიობასთან (ცხრილ 3.3.1).

**ცხრილი 3.3.1**  
**პოლიგონზე ჩატარებული გაზომვების უმცირეს კვადრატთა მეთოდით შეფასება**

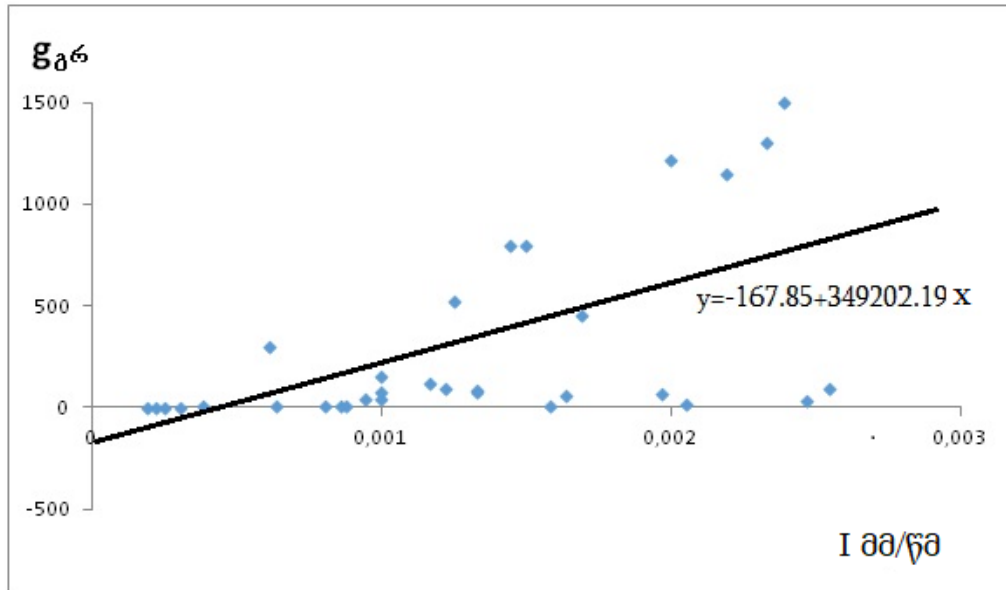
№	x (ნალექების ინტენსიობა მმ/წმ)	y (საკონტ- როლო უბნის მყარი ჩამონადენი, გ)	$x^2$	xy	$y_{გაბ}$
1	0.001583	11	0.000002505	0.017413	384.93
2	0.002472	35	0.000006111	0.08652	695.37
3	0.002055	17	0.000004223	0.034935	- 81.53
4	0,00088	3	0.0000007744	0.00264	139.44
5	0.00255	90	0.0000065025	0.2295	722.61
6	0,000805	3	0.000000648	0.002415	113.25
7	0.001972	70	0.00000388	0.13804	520.77
8	0.000861	4,1	0.0000007413	0.00353	132.8
9	0.001638	60	0.000002683	0.09828	404.14
10	0.000638	3,4	0.000000407	0.00217	54.94
11	0.000305	0	0.000000093	0	-61.35
12	0.00025	0	0.0000000625	0	-80.55
13	0,000194	0	0.0000000376	0	-161.1
14	0.000222	0	0.0000000492	0	-90.33
15	0.001333	75	0.0000017768	0.09997	297.63
16	0.001694	450	0.000002869	0.7623	423.7
17	0.002194	1150	0.0000048136	2.5231	598,30

18	0.002333	1300	0.0000054428	3.0329	646.83
19	0.001250	520	0.0000015625	0.65	268.65
20	0.001000	150	0.000001	0.15	181.35
21	0.001166	120	0.0000013595	0.13992	239.3
22	0.000388	9	0.0000001505	0.003492	-32.36
23	0.001222	90	0.000001493	0.10998	258.87
24	0.001000	42	0.000001	0.042	349.0
25	0.000944	38	0.000000891	0.035872	161.79
26	0.001333	85	0.0000017768	0.113305	297.63
27	0.001000	79	0.000001	0.079	181.35
28	0.001444	800	0.000002085	1.1552	336.39
29	0.002000	1220	0.000004	2.44	530.55
30	0.000611	300	0.000000373	0.1833	45.5
31	0.002388	1500	0.0000057025	3.582	666.04
32	0.001500	800	0.00000225	1.2	
33	$\Sigma=[x]=$ 0.041225	$\Sigma=[y]=$ 9024.5	$\Sigma=[x^2]=$ 0.0000682635	$\Sigma=[xy]=$ 16.917782	$\Sigma =$ [y <sub>გაბ</sub> ]=449,87

ცხრილში 3.3.1 მოცემული ჯამური მახასიათებლების განტოლებათა სისტემაში შეტანით მივიღებთ წრფივ დამოკიდებულებას  $x$  და  $y$  პარამეტრებს შორის:

$$y = -167.85 + 349202.19x \quad (3.3.1)$$

აღნიშნული დამოკიდებულებით მიღებული წრფივი დამოკიდებულება ნაჩვენებია ნახ. 3.3.1-ზე



ნახ. 3.3.1 პოლიგონის საკონტროლო უბანზე ფორმირებული მყარი ჩამონადენის დამოკიდებულება წვიმის ინტენსიობაზე

პოლიგონის ფარგლებში ჩატარებული ცდებით დადგინდა ნალექების ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის აპროქსიმირებული წრფივი დამოკიდებულება, ხოლო ნალექების ინტენსიობასა და საკონტროლო უბანზე ფორმირებულ მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირის დასადგენად კვლევის მონაცემები მოცემულია (ცხრილი 3.3.2).

ცხრილი 3.3.2  
წვიმის ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირის დადგენა

$N^{\circ}$	$x_i$ (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	0.001583	11	0.000295	-271.015625	-0.079949	0.000000087025	73449.46
2	0.002472	35	0.001184	-247.015625	-0.292466	0.000001401856	61016.71

3	0.002055	17	0.000767	-265.015625	-0.203266	0.000000588289	70233.28
4	0,00088	3	-0.000408	-279.015625	0.113838	0.000000166464	77849.71
5	0.00255	90	0.001262	-192.015625	-0.242323	0.000001592644	36870.00
6	0,000805	3	-0.000483	-279.015625	0.134764	0.000000233289	77849.71
7	0.001972	70	0.000684	-212.015625	-0.145018	0.000000467856	44950.62
8	0.000861	4,1	-0.000427	-277.915625	0.118669	0.000000182329	77237.09
9	0.001638	60	0.00035	-222.015625	-0.077705	0.0000001225	49290.93
10	0.000638	3,4	-0.00065	-278.615625	0.181100	0.0000004225	77626.66
11	0.000305	0	-0.000983	-282.015625	0.277221	0.000000966289	79532.81
12	0.00025	0	-0.001038	-282.015625	0.292732	0.000001077444	79532.81
13	0,000194	0	-0.001094	-282.015625	0.308525	0.000001196836	79532.81
14	0.000222	0	-0.001066	-282.015625	0.300628	0.000001136356	79532.81
15	0.001333	75	0.000045	-207.015625	-0.009315	0.000000002025	42855.46
16	0.001694	450	0.000406	167.984375	0.068201	0.000000164836	28218.75
17	0.002194	1150	0.000906	867.984375	0.786393	0.000000820836	753396.87
18	0.002333	1300	0.001045	1017.984375	1.063793	0.000001092025	1036292.18
19	0.001250	520	-0.000038	237.984375	-0.009043	0.000000001444	56636.56
20	0.001000	150	-0.000288	-132.015625	0.038020	0.000000082944	17428.12
21	0.001166	120	-0.000122	-162.015625	0.019765	0.000000014884	26249.06
22	0.000388	9	-0.0009	-273.015625	0.245714	0.000000081	74537.53
23	0.001222	90	-0.000066	-192.015625	0.012673	0.000000004356	36870.00
24	0.001000	42	-0.000288	-240.015625	0.069124	0.000000082944	57607.50
25	0.000944	38	-0.000344	-244.015625	0.083941	0.000000118336	59543.62
26	0.001333	85	0.000045	-197.015625	-0.008865	0.000000002025	38815.15
27	0.001000	79	-0.000288	-203.015625	0.058468	0.000000082944	41215.34
28	0.001444	800	0.000156	517.984375	0.080805	0.000000024336	268307.81
29	0.002000	1220	0.000712	937.984375	0.667844	0.000000506944	879814.68
30	0.000611	300	-0.000677	17.984375	-0.012175	0.000000458329	323.43



31	0.002388	1500	0.0011	1217.984375	1.339782	0.00000121	1483485.93
32	0.001500	800	0.000212	517.984375	0.109812	0.000000044944	268307.81
	$\Sigma=[x]=$ 0.041225	$\Sigma=[y]=$ 9024.5			$\Sigma =$ 5.53401	$\Sigma =$ 0.000015165829	$\Sigma =$ 5254596.53

კორელაციის გაანგარიშება ხდება შემდეგი ფორმულით (3.3.2):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{5.53401}{\sqrt{0.000015165829 \cdot 5254596.53}} =$$

$$\frac{5.53401}{8.926943062323931} = 0,62, \quad (3.3.2)$$

სადაც  $\bar{x} = 0.001288$ - არის ნალექების საშუალო არითმეტიკული;  
 $\bar{y}=282.02$  - არის მყარი ჩამონადენის საშუალო არითმეტიკული.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, განსაზღვრული იქნა ნალექების ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირი, რომელიც ტოლია  $r=0,62$ .

### 3.4 პოლიგონის საცდელ უბნებზე აღმოცენებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიდიდეების ვალიდურობის შეფასება

მტს-ის ხევში არსებულ მოწყვლად ფერდობზე მიმდინარე წყლისმიერი ეროზიული პროცესების და მისი სარეგულაციო ტექნოლოგიის ეფექტურობის დადგენის მიზნით მოწყობილ საველე პოლიგონის საცდელ უბნებზე დაფენილ გეობალიჩებზე აღმოცენებული მწვანე მასის საშუალო სიდიდეების ვალიდურობის განსაზღვრისათვის ჩატარდა შემდეგი სახის კვლევები [39]:

პოლიგონის I საცდელ უბანზე აღმოცენებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო მონაცემების ინტერვალები და სიხშირეები მოცემულია ცხრილში 3.4.1.

**ცხრილი 3.4.1**

**პოლიგონის პირველ უბანზე განვითარებული მწვანე მასის დინამიკის  
საშუალო სიდიდეების ინტერვალები და სიხშირეები**

გეოხალიჩა „სეკუმატზე“ ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ინტერვალები $h_{საშ.}$	0-10	10-20	20-30	30-40
სიხშირეები ( $m_i$ )	12	8	6	4
$f(h_{საშ.})$	0,4	0,266	0,2	0,133

მათემატიკური ლოდინის ანგარიში:

$$m = \sum_{i=1}^n f(h_{საშ.}) \cdot (h) = 5 \cdot 0,4 + 15 \cdot 0,266 + 25 \cdot 0,2 + 35 \cdot 0,133 = 14,645 \quad (3.4.1)$$

მწვანე მასის ამონაყარის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} = 14,666 \quad (3.4.2)$$

საშუალო კვადრატული გადახრა ტოლია:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n}} = 32,92 \quad (3.4.3)$$

გეოხალიჩა „სეკუმატზე“ აღმოცენებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიდიდეების ნორმალური განაწილების სიმკვრივის ფორმულას შემდეგი სახე აქვს:

$$f(h_{საშ.}) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}}, \quad (3.4.4)$$

აღნიშნული ფორმულიდან განისაზღვრება განაწილების ფუნქცია, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}} \quad (3.4.5)$$

გეოხალიჩა „სეკუმატზე“ აღმოცენებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიმაღლეების საიმედოობა ტოლია:

$$P(h_{\text{საშ.}}) = \Phi^* \left( \frac{14,666 - 14,645}{32,92} \right) = \Phi^* (0,00064) = 0,501 \quad , \quad (3.4.6)$$

ბოლო რისკი:

$$r(h_{\text{საშ.}}) = 1 - 0,501 = 0,499 \quad (3.4.7)$$

ანალოგიური თეორიული კვლევები განხორციელდა საველე ინტეგრირებული პოლიგონის II საცდელი უბნისთვის (გეოხალიჩა ნესგეოთი დაფარული), კერძოდ პოლიგონის II საცდელ უბანზე აღმოცენებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიდიდეების ინტერვალები და სიხშირეები მოცემულია ცხრილში 3.4.2.

ცხრილი 3.4.2

პოლიგონის მეორე უბანზე განვითარებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიდიდეების ინტერვალები და სიხშირეები

გეოხალიჩა „ნესგეოზე“ ამოსული მცენარეების ზრდის დინამიკის გასაშუალოებული მონაცემების ინტერვალები $h_{\text{საშ.}}$	0- 10	10- 20	20- 30	30-40	40-50	50-60	60-70
სიხშირეები ( $m_i$ )	9	6	3	3	3	4	2
$f(h_{\text{საშ.}})$	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,133	0,066

$$m = \sum_{i=1}^n f(h_{\text{საშ.}}) \cdot (h) = 5 \cdot 0,3 + 15 \cdot 0,2 + 25 \cdot 0,1 + 35 \cdot 0,1 + 45 \cdot 0,1 + 55 \cdot 0,133 + 65 \cdot 0,066 = 26,605$$

(3.4.8)

მწვანე მასის ამონაყარის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} = 26,8 \quad (3.4.9)$$

საშუალო კვადრატული გადახრა ტოლია:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n}} = 19,89 \quad (3.4.10)$$

გეოხალიჩა „ნესგეოზე“ აღმოცენებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიდიდეების ნორმალური განაწილების სიმკვრივის ფორმულას შემდეგი სახე აქვს:

$$f(h_{\text{საშ.}}) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}}, \quad (3.4.11)$$

აღნიშნული ფორმულიდან განისაზღვრება განაწილების ფუნქცია, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}} dt \quad (3.4.12)$$

გეოხალიჩა „ნესგეოზე“ აღმოცენებული მწვანე მასის დინამიკის საშუალო სიმაღლეების საიმედოობა ტოლია:

$$P(h_{\text{საშ.}}) = \Phi\left(\frac{26,8-26,605}{19,89}\right) = \Phi(0,0098) = 0,503, \quad (3.4.13)$$

ხოლო რისკი:

$$r(h_{\text{საშ.}}) = 1 - 0,503 = 0,497 \quad (3.4.14)$$

განხორციელებული ანგარიშიდან ჩანს, რომ პოლიგონის საცდელ უბნებზე აღმოცენებული მწვანე მასის ზრდის საშუალო დინამიკის საიმედოობა 51%-ს შეადგენს, რაც მიაწინებს ეროზირებული ფერდობის აღდგენის შესაძლებლობაზე.

### 3.5 საველე პოლიგონზე ჩატარებული ცდების შედეგად მიღებული მონაცემების გამოყენების საფუძველზე ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების დინამიკის სიმულაციური მოდელირება

მტს-ის ხევის მოწყვლად ფერდობზე მოწყობილი პოლიგონის საკონტროლო უბანზე (ფოტო 3.5.1), ფორმირებული წყლისმიერი ეროზიული პროცესების დინამიკის შესასწავლად განხორციელდა 32 ექსპერიმენტი, კერძოდ ხდებოდა 2 ნაღვარევის პარამეტრების: ნაღვარევის

საშუალო სიგანე, ძირის სიგანე, საშუალო სიღრმე (ფოტო 3.5.2, 3.5.3) ცვლილების დადგენა (ცხრილი 3.5.1). საველე ინტეგრირებულ პოლიგონზე მოსული ნალექების ინტენსიობის შესახებ მონაცემების დასადგენად, გამოყენებული იქნა მე-3 თავში მოცემული მონაცემები, რომელიც დადგინდა პოლიგონის ფარგლებში განთავსებული პლუვიოგრაფის დახმარებით (ცხრილი 3.2.1).



ფოტო 3.5.1 საველე პოლიგონის საკონტროლო და საცდელი უბნები (ხედი ზევიდან ქვევით)



ფოტო 3.5.2 ნალვარევის სიღრმის დადგენა





ფოტო 3.5.3 ნაღვარევის საშუალო სიგანის და ძირის სიგანის დადგენა

ცხრილი 3.5.1  
 საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საკონტროლო უბანზე წარმოქმნილი  
 ნაღვარეების მახასიათებლების ცვლილება განსხვავებული წვიმის ინტენსიობის  
 შემთხვევაში

#	ნალექების ინტენსიობა q (მმ/სთ)	საშუალო სიგანე ნაღვარევის (სმ) - B	საშუალო სიგანე (სმ)ნაღვარევის ძირის - B	საშუალო სიღრმე (სმ) ნაღვარევის - h
<b>#1 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	5,7	5,00	0,90	4,00
2 ნაღვარევი		6,00	1,00	4,30
<b>#2 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	8,9	5,70	1,40	4,50
2 ნაღვარევი		6,60	1,80	4,90
<b>#3 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	7,4	6,40	1,95	4,90
2 ნაღვარევი		7,30	2,30	5,50
<b>#4 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				

1 ნალვარევი	3,2	6,95	2,25	5,45
2 ნალვარევი		7,85	2,95	6,35
<b>#5 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	9,2	7,55	3,10	5,90
2 ნალვარევი		8,40	3,80	6,85
<b>#6 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	2,9	8,60	3,85	6,50
2 ნალვარევი		8,95	4,45	7,40
<b>#7 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	7,1	9,00	4,10	6,90
2 ნალვარევი		9,50	4,95	7,90
<b>#8 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	3,1	9,40	4,50	7,20
2 ნალვარევი		9,80	5,25	8,20
<b>#9 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	5,9	9,90	4,80	7,50
2 ნალვარევი		10,40	5,50	8,60
<b>#10 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	2,3	10,20	5,20	7,80
2 ნალვარევი		10,80	5,90	8,90
<b>#11 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	1,1	10,20	5,20	7,80
2 ნალვარევი		10,80	5,90	8,90
<b>#12 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	0,9	10,20	5,20	7,80
2 ნალვარევი		10,80	5,90	8,90
<b>#13 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	0,7	10,20	5,20	7,80

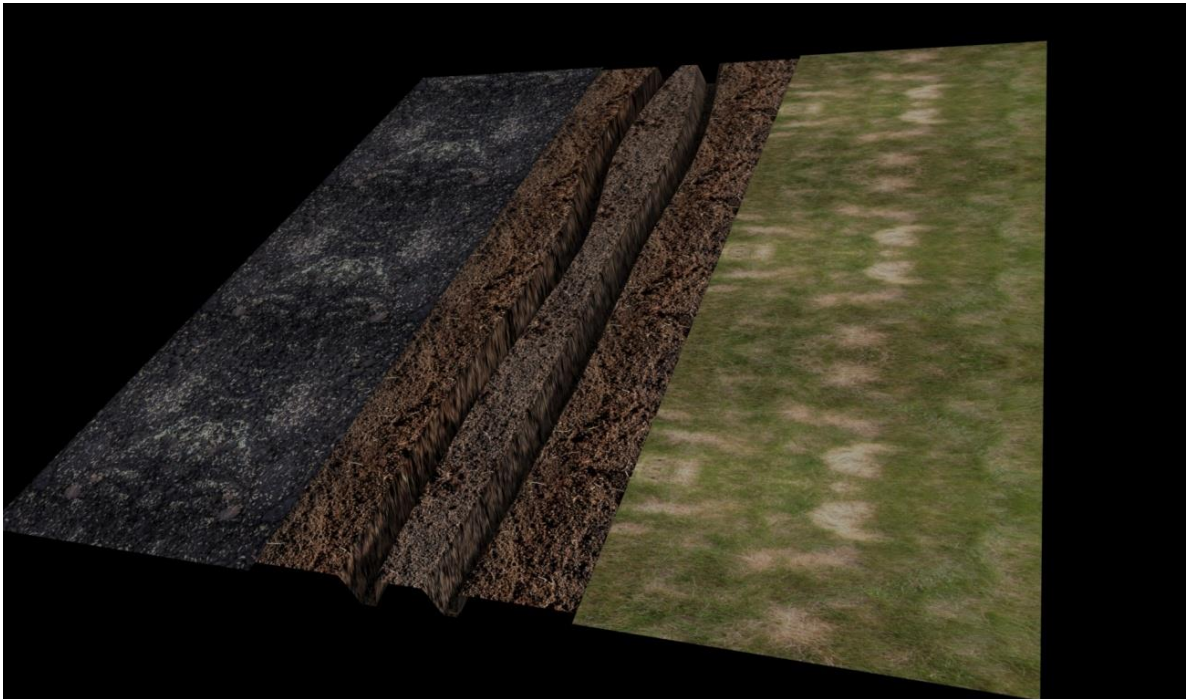
2 ნაღვარევი		10,80	5,90	8,90
<b>#14 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	0,8	10,20	5,20	7,80
2 ნაღვარევი		10,80	5,90	8,90
<b>#15 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	4,8	10,80	5,50	8,00
2 ნაღვარევი		11,50	6,20	9,10
<b>#16 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	6,1	11,10	6,00	8,30
2 ნაღვარევი		12,00	6,50	9,30
<b>#17 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	7,9	11,60	6,30	8,60
2 ნაღვარევი		12,50	6,70	9,60
<b>#18 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	8,4	12,10	6,50	8,80
2 ნაღვარევი		13,20	7,00	9,80
<b>#19 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	4,5	12,30	6,60	8,90
2 ნაღვარევი		13,50	7,20	9,90
<b>#20 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	3,6	12,40	6,70	9,00
2 ნაღვარევი		13,70	7,30	10,10
<b>#21 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	4,2	12,90	6,80	9,20
2 ნაღვარევი		14,20	7,40	10,30
<b>#22 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნაღვარევი	1,4	13,10	6,90	9,40
2 ნაღვარევი		14,30	7,50	10,40

<b>#23 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	4,4	13,40	7,00	9,50
2 ნალვარევი		14,40	7,60	10,50
<b>#24 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	3,6	13,60	7,10	9,60
2 ნალვარევი		14,50	7,70	10,70
<b>#25 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	3,4	14,00	7,20	9,80
2 ნალვარევი		14,90	7,80	10,90
<b>#26 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	4,8	14,60	7,40	10,00
2 ნალვარევი		15,50	8,00	11,10
<b>#27 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	3,6	14,80	7,50	10,10
2 ნალვარევი		15,80	8,10	11,20
<b>#28 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	5,2	15,30	7,70	10,30
2 ნალვარევი		16,20	8,30	11,40
<b>#29 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	7,2	15,80	7,90	10,50
2 ნალვარევი		16,70	8,50	12,60
<b>#30 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	2,2	16,00	8,00	10,60
2 ნალვარევი		16,80	8,60	12,70
<b>#31 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				
1 ნალვარევი	8,6	16,50	8,20	10,80
2 ნალვარევი		17,50	8,90	12,90
<b>#32 ექსპერიმენტის მონაცემები</b>				

1 ნაღვარევი	5,4	17,00	8,40	11,00
2 ნაღვარევი		18,10	9,10	13,20

საველე მონაცემების დამუშავების შედეგად ჩატარდა ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების დინამიკის სიმულაციური მოდელირება [70].

ზემოაღნიშნული მეთოდი საშუალებას გვაძლევს წარმოდგენა ვიქონიოთ მტს-ის ხეობაში, უკონტროლოდ მიტოვებული, მოწყვლადი ფერდობების დეგრადაციის პროცესის განვითარებაზე და შესაბამისად მისგან გამომდინარე ეკოლოგიურ რისკებზე (ნახ. 3.5.1).



ნახ. 3.5.1 პოლიგონის საკონტროლო უბანზე მიმდინარე ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიული პროცესების სიმულაციური მოდელირება

ეროზიული პროცესების სიმულაციური მოდელირება განხორციელდა შემდეგი თანმიმდევრობით:

1. საველე მონაცემები გადატანილი იქნა ექსელში და დამახსოვრებული იქნა CSV ფაილად;
2. შემდეგ დაწერილი იქნა პროგრამა, რომელიც კითხულობს ამ CSV ფაილიდან მონაცემებს;



3. Autodesk 3Ds MAX 2014-Si შექმნილი იქნა ზედაპირი, სადაც გაკეთდა დისპლაცემენტ დაგენერირებული heightmap- ების საშუალებით, ასევე დადებული იქნა მატერიალი, რომელიც მუქდება სიღრმის მიხედვით ნაღვარების უკეთ გამოსაჩენად.

აღნიშნული სიმულაციური მოდელების მასალებიდან ჩანს, რომ მტს-ის ხევის მოწყვლად ფერდობზე, 18 თვის განმავლობაში, ვიზუალური თვალსაზრისით, მნიშვნელოვნად გაძლიერდა მოწყვლადი ფერდობის დახრამვითი პროცესები, რაც სასწრაფოდ საჭიროებს ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ეფექტური ღონისძიებების განხორციელებას.

### **3.6 სოფელ დაბაში გამავალი ენერგო დერეფნის მიმდებარე ნიაღვარის ღელეში არსებულ მოწყვლად ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიული პროცესების შედეგად დენუდირებული მყარი მასის რაოდენობრივი მახასიათებლების დადგენა**

ბორჯომის ხეობაში, 2008 წლიდან მოყოლებული, ტყის მასივებში რამდენჯერმე წარმოქმნილმა ხანძარმა მნიშვნელოვანი ზიანი მიაყენა იქ არსებულ ეკოსისტემას. მნიშვნელოვნად იმატა მოწყვლად ფერდობებზე ნიადაგის ეროზიულმა პროცესებმა, რაც პროვოცირებას უწევს ღვარცოფულ და მეწყერულ მოვლენებს და რისკის ქვეშ აყენებს ენერგო ინფრასტრუქტურის სხვადასხვა ობიექტების ნორმალურ ფუნქციონირებას.

ზემოაღნიშნული პრობლემა განსაკუთრებით ეხება სოფელ დაბაში, ნიაღვარის ღელეს ძირში გამავალ ენერგო დერეფნის სხვადასხვა ობიექტებს, რადგანაც ნიაღვრის ღელეს ფერდობები, ხანძრის გავლენით (ფოტო 3.6.1) დეგრადირებულია, რის გამო აქტიურად მიმდინარეობს ნიადაგის ეროზიული პროცესები და ნიაღვრის ღელეს „მომარაგება“ ეროზირებული მყარი მასით, რაც წარმოშობს ღვარცოფული მოვლენების პროვოცირების რისკს [3].



**ფოტო 3.6.1 ნიაღვარის ღელეს ნახანძრალ ხეობაში გამავალი ენერგო დერეფანი**

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ნიაღვარის ღელეს ნახანძრალი ფერდობების მოწყვლადობის შესაფასებლად, განხორციელდა საველე-სარეკოგნოსცირებო სამუშაოები, რომლის დროსაც გამოვლენილი იქნა ხანძრის შედეგად პროვოცირებული აქტიური ეროზიული პროცესები (ფოტო 3.6.2, 3.6.3)



**ფოტო 3.6.2 ხანძრის შედეგად პროვოცირებული აქტიური ეროზიული პროცესები**



ფოტო 3.6.3 ნიაღვარის დელეს დეგრადირებული ფერდობი

განხორციელებული საველე-სარეკოგნოსცირებო და კამერალურ კვლევებზე დაყრდნობით, აპრობირებული მეთოდოლოგიით, გაანგარიშებულ იქნა, ნიაღვარევის დელეს წყალშემკრები აუზის მოწყვლადი ფერდობების ეროზიის კოეფიციენტი. ინგლისელი მეცნიერის, პროფესორ რ. მორგანის შკალის (ცხრილი 3.6.1) მიხედვით[71,72] დადგენილია მთის ეროზირებული ფერდობების დაზიანების ხარისხი და დენუდირებული მასის რაოდენობრივი მახასიათებლები [3].

შემოთავაზებულ ეროზიის კოეფიციენტის საანგარიშო ემპირიულ დამოკიდებულებას აქვს შემდეგი სახე:

$$E = [0,58 + 1,40(F_1/F_0)](t/T)^{0,21}, \quad (3.6.1)$$

სადაც,  $F_1$  - ხეობის გაშიშვლებული ტერიტორიის ფართობია (კმ<sup>2</sup>);  $F_0$ -მდინარის აუზის მთლიანი ფართობი (კმ<sup>2</sup>);  $t$  - პერიოდი (წელი);  $T$ - დაკვირვების საერთო პერიოდი (წელი).

ცხრილი 3.6.1

ეროზიის კლასის და რაოდენობრივი მახასიათებლების განსაზღვრა

ეროზიის კლასი	სიტყვიერი შეფასება	ეროზიის ინტენსიობა (ტონა/ჰა-ზე /წელიწადში)	ვიზუალური შეფასების კრიტერიუმი
1	ძალიან უმნიშვნელო	<2	ნიადაგის გამკვრივება და ქერქის წარმოშობა არ ფიქსირდება. არ შეინიშნება გადარეცხვის ნიშნები. არ გვხვდება წყლისმიერი ეროზიის ნიშნები, გამოშვლებული ფესვთა სისტემა და არხები.
2	უმნიშვნელო	2-5	ქერქის წარმოშობა ერთეულ ადგილებში. ცალ-კეულ ადგილებში ზედაპირის ლოკალიზებული რეცხვა გრუნტის გამორეცხვის გარეშე ან უმნიშვნელო გამორეცხვით. ღარები ყოველ 50-100 მეტრში. მცირე წყლისმიერი ეროზია. საფუძვლის გამორეცხვა იმ ადგილებში, სადაც ქვები ან გამოშვლებული ფესვები იცავს მის ქვეშ მდებარე ნიადაგის ფენას.
3	საშუალო	5-10	ჩამორეცხვის ნიშნები. წვეტილი ღარები ყოველ 20-50 მეტრში. წყლისმიერი ეროზიით გამორეცხილია საფუძველი და გამოშვლებულია ფესვები, რომელზეც შესამჩნევია ნიადაგის ზედა-პირის დონის ანაბეჭდი. დაბინძურების პრობლემის საშიშროება ფერდოს ქვედა წელზე.
4	მაღალი	10-50	შეერთებული და მუდმივი ღარული ჩამონადენების ქსელი ყოველ 5-10 მეტრში ან ხრამების წარმოშობა ყოველ 50-100 მ. თესლებისა და ახალგაზრდა მცენარეების გადარეცხვა. ხელმეორედ თესვის შესაძლო საჭიროება. დაბინძურებისა და სედიმენტაციის პრობლემები ფერდობის ქვედა წელზე.
5	ძლიერი	50-100	ღარების მუდმივი ქსელი ყოველ 2-5 მ-ში ან ხრამები ყოველ 20 მ. ობიექტთან მისვლა გართულებულია. აღდგენილი მცენარეული საფარი სუსტია და საჭიროებს ხელახალი აღდგენითი ზომების მიღებას. ეროზიისა და სედიმენტაციის მიერ გზების დაზიანება.
6	ძალიან ძლიერი	100-500	ღარების ხშირი ქსელი, ხრამები ყოველ 5-10 მეტრში. მათ ირგვლივ არსებული ნიადაგის ძლიერი გაქერქება. მილსადენის გამოშვლების საშიშროება. ძლიერი დაშლამვა, დაბინძურება და ევტროფიკაციის შესაძლო პრობლემა.
7	კატასტროფული	>500	ღარებისა და ხრამების ინტენსიური ქსელი; დიდი ხრამები (>10000მ <sup>2</sup> ) ყოველ 20 მეტრში. გადარეცხილია ზედაპირის უმეტესი ნაწილი და გამოშვლებულია მილსადენი. ეროზიის და სედიმენტაციის მიერ გამოწვეულია ძლიერი დაზიანება როგორც ფერდობზე ასევე ფერდობს მიღმა.



(3.6.1) ფორმულით ჩატარებული გაანგარიშების მიხედვით მოწყვლადი ფერდობების წყლისმიერი ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობის კავშირი ფერდობის ეროზიის კლასთან დადგენილია ინგლისელი მეცნიერის, მორგანის შკალის მიხედვით.

ჩატარებული გამოთვლების შედეგად მიღებული სიდიდეები მოცემულია 3.6.2 ცხრილში.

**ცხრილი 3.6.2**  
ნიაღვარის ღელეს აუზში მოწყვლადი ფერდობების ეროზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობები

№	მდინარის დასახელება	წყალშემკრები აუზის ფართობი (კმ <sup>2</sup> )		ეროზიის კოეფიციენტის (E) მნიშვნელობები წლების მიხედვით					ეროზიის კლასი	ეროზიის ინტენსიობა წელიწადში (ტ/ჰა)
		მოლიანი F <sub>0</sub> (კმ <sup>2</sup> )	ეროზირებული F (კმ <sup>2</sup> )	2005	2010	2015	2020	2025		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ნაღვარევის ღელე	6,44	0,68	0,39	0,54	0,63	0,68	0,73	მესამე	5-10

ამრიგად, ნიაღვარის ღელეს წყალშემკრებ აუზში ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიის ინტენსიობა შეადგენს 5-10 ტ/ჰა, რომლის შესაჩერებლად საჭიროა ეროზიული პროცესების საწინააღმდეგო ეფექტური და ოპერატიული ღონისძიებების ჩატარება.

ნიაღვარის ღელეს ხეობაში მოწყვლად ფერდობებზე მიმდინარე წყლისმიერი ეროზიული პროცესები განაპირობებენ ღვარცოფული და მეწყრული მოვლენების ფორმირებას და წარმოქმნიან მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ რისკებს ნიაღვარის ღელეს გავლენის ზონაში გამავალი ენერგო დერეფნის სხვადასხვა ინფრასტრუქტურის ობიექტების მიმართ.



**3.7. ნიაღვარის ღელეს წყალსადინარში წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების რაოდენობისა და მოცულობის დადგენა ქვის ჩანართების საშუალო დიამეტრისა და კონფიგურაციის გათვალისწინებით**

ნიაღვარის ღელეს წყალსადინარში წყლის ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობის დასადგენად განხორციელდა საველე-სარეკოგნოსცირებო კვლევები, რომლის დროსაც ნიაღვარის ღელეს კალაპოტში აკუმულირებულ მყარ მასაში განისაზღვრა ქვის ჩანართების საშუალო დიამეტრები (ფოტო 3.7.1), ხოლო წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების რაოდენობის, მოცულობის და კალაპოტში აკუმულირებულ მყარ მასაში ქვის ჩანართების კონფიგურაციის განსაზღვრისათვის გამოყენებული იქნა აპრობირებული მეთოდოლოგია [56,57,62,67,68,69,70].



**ფოტო 3.7.1 ნიაღვარის ღელეში ფორმირებული წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ფრაქციების ზომები**

მდინარის კალაპოტში ქვების გადაადგილება ხდება ნაკადის მამოძრავებელი ძალით:

$$F_x = \frac{\pi d^2}{8} [K_c - f(1+k)] \rho_{\text{ვყ}} V^2 + \frac{\pi d^3}{6} (\rho_{\text{ჰჰ}} - \rho_{\text{ვყ}}) g i \quad , \quad (3.7.1)$$

სადაც  $d$ -ქვის დიამეტრია (მ);  $K_c$  - წყლის ნაკადის ჰიდროდინამიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი ( $K_c=0.5$ );  $f$ -მყარი ნატანის შემადგენელი ქვის ხახუნის კოეფიციენტი კალაპოტში მოძრაობისას;  $k = \frac{G_y}{N}$ , სადაც  $G_y$  არის სიმძიმის ძალის პროექცია  $y$  ღერძზე და  $G_y = G \cos \varphi$ ; მასში  $G$  ქვის წონაა (კგ),  $\varphi$ -კი მდინარის კალაპოტის დახრის კუთხე;  $\rho_{\text{ვყ}}$ -წყლის სიმკვრივე (კგ/მ<sup>3</sup>);  $V$ -წყლის ნაკადის სიჩქარე;  $\pi=3.14$ ;  $\rho_{\text{ჰჰ}}$ -ქვის სიმკვრივე (კგ/მ<sup>3</sup>);  $g$ -სიმძიმის ძალის აჩქარება ( $g=9.81$  მ/წმ<sup>2</sup>);  $i = \sin \varphi$  - მდინარის კალაპოტის ქანობი.

წყლის ფარდობით სიჩქარე  $V = V_{\text{ვყ}} - V_{\text{ჰჰ}}$ , გარდაქმნების საფუძველზე მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{dV_{\text{ჰჰ}}}{(V_{\text{ჰჰ}} - V_{\text{ვყ}})} = E dt, \quad (3.7.2)$$

სადაც 
$$E = \frac{3[K_c - f(1+k)] \rho_{\text{ვყ}}}{4d(\rho_{\text{ჰჰ}} - \rho_{\text{ვყ}})} + \frac{g}{C^2 R} = \text{const} \quad ; \quad (3.7.3)$$

$C$ - არის შეზის კოეფიციენტი;  $R$  - ჰიდრავლიკური რადიუსი. თუ ჩავატარებთ გარდაქმნებს, (3) დამოკიდებულების ინტეგრირების შემდეგ მივიღებთ:

$$x = V_{\text{ვყ}} t - \frac{\ln(EV_{\text{ვყ}} t + 1)}{E} \quad ; \quad (3.7.4)$$

სადაც  $x$ -არის ის მანძილი, სადაც ხდება ქვის მოძრაობა (მ);  $t$ -ქვის მოძრაობის დრო;

წყლის ნაკადის მიერ შესრულებული მუშაობა, რომელიც წრიული ფორმის ქვის გადატანაზე იხარჯება იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$A_1 = \frac{\pi d^3 V_{\text{ვყ}}^2}{12} \left( \frac{EV_{\text{ვყ}} t}{EV_{\text{ვყ}} t + 1} \right)^2 (\rho_{\text{ჰჰ}} - \rho_{\text{ვყ}}) \left( \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}^2}{\text{წმ}^2} \right), \quad (3.7.5)$$

ხოლო პარალეპიპედის ფორმის ქვის გადატანაზე დახარჯული მუშაობა ტოლია:

$$A_2 = \frac{mV_{\text{ვ}}^2}{2} \left( \frac{EV_{\text{ვ}}t}{EV_{\text{ვ}}t+1} \right)^2 \left( \frac{\text{კგ}\cdot\text{მ}^2}{\text{წმ}^2} \right); \quad (3.7.6)$$

წყლის ნაკადის სიმძლავრე ქვის ტრანსპორტირებისას:

$$N = \gamma_{\text{ვ}} \cdot QH \left( \frac{\text{კგ}\cdot\text{მ}^2}{\text{წმ}^2} \right); \quad (3.7.7)$$

წყლის ნაკადის წრიული ფორმის ერთი ქვის გადატანაზე შესრულებული მუშაობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_t = \frac{A}{t} \left( \frac{\text{კგ}\cdot\text{მ}^2}{\text{წმ}^3} \right), \quad (3.7.8)$$

ხოლო პარალელებიპედის ფორმის მქონე ერთი ქვის გადატანაზე წყლის ნაკადის მიერ შესრულებული მუშაობა:

$$N^1_t = N \cdot t \quad (\text{კგ}\cdot\text{მ}^2 \cdot \text{წმ}^3); \quad (3.7.9)$$

ქვების საერთო რაოდენობა, რომელიც შესაძლებელია გადაიტანოს წყლის ნაკადმა მდინარის კალაპოტში, ტოლია:

$$n = \frac{N}{N_t} \quad (\text{ცალი}); \quad (3.7.10)$$

ქვების მოცულობა:

$$W_{\text{კვ}} = n \cdot w \quad (\text{მ}^3); \quad (3.7.11)$$

საველე კვლევების განხორციელებისას დადგინდა შემდეგი პარამეტრები: ნიაღვარის დელეს კალაპოტის დახრის კუთხეები, რომლებიც იცვლება შემდეგ საზღვრებში 6°, 13°, 7°, 22°, 24°; ქვის საშუალო დიამეტრი იცვლება - - 6,0 სმ-დან 30 სმ-მდე; მდინარეს კალაპოტის სიგანე იცვლება - 6,0 მ-დან 12,5 მ-მდე.

ანგარიშში განხილული არის წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვების ჩანართების პარალელებიპედის, კუბის, სფეროსა და ელიფსის ფორმები.

ნიაღვარის დელეს კალაპოტში წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული სხვადასხვა ფორმის ქვების გადაადგილებისას, ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის ფორმის მახასიათებელი სიდიდის

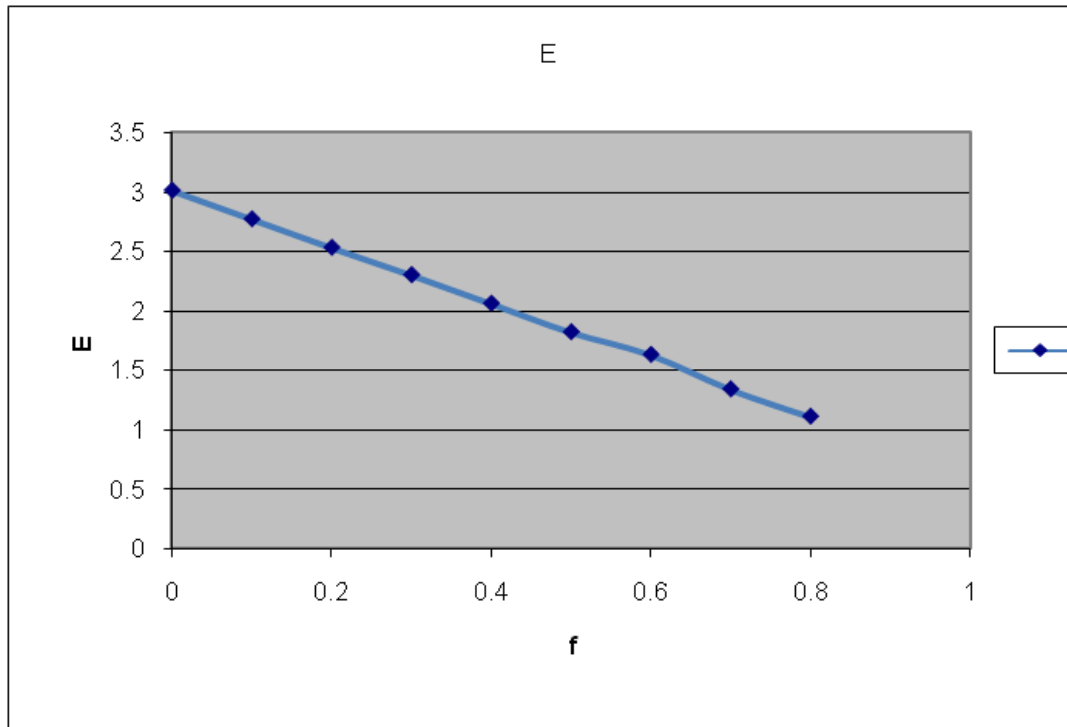
(E) და კალაპოტის სიმქისის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულების საანგარიშო განტოლებები მოყვანილია ცხრილში 3.7.1.

**ცხრილი 3.7.1**

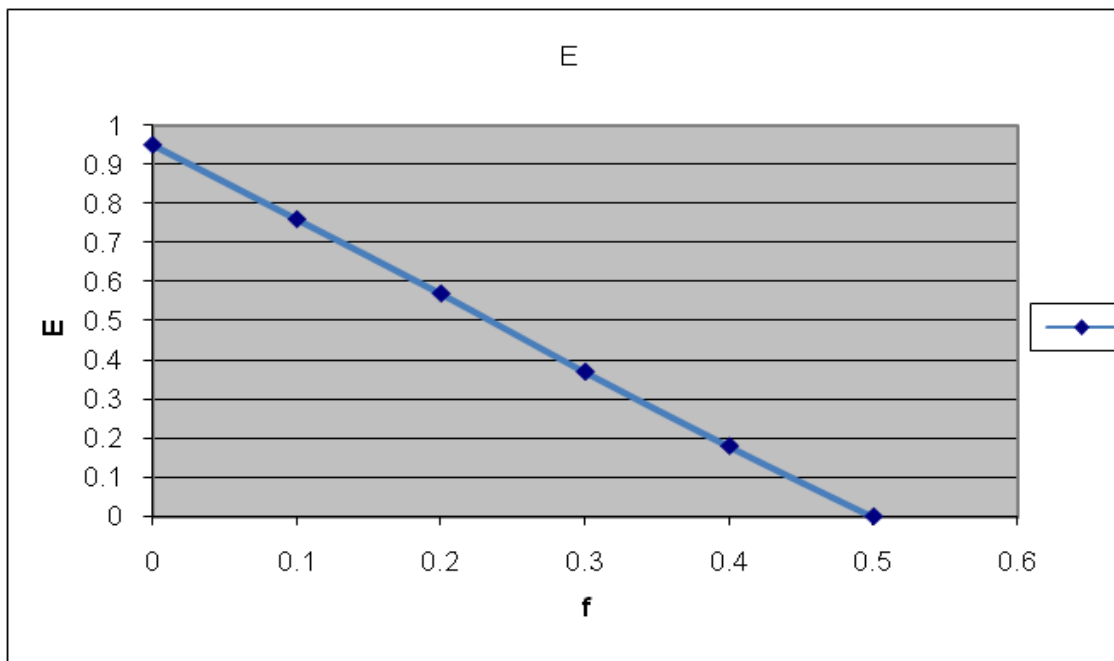
**წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის ფორმის მახასიათებელი სიდიდის (E) და კალაპოტის სიმქისის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულების საანგარიშო განტოლებები**

#	მდინარის კალაპოტის დახრის კუთხე (გრადუსი)	ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ნატანის შემადგენლობაში არსებული ქვის ფორმა			
		პარალელებიპედი	კუბი	სფერო	ელიფსი
1	2	3	4	5	6
1	6 <sup>0</sup>	$E=3.01-2.38f$	$E=0,95-1.92f$	$E=1.15-2.32f$	$E=1.91-1.55f$
2	13 <sup>0</sup>	$E=3.05-2.39f$	$E=0.95-1.93f$	$E=1,66-2,34f$	$E=2.04-1.56f$
3	17 <sup>0</sup>	$E=3.04-2.38f$	$E=0,95-1.92f$	$E=1,15-2,32f$	$E=1,91-1,54f$
4	22 <sup>0</sup>	$E=3.03-2.37f$	$E=0.96-1.91f$	$E=1,16-2.31f$	$E=1,91-1.54f$
5	24 <sup>0</sup>	$E=3.04-2.36f$	$E=0,96-1,90f$	$E=1.15-2.30f$	$E=1,91-1.54f$

წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვის ფორმის მახასიათებელი სიდიდის (E) და კალაპოტის სიმქისის კოეფიციენტს შორის დამოკიდებულების გრაფიკები მოცემულია ნახ. 3.7.2, 3.7.3, 3.7.4, 3.7.5-ის სახით.

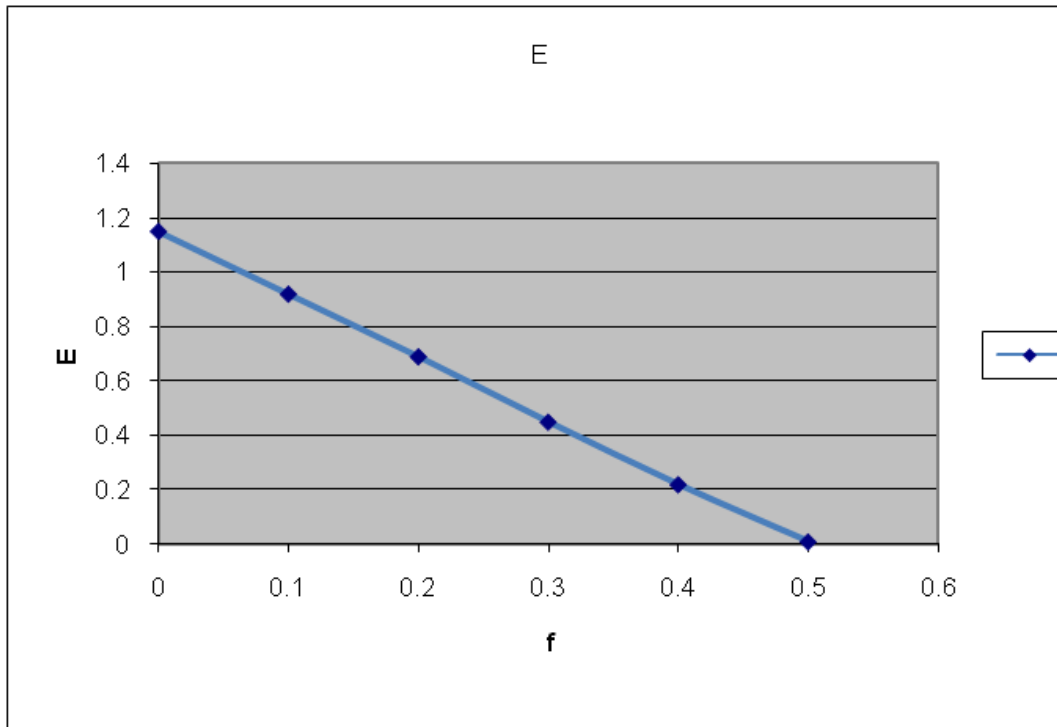


ნახ. 3.7.2 პარალელუბიპედის ფორმის ქვების მახასიათებელსა (E) და მდინარის კალაპოტის ხახუნის კოეფიციენტს (f) შორის დამოკიდებულება

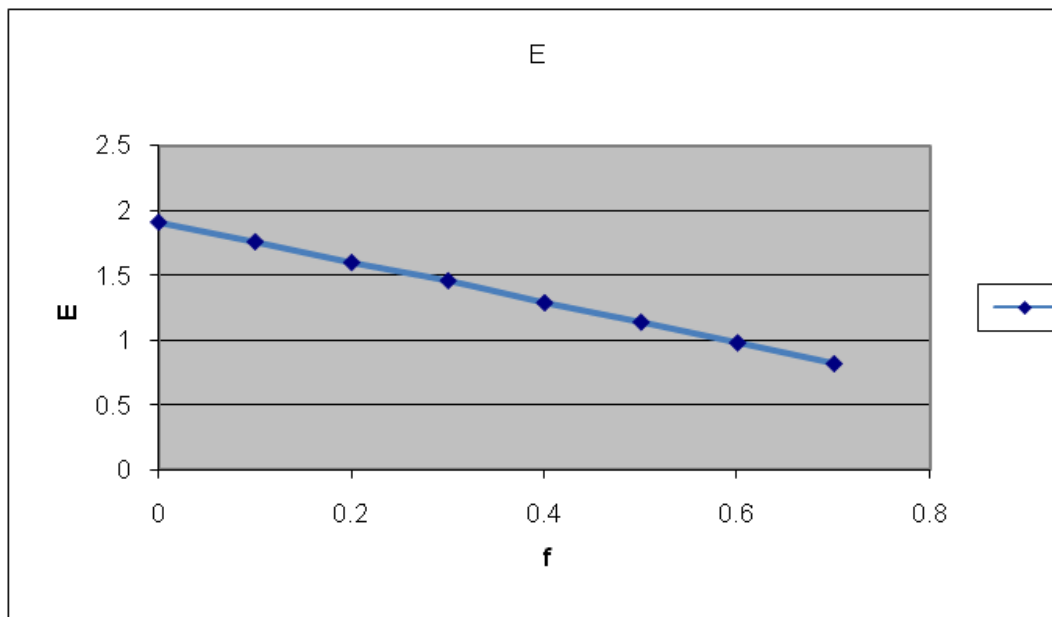


ნახ. 3.7.3 კუბის ფორმის ქვების მახასიათებელსა (E) და მდინარის კალაპოტის ხახუნის (f) შორის დამოკიდებულება





ნახ. 3.7.4 სფეროს ფორმის ქვების მახასიათებელსა (E) და მდინარის კალაპოტის ხახუნის (f) შორის დამოკიდებულება



ნახ. 3.7.5 ელიფსის ფორმის ქვების მახასიათებელსა (E) და მდინარის კალაპოტის ხახუნის (f) შორის დამოკიდებულება

განხორციელებული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ მდინარე ნაღვარევის ღელეს კალაპოტში წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი ნატანის შემადგენელი ქვების უმეტესობა პარალელიპიპედის ფორმისაა. მისი საანგარიშო განტოლება, რომელიც კავშირს ამყარებს ქვის

ფორმის მახასიათებელსა და კალაპოტის სიმქისის კოეფიციენტს შორის, ნაჩვენებია ქვემოთ:

$$E=3.01-2.38f \quad (3.7.12)$$

ზემოაღნიშნული გაანგარიშებით დადგენილია, ნიაღვარის ღელეს კალაპოტში წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული პარალელიპედის ფორმის ქვების რაოდენობა და მოცულობა, რომლის რიცხვითი მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში. 3.7.2.

**ცხრილი 3.7.2**  
**წყლის ნაკადის მიერ გადაადგილებული ქვის მასის რაოდენობრივი მონაცემები და მოცულობები**

#	კალაპოტის ქსნობი	ქვის დიამეტრი d (მ)	გაანგარიშებული სიდიდეები				
			(3) დამოკიდებულიებით	(6) დამოკიდებულიებით	(7) დამოკიდებულიებით	(10) დამოკიდებულიებით	(11) ქვის მოცულობა (მ <sup>3</sup> )
1	6°	0.08	0.0218	371700	43.35	8574	4.4
2	13°	0.1	0.1957	477048	198.16	2407	2.4
3	17°	0.15	0.8373	1257391	456.35	2755	9.3
4	22°	0.2	0.3253	15593349	2649	5886	47.1
5	24°	0.25	0.6455	31882278	5416.63	1483	91.9

ამრიგად, ზემოაღნიშნული მეთოდით შეგვიძლია მიახლოებით ვიანგარიშოთ ნიაღვარის ღელეს წყალსადინარში, წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვების ჩანართთა რაოდენობა და მოცულობა, ქვის ჩანართების საშუალო დიამეტრისა და კონფიგურაციის გათვალისწინებით, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ნატანდატვირთული ნაკადების საწინააღმდეგო ეფექტური სტრატეგიის ჩამოყალიბებისა და შესაბამისად ენერგო დერეფნების უსაფრთხო ფუნქციონირების უზრუნველყოფისათვის.

## თავი 4. ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიების ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება

### 4.1 გეოხალიჩა ნესგოს ეკონომიკური ეფექტიანობა

ნიადაგის ეროზია ძირითადად ფორმირდება მოწყვლად მთის ფერდობებზე, ნახანძრალი ტყის ტერიტორიაზე, საავტომობილო, სარკინიგზო და ენერგო დერეფნებში, სადაც ეფექტური ჩარევის გარეშე ფერდობებზე მუდმივად ვითარდება ნიადაგის დეგრადაციის პროცესები, რომლებიც მნიშვნელოვან ზიანს აყენებენ ქვეყნის ეკონომიკას.

თანამედროვე მსოფლიოში ნიადაგის ეროზიულ პროცესებთან ბრძოლისათვის გამოიყენება სხვადასხვა მოდიფიკაციის და მასალის გეოხალიჩები [77-83], რომლებიც გამოიყენება მოწყვლად ფერდობებზე ბიომრავალფეროვნების აღსადგენად.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, მოწყვლადი ფერდობის ეროზიისაგან დასაცავად ჩვენ მიერ შემოთავაზებულია გეოხალიჩა “ნესგო” (ფოტო 4.1.1), რომელიც მზადდება ეკოლოგიურად სუფთა დალიანდაგებული ბამბისა და მარლისაგან, რომელთა შრეებს შორის მოთავსებულია მცენარეთა გაღვივებული თესლები. ფერდობზე გეოხალიჩა “ნესგო”-ს ანკერებით მონტაჟის შემდგომ საჭიროა მისი ერთჯერადი მორწყვა, რათა ბამბის ზედაპირი დასველდეს და მჭიდრო კონტაქტში შევიდეს დასაცავი ფერდობის ნიადაგის ზედაპირთან, რაც უზრუნველყოფს ფერდობზე დამატებით გეოხალიჩის მდგრადობას.



**ფოტო 4.1.1 გეოხალიჩა ნესგოს საერთო ხედი**

გეოხალიჩა „ნესგო“-ს  $1\text{m}^2$ -ის ღირებულება, მცენარეთა თესლებისა და დალიანდაგებული ბამბისა და მარლის შემკავშირებელი სამაგრების, ანკერების ჩათვლით, შეადგენს 5,11 ლარს, ანუ სეკუმატთან შედარებით ეკოლოგიურად სუფთაა და 8-ჯერ იაფია, რაც წარმოადგენს, ეკონომიკური თვალსაზრისით, მნიშვნელოვან ფაქტორს არამხოლოდ ადგილობრივი ბაზრის, არამედ საერთაშორისო ბაზრებზეც მისი კონკურენტუნარიანობისა და პოპულარიზაციისათვის.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, ჩვენი მიზანია ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიის საწინააღმდეგო გეოხალიჩა „ნესგო“-ს

დანერგვისათვის ეკონომიკური ეფექტიანობის დადგენა, რისთვისაც ხდება მისი ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარება აღსადგენ ფერდობზე მრავალწლიანი ნარგავობის გაშენების შემთხვევაში.

ეკონომიკური გათვლები განხორციელდა შემდეგი ქრონოლოგიით: წყლისმიერი ეროზიის ზეგავლენით გადაგვარებული ფერდობის აღდგენისათვის, გამოყენებული გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს 1მ<sup>2</sup> კაპიტალური ხარჯები შეადგენს 5,1 ლარს, აქედან გამომდინარე შეიზლება ვიანგარიშით, 1 ჰა მიწის ზედაპირის ეროზიის საწინააღმდეგო დაცვის ერთჯერადი ხარჯები, რაც 51 100 ლარი/ჰა შეადგენს.

გეოხალიჩით დაცულ ფართობზე ნაგულისხმევია ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო მრავალწლიანი კულტურის - თხილის პლანტაციის გაშენება, რომლის საბითუმო ღირებულება საშუალოდ შეადგენს 6,5 ÷ 15 ლარი/კვ; თხილის პლანტაციის გაშენების ღირებულება ტოლია 4000 ლარი/ჰა, ხოლო პლანტაციის მოვლის ყოველწლიური ხარჯები – 700 ლარი/ჰა. მაშინ სუფთა დაყვანილი ეფექტი გამოითვლება 4.1.1 ფორმულის [32,33,45] სახით.

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{P_k}{(1+r)^k} - \sum_{j=1}^m \frac{IC_j}{(1+i)^j} \quad (4.1.1)$$

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).

გაანგარიშებიდან გამომდინარე, NPV=153 120 ლარი (ცხრილი 4.1.1), ხოლო ინვესტიციების მომგებიანობის შიდა ნორმა (IRR) შესაბამისად შეადგენს 24%.



ცხრილი 4.1.1  
ეროზირებული ფერდობის გეოხალიზა „ნესგეო“-ს გამოყენებით  
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)
2022	50	4,00	49,04		0,00	-49,04
2023		0,70	0,55		0,00	-0,55
2024		0,70	0,50	15,00	10,65	10,15
2025		0,70	0,44	30,00	18,90	18,46
2026		0,70	0,40	40,00	22,80	22,40
2027		0,70	0,36	40,00	20,40	20,04
2028		0,70	0,32	40,00	18,00	17,69
2029		0,70	0,28	40,00	16,00	15,72
2030		0,70	0,25	40,00	14,40	14,15
2031		0,70	0,22	40,00	12,80	12,58
2032		0,70	0,20	40,00	11,60	11,40
2033		0,70	0,18	40,00	10,40	10,22
2034		0,70	0,16	40,00	9,20	9,04
2035		0,70	0,14	40,00	8,00	7,86
3036		0,70	0,13	40,00	7,20	7,07
2037		0,70	0,11	40,00	6,40	6,29
2038		0,70	0,11	40,00	6,00	5,90
2039		0,70	0,09	40,00	5,20	5,11
2040		0,70	0,08	40,00	4,80	4,72
2041		0,70	0,07	40,00	4,00	3,93
სულ			53,63		206,75	153,12

ინვესტიციების მომგებიანობის ნორმის და სუფთა დაყვანილი ეფექტის გაანგარიშებიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ

გეოხალიჩა „ნესგეო“ წარმოადგენს რესურსმზოგ გარემოს დამცავ ტექნოლოგიას.

განხორციელებული გათვლებიდან გამომდინარე, დადგენილია ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიის სარეგულაციო ტექნოლოგიის - გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს გამოყენებით ეროზირებული ფერდობის აღდგენისა და მასზე თხილის პლანტაციის გაშენების შემთხვევაში ეკონომიური ეფექტიანობა. გაანგარიშებულია განსახორციელებელი სამუშაოებისათვის გაწეული ხარჯი და გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს გამოყენებით აღდგენილი ფერდობიდან მიღებული დისკონტირებული შემოსავალი ორი ათეული წლის განმავლობაში.

ჩვენ მიერ ჩატარებული ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე დადგინდა, რომ ნახანძრალი მთის ეროზირებულ ფერდობზე ბიომრავალფეროვნების აღდგენა გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს საშუალებით, შემდგომ მასზე თხილის პლანტაციის გაშენების ხარჯები 8 წლიანი პერიოდის გავლის შემდგომ მთლიანად ამოღებულია და 2041 წლისათვის დისკონტირებული მოგება 153 120 ლარს შეადგენს 1 ჰა-ზე, რაც მიუთითებს ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიის საწინააღმდეგო, ჩვენ მიერ შემოთავაზებული გეოხალიჩა „ნესგეოს“ ეკონომიკურ ეფექტიანობაზე და შესაბამისად, ეკონომიკური თვალსაზრისით, მისი დანერგვის შესაძლებლობაზე.

## დასკვნა

1. დადგენილია მტს-ის ხევში არსებული მოწყვლადი ფერდობის ნიადაგ-გრუნტის გეოტექნიკური და ქიმიური პარამეტრები, რის საფუძველზე შეიძლება ითქვას, შემდეგი: გრანულომეტრიული მაჩვენებლების მიხედვით, გრუნტები თიხურ ქანებს განეკუთვნებიან, სადაც თიხა-მტვროვანი ფრაქცია 80% აჭარბებს, ხოლო ქვიშა და უხეშნატეხოვანი ფრაქცია 20% არ აღემატება. იგი ნახევრად მყარი კონსისტენციის, საშუალოდ ტენიან გრუნტებს მიეკუთვნება. პლასტიკურობის რიცხვის მიხედვითაც იგი თიხურ გრუნტებს წარმოადგენს საშუალო ფორიანობით. მექანიკური მახასიათებლების მიხედვით საშუალოდ კუმშვადი ქანების კატეგორიაში გადის (კუმშვადობის კოეფიციენტი  $a=0.01-0.03$ ), სიმტკიცის მაჩვენებლები ამ გრუნტებს ახასიათებს როგორც საშუალო შეჭიდულობისა და შიდა ხახუნის ძალების მქონე გრუნტებს. გრუნტი წყლოვანი გარემოს მიმართ არამდგრადი ხასიათით გამოირჩევა. ქიმიური თვალსაზრისით ნიადაგი დაბალ მარილიანია და რეაქცია სუსტი ტუტე აქვს, ჰუმუსის შემცველობა დაბალია 0,8%, რაც მიუთითებს ნიადაგ-გრუნტების ადვილად გარეცხვის შესაძლებლობაზე, რაც ერთ-ერთი მნიშვნელოვან საფუძველს წარმოადგენს მოწყვლად ფერდობზე ნიადაგ-გრუნტის ეროზიული პროცესების ფორმირების.
2. საველე ინტეგრირებული პოლიგონის საცდელ უბნებზე განხორციელებული კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ გეოხალიჩა „ნესგეო“ ყველა მიმართულებით (ნიადაგის ეროზიისაგან დაცვა, ბიომრავალფეროვნების აღდგენის შესაძლებლობა) უფრო ეფექტურია (საველე პოლიგონის II საცდელი უბნის ზედაპირის დაახლოებით 80-85% შევსებულია ბალახოვანი და ხე მცენარეებით) ვიდრე გეოხალიჩა „სეკუმატი“ (საველე პოლიგონის II საცდელი უბნის ზედაპირის დაახლოებით 30-40% შევსებულია ბალახოვანი და ხე მცენარეებით).

3. პოლიგონის საკონტროლო უბანზე განხორციელებული ექსპერიმენტის ფარგლებში დადგენილია, წვიმის ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის წრფივი დამოკიდებულება.
4. დადგენილია სავსე პოლიგონის ფარგლებში მოსული წვიმის ინტენსიობასა და მყარ ჩამონადენს შორის კორელაციური კავშირი,  $r=0,62$ . მიღებული მონაცემი შეიძლება დამაკმაყოფილებელ შედეგად ჩაითვალოს.
5. განისაზღვრა პოლიგონის საცდელ უბნებზე ვეგეტირებული ბალახოვანი მცენარეების საშუალო დინამიკის საიმედოობა, რომელიც 51%-ია. მიღებული შედეგის მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ, რომ დასაცავ ფერდობზე შესაძლებელია აღდგეს ადრე არსებული ბიომრავალფეროვნება.
6. მარტივი კომპიუტერული პროგრამით ჩატარდა პოლიგონის საკონტროლო უბანზე ფორმირებული ნაღვარევის დინამიკის კომპიუტერული მოდელირება, რომლის მიხედვითაც ვიზუალური თვალსაზრისით, მნიშვნელოვნად გაძლიერდა მოწყვლადი ფერდობის დახრამვითი პროცესები, რაც საჭიროებს ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ეფექტური ღონისძიებების განხორციელებას.
7. დადგენილია, რომ ნიაღვარის ღელეს წყალშემკრებ აუზში ფერდობებზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიის ინტენსიობა შეადგენს 5-10 ტ/ჰა, რომლის შესაჩერებლად საჭიროა ეროზიული პროცესების საწინააღმდეგო ეფექტური და ოპერატიული ღონისძიებების ჩატარება, რადგან ნიაღვარის ღელეს წყალშემკრებ აუზში ფერდობებზე მიმდინარე ეროზიული პროცესები პროვოცირებას უწევს ღვარცოფული და მეწყრული მოვლენების ფორმირებას, რაც მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ რისკებს შეიცავს ნიაღვარის ღელეს გავლენის ზონაში გამავალი ენერგო დერეფნის სხვადასხვა ინფრასტრუქტურის ობიექტების უსაფრთხო ფუნქციონირების მიმართ.

8. დადგენილია ნიაღვარის ღელეს წყალსადინარში, წყლის ნაკადის მიერ ტრანსპორტირებული ქვების ჩანართთა რაოდენობა და მოცულობა, ქვის ჩანართების საშუალო დიამეტრისა და კონფიგურაციის გათვალისწინებით, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ნატანდატვირთული ნაკადების საწინააღმდეგო ეფექტური სტრატეგიის ჩამოყალიბებისა და შესაბამისად ენერგო დერეფნების უსაფრთხო ფუნქციონირების უზრუნველყოფისათვის.
9. განხორციელებული ეკონომიკური გათვლების შედეგად დადგენილია, რომ გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს საშუალებით ეროზირებული ფერდობის რეაბილიტაციის შემდგომ, თხილის პლანტაციის მაგალითზე, 8 წლის შემდეგ 1 ჰა-ზე მოგება შეადგენს 153 120 ლარს, რაც მიაწინებს გეოხალიჩა „ნესგეო“-ს ეკონომიკურ ეფექტიანობაზე.



## გამოყენებული ლიტერატურა

1. ამბოკაძე ვ. ნიადაგის ეროზია და მის წინააღმდეგ ბრძოლა საქართველოში. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია, 1955.
2. ბრეგვაძე, მ. ნიადაგის ეროზია ზესტაფონის რაიონში. თბილისი: საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია, 1952.
3. გავარდაშვილი გ. ბუნებრივი და ტექნოგენური კატასტროფების მთის ლანდშაფტების უსაფრთხოების ღონისძიებები. გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2011, 237 გვ.
4. გედევანიშვილი, დ. პ., & ტალახაძე, გ. რ.. ნიადაგნაცოცხების კურსი. თბილისი: საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის გამომცემლობა, 1961.
5. გობეჩია გ. ჰიდრორესურსების გამოყენებასთან დაკავშირებული საინჟინრო-ეკოლოგიური პრობლემები. საერთაშორისო კონფერენციის სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი, 2001, გვ. 42-45.
6. გობეჩიაშვილი, რ. საქართველოს რელიეფი. თბილისი: უნივერსალი. 6. გოგიჩაიშვილი, გ., ღორჯომელაძე, მ., თურმანიძე, ნ., & ღორჯომელაძე, მ.. საქართველოს ნიადაგების ეროზიული მდგრადობის შეფასება. საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, 2011, #29, გვ.188-192.
7. გოგიჩაიშვილი, გ., ღორჯომელაძე, ო., & თურმანიძე, ნ. ნიადაგების ეროზიულობის დინამიკა წლის განმავლობაში. საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე. 2012. #30, 189-199.
8. ზერაგია პ. უმაღლესი მათემატიკა. გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, 1979, თავი XVI, გვ. 411-418.
9. თვალავაძე, მ., მარდალეიშვილი, რ., & მარდალეიშვილი, მ. აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთი ნიადაგის დეგრადაცია და ნაყოფიერების ამაღლების ღონისძიებები. საქართველოს სოფლიე მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, 2008, #22, 125-127
10. მაჭავარიანი ვ. რეკომენდაცია: ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებები. თბილისი: საქ.სსრ სოფლ.მეურნ.სამინისტრო. 1972.
11. მაჭავარიანი ვ. ნიადაგის ეროზია და დაცვის ღონისძიებები. თბილისი: მეცნიერება. 1987.
12. საბაშვილი მ. ნიადაგის ეროზია საქართველოში და მასთან ბრძოლა. საქართველოს სოფლის მეურნეობა, 1967, გვ. 5-7.

13. ტალახაძე გ. რ. ნიადაგმცოდნეობის პრაქტიკუმი. თბილისი: საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის გამომცემლობა. 1962.
14. ტალახაძე გ., ანჯაფარიძე ი., ლატარია ვ., კირვალიძე რ., მინდელი, ნაკაშიძე ლ., მინდელი მ. საქართველოს ნიადაგები. საშუალო ნიადაგების მთიანეთის და ბარის ზონა. თბილისი: განათლება, 1983.
15. ურუშაძე, თ. საქართველოს ტყის ნიადაგები. თბილისი: საბჭოთა საქართველო. 1972.
16. ურუშაძე, თ. საქართველოს ძირითადი ნიადაგები. თბილისი: მეცნიერება. 1997.
17. ურუშაძე თ., & ანჯაფარიძე ი. ნიადაგის ეროზია და მასთან ბრძოლა. თბილისი: საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტი. 1987.
18. ურუშაძე თ., & ბლუმი ვ. ნიადაგების გეოგრაფია ნიადაგმცოდნეობის საფუძვლებით. თბილისი: თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა. 2011.
19. ღორჯომელაძე ო., გოგიჩაიშვილი გ., & თურმანიძე ნ. ნიადაგის ეროზიული საშიშროების შეფასება სხვადასხვა ფაქტორებთან (ნალექები, რელიეფი, ნიადაგი, მცენარეულობა) დაკავშირებით. საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, 2009, #26, 175-179.
20. ყრუაშვილი ი. წყლისმიერი ეროზიული პროცესების პროგნოზირება და საინჟინრო ეკოლოგიური ამოცანების გადაწყვეტის მეთოდები. მონოგრაფია, გამომცემლობა „განათლება“, 1996.
21. ჩეკურიშვილი რ. ი., გავარდაშვილი გ. ვ., ნადარაია მ. მთის ლანდშაფტის კადასტრის შედგენა აეროკოსმოსური მეთოდების გამოყენებით. (მეთოდური მითითებები). თბილისი, 1994. 48 გვ.
22. ციცაგი მ. ნიადაგის ეროზიის ინტენსივობის განსაზღვრა ნიადაგის დაკარგვის გაერთიანებული უნივერსალური განტოლების გამოყენებით მდ. ტანას აუზის მაგალითზე. თსუ, ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტი შრომათა კრებული, 2014, 153-160.
23. ციცაგი მ., & გუგუშაშვილი მ. მცენარეული საფარის ცვლილების შეფასება NDVI გამოყენებით (ბორჯომის მუნიციპალიტეტის მაგალითზე). რეგიონული განვითარების პერსპექტივები: „სამცხე-ჯავახეთი“, 2016, 220-227.
24. ცხოვრებაშვილი შ. ზოგადი გეომორფოლოგიის მოკლე კურსი. თსუ-ს გამომცემლობა, თბილისი, 1980, 253 გვ.

25. ხუბულავა ი., ჩახაია გ. მდ. გლდანისხევის ეკოლოგიური უსაფრთხოების შეფასება და ნიადაგის დეგრადაციის საწინააღმდეგო ღონისძიებების შემუშავება. გამომცემლობა „მწიგნობარი“ 2018, 90 გვ.
26. ხუბულავა ი. მდ. გლდანისხევის არსებულ მოწყვლად ფერდობზე მიმდინარე ნიადაგის ეროზიული პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლების პროგნოზირება და ეროზიული უბნების მართვის მექანიზმების შემუშავება. ი. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მეექვსე საფაკულტეტო კონფერენცია ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში. თბილისი, 2018.
27. ხუბულავა ი. ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო, ბუნებრივი მასალისაგან დამზადებული, თანამედროვე გეოხაიზის ლაბორატორიული კვლევა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინდტიტუტის შრომათა კრებული №71, 2016, თბილისი, გვ. 154-159.
28. Белый Л.Д. Геологические основы классификации грунтов при изысканиях и проектировании гидроэнергетических сооружений. Л., М., Госэнергоиздат. 1954. 92 с.
29. Белый Л.Д. Теоретические основы инженерно-геологического картирования. М. “Недра“. 1964. 168 с.
30. Белый Л.Д. Инженерная геология. М. Высшая школа. 1985. 231 с.
31. Беннет Х.Х. Основы охраны почвы. М., ИЛ, 1958, 318 с.
32. Бирман Ю., Шмидт С. Экономический анализ инвестиционных проектов: Пер. с англ. / Под.ред. Л.П.Белых. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1997.
33. Бригхем Ю., Гапенски Л. Финансовый менеджмент: Пер. с англ./Под ред. В.В. Ковалева. – СПб: Экономическая школа, 1997.
34. Великанов М.А. Русловой процесс. М. Физматгиз, 1958, 424 с.
35. Вознесенский А. С. И Арцруни А.Б. Лабораторный метод определения противоэрозионной устойчивости почв. Сб. «Вопросы противоэрозионной устойчивости почв», Тбилиси, ЗакНИИВХ, 1940, с. 11-124.
36. Гамрекелидзе П.Д. Геологическое описание. В кн. “Геология СССР“. часть I. Т-10. Грузинская ССР Ч-1. М. “Недра“. 1964. ст. 655.
37. Геоморфология Грузии. Рельеф ГССР в аспектах пластики, происхождения, динамики и истории. (Ред. коллегия... Л.И. Маруашвили и др.) Тбилиси; “Мецნიერება“. 1971. 609 с.



38. Геоморфологическое картирование. Сб. ст. АН ССР. Геоморф. комис. (отв. ред. Г.С. Ганешин). М. "Наука". 1978. 239 с.
39. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. Москва. Высшая школа, 2004, 479 с.
40. Гогичаишвили, Г. П. ЭРОЗИЯ ПОЧВ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ ГРУЗИИ. ПОЧВОВЕДЕНИЕ, 2016, 745-754.
41. Гогичаишвили, Г. П. (2004). Ерозионный Потенциал Осадков в Грузии и его Оценка в Связи с Изменением Климата. Annals of Agrarian Sciences, 4, 41-46.
42. Джавахишвили А.Н. Геоморфологические районы Грузинской ССР. М. 1974.
43. Заславский М. Н. Эрозиоведение. Москва: Высшая школа. 1983.
44. Киркби М., Морган Р. Эрозия почв. М., Колос, 1984, 416 с.
45. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов : М.: Финансы и статистика, 1998.
46. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М., Сельхозгиз, 1960, 622 с.
47. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв. Издательство Московского университета. Издательство «Колос». 2004. 235 с.
48. Мирцхулава Ц.Е. Методические рекомендации по прогнозу водной (дождевой) эрозии почв. ВАСХНИЛ, Москва, 1978, 62 с.
49. Мирцхулава Ц.Е. Указания по определению допускаемых (неразмывающих) скоростей водного потока для связных грунтов. МСХ. 1962, 33 с.
50. Мирцхулава Ц.Е. Водная эрозия почв. Тбилиси, «Мецниереба», 2000, 421с.
51. Мирцхулава Ц. Е. О перспективном методе охраны почв от эрозии в странах южного кавказа с помощью ветиверных тонких полос. Известия аграрной науки. Тбилиси 2003, №2 ст. 18-21.
52. Мирцхулава Ц. Е. Надёжность гидромелиоративных сооружений. М. "Колос". 1974. 279 с.
53. Мирцхулава Ц. Е. Основы физики и механики эрозии русел. Л. "Госэнергоиздат". 1988. 303 с.

54. Мирцхулава Ц. Е. Инженерные методы расчёта и прогноза водной эрозии. М. "Колос". 1970. ст. 240.
55. Мдинарадзе Л. А., Мачавариани В. М., & Хундадзе З. Г. Генеральная схема противоэрозионных мероприятий Грузинской ССР на 1981-1990 годы и на период до 2000 года. Тбилиси: Сабчота Сакартвело. 1988.
56. Натишвили О. Г. Гидравлика безнапорных взвесенесущих потоков. Тип-фия. Груз. СХИ. Тбилиси. 1988. ст. 62.
57. Натишвили О. Г., Тевзадзе В. И. – Прогнозирование экологических нарушений в русле горного водотока и мероприятия по их смягчению. Сборник научных трудов (Экологическая устойчивость, безопасность, надежность). Тбилиси, 2003, с. 111-123.
58. Панюков П.Н. Основы физической минералогии. 1966. Часть 1, М. 70 с.
59. Панюков П.Н. Основы физической петрографии. 1968. Часть 2, М. 106 с.
60. Сергеев Е.М. Грунтоведение. М. Из-во. МГУ. 1983. 389 с.
61. 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.
62. Тевзадзе В. И. Определение объёмной массы селевого потока. Док. ВАСХНИЛ. 1982. №7. сс. 39-40.
63. Турманина В. И. Растения рассказывают. "Мысль". М. 1987. ст. 156.
64. 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.
65. Хортон Р. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. ИЛ, 1948, 186 с.
66. Швебс Г.И. Теоретические основы эрозиоведения. Киев. Высшая школа. 1981, 222 с.
67. Bosikashvili Sh. - Identifying the quantitative characteristics of the erosion processes provoked by fire on the mountain slopes surrounding the Naghvarevi stream in the Borjomi valley. World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development (October-2022). pp. 5-7



68. Bosikashvili Sh. - Determination of the amount and volume of solid fractions transported by the water flow in the bed of the Naghvarevi stream, taking into account the average diameter and configuration of stone inclusions. World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development (October-2022). pp. 128-132
69. Gurgenidze D., Klimiashvili L., Gvishiani Z., Bosikashvili Sh., Ramishvili I., Enukidze R., Chakhaia G. Development of the optimal engineering technology against the expected flood in the Nagvarevi channel. For Participating in the international scientific and technical conference "Problems of Engineering Sciences" in Yerevan University of International Relations named after A. Shirakatsi 20.05-22.05, 2022.
70. Gurgenidze D., Klimiashvili L., Gvishiani Z., Bosikashvili Sh., Ramishvili I., Enukidze R., Chakhaia G. Khubulava I., Tsulukidze L. - Correction of the design dependence of the continuous wave force formed during the movement of continuous mudflow with constant flow rate. World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development (June-2022). pp. 35-37.
71. Chakhaia G., Bosikashvili Sh., Varazashvili Z., Diakonidze R., Khubulava I., Supatashvili T., Tsulukidze L., Shavlakadze M., Lortkifanidze F. – 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.
72. Chakhaia G., Varazashvili Z., Tsulukidze L., Shavlakadze M., Khubulava I., Omsarashvili G., Supatashvili T., Oqriashvili O., Sukhishvili N. - 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.
73. Khubulava I., Chakhaia G. Simulative modeling of the soil erosion processes. ANNALS OF AGRARIAN SCIENCE, Elsevier. 2018, Vol.16, № 2, pp.185-188.
74. 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.
75. Morgan R.P.C., Hann M. J. Shah Deniz Gas Export Project: erosion risk assessment. Crafield University, UK, Silsoe, 2001., 25 p.

76. 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.
77. <https://www.naue.com/products/erosion-control-systems/secumat/>
78. <https://www.geo-coastal.ie/products-services/erosion-control/secumat/>
79. <https://www.archiexpo.com/prod/naue/product-146130-2344613.html>
80. <https://sapkazstroy.kz/p48774306-secumat.html>
81. <https://www.lerecord.com/en/other-geosynthetics-naue/96-geomatelats-anti-erosion-secumat.html>
82. <https://www.archiexpo.com.ru/prod/naue/product-146130-2344612.html>
83. [https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/7800567/SECUMAT\\_Ficha%20te%C9%81cnica.pdf](https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/7800567/SECUMAT_Ficha%20te%C9%81cnica.pdf)