

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

მარიამ ციცაგი

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი
გეოგრაფიის დეპარტამენტი, გეომორფოლოგია-გეოეკოლოგია

*ნიადაგის ეროზიული პროცესების შეფასება და გის მოდელირება (შიდა
ქართლის მაგალითზე)*

სადოქტორო დისერტაცია

ხელმძღვანელები:

სადოქტორო პროგრამის ხელმძღვანელი

თსუ პროფესორი, ტექნიკის. მეცნ. დოქტორი: დავით კერესელიძე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი

თსუ სრული პროფესორი

გეოგ. აკად. დოქტორი: დალი ნიკოლაიშვილი

თსუ სრული პროფესორი

გეოგ. მეცნ. დოქტორი:

რამინ გობეჯიშვილი

თბილისი

2017

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

Mariam Tsitsagi

Faculty of Exact and Natural Sciences, Department of Geography, chair of Geomorphology

Assessment and GIS Modeling of Soil Erosion (case of Shida Kartli)

PhD thesis

Supervisors:

Program Director: TSU Professor, Doctor of Technical Sciences: David Kereselidze

Scientific Supervisors: TSU Associate Professor: Dali Nikolaishvili

TSU Professor, Doctor of Geographical Sciences: Ramin Gobejishvili

Tbilisi 2017

შესავალი.....	4
INTRODUCTION	6
კვლევის მიზანი და ამოცანები.....	8
მეცნიერული სიახლე	8
კვლევის მეთოდები.....	9
ნაშრომის სტრუქტურა.....	11
თავი I. მეთოდთა და შესწავლის ისტორია.....	12
I.1 ძირითადი ცნებები და მიდგომები	12
I.2 არსებული გამოცდილება.....	16
I.3 კვლევის თანამედროვე მეთოდები.....	17
თავი II. შიდა ქართლის კომპლექსურ-გეოგრაფიული მიმოხილვა.....	21
2.1 რეგიონის მდებარეობა და საზღვრები	22
2.2 რელიეფის ძირითადი ტიპები და მორფომეტრიული ანალიზი.....	22
2.3 გეოლოგიური აგებულება	27
2.4 კლიმატი	35
2.5 შიდა წყლები	37
2.6 ნიადაგური საფარი	39
2.7 მცენარეული საფარი.....	44
2.8 მიწათსარგებლობა	46
თავი III. შიდა ქართლში ნიადაგის წლიური დანაკარგის შეფასება ე.წ. ნიადაგის დაკარგვის უნივერსალური გაერთიანებული განტოლების (RUSLE) საფუძველზე.....	48
3.1 ეროზიის გამომწვევი ფაქტორების ზოგადი ანალიზი.....	48
3.2 RUSLE-ის ფაქტორების გის მოდელირება	60
3.3 ნიადაგის ეროზიის ტერიტორიული განაწილების თავისებურებანი.....	84
3.3.1 <i>R</i> ფაქტორი	84
3.3.2 <i>LS</i> ფაქტორი.....	89
3.3.3 <i>K</i> ფაქტორი	89
3.3.4 <i>C</i> ფაქტორი	94
3.3.5 <i>P</i> ფაქტორი.....	94
3.4 ნიადაგ-ეროზიული დარაიონება.....	95
დასკვნები	97
გამოყენებული ლიტერატურა	99

შესავალი

ნიადაგი მსოფლიოში ერთ-ერთი ყველაზე ფასეული ბუნებრივი რესურსია და დედამიწაზე სიცოცხლის თითქმის ყველა ფორმის არსებობის განუყოფელი ნაწილი. ადამიანის საკვების თითქმის 96% მიიღება ნიადაგიდან. ნიადაგი მოქმედებს როგორც სხვადასხვა ნივთიერებების გადამამუშავებელი და წყლის გამწმენდი „საშუალება“.

საქართველოსთვის ნიადაგი უმნიშვნელოვანესი რესურსია. იქიდან გამომდინარე, რომ საქართველოში თითქმის წარმოუდგენელია სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობის ზრდა ახალი ტერიტორიების ათვისების გზით, შესაბამისად უნდა მოხდეს უკვე არსებული სავარგულების დეტალური შესწავლა მათი ოპტიმალური გამოყენებისათვის, რადგან სოფლის მეურნეობის პროდუქტიულობის გაზრდას რაციონალური ბუნებათსარგებლობის ფონზე ჩვენი ქვეყნისათვის სასიცოცხლო მნიშვნელობა აქვს.

შიდა ქართლის მოსახლეობა უხსოვარი დროიდან ეწევა მიწათმოქმედებას და ახლო მომავალშიც მისი ძირითადი საქმიანობის სფერო ისევ ამ მიმართულებით განისაზღვრება. ამიტომ მნიშვნელოვანია ყველა იმ გარემოების შესწავლა და მეცნიერული საფუძვლების შექმნა, რომელიც გავლენას ახდენს მეურნეობის ამ დარგების განვითარებაზე.

ნაშრომში მთავარი აქცენტი გაკეთებულია იმ პროცესზე, რომელიც სოფლის მეურნეობის განვითარების ძირითადი შემაფერხებელი ფაქტორია - ნიადაგების დეგრადაცია. ნიადაგის დეგრადაციის უპირველესი მიზეზი კი არის ეროზია. ნიადაგის ეროზიის მრავალი სახე არსებობს, მათგან ნაშრომში დეტალურად განხილულია წყლისმიერი ეროზიის ერთი კონკრეტული სახე და გაანალიზებულია მისი გამომწვევი ფაქტორები.

ნიადაგის ზედაპირული, ანუ სიბრტყითი ეროზია ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული და ზიანის მომტანია მიწათმოქმედებისთვის. ეს ბუნებრივი პროცესია და ადამიანი მას ვერ შეაჩერებს, პირველ ეტაპზე ის თვალისათვის შეუმჩნეველია, თუმცა ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების გაუტარებლობის გამო, ეს პროცესი გადადის ნაკადისებრ ეროზიაში. თუ ჩამორეცხვის შედეგად მიღებული ფორმა არ გასწორდა, ის გარდაიქმნება ზედაპირული ნაკადების შემკრებად და თანდათან გადავა ხაზობრივი ეროზიის ფორმებში - წყალნადარი, ღარტაფი და ბოლოს ხრამი, რაც მიწათმოქმედებისთვის უდიდესი ზიანის მომტანია (ურუშაძე & ბლუმი, ნიადაგების გეოგრაფია ნიადაგმცოდნეობის საფუძვლებით, 2011). დახრამვა იწვევს ნიადაგის ჰიდროლოგიური რეჟიმის შეცვლას და აუარესებს ნიადაგის ტენის ბალანსს, რაც თავის მხრივ, აისახება მოსავლიანობის შემცირებაში, ამასთან ერთად ნიადაგის პროფილის სიმძლავრე მცირდება და შესაბამისად წარმოიქმნება ჩამორეცხილი ნიადაგი. დადგენილია, რომ ჩამორეცხავ-ნორმალურ ნიადაგებთან შედარებით საშუალოდ და ძლიერ ჩამორეცხილ ნიადაგებზე სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობა 50-70%-ით დაბალია (მაჭავარიანი ვ. , 1972). ზედაპირული წყლისმიერი ეროზიის შედეგად ნიადაგი კარგავს ყველაზე ნოყიერ ზედაპირულ ფენებს. ამას ადასტურებს მ. დარასელიას, ვ.

ამბოკაძის და სხვ. მონაცემები ჩამოურეცხელ და ჩამორეცხილ ნიადაგებში ჰუმუსის, აზოტის და სხვ. შემცველობის შესახებ (საბაშვილი, 1967, 4).

მსოფლიოს მთელ რიგ ქვეყნებში ეროზიის გაძლიერებას ხელს უწყობს მოსახლეობის რაოდენობის ზრდა, მათი მზარდი მოთხოვნილებების დასაკმაყოფილებლად ტყის საფარის შემცირება და სულ უფრო მეტი ტერიტორიის ათვისება, როგორც სასოფლო-სამეურნეო, ისე ურბანული დანიშნულებით. მიუხედავად იმისა, რომ რეგიონში მოსახლეობის რაოდენობა მცირდება, ნიადაგის დეგრადაციის პროცესზე ეს არ აისახება. შესაბამისად, ამ პროცესის კვლევას უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ საქართველოში და ცხადია, შიდა ქართლშიც, 1980-იანი წლების შემდეგ არ მომხდარა ნიადაგის ეროზიის გამომწვევი ფაქტორების კომპლექსური ანალიზი და შესაბამისად ნიადაგის დანაკარგის რაოდენობრივი განსაზღვრა, არ მომხდარა მდინარეთა აუზების მიხედვით საჭირო მონაცემთა ელექტრონული ბაზებისა და ციფრული მოდელების შექმნა, ამდენად ნაშრომს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება.

Introduction

Land is the main resource, which is widely used for agricultural purposes in Georgia. Increase of agricultural productivity on the background of rational natural resources management has a vital importance for our country. The population of Shida Kartli region has been farming since ancient times and the field of their activity would be determined by this direction in near future. Given that the agriculture is the most common form of land use in this region, the main focus of the paper is the process, which is a major hindrance to the development of agriculture, soil degradation. The primary reason of soil degradation is the erosion. There are many types of soil erosion, which point out the erosion by water. The sheet erosion is one of the most widespread and damaging for farming, people will not stop it, however, because of the failure of erosion control measures, this process can move rill and gully erosion and over time generate gorges, which cause great damage to farming. Gully leads to deterioration of soil hydrological regime and soil moisture balance, which in turn will reduce the yield. Population growth, the reduction of forest for their growing needs and more and more land development for both agricultural and urban purposes incise the erosion in many countries. Despite the declining population in the region, it will not affect the process of soil degradation. Accordingly, research of this process has great practical importance.

Various scientific research institutes studied soil erosion in Georgia (soil science, agriculture, mining and forestry institutions and Hydraulic Engineering and Reclamation). There were research stationaries, where all factors causing erosion were observed, erosion maps with the appropriate actions were created for individual villages. It was quite a long and complicated process. Today this work is stopped and the materials are fragmentary preserved. Research of certain factors causing erosion is still going on, but not for complex examinations. So, the novelty of the research is the quantitative determination of an annual soil loss by complex research of these factors. In addition, modern research methods make the process more rapid and effective, but it does not mean that the field and laboratory work is less important. The project aims to study the quantitative assessment of soil loss with complex use of modern research methods as well as field and laboratory methods in Shida Kartli region, which is new. All the factors causing soil erosion by water (climate, relief, soil type, vegetation) will be discussed separately in this paper and by the analysis of the relevant factors exact quantitative data, of annually soil loss in Shida Kartli region will be available. The result of the mentioned study has the great practical importance and preventive measures would be able by the consideration its result. Finally, the novelty and importance of the project is in the fact that it involves the use of modern technology to study the complex processes of erosion.

First of all, we need to study in detail the region's relief, to assess the impact of the terrain on the establishment and development of erosion. Morphometric analysis of the terrain and then assess the impact of the morphometric parameters on erosion processes will be done. Shida Kartli relief is quite varied. A large area is occupied by the slopes, which are used for farming. Today a superficial attitude is regarding to their utilization. The slopes with their agro-industrial conditions are quite different from the plains areas, but in case of correct utilization

the large amount of crop can be obtained. For this creation of Digital Elevation Model (DEM) is needed.

The next step is to estimate soil erosion, knowledge of soil structure and the content of organic matter, is necessary, for which is scheduled the field work. New materials will be added to the result of the field work done in the past and by their joint analysis soil erodibility factor will be determined. After analysis of the average annual rainfall data from the weather stations of the region, rainfall erodibility factor will be determined.

Next comes the impact of land-use forms on erosion, detailed maps of land use is the necessary. Unfortunately, they are not available. In this case, there is an alternative way: remote sensing method to determine the vegetation index, which is also very interesting novelty in modern geographical studies in Georgia. After the buildup and analyzing the above information, we can define erosion potential, soil erosion map of the setup. Finally, as a result of the research work at hand, we will have to reflect 1) all factors causing soil erosion in detail, 2) analysis of information and the models implemented in ArcGIS and ArcHydro; 3) erosion potential in the region will be determined and the maps will be presented; 4) the intensity of erosion and the implementation of its anti-erosion measures will be determined.

კვლევის მიზანი და ამოცანები

წინამდებარე კვლევა რამდენიმე მნიშვნელოვან მიზანს ემსახურებოდა:

1. შიდა ქართლში ნიადაგის ეროზიის შეფასება და ნიადაგის ეროზიის გამომწვევი ფაქტორების კომპიუტერული მოდელირება;
- კვლევის მიზნიდან გამომდინარე, დავისახე შემდეგი ამოცანები:
- I. საკვლევ ტერიტორიაზე არსებული ქართული და უცხოური სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვა და ანალიზი და კვლევისათვის სათანადო მეთოდების შერჩევა;
 - II. კვლევისათვის საჭირო მონაცემების მოძიება (მათ შორის კლიმატური ინფორმაცია, აეროკოსმოსური სურათები და რელიეფის ციფრული მოდელი) და არსებული მონაცემების კომპიუტერული დამუშავება;
 - III. შერჩეული მეთოდებით ეროზიის გამომწვევი ფაქტორების გის მოდელირება და მოდელირებაზე დაყრდნობით ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგის განსაზღვრა საკვლევ რეგიონში;

მეცნიერული სიახლე

საქართველოში ნიადაგის ეროზიას სხვადასხვა სამეცნიერო - კვლევით ინსტიტუტებში იკვლევდნენ (ნიადაგმცოდნეობის, მიწათმოქმედების, ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის და სამთო-მეტყევეობის ინსტიტუტები). არსებობდა შესაბამისი სტაციონარები, სადაც ეროზიის გამომწვევ ყველა ფაქტორზე ხდებოდა დაკვირვება, იქმნებოდა ეროზიის კარტოგრამები შესაბამისი ღონისძიებებით ცალკეული სოფლებისთვის. ეს საკმაოდ რთული და ხანგრძლივი პროცესი იყო. დღეს ეს სამუშაოები შეწყვეტილია, იმდროინდელი მასალები კი ფრაგმენტულადაა შემორჩენილი. ეროზიის გამომწვევი ცალკეული ფაქტორების კვლევა ამჟამადც მიმდინარეობს, თუმცა არა კომპლექსური გამოკვლევები. სწორედ ამ ფაქტორების კომპლექსური კვლევით, ეროზიის შედეგად ნიადაგის ყოველწლიური დანაკარგის რაოდენობრივ განსაზღვრაში მდგომარეობს აღნიშნული კვლევის სიახლე. გარდა ამისა, კვლევის თანამედროვე მეთოდები პროცესს უფრო სწრაფსა და ეფექტურს ხდის, თუმცა ეს არ ნიშნავს რომ სავსე და ლაბორატორიული სამუშაოები ნაკლებ მნიშვნელოვანია. აღნიშნული კვლევის მიზანია შიდა ქართლის ტერიტორიაზე კვლევის უახლესი მეთოდების, ასევე სავსე და ლაბორატორიული მეთოდების კომპლექსური გამოყენებით ნიადაგის დანაკარგის რაოდენობრივი შეფასება, რაც სიახლეს წარმოადგენს. ნაშრომში განხილული იქნება ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიის გამომწვევი ყველა ფაქტორი (კლიმატური, რელიეფი, ნიადაგის ტიპი, მცენარეული საფარი, ანთროპოგენური ტრანსფორმაცია) ცალ-ცალკე და ამ ფაქტორების შესაბამისი ანალიზის შედეგად ხელთ გვექნება შედარებით ზუსტი რიცხვითი მონაცემი, თუ რა რაოდენობის ნიადაგი იკარგება ყოველწლიურად შიდა ქართლის ტერიტორიაზე. აღნიშნულ კვლევას უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს და მისი შედეგების გათვალისწინებით შესაძლებელი იქნება პრევენციული ღონისძიებების დაგეგმვა. საბოლოოდ, აღნიშნული პროექტის სიახლე და აქტუალობა მდგომარეობს იმაში

რომ იგი გულისხმობს კვლევის თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით ეროზიული პროცესების კომპლექსურ შესწავლას.

ასევე მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს დისტანციური ზონდირების მეთოდის გამოყენებით მცენარეული საფარის გავლენის ინდექსის გამოყენება, რაც ასევე ძალზე საინტერესო სიახლეა თანამედროვე გეოგრაფიულ კვლევებში საქართველოში.

კვლევის მეთოდები

შიდა ქართლის რელიეფი საკმაოდ მრავალფეროვანია. დიდი ფართობი უჭირავს ფერდობებს, რომლებიც მუშავდება. დღეს საკმაოდ ზერელე დამოკიდებულებაა მათ ათვისებასთან დაკავშირებით. ფერდობები აგროსამრეწველო პირობებით საკმაოდ განსხვავდება ვაკე ტერიტორიებისაგან, მაგრამ სწორად ათვისების შემთხვევაში დიდი მოსავლის მიღება შეიძლება. ამისათვის საჭიროა რელიეფის ციფრული მოდელის (DEM) შექმნა.

საბოლოო შედეგების სრულყოფის მიზნით, რეგიონის ტერიტორია დაიყო ცალკეულ წყალშემკრებ აუზებად ძირითადი მდინარეების მიხედვით, ეს და სხვა დანარჩენი სამუშაოები შესრულდა პროგრამებში ArcGIS და ArcHydro. პირველ რიგში, მოხდა რეგიონის რელიეფის დეტალური შესწავლა, შეფასდა რელიეფის გავლენა ეროზიული პროცესების ჩამოყალიბებასა და განვითარებაში. მოხდა რეგიონის რელიეფის მორფომეტრიული ანალიზი და შემდეგ შეფასდა, თუ რა გავლენა აქვს მორფომეტრიულ მაჩვენებლებს ეროზიულ პროცესებზე.

შემდეგი ნაბიჯი ნიადაგების ეროზიულობის დადგენაა, ამისათვის რეგიონში არსებული ნიადაგების სტრუქტურისა და ორგანული ნივთიერებების შემცველობის ცოდნაა აუცილებელი. სავსე სამუშაოების შედეგების ანალიზის შემდეგ განისაზღვრა ნიადაგის ეროზიულობის ფაქტორი. რეგიონში არსებული მეტეოსადგურების ნალექების საშუალო წლიური მონაცემების დამუშავების შემდეგ განისაზღვრა ნალექების ეროზიულობის ფაქტორი.

შემდეგი საკითხია მიწათსარგებლობის ტიპების გავლენა ეროზიაზე, ამისათვის აუცილებელია მიწათსარგებლობის დეტალური რუკები, რომელთა მოძიებაც სამწუხაროდ ვერ მოხერხდა. ამიტომ კვლევისას გამოყენებულია ალტერნატიული გზა: დისტანციური ზონდირების მეთოდით განისაზღვროს მცენარეული საფარის გავლენის ინდექსი. ზემოთხსენებული ინფორმაციის თავმოყრისა და ანალიზის შემდეგ განისაზღვრა რეგიონში ეროზიის პოტენციალი, ამის შემდეგ შედგა ნიადაგების ეროზიის რუკა. საბოლოოდ კი, კვლევის შედეგად ხელთ გვაქვს ნაშრომი, სადაც ასახულია: 1) ნიადაგის წყლისმიერი ეროზიის გამომწვევი ფაქტორების დეტალური ანალიზი; 2) მიღებული შედეგების მოდელირების პროცესი; 3) ნიადაგის წლიური დანაკარგი ფართობის ერთეულზე.

კვლევის შედეგების ეფექტურობისათვის კვლევა დაიყო რამდენიმე ეტაპად: მოხდა საკმაოდ მრავალრიცხოვანი და მრავალფეროვანი ინფორმაციის დამუშავება. მუშაობის პროცესში შედგა რეგიონის გეოსაინფორმაციო სისტემა, სადაც განთავსდა ინფორმაცია ბუნების ყველა კომპონენტის შესახებ, არსებულ ინფორმაციას დაემატა კვლევის შედეგად მიღებული უახლესი მასალები. მომზადდა რეგიონის რელიეფის ციფრული მოდელი

(DEM) 1:50,000 მასშტაბის ტოპოგრაფიული რუკებიდან იზოჰიფსების ამოხაზვის მეთოდით.

დღეს ეროზიის შეფასების მსოფლიოში ყველაზე გავრცელებული მეთოდია USLE და მისი მოდიფიკაციები-RUSLE, WEPP. ამ შემთხვევაში ჩვენ გამოვიყენეთ RUSLE, რათა მოხდეს რეგიონში ეროზიის პოტენციალის განსაზღვრა. ამისათვის აუცილებელია ინფორმაცია რელიეფის, კლიმატური ფაქტორების, ნიადაგების, მცენარეული საფარისა და მიწათსარგებლობის შესახებ. ინფორმაცია თითოეული ფაქტორის შესახებ დამუშავდა რასტრულ ფენებად პროგრამა ArcGIS-ში და ArcHydro-ში. კვლევის პროცესში გამოვიყენეთ რელიეფის ციფრული მოდელი (DEM), იგი გვაწვდის დეტალურ ინფორმაციას რელიეფის ფორმების შესახებ, განსაკუთრებით ხელსაყრელია მისი გამოყენება ისეთი ტერიტორიების შესწავლისას, სადაც საველე სამუშაოების შესრულება რთული ან შეუძლებელია. სწორედ DEM-ზე დაყრდნობით მოხდა რელიეფის ფორმების მორფომეტრიული ანალიზი. შემდეგ უკვე მასზე განთავსდება საველე სამუშაოების შედეგად მიღებული ინფორმაცია. რელიეფის გარდა აუცილებელია დეტალური ინფორმაცია ნიადაგებზე. წარსულში რეგიონის ფარგლებში ხდებოდა ნიადაგების შესწავლა, მათი სტრუქტურის და ორგანული შედგენილობის განსაზღვრა. კვლევისას მოვიძიეთ არსებული მასალა, ველზე მოხდა ახალი სინჯების აღება და მათი ძველთან შედარება. მიწათსარგებლობის სხვადასხვა ფორმებისა და მათ შორის ტყის საფარზე ინფორმაციის მიღება მოხდა კომპიუტერული პროგრამების დახმარებით. GIS და აეროფოტოსურათების დეშიფრირება აქტიურად გამოვიყენეთ ამ პროცესში.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, რეგიონის გარკვეულ ტერიტორიაზე საველე დაკვირვებები შეუძლებელია, ამისათვის გამოვიყენეთ აეროფოტოსურათები და მათი დეშიფრირების შედეგად მოხდა იმ ცვლილებების შეფასება, რაც მოხდა კონფლიქტების შემდეგ მიწათსარგებლობაში. ამ ფაქტორების ერთმანეთთან დაკავშირების შემდეგ მივიღეთ ციფრული რუკა (1: 50 000), საიდანაც მივიღეთ ინფორმაცია ნიადაგის ყოველწლიური დანაკარგის შესახებ. მიღებული რიცხვითი მონაცემების ანალიზი საშუალებას მოგვცემს განვსაზღვროთ, რამდენად აქტიურად მიმდინარეობს ეროზიული პროცესები, რა ტერიტორიებია უფრო მეტი საფრთხის ქვეშ. შემდეგში აღნიშნული მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელი იქნება კვლევები წარიმართოს საქართველოს სხვა რეგიონებშიც.

კვლევის პროცესში მოპოვებული ინფორმაცია მნიშვნელოვანი იქნება არამარტო შიდა ქართლისთვის, არამედ სხვა რეგიონებისთვისაც, რათა სხვა რეგიონებშიც მოხდეს ეროზიული პროცესების კვლევა და რაც ყველაზე მთავარია კვლევის შედეგების პრაქტიკაში გამოყენება და პრევენციის შესაბამისი ღონისძიებების გაწერა.

მონაცემთა ბაზა არის საჯარო და ხელმისაწვდომი ყველა დაინტერესებული პირისათვის. კვლევის შედეგების მიხედვით მომზადდება დოქტორანტის სემინარი და კოლოკვიუმი. მიღებული შედეგები გამოქვეყნებულია სამცხიერო პუბლიკაციაში, მათ შორის საერთაშორისო ჟურნალში.

ნაშრომის სტრუქტურა

ნაშრომი მოიცავს შესავალს, 3 თავს, დასკვნასა და ლიტერატურის სიას.

პირველ თავში განხილულია კვლევისას გამოყენებული მეთოდები და საკვლევი არეალის შესწავლის ისტორია. ამ თავში დეტალურად არის აღწერილი ნაშრომში გამოყენებული ცნებები და მიდგომები, მიმოხილულია კვლევის სფეროში არსებული როგორც ქართული, ისე უცხოური გამოცდილება. დიდი ადგილი უჭირავს კვლევის თანამედროვე მეთოდების განხილვას.

მეორე თავში მოცემულია საკვლევი რეგიონის კომპლექსურ-გეოგრაფიული მიმოხილვა, სადაც აღწერილია შიდა ქართლის მდებარეობა და საზღვრები, განხილულია რელიეფის ძირითადი ტიპები და მოცემულია რელიეფის მორფომეტრიული ანალიზი. შემდეგ განხილულია რეგიონის გეოლოგიური აგებულება, აღწერილია შიდა ქართლის კლიმატის ძირითადი ასპექტები, მოცემულია ძირითადი მდინარეები მოკლე დახასიათება, ამავე თავშია აღწერილი შიდა ქართლში წარმოდგენილი ნიადაგების ძირითადი ტიპები, დახასიათებულია მცენარეული საფარი და რეგიონში გავრცელებული მიწათსარგებლობის ძირითადი ტიპები.

მესამე თავი მიემდვნა რეგიონში ნიადაგის წლიური დანაკარგის შეფასებას, რისთვისაც წარმოდგენილია ეროზიის გამომწვევი ძირითადი ფაქტორების ზოგადი ანალიზი, შემდეგ აღწერილია ამ ფაქტორების გის მოდელირების პროცესი და გაანალიზებულია მოდელირების შედეგები თითოეული ფაქტორისთვის, რის საფუძველზეც მოცემულია საკვლევი რეგიონის ნიადაგურ-ეროზიული დარაიონება.

ნაშრომი მოცემულია 104 ნახეზდ გვერდზე. მასში ჩართულია 15 ცხრილი, 12 ფოტო და 42 ნახაზი.

თავი I. მეთოდთა და შესწავლის ისტორია

I.1 ძირითადი ცნებები და მიდგომები

ეროზია ლათინური სიტყვაა და ნიშნავს „ამოჭმას“. გეოგრაფიულ მეცნიერებებში ეროზიის სხვადასხვა გაგება არსებობს. ერთნი, ეროზიას უწოდებენ ზედაპირის დანაწევრებას დენუდაციის შედეგად, ნიადაგმცოდნეები კი ეროზიის ქვეშ გულისხმობენ ნიადაგის ზედა ნაყოფიერი ფენის ან ზოგჯერ მთელი პროფილის ჩამორეცხვა-წაღებას სხვადასხვა ბუნებრივი ძალების მოქმედებით (ურუშაძე & ანჯაფარიძე, 1987). ისტორიულად ამ მოვლენამ ძალიან დიდი როლი შეასრულა ხალხთა მიგრაციაში და შესაძლოა ძველი ცივილიზაციების დაცემის ერთ-ერთი მაპროვოცირებელი ფაქტორიც იყო (ტარასაშვილი, 1953).

ეროზიის მრავალი სახე არსებობს: გამომწვევი ფაქტორების მიხედვით განარჩევენ წყლისმიერ, ქარისმიერ (დეფლაცია) და გრავიტაციულ ეროზიას; სიჩქარის მიხედვით - ნორმალურ და აჩქარებულ ეროზიას. პირველ შემთხვევაში, ეროზია მიმდინარეობს ნელა, ადამიანისათვის შეუმჩნევლად. ეროზიის სიჩქარე მცენარეულობით დაფარულ ხელუხლებელ ნიადაგზე შედარებით დაბალია თვითონ ნიადაგის ფორმირების პროცესზე, რაც დაახლოებით 1სმ-ია ყოველ 100-400 წელიწადში (Dubbin, 2001). ძირითადად ადამიანის სამეურნეო საქმიანობით ეროზიის პროცესი იწყებს აჩქარებას. ნიადაგის დაჩქარებული ეროზია თანამედროვეობის გლობალური პრობლემაა თანამდევი ეკონომიკური და ეკოლოგიური შედეგებით (Lal, 1999). დაჩქარებული ეროზია თავის მხრივ იყოფა: ზედაპირულ (სიბრტყით), ჰავლურ და ხაზობრივ ეროზიად (დახრამვა). საკითხზე მუშაობისას შევისწავლეთ ქართული, რუსული და ინგლისური წყაროები, აღმოჩნდა რომ სამეცნიერო ლიტერატურაში საკმაოდ მრავალფეროვანი ინფორმაციაა და მეცნიერთა შორის აზრთა სხვადასხვაობაც დიდია.

ცხრილი 1. წყლისმიერი ეროზიის სახეები (Швеңс, 1974)

ტიპი	ქვეტიპი	პროცესისთვის დამახასიათებელი ნიშნები
პირველი ჯგუფი - ზედაპირულ-ფერდობრივი წყლისმიერი ეროზიის სახეები		
1. შხეფური ეროზია		წარმოიქმნება წვიმის წვეთების გაშხეფების დროს, წვეთები ეცემა დახრილი, დატენიანებული ნიადაგის ზედაპირზე. ნაწილაკები გადაადგილდება ერთი მიმართულებით მხოლოდ არაპერიზონტული ზედაპირის პირობებში.
2. ზედაპირული ჩარეცხვა	<i>2.1 ზედაპირული მცირეჰავლური ჩამორეცხვა</i>	მიმდინარეობს მიკროსტრუქტურების სიღრმეებში ზედაპირული ნაკადის შექმნისას. ჰავლის მიმართულება ხშირად არ ემთხვევა მაქსიმალური დახრილობის მიმართულებას.
	<i>2.2 თავსხმა</i>	ადგილი აქვს თითქმის იმავე პირობებში,

	<i>ზედაპირული ჩამორეცხვა</i>	როგორც ზედაპირული მცირე ჭავლური ჩამორეცხვას, ოღონდ ამ შემთხვევაში ემატება ტურბულენტობა, რაც გამოწვეულია ჩამოვარდნილი წვეთების ზემოქმედებით.
3. ჭავლური ეროზია	<i>3.1 ჭავლური ჩამორეცხვა</i>	თავს იჩენს ზედაპირული ნაკადების ჭავლებში, რომელთა მიმართულება უმთავრესად ემთხვევა მაქსიმალურ დახრილობას. ამ შემთხვევაში რეჟიმი ტურბულენტურია.
	<i>3.2 თავსხმა ჭავლური ნაკადი</i>	წარმოიშვება იმავე პირობებში, როგორშიც ჭავლური ჩამორეცხვა, დამატებითი ტურბულენტობის პირობებში, რომლებიც შექმნილია თავსხმა ნაკადებით, მათი ზემოქმედება ნაკადის სიღრმის ზრდასთან ერთად თანდათან ქრება
მეორე ჯგუფი - ხევურ - კალაპოტური წყლისმიერი ეროზიის სახეები		
4. ხევური ეროზია	<i>4.1 თავსხმა ხევური ეროზია</i>	მიმდინარეობს ხაზობრივ ჩაღრმავებებში, გრძივ პროფილებში ტურბულენტობის აქტიურად განვითარებისას.
	<i>4.2 ერთსაფეხურიანი ხევური ეროზია</i>	ადგილი აქვს დახრილობის ვარდნის სიღრმეებში
	<i>4.3 მრავალსაფეხურიანი ხევური ეროზია</i>	ერთსაფეხურიანი ხევური ეროზიისაგან განსხვავებით, ხევის პროფილი ნაკადის ზემოქმედებით ვითარდება დისკრეტულად, საფეხურების შექმნის ადგილებში (ჩანჩქერები)
5. კალაპოტური ეროზია	<i>5.1 წყლის ნაკადის ეროზია</i>	მიმდინარეობს დინებებში, რომელთაც აქვთ გამოკვეთილი კალაპოტი, განისაზღვრება კალაპოტური ნაკადის დინამიკით და კალაპოტში ეროზიული პროცესებით
	<i>5.2 არაბმული ღვარცოფული დინება</i>	იქმნება ნაკადში გამოფიტვის პროდუქტების ჭარბი შეტანით, ტრანსპორტირების საშუალებაა არა სუფთა წყალი, არამედ მძიმე სუსპენზია, ამავდროულად იცვლება ნაკადის თვისება და სტრუქტურა
	<i>5.3 ბმული ღვარცოფული დინება</i>	წარმოადგენს ბლანტპლასტიკურ გარემოს, რომელიც შედგება გამოფიტვის პროდუქტებისგან, რომელიც წყლითაა შეკავშირებული
მესამე ჯგუფი-მიწისქვეშა ეროზიის სახეები		

6. მიწისქვეშა ეროზია	6.1 მიწისქვეშა გამორეცხვა	თავს იჩენს დეფორმაციის გზით, რომელიც იქმნება ნიადაგის ბზარებში, ხვრელებსა და სიცარიელებში ნაწილაკის მიმართულებით გადაადგილების დროს, შესამჩნევად ვითარდება კარსტწარმოქმნის პირობებში
	6.2 სუფოზია	შეიმჩნევა გრუნტის წყლის გამოსვლის ადგილებში, ქმნის ძაბრისებრ წარმონაქმნებსა და საფეხურებს

წინამდებარე ცხრილი ძალიან კარგად აღწერს ეროზიული პროცესების განვითარებას წვიმის წვეთიდან მდინარეთა და მიწისქვეშა წყლების მოქმედებამდე.

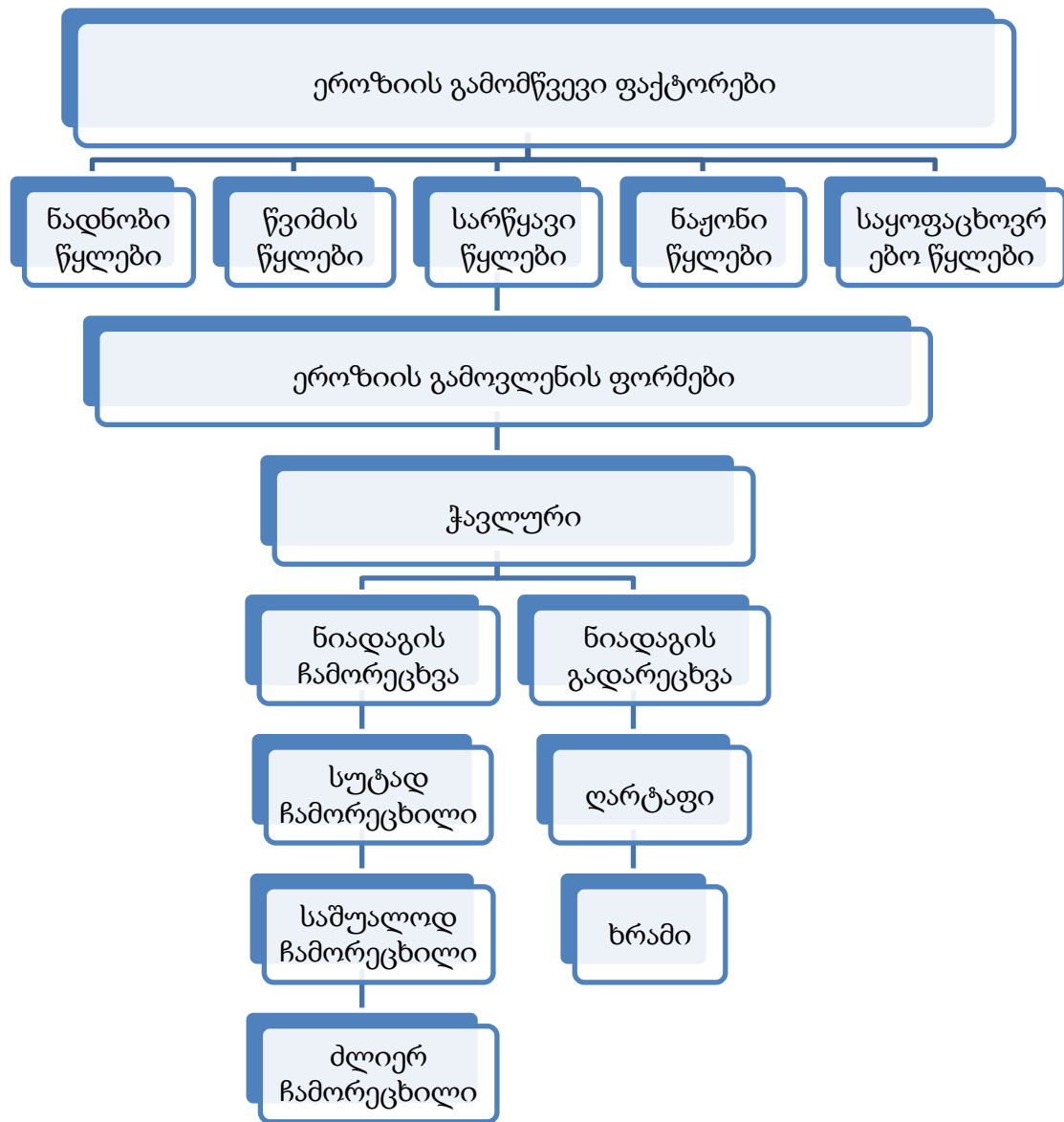
მე-20 საუკუნის 30-იანი წლებიდან მეცნიერები გვთავაზობენ ეროზიის სახეების უამრავ კლასიფიკაციას, გვხვდება უამრავი ტერმინი; დაჩქარებული, თეორიული, ნორმალური, ანთროპოგენური, აქტიური, სანაპირო, ხაზობრივი, ქიმიური, ბიოლოგიური, მყინვარული, დახრამვა, ფერდობული, ირიგაციული, კარსტული, კრიოგენური, სუფოზია, სოლიფლუქცია, წყალქვეშა, ექსცესიური, რეგრესიული, ზედაპირული, კალაპოტური, აგროტექნოლოგიური, ტექნოლოგიური, ტექნოგენური, პოტენციური, სეზონური და კიდევ უამრავი სხვა (Мицхулава, 2000). მათგან საკმაოდ წარმატებულად ითვლება გ. შვებსის კლასიფილაცია. კერძოდ, იგი გამოყოფს წყლისმიერი ეროზიის რამდენიმე ტიპს და ქვეტიპს (ცხრ. 1).

გარდა ამისა, ცალკე გამოყოფენ ირიგაციულ ეროზიას, როგორც არასწორი მელიორაციული სამუშაოების შედეგს.

პირველ ნახაზზე მოცემულია ეროზიის გამომწვევი ფაქტორების შედარებით განსხვავებული კლასიფიკაცია:

წინამდებარე ნაშრომში ზედაპირულ წყლისმიერ ეროზიასა და მის შედეგებზეა ყურადღება გამახვილებული, რადგან ყველა სახის წყლისმიერი ეროზია პირდაპირ მოქმედებს მიწის სასოფლო-სამურნეო ათვისების ხარისხზე, ამავდროულად ეროზია ახდენს როგორც პირდაპირ, ასევე ირიბ ზეგავლენას მეწყერებზე, ღვარცოფებსა და სხვა ფერდობულ პროცესებზე (Мдинарадзе, Мачавარიანი, & Хундадзе, 1988). უფრო კონკრეტულად, ნაშრომი გულისხმობს შვებსის ცხრილის მიხედვით ეროზიის პირველი სამი ტიპის შედეგად დაკარგული ნიადაგის რაოდენობრივ შეფასებას.

ნახ. 1. ეროზიის გამომწვევი ფაქტორები (Мирцхулава, 2000)



ნიადაგის ეროზიას, მისი მასშტაბების რაოდენობრივ შეფასებას, მონაცემთა ციფრულ ფორმატში დამუშავებას, რაც მათზე წვდომას უფრო მარტივსა და მოსახერხებელს ხდის, ძალზე დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

იმისათვის, რომ კვლევის პროცესი შედარებით სწრაფი და ეფექტური იყოს ვიყენებთ ადგილის ციფრულ მოდელს (DEM). ეს არის რელიეფის ციფრული მოდელი, რომელიც სხვადასხვა ხერხით მიიღება, როგორც თანამგზავრებიდან მიღებული აეროფოტოსურათების დეშიფრირებით, ისე ტოპოგრაფიული რუკიდან იზოჰიფსების ამოხაზვის მეთოდით. კვლევის პროცესში სათანადო შედეგის მიღება დიდწილად DEM-ის ხარისხზეა დამოკიდებული. მკვლევარების უმრავლესობა ერთხმად თანხმდება, რომ იმ

ამოცანების გადაწყვეტისათვის, რასაც წინამდებარე ნაშრომი ემსახურება, 1:50,000 მასშტაბი ოპტიმალურია.

DEM გამოიყენება დედამიწის ციფრული მოდელირებისა და ანალიზისათვის. მიღებული პარამეტრები კი გამოიყენება გეომორფოლოგიური კვლევებისას (ტერიტორიის მორფომეტიული ანალიზისთვის), რუკათშედგენის გაუმჯობესებისათვის, ნიადაგების მოდელირებისათვის, მიწათსარგებლობის დაგეგმვისას და სხვა.

მიწათსარგებლობა არის საზოგადოების მიერ მიწის გამოყენება. მიწათსარგებლობა გულისხმობს სახეცვლილი გარემოს მენეჯმენტს, ის ასევე მოიცავს იმ ღონისძიებებსა და ქმედებებს, რომელთაც ადამიანი ახორციელებს კონკრეტული მიწის საფარისათვის, რათა გარდაქმნას ის საჭიროებისამებრ. საბოლოოდ კი, განხორციელებული კვლევის შედეგები მიმართული უნდა იყოს რეგიონში ეფექტური მიწათსარგებლობის დაგეგმვისკენ.

I.2 არსებული გამოცდილება

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. ამერიკის შეერთებულ შტატებში დუღი და მილერი იყვნენ პირველები, რომლებმაც გამოაქვეყნეს შრომა ნიადაგის ეროზიის მეცნიერული გაანგარიშებების შესახებ 1923 წელს (Lafien & Flanagan, 2013). მ. ზასლავსკის გამოცემული აქვს სახელმძღვანელო „ეროზიისმცოდნეობა“ (Заславский, 1983). 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.

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 მ. საბაშვილის, ვ. გულისაშვილის, ც. მირცხულავას, მ. დარასელიას, გ. ტალახაძის, ი. ანჯაფარიძის, გ. ხარაიშვილის, ო. ზარდალიშვილის, თ. ურუშაძის და სხვათა შრომებში (მაჭავარიანი ვ. , 1987).

საკუთრივ შიდა ქართლის ნიადაგებსა და მიმდინარე პროცესებზე ძალზე საინტერესო ნაშრომი აქვს ჯ. მაჭავარიანს. ნაშრომში დეტალურადაა განხილული შიდა

ქართლის დასავლეთი ნაწილის ნიადაგები გენეზისური, ფიზიკური, ქიმიური და აგროსაწარმოო თვალსაზრისით, მოცემული აქვს რეკომენდაციები მათი ნაყოფიერების ამაღლებისათვის (მაჭავარიანი ჯ. , 1973). ამავე ნაშრომში დაწვრილებითი ცნობებია მოწოდებული შავ ნიადაგებზე, რომლის კვლევაც იმ პერიოდში მიმდინარეობდა.

დოც. ლ. ფარჯანაძეს გამოკვლევები აქვს ჩატარებული მდ. ტანას ხეობაში. ველზე მოწყობილ 4 ბაქანზე იგი იკვლევდა მსგავს ნიადაგურ და რელიეფურ პირობებში მცენარეული საფარის ზეგავლენას ნიადაგის ჩამორეცხვაზე.

მ. ბრეგვაძეს აქვს ნაშრომი ზესტაფონის რაიონში ნიადაგის ეროზიის შესახებ. დაწვრილებით აქვს განხილული ეროზიაზე მოქმედი ბუნებრივი ფაქტორები და ასევე ადამიანის სამეურნეო საქმიანობა, მასვე აქვს გაკეთებული ზესტაფონის რაიონის ნიადაგ-ეროზიული დარაიონების სქემატური რუკა, ასევე გამოყოფილი აქვს ეროზიული მიკრორაიონები (ბრეგვაძე, 1952).

1990-იანი წლების შემდეგ რეგიონში მასშტაბური სამეცნიერო საქმიანობა აღარ ხორციელდებოდა.

რაც შეეხება საერთაშორისო გამოცდილებას, მეცნიერები სულ უფრო აქტიურად მუშაობენ, რათა სათანადოდ განისაზღვროს რა რაოდენობის ნიადაგი იკარგება ყოველწლიურად და რა ფაქტორები ახდენს მასზე ყველაზე დიდ გავლენას. ამისათვის იყენებენ სხვადასხვა მოდელებს. თითოეული მათგანი მჭიდროდაა დაკავშირებული გეოსაინფორმაციო სისტემებთან.

ყველაზე გავრცელებულია USLE (ნიადაგის დანაკარგის შეფასების უნივერსალური განტოლება), მისი მოდიფიკაციები RUSLE (ნიადაგის დანაკარგის შეფასების უნივერსალური გაერთიანებული განტოლება), WEPP (Water Erosion Prediction Project-წყლისმიერი ეროზიის წინასწარ განსაზღვრის პროექტი).

1.3 კვლევის თანამედროვე მეთოდები

ეროზიის მოდელები პრაქტიკულად ძალზე საჭირო ინსტრუმენტია ნიადაგის ეროზიის წინასწარგანსაზღვრასა და მიწათსარგებლობის კონტროლისათვის რაც უფრო უკეთესად წარმოადგენს მოდელი რეალობას მით მეტი პარამეტრია საჭირო. არსებული მოდელები ძირითადად იყოფა სამ ჯგუფად (Schmidt, 2000):

1) ეროზიის მოდელები, რომლებიც ითვლის გრძელვადიან დანაკარგს უმეტესწილად იყენებს USLE-ს სახეცვლილებებს მასალის ტრანსპორტირებისა და დაგროვების გათვალისწინების გარეშე. მაგალითად, RUSLE/MUSLE ორივე USLE-ს განახლებულ ვერსიას წარმოადგენს, ისინი შეიქმნა ნიადაგის დანაკარგის საშუალო წლიური გრძელვადიანი პროგნოზისათვის. ისინი მნიშვნელოვანი მოდელებია, რადგანაც მათი ალგორითმები გამოყენებულია სხვადასხვა ეროზიულ და ჰიდროლოგიურ მოდელებში, რომლებიც შეიქმნა უფრო მცირე მასშტაბების სიმულაციებისა და ცალკეული წვიმებისათვის.

2) ეროზიის მოდელები, რომლებიც დამყარებულია ემპირიულ განტოლებებზე და რომლებიც ასევე ხშირ შემთხვევაში იყენებს USLE-ს ნიადაგის დანაკარგის შეფასებისთვის დამატებით მასალის გადატანისა და დაგროვების პროცესის ტოპოგრაფიული მონაცემების გათვალისწინებით.

3) პროცესზე ორიენტირებული მოდელები.

ნაშრომი ძირითადად დამყარებულია ეროზიის გამომწვევი ფაქტორების გის - ტექნოლოგიების გამოყენებით მოდელირების პრინციპზე. დღეს გეოგრაფიული მეცნიერებების ყველა მიმართულებით აქტიურად გამოიყენება გეოსაინფორმაციო სისტემები (GIS). ეს არის „ინსტრუმენტი“, რომლის გამოყენებით ინფორმაციის ანალიზი ბევრად უფრო სწრაფი და მოსახერხებელია, ამასთან მიღებული შედეგები ხელმისაწვდომია საზოგადოებისათვის. ზოგიერთი მკვლევარი გეომორფოლოგიურ საინფორმაციო სისტემებზეც საუბრობს (GmIS), სადაც გეომორფოლოგიურ კვლევებში DEM-ისა და სხვა ციფრული მონაცემების გამოყენების დადებით ასპექტებზეა საუბარი (Minar, Mentlik, Jedlicka, & Barka, 2005).

კვლევის მაღალ დონეზე წარმართვისათვის შეიქმნა რეგიონის მონაცემთა ციფრული ბაზა, სადაც ციფრულ ფორმატში განთავსდა ინფორმაცია რეგიონის ბუნების ყველა კომპონენტის შესახებ (რელიეფი, გეოლოგიური აგებულება, ნიადაგები, მცენარეული საფარი, მიწათსარგებლობა). აღნიშნული ბაზა კვლევების მიმდინარეობის პარალელურად ახლდებოდა მოპოვებული ინფორმაციით, მათ შორის იმ პროცესების შესახებ რომელიც რეგიონში მიმდინარეობს.

თანამედროვე სამეცნიერო წრეებში ეროზიის შედეგად ნიადაგის წლიური დანაკარგის შეფასებისათვის აქტიურად იყენებენ სხვადასხვა განტოლებას. მათ შორის ყველაზე პოპულარულია ვ. ვიშმაიერისა და დ. სმიტის მიერ შემუშავებული ნიადაგის დანაკარგის შეფასების უნივერსალური განტოლების (USLE) მოდიფიკაცია RUSLE, რომელიც გის სისტემებს უკეთ არის მორგებული, რაც თავის მხრივ, კვლევის პროცესს უფრო სწრაფს და ეფექტურს ხდის.

ნიადაგის ეროზიისა და სოფლის მეურნეობის პროდუქტიულობაზე მისი გავლენის კვლევა XX საუკუნის 30-იანი წლებიდან იღებს სათავეს. 1940-56 წწ. აშშ-ში მეცნიერებმა დაიწყეს ნიადაგის დანაკარგის რაოდენობრივად შესაფასებლად სათანადო განტოლებების შემუშავება. ადრეულ განტოლებებში რამდენიმე ფაქტორი ფიგურირებდა, რომელთაგან რელიეფისა და ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის გავლენა თავდაპირველადვე იყო გათვალისწინებული. აღმოჩნდა, რომ მიღებულ შედეგებს უდიდესი მნიშვნელობა ექნებოდა ფერმერებისთვის მიწათმოქმედების დაგეგმვისას. 1946 წელს ოჰაიოში გამართული შეკრების შემდეგ მას დაემატა წვიმის ეროზიულობის ფაქტორი. ზემოთ ხსენებული სამუშაოების შედეგები საფუძვლად დაედო ვიშმაიერისა და სმიტის მიერ USLE-ს შემუშავებას, როგორც მეოცე საუკუნის უდიდესი მიღწევა ნიადაგის ეროზიის წინასწარ განსაზღვრაში (Wischmeier & Smith, 1978). იგი სწრაფად გავრცელდა და გახდა ძირითადი „ინსტრუმენტი“ მიწათმოქმედების დაგეგმვისას აშშ-სა და მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში.

ცხრილი 2. სხვადასხვა ავტორის მიერ შემოთავაზებული ნიადაგის დანაკარგის რაოდენობრივი შეფასების განტოლებები (Lafien & Flanagan, 2013)

ავტორი და განტოლების გამოქვეყნების წელი	განტოლება
---	-----------

ზიგი, 1940	$A=C'LS$
სმიტი, 1941	$A=C''LSP$
ბროუნინგი, 1947	$A=C'''LSP$
მასგრევი, 1947	$A'=(P/1.25)K'(L/72$
USLE, ვიშმეიერი და სმიტი, 1965	$A=RK(L/72.6)^{0.5}(0.65+0.045S+0.0065 S^2)CP$
USLE, ვიშმეიერი და სმიტი, 1978	$A=RK(L/72.6)^{0.5}(65.4\sin^0+4.56\sin^0+0.065)CP$
RUSLE, რენალდი და სხვ., 1997	$A=RK(L/72.6)^M(a \sin^0+b)CP$

შემდგომმა კვლევებმა, ექსპერიმენტებმა და ახალმა რესურსებმა მკვლევარებს საშუალება მისცა გაეუმჯობესებინათ USLE-ს არსებული განტოლება და შეექმნათ მისი არაერთი მოდიფიკაცია, მათ შორის, RUSLE (ცხრ. 2). მათ შორის განსხვავება მხოლოდ ფაქტორების გამოთვლის ხერხებშია. იგი შეიცავს ახალ და გაუმჯობესებულ იზოეროდენტების რუკებს, დროში ცვალებად მიდგომას ნიადაგის ეროზიულობის ფაქტორისადმი, ფერდობების სიგრძისა და დახრილობის გამოთვლის ახალ განტოლებას და სხვა. აშშ-ში, ევროპის ბევრ ქვეყანასა და აზიის განვითარებად ქვეყნებშიც კი ამ მეთოდს აქტიურად იყენებენ მეცნიერები. თვალსაჩინოებისთვის ძალიან კარგი მაგალითია მიჩიგანის უნივერსიტეტის მიერ შემოთავაზებული ნიადაგის ეროზიის შეფასების ელექტრონული ვერსია, რომელიც ყველა დაინტერესებულ პირს აწვდის ინფორმაციას მიჩიგანის შტატის ტერიტორიაზე ეროზიის შედეგად ნიადაგის რაოდენობრივ დანაკარგზე¹.

ტრადიციულად, მოდელი RUSLE შეიქმნა ნიადაგის ეროზიის რისკის შესაფასებლად მცირე მდინარეთა აუზების დონეზე. თუმცა ნიადაგის ეროზიის სივრცითი განაწილების კარტოგრაფირება RUSLE-ის ტრადიციულ მოდელში ხშირად პრობლემურია. გის ტექნოლოგიების გამოჩენამ ხელი შეუწყო გის-ზე დაფუძნებული მოდელების სწრაფ აღმასვლას. GIS-სა და RUSLE-ის კომბინაციები დაახლოებით 10 წლის წინ იწყება და მათი ჰარმონიული შერწყმის შესახებ არაერთი ნაშრომია შექმნილი ((Dziewonski et al., 1975; Mitsova et al., 1996; Cox and Madramootoo, 1998; Molnár and Julien, 1998; Millward and Mersey, 1999; Wilson and Lorang, 1999; Yitayew, 1999; Gibbs et al., 2003; Lewis et al et al., 2005; Fu et al., 2006; Erdogan et al., 2007; Neshat et al., 2014) (Jahun, Ibrahim, Dlamini, & Musa, 2015).

ცხრილი 3. USLE-ს საფუძველზე შექმნილი სხვადასხვა მოდელები (Lafien & Flanagan, 2013)

SWAT	ნიადაგის და წყლის შეფასების ინსტრუმენტი-Soil and Water Assessment Tool (არნოლდი და სხვ., 1998)
EPIC	ეროზიის გავლენის გამომთვლელი-Erosion Productivity Impact Calculator (შარპლი და უილიამსი, 1990)
RUSLE	ნიადაგის დანაკარგის გაუმჯობესებული უნივერსალური განტოლება-Revised Universal Soil Loss Equation (რენარდი და სხვ., 1997)
AnnAGNPS	სასოფლო-სამეურნეო დამაბინძურებლების მოდელი-A

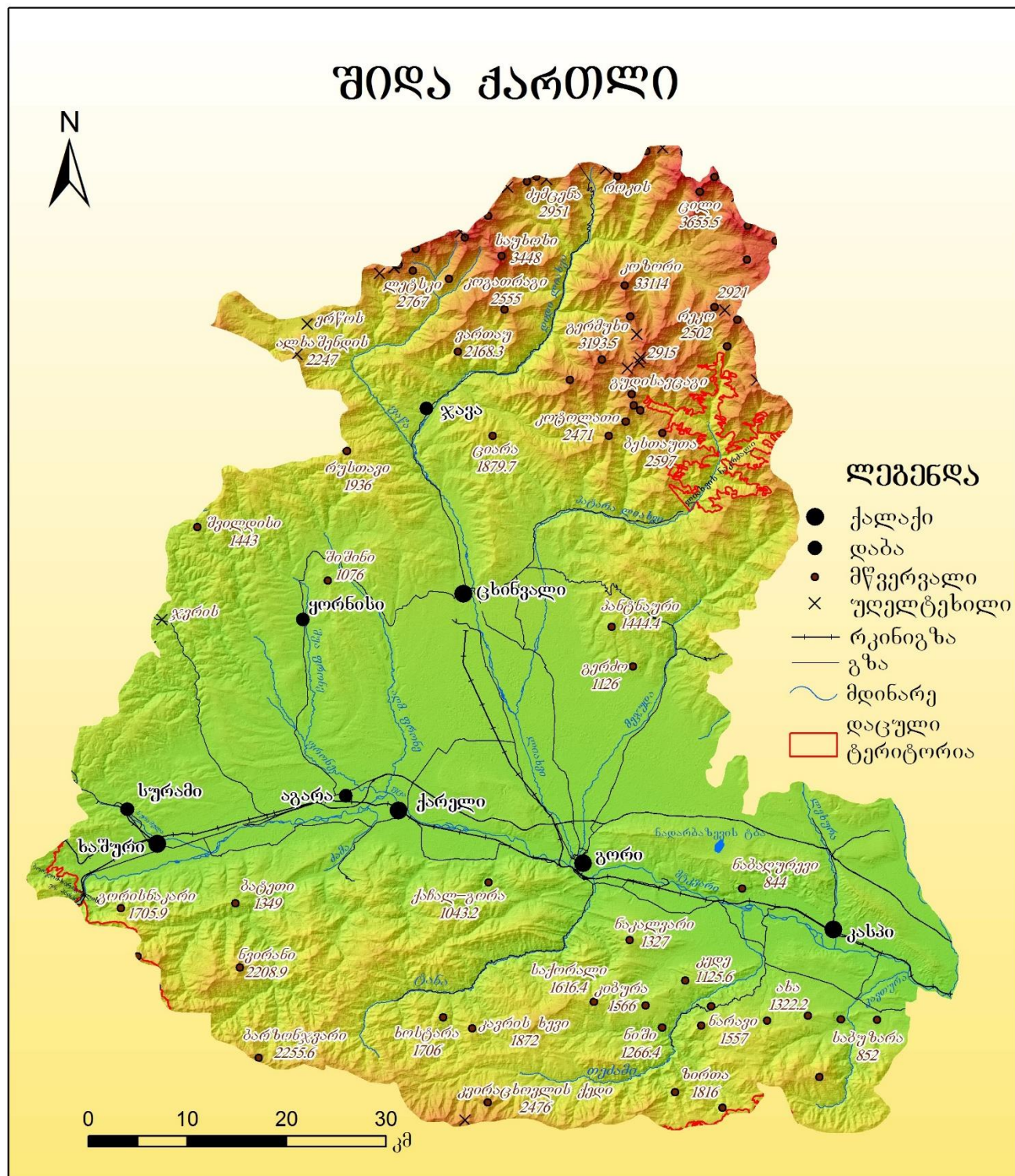
¹ (<http://35.8.121.139/rusle/>)

	Gricultural NonPoint Source pollution model (ბინგნერი და სხვ.,2011)
SLEMSA	ნიადაგის დანაკარგის განმსაზღვრელი მოდელი სამხრეთ აფრიკისთვის-Soil Loss Estimation Model for Southern Africa (ელველი,1978)
MUSLE	ნიადაგის დანაკარგის უნივერსალური განტოლების სახეცვლილება-Modified Universal Soil Loss Equation (უილიამსი,1975)
SOILOSS	RUSLE-შემუშავებული ავსტრალიაში (როუზველი და ედვარდსი,1988)

1985 წელს ლაფიეტში, ინდიანა, აშშ ჩატარდა ორი სამეცნიერო შეხვედრა, რომელიც მიემდგვნა ახალ პროექტს WEPP (Water Erosion Predicrion Project, წყლისმიერი ეროზიის განსაზღვრის პროექტი). ვორქშოპზე წარმოდგენილი იყო მისი შემდგომი განვითარებისა და დახვეწის გზები, რაც დამატებით (RUSLE-ისგან განსხვავებული) ფაქტორებსაც ითვალისწინებდა. დღეს ეს პროექტი ძალიან პოპულარულია სამეცნიერო წრეებში.

იმისათვის, რომ გაიზარდოს კვლევის შედეგების სანდოობა, მონაცემები მაქსიმალურად სწორად უნდა იყოს შერჩეული. თანამედროვე მეცნიერებაში წარმოუდგენელია მსგავსი კვლევები დისტანციური ზონდირების გამოყენების გარეშე. მის როლზე წინამდებარე კვლევაში შესაბამის ქვეთავში უფრო დაწვრილებით გვექნება საუბარი.

თავი II. შიდა ქართლის კომპლექსურ-გეოგრაფიული მიმოხილვა



ნახ. 2. შიდა ქართლი

2.1 რეგიონის მდებარეობა და საზღვრები

შიდა ქართლი თავისი ბუნებრივი პირობებითა და რესურსებით საქართველოს ერთ-ერთი საინტერესო რეგიონია. შიდა ქართლის ტერიტორია გადაჭიმულია ლიხის ქედიდან მდინარე ქსნამდე და კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედიდან თრიალეთის ქედის თხემამდე. მოიცავს მდინარე მტკვრის შუა წელის აუზს.

ახლანდელი შიდა ქართლი მოიცავს: კასპის, გორის (ყოფილ ცხინვალის რაიონთან ერთად), ქარელის, ხაშურის, ჯავის მუნიციპალიტეტებს. ამ საზღვრებს შორის მოქცეული ტერიტორიის ფართობია 6255,4 კმ². რეგიონში მთავარი წყალგამყოფი ქედის მწვერვალები ზღვის დონიდან 3000 მეტრს აღემატება: ხალაწა (3938 მ), ზეკარა (3828 მ), ძედო (3452 მ), ზილგახოხი (3857 მ), ბრუტსაბძელი (3670 მ) და სხვ. მაღალია უღელტეხილების ჰიფსომეტრიული ნიშნულებიც: ზეკარა (3184 მ), როკი (2995 მ), და სხვ.

შიდა ქართლის ტერიტორიის უკიდურესი სამხრეთი ნაწილი შემოსაზღვრულია თრიალეთის ქედით, რომლის ჩრდილოეთ ფერდობის უმეტესი ნაწილი შიდა ქართლს ეკუთვნის. შიდა ქართლის ფარგლებში თრიალეთის ქედის უმაღლესი მწვერვალია-არჯევანი-2757 მ, ხოლო დანარჩენი მწვერვალები სიმაღლით მას საგრძნობლად ჩამორჩება. თრიალეთის ქედის გვერდით განშტოებებს ქმნის: გვირგვინას ქედი (მწვერვალები-მურყნევი 2342 მ, აბუხალო-2250 მ, გვირგვინა-2252 მ და სხვ.)

შიდა ქართლს დასავლეთით ესაზღვრება ლიხის ქედი, რომელიც გამოყოფს დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს; ქედის სიგრძე 102 კმ-ია, მისი მწვერვალებია რიბისა (2470 მ), ალხაშენდა (2319 მ), ბილურთა (2166 მ), და სხვ. უღელტეხილებიდან მნიშვნელოვანია-რიკოთი (999 მ), ჯვარი (936 მ), და სხვ. ლიხის ქედი საგრძნობ გავლენას ახდენს მხარის ბუნების ჩამოყალიბებაზე, განსაკუთრებით კი - კლიმატზე.

2.2 რელიეფის ძირითადი ტიპები და მორფომეტრიული ანალიზი

შიდა ქართლი მოიცავს შემდეგ ოროგრაფიულ ერთეულებს: ცენტრალური კავკასიონის, შიდა ქართლის ვაკის და თრიალეთის ქედის ნაწილებს.

ცენტრალური კავკასიონი აქ წარმოდგენილია მდ. ლიახვის და მისი შენაკადების ხეობებით, გერმუხისა და ხარულის ქედებით და ლეხურა-ქსნის ხეობებით.

შიდა ქართლის ვაკე დასავლეთიდან ლიხის ქედით ისაზღვრება, ჩრდილოეთით და ჩრდილო-აღმოსავლეთით კავკასიონის სამხრეთი კალთებით. სამხრეთიდან კი საზღვარი თრიალეთის ქედის მთისწინა კალთებს მიუყვება. შიდა ქართლის ვაკის განსხვავებული მორფოლოგიური და მორფომეტრიული ნიშნები საშუალებას იძლევა გამოვყოთ შემდეგი ქვერაიონები: 1) ტირიფონ-მუხრანის ვაკე, 2) კავკასიონის მთისწინა გორაკ-ბორცვიანი რელიეფი, 3) კვერნაქების ქედი (სერი), 4) მტკვრის ხეობა (გობეჯიშვილი, 2011).

ტირიფონ-მუხრანის ვაკე, თავის მხრივ, ორ ნაწილად იყოფა: დასავლეთი-ტირიფონის ვაკე და აღმოსავლეთი - მუხრან-საგურამოს ვაკე. ჩვენი კვლევის სფეროში ძირითადად ტირიფონის ვაკე შემოდის.

1) შიდა ქართლის ვაკე, ძირითადად, ჩრდილოეთიდან-სამხრეთისაკენ მტკვრის ხეობისაკენ არის დახრილი და განაპირა მხარეებზე შემადგენელია როგორც ჩრდილოეთით, ისე დასავლეთითა და სამხრეთით. ამავე მიმართულებით მას საფეხურებრივი ხასიათი აქვს, რაც მდ. მტკვრისა და მის შენაკადების ტერასებთანაა დაკავშირებული, როგორც შემადგენელი ნაწილები, ისე მთელი ვაკე დასერილია საკმაოდ მრავალრიცხოვანი მდინარეთა ქსელით: ჭერათხევი, აღმოსავლეთი და დასავლეთი ფრონე, დიდი და პატარა ლიახვი, მეჯუდა, ქსანი და სხვ. აგრეთვე სარწყავი არხების ხშირი ქსელით. ვაკის ის ნაწილი რომელიც მდ. დიდი ლიახვის დასავლეთით მდებარეობს დოღლაურას ვაკის სახელწოდებითაა ცნობილი, ხოლო აღმოსავლეთი ნაწილი ტირიფონას ვაკის სახელს ატარებს. შიდა ქართლის ვაკის აბსოლუტური სიმაღლე 550 მეტრიდან 800-850 მეტრამდე ცვალებადობს.

ვაკის თანამედროვე რელიეფი ჩამოყალიბებულია საკმაოდ ხანგრძლივი გეოლოგიური ისტორიის მანძილზე მოქმედი ენდოგენური და ეგზოგენური პროცესების ურთიერთქმედების შედეგად. ეს უკანასკნელი დღესაც გრძელდება და თავის დაღს ასვამს რეგიონის რელიეფს.

ვაკის ცენტრალური ნაწილი პირველ ტერასას წარმოადგენს, რომელიც მდ. დიდი ლიახვის ორივე მხარეზე ვრცელდება. ხსენებული ტერასის ზედაპირი ტიპურ აკუმულაციურ ვაკეს წარმოადგენს.

პირველი ტერასის პერიფერიებზე ფრაგმენტის სახით, მეორე ტერასაა გამოხატული მდ. ლიახვის მარჯვენა მხარეზე. მდინარე დვანისწყლის მარცხენა ნაპირის გაყოლებით ბრეთის და დვანს შორის მესამე ტერასაა წარმოდგენილი, აქედან ის ლიახვის მარჯვენა მხარისაკენ მიემართება.

2) რაიონის ჩრდილო მხარეზე მდებარე მთისწინები ვიწრო ზოლს ქმნის მდ. აღმოსავლეთ ფრონედან და ვიდრე მუხრანის ქვაბულსა და ტირიფონის ვაკეს შორის მოთავსებულ ბექობამდე. ამ ზოლის უმეტეს ნაწილს ახასიათებს ბორცვიანი რელიეფი, ფრაგმენტულად წარმოდგენილი ვაკეებით, რომელიც პროფ. ლ. მარუაშვილის აზრით, დენუდაციურ ზედაპირებს წარმოადგენს, ან კიდევ მეოთხეულ დეპრესიებში დაგროვილი ნგრეული წყებების აკუმულაციურ ზედაპირებს.

დასავლეთი მთისწინები დახრილია მტკვრის ხეობისაკენ, აღმოსავლეთით შიდა ქართლის ვაკისაკენ. ამგებელი ქანების ხასიათმა, მათმა დენუდაციურმა არამდგრადობამ განსაზღვრა რელიეფის ნაზი ფორმების განვითარება, რაც სამეურნეო გამოყენების თვალსაზრისით დადებითი მოვლენაა. მთისწინების ზონა განსაკუთრებით კი დასავლეთი მთისწინების რელიეფი, სასოფლო სამეურნეო ათვისების თვალსაზრისით ხელსაყრელია. შედარებით დახრილი ფერდობები აქვს ჩრდილო მთისწინების ზონას, რის გამოც აქ ეროზიული პროცესები უფრო ინტენსიურად წარიმართება.

3) შიდა ქართლში, მდ. მტკვრის მარცხენა ნაპირზე მდებარე კვერნაქის სერი ცალკე ფიზიკურ-გეოგრაფიული რეგიონია; მას ჩრდილოეთით ესაზღვრება ტირიფონისა და მუხრანის ვაკეები, სამხრეთით მტკვრის ხეობა; დასავლეთი საზღვარი გაივლის მდინარე ფრონეზე, ხოლო აღმოსავლეთით მდ. არაგვის ხეობაზე. საზღვრის საერთო სიგრძე 165 კმ-ია, ფართობი-126,5 კვ. კმ. იგი ვრცელდება დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ 72-73 კმ-ზე, ხოლო ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ 9 კმ-ზე.

კვერნაქის ქედს განივად კვეთს მტკვრის მარცხენა შენაკადები - დიდი ლიახვი, ლეხურა და ქსანი და დაყოფილია 4 ნაწილად. მდ. ფრონესა და მდინარე ლეხურას შორის მდებარე მონაკვეთი ცნობილია კვერნაქების სახელწოდებით, რომელიც თავის მხრივ ორ ნაწილად იყოფა: დასავლეთ კვერნაქად ანუ რუისის ქედად და აღმოსავლეთ კვერნაქად.

დასავლეთი ანუ რუისის სერი ვრცელდება ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ მდ. ფრონედან მდინარე დიდი ლიახვამდე 16 კმ მანძილზე. მისი სიგანე უდრის 5 კმ, აბსოლუტური სიმაღლე-878 მ; გორის ვაკის ეს სერი 120 მ სიმაღლეზეა აღმართული, ხოლო მდინარე მტკვრის დონიდან 170-200 მ-ზე. ამ სერის ჩრდილოეთი ნაწილი დამრეცად, მაგრამ საფეხურების სახით ეშვება, ხოლო სამხრეთით და სამხრეთ-აღმოსავლეთით ხრამებით დანაწევრებულ შედარებით ციცაბო კალთისაკენ, რომელიც სოფ. ურბნისსა და ტინისხიდს შორის მტკვართან მიახლოებისას ინარჩუნებს საკმაო ციცაბო დახრილობას, ჩრდილო-დასავლეთით კი იგი თანდათან დაბლდება და ერწყმის გორის ვაკეს.

აღმოსავლეთი ნაწილი ანუ საკუთრივ კვერნაქი გადაჭიმულია მდ. დიდ ლიახვსა და ლეხურას შორის, მდ. მტკვრის მარცხენა ნაპირის გაყოლებით 27 კმ მანძილზე, გორიდან კასპამდე და მდ. მტკვრის ხეობას გამოყოფს გორის ვაკის აღმოსავლეთი ნაწილისაგან, რომელიც ტირიფონის ვაკეს სახელწოდებითაა ცნობილი; კვერნაქის ქედის ამ მონაკვეთის სიგანე უდრის 7-8 კმ. აბსოლუტური სიმაღლით აღემატება რუისის სერს. მისი უმაღლესი მწვერვალი ზეგარდა 1114 მ აღწევს.

აღმოსავლეთი კვერნაქის ჩრდილოეთი ფერდობები ტირიფონის ვაკისკენ დამრეცია და სუსტად დანაწევრებული სამხრეთ ფერდობებთან შედარებით. აქ მცირე სიღრმის ხრამები და ხევები მოკლებულია მუდმივ ჩამონადენს, მათი შესართავები ერწყმის ტირიფონის ვაკეს; გასწვრივ პროფილში ისინი საფეხურისებური ფორმისაა, კალთის ზედა ნაწილი მომრგვალებულია. ტირიფონას ვაკის პერიფერიულ ნაწილში ხრამების შესართავებში ფართოდ არის გავრცელებული მძლავრი დელუვიონი, რომელიც ფერდობზეც გრძელდება. დელუვიონი ძირითადად წარმოდგენილია რიყნარისაგან, კონგლომერატებისაგან, ქვიშისა, ღორღისა და ლიოსისებური თიხებისაგან. ეროზიული პროცესები აქ არ არის გამოხატული. რელიეფის ჩამოყალიბებაში ძირითადი როლი ეკუთვნის ზედაპირულ ეროზიას. ფერდობის ამ ნაწილში რელიეფის ფორმებში არსებით როლს ასრულებს დენუდაციური პროცესი

ჩრდილოეთი ფერდობისათვის დამახასიათებელია მეწყრები, რომლებიც გვხვდება სოფ. ნადარბაზევის მახლობლად, სადაც ადრე მდებარეობდა სოფ. ნაწრეტი, რომლის მოსახლეობა მეწყრის ჩამოწოლის გამო იძულებული გახდა შეეცვალა საცხოვრებელი ადგილი. მეწყრის ზედაპირი ამჟამად დაფარულია თაბაშირის შემცველი თიხების გამოფიტვის შედეგად განვითარებული წვრილმარცვლოვანი მასალით.

აღმოსავლეთ კვერნაქის სამხრეთი ფერდობი, რომელიც მდინარე მტკვრის ხეობისაკენ ციცაბოდ წყდება, საკმაოდ დაღარულია მშრალი ხევ-ხეობებით.

ქ. გორსა და სოფ. უფლისციხეს შორის სამხრეთი ფერდობები რამდენადმე შორდება მდ. მტკვარს. ამ ფერდობებიდან იწყება მტკვრისაკენ მიმართული მრავალი მშრალი ხევი და ხრამი, რომელთა ზემო ნაწილში დახრილობა დიდია, ქვემოთ კი - მცირე.

მრავალრიცხოვან ხეებს შორის თავისი სიდიდით გამოირჩევა ქ. კასპის დასავლეთით მდებარე თეთრახევი (სიგრძე 1 კმ), კოწახურიხევი, მეტეხის ჩრდილოეთით - ზეგარდისხევი, გრაკალის ჩრდ-დას მლაშეხევი, გორსა და უფლისციხეს შორის ლალაანთხევი და სხვა.

უფლისციხის აღმოსავლეთით, მდ. მტკვრის ძირიდან აღმართულია 50 მ. და მეტი სიმაღლის კარნიზები, რომლებიც ალაგ-ალაგ ღრმად იჭრებიან სამხრეთ ფერდობებში; კალთის ძირში განვითარებულია საკმაოდ ვრცელი ციცაბო დაქანების გამოზიდვის კონუსები; მათ შემადგენლობაში მონაწილეობს მსხვილი მასალა, რომელიც სისტემატურად ირეცხება მტკვრის მიერ.

აღმოსავლეთ კვერნაქის სამხრეთ კალთაზე არის მრავალრიცხოვანი ფლატეები და ქარაფები, სადაც ხელოვნური გამოქვაბულებია გამოკვეთილი. ამ მხრივ, ყველაზე საინტერესოა ანტიკურ და შუასაუკუნეობრივ, წარმართულ და ქრისტიანულ ნაგებობათა რთული კომპლექსი-გამოქვაბული ციხე-ქალაქი უფლისციხე, რომელიც ქ. გორიდან აღმოსავლეთით 7-8 კმ-ს მოშორებით სოფ. უფლისციხის მიდამოებში მდებარეობს.

დასავლეთ და აღმოსავლეთ კვერნაქებს შორის მდინარე დიდი ლიახვის მარცხენა ნაპირზე ქ. გორის მიდამოებში აღმართულია მცირე სიმაღლის შთენილი გორაკი, რომელზეც მდებარეობს გორის ძველი ციხე. გორაკს აქვს მოსწორებული ზედაპირი და ციცაბო ფერდობები.

მდინარეებს ლეხურასა და ქსანს შორის 15 კმ მანძილზე გაჭიმულია წლევი-თხოთის ქედი, სიგანით 5 კმ უმაღლესი მწვერვალია წლევი - 1097 მეტრი.

წლევი-თხოთის ქედის შუა, მორკალეზულ ყველაზე დადაბლებულ ადგილას 800 მეტრის სიმაღლეზე მდებარეობს გადასასვლელი მტკვრის ხეობიდან მუხრანის ვაკეში, რომელსაც ადგილობრივი მოსახლეობა უღელტეხილს უწოდებს. იგი წლევი-თხოთის ქედს ყოფს ორ ნაწილად: დასავლეთი წლევის და აღმოსავლეთი თხოთის ქედებად.

წლევი-თხოთის ქედი ხასიათდება მუხრანის ვაკისაკენ დამრეცი ჩრდილო აღმოსავლეთი, ხოლო მტკვრის ხეობისაკენ ციცაბო, საკმაოდ დანაწევრებული სამხრეთ აღმოსავლეთი კალთით. მშრალი ხეობების და ხრამების ხშირი ქსელია განსაკუთრებით კასპსა და ხრამს შორის.

წლევი-თხოთის ჩრდილოეთი ფერდობები, სამხრეთ ფერდობებისაგან განსხვავებით ტყიანია, მდ. ქსნის მარცხენა მხარე - ფლატოვანი.

კვერნაქის საწინააღმდეგოდ ტყიანია, მდ. ქსნის მარცხენა მხარის ფლატე, ქსნის ციხე-სიმაგრის ნანგრევებია.

კვერნაქის ქედის თანამედროვე რელიეფი ძირითადად ჩამოყალიბდა ნეოტექტონიკური მოვლენების განვითარების ეტაპზე მესამეულის ბოლოსა და მეოთხეულში. ამ პროცესში მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა ქედის ამგები ქანების ლითოლოგიურმა სხვადასხვაობამ. ნელი ტემპის აღმავალი მოძრაობისა და ქედის მიმდებარე ტერიტორიების უარყოფითი მოძრაობის პირობებში მიმდინარეობდა გარეგანი პროცესების ინტენსიური განვითარება, რასაც შედეგად მოჰყვა ქედის დანაწევრება და მიმდებარე ვაკეზე აკუმულაცია.

ქანების დაშლა და ზედაპირის დანაწევრება ამჟამადაც გრძელდება ფიზიკური გამოფიტვისა და მდინარეთა ეროზიული მოქმედების შედეგად. ამ პროცესების

თავისებურებას განაპირობებს ეგზოგენური ფაქტორების მჭიდრო კავშირი კლიმატთან. მთავარი როლი მიეკუთვნება ეროზიულ პროცესებს, ზედაპირის გადარეცხვასა და ჩამორეცხვას ნალექებისა და თოვლის ნადნობი წყლებით. სოფლის მეურნეობაში ათვისების, მოვების ან სხვა მიზეზებით მცენარეულობას მოკლებულ უბნებში ქარი იწვევს ორგანული ნივთიერებებით მდიდარი ნიადაგის ზედა ფენის მოშორებასა და გადატანას.

კვერნაქის ქედის მნიშვნელოვან თავისებურებას წარმოადგენს მისი ტერასული რელიეფი. მაგალითად, დასავლეთ კვერნაქის კალთაზე წარმოდგენილია სამი ტერასული საფეხური. ტერასები არის აგრეთვე ზემო აღნიშნული ქედის სხვა ნაწილებშიც, როგორც ჩრდილოეთით ასევე სამხრეთ მხარეებზეც.

როგორც ვარაუდობენ, ბაქოსწინა ოროგენულმა ფაზამ კავკასიაში გამოიწვია აზეგება და დაბალი ანტიკლინურ მონოკლინური კვერნაქის ქედის წარმოშობა. ქედი ძირითადად აგებულია კავკასიონიდან მოტანილი მოლასური ტიპის მიო-პლიოცენური მასალით, რომელიც დაგროვდა იმ მთისწინა დეპრესიაში, რომელიც შუა პლიოცენის ბოლომდე არსებობდა: თიხები, ქვიშები, კონგლომერატები, რომელთა შეფარდება სივრცობრივად იცვლება, წარმოადგენს ამ ნალექების ძირითად ლითოლოგიურ კომპონენტებს.

ამ სერიის განედური მიმართულება გორიდან კასპამდე ეთანხმება მიოცენური ნალექების და ნაოჭების ღერძს. ჩრდილოეთი და ჩრდილო აღმოსავლეთი დაქანებით ეს ნალექები ქ. გორსა და კასპს შორის მტკვრის მარცხენა მხარეზე ქმნიან ანტიკლინური ნაოჭის ჩრდილოეთ ფრთას. ანტიკლინის სამხრეთი ფრთა განვითარებულია მდინარე მტკვრის მარცხენა ნაპირზე და გამოსახულია საჩიტე და დიდვაკის თავის მაღლობების სახით. მდინარე ლეხურიდან მცხეთამდე ნაოჭი კვლავ გრძელდება მტკვრის მარცხენა ნაპირზე. აქ წარმოდგენილია ქვედა და შუა სარმატი, რომელიც დაფარულია ზედა სარმატის ფერადი თიხებით.

ზემოაღნიშნულით დასტურდება, რომ კვერნაქის ქედის სამხრეთი ციცაბო და ძლიერ დანაწევრებული კალთაა, გარდა მცირე გამოწკლისისა, არახელსაყრელია სასოფლო სამეურნეო კულტურებისათვის, მაშინ როცა ჩრდილოეთი დამრეცი კალთა ამ მიზნისათვის საკმაოდ ხელსაყრელია.

4) მტკვარი შიდა ქართლის ვაკეს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ მთელ სიგრძეზე მიუყვება, სამხრეთიდან იგი თრიალეთის ქედის კალთებით განისაზღვრება, ისე, რომ, მთისწინების ზონა მტკვრის შუა ხეობის რაიონშია მოქცეული. დასავლეთით ლიხისა და მესხეთის ქედების ბოლო ტოტებით იფარგლება. აქაც მთისწინა ბორცვიანი ზონა ლანდშაფტურად აღნიშნული რაიონის შემადგენლობაში განიხილება. რაიონის ჩრდილო მხარე განსაზღვრულია კვერნაქების, წლევი-თხოთის ქედების სამხრეთი ფერდობების ძირით.

ხეობის ძირი ტაშისკარიდან 725 მეტრზე მდებარეობს ზღვის დონიდან. აღმოსავლეთი ბოლოზე კი 450 მეტრამდე ეშვება. დვანისწყლის შეერთების ადგილიდან აღმოსავლეთით ხეობა ფართოვდება. ამავე მონაკვეთზე მას მარცხენა სანაპირო შედარებით ციცაბო აქვს მარჯვენა დამრეცი, ტერასირებული.

მტკვრის ხეობის მორფოლოგიური ხასიათი სხვადასხვაა, რაც გამოწვეულია იმით, რომ მდინარე რეგიონის ფარგლებში სხვადასხვა ტერასირებულ სტრუქტურებს გადაკვეთს

და ზოგჯერ გარშემოუვლის. დიდ მანძილზე მდ. მტკვარი გაედინება სინკლინური და ანტიკლინარული ნაკვეთების გასწვრივ.

მტკვრის ხეობის მესამეულის მონაკვეთებმა ხანგძლივი და გრანდიოზული დენუდაციური გავლენა განიცადა, რის შედეგადაც ამ სტრუქტურათა მნიშვნელოვანი ნაწილები გაირეცხა და მოცილდა. ხეობის დღევანდელ რელიეფში დარჩენილია მხოლოდ მათი ნაშთები. მრავალრიცხოვან გაშიშვლებებში კი გრანდიოზული დენუდაციური ნგრევის კვალი, რომელიც მჟღავნდება ხეობის ფერდობთა მაღალ ნაწილებში ფრიალო ღრატოიანი კედლების სახით. მესამეულში მომხდარ დენუდაციურ გადარეცხვებზე მეტყველებს აგრეთვე მესამეული ნაკვეთებისაგან შემდგარი დაბალი ქედების ნაწყვეტები, მასვე მიეკუთვნებიან ხრამები, ღრატოები, განცალკევებული სვეტები და სხვა.

ტაშისკარიდან ფრონეს შესართავამდე მტკვარი ფართო ალუვიურ ვაკეზე მოედინება და მრავალ კუნძულს აჩენს, რომელთა ნაწილი ჭალის ტყით არის დაფარული. თრიალეთის მთისწინებზე ეს ტერასები დიდ სიმაღლეზე მდებარეობს, მტკვრის მარცხენა მხარეზე კი გამოხატულია შედარებით დაბალი აკუმულაციური ტერასები.

ხეობის მეორე მონაკვეთზე მტკვარი გაედინება თრიალეთის მთისწინეთზე და კვერნაქების ქედს შორის საკმაოდ ფართო ალუვიურ ვაკეზე, მდინარის კალაპოტი ამ მონაკვეთზე ხან მთისწინებს უახლოვდება, ხან კი დიდი მანძილით შორდება მას. აქ მტკვრის ხეობაში კარგადაა გამოხატული ტერასები, განსაკუთრებით მარჯვენა მხარეზე, საერთოდ როგორც ცნობილია, მდინარე მტკვრის ხეობის რელიეფის გეომორფოლოგიურ თავისებურებად ითვლება მისი ტერასირება.

შიდა ქართლში თრიალეთის ქედის ჩრდილო ფერდობია წარმოდგენილი. თრიალეთის ქედის ჩრ. ფერდობი მორფოლოგიური და გენეტიკური თვალსაზრისით პირობითად დასავლეთ და აღმოსავლეთ მონაკვეთებად იყოფა. საზღვარი დაახლოებით გვირგვინას შტოქედზე გადის (გობეჯიშვილი, 2011). ამ შემთხვევაში ჩვენი ინტერესის სფეროში მისი აღმოსავლეთი მონაკვეთი ექცევა. თრიალეთის ქედის ჩრდილო ფერდობის აღმოსავლეთ მონაკვეთის ფორმირებაში, ტოპოგრაფიული ზედაპირის დანაწევრებაში დიდი როლი მდინარეების ძამას, ტანას, თეძამის, კავთურას და მათი შენაკადების ეროზიულ მოქმედებას ეკუთვნის. ტერასები 200-250 მ ზოლში გვაქვს და ფრაგმენტულადაა გავრცელებული (ცხოვრებაშვილი, აჭარა-თრიალეთის მთაგრეხილის გეომორფოლოგია, 1978). ღორისნამკალის, საცხენისის, წერეთის, საწყებელას შტო ქედების (წყალგამყოფების) ზედაპირიდან ხეობები ჩაჭრილია 500-600 მ სიღრმეზე. მერიდიანული მიმართულების ხეობის მონაკვეთები V-სებური და ვიწროა, ხოლო განედური მიმართულების მონაკვეთები შედარებით განიერია.

2.3 გეოლოგიური აგებულება

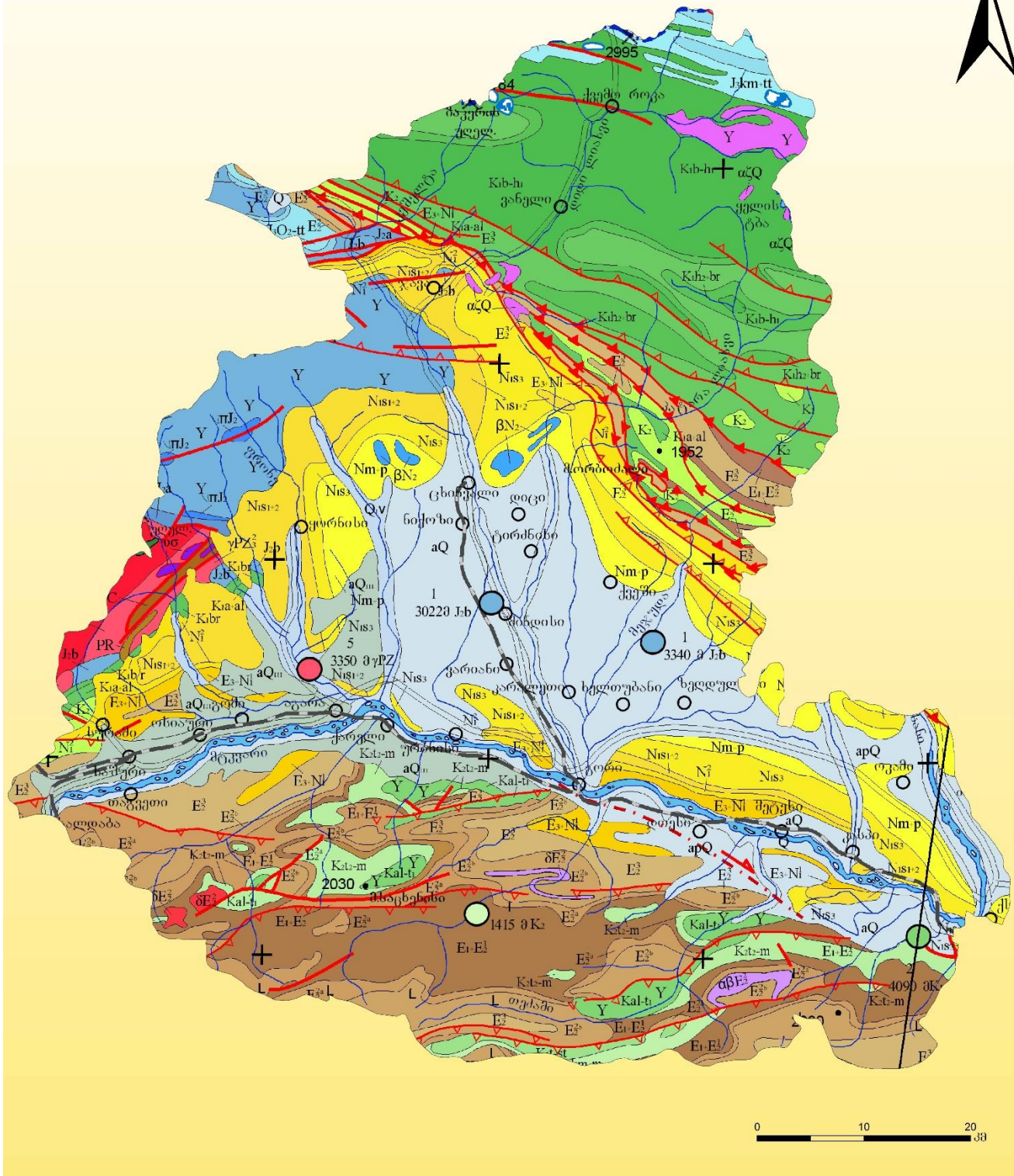
ტექტონიკური დარაიონების მიხედვით შიდა ქართლი სამი მსხვილი ტექტონიკური ერთეულის ფარგლებშია მოქცეული, რეგიონის ჩრდილოეთი ნაწილი ემთხვევა კავკასიონის სამხრეთი ფერდობის ნაოჭა სისტემის მესტია-თიანეთის ზონას, შუა ნაწილი საქართველოს ბელტის აღმოსავლური (მოლასური) დაძირვის ზონაშია მოქცეული, ხოლო შიდა ქართლის სამხრეთის ნაწილი აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემის ჩრდილო

ფერდობზეა წარმოდგენილი. პირველ მათგანში დანაოჭება საკმაოდ ინტენსიურია და ამის გამო ნაოჭები მეტ-ნაკლებად, შეკუმშული ხასიათისაა. ამასთან, ასიმეტრიული ფორმის ნაოჭები სამხრეთი მიმართულებითაა გადმოხრილი და შეცოცებებითაა გართულებული. მეორე ტექტონიკური ერთეული ერთ-ერთი უძველესი წარმონაქმნია და დაძირვის ტენდენციით ხასიათდება. შიდა ქართლის უკიდურესი სამხრეთული პერიფერიის ფუნდამენტის ფორმირება ჯერ კიდევ ქვედა ცარცულშია დაწყებული, რომელიც ნეოგენამდე გრძელდებოდა. მისი მარაოსებური ნაოჭები ჩრდილოეთითაა გადახრილი, გართულებულია რღვევებითა და ვულკანური პროცესებით.

შიდა ქართლის ვაკე, მესამეულ წყებაში მოქცეულ ახალგაზრდა ტექტონიკურ დეპრესიას წარმოადგენს და დაფარულია მეოთხეული ნალექებით, როგორც ალუვიურით, ისე ფლუვიოგლაციურით და დელუვიურით. ლითოლოგიურად ისინი წარმოდგენილია თიხებით, რომელსაც ერევა ქვიშა და ღორღი, თიხოვანი ქვიშებითა და კენჭებით. ალუვიური საფარი ხშირად ლიოსისმაგვარი ნალექებითაა გადახურული. ვაკის თანამედროვე ფხვიერი ნალექების ქვეშ კენჭნარი და სხვადასხვა სიმკვრივის კონგლომერატებია ჩაწოლილი. ჩამოთვლილი ნალექები დესტრუქციული პროცესების მიმართ სუსტი მდგრადობით გამოირჩევა, რის გამოც ტერიტორია ეროზიული პროცესების ინტენსიურ გავლენას განიცდის.

შიდა ქართლის მთიანი ზოლის უძველესი ქანები წარმოდგენილია იურული თიხაფიქლებით. რეგიონის ვაკე არეალი აგებულია ცარცული დანალექი ქანებითა და პორფირიტული სერიის ვულკანოგენებით. შიდა ქართლის სამხრეთული ნაწილი აგებულია ცარცული ვულკანოგენურ-დანალექი წყებებითა და პალეოგენური ფლიშური არგილიტებით, მერგელებით, ქვიშაქვებითა და თიხოვან-ქვიშნარი ფაციესებით, ნეოგენური და მეოთხეული წარმონაქმნებით. ეს უკანასკნელი წარმოდგენილია მდინარე მტკვრისა და მისი შენაკადების ალუვიური ნალექებით, რომელიც გავრცელებულია შიდა ქართლის ვაკის დიდ ნაწილში. ამ მხრივ, აღსანიშნავია მდინარეების-მტკვრის, დიდი და პატარა ლიახვის, მეჯუდის, ლეხურის ხეობების ტერასული წარმონაქმნები. ტირიფონ-მუხრანის ვაკეზე ალუვიონის სიმძლავრე 150-170 მეტრს აღწევს. მუხრანის ველზე, დელუვიურ-პროლუვიური საფარის ქვეშ განამარხებულია 100 მეტრი სიმძლავრის აკუმულაციური რიყნარი. მყინვარული ნაფენები შემორჩენილია მდინარეების დიდი და პატარა ლიახვის სათავეებში.

შიდა ქართლის გეოლოგია



ნახ. 3. შიდა ქართლის გეოლოგიური აგებულება (გუჯაბიძე)

მთისწინების ზონა აგებულია პალეოგენური და ნეოგენური ასაკის ნგრეული ქანებით: თიხებით, ქვიშებითა და კონგლომერატებით. განსაკუთრებით აღსანიშნავია მთისწინების დიდი სისქის, პლიოცენური ფხვიერი კინგლომერატები, რომელიც წარმოიქმნა კავკასიონის ენერგიული გადარეცხვის შედეგად. პლიოცენის კონგლომერატების სქელი წყება მოწმობს იმას, რომ კავკასიონის სამხრული ფერდობის ძირას არსებობდა დეპრესია, რომელიც თანდათანობით იძირებოდა, მაშინ როცა ხდებოდა კავკასიონის აზეცება. დასავლეთი მთისწინები კოლხეთის სუბტროპიკულ ოლქში მოქცეული იმერეთის კრისტალური მასივის განაპირა აღმოსავლეთ კიდეც ეკვრის, ამიტომაც აქ გარდა მესამეული ასაკის ნალექებისა, ვხვდებით უფრო ძველ ფორმაციებსაც, რომლებიც ზოგან გაშიშვლებულია, უფრო მეტად კი მესამეული ნალექებითაა დაფარული. ამ ზონის აგებულებაში მონაწილეობს ოლიგოცენის თიხები, ქვიშები, შუა მიოცენური ქვიშაქვები, სარმატის თიხები და მერგელები, ქვაკირის ჩართვით, აგრეთვე კონგლომერატები. ასეთი ლითოლოგიური აგებულება ხელს უწყობს ეროზიულ-დენუდაციური პროცესების წარმართვას; ამ ლითოლოგიური ხასიათითაა შეპირობებული, აქ მეწყრული პროცესების განვითარება (სურამულას, ტილიანას, ფცის წყლის ხეობებში და სხვა.).



ფოტო 1. მდ. ტანას ხეობა

შიდა ქართლის ჩრდილო-დასავლეთი ნაწილი აგებულია გრანიტებით და კრისტალური ფიქლებით; დანარჩენში გაბატონებულია მესამეული და მეოთხეული პერიოდების დანალექი წყებები. პალეოგენური ნალექები (ქვიშა-თიხიანი და ვულკანოგენური ფაციესი) აგებს კავკასიონის და თრიალეთის ქედების მთისწინების ნაწილს და წარმოდგენილია უხეში შედგენილობის ნგრეული მასალით-კონგლომერატებით და ქვიშაქვებით: სწორედ ეს ნალექები აგებს კავკასიონის მთისწინეთის ნაწილს და კვერნაქის სერს, ანალოგიური აგებულებისაა მეოთხეული ნაფენებით წარმოქმნილი ალუვიური ვაკეები, აგრეთვე, მდინარე მტკვრისა და მისი შენაკადების აკუმულაციური ტერასები.

თრიალეთის ქედი გეოლოგიურად ძირითადად აგებულია პალეოცენური და ეოცენური ვულკანოგენურ-დანალექი წყებებით. ტუტე და კირ-ტუტე ბაზალტებით და ანდეზიტებით, სქელშრეებრივი ვულკანური ბრექჩიებით, ტუფებით, ტუფო-ქვიშაქვებით, გრაველიტებით. მ. საცხენისის ირგვლივ და მ. არჯევანის აღმოსავლეთით რელიეფი აგებულია ცარცული ნალექებით: კირქვებით, მერგელოვანი და ქვიშიანი კირქვებით, ტუფიტებით, ტუფოკონგლომერატებით, ქვიშაქვებით (კარბონატული ფლიში). ძამას ხეობაში ეოცენური ვულკანური დიორიტები.

თრიალეთის ქედის ჩრდილოეთ მთისწინეთში მიმდინარეობდა ცარცული ასაკის ვულკანურ-დანალექი ცეოლითური ანდეზიტ-ბაზალტური ტუფების სამრეწველო მოპოვება. აღსანიშნავია მდ. თეძამის მარცხენა სანაპიროს „ივერიის ტუფის“ კარიერის გამოყენების პერსპექტივა, სადაც ზემოდან ქვემოთ გამოიყოფა ქანების ორი წყება: მერგელები და ტუფები. წიაღისეული გამოიყენება ცეოლითების და პუცონალური ცემენტის წარმოებაში, აგრეთვე მასალად კედლების გარედან მოსაბათქაშებლად და ბეტონის მისაღებად. ტუფის კარიერი არის ს. თემძისხევიდან სოფ. ზენადრისამდე. ზემოაღნიშნული საბადოების ღია კარიერული წესით მუშავდება აგრეთვე თეძამის, მეგვის, ხეკორძულას, ზემო ხვედურეთის მიდამოებში.

კირქვებს, მერგელებს, დოლომიტებსა და სხვას იყენებენ მეურნეობის მრავალ დარგში. ქარელის რაიონის საბადოს დოლომიტები და დოლომიტიზებული კირქვები აკმაყოფილებს ქიმიური და მეტალურგიული მრეწველობის მოთხოვნებს არამადნეულ ნედლეულზე, აბანოს დოლომიტით მარაგდებოდა რუსთავის მეტალურგიული ქარხანა. მიწის საგებლობის კანონმდებლობისა და ბუნების დაცვის ღონისძიებათა დარღვევისათვის აბანოს საბადოს დამუშავება შეჩერებულ იქნა. კარბონატული და თიხოვანი ქანების ბევრი საბადო, რომლებიც დაკავშირებულია უმთავრესად ზედაცარცულ და მესამეულ წარმონაქმნებთან, გამოიყენება საცემენტე ნედლეულად. კასპის კარბონატული ქანების საბადო (ფოტო 2), რომლის ბაზაზე მუშაობს ცემენტ-შიფერის ქარხანა, მდებარეობს ადგილ რცხილებში, დიდი ვაკისთავი – საჩიტეს აღმოსავლეთ ნაწილში. კასპის საბადოს საექსპლოატაციო მონაკვეთი (45 ჰა) აგებულია შუასარმატული ნალექებით, აქ მზადდება მაღალხარისხოვანი პორტლანდცემენტი, საბადო მუშავდება ღია კარიერული წესით. ღია კარიერული წესით მუშავდება აგრეთვე გურისწყერის, კავთისხევის, კათაულის საბადოები.



ფოტო 2. კასპის კარბოატული ქანების საბადო

ცარცული ასაკის ქიმიურად სუფთა და ერთგვაროვანი კარბონატული ქანების ძეგვის, ნიჩბისის და სხვათა საბადოები გამოიყენება კირის გამოსაწვავად.

შიდა ქართლში, კერძოდ, სურამსა და ალში არის თაბაშირისა და გაჯის საბადოები. ამ წიაღისეულს ხმარობენ შემკვრელ და საბათქაშე მასალად. თაბაშირი წყალში აზელისას მალე მყარდება, სითბოს გამოყოფით და მოცულობაში ფართოვდება. მერგელოვანი და ლიოსისერი თიხები უმეტესად ალუვიურ-დელუვირი წარმოშობისაა, ძირითადად განლაგებულია მდინარეთა ტერასებზე, მეტწილად მტკვრის ხეობაში (მეტეხი, ქარელი, გორი, ძევი, მცხეთა), ტირიფონის, საგურამოსა და სხვააკუმულაციურ ვაკეებზე, ამ ნედლეულისაგან ამზადებენ აგურსა და კრამიტს, საბადოები მუშავდება რია კარიერული წესით.

საკვლევ რეგიონში გავრცელებულია მინდვრის შპატის საბადოები, იგი გამოიყენება მინის, ფაიფურ-ქაშანურის, სილიკატური აგურის მისაღებად, ასევე ბეტონისა და ხსნარების დასამზადებლად, სამუხრუჭე მასალად ლოკომოტივებისათვის, მხატრული ნაკეთობებისა და სამკაულებისათვის. საბადო შედგება რიგი მონაკვეთებისაგან (ოძისი, ჯაფინურა, ნარუანთსერი, ზედნისი და სხვა) (ჯორბენაძე, 1990).

რაც შეეხება ეგზოდინამიკურ პროცესებს, მეწყრები ფართო გავრცელებით ხასიათდება რეგიონის სამხრეთ და დასავლეთ ნაწილებში-ხაშურის, ქარელის და კასპის რაიონებში. მეწყრებმა ძლიერ დააზარალა და დღემდე საშიშროების ზონებშია ამ რაიონების მრავალი ათეული დასახლებული პუნქტი.

მეწყრების წარმოშობა-განვითარების ბუნებრივი ფაქტორებიდან უპირველესად აღსანიშნავია რეგიონში დამეწყვრისადმი ადვილად დამყოლი ქანების ფართომასშტაბიანი გავრცელება. ამ კუთხით აღსანიშნავია პალეოზოური გრანიტების და გრანიტოიდების მძლავრი გამოფიტვის ქერქი, ალბ-სენომანის ვულკანოგენური ქანები, ზედა ეოცენის და ოლიგოცენის თიხოვანი წყება, ზედა მიოპლიოცენის ნალექები და მათზე განვითარებული თიხოვანი ქანების საფარი. ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ბუნებრივი ფაქტორია მდინარეების

ეროზიული მოქმედება. ფერდობების და ფლატეების ძირების გამორეცხვა იწვევს მათ დამეწყვრას (შაქმაქეთი, ბრეთი, კნოლევი, მეტეხი). ბოლოს აღსანიშნავია მიწისძვრების მაპროვოცირებელი ფაქტორი.

ღვარცოფული პროცესები რეგიონის ცალკეულ უბნებზე ინტენსიურადაა გავრცელებული და ახასიათებთ პერიოდული გამოვლინება. ამ პროცესებით ტერიტორიის დაზიანების ყველაზე მეტი რაოდენობრივ-ხარისხობრივი მაჩვენებელი აღინიშნება თრიალეთის ქედის ცენტრალური და აღმოსავლეთი ნაწილების ჩრდილოეთი განშტოებების ფარგლებში. შედარებით ნაკლებია ისინი სურამის ქედის აღმოსავლეთ ნაწილში. ღვარცოფული ხასიათის ხრამების გამონატანი აღინიშნება მოლასური ნალექებით აგებულ თითქმის ყველა გორაკ-ბორცვიან მთისწინეთში, კვერნაკის და წლევის ქედების სამხრეთ ფერდობებზე. რეგიონის ამ ნაწილებში არსებობს ყველა პირობა ღვარცოფული პროცესების ფორმირებისათვის, ხოლო ამა თუ იმ კომპონენტის რაოდენობრივი მახასიათებელი განაპირობებს გამოტანილი მასალის მოცულობას და მათ პერიოდულობას.



ფოტო 3. მდ. ტანას ხეობა

ღვარცოფების განვითარებას ადგილი აქვთ თრიალეთის ქედის ყველა მდინარის აუზში-დაწყებული მდ. მტკვრის დიდი შენაკადებიდან (მდ. მდ. ძამა, ტანა, თეძამი), მათი მეორე და უფრო დაბალი რანგის შენაკადების ჩათვლით და დამთავრებული ხევებით და დროებითი პატარა ხრამებით.

ღვარცოფების მიერ გამოტანილი მასალა რეგიონში ხშირად ანგრევს საირიგაციო სისტემებს, გზებს, ხიდებს, ჯებირებს, შენობა ნაგებობებს, ანადგურებს და ფარავს სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს და ნათესებს, ხშირად ილუპება შინაური პირუტყვი და რაც ყველაზე მთავარია გასული წლების განმავლობაში დაფიქსირებულია ადამიანის მსხვერპლიც (მდ. კნოლევის ხევი, 1972 წ. 3 ადამიანი).

რეგიონის ძირითადი მდინარის-მტკვრის და მისი მთავარი შენაკადების (მდ. მდ. ძამას, ტანას, თეძამის, ჭერათხევის, ფრონეს, ფცას, ლიახვის და ლეხურას) გასწვრივ მიმდინარეობს უმეტესად ინტენსიური გვერდითი ეროზია, ხოლო მათ ფერდობებზე გაძლიერებულია დახრამვა და მათთან პირდაპირ დაკავშირებული ფართობული ეროზია (ფოტო 3), რაც საბოლოოდ ნიადაგის სრული გადარეცხვით, ბედლენდის ტიპის ან მსგავსი რელიეფის ფორმირებით და ტერიტორიის გაუდაბნოებით მთავრდება (კვერნაკის და წლევის ქედების სამხრეთი ფერდობები, მდ. მდ. ტანას, თეძამის ხეობები, მათი წყალგამყოფების განშტოებებზე (ფოტო 4).



ფოტო 4. კვერნაქების ქედის სამხრეთი ფერდობი

ეროზიული მოვლენების ფორმირებას რეგიონში ძირითადად ბუნებრივი ფაქტორები განაპირობებენ. კარგად განვითარებული ჰიდროგრაფიული ქსელი, მთიან ადგილებში რელიეფის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური დანაწევრების მაღალი მაჩვენებელი, ფერდობების დახრილობა, ეროზიისადმი დამყოლი მოლასური და ტერიგენული ქანების ფართო გავრცელება; მცენარეული საფარის განადგურება წარმოადგენს მთავარ ფაქტორს ეროზიის ფართომასშტაბიანი განვითარებისათვის.

გრავიტაციული მოვლენები-კლდეზვავები, ჩამონაცვენები, ჩამონაშალები და ქვათაცვენა გვხვდება მაღალი ენერგიის მატარებელ ფერდობებზე, რომლებიც აგებულია დაშლილ-დანაპრალიანებული კლდოვანი, ნახევრადკლდოვანი, შეკავშირებული და ზოგჯერ ფხვიერი, შეუკავშირებელი ქანებით. მათი უმეტესობა დაკავშირებულია მდ. მდ. მტკვრის, ძამას, იმერხევის, ხვედურეთისწყლის, თეძამის, კავთურას, ნიჩბისისწყლის, ხეკორძულას, ჭერათხევის, აღმოსავლეთ, შუა და დასავლეთი ფრონეს მაღალი და ძლიერ მაღალი დახრილობის ფერდობებთან და ეროზიულ-გრავიტაციულ ქარაფიან კარნიზებთან.

შედარებით დიდი მოცულობის და ფართობის კლდეზვავები დაკავშირებულია შუა ეოცენის ვულკანოგენურ (ქვენაფლავი, ძემვის მონასტერი), ცარცის კარბონატულ (ბიჯნისი), ზედა ეოცენის ტერიგენულ (თაგვეთი, რბონა) და პლიოცენის მოლასურ (თედოწმინდა) ნალექებთან. აქ კლდეზვავების ძველ კერებში ამჟამადაც პერიოდულად ხდება რამოდენიმე ათეული მ³ მოცულობის დაშლილი ქანების ჩამონგრევა. შედარებით ხშირია საშუალო ზომის (ჯვართმუხა, ნედირი, კრისხევი) და განსაკუთრებით მცირე ზომის (რამოდენიმე ათეული მ³ მოცულობის) კლდეზვავები, რომლებიც ძირითადად აზიანებენ საგზაო კომუნიკაციებს.

ამრიგად კვლევებმა დაადასტურა რომ რეგიონის მასშტაბით ძირითადი პრობლემა ეროზიული პროცესებია.

2.4 კლიმატი

ოროგრაფიული პირობები ჰაერის ცირკულაციურ პროცესებთან ერთად, იწვევს კლიმატური პირობების სხვადასხვაობას.

მზის სხივების სიუხვე, ჰაერის შედარებით მაღალი ტემპერატურა ზაფხულში, წლის თბილი პერიოდის ხანგრძლივობა, ნალექების ზომიერი რაოდენობა, ზომიერი შეფარდებითი სინოტივე და მცირე ღრუბლიანობა ხელს უწყობს იმ გარემოებას, რომ შიდა ქართლი წარმოადგენს მეხილეობისა და მებაღეობის ძირითად რაიონს საქართველოში (კორმახია, საქართველოს ჰავა, 1961). შიდა ქართლში ზამთარში ამინდის პირობებზე განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს აზიის ანტიციკლონიდან ჰაერის შემოჭრა. ამ პერიოდში ინტენსიურია გამოსხივება, რის გამოც ხშირია ტემპერატურული ინვერსიები. ამ მიზეზით იანვარში ჰაერის საშუალო ტემპერატურა კვერნაქის ქედზე თითქმის ისეთივეა, როგორც გორის ვაკეზე.

შიდა ქართლის ბარის უმეტეს ნაწილში საკმაოდ კონტინენტური, მშრალი ჰავაა ზომიერად ცივი ზამთრით. ტემპერატურის წლიური ამპლიტუდა 23-24°C-ია. უცივესი თვის საშუალო ტემპერატურა ვაკის დაბალ ნაწილებში -2°C უდრის, მის გარშემო მთისწინეთში -1-1.5°C. აბსოლუტური მინიმუმი შიდა ქართლის ვაკეზე საკმაოდ დაბალია

და შეიძლება დაეცეს $-25-31^{\circ}\text{C}$ -მდე. ყინვები შიდა ქართლის უმეტეს ნაწილზე იწყება ოქტომბრის ბოლო რიცხვებიდან და მთავრდება აპრილში, ყინვიანი დღეების რიცხვი წლიურად 90-100 ფარგლებში მერყეობს.

ატმოსფეროს ცირკულაციური პროცესების ხასიათი არ იძლევა ნალექების დიდ რაოდენობას შიდა ქართლში, ამიტომ იგი სიმშრალით ხასიათდება. ნალექების წლიური რაოდენობა მერყეობს 450-600 მმ-ის ფარგლებში. სიმშრალით გამოირჩევა თრიალეთის ქედის ჩრდილო ფერდობიც. შიდა ქართლის ბარში ნალექების წლიურ მსვლელობაში კარგად გამოხატული ორი მაქსიმუმი და ორი მინიმუმი შეიმჩნევა, ესენია მაისი და სექტემბერ-ოქტომბერი, იანვარი და აგვისტო.

რეგიონის უმეტეს ნაწილზე წლის ყველა სეზონზე გაბატონებულია დასავლეთის და ჩრდილო-დასავლეთის ქარი. ქარის სიძლიერე საკმაოდ მნიშვნელოვანია და საშუალო წლიურში დაახლოებით 4მ/წმ უდრის (კორძაძია, საქართველოს ჰავა, 1961).



ფოტო 5. სეტყვა მაისში, ქარელის მუნიციპალიტეტი

ზაფხულში კვერნაქის ქედის სამხრეთ ფერდობზე მცენარეული საფარის სიმცირის გამო ინტენსიურია გამოსხივება, რის გამოც ჰაერის ტემპერატურა უფრო მაღალია, ვიდრე ჩრდილოეთ ფერდობზე. მიუხედავად იმისა რომ ატმოსფერული ნალექები აქ მეტია ვიდრე შიდა ქართლის ვაკის ცენტრალურ რაიონებში, ნალექების ეფექტიანობა ნაკლებია, რის გამოც ნიადაგი უფრო მშრალია (კორძაძია, საქართველოს ჰავა, 1961).

ზაფხულის თვეებში იცის თავსხმა წვიმები, მათთვის ხელსაყრელი პირობები იქმნება დღის მეორე ნახევარში, როდესაც გაძლიერებული მზის რადიაციის გამო ნიადაგი და ატმოსფეროს ქვედა ფენა ინტენსიურად თბება, რითაც წარმოიშობა ჰაერის არამდგრადი მდგომარეობა და საკმარისია შედარებით უმნიშვნელო გარეგანი იმპულსი, რომ წონასწორობა დაირღვეს და თავსხმა წვიმა მოვიდეს. თავსხმა წვიმა დიდ ზიანს აყენებს სოფლის მეურნეობის კულტურებს, მითუმეტეს მაშინ, როდესაც მას თან სეტყვა ერთვის. ხშირია ელქექი და სეტყვა (ფოტო 5). ელქექიან დღეთა რიცხვი 25-45-ია, ხოლო სეტყვიანი 1-2 დღეა წელიწადში (კორმახია & ჯავახიშვილი, საქართველოს ჰავა, 1971).

შიდა ქართლი ძალიან მგრძნობიარეა კლიმატის ცვლილების მიმართ.

2.5 შიდა წყლები

ერთის მხრივ, რეგიონის რელიეფი და მეორეს მხრივ, ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა ხელს უწყობს რეგიონში მჭიდრო ჰიდროგრაფიული ქსელის ჩამოყალიბება-განვითარებას.

რეგიონის ჰიდროგრაფიულ არტერიას მდინარე მტკვარი წარმოადგენს. მდ. მტკვარზე წყალდიდობა მარტის მეორე დეკადაში იწყება და მაქსიმუმს, ჩვეულებრივ, მაისის პირველ ნახევარში აღწევს, რაც სეზონური თოვლის დნობითა და გაზაფხულის თავსხმა წვიმებითაა განპირობებული. წყალდიდობა მთავრდება ივნის-ივლისში. ამის შემდეგ მტკვარი ზაფხულის წყალმცირობის რეჟიმზე გადადის. შემოდგომაზეც მტკვარზე ადგილი აქვს პერიოდულ წყალდიდობებს, ზოგჯერ კი შემოდგომის წყალდიდობა მაშტაბებით ბევრად აღემატება გაზაფხულისას.

შიდა ქართლის მნიშვნელოვანი მდინარეები მდინარე მტკვრის შენაკადებს წარმოადგენს: დიდი ლიახვი-შენაკადებით, პატარა ლიახვით და მეჯუდათი; აღმოსავლეთი და დასავლეთი ფრონე, სურამულა შენაკადებით, აწრათხევითა და ტილიანათი; რაიონის აღმოსავლეთ კალთაზე გაედინება მდ. ლეხურა. გორის ვაკის ჰიდროლოგიური ქსელის სიხშირეში დიდ როლს თამაშობს მრავალრიცხოვანი სარწყავი არხები და რუხები.

მთავარი მდინარეები ლიახვი, მეჯუდა და სხვა სათავეს იღებს კავკასიონის მთავრი წყალგამყოფის სამხრეთი კალთებიდან და თავისი პატარა შენაკადებით საკმაოდ ხშირ ჰიდროგრაფიულ ქსელს ქმნიან, რომელსაც უდიდესი სამეურნეო მნიშვნელობა აქვს. ზემო დინებაში ტიპიურ მთის მდინარეებს წარმოადგენენ და დიდი დაქანება აქვთ, ვაკეზე კი დაქანება კლებულობს და ვაკის მდინარეთა ხასიათს ავლენენ: აჩენენ მეანდრებს და კუნძულებს, რომელიც ხშირ შემთხვევაში მცენარეულობითაა დაფარული. შიდა ქართლის ვაკის ფარგლებში ყველაზე წყალუხვია დიდი ლიახვი. იგი კავკასიონზე მწვერვალ ზილგახოხის მახლობლად იწყება და ცხინვალამდე მთის ბოხოქარი მდინარეა, ხოლო ქალაქ ცხინვალის ქვემოთ გამოდის რა ვაკეზე, ვაკის ტიპის მდინარის ხასიათს ატარებს. ლიახვი ქ. გორის მახლობლად, მარცხნიდან ერთვის მდინარე მტკვარს ლიახვის მნიშვნელოვანი შენაკადებია მთის მდინარეები ფაწა და პატარა ლიახვი.

მტკვრის მარცხენა შენაკადების რეჟიმი ქართლის ვაკეზე გაზაფხულისა და ზაფხულის პირველ ნახევარში წყალდიდობით ხასიათდება, ხოლო ზაფხულის მეორე

ნახევარში წყალმცირობით, ე.ი იმ დროს როდესაც მათი წყალი სარწყავად ინტენსიურად გამოიყენება. მაგ. მდ. ლიახვის წყალდიდობა მარტის მეორე ნახევრიდან იწყება და აგვისტომდე გრძელდება; წყალდიდობის ასეთი ხანგრძლივობა გამოწვეულია იმით, რომ იგი, როგორც ავღნიშნეთ, მაღალ მთებში იღებს სათავეს, სადაც თოვლის დნობა იგვიანებს.

სეზონების მიხედვით წლიური ჩამონადენის განაწილება ლიახვზე ასეთ სურათს გვამღევს: ზამთარში წლიური ჩამონადენის 9%, გაზაფხულზე 40%, ზაფხულში 35-36% და შემოდგომაზე 15-16%. მდინარე ლიახვიდან, გარდა მცირე რუებისა, გაყვანილია არხებიც, რომელთაგან უდიდესია ტირიფონა, რომელიც ტერიტორიის აღმოსავლეთ ნაწილში მდებარე ამავე სახელწოდების ვაკეს რწყავს.

დანარჩენი მდინარეებისათვის წყალდიდობა დამახასიათებელია გაზაფხულზე და ზაფხულის დასაწყისში, რაც მათ აუზში თოვლის ინტენსიური დნობითა და წვიმებით არის გამოწვეული. რაიონის მდინარეებისათვის დამახასიათებელია ზამთრის წყალმცირობა. წყალმცირობა აგრეთვე ზაფხულზე. ხანმოკლე წყალდიდობა შემჩნეულია შემოდგომაზეც.

რეგიონის მდინარეებს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ზრდა-განვითარებისათვის. როგორც ცნობილია, მცენარეთა სრული ვეგეტაციისათვის საკმარისია 400-500 მმ ნალექი. ამ რაოდენობის ნალექი მოდის კიდეც შიდა ქართლის ბარში, მაგრამ ეს ნალექები არაა აქ მთლიანად საკმარისი ვეგეტაციისათვის, რადგან საგულისხმოა ის ფაქტი, რომ გაზაფხულსა და ზაფხულის დასაწყისში ნალექი თავსხმა წვიმების სახით მოდის და რასაკვირველია, ასეთ შემთხვევაში ნალექების მცირე რაოდენობა ჩაიჟონება მიწაში ე. ი. არ რგებს ვეგეტაციას; ამ ნალექების დიდი ნაწილი იკარგება. ასეთივე მდგომარეობაა თოვლის წყლის მიმართაც. ჯერ ერთი, თოვლის საფარის სიმაღლე ვაკეზე და მთის წინებზე უმნიშვნელოა, მეორეც, გაზაფხულის დადგომისთანავე თოვლი სწრაფად იწყებს დნობას და მისი წყალიც არ იჟონება ნიადაგში იმ რაოდენობით, როგორც საჭიროა. ასე რომ, ასეთ შემთხვევაში აუცილებელია შიდა ქართლის ვაკის მდინარეების გამოყენება, სარწყავი არხების საშუალებით.

მდინარე დიდი ლიახვი ქვემო დინებაში ქმნის 1 მ სიმაღლის ჭალას, რომელზეც გვხვდება ტყე. მდინარის კალაპოტი საკმაოდ განიერია 100-120 მ. ფსკერი დაფარულია რიყით, ადიდების დროს განიცდის დეფორმაციას.

რაც შეეხება მტკვრის მარჯვენა შენაკადებს-ძამა, ტანა, თეძამი, მათ შემთხვევაშიც წყალდიდობას გაზაფხულზე აქვს ადგილი, ხოლო ზაფხულობით ისინი წყალმცირენი ხდებიან და მათი წყალი თითქმის მთლიანად მორწყვაზე იხარჯება. საგურამოს ვაკეს აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ ჰკვეთს მდ. თეძამი, რომელიც 1420 მეტრის სიმაღლეზე იწყება, იალნოს ქედის ჩრდილო ფერდობზე. იგი ორი პატარა მდინარის კვირისჭალისა და ნათალსაყდრისხევის შეერთებით იქმნება. სოფ. კველიანთან ეს ორი მდინარე ერთდება და წარმოშობს თეძამს, რომელიც სოფ. კოტორაანთკარამდე ტყიან, შედარებით ვიწრო ხეობაში მოედინება, მერე კი ხეობა ფართოვდება და უტყეოა. შესართავთან თეძამი წყალმცირე მდინარეა.

რეგიონის მდინარეებს ნაშალი მასალის დიდი რაოდენობა ჩამოაქვთ ქართლის ვაკეზე, ამიტომ მტკვარს ქართლის ვაკეზე დიდი სიმღვრივე ახასიათებს. ასევე დიდი სიმღვრივე ახასიათებს დიდ და პატარა ლიახვსაც.



ფოტო 6. ნადარბაზევის ტბა

მნიშვნელოვან ჰიდროლოგიურ ობიექტს წარმოადგენს ნადარბაზევის მწარე-მლაშე ტბა (ფოტო 6), რომელიც მდებარეობს აღმოსავლეთ კვერნაქის მოსწორებულ თხემზე 856 მ აბსოლუტურ სიმაღლეზე. ტბას ახასიათებს მერიდიანული მიმართულება. მისი სიგრძე 1-1,6 კმ, ხოლო სიგანე 400-500 მ. ტბის ჩრდილოეთი და დასავლეთი ნაპირები ციცაბოა და მოკლებულია მცენარეთა საფარს, სამხრეთი და აღმოსავლეთი, პირიქით, ძლიერ დაჭაობებულია და წარმოდგენილია ისლით. წყლის მარილიანობა აღემატება 30%. მარილიანობის დიდი რაოდენობა განაპირობა ტბის გაუდინარობამ და ინტენსიურმა აორთქლებამ, აგრეთვე თაბაშირიან თიხებში მდებარეობამ.

განსაკუთრებული სილამაზით გამოირჩევა ქარელის მუნიციპალიტეტში მდ. მამას აუზში მდებარე ბატეთის ტბა, რომელიც თავისი გამორჩეული მდებარეობისა და სილამაზის გამო დიდი პოპულარობით სარგებლობს ტურისტებში და ბევრი დამთვალიერებელიც ჰყავს.

შიდა ქართლის ჰიდროგრაფიულ ქსელს უდიდესი სამეურნეო მნიშვნელობა აქვს განსაკუთრებით ირიგაციისათვის. აქ ჯერ კიდევ ისტორიულ წარსულში არსებობდა სარწყავი რუები², დღეს კი მდინარეთა (განსაკუთრებით მდ. მტკვრის მარცხენა შენაკადები) ქვემო დინებები დაქსელილია სარწყავი არხებით, რომელთაც უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ზაფხულის გვალვების დროს.

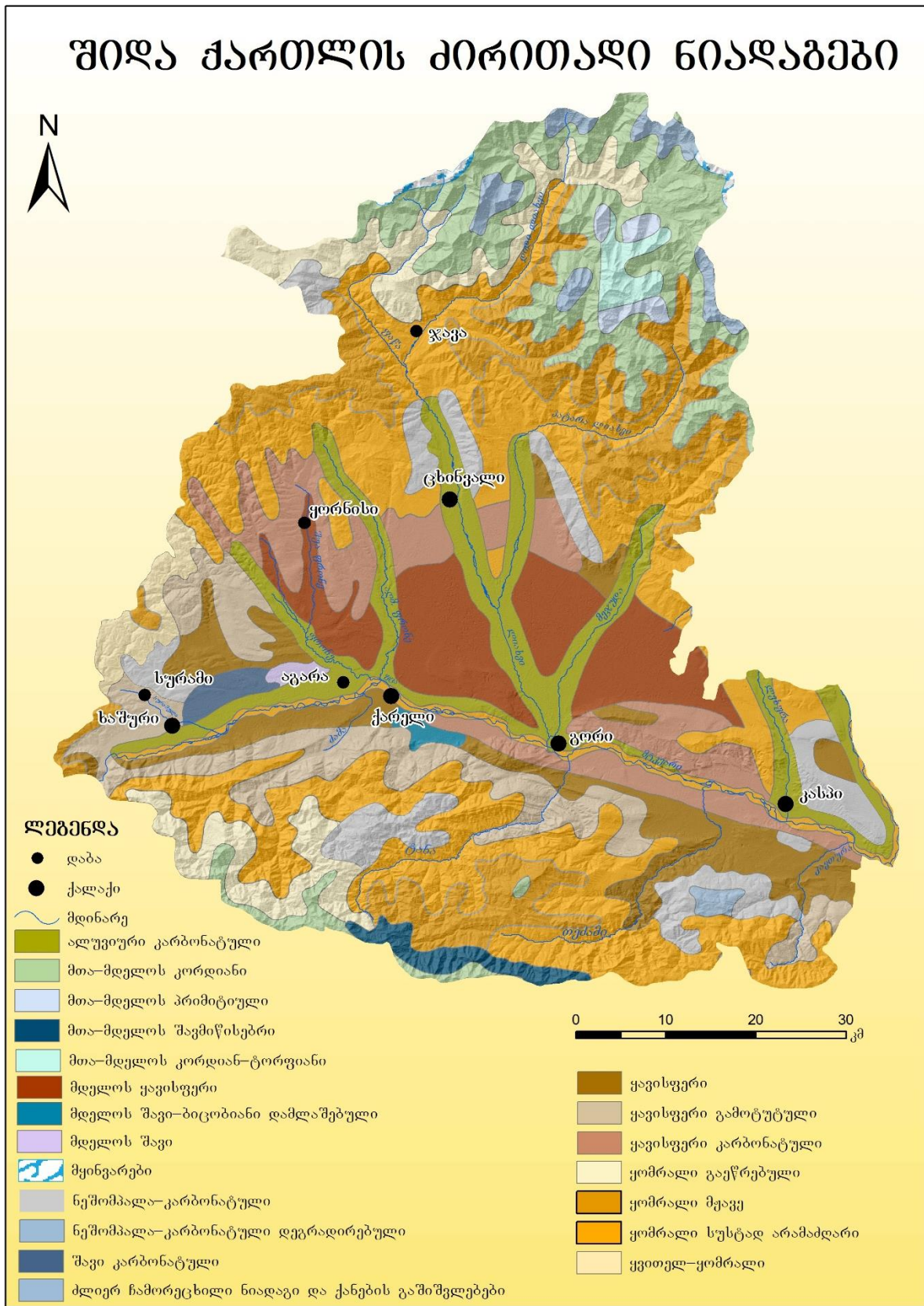
2.6 ნიადაგური საფარი

შიდა ქართლში წარმოდგენილი ნიადაგები დიდი მრავალფეროვნებით გამოირჩევა. აქ წარმოდგენილია:

I. მთიანეთის ნიადაგები

1. მთა-მდელოს პრიმიტიული-*Leptosols*
2. მთა-მდელოს კორდიანი-*Lptosols, cambisols* 3. მთა-მდელოს შავმიწისებრი-*Humic Leptosols*
4. ყომრალი ნიადაგები- *Eutric and Dystric Cambisols*

² მათი არსებობა ადგილობრივ ტოპონიმებშია ასახული, მაგ. სოფ. რუისი.



ნახ. 4. შიდა ქართლის ნიადაგები (ურუშაძე თ., საქართველოს ნიადაგების რუკა 1:500 000)

5. ნეშომპალა-კარბონატული-*Rendzic Leptosols*

II. ბარის ნიადაგები

1. ყვითელ-ყომრალი- *Haplic Acrisols*
2. ყავისფერი ნიადაგები- *Chromic Cambisols*
3. მდელოს შავი- *Gleyic Vertisols*
4. ალუვიური ნიადაგები- *Fluvisols*

I. მთიანეთის ნიადაგები

მთა-მდელოს ნიადაგი ხასიათდება არადიფერენცირებული პროფილით. საქართველოში ეს ნიადაგები საკმაოდ გავრცელებულია. იგი ფართოდაა გავრცელებული კავკასიონისა და ამიერკავკასიის სამხრეთ მთიანეთის სუბალპურ და ალპურ ზონაში, ზღვის დონიდან 1800-2000 მეტრიდან 3200-3500 მეტრამდე. მისი გავრცელების ჰიფსომეტრიული საზღვრები ცვალებადობს ზღვიდან სიშორის, ცალკეული მასივების ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების და ანთროპოგენური ზემოქმედების შესაბამისად (ურუშაძე & ბლუმი, ნიადაგების გეოგრაფია ნიადაგმცოდნეობის საფუძვლებით, 2011). მთა-მდელოს ნიადაგი ძირითადად ხასიათდება მჟავე ან სუსტად მჟავე რეაქციით, მაღალი და ღრმა ჰუმუსირებით. მთა-მდელოს ნიადაგებზე გავრცელებულია სათიბ-სადოვრები (ურუშაძე & ბლუმი, ნიადაგების გეოგრაფია ნიადაგმცოდნეობის საფუძვლებით, 2011). მათგან მთა-მდელოს პრიმიტიულ ნიადაგებზე მწვანე მცენარეები თითქმის არ გვხვდება. აქ დამახასიათებელია მაღალი ტემპერატურული ამპლიტუდა, ამიტომ ნიადაგი წარმოადგენს კლდოვან-ღორღიან წარმონაქმნს, რომელიც ორგანულ ნივთიერებას მეათედი პროცენტის რაოდენობით შეიცავს (გედევანიშვილი & ტალახაძე, 1961).

მთა-მდელოს კორდიანი ნიადაგები ხასიათდება ძლიერი კორდით და ტორფიანობით.

I.3. მთა-მდელოს შავმიწისებრი

შავმიწისებრი ნიადაგები დიდ მასივებით ვრცელდება უძველეს ტერასებზე. შავმიწისებრი ნიადაგების წარმოქმნა-განვითარება მნიშვნელოვანწილად ანთროპოგენური ხასიათისაა და ადამიანის მიერ ტყის ჭრასა და გამოთავისუფლებული ტერიტორიების სასოფლო-სამეურნეო ათვისებასთან არის დაკავშირებული (ტალახაძე, გ; ანჯაფარიძე, ი; ლატარია, ვ; კირვალიძე, რ; მინდელი, კ; ნაკაშიძე, ლ; მინდელი, მ; 1983). ამჟამად ამ ნიადაგების ზოლი გადაქცეულია კულტურულ ნიადაგებად.

I.4. ყომრალი ნიადაგები

საქართველოს ნიადაგურ საფარში დიდი ადგილი უჭირავს ყომრალ ნიადაგებს. მათი გავრცელების საერთო ფართობი შეადგენს ქვეყნის მთელი ტერიტორიის 18.1%-ს. ყომრალი ნიადაგი ხასიათდება არადიფერენცირებული პროფილით. ყომრალი ნიადაგების ზონაში ეროზიული და დენუდაციური პროცესების შედეგად ალაგ-ალაგ პენეპლენირების მოვლენასაც აქვს ადგილი (ურუშაძე თ. , საქართველოს ძირითადი ნიადაგები, 1997).

ყომრალი სუსტად არამადარი ნიადაგი ხასიათდება პროფილის მიხედვით მექანიკური ფრაქციების განაწილებაში უმნიშვნელო არაერთგაროვნებით, მთელი პროფილის სუსტად მჟავე რეაქციით, ჰუმუსის საშუალო შემცველობით და ღრმა ჰუმუსირებით (ურუშაძე & ბლუმი, ნიადაგების გეოგრაფია ნიადაგმცოდნეობის საფუძვლებით, 2011).

ტყის ყომრალი ნიადაგები ყველაზე გავრცელებული ნიადაგის ტიპია საქართველოში. ყომრალ გაეწრებულ ნიადაგებს ლოკალური გავრცელება აქვს. ისინი ფორმირდება სუფთა ნამკნარების ქვეშ. ეს ნიადაგები ჩვეულებრივ ვაკე რელიეფის პირობებში გვხვდება.

ყომრალ ნიადაგებზე არსებული სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებზე ხშირად შეიმჩნევა ეროზიული მოვლენები, სწორედ ამიტომ ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების გატარებას და მაღალი ეფექტის მომცემი კულტურების განლაგებას.

I.5. ნეშომპალა-კარბონატული

ნეშომპალა კარბონატულ ნიადაგებს აღმოსავლეთ საქართველოში შედარებით მცირე გავრცელება აქვს. ამ ნიადაგების წარმოქმნის პროცესისა და თვისებების ხასიათს განსაზღვრავს ქანის ქიმიზმი. კარბონატულობის გამო ქსეროფიტული ბუნების მცენარეულობაა წარმოდგენილი.

II. ბარის ნიადაგები

II.1. ყვითელ-ყომრალი

საქართველოში ამ ნიადაგის ცალკე ტიპად გამოყოფა 1960-იანი წლების ბოლოდან იწყება (ურუშაძე თ. , საქართველოს ტყის ნიადაგები, 1972). ყვითელ-ყომრალი ნიადაგი ხასიათდება კარგად გამოხატული ჰუმუსოვანი და ყვითელ-ყომრალი ილუვიური ჰორიზონტით. მექანიკური შედგენილობით ყვითელ-ყომრალი ნიადაგები მძიმე თიხნარებს წარმოადგენს. ეს ნიადაგები შეიცავს დიდი რაოდენობით ჰუმუსს. ამ ნიადაგის საერთო ფართობი საქართველოში 1.5% შეადგენს (ურუშაძე & ბლუმი, ნიადაგების გეოგრაფია ნიადაგმცოდნეობის საფუძვლებით, 2011). კარგი ფიზიკური თვისებების გამო გააჩნია მაღალი წყალგამტარობის უნარი, რაც თავის მხრივ აისახება ნიადაგის ეროზიული პროცესების შენელება-შემცირებაში. ყვითელ-ყომრალი ნიადაგი ყომრალთან შედარებით უფრო მდიდარია რკინის ნაერთებით. ამ ნიადაგის უმეტესი ნაწილი ტყით არის დაფარული, რომლის ექსპლუატაცია განსაკუთრებული სიფრთხილით უნდა წარმოებდეს, რადგანაც სიხშირის დაწევა ხელს უწყობს მარადმწავნე ქვეტყის ინტენსიურ ზრდას, რაც თავის მხრივ, ახშობს ბუნებრივ განახლებას. დარჩენილი, შედრებით მცირე ფართობი, ათვისებულია მრავალწლიანი კულტურებით, ვენახით, ხეხილით და სხვა (ურუშაძე & ბლუმი, ნიადაგების გეოგრაფია ნიადაგმცოდნეობის საფუძვლებით, 2011).

II.2. ყავისფერი ნიადაგები

ყავისფერი ნიადაგებიდან, რომელიც გავრცელებულია აღმოსავლეთ საქართველოს სუბტროპიკული ტყესტეპის ზონაში, შიდა ქართლში წარმოდგენილია:

გამოტუტულ ყავისფერ ნიადაგებს შედარებით მაღალი ჰიფსომეტრიული მდებარეობა უკავია. მისთვის დამახასიათებელია საკმაოდ მძიმე გრანულომეტრიული შემადგენლობა. გამოტუტული ყავისფერი ნიადაგების ნაწილი სათანადო რელიეფის პირობებში სახნავ-სათესად არის გამოყენებული.

ტიპური ყავისფერი ნიადაგები განვითარებულია შედარებით სუსტად დახრილ და ტერასისებრ ფერდობებზე და დახრილ ვაკეებზე. რელიეფის სუსტი დახრილობა ხელს უწყობს ნიადაგის პროფილში წყლის მოძრაობას და მნიშვნელოვნად ამცირებს ზედაპირზე გადასვლას, აქედან გამომდინარე შემცირებულია ეროზიული პროცესები (ურუშაძე თ. ,

საქართველოს ძირითადი ნიადაგები, 1997). ეს ნიადაგები ძირითადად განვითარებულია ლიოსისებრ თიხნარებზე. გარდა ამისა მის წარმოქმნაში მონაწილეობს პროლუვიური ნაფენები და ღორღიანი მასალისაგან აგებული გამოზიდვის კონუსები. ადამიანის სამეურნეო საქმიანობამ გარკვეული ცვლილებები შეიტანა ამ ნიადაგების წარმოქმნის პროცესში. პირველ რიგში თანდათანობით მოისპო ტყის ბუნებრივი ცენოზები, ამას დაერთო მიწათმოქმედების არასწორი სისტემების გამოყენება, რის შედეგადაც ნიადაგების ნაწილმა განიცადა ჰუმუსის რღვევის პროცესი (ანჯაფარიძე, 1972).

კარბონატულ ყავისფერ ნიადაგებს ზოგადად აღმოსავლეთ საქართველოში საკმაოდ ვრცელი ტერიტორია უკავია. ეს ნიადაგები ხშირად მტკიცე კონტაქტშია ნეშომპალა-კარბონატულ ნიადაგებთან. შიდა ქართლში ასეთი კომპლექსურობა მათ ახასიათებთ რუისის, ხურვალეთის, ერედვის, კავთისხევის და სხვა. მიდამოებში (ანჯაფარიძე, 1972). კარბონატული ყავისფერი ნიადაგების უდიდესი ნაწილი ამჟამად დამუშავებულია, რის გამოც მათ ნაწილობრივ შეცვლილი აქვთ პირვანდელი ნიშან-თვისებები.

II.3. მდელოს შავი

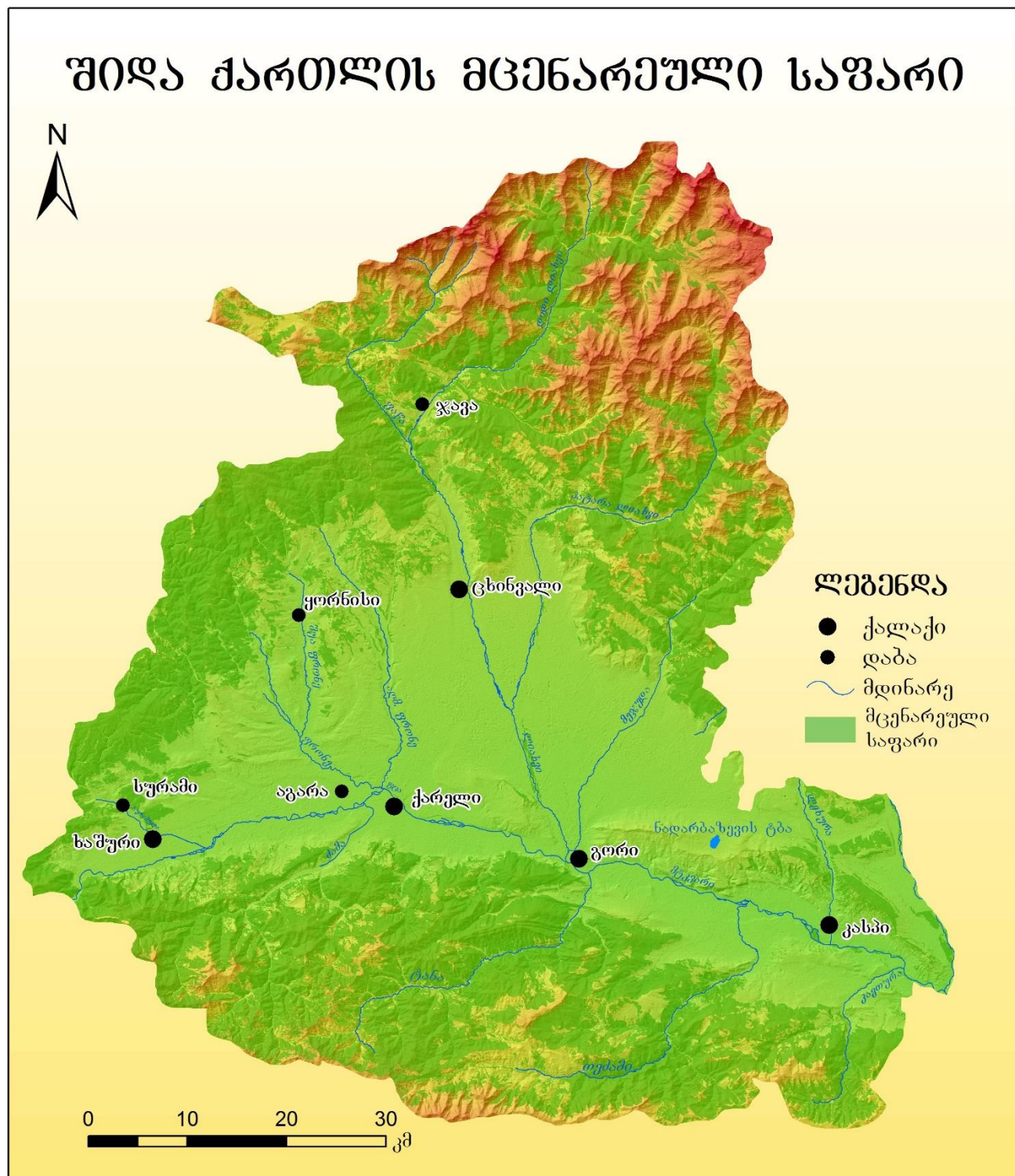
აღნიშნული ნიადაგი ხასიათდება კარგად გამოხატული შავი შეფერილობის ჰუმუსოვანი ჰორიზონტით, მკვრივი და დაწიდული შენებით, კომპოვან-დაკუთხული ან კაკლოვან-პრიზმული სტრუქტურით, კარგად გამოხატული კარბონატულ-ილუვიური ჰორიზონტით, მძიმე მექანიკური შემადგენლობით, პროფილის გათიხებით.

ხელსაყრელი პირობების გამო ამ ნიადაგზე წელიწადში ორი მოსავლის მიღებაა შესაძლებელი, მაგრამ აქ მთავარი პრობლემა მშრალი ზაფხულია. სარწყავი სისტემების გამოყენებისას კი ამ ნიადაგის ერიგაციული ეროზიისაგან დაცვას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს (ურუშაძე & ბლუმი, ნიადაგების გეოგრაფია ნიადაგმცოდნეობის საფუძვლებით, 2011).

II.4. ალუვიური ნიადაგები

ალუვიურ ნიადაგებს საქართველოს ბარში ფართო გავრცელება აქვს. მათი საერთო ფართობი საქართველოში შეადგენს 5%-ს. გორის ვაკისა და მტკვრის ქვედა ტერასები გორსა და ხაშურს შორის უკავია ალუვიური ტიპის სხვადასხვა ნიადაგებს. მათ ორის ყველაზე უფრო ფართო გავრცელებით უძველესი ალუვიური და კარბონატულ ნაცრისფერი ნიადაგები გამოირჩევა, რომელსაც ადგილობრივი მოსახლეობა „ლამს“ უწოდებს. „ლამი“ გავრცელებულია აგრეთვე დიდი ლიახვის დასავლეთითაც. ალუვიური ნიადაგი ხასიათდება რეგულარული დატბორვით და ნიადაგის ზედაპირზე ალუვიონის ახალი შრეების დალექვით. ეს ნიადაგი ხასიათდება ნაირგვარი რეჟიმით და თვისებებით. მათი თვისებები ძირითადად იმ აუზის ბუნებით განისაზღვრება, სადაც ვითარდება (ურუშაძე & ბლუმი, ნიადაგების გეოგრაფია ნიადაგმცოდნეობის საფუძვლებით, 2011). ეს ნიადაგები მეტად მდიდარია ნეშომპალით, რომლის რაოდენობა მის ზედა ჰორიზონტებში 3-4% შეადგენს, ამიტომ მისი უდიდესი ნაწილი ათვისებულია სხვადასხვა კულტურით.

2.7 მცენარეული საფარი



ნახ. 5. თანამედროვე ტყეების ფართობი შიდა ქართლში

შიდა ქართლის მცენარეული საფარი დიდი მრავალფეროვნებით გამოირჩეოდა, განსაკუთრებით ვაკე ნაწილში და მის გარშემო მდებარე წინამთებზე. მართალია, შიდა ქართლის ვაკეზე ლანდშაფტის გაბატონებულ ტიპს კულტურული ლანდშაფტი წარმოადგენს, მაგრამ გარკვეულ უბნებზე შერჩენილი ბუნებრივი მცენარეულობა წარსულის სურათის აღდგენის საშუალებას იძლევა. ზოგადად, ბუნებრივ ტყეებს საქართველოში 2.767300 ჰა ფართობი უკავია, რაც ქვეყნის მთლიანი ტერიტორიის დაახლოებით 38%-ს შეადგენს (ქვაჩაკიძე, 2009) აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკეებზე გავრცელებული იყო ტყე, რომელიც როგორც შემორჩენილი ნაშთებიდან ჩანს, მუხნარებისა და თელნარებისაგან იყო შექმნილი. გარდა დასახელებული ჯიშებისა, მნიშვნელოვანი იყო იფანი, ნეკერჩხალი, პანტა, მაჟალო. XX საუკუნის 20-იან წლებში კასპის აღმოსავლეთით, შიმშილას მიდამოებში ჯერ კიდევ არსებობდა ვაკის ტყის პატარა კორომები. ამჟამად ამ ტყის მხოლოდ მცირე ნაშთებიღაა შემორჩენილი, კერძოდ, ლიახვის ხეობაში, სოფ. სოფ. გომისა და ოსიაურის მიდამოებში (კეცხოველი, 1959). ვაკის ტყის ადგილას ახლა წარმოდგენილია სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები, ხოლო ხირხატ ნიადაგებზე დღემდე შემორჩა ჯაგეკლიანი ან ძეძვიანი ველი. დიდი ლიახვის ხეობაში გავრცელებულია წიფლნარი წყავიანი ტყეები მეტწილად, სამხრეთის და აღმოსავლეთის ექსპოზიციის სხვადასხვა დახრილობის ფერდობებზე (ქვაჩაკიძე, 2009).

უროიანი მცენარეულობა განხილულ რეგიონში დაბალ საფეხურზე, დაახლოებით 500მ სიმაღლეზე ვრცელდება. ნახევარსტეპი წარმოდგენილია უმთავრესად ეფემერული აბზიანდიანებით. მეჩხერი ტყე აქ წარმოდგენილია ღვინებით, რომელიც სხვადასხვა სახის ღვინებისაგან შედგება და უმთავრესად რეგიონის აღმოსავლეთ ნაწილში გვხვდება. აქ ყველაზე უფრო ფართო გავრცელებით ფოთლოვანი მეჩხერი ტყე სარგებლობს, რომელიც მუხნარ-რცხილნარ ტყეებს ესაზღვრება. აქ გვხვდება შერეული სახის კორომები სხვადასხვა ჯიშის ფართოფოთლოვანებისაგან, როგორიცაა აკაკი, ქართული ნეკერჩხალი და სხვა.

მეჩხერი ტყე ჩვეულებრივ დიფუზურად ან კომპლექსურად ვრცელდება ძეძვიანებთან, უმთავრესად ძეძვიან ან სხვა სახის ბუჩქნარებთან.

შიდა ქართლის ვაკეზე, მტკვრის ხეობაში, დიდი და პატარა ლიახვის, ფცის, ფრონეს, ძამას, თეძამის ხეობებში ცალკეული კორომების სახით ჯერ კიდევ შერჩენილია ჭალის ტყეები, რომელიც ადრე ბუნებრივ ლანდშაფტს ქმნიდა გორის ვაკეზე და მთებში ღრმად იყო შეჭრილი, მაგ. პატარა ლიახვზე სოფ. ბულოთამდე, დიდ ლიახვზე სოფ. კეხვამდე. ამ ტყეებისათვის მთავარი დამახასიათებელი ჯიშებია: ვერხვი, ხვალო, მურყანი, ტირიფი, შედარებით მშრალ ადგილებში ჭალის მუხა და ჭალის თელა, ქვეტყეში კი მრავლადაა კუნელი, ქაცვი (კეცხოველი, 1959). საინტერესოა ის ფაქტი რომ, ჭალის მუხა და ჭალის თელა ვაკის ფარგლებს იშვიათად სცილდება და შესაბამისად ეს ტყეები თითქმის მთლიანად მოისპო. ეს ტყეები ძირითადად შექმნილია მუხით, თელით და სასნოვსკის ალვის ხით. მდინარე მტკვრის შენაკადების ჭალებში, რომელიც იგივე მუხისა და თელისაგან შედგება დამახასიათებელია ალვის ხე, სხვადასხვა სახის ტირიფი და სხვა.

შიდა ქართლის ვაკეზე ტიპურია ჯაგეკლიანი ველი და მასში გაბატონებულია ძეძვი, შავჯაგა, ქართული ნუში, მენახირის ბალი და სხვ.

მდელოს მცენარეულობა საქართველოში ფართოდაა გავრცელებული. საერთო ფართობით იგი მხოლოდ ტყეს ჩამოუვარდება. მდელოების 5თანამედროვე პოზიციები

ერთობ მოკრძალებულია საქართველოს ბარში, სადაც მდელის მცენარეულობის პოტენციური ადგილსამყოფელის დიდ უმეტესობა დღევანდელი სახნავ-სათესი მიწები, მრავალწლოვანი ნარგავები ან ინფრასტრუქტურის ობიექტებია (ქვაჩაკიძე, 2009).

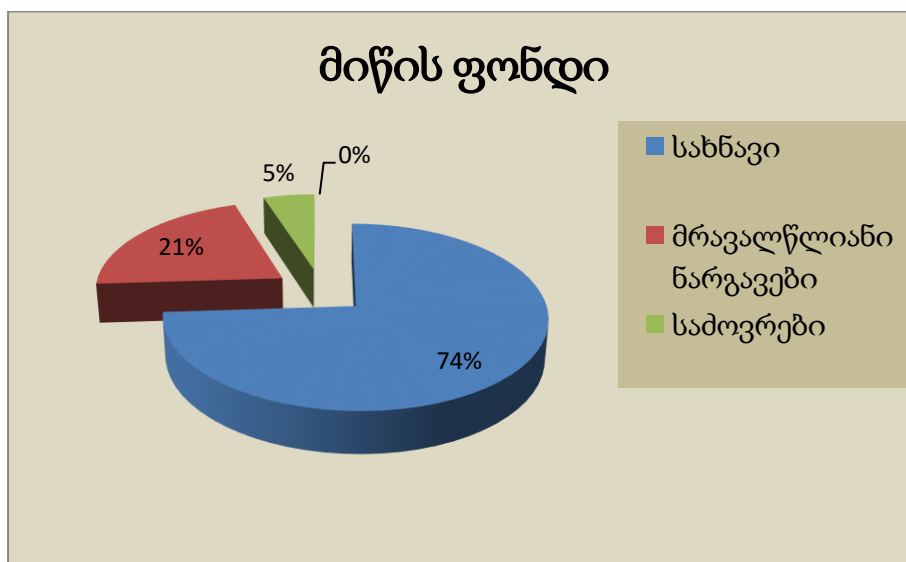
სტეპები (მცენარეულობის ტიპი) აერთიანებს ფიტოცენოზებს (მცენარეულ თანასაზოგადოებებს), რომელთა დომინანტ-ედიფიკატორები მრავალწლოვანი კორდის შემქმნელი ბალახოვანი მცენარეებია. მათი უმეტესობა დამკორდებელი მარცვლოვნებია. საქართველოში სტეპის მცენარეულობა გავრცელებულია ყველაზე მშრალ რეგიონებში. შიდა ქართლში კი უმეტესად პლაკორულ რელიეფზე, ასევე სერებისა და მთისწინების ფერდობებზეც. სტეპის ცენოზები განვითარებულია, უმეტესად, შავმიწა, წაბლა და ყავისფერი ნიადაგების სხვადასხვა ვარია ნტებზე, გვხვდება ღორღიან და პრიმიტიულ ნიადაგებზეც. საქართველოში - ბარში და მთაშიც, სტეპები მეორეული მცენარეულობაა. ლიტერატურაში არსებული ინფორმაციების ანალიზი ცხადყოფს, რომ სტეპების ცენოზების ჩამოყალიბება კავშირშია ქსეროფილური და მეზოქსეროფილური ტყეების (საკმლ ის ხიანები, ღვიიანები, ქართული და მაღალმთის მუხების მუხნარები და სხვ.) ანთროპოგენურ დიგრესიასთან (ქვაჩაკიძე, 2009).

2.8 მიწათსარგებლობა

ქვეყნის ეკონომიკაში წამყვან როლს სოფლის მეურნეობა თამაშობს. სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს 3.02 მლნ ჰა უკავია, რაც ქვეყნის მთელი ტერიტორიის 43.1 %-ია, მათ შორის 1.1 მლნ ჰა მრავალწლიან კულტურებზე მოდის, 0.14 მლნ ჰა ეთწლოვან კულტურებზე და 1.78 მლნ ჰა საძოვრებზე. სარწყავი მიწები მოიცავს 460 000 ჰა-ს (Kreselidze, Machavariani, Kalandadze, & Trapaidze, 2013).

შიდა ქართლის მთლიანი მიწის ფართობი 69,425 ჰა-ს შეადგენს (Shida Kartli Regional Development Strategy 2014-2021, 2013), აქედან 66,237, ჰა (95,4%) სასოფლო-სამეურნეო მიწებს უკავია, რომელიც შემდეგნაირად ნაწილდება: 74%-სახნავი, 21%-მრავალწლიანი ნარგავები, 5%-ბალახი და საძოვრები (ნახ. 6).

ნახ. 6. მიწის ფონდის განაწილება შიდა ქართლში



დღევანდელი მონაცემებით შიდა ქართლში სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობები მუნიციპალიტეტების მიხედვით შემდგენიარად არის განაწილებული (ცხრ. 5):

ცხრილი 4. სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების მიერ დაკავებული ფართობი (%)
მუნიციპალიტეტების მიხედვით

მუნიციპალიტეტი	სასოფლო-სამეურნეო სავარგული (%)
გორის	32.5
ხაშურის	43.2
ქარელის	48
კასპის	57

ცხრილიდანაც ჩანს, რომ სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს ტერიტორიის ყველაზე დიდი ნაწილი კასპის მუნიციპალიტეტში უკავია, ყველაზე მცირე კი გორის მუნიციპალიტეტში.

თავი III. შიდა ქართლში ნიადაგის წლიური დანაკარგის შეფასება ე.წ. ნიადაგის დაკარგვის უნივერსალური გაერთიანებული განტოლების (RUSLE) საფუძველზე

3.1 ეროზიის გამომწვევი ფაქტორების ზოგადი ანალიზი

ნიადაგის ეროზია რთული და მრავალმხრივი პროცესია. მის წარმოშობასა და განვითარებას განაპირობებს როგორც ბუნებრივი, ისე ანთროპოგენური ფაქტორები.

მთიანი, ძლიერ დანაწევრებული რელიეფი, საქართველოს კლიმატური პირობები, განსაკუთრებით გაზაფხულისათვის დამახასიათებელი ხშირი კოკისპირული წვიმები, ნიადაგის ფიზიკური პირობები, მცენარეული საფარი და ხშირ შემთხვევაში არასწორი სამეურნეო მოქმედება (ტყეების ჭრა, ფერდობების არასწორი დამუშავება, საძოვრების გადატვირთვა და სხვა) ხელს უწყობს წყლისმიერი ეროზიის ინტენსიურ განვითარებას. შედეგად ირეცხება ნიადაგის ზედა ფენა, მცირდება ბუნებრივი ნაყოფიერება და შესაბამისად მცირდება სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობა და გარკვეული დროის განმავლობაში ეროზიული პროცესების ზემოქმედების შედეგად ნიადაგი ხდება უფარვის სასოფლო-სამეურნეო წარმოებისათვის. აღმოსავლეთ საქართველოში ნიადაგის ზედა ნაყოფიერი ფენის წლიური დანაკარგი ზოგიერთ სახნავ ნაკვეთზე 100-120 ტონა და

ზოგჯერ მეტსაც შეადგენს ერთი ჰექტარიდან (მაჭავარიანი ვ. , 1972).



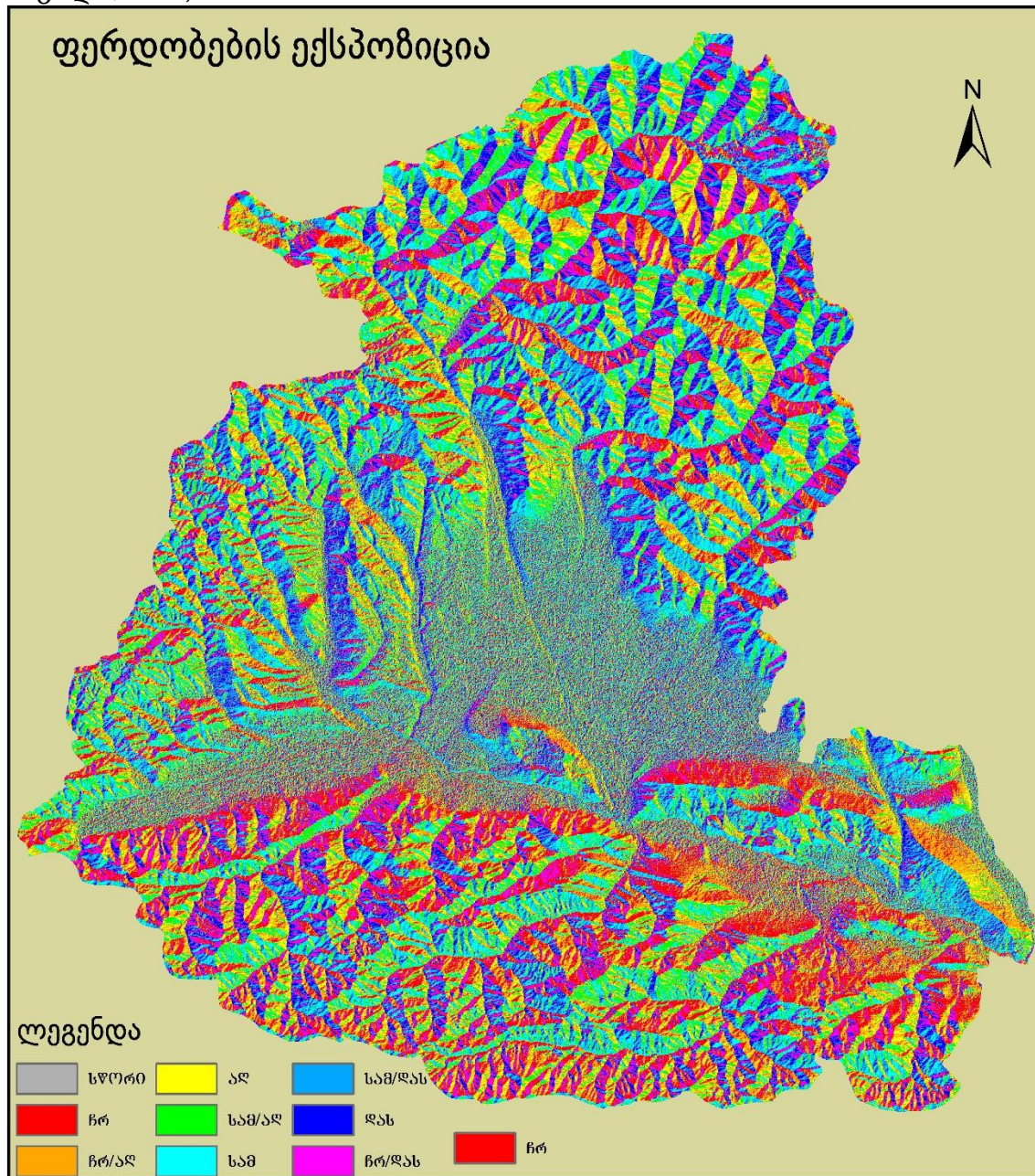
ნახ. 7. ფერდობების ექსპოზიციის განაწილება პროცენტულად

ადგილმდებარეობას და ზედაპირის ხასიათს ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს საკუთრივ ნიადაგის წარმოქმნისათვის. რაც მეტია ფერდობების დახრილობა, მით უფრო ნაკლებია

ნიადაგების სისქე, უფრო მეტია ნაშალი

და გადარეცხილი ნიადაგი. ვ. ამბოკაძე ატენის ხეობაში 35.000 ჰექტარი ფართობიდან აღნიშნავს 50%-მდე ჩამორეცხილი ნიადაგისა და ნაშალის არსებობას (ამბოკაძე, 1955). ეროზიის განვითარებაში აგრეთვე დიდი მნიშვნელობა აქვს ფერდობების ექსპოზიციას. ჩრდილოეთის ფერდობები ხასიათდება უფრო ტენიანი კლიმატით, ნაკლები აორთქლებით, ხშირი მცენარეულობით და მცენარეულობის მაღალი პროექციული დაფარულობით, ხოლო სამხრეთისა უფრო მშრალი კლიმატით, სითბოსმოყვარული

მეჩხერი მცენარეულობით და დაბალი პროექციული დაფარულობით (დორჯომელაძე, გოგიჩაიშვილი, & თურმანიძე, 2009), ამასთან, სამხრეთის ექსპოზიციის ფერდობები უფრო მეტად განიცდის გამოფიტვის პროცესებს და ნიადაგის სწრაფად გადარეცხვასაც (ტარასაშვილი, 1953).

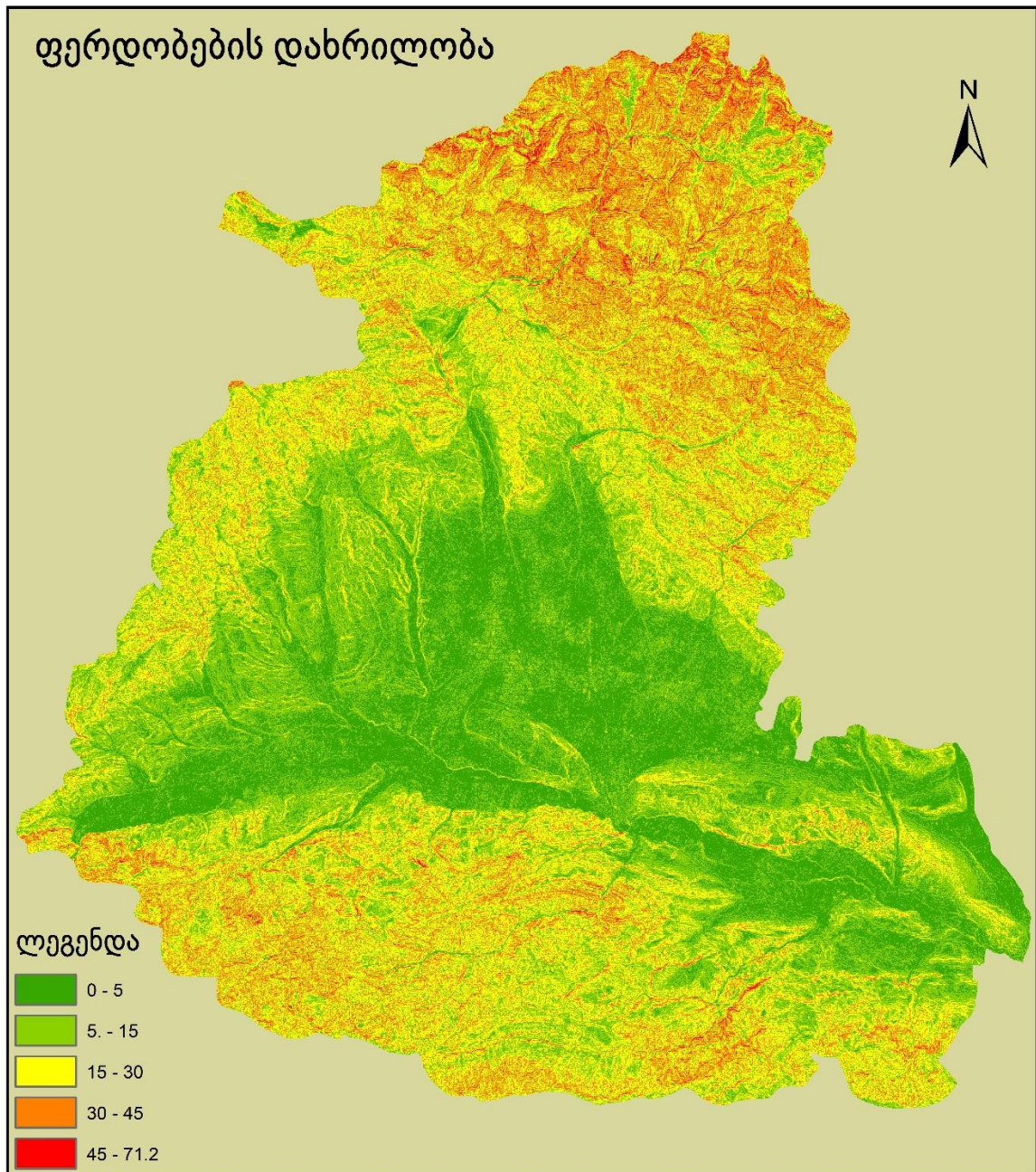


ნახ. 8. ფერდობების ექსპოზიცია

იმისათვის რომ გავარკვიოთ თუ რა გავლენას მოხდენა შეუძლია ზემოთხსენებულ ფაქტორებს უშუალოდ შიდა ქართლში, საჭიროა საკვლევი რეგიონის რელიეფის მორფომეტრიული ანალიზი. ქვემოთ წარმოდგენილ რუკაზე ნაჩვენებია ფერდობების განაწილება ექსპოზიციის მიხედვით (ნახ. 8) მე-7 ნახაზზე კი წარმოდგენილია

ექსპოზიციითა პროცენტული განაწილება. აქ კარგად ჩანს, რომ რეგიონში სამხრეთი ექსპოზიციის ფერდობებს დაახლოებით 15% უკავია.

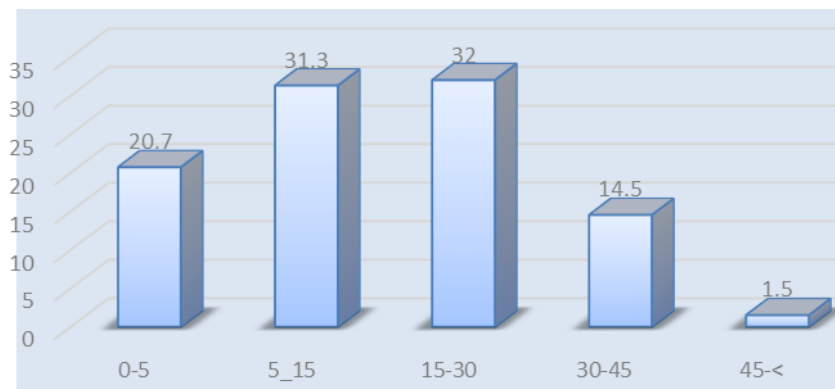
ჩვენი ქვეყნის ტერიტორია ხასიათდება რთული და დანაწევრებული რელიეფით, მკვეთრად გამოხატული ვერტიკალური ზონალობით. დამახასიათებელი ნიშან-თვისებაა ისიც, რომ სავარგულების დიდი ნაწილი განლაგებულია სხვადასხვა დახრილობის მქონე ფერდობებზე. სახნავ მიწებს, რომელიც განლაგებულია 3⁰ და მეტი დახრილობის ფერდობებზე გააჩნია მიდრეკილება წყლისმიერი ეროზიისადმი და საჭიროებს კომპლექსურ ნიადაგდაცვით ღონისძიებებს (Мдинараძე, მачავარიანი, & Хунდაძე, 1988).



ნახ. 9. ფერდობების დახრილობა გრადუსებში

ეროზიაზე მსჯელობისას უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება რელიეფის სირთულეს და დანაწევრების ხარისხს. უმთავრესი კი არის ფერდობების დახრილობა. ცნობილია, რომ რაც უფრო მეტადაა დახრილი ფერდობი, მით უფრო ნაკლები წყლის დაკავების უნარი აქვს მას, და შესაბამისად იზრდება ზედაპირული ჩამონადენიც.

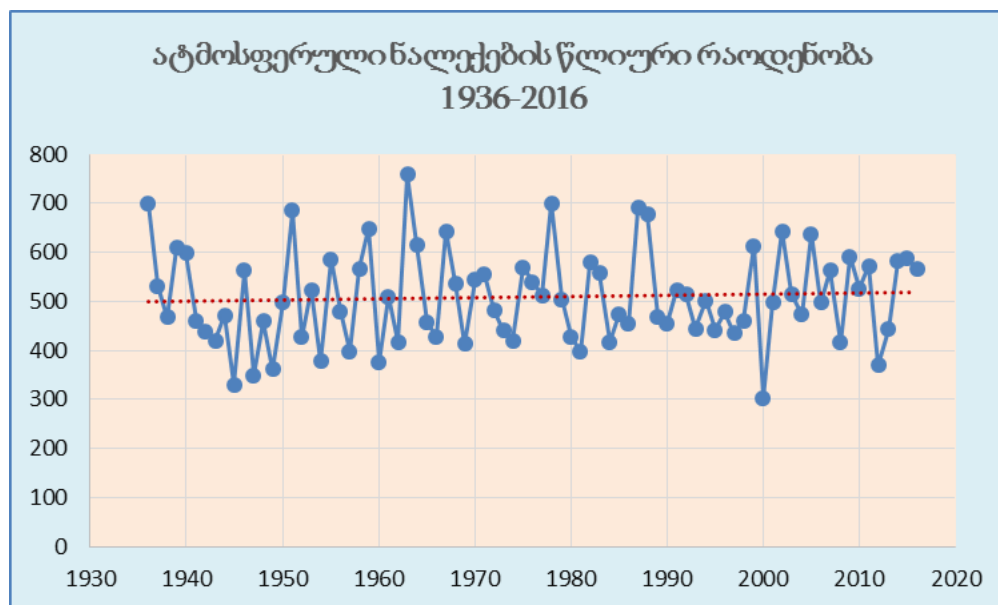
ჩატარებულმა გამოთვლებმა გვაჩვენა, რომ საკვლევ რეგიონში ყველაზე მაღალი პროცენტული მაჩვენებელი (32%) უჭირავს 15-30° დახრილობის ფერდობებს, რომელსაც მცირედით ჩამორჩება (31.3%) 5-15° დახრილობის ფერდობები (ნახ. 10) მიღებული შედეგები გვიჩვენებს, რომ შიდა ქართლის რელიეფი საკმაოდ მგრძნობიარეა ეროზიული პროცესების მიმართ. მე-9 ნახაზზე სწორედ ფერდობების დახრილობის რასტრული გამოსახულებაა ნაჩვენები.



ნახ. 10. ფერდობების დახრილობების (გრადუსებში) განაწილება პროცენტულად

ატმოსფერული ნალექები, რელიეფთან ერთად, წარმოადგენს ზედაპირული ჩამონადენის უშუალო მიზეზს, ხოლო ეს უკანასკნელი იწვევს ეროზიულ პროცესებს. საქვეყნოდ ცნობილია, რომ ზედაპირული ჩამონადენი წარმოიქმნება მაშინ, თუ ატმოსფერული ნალექების მოსვლის სისწრაფე აჭარბებს ნიადაგში წყლის ჩაქონვის სისწრაფეს. ამიტომ ატმოსფერული ნალექების სიხშირე და განსაკუთრებით ინტენსივობა წარმოადგენს ნიადაგის ეროზიის გამომწვევ ერთ-ერთ მთავარ ფაქტორს. მცირე სიძლიერის წვიმის დროს ნიადაგის ჩამორეცხვას ან სულ არ აქვს ადგილი, ან უმნიშვნელოა. დადგენილია, რომ 0.5° დახრილობის მქონე ფერდობზეც შეიძლება მნიშვნელოვნად ჩამორეცხოს ნიადაგი, თუ ინტენსიური წვიმაა (ამბოკაძე, 1955).

ფერდობებიდან ჩამონადენი წყლის ზედაპირული ნაკადებით და ნიადაგის ჩამორეცხვით ყოველწლიურად იკარგება არამარტო ნიადაგში არსებული, არამედ ნაკვეთში ხელოვნურად, განოყიერების მიზნით შეტანილი სასუქებიც, როგორც მინერალური ისე ორგანული და ასევე შხამქიმიკატები, რომლებიც აგროწესების თანახმად ყოველწლიურად საკმაოდ დიდი რაოდენობით გამოიყენება. ამ მიმართულებით ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ ზოგჯერ შეტანილი სასუქების 10-30% იკარგება თქეში წვიმებისა და ფერდობებზე ნიადაგის ეროზიის გამო. (ლორჯოშელაძე, გოგიჩაიშვილი, & თურმანიძე, 2009)



ნახ. 11. ატმოსფერული ნალექების წლიური რაოდენობა სადგურ გორისთვის (1936-2016)

აქედან გამომდინარე, რაც უფრო ხშირი და ინტენსიურია წვიმები (ფოტო 7), განსაკუთრებით, წლის იმ პერიოდში, როდესაც მიმდინარეობს ნიადაგის გამაფხვიერებელი სამუშაოები, მით უფრო ძლიერია ნიადაგის ჩამორეცხვა, ასეთ პირობებში ნიადაგის ჩამორეცხვა წარმოებს მცირე დახრილობის მქონე ფერდობებზეც (ბრეგვაძე, 1952).

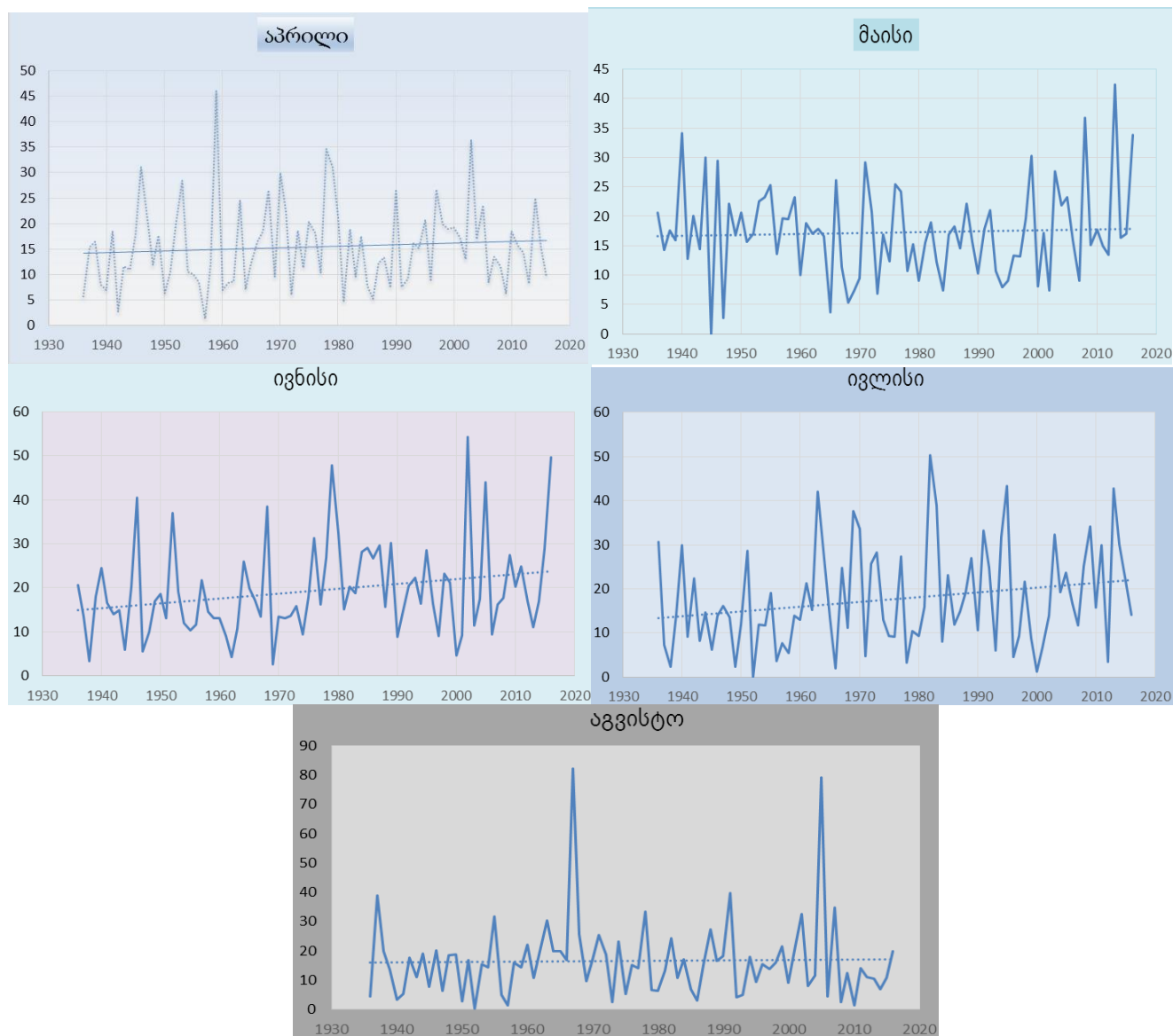
ნალექების სიხშირესა და ინტენსივობასთან ერთად ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს წვიმების ხანგრძლივობასაც. ამრიგად, ატმოსფერული ნალექების საერთო წლიური რაოდენობა არ თამაშობს ისეთ დიდ როლს ნიადაგის ეროზიული პროცესებში, როგორც ნალექების სიხშირე, ხანგრძლივობა და შესაბამისად ინტენსივობა.



ფოტო 7. მაისის თავსხმა წვიმა

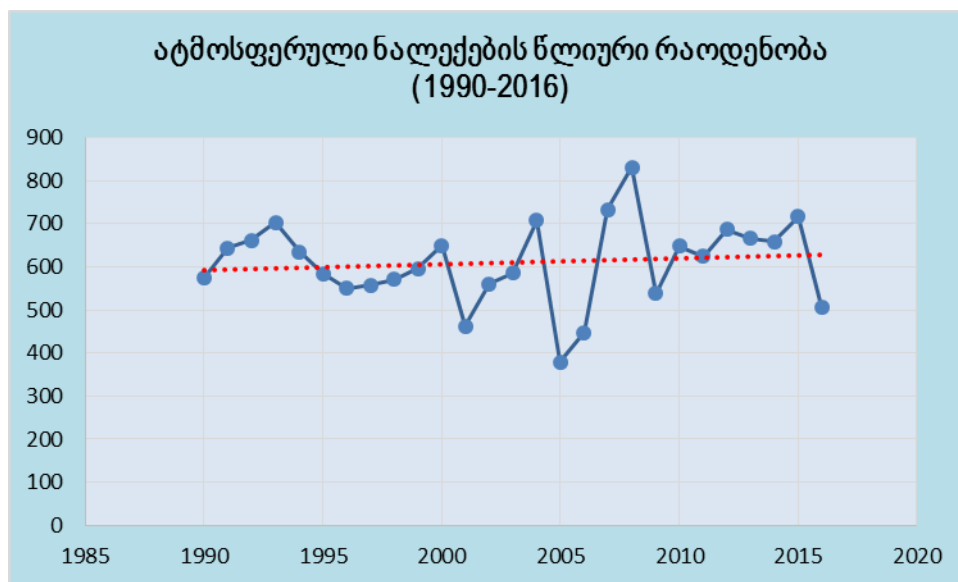
აღმოსავლეთ საქართველოში მოსული ნალექების წლიური ჯამი შეადგენს: დაბლობ ადგილებში 400-500მმ, მთისწინებში 500-800მმ, ხოლო მთიან ზონაში 500-1150მმ. ნალექების დიდი ნაწილი მოდის გაზაფხული-ზაფხულის პერიოდში და თან კოკისპირული ხასიათისაა, რომლის ინტენსივობა შეადგენს 1-2მმ/წთ, რაც ხელსაყრელ პირობებს ქმნის წყლისმიერი ეროზიის აქტიური განვითარებისათვის (ნახ. 11).

აღმოსავლეთ საქართველოში სტეპისა და ტყის ზონის საზღვარზე ატმოსფერული ნალექები ეროზიული პოტენციალი 1963-1990 წლებში 20-75%-ით უფრო მაღალია ვიდრე იგივე მაჩვენებელი 1936-1963 წლებში (Гогичаишвили, Ерозионный Потенциал Осадков в Грузии и его Оценка в Связи с Изменением Климата, 2004).



ნახ. 12. თვიური მაქსიმუმების განაწილება სადგურ გორისათვის (1936-2016)

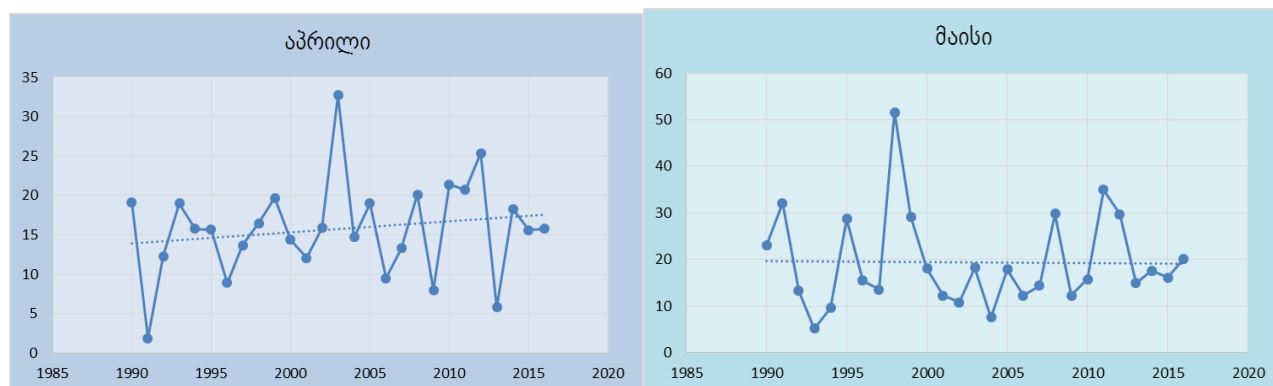
წინამდებარე კვლევისათვის დამუშავდა 1284 თვის ნალექების ყოველდღიური მონაცემი, აქედან 1936-2016 წლის რიგი სადგურ გორისთვის (ზ.დ 594 მ) და 1990-2016 წლების რიგი სადგურ ხაშურისთვის (ზ.დ. 690 მ). გამონაკლისია 1945 წლის მაისი და ოქტომბერი, 1992 წლის ოქტომბერი და 1993 წლის მარტი სადგურ გორის შემთხვევაში ანუ ის თვეები, სადაც რიცხვითი მონაცემები საერთოდ არ არსებობს.

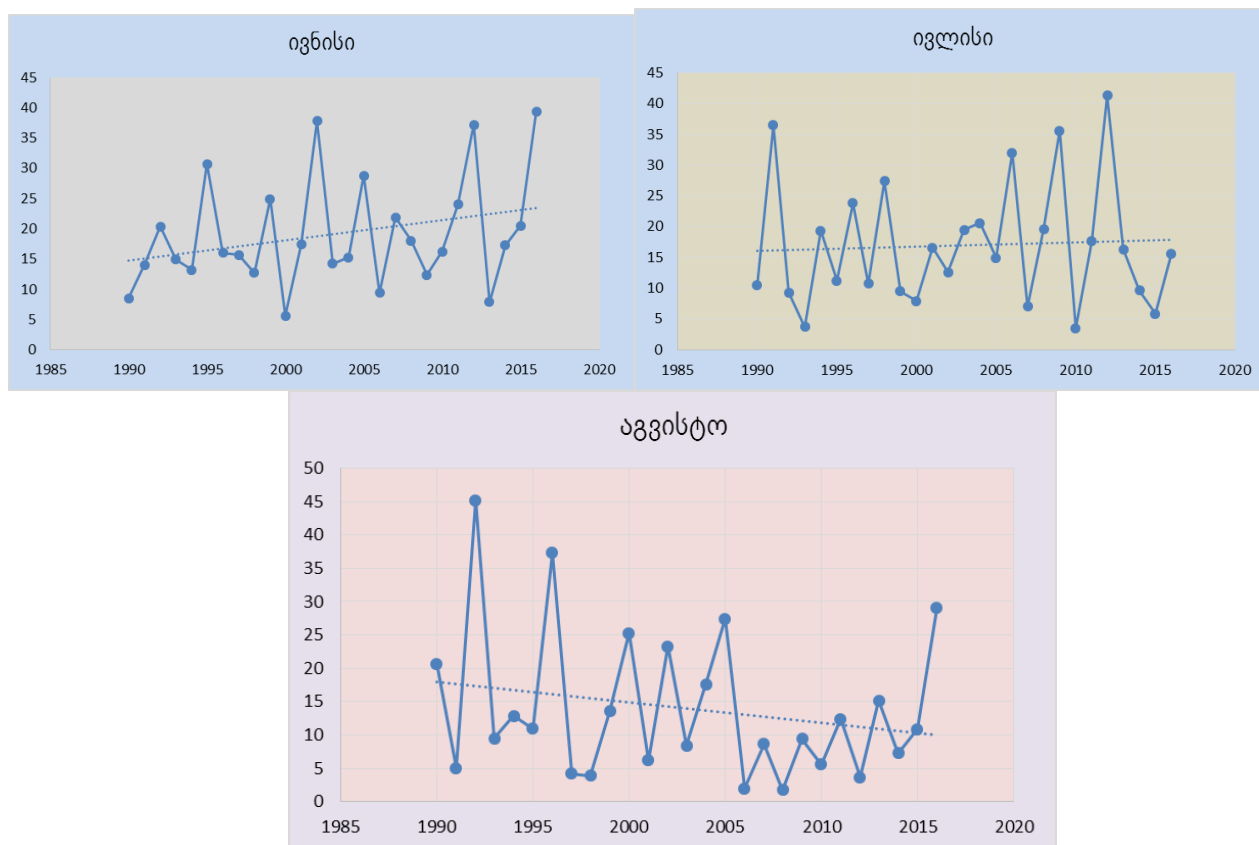


ნახ. 13. ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა სადგურ ხაშურისთვის (1990-2016)

ჩვენ ხელთ არსებული მონაცემების გაანალიზების შედეგებმა აჩვენა, რომ 1936 წლიდან 2016 წლის ჩათვლით სადგურ გორისთვის ნალექების წლიური რაოდენობა არ იცვლება და სტაბილურია (ნახ. 11). იგივე ტენდენციაა შენარჩუნებული სადგურ ხაშურისთვისაც, სადაც 1990-2016 წლების მონაცემების გაანალიზებამ აჩვენა, რომ აღინიშნება ნალექების წლიური რაოდენობის მცირედით ზრდის ტენდენცია (ნახ. 13).

ჩვენ შემთხვევაში ასევე ძალზე საინტერესო იყო გაგვეგო შეიცვალა თუ არა ერთ დღეში მოსული ნალექების მაქსიმალური რაოდენობა. ამ შემთხვევაშიც გავაანალიზეთ ორი მეტეოსადგურის-გორისა და ხაშურის მონაცემები აპრილიდან აგვისტოს ჩათვლით. გორის შემთხვევაში ეს იგივე 1936-2016 წლების რიგი იყო, ხოლო ხაშურისათვის 1990-2016 წლების მონაცემები. მიღებული შედეგებიდან კარგად ჩანს, რომ გორის თვიური მაქსიმუმი იზრდება, განსაკუთრებით ივნისსა და ივლისში (ნახ. 12).



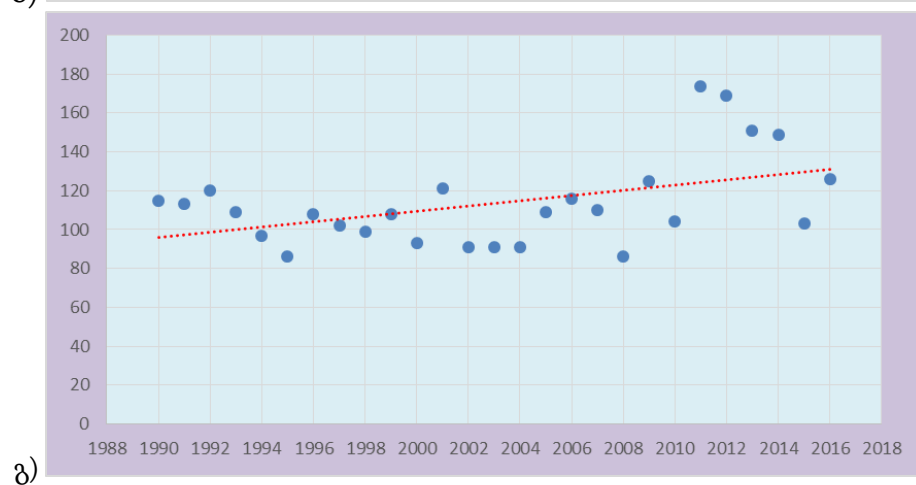
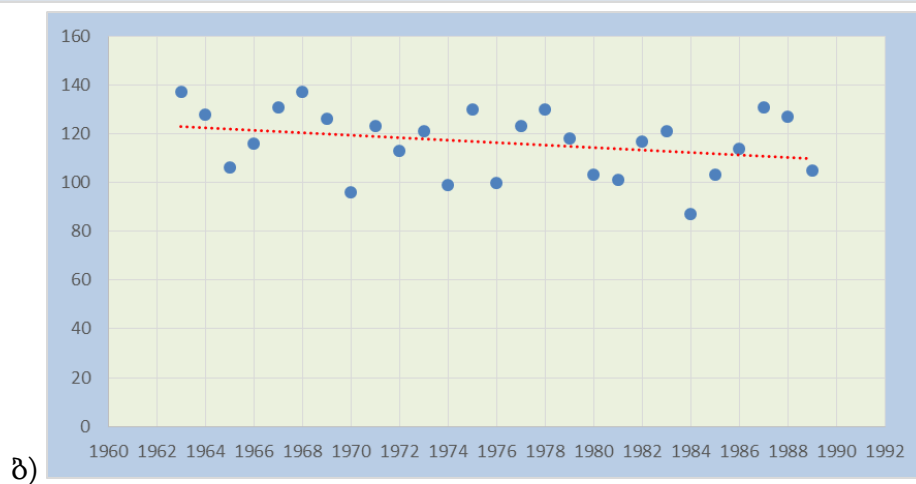
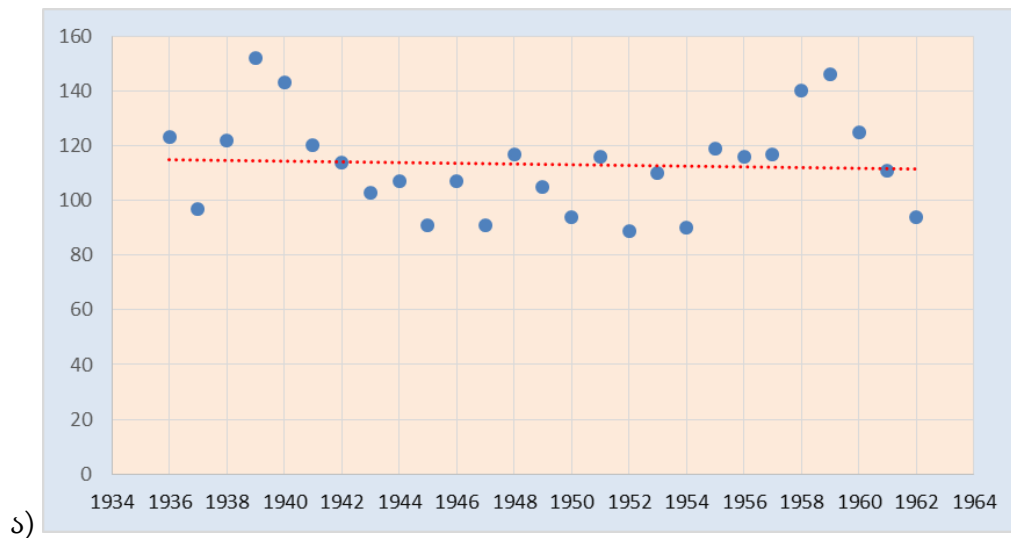


ნახ. 14. თვიური მაქსიმუმების განაწილება სადგურ ხაშურისთვის (1990-2016)

რაც შეეხება ხაშურს, ამ შემთხვევაში თვიური მაქსიმუმების ზრდა გვაქვს აპრილსა და ივნისში, აგვისტოში კი პირიქით კლება (ნახ. 14).

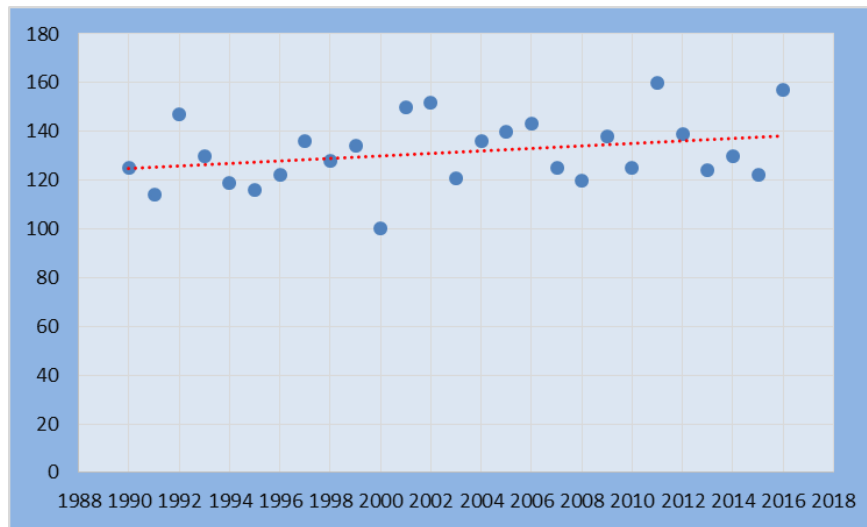
ასევე დავინტერესდით თუ როგორ იცვლება ნალექიან დღეთა რაოდენობა საკვლევი პერიოდების მიხედვით (საკვლევი პერიოდები ამ შემთხვევაშიც ორივე სადგურისათვის იგივეა).

როგორც გრაფიკიდან (ნახ. 15) ჩანს, სადგურ გორისთვის პირველ პერიოდში ნალექიან დღეთა მცირედით შემცირებას აქვს ადგილი, მეორე პერიოდისთვის ეს შემცირება უფრო თვალში საცემია, ხოლო მესამე პერიოდისთვის უკვე მატებას აქვს ადგილი.



ნახ. 15. ნალექიან დღეთა რაოდენობა სადგურ გორისთვის: ა) 1936-1962; ბ) 1963-1989; გ) 1990-2016

სადგურ ხაშურის შემთხვევაშიც 1990-2016 წლების პერიოდისთვის ნალექიან დღეთა რაოდენობის ზრდასთან გვაქვს საქმე (ნახ. 16).



ნახ. 16. ნალექიან დღეთა რაოდენობა სადგურ ხაშურისთვის

წყლისმიერი ეროზიის შედეგად აღმოსავლეთ საქართველოს სხვადასხვა ნიადაგურ-კლიმატურ პირობებში ნიადაგის ზედა ფენის დანაკარგი საშუალოდ შეადგენს 50-90 ტ/ჰა (Мдинараძე, მაცაყარიანი, & ჟუნდაძე, 1988).

მთელი რიგი ცდებისა და დაკვირვებების შედეგად დადასტურებულია რომ ერთნაირი ნალექების, რელიეფის, მცენარეული საფარის და სასოფლო-სამეურნეო გამოყენების პირობებში სხვადასხვა ნიადაგი განსხვავებულადაა ეროზირებული. ეს დამოკიდებულია:

1. ნიადაგის წყალგამტარობის უნარზე (კარგი წყალგამტარობის მქონე ნიადაგი ნაკლებად, ხოლო მცირე წყალგამტარობის მქონე ნიადაგი მეტადაა ეროზირებული)

2. მიმდებარე ნიადაგი უფრო მეტად განიცდის გადარეცხვას ვიდრე მსუბუქი მექანიკური შედგენილობის ნიადაგები

3. დიდი მნიშვნელობა აქვს ორგანული ნივთიერებების რაოდენობას ნიადაგებში.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ აღმოსავლეთ საქართველოს ნიადაგები ა. პეტროვის გრადაციის მიხედვით, ძირითადად, სუსტად და საშუალოდ დაქვიანებულს მიეკუთვნება. დაქვიანება ხელს უშლის ნიადაგის ნორმალური დამუშავების პროცესს და აუარესებს აგროტექნიკურ ფონს (თვალავაძე, მარდალეიშვილი, & მარდალეიშვილი, 2008), თუმცა იცავს ნიადაგს ეროზიისაგან.

მართალია, გასული საუკუნის 60-იან წლებში ჩატარდა საქართველოს ნიადაგების მსხვილმასშტაბიანი გამოკვლევები, მაგრამ სახნავებში ეტალონური პროფილის ნიადაგის შერჩევის პრობლემა მეტად აქტუალური და მწელად განსახორციელებელია. აქედან გამომდინარე ნიადაგის ეროზირების ხარისხის დადგენა გარკვეულ სიმკვრივით არის დაკავშირებული (გოგიჩაიშვილი გ. , ღორჯომელაძე, თურმანიძე, & ღორჯომელაძე, 2011).

ყველა მკვლევარი, რომელსაც მუშაობა უხდებოდა ნიადაგის ეროზიის საკითხებზე, ერთხმად თანხმდება მცენარეული საფარის უზარმაზარ როლზე ნიადაგის ეროზიის წინააღმდეგ ბრძოლაში.

მცენარეული საფარის გავლენის დადებითი როლი, პირველ რიგში, მდგომარეობს იმაში, რომ მცენარეთა ვარჯები იკავებს ატმოსფერული ნალექების მნიშვნელოვან ნაწილს,

რაც ნიადაგს იცავს წვიმის წყლის პირდაპირი დარტყმისაგან, ამას გარდა ეწინააღმდეგება წვიმის წყლის პირდაპირ ჩამონადენს ფერდობებზე, რითაც ნიადაგი იღებს წყლის მეტ რაოდენობას, ხოლო ამით მცირდება ზედაპირული ჩამონადენი. მცენარეულობა დიდ როლს თამაშობს ნიადაგის ჰუმუსიანი ფენის შექმნაში, ხოლო ჰუმუსით მდიდარი ნიადაგი ეროზიული პროცესებისადმი მეტი მდგრადობით გამოირჩევა, რადგან ხასიათდება მტკიცე სტრუქტურით. მცენარეულობით დაფარული ნიადაგი, ცხელ ამინდებში მზის სხივების გავლენით უფრო ნაკლებად განიცდის გამოშრობას, ვიდრე მცენარეულობისაგან შიშველი ნიადაგი, ხოლო ნიადაგის ხშირი და ძლიერი გამოშრობა ხელს უწყობს მის გამტვერეობას, რაც თავის მხრივ ხელს უწყობს ეროზიული პროცესების განვითარებას. გარდა აღნიშნული თვისებისა, მცენარეულობის ნარჩენები დიდი რაოდენობით შთანთქავს მოსულ ატმოსფერულ ნალექებს, რითიც ხელი ეშვება ზედაპირული ჩამონადენის წარმოქმნას.

ნიადაგის ეროზიასთან ბრძოლაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ტყეს. მხოლოდ ტყეს შეუძლია მთის კალთებზე ეროზიის თავიდან აცილება. დაკვირვებების მიხედვით, ყველაზე კარგი წყალმარეგულირებელი თვისებებით ხასიათდება მუხნარ-ჯაგრცხილნარი, შემდეგ ნამუნარ-ფოთლოვანი და ბოლოს ფიჭვნარი ტყე. აქედან გამომდინარე, შერეული ტყეები უფრო კარგი წყალმარეგულირებელი თვისებებით ხასიათდება, ვიდრე წმინდა კორომები (ხარაიშვილი, 1971).

საქართველოში ჩატარებული დაკვირვებებიდან, რომელიც ეხება ტყის დაცვით როლს ეროზიისას, აღსანიშნავია ლ. ფარჯანაძის ცდები, რომელიც ჩატარდა ატენის ხეობაში მოწყობილ 4 სტაციონარზე (ცხრ. 5). ყველა ეს ბაქანი მოწყობილი იყო ერთგვარ ნიადაგზე და 15° დახრილობის მქონე ფერდობზე.

ცხრილი 5. მცენარეული საფარის გავლენა ნიადაგის ჩამორეცხვაზე

ნიადაგის სახეობა	ჩამორეცხილი ნიადაგის რაოდენობა კილოგრამებში			
	შიშველი ნიადაგი	ბალახოვანი საფარით დაფარული ნიადაგი	მეჩხერი ფიჭვნარით დაფარული ნიადაგი	ხშირი ფიჭვნარით დაფარული ნიადაგი
ნიადაგის ჩამორეცხვა კილოგრამებით ფერდობზე	1435,9	155,5	0,0	0,0

ლ. ფარჯანაძის ეს მონაცემები თვალნათლივ ასახავს ტყის ნიადაგდაცვით როლს ფერდობებზე. დაკვირვებიდან კარგად ჩანს, რომ ბალახეული საფარი დაახლოებით 10-ჯერ ამცირებს ნიადაგის დანაკარგს ფერდობიდან, ხოლო ფიჭვნარი ტყე, როგორც მეჩხერი ასევე ხშირი, მთლიანად სპობს ნიადაგის ჩამორეცხვას.

ნიადაგის ეროზიის წინააღმდეგ ბრძოლაში ძალიან დიდი როლს თამაშობს მრავალწლიანი ბალახნარევის ნათესები (ბრეგვაძე, 1952).



ფოტო 8. ნიადაგის ერთ-ერთი ნიმუში

ასე რომ, მცენარეულ საფარს, განსაკუთრებით, ტყის საფარს და მრავალწლიან ბალახნათესებს, უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს ნიადაგის დაცვის საქმეში. კულტურული მცენარეულობა ნაკლებად ასრულებს ამ როლს, ხოლო თუ სასოფლო-სამეურნეო კულტურები სათანადო აგროტექნიკური და ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებების გაუტარებლად ითესება, პირიქით, ხელს უწყობს ნიადაგის ეროზიას.

ეროზიის ზეგავლენა ნიადაგის ხარისხის ცვლილებაზე დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე მათ შორის მიწათსარგებლობაზე, ეროზიის მაგნიტუდა და შესაბამისად მისი ზეგავლენა ნიადაგის ხარისხზე იცვლება მიწათსარგებლობასთან ერთად. ინტენსიურმა კულტივაციამ შესაძლოა გამოიწვიოს ცვლილებები და შეამციროს ნიადაგის ხარისხი (Lal, 1999).

3.2 RUSLE-ის ფაქტორების გის მოდელირება

ნიადაგის ეროზიის შეფასება ძირითად როლს თამაშობს ნიადაგისა და წყლის კონსერვაციის სხვადასხვა სახის პროექტებში, მათ შორის წყალსატევებში სედიმენტაციის ანალიზისას, მდინარის მორფოლოგიის ცვლილებების შეფასებისას და აგრარული პროექტების დაგეგმვისას (Patil & Sharma, 2013). რამდენადაც რთულია ნიადაგის ეროზიის გაზომვა მსხვილ მასშტაბში, იმდენად მნიშვნელოვანია ნიადაგის ეროზიის მოდელები რეგიონული მასშტაბით კვლევისას. მეთოდი RUSLE არის USLE-ს სახეცვლილი,

ემპირიული მოდელი, რომელის საფუძველიც შექმნილია ვიშმაიერის და სმიტის მიერ, რათა შეფასდეს ნიადაგის ეროზია ველზე. USLE-ც და RUSLE-ც წარმოადგენს კავშირს ფართობის ერთეულზე ნიადაგის პოტენციურ დანაკარგსა და ყველა იმ ძირითად ფაქტორს შორის, რომელიც როგორც წესი გავლენას ახდენს წყლისმიერ ეროზიაზე. განტოლება ასე გამოიყურება

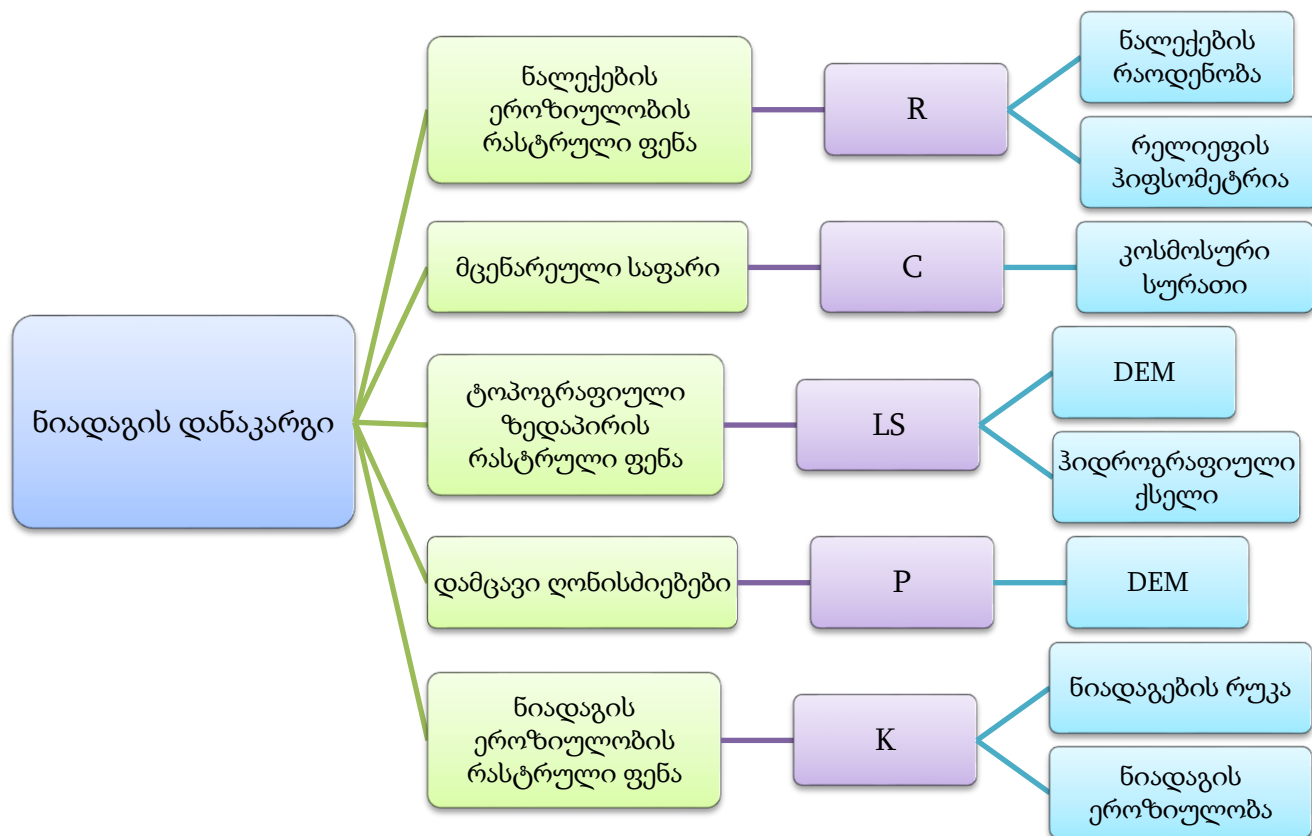
$$A=R*K*LS*C*P \quad (1)$$

სადაც, A-ნიადაგის წლიური დანაკარგი (ტ/ჰა/წელ)
 R-ნალექების ეროზიული პოტენციალი (MJ მმ ჰა სთ წელი)
 K-ნიადაგის ეროზიულობის ფაქტორი (ტ ჰა სთ/ჰა MJ მმ)
 LS-ტოპოგრაფიული ფაქტორი (განუსაზღვრელი), სადაც L არის ფერდობების სიგრძე, ხოლო S ფერდობების დახრილობა,
 C-მცენარეული საფარი (განუსაზღვრელი)
 P-დამცავი ღონისძიებები (განუსაზღვრელი)
 ფორმულიდან ჩანს რომ A, R და K ფაქტორები განისაზღვრება ერთეულებში, ხოლო LS, C და P ფაქტორები განუსაზღვრელია, შესაბამისად თუ LS, C და P ფაქტორები განუსაზღვრელია, A ფაქტორის ერთეული განისაზღვრება R და K ფაქტორების გამრავლებით (Foster, McCool, Renard, & Moldenhauer, 1981).

დროთა განმავლობაში ტექნოლოგიურმა პროგრესმა მკვლევარებს საშუალება მისცა მოეხდინათ მოდელის გის-თან ინტეგრაცია. მოდელში შემავალი ფაქტორებიდან გის-ის სტრუქტურას ყველაზე უკეთ LS, C და P ფაქტორები მოერგო, ხოლო R და K ფაქტორებმა ყველაზე მეტად შეინარჩუნეს პირვანდელი სახე. გამომდინარე იქიდან, რომ გისი მოითხოვს მოდელის გამარტივებას, გის-ზე დაფუძნებული RUSLE-ის მოდელირება ჩვეულებრივ მიმართულია ნიადაგის ეროზიის ე.წ. „სემიემპირიული“ მოდელირებისაკენ (Nigel, Chokman, Novoa, Rousseau, & Alem, 2014).

გის-ში რთული მათემატიკური გამოთვლების გვერდის ავლით LS, C და P ფაქტორები შესაძლოა მივიღოთ დისტანციური ზონდირების გამოყენებით და აქედან გამომდინარე, არსებობს წინაპირობა იმისა, რომ მაღალი გარჩევადობის რასტრული გამოსახულებები მივიღოთ.

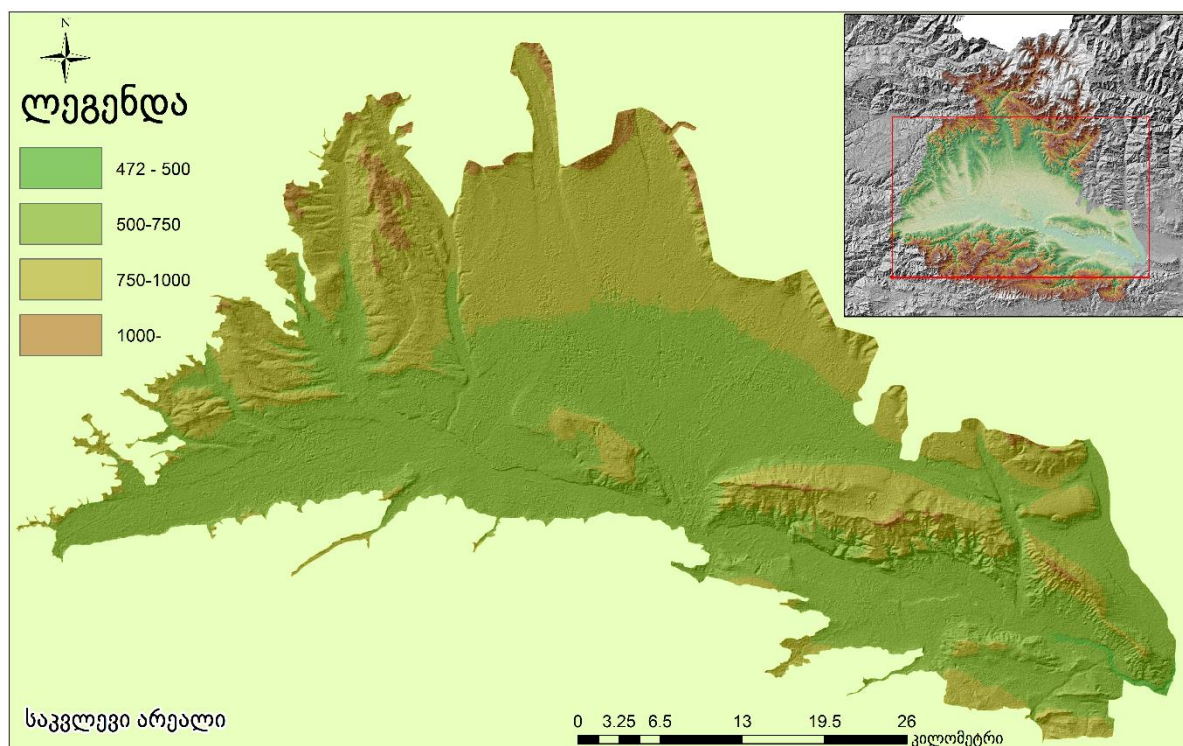
ქვემოთ წარმოდგენილ სქემაზე (ნახ. 17) მოცემულია ის მასალები, რაც კვლევის პროცესში თითოეული ფაქტორის მისაღებად გამოვიყენეთ.



ნახ. 17. კვლევის სტრუქტურა

უნდა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ მრავალი მკვლევარი მოდელს წარმატებით იყენებს ეროზიის მდინარეთა აუზების დონეზე შესაფასებლად და საკმაოდ კარგ შედეგებზეც საუბრობს. კვლევის საწყის ეტაპზე დაგეგმილი იყო საკვლევ ტერიტორიის დაყოფა მდინარეთა აუზების მიხედვით და თითოეულზე ცალ-ცალკე გამოთვლების ჩატარება, მაგრამ კვლევის გვიანდელ ეტაპზე გარკვეული შეფერხებების თავიდან ასაცილებლად, შიდა ქართლის ტერიტორიაზე ფერდობების დახრილობის გამოთვლის შემდეგ (ნახ. 18) ამოვიღეთ ტერიტორია, სადაც ფერდობების დახრილობა 9⁰-ზე ნაკლებია³. შესაბამისად საკვლევ ტერიტორიის ფართობი შეადგენს 1947 კმ², რაც მოიცავს ძირითადად შიდა ქართლის ვაკეს.

³ კვლევის მიზნებიდან გამომდინარე საკვლევ ტერიტორიის ფარგლებში დარჩა კვერნაქების ქედი.

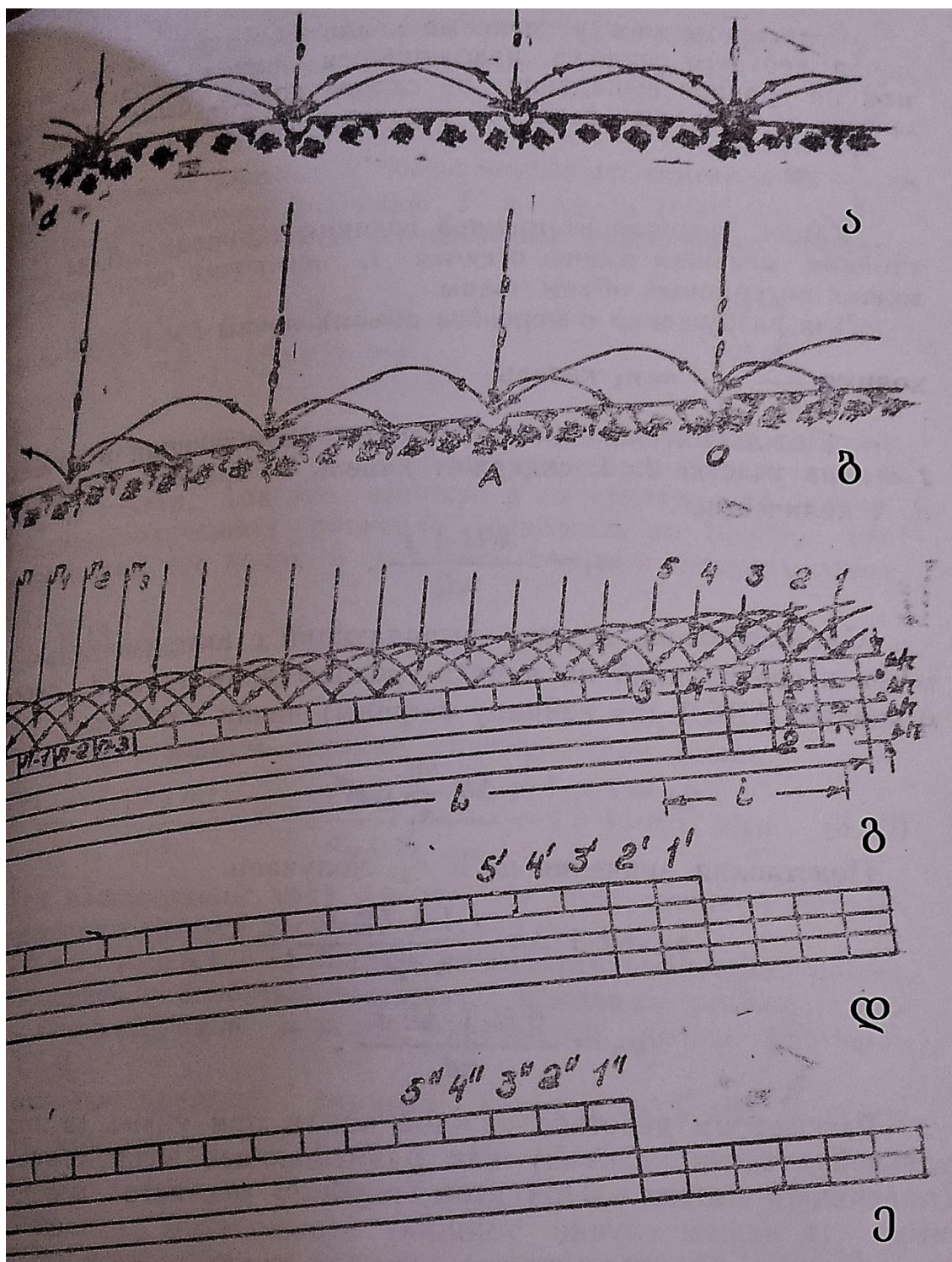


ნახ. 18. საკვლევო არეალი

R ფაქტორი - ერთ-ერთი პირველი ფაქტორი მოდელში. 1958 წლიდან ვიშმაიერმა და სმიტმა გამოიყენეს სხვადასხვა საცდელი ნაკვეთებიდან მიღებული ატმოსფერული ნალექების და ნიადაგის დანაკარგის შესახებ მონაცემები, რათა განესაზღვრათ წვიმის მახასიათებლები თავსხმა წვიმისას ნიადაგის დანაკარგის შესაფასებლად (Lafien & Flanagan, 2013).

წვიმა არის სტოქასტური პროცესი. ასეთი პროცესების შესწავლა სტატისტიკური და ალბათობის მეთოდების გამოყენებით ხდება. მაგალითისთვის, მირცხულავა თვლიდა, რომ წვიმა მიყვება ცნობილ ბინომიალური განაწილების კანონს (Kreselidze, Machavariani, Kalandadze, & Trapaidze, 2013).

ქვემოთ წარმოდგენილ სურათზე (ნახ. 19) ასახულია წვიმის წვეთების მოქმედება ნიადაგის ჰორიზონტალურ და დახრილ ზედაპირზე დაცემის მომენტიდან ნიადაგის ზედა ფენის გადარეცხვის დაწყებამდე (Мирцхулава, 2000).



ნახ. 19. წვიმის წვეთების ნიადაგზე მოქმედების სქემები: ა-წვიმის წვეთების დაცემის და ნიადაგის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე ნიადაგის ნაწილაკების გაშეფების სქემა; ბ-წვიმის წვეთების დაცემის და ნიადაგის დახრილ ზედაპირზე ნიადაგის ნაწილაკების გაშეფების სქემა; გ-წვიმის წვეთების დაცემის და ნიადაგის ნაწილაკების ფერდობის დახრილობის მიმართულებით მოძრაობის სქემა; დ, ე-წვიმის წვეთების დარტყმით ნიადაგის ფენის თანდათანობით მოხსნა; 1, 2, 3, 4, 5-წვეთების ნომრები

ატმოსფერული ნალექების ეროზიულობა (წვიმის ეროზიულობა) არის წვიმის წვეთების კინეტიკური ენერგია, რომელიც გავლენას ახდენს ჩამონადენის დონეზე (ფოტო 9).



ფოტო 9. წვიმის წვეთების შეშხეფებით გამოწვეული ნაკადი

ვიშაიერისა და სმიტის მიერ მოცემულ განმარტებაში მითითებულია, რომ ძალა, რომელსაც შეუძლია წვიმისას სედიმენტის ტრანსპორტირება წვიმის კინეტიკური ენერგიის (E) და მაქსიმუმ 30 წუთიანი ინტენსივობის (I_{30}) შედეგია. R ფაქტორი კი არის საშუალო მრავალწლიური ინდექსი, რომელიც ზომავს წვიმის კინეტიკურ ენერგიას და ინტენსივობას, რათა განისაზღვროს წვიმის გავლენა ზედაპირულ (სიბრტყით) ეროზიაზე.

წვიმა პირდაპირ ზემოქმედებს ნიადაგზე, მისი კინეტიკური ენერგია უარყოფითად მოქმედებს ნიადაგის სტრუქტურაზე. ვიშაიერისა და სმიტის თანახმად, R კოეფიციენტი გამოითვლება 30 წთ-ში წვიმის მაქსიმუმ რაოდენობაზე დაყრდნობით. ფორმულა შემდეგნაირად გამოიყურება:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{mj} (EI_{30})_k \quad (2)$$

სადაც R არის ატმოსფერული ნალექების საშუალო წლიური ეროზიულობა (MJ მმ ჰა სთ წელი) n არის წლების რაოდენობა, mj არის ეროზიულ მოვლენათა რიცხვი, EI_{30} არის ნალექების ეროზიული ინდექსი.

წვიმის ეროზიულობის ზუსტ შეფასებას სჭირდება ატმოსფერული ნალექების რამდენიმეწლიანი მონაცემები მოკლევადიანი ინტერვალებით (1-60 წთ). წვიმის ეროზიულობა გამოითვლება 30 წუთიანი პერიოდისთვის წვიმის მაქსიმალური ინტენსივობის კინეტიკური ენერგიის გამრავლებით თითოეულ თავსხმა წვიმაზე.

ამ ფორმულაში მთავარი მდგენელია EI_{30} -ნალექების ეროზიული ინდექსი (MJმმჰა⁻¹ საათი⁻¹), რომელიც განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$EI_{30} = \sum_{r=1}^0 (e_r v_r) I_{30} \quad (3)$$

სადაც e_r არის ერთეული მოვლენის ენერგია ($\text{MJ } 3\text{a}^{-1}\text{მმ}^{-1}$) და v_r არის ნალექების რაოდენობა (მმ) r დროის განმავლობაში, I_{30} არის ნალექების მაქსიმალური ინტენსივობა წვიმის 30 წუთიანი პერიოდის განმავლობაში (მმ სთ⁻¹). თავის მხრივ

$$e_r = 0.29[1 - 0.72\exp(-0.05i_r)] \quad (4)$$

სადაც i_r არის ნალექების ინტენსივობა დროის ინტერვალში (მმ სთ⁻¹) (Angulo-Martinez & Begueria, 2009).

ჩვენს შემთხვევაში სწორედ EL_{30} გამოთვლა წარმოადგენს მთავარ დაბრკოლებას, რადგან არ გაგვაჩნია მისი გამოთვლისათვის საჭირო მეტეოროლოგიური მონაცემები. სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებობს მისი გამოთვლის ალტერნატიული გზები. ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული მეთოდია R ფაქტორის გამოთვლა შემდეგი ფორმულით

$$R = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^{12} EL_{30 \text{ month}} \quad (5)$$

სადაც

$$EL_{30 \text{ month}} = (7.05 * rain_{10} - 88.92 * days_{10}) \quad (6)$$

(de Santos Loureiro & de Azavedo Coutinho, 2001), სადაც $rain_{10}$ არის ნალექების თვიური რაოდენობა 10 მმ-ზე მეტი ან ტოლი, ხოლო $days_{10}$ არის იმ დღეების რაოდენობა, როდესაც ნალექები იყო 10 მმ-ზე მეტი ან ტოლი.

შემდეგ ფორმულაში, რომელიც ასაროსა და სანტოროს მიერაა შემუშავებული (1983), სრულიად განსხვავებული მონაცემების განთავსებაა საჭირო:

$$R = 0.21 * q^{-0.096} * P^{2.3} * NGP^{-2} \quad (7)$$

სადაც q არის სადგურის სიმაღლე ზღვის დონიდან, P არის ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობა (მმ) და NGP არის წვიმიანი დღეების საშუალო წლიური რიცხვი.

რენარდის და ფრეიმუნდის 1994 წელს გამოქვეყნებულ ნაშრომში საჭირო მონაცემების რაოდენობა უფრო შემცირებულია და მხოლოდ ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობით შემოიფარგლება:

$$R = 0.0483 * P^{1.61} \quad (8)$$

სადაც P არის ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობა (მმ) (Diodato, 2004).

R ფაქტორი მოიცავს თავსხმა წვიმების ცალკეული შემთხვევების ეროზიულობას და ასაშუალოებს მას მრავალ წელზე. გარკვეულ ქვეყნებში არსებობს სპეციალური იზოეროდენტების რუკა, საიდანაც ხდება შესაბამისი მონაცემების მიღება. R ფაქტორის გამოთვლის ორი ძირითადი მიდგომა არსებობს: ა) გამოვთვალოთ R ფაქტორი ზემოთხსენებული დეტალური მონაცემების მიხედვით; ბ) შევიმუშაოთ ფუნქცია, რომელიც კორელაციაშია R ფაქტორთან უფრო ხელმისაწვდომი მონაცემებით (ნალექების დღიური, თვიური და წლიური მონაცემებით).

LS (ტოპოგრაფიული) ფაქტორი - სმიტმა და ვიშმაიერმა 1957 წელს შეაფასეს ნიადაგის ეროზიაზე ფერდობების სიგრძის და დახრილობის გავლენა სხვადასხვა საკვლევ ფართობებზე და საფუძველი ჩაეყარა L და S ფაქტორებს (Lafien & Flanagan, 2013).

LS ფაქტორი შეიძლება გამოყენებული იქნეს როგორც ცალკე ინდექსი, იგი წარმოადგენს კავშირს ფერდობის დახრილობასა და სიგრძეს შორის. ფერდობის სიგრძე განისაზღვრება, როგორც მანძილი ნაკადის საწყისი წერტილიდან იმ წერტილამდე, სადაც ფერდობის დახრილობა იმდენად მცირეა, რომ იწყება აკუმულაცია, ან ნაკადი მდინარეს უერთდება (Remortel, Hamilton, & Hickey, 2001). გრძელი უწყვეტი ფერდობების ათვისების შემთხვევაში, ჩამონადენი წყლის ზედაპირული ნაკადი, რომელიც ყალიბდება ფერდობის ზედა ნაწილში მაქსიმალურ სიჩქარეს და ენერგიას მის შუა მონაკვეთში აღწევს. შესაბამისად ნიადაგის ინტენსიური გადარეცხვა, ახლადდარგული ნერგის ან ახალმოსული ნათესის წარეცხვა, ფერდობის დახრამვა, სწორედ ფერდობების შუა წელში უფრო მეტად ხდება. ფერდობის ქვემო მონაკვეთში ნათესები იშლამება ზემოდან ჩამოტანილჩამორეცხილი ნიადაგის მასით (ღორჯომელაძე, გოგიჩაიშვილი, & თურმანიძე, 2009).

თავდაპირველი ფორმულა, რომელიც მოდელის შემუშავების პროცესში შეიქმნა შემდეგნაირია (Wischmeier & Smith, 1978):

$$LS = \left(\frac{\lambda}{72.6}\right)^m (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \quad (9)$$

სადაც λ არის ფერდობის სიგრძე;

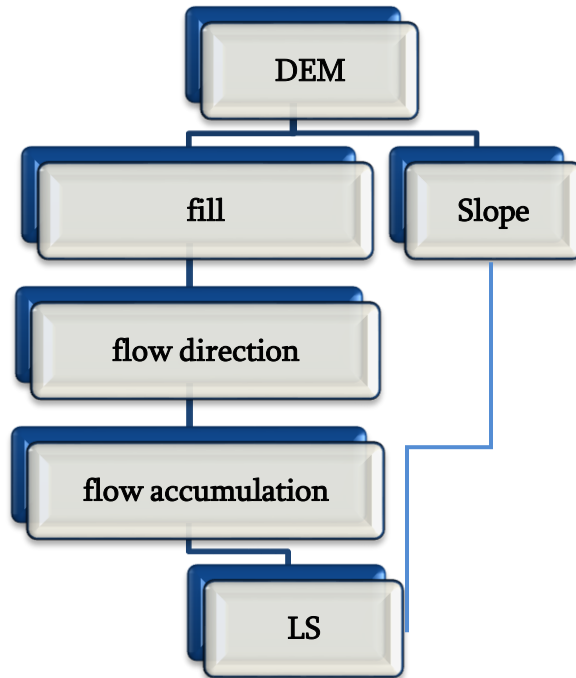
θ არის ფერდობების დახრილობა;

m -ის მნიშვნელობები იცვლება 0.5-დან 0.2-მდე (0.5 თუ ფერდობების დახრილობა 5% ან მეტია, 0.4 თუ დახრილობა 3.5-4.5%, 0.3 თუ დახრილობა 1-3%-ია და 0.2 თუ დახრილობა 1%-ზე ნაკლებია).

შემდგომში არაერთი ნაშრომი შექმნილა ამ ფორმულის გამარტივებისათვის.

ფერდობების სიგრძის გამოსათვლელად შემუშავებულია უამრავი განსხვავებული მიდგომა და ალგორითმი, მათ შორის რასტრული ქსელის კუმულაცია (ჰიკი, 2000); ერთეული ნაკადის ძალის თეორია (მური და ბარჩი, 1986); დამხმარე ფართობი (დესმეტი და გოვერსი, 1996) და ქსელის ტრიანგულაციის (კოუვენნი, 1993) (Remortel, Hamilton, & Hickey, 2001).

მაღალი LS-ის მქონე ტერიტორიაზე ეროზია მაღალია, ჩამონადენის მაღალი ენერგიის გამო, შედარებით ბრტყელ ზედაპირს, რომელიც ხასიათდება დაბალი LS-ით, აქვს ეროზიის შედარებით დაბალი პოტენციალი. სწორედ LS ფაქტორმა განიცადა ყველაზე მეტი ცვლილება, რათა უკეთ მორგებოდა გის-ის სტრუქტურას.

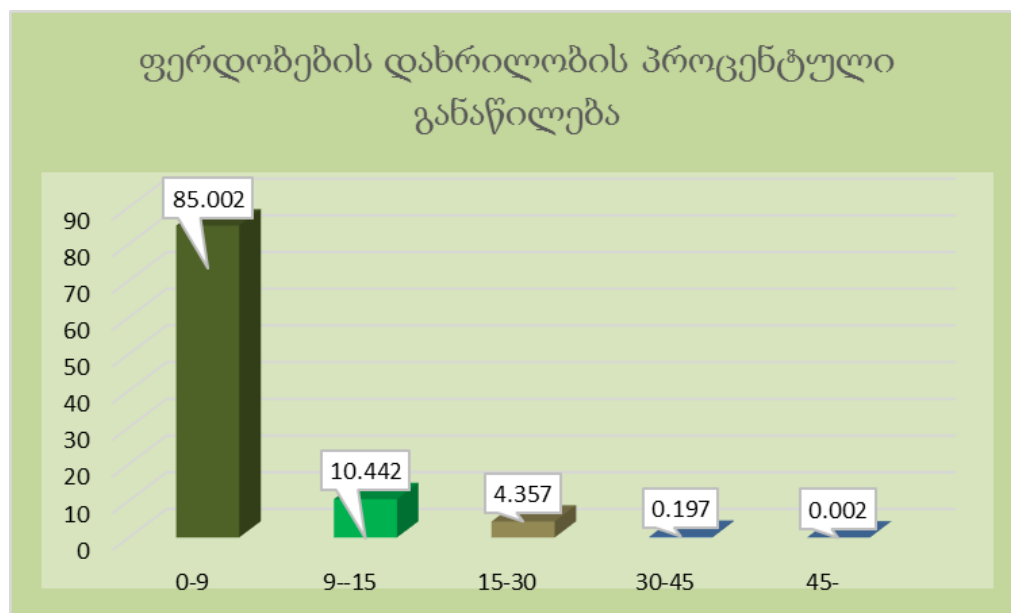


ნახ. 20. LS ფაქტორის მოდელირების პროცესი

გის-ის სპეციფიკიდან გამომდინარე, LS-ის გამოთვლა შეიძლება შემდეგი ალგორითმების გამოყენებით: 1) ერთეული ნაკადის ძალა; 2) დამხმარე ტერიტორიის ალგორითმი; 3) ფერდობის მაქსიმალური დახრილობის კუთხის გამოთვლით. ერთეული ნაკადის ძალა ყველაზე ფართოდ გავრცელებული მეთოდია. ის გამოითვლება გის-ში flow accumulation-ის ალგორითმიდან. ერთეული ნაკადის ძალის გამოთვლა პირდაპირ გის-ის Raster Calculator-შია შესაძლებელი.

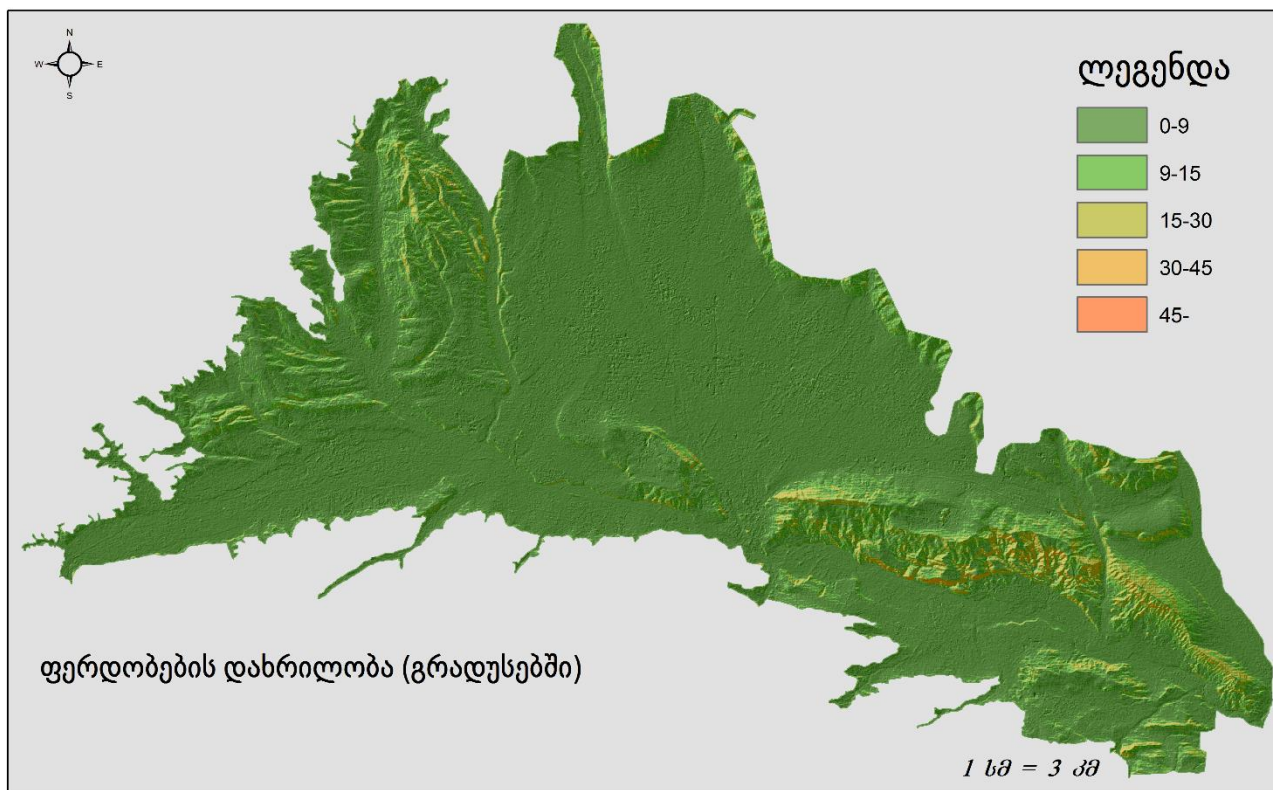
ჩვენი კონკრეტული კვლევის შემთხვევაში, LS-ის გამოთვლამდე დამუშავდა DEM (რელიეფის ციფრული მოდელი). კვლევის პროცესში ყველა ოპერაციისათვის გამოვიყენეთ ASTER-ის 30 მ გარჩევადობის DEM. მე-20 ნახაზზე წარმოდგენილია ის ნაბიჯები, რომელიც განხორციელდა LS ფაქტორის გამოსათვლელად რასტერ კალკულატორში.

მთლიანი პროცესი დაიწყო რამდენიმე ეტაპად. პირველ რიგში, გამოვთვალეთ ფერდობების დახრილობა გრადუსებში (ნახ. 22).

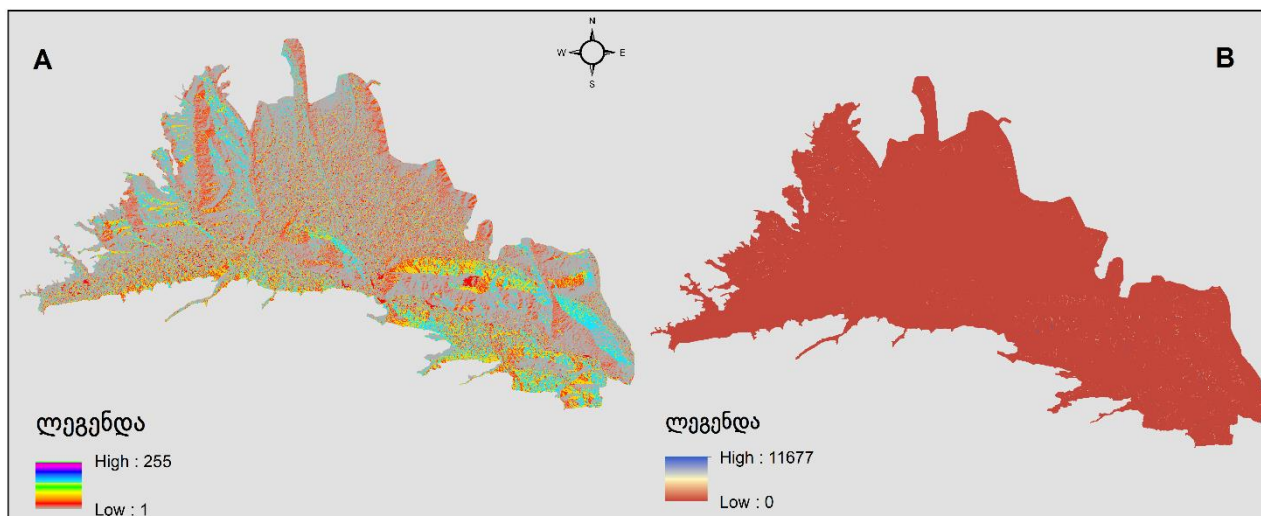


ნახ. 21. ფერდობების დახრილობის პროცენტული განაწილება საკვლევ არეალზე

21-ე ნახაზზე ნათლად ჩანს, რომ საკვლევი ტერიტორიის 85%-ზე მეტი 0-9° დახრილობის მქონე ფერდობებს უკავია, ხოლო 15°-ზე მეტი დახრილობის მქონე ფერდობებს 5 %-ზე ნაკლები, რაც თავის მხრივ დადებითად აისახება შემდგომში გამოთვლების პროცესზე.

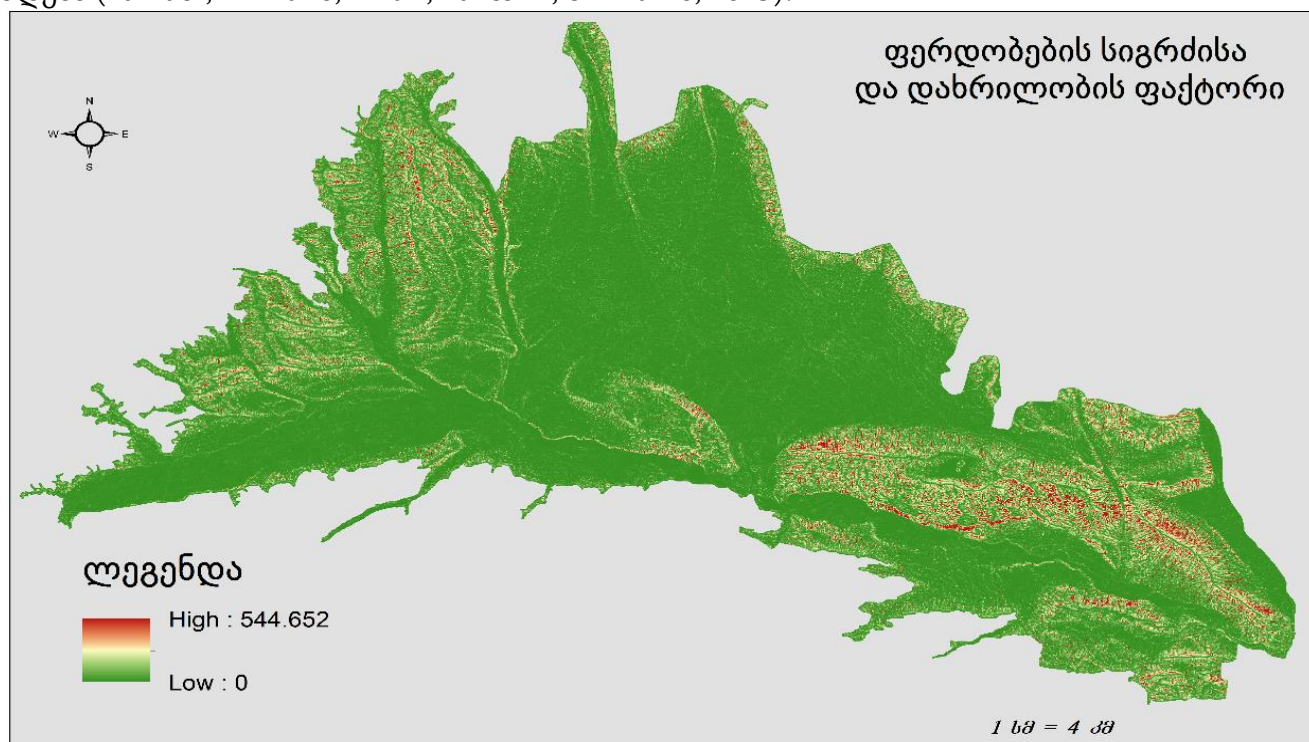


ნახ. 22. ფერდობების დახრილობა (გრადუსებში) საკვლევ ტერიტორიაზე



ნახ. 23. ნაკადის მიმართულება (A) ნაკადის დაგროვება (B)

შემდეგი ნაბიჯი იყო რელიეფის ციფრული მოდელიდან ისეთი პარამეტრების გამოთვლა, როგორიცაა ნაკადის მიმართულება (flow direction) და ნაკადის დაგროვება (flow accumulation) (ნახ. 23). ნაკადის მიმართულების გამოთვლა საჭიროა შემდგომში ნაკადის დაგროვების გამოსათვლელად და მისი განთავსება უშუალოდ ფორმულაში არ ხდება (Lahlaoi, Rhinane, Hilali, Lahssini, & Khalile, 2015).



ნახ. 24. LS ფაქტორი

საბოლოოდ, გამოვიყენეთ მე-10 ფორმულა, სადაც ყველა ზემოთ აღწერილი რასტრული ფაილის მოთავსების შემდეგ მივიღეთ LS ფაქტორის საბოლოო მნიშვნელობები (ნახ. 24) (Parveen & Kumar, 2012).

$$LS = \text{Power}(\text{"flowacc"} * [\text{cell resolution}] / 22.1, 0.6) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"sloperasterdeg"} * 0.01745) / 0.0896, 1.4) \quad (10)$$

სადაც "resolution" უდრის 30 მ-ს. აქ იგულისხმება რელიეფის ციფრული მოდელის პიქსელის გარჩევადობა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ძნელად თუ მოიძებნება სამეცნიერო ლიტერატურა, სადაც წარმატებითაა მოცემული 45° -ზე მეტად დახრილი ფერდობების მოდელირება გის-ში. სწორედ ეს გარემოება გახდა მიზეზი, რისთვისაც მოხდა საკვლევი არეალის ცვლილება ფერდობების დახრილობის მაჩვენებლების მიხედვით.

K ფაქტორი - პირველი ნაბიჯები ნიადაგის ეროზიულობის (K ფაქტორი) განსაზღვრაში იყო 1963 წელს ოლსონის და ვიშმაიერის მიერ გამოქვეყნებული K ფაქტორის მნიშვნელობები სხვადასხვა საცდელი ნაკვეთებისთვის (Lafien & Flanagan, 2013).

ნიადაგის ეროზიის მოდელებში ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრია ნიადაგის ეროზიულობა, რომელიც ცნობილია როგორც K ფაქტორი. ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ტერმინი „ნიადაგის ეროზიულობა“ სრულებით განსხვავდება „ნიადაგის ეროზიისგან“, რადგანაც ზოგიერთი ნიადაგი ეროზიას უფრო ადვილად ემორჩილება მაშინაც კი როცა ეროზიის გამომწვევი ფაქტორები ერთიდა იგივეა. ეს კი უპირველესად ნიადაგის თვისებებითაა განპირობებული. ნიადაგის ეროზიულობა არის ნიადაგის მგრძნობელობა ნიადაგის ეროზიისადმი (Wischmeier & Smith, 1978). ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობა, ორგანული ნივთიერებების რაოდენობა, სტრუქტურა განსაზღვრავს კონკრეტული ნიადაგის ეროზიულობას. ნიადაგის ორგანული ნივთიერებები ამცირებს ეროზიას. ნიადაგის ეროზიულობის შეფასება ყველაზე უკეთ სავსე ნაკვეთებზე პირდაპირი გაზომვებით არის შესაძლებელი. რამდენადაც ეს ძალიან დიდ ხარჯებთან არის დაკავშირებული მკვლევარებმა მოძებნეს კავშირი ნიადაგის „კლასიკურ“ თვისებებსა და ნიადაგის ეროზიულობას შორის.



ფოტო 10. წვიმის სიმულატორი (National Soil Erosion Research Laboratory, Perdue University)

ნიადაგის ეროზიულობის ფაქტორი (K) წარმოადგენს ნიადაგის ნაწილაკებისა და მისი პროფილის მახასიათებლების გავლენას ნიადაგის დანაკარგზე. დღემდე K ფაქტორის განსაზღვრის ორი ძირითადი მეთოდი არსებობს. პირველი მეთოდი გულისხმობს K ფაქტორის პირდაპირ და ხანგრძლივი გაზომვებს ბუნებრივ ნაკვეთებზე, რაც საკმაოდ რთული და ძვირია, ასევე შესაძლებელია დაწვიმების (წვიმის სიმულატორების გამოყენება) (ფოტო 10) (Renard, Yoder, Lightle, & Dabney, 2011). მეორე მეთოდი არის ე.წ. USLE ნომოგრამი, რომელიც შედგენილია 1971 წელს ვიშმაიერისა და სხვა მკვლევარების მიერ. იგი რათქმაუნდა პირდაპირ გაზომვებთან შედარებით ნაკლებად ზუსტ შედეგებს გვაძლევს, მაგრამ სამაგიეროდ ნაკლებ დროს და ფინანსურ დანახარჯებს საჭიროებს. ამ მეთოდით K ფაქტორის გამოთვლა ნიადაგის ტექსტურის, ორგანული ნივთიერებების პროცენტული შემცველობის, სტრუქტურის და წყალგამტარიბის განსაზღვრით ხდება (Imani, Ghasemieh, & Mirzavand, 2014).

K ფაქტორის გამოსათვლელი განტოლება შემდეგნაირად გამოიყურება⁴:

$$K = [(2.1 \times 10^{-4} M^{1.14} (12 - OM) + 3.25 (s - 2) + 2.5 (p - 3)) / 100] * 0.1317 \quad (11)$$

სადაც

M-ტექსტურის ფაქტორი

$$M = (m_{\text{ლ}} + m_{\text{ქ}}) * (100 - m_{\text{თ}}) \quad (11.1)$$

$m_{\text{თ}}$ (%) თიხის ფრაქციის შემცველობა

$m_{\text{ლ}}$ (%) ლექის ფრაქციის შემცველობა

$m_{\text{ქ}}$ (%) ქვიშის ფრაქციის შემცველობა

OM (%) ორგანული ნივთიერებების შემცველობა

s-ნიადაგის სტრუქტურის კლასი (s=1:ძალიან წვრილმარცვლოვანი, s=2: წვრილმარცვლოვანი, s=3: საშუალო და უხეშმარცვლოვანი, s=4: ბლოკური ან მასიური)

p-გამტარიანობა (p=1 ძალიან სწრაფი; p=6: ძალიან ნელი)

როგორც ფორმულიდან ჩანს, ამ შემთხვევაშიც ბევრი პარამეტრის გათვალისწინება საჭირო. არსებობს შემდგომი კვლევები, სადაც მტკიცდება, რომ წვრილ მასშტაბში მიმდინარე კვლევებისთვის შესაძლოა გამარტივებული მეთოდების გამოყენება. ამისათვის ნიადაგის პარამეტრებიდან საჭიროა: ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობისა და ჰუმუსის პროცენტული შემცველობის ცოდნა.

ცხრილი 6. K ფაქტორის განსაზღვრა ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობისა და ჰუმუსის პროცენტული შემცველობის დაკავშირებით

ნიადაგის გრანულომეტრიული შემადგენლობა	K ფაქტორის მნიშვნელობები, ჰუმუსის განსხვავებული პროცენტული შემცველობის შემთხვევაში		
	<0.5	2	4
Send	0.0646	0.03876	0.02584
Fine Sand	0.20672	0.18088	0.1292
Very Fine Sand	0.54264	0.46512	0.36176

⁴ (<http://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-erodibility-europe>)

Loamy Send	0.15504	0.1292	0.10336
Loamy finesend	0.31008	0.2584	0.20672
Loamy very finesend	0.56848	0.49096	0.3876
Sandy Loam	0.34884	0.31008	0.24548
fine sandyloam	0.4522	0.3876	0.31008
very fine snady loam	0.60724	0.52972	0.42636
Loam	0.49096	0.43928	0.37468
Silt loam	0.62016	0.54264	0.42636
Silt	0.7752	0.67184	0.54264
Sandy clayloam	0.34884	0.323	0.27132
clay loam	0.36176	0.323	0.27132
Silty clayloam	0.47804	0.41344	0.33592
Sandy clay	0.18088	0.16796	0.15504
Silty clay	0.323	0.29716	0.24548
clay		0.16796	

მე-6 ცხრილში მოცემულია K ფაქტორის გამოთვლის გამარტივებული მეთოდი, სადაც ტექსტურის კლასის განსაზღვრითა და ჰუმუსის პროცენტული შემცველობის დაკავშირებით შესაძლოა მიახლოებით განისაზღვროს K ფაქტორის მნიშვნელობები.

მიმდინარე კვლევისას ვცადეთ გამოგვეყენებინა ეს მეთოდი. მე-7 ცხრილში ნაჩვენებია კვლევის შედეგად მიღებული რიცხვითი მნიშვნელობები ჩვენი საკვლევი ტერიტორიიდან აღებული ნიმუშებისთვის და შედარებულია რეალური გამოთვლების შედეგებთან.

ცხრილი 7. გამარტივებული მეთოდით და რეალური გაანგარიშებით მიღებული K ფაქტორის მნიშვნელობების შედარება

ტექსტურის კლასი	ჰუმუსის პროცენტული შემცველობა	K ფაქტორის მნიშვნელობები	(10) ფორმულით გამოთვლილი K ფაქტორი
Silt loam	2.5	0.54264	0.044657808
Silt loam	2.9	0.54264	0.020016183
clay	2.6	0.16796	0.001394211
Silty clay	2.4	0.29716	0.012630476
Silty clayloam	1.9	0.47804	0.0316564
Silty clayloam	1	0.47804	0.037618934
Silty clay	2.1	0.29716	0.013523053
Silty clayloam	2.7	0.41344	0.037415929
Silty clayloam	3.2	0.41344	0.027582944

Sandy Loam	2.27	0.31008	0.085013773
Sandy Loam	1.8	0.31008	0.091280358
Loam	6.05	0.37468	0.037376298
Loam	1.73	0.43928	0.076257192
Sandy Loam	2.18	0.31008	0.082779313

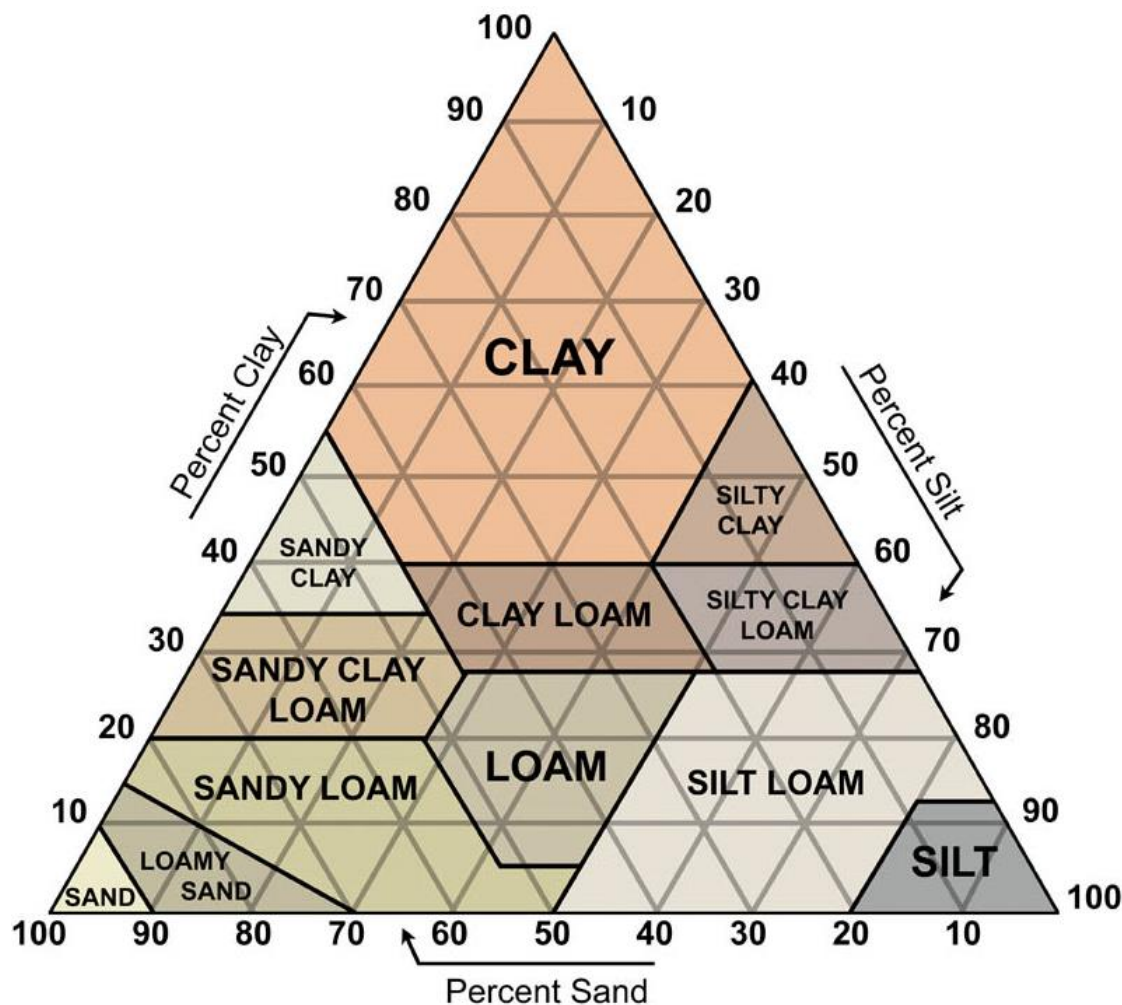
ცხრილიდან კარგად ჩანს, რომ მიახლოებითი გამოთვლებით მიღებული რიცხვითი მნიშვნელობები ყველა შემთხვევაში ბევრად აღემატება რეალური გამოთვლით მიღებულ შედეგებს, რაც თავის მხრივ, საბოლოო გაანგარიშებისას დიდ ცდომილებას მოგვცემდა. რათქმაუნდა მისი გამოყენება შესაძლებელია, მაგრამ უმჯობესია K ფაქტორის გაანგარიშება მოხდეს ლაბორატორიული კვლევების შედეგებზე დაყრდნობით.

ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობა არის ნიადაგის მნიშვნელოვანი მახასიათებელი, რომელიც განსაზღვრავს ნიადაგის ნაყოფიერებას და მართვას. ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობა განისაზღვრება ქვიშის, ლექის და თიხის პროცენტული განაწილებით.

თიხა ნიადაგები მოიხსენიება როგორც კარგი (წმინდა) ტექსტურის მქონე ნიადაგი, მაშინ როდესაც ქვიშიანი ნიადაგი არის უხეში ტექსტურის მქონე ნიადაგი. ნიადაგის მრავალი თვისებაა დამოკიდებული ტექსტურაზე, მათ შორის:

- წყალგამტარობა
- წყალდაკავების უნარი
- აერაცია
- ეროზიისადმი მდგრადობა
- ორგანული ნივთიერებების შემცველობა
- კათიონების გაცვლის ტევადობა

ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობა აღნიშნავს ერთმანეთთან დაკავშირებულ არაორგანულ ნივთიერებებს, რომელიც გავლენას ახდენს ინფილტრაციასა და წყალდაკავებაზე. ტექსტურა ძირითადად გავლენას ახდენს ნიადაგის: ნაყოფიერების დონეზე. ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობა განსაზღვრავს გაჯერებულ ნიადაგში წყლის მოძრაობის სიჩქარეს. წყალი უფრო თავისუფლად მოძრაობს ქვიშიან ნიადაგში, ვიდრე თხიან ნიადაგში. ნიადაგის გრანულომეტრიულ შედგენილობას ასევე გავლენა აქვს მცენარისათვის ხელმისაწვდომ წყალზე. თიხა ნიადაგებს მეტი წყალტევადობა აქვს, ვიდრე ქვიშიან ნიადაგებს, ამასთან კარგად გაწყლიანებულ ნიადაგებში ჩვეულებრივ უკეთესი აერაციაა, რაც ნიშნავს ნიადაგი შეიცავს ატმოსფერული ჰაერის მსგავს ჰაერს, რაც ხელს უწყობს ჯანმრთელ ფესვთა სისტემის ზრდას და შესაბამისად ჯანმრთელი მცენარისაც. ნიადაგები ასევე განსხვავდება ეროზიისადმი მდგრადობით (ეროზიულობა) ტექსტურის მიხედვით. ნიადაგს ლექისა და თიხის ნაწილაკების მაღალი პროცენტული შემცველობით აქვს მაღალი ეროზიულობა ქვიშიან ნიადაგებთან შედარებით, ერთი და იგივე მდგომარეობაში. ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობის განხვავება ასევე გავლენას ახდენს ორგანული ნივთიერებების დონეზე. ორგანული ნივთიერებები უფრო სწრაფად იშლება ქვიშიან ნიადაგებში, ვიდრე კარგ (წვრილ) ტექსტურაზე ნიადაგებში მსგავს გარემო პირობებში.



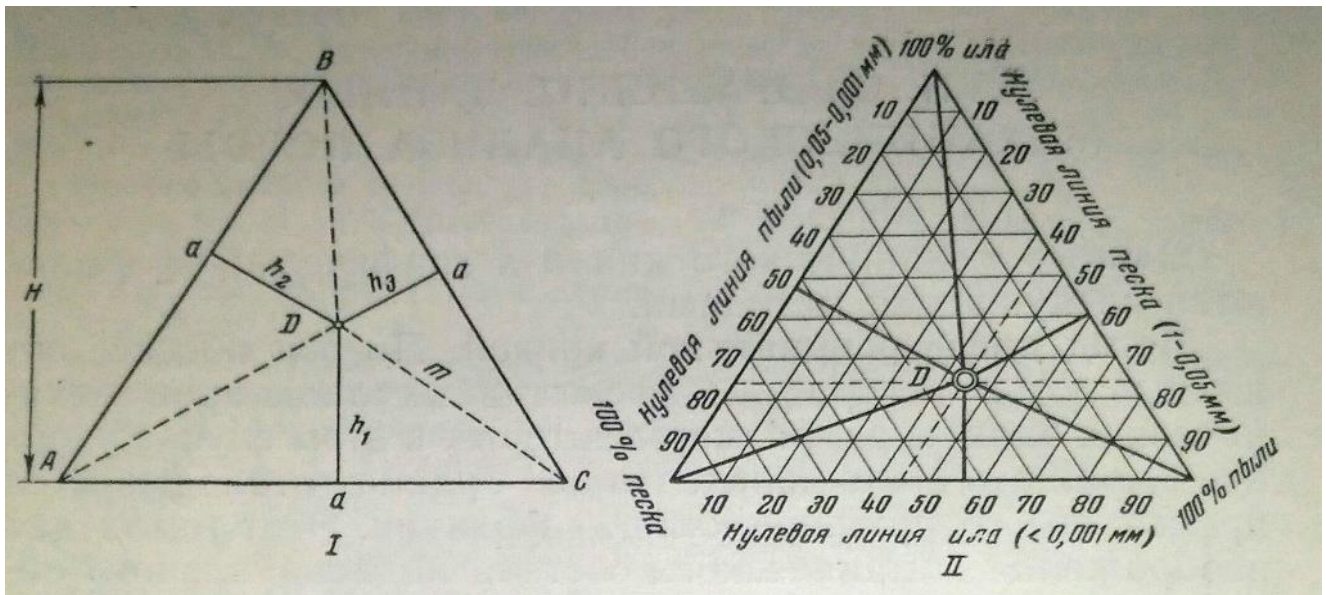
ნახ. 25. ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობის განმსაზღვრელი სამკუთხედი⁵

როგორც უკვე აღინიშნა, ნიადაგში ქვიშის, ლექისა და თიხის პროპორცია განსაზღვრავს მის ტექსტურულ კლასს. ნიადაგი შედგება მცირე ნაწილაკებისგან. ნიადაგის ნაწილაკები განსხვავდება ზომით, ფორმით და ქიმიური შედგენილობით. დასავლურ ლიტერატურაში გამოიყოფა ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობის სამი ფრაქცია-ქვიშა (ქანის ან მინერალის ფრაგმენტები ნიადაგში, რომლის დიამეტრი მერყეობს 0,05-2 მმ ფარგლებში), ლექი (ნიადაგის არაორგანული ნაწილი, რომლის დიამეტრი მერყეობს 0,002-0,05 მმ (2-50 მიკრომეტერი) ფარგლებში), თიხა (ნიადაგის მინერალური ნაწილია რომლის დიამეტრი 0,002 მმ-ზე ნაკლებია). ამ განსხვავებული ნაწილაკების პროპორციული განაწილება განსაზღვრავს ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობას.

ქართულ სამეცნიერო ლიტერატურაში გამოიყენება ტერმინი ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობა და ამ შემთხვევაში ფრაქციების გრადაცია ოდნავ განსხვავებულია: ქვიშა (0.05-1 მმ), მტვერი (0.001-0.05 მმ) და ლექი (< 0.001 მმ).

⁵ https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167

ლაბორატორიაში ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობის განსაზღვრის შემდეგ მიღებული შედეგები თავსდება ტექსტურის სამკუთხედში (ნახ. 25) და განისაზღვრება ტექსტურის კლასი. სამკუთხედის სამი მხარე წარმოადგენს ქვიშის, ლექის და თიხის პროცენტულ მაჩვენებლებს, მისი გამოყენება საკმაოდ ადვილია. 26-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ტექსტურის სამკუთხედის ანალოგი, რომელიც გამოიყენებოდა საბჭოთა სამეცნიერო ლიტერატურაში.



ნახ. 26. ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობის გამოსახვა გიბს-როაზომის სამკუთხედის მიხედვით

ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობის განსაზღვრის მეთოდები ორგვარია: პიპეტის და ჰიდრომეტრის.

ნიადაგის სტრუქტურა განისაზღვრება ქვიშის, ლექისა და თიხის ცალკეული ნაწილაკების შეკავშირების მიხედვით. ცალკეული ნაწილაკების შეკავშირების შედეგად ჩნდება მოზრდილი ნაწილაკი და მათ აგრეგატები ეწოდება. ნიადაგში წყლის ცირკულაცია მეტწილად სწორედ სტრუქტურაზეა დამოკიდებული. ნიადაგის სტრუქტურა ძირითადად აღიწერება ხარისხის (აგრეგატების ხარისხის) კლასის (საშუალო ზომა) და აგრეგატების ტიპის (ფორმა) მიხედვით.

ნიადაგის წყალგამტარობა არის ნიადაგის თვისება გაატაროს წყალი და აირი. წყალგამტარობას მრავალი ფაქტორი განსაზღვრავს. არსებობს კვლევები, სადაც ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობიდან გამომდინარე დგინდება ნიადაგის წყალგამტარობა. მე-8 ცხრილში მოცემულია ნიადაგის წყალგამტარობის ტიპები სიჩქარის მიხედვით.

აქვე უნდა აღინიშნოს ერთი ძალზე საინტერესო გარემოება. ჩვენს მიერ გამოყენებულ მოდელში მიიჩნევა, რომ ნიადაგი მთელი წლის განმავლობაში განიცდის ეროზიას. ეს მიდგომა სავსებით დამაკმაყოფილებელია ეროზიის წლიური საშუალო მაჩვენებლის შეფასებისას, მაგრამ თუ ამ საკითხს უფრო დეტალურად განვიხილავთ ვნახავთ, რომ რადგანაც წლის განმავლობაში წყლის შემცველობა ნიადაგში მკვეთრად

იცვლება, აქედან გამომდინარე უნდა იცვლებოდეს ნიადაგის ეროზიულობაც. (გოგიჩაიშვილი, ღორჯომელაძე, & თურმანიძე, ნიადაგების ეროზიულობის დინამიკა წლის განმავლობაში, 2012). რაც ნიშნავს, რომ უფრო მსხვილმასშტაბიანი კვლებისათვის უნდა მოხდეს K ფაქტორის განსაზღვრა სეზონურად. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ კვლევები აღნიშნულ საკითხზე სამეცნიერო ლიტერატურაში შედარებით მწირია.

ცხრილი 8. ნიადაგის წყალგამტარობის სიჩქარე ტიპების მიხედვით⁶

წყალგამტარობის ტიპი	წყალგამტარობის სიჩქარე (სმ/სთ)
ძალიან ნელი	-0.13
ნელი	0.13-0.5
საშუალოდ ნელი	0.5-2.0
საშუალო	2.0-6.3
საშუალოდ სწრაფი	6.3-12.7
სწრაფი	12.7-25
ძალიან სწრაფი	25-

C ფაქტორი მოდელში 1960 წლიდან ჩნდება. იგი არის ინდექსი, რომელიც ასახავს მიწათსარგებლობის ხასიათის გავლენას ეროზიის დონეზე. C ფაქტორის განსაზღვრისას ორი ძირითადი მეთოდი გამოიყენება. პირველის შემთხვევაში განსაზღვრავენ მიწათსარგებლობის თითოეული ტიპის მიერ დაკავებულ ფართობს და ანიჭებენ შესაბამის რიცხვით მნიშვნელობებს. მეორე მეთოდი კი გულისხმობს დისტანციურად ზონდირებული სურათების დეშიფრირების გამოყენებას. აღნიშნული მეთოდი თავის მხრივ იყოფა ორ მიმართულებად. ერთ შემთხვევაში სურათის კლასიფიკაციის შედეგად მიღებულ მიწათსარგებლობის კლასებს ანიჭებენ რიცხვით მნიშვნელობებს ან მეორე, როდესაც აეროკოსმოსური სურათიდან თავდაპირველად იღებენ NDVI-ის, ხოლო შემდგომ C ფაქტორს. კვლევებით დასტურდება, რომ ამ ორი მიდგომის შედეგებს შორის საკმაოდ დიდი მსგავსებაა (Karaburun, 2010). მოცემულ კვლევაში უპირატესობა სწორედ მეორე მიდგომას მივანიჭეთ.

C ფაქტორის მნიშვნელობა დამოკიდებულია მცენარეული საფარის ტიპზე, ზრდის ეტაპზე და მის მიერ დაკავებულ ფართობზე. C ფაქტორის მნიშვნელობა იცვლება 0-დან (სრულად დაფარული) 1-მდე (შიშველი ნიადაგი).

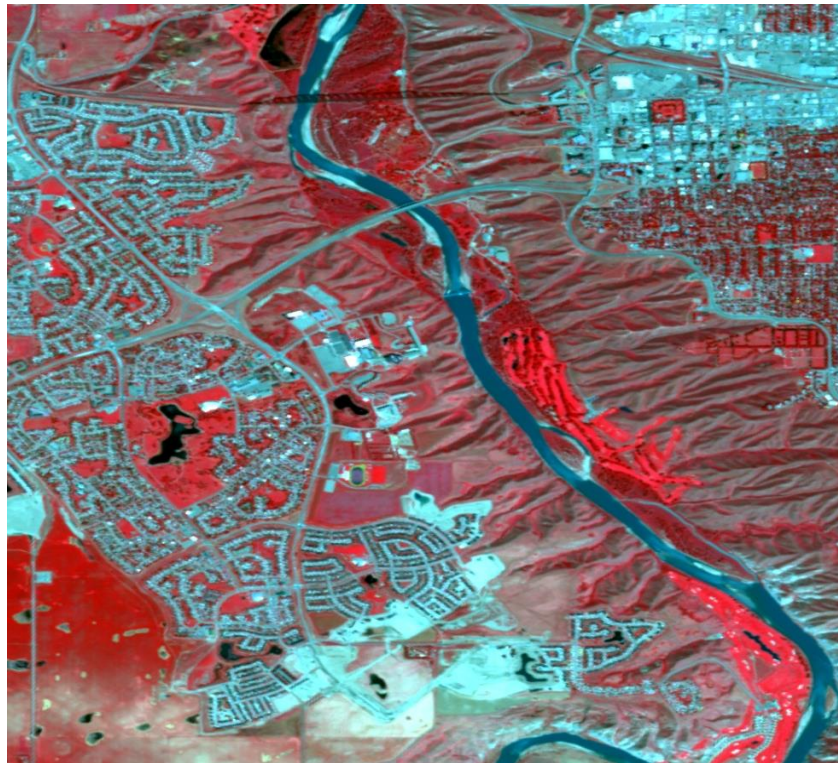
RUSLE-ის ბევრი მომხმარებელი C ფაქტორს ითვლის ვიშმაიერისა და სმიტის (1978) მიერ გამოქვეყნებული ცხრილიდან. შემდგომში მკვლევარებმა შექმნეს უამრავი მეთოდი C ფაქტორის NDVI-ის გამოყენებით შეფასებისთვის.

მცენარეული საფარის ინდექსები (Vis) გამოიყენება, როგორც ტერმინი, რომელიც გამოხატავს ტალღების სპექტრის კომბინაციასა და კონკრეტული მცენარის პარამეტრებს შორის კავშირს. ეს ინდექსები იცვლება ტალღების სპექტრის მარტივი პროპორციიდან სხვადასხვა ტალღების სპექტრის და ასევე სხვადასხვა ინდექსების კომბინაციების

⁶ ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706e/x6706e09.htm

კომპლექსურ ემპირიულ კავშირებამდე. ინდექსების განვითარება იწყება ჯორდანიდან (Jordan, 1969), რომელმაც დააკავშირა ახლო ინფრაწითელისა და წითელი გამოსხივების თანაფარდობა ფოთლოვანი არეალის ინდექსთან. ტაკერმა (Tucker, 1979) აღმოაჩინა, რომ შესაძლებელი იყო წითელი და ახლო ინფრა წითელი სხივების გამოყენება დიდ ტერიტორიაზე მცენარეული საფარის ცვლილების გასაზომად. დირინგმა (Deering, 1978) აღმოაჩინა, რომ ეს შეზღუდვა შესაძლოა დაძლეულიყო მცენარეული საფარის განსხვავების ნორმალიზებული ინდექსის (NDVI-Normalized Difference Vegetation Index) გამოყენებით.

NDVI არის სტანდარტული ინდექსი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ სურათი, სადაც ასახულია მწვანე საფარი. ეს არის რიცხვითი ინდიკატორი, სადაც გამოიყენება ელექტრომაგნიტური სპექტრის ხილული წითელი და ახლო ინფრაწითელი გამოსხივება და დისტანციური ზონდირების შედაგად მიღებული აეროკოსმოსური სურათების ანალიზით აფასებს საკვლევი ტერიტორია მოიცავს თუ არა ცოცხალ მწვანე საფარს. მას ასევე შეუძლია აღწეროს მცენარეულობის სიმჭიდროვე, საშუალებას აძლევს ფერმერს შეაფასოს მცენარის ზრდა და პროდუქტიულობა. მთელს მსოფლიოში NDVI ხშირად გამოიყენება გვალვებზე დასაკვირვებლად და ასევე სოფლის მეურნეობის პროდუქტიულობაზე დასაკვირვებლად. ის ხშირად პირდაპირ კავშირშია სხვა პარამეტრებთან, როგორიცაა მცენარეული საფარის მიერ დაკავებული ფართობი-პროცენტულად, მცენარის ფოტოსინთეზური აქტიურობა, ფოთლოვანი არეალის ინდექსი და ბიომასის მოცულობა. ეს ინდექსი პირველად გამოიყენა როუსმა 1973 წელს, ტეხასის უნივერსიტეტის დისტანციური ზონდირების ცენტრში (Silleos, Alexandridis, Gitas, & Perakis, 2006).



ნახ. 27. SPOT-ის მიერ გადაღებული ინფრაწითელი სურათი

NDVI-ში მთავარი საკითხია - განსხვავება ხილული წითელი და ინფრაწითელი სხივების არეკვლას შორის. მაგალითად, ხილულ სხივებში ადამიანის თვალი ყველაფერს, რაც მწვანეა, აღიქვამს მწვანედ, მაგრამ თუ დავაკვირდებით იგივე ტერიტორიის ინფრაწითელ სურათს, შევამჩნევთ რომ წითლად გამოსახულია მხოლოდ ცოცხალი მცენარეები, დანარჩენი ტერიტორია განსხვავებული ფერისაა ან შავია (ნახ. 27). ამას აქვს თავისი მიზეზი. მიზეზი კი მდგომარეობს შემდეგში: მწვანე ფოთლები ჩვეულებრივ უკეთ აირეკლება ახლო ინფრაწითელ ტალღებში, ვიდრე ხილულ სპექტრში, როდესაც ფოთოლი დაზიანებული ან მკვდარია გამოსახულება უფრო ყვითელი და ნაკლებად მკვეთრია. ღრუბლები, წყალი და თოვლი უკეთ აირეკლება ხილულ სპექტრში, ვიდრე ახლო ინფრაწითელ სპექტრში, მაშინ როდესაც ქანებისა და შიშველი ნიადაგების შემთხვევაში განსხვავება თითქმის ნულია (ციცაგი & გუგეშაშვილი, მცენარეული საფარის ცვლილების შეფასება NDVI გამოყენებით (ბორჯომის მუნიციპალიტეტის მაგალითზე), 2016). რაც უფრო დიდია განსხვავება ახლო ინფრაწითელ და წითელ ანარეკლს შორის, მით მეტია მცენარეულობა.

ამ ინდექსის გამოსათვლელი ფორმულა შემდეგი სახისაა:

$$NDVI = ((NIR - R) / (NIR + R)) \quad (12)$$

სადაც NIR-ახლო ინფრაწითელი გამოსხივებაა, ხოლო R-ხილული წითელი გამოსხივება. მიღებული შედეგები იცვლება -1-დან 1-მდე (ცხრ. 9). უარყოფითი მნიშვნელობა ახასიათებს ღრუბლებს, წყალს და თოვლს, ნული დამახასიათებელია კლდეებისა და შიშველი ნიადაგისათვის, საშუალო მნიშვნელობები - 0,2-0,3 დამახასიათებელია ბუჩქებისა და ბალახეულობისათვის, ხოლო უფრო მაღალი მაჩვენებელი ტყეებისათვის (Jones & Vaughan, 2010).

ცხრილი 9. NDVI-ს მნიშვნელობების ცვლილება სხვადასხვა ტიპის ზედაპირზე

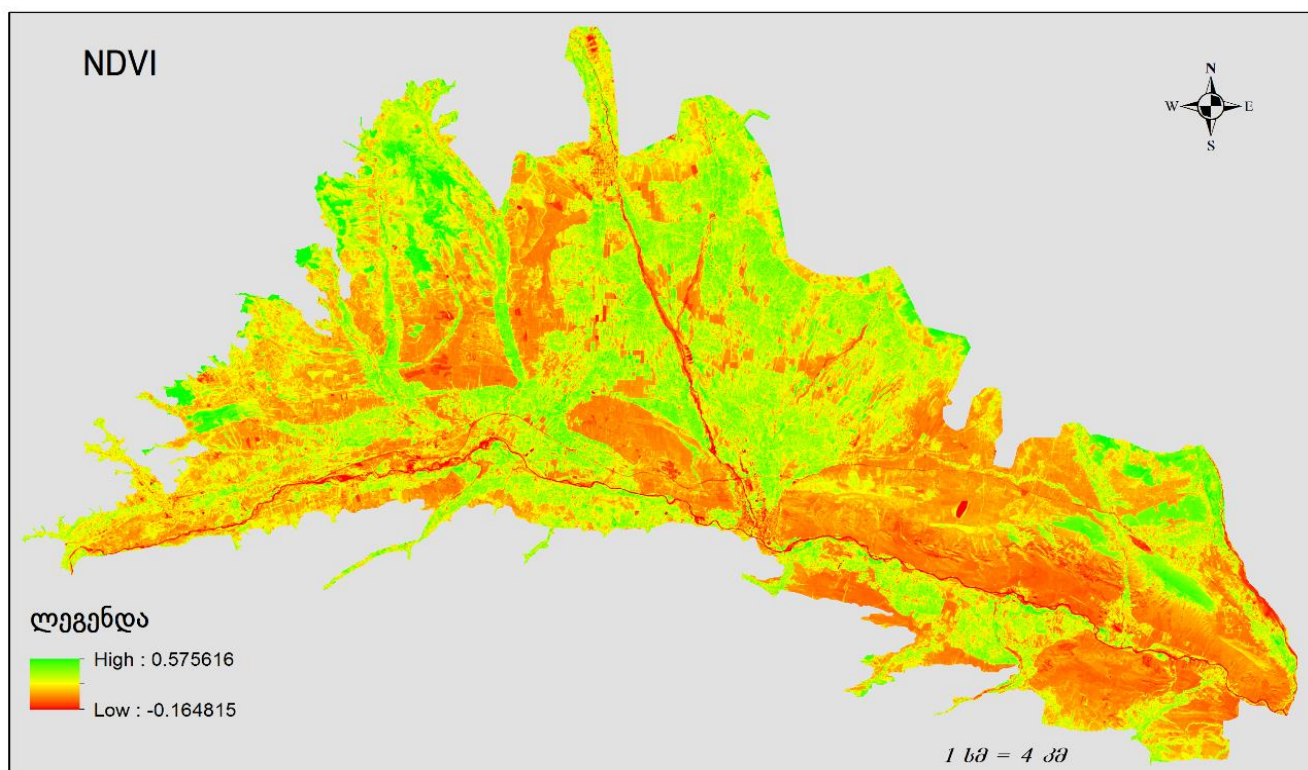
ობიექტის ტიპი	ანარეკლი წითელ სპექტრში	ანარეკლი ინფრაწითელ სპექტრში	NDVI-ს მნიშვნელობა
ხშირი მცენარეულობა	0.1	0.5	0.7
მეჩხერი მცენარეულობა	0.1	0.3	0.5
შიშველი ნიადაგი	0.25	0.3	0.025
ღრუბლები	0.25	0.25	0
თოვლი და ყინული	0.375	0.35	-0.05
წყალი	0.02	0.01	-0.25
ხელოვნური საფარი (ასფალტი)	0.3	0.1	-0.5

სამეცნიერო ლიტერატურაში უამრავი კვლევა არსებობს Landsat-ის კოსმოსური გამოსახულებებიდან NDVI-ის მიღების შესახებ. Landsat-ს გააჩნია რამდენიმე უპირატესობა: აღნიშნული სურათები უფასოა და ყველასთვის ხელმისაწვდომი, მას აქვს საშუალო გარჩევადობა, რაც კვლევების უმეტესობისათვის სრულიად მისაღებია.



ნახ. 28. Landsat 8 OLI (170/31)

კვლევისათვის შევარჩიეთ Landsat 8 OLI-ს თანამგზავრული სურათი (path/row 170/31) (ნახ. 28). ხსენებული სურათის პიქსელის გარჩევადობა არის 30 მ, რაც ჩვენთვის სრულიად მისაღებია, რადგან ჩვენს მიერ გამოყენებული რელიეფის ციფრული მოდელის პიქსელის გარჩევადობაც სწორედ 30 მეტრია. სურათიდან საკვლევი არეალის ამოღების შემდეგ მე-11 ფორმულის მეშვეობით გამოვთვალეთ საკვლევი არეალის NDVI (ნახ. 29).



ნახ. 29. NDVI-ის მნიშვნელობები საკვლევ ტერიტორიაზე

მიღებული რასტრული ფაილის გაანალიზების შემდეგ, გამოვთვალეთ NDVI-ის ცალკეული მნიშვნელობების მიერ დაკავებული ფართობი პროცენტულად (ცხრ. 10). ზემოთ უკვე აღინიშნა, რომ NDVI-ის მაღალი დადებითი მნიშვნელობები დაკავშირებულია ხშირ მცენარეულობასთან, საინტერესოა რომ ჩვენს მიერ მიღებული შედეგებით უდიდესი ნაწილი სწორედ მათზე მოდის.

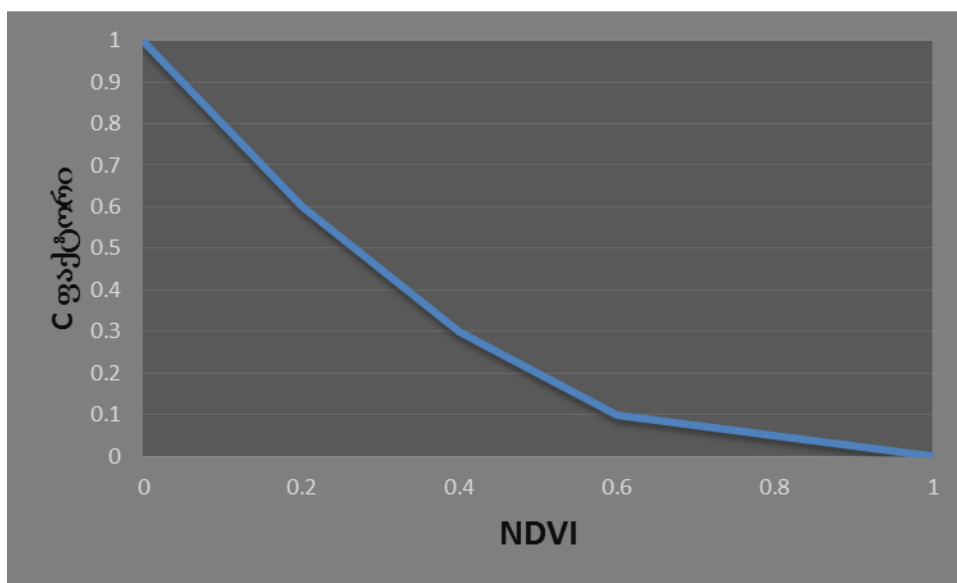
ცხრილი 10. NDVI-ის მნიშვნელობების განაწილება პროცენტულად

NDVI-ის მნიშვნელობები	დაკავებული ტერიტორია პროცენტულად
-0.16-0,05	0.08
-0,05-0	0.16
0-0.025	0.09
0.025-0.5	99.2
0.5<	0.5

მანამ სანამ NDVI-სა და C ფაქტორის კორელაცია მოხდებოდა (De Jong) ბევრი მკვლევარი C ფაქტორის მნიშვნელობის გამოსათვლელად იყენებდა რეგრესიულ ანალიზს. ამჟამინდელი კვლევები ცხადყოფს, რომ არსებობს წრფივი კორელაცია NDVI-სა და C ფაქტორის შორის.

თავის სადისერტაციო ნაშრომში დე იონგმა აღწერა მცენარეული საფარის ინდექსების გამოყენება ეროზიის მოდელებში. 33 საცდელი ნაკვეთიდან მიღებული

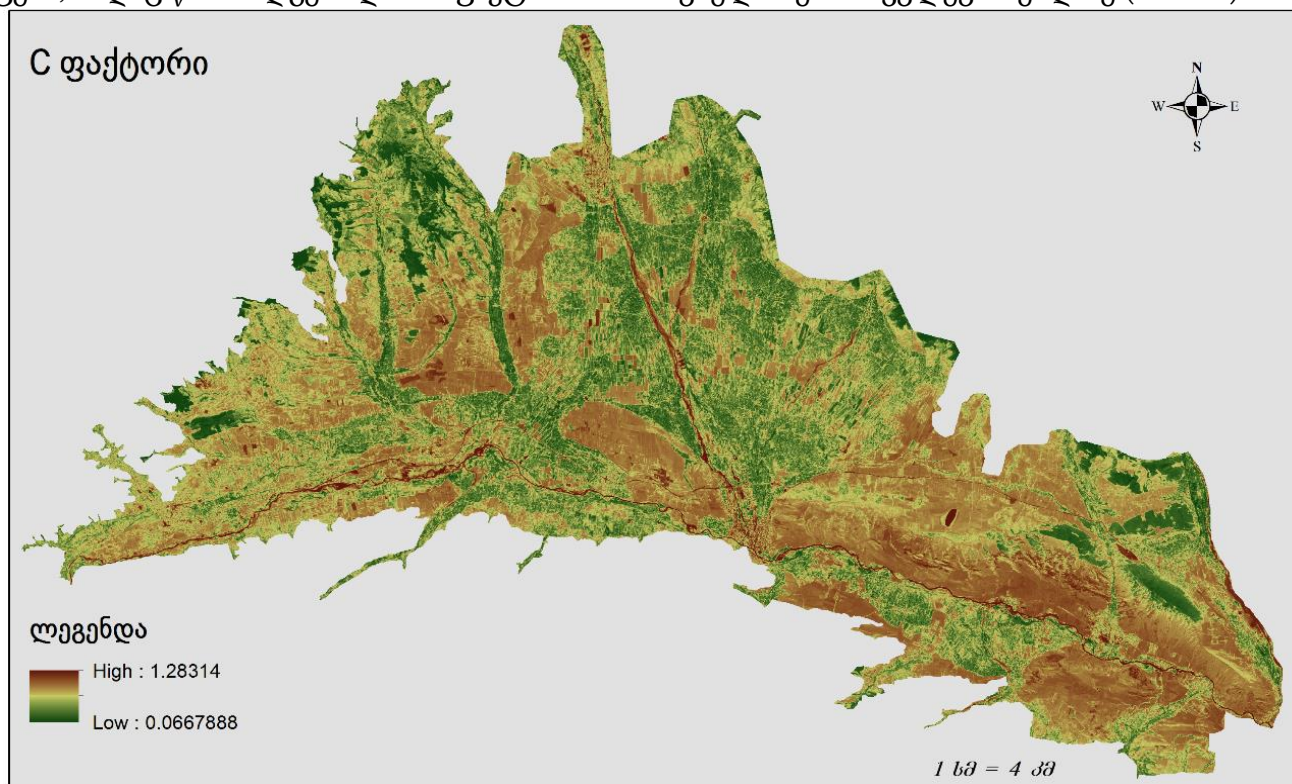
სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე მან აღწერა წრფივი კავშირი NDVI-სა და C ფაქტორს შორის და დაასკვნა რომ მათ შორის არსებობს კორელაციური კავშირი (ნახ. 30).



ნახ. 30. წრფივი კორელაცია C ფაქტორსა და NDVI-ის შორის

$$C = \exp(-2 \cdot \text{NDVI} / (1 - \text{NDVI})) \quad (13)$$

მე-12 ფორმულაში მონაცემების განთავსების შემდეგ მივიღეთ ახალი რასტრული ფენა, სადაც წარმოდგენილია C ფაქტორის მნიშვნელობები საკვლევ არეალზე (ნახ. 31).



ნახ. 31. C ფაქტორის მნიშვნელობები საკვლევ ტერიტორიაზე

ცხრილი 11. C ფაქტორის მნიშვნელობათა განაწილება პროცენტულად

C ფაქტორის მნიშვნელობები	დაკავებული ფართობი პროცენტულად
0.06-0.25	9.4
0.25-0.5	36.6
0.5-1	53.7
1<	0.3

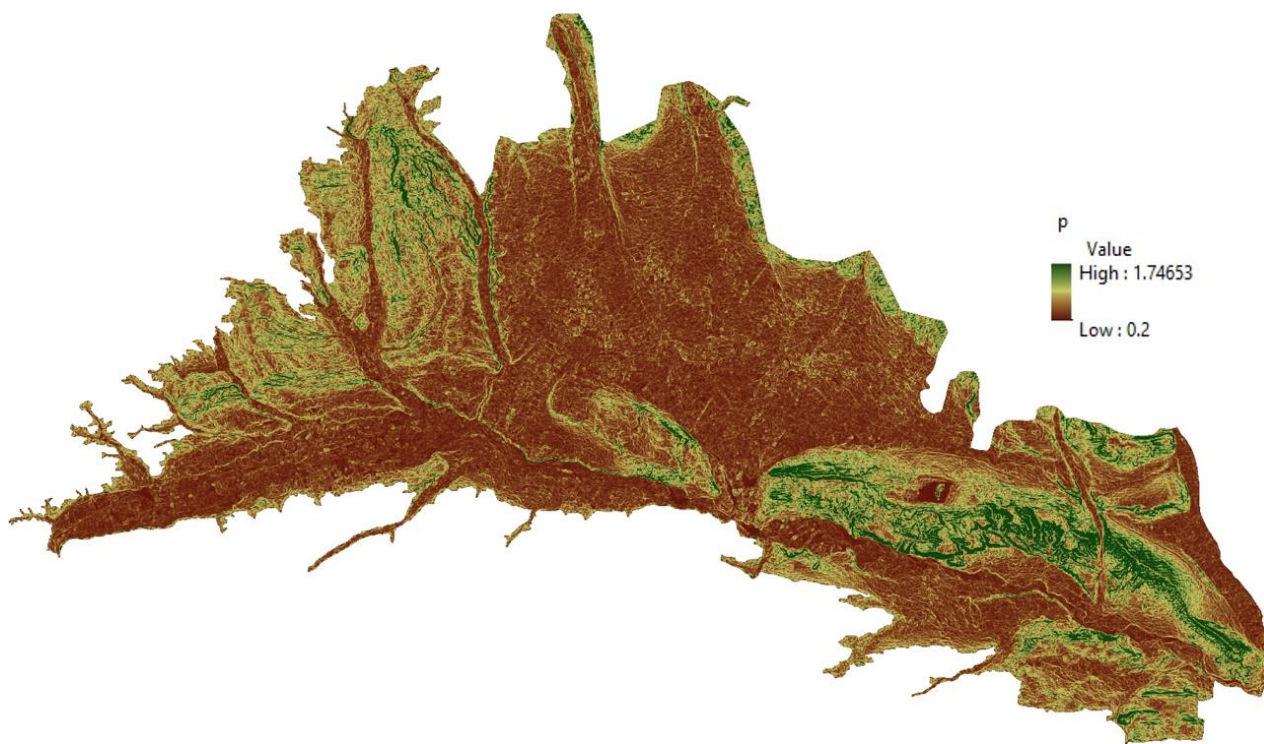
რაც შეეხება **P ფაქტორს**, იგი არის ფაქტორი, რომელიც ასახავს ნიადაგის დამცავ ღონისძიებებს, უფრო კონკრეტულად დამცავი ღონისძიებების გავლენას ნიადაგის წლიურ დანაკარგზე (Al-Quraishi, 2003). თავდაპირველად მას კონსერვაციის პრაქტიკის ფაქტორს უწოდებდნენ (The Conservation Practices Factor), მოგვიანებით ვიშმაიერისა და სმიტის მიერ 1965 წლიდან მოიხსენიება როგორც ეროზიის მაკონტროლებელი ღონისძიებების ფაქტორი (Erosin-Control Practice Factor) და იგივე ავტორების მიერ უკვე როგორც დამცავი ღონისძიებების ფაქტორი 1978 წლიდან (Supporting Practice Factor) (Lafien & Flanagan, 2013).

აღნიშნული ფაქტორი წარმოადგენს ნიადაგის დანაკარგისა და დამცავი ღონისძიებების შეფარდებას (Dabral, Baithuri, & Pandey, 2008). მისი მნიშვნელობები იცვლება 0-დან 1-მდე. მაღალი მნიშვნელობა ენიჭება ადგილებს, სადაც არანაირი დამცავი ღონისძიება არ გამოიყენება (მაგ. ტყე), ხოლო დაბალი მნიშვნელობები ასახავს სავარგულებს. რაც უფრო დაბალია P-ს მნიშვნელობა, მით უფრო ეფექტურია დამცავი ღონისძიებები (Prasannakumar, Shiny, Geetha, & Vijith, 2011). სამწუხაროდ

დეტალური ციფრული მონაცემების არ არსებობის გამო საჭიროა ალტერნატიული გზების ძიება. სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებობს P ფაქტორის გამოთვლის ე.წ. ვერნერის მეთოდი (Khosrokhani & Pradhan, 2014), სადაც ფერდობების დახრილობის (პროცენტული) მაჩვენებლებიდან სპეციალური ფორმულის მეშვეობით ხდება P ფაქტორის გამოთვლა:

$$P=0.03*S+0.2 \quad (14)$$

სადაც S არის ფერდობების დახრილობის (პროცენტებში) მაჩვენებელი.



ნახ. 32. P ფაქტორის მნიშვნელობათა განაწილება საკვლევ ტერიტორიაზე

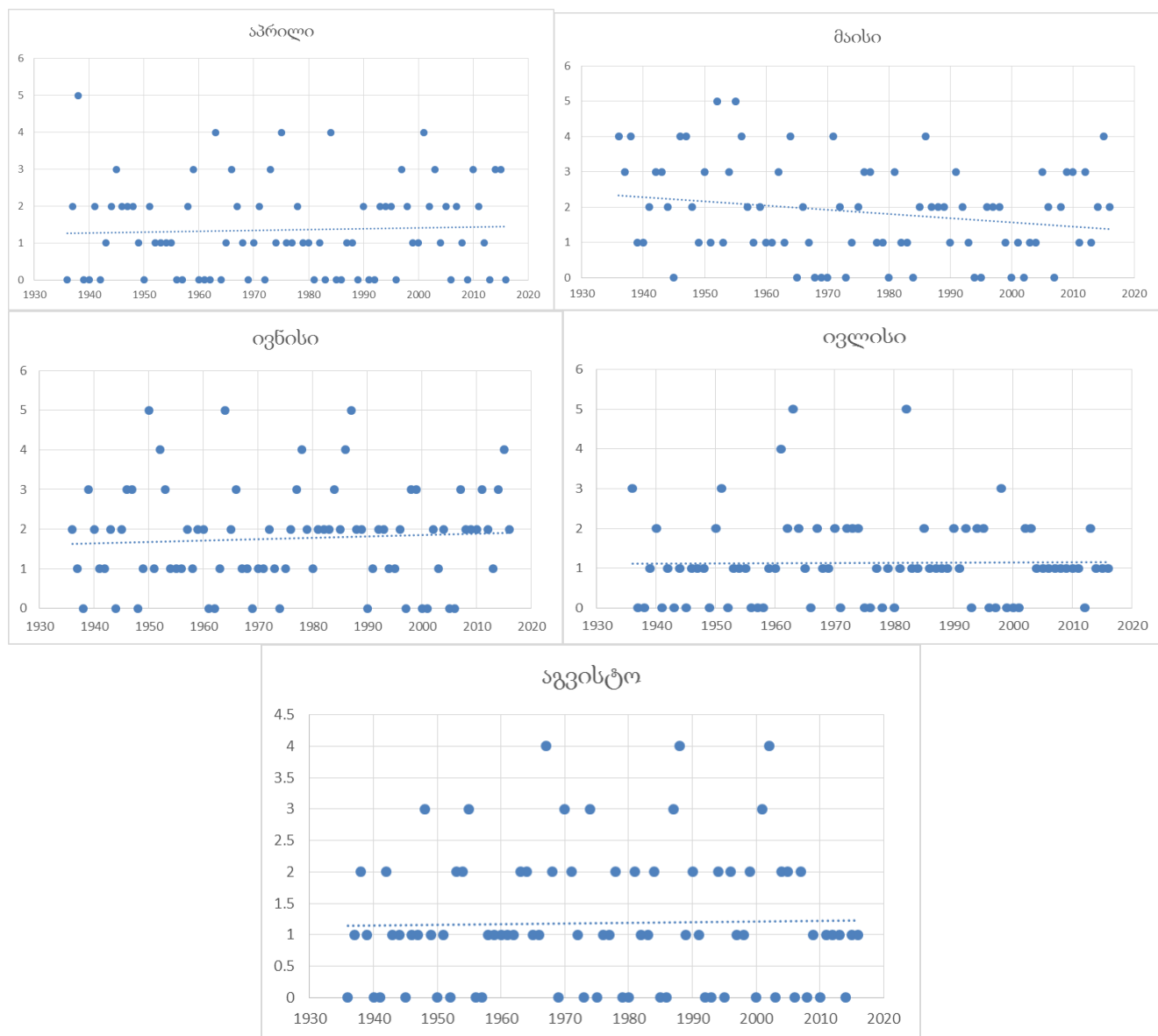
3.3 წიადაგის ეროზიის ტერიტორიული განაწილების თავისებურებანი

არსებული მონაცემების ადაპტირებისა და დამუშავების შემდეგ გავანალიზეთ თითოეული ფაქტორი:

3.3.1 R ფაქტორი

როგორც ზემოთ აღინიშნა, R ფაქტორის მნიშვნელობების გამოსათვლელად საჭიროა მრავალწლიანი მონაცემები. ჩვენი კვლევისას გამოვიყენეთ შიდა ქართლში დღეს მოქმედი ორი სადგურის-ხაშურისა და გორის 27 წლის მონაცემები (1990-2016).

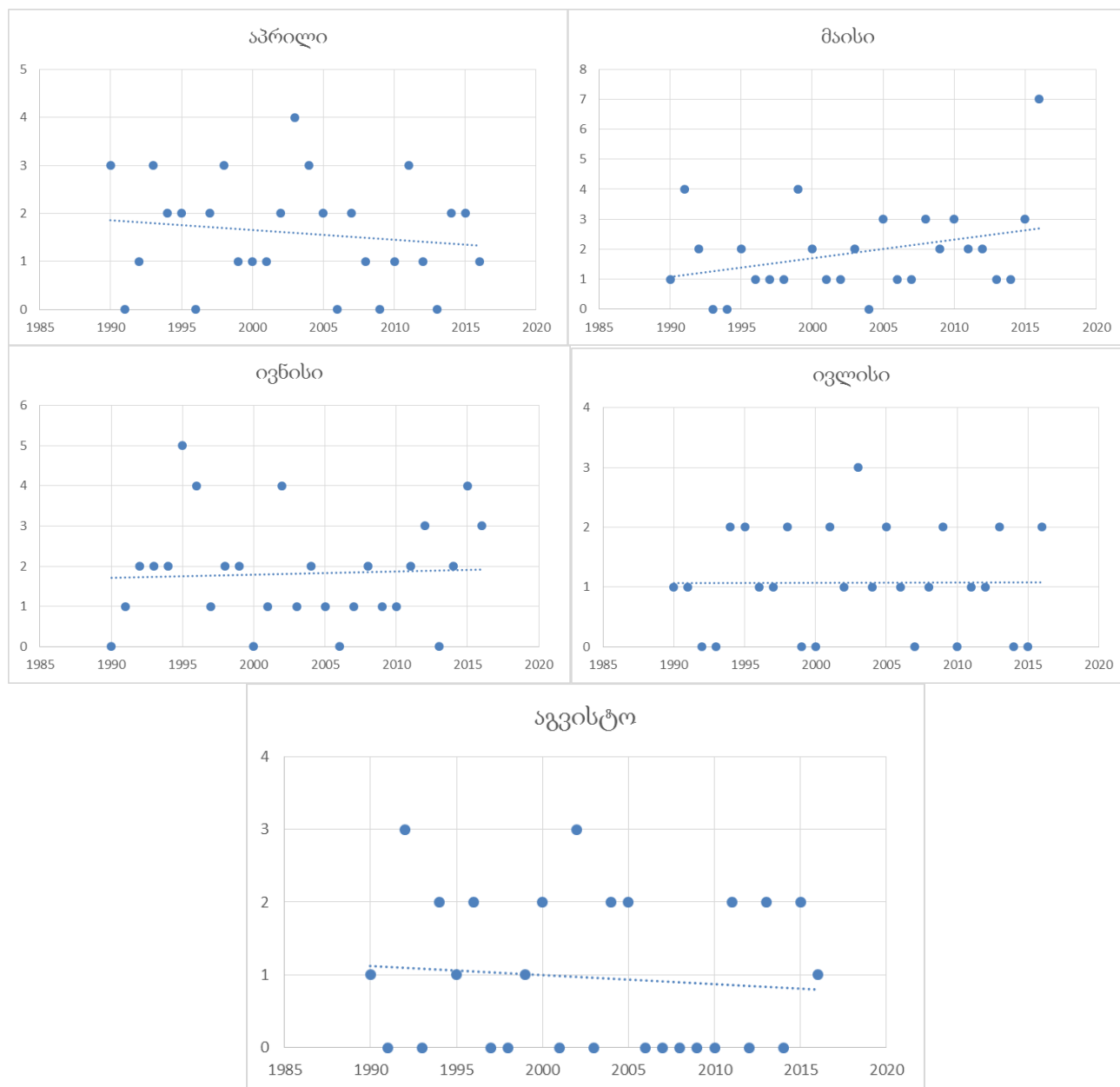
ქვემოთ წარმოდგენილ გრაფიკზე ასახულის სადგურ გორისთვის იმ დღეთა რაოდენობა, როდესაც ნალექები 10 მმ-ზე მეტი იყო. გაანგარიშება შესრულდა აპრილის, მაისის, ივნისის, ივლისის და აგვისტოს თვეებისათვის (ნახ. 33). საკვლევ პერიოდში, სადგურ გორის შემთხვევაში იკვეთება შემდეგი სურათი: აპრილში, ივნისსა და აგვისტოში ადგილი აქვს ნალექიან დღეთა (10 მმ-ზე<) რაოდენობის მცირედით ზრდას, მაისში პირიქით შემცირებას, ხოლო ივლისის თვე სტაბილური ტრენდით გამოირჩევა.



ნახ. 33. დღიური 10 მმ-ზე მეტი ნალექის მქონე დღეთა რაოდენობის ცვლილება თვეების მიხედვით (აპრილი, მაისი, ივნისი, ივლისი, აგვისტო) სადგურ გორისთვის (1936-2016წწ.)

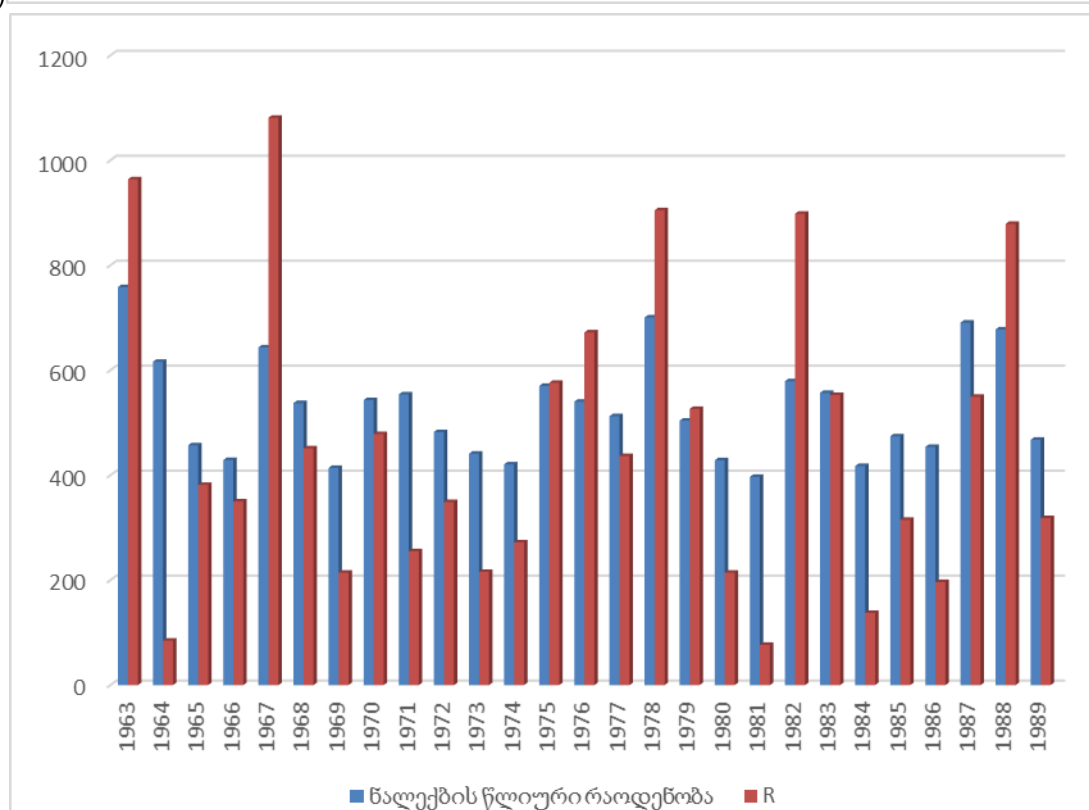
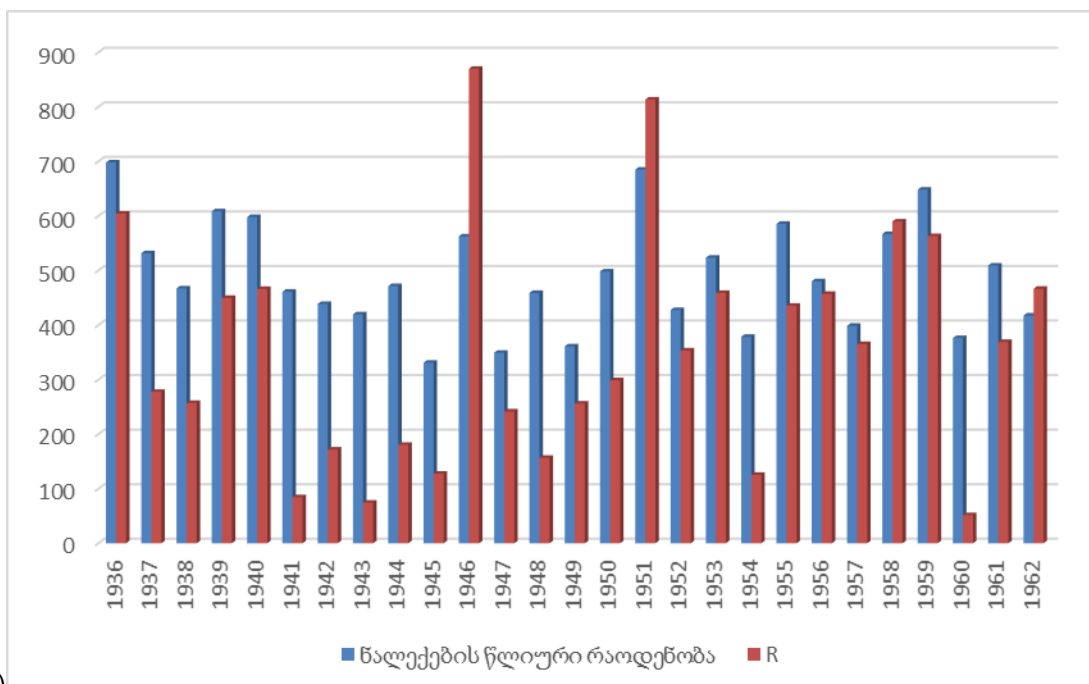
მსგავსი გაანგარიშება ჩატარდა სადგურ ხაშურისთვისაც (ნახ. 34). მოცემულ შემთხვევაში აპრილსა და აგვისტოში აღინიშნება ნალექიან (10მმ-ზე <) დღეთა რაოდენობის შემცირება, მაისში პირიქით მატება, ხოლო ივნისი და ივლისი სტაბილურია.

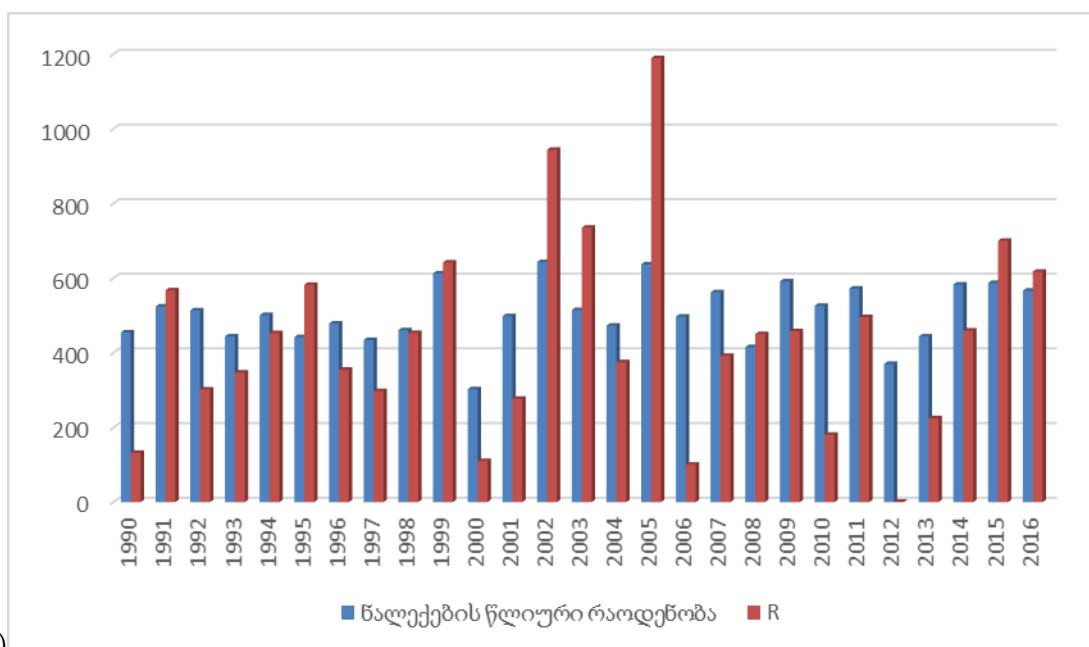
მიმდინარე კვლევის შემთხვევაში სწორედ აღნიშნული გაანგარიშებებისა და ნალექების თვიური რაოდენობის გათვალისწინებით მოხდა R ფაქტორის განსაზღვრა საკვლევ რეგიონში.



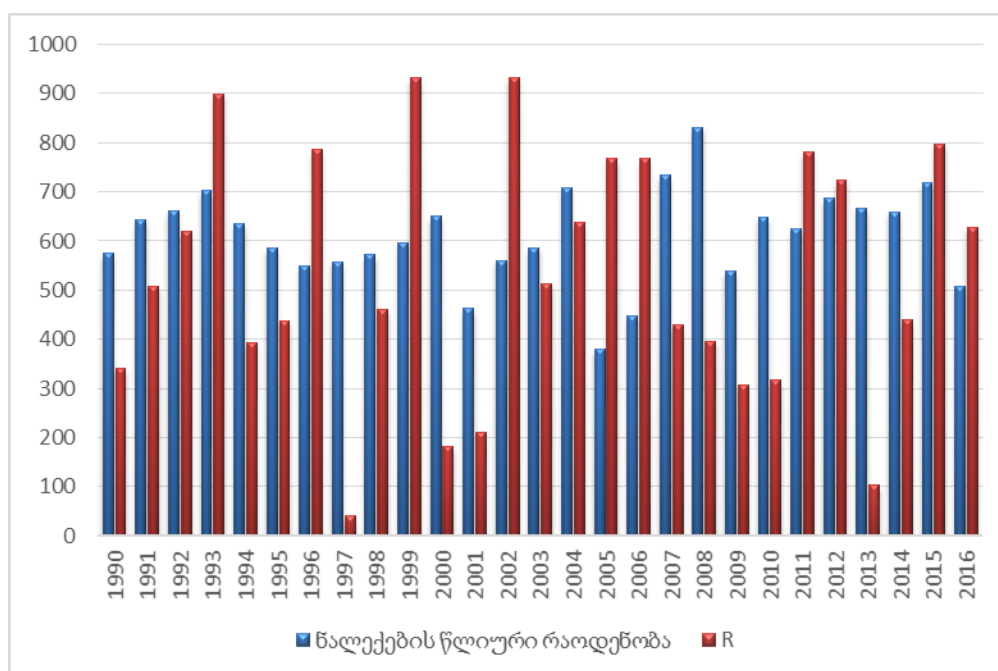
ნახ. 34. დღიური 10 მმ-ზე მეტი ნალექის მქონე დღეთა რაოდენობის ცვლილება თვეების მიხედვით (აპრილი, მაისი, ივნისი, ივლისი, აგვისტო) სადგურ ზაშურისთვის (1990-2016წწ.)

კვლევის პროცესში მონაცემები დამუშავდა 3.2 ქვეთავში აღწერილი ყველა მეთოდით, მიღებული შედეგები შევადარეთ სამეცნიერო ლიტერატურაში მანამდე გამოქვეყნებულ მონაცემებს და აღმოჩნდა რომ (5) ფორმულა შიდა ქართლის კლიმატური პირობებისათვის ყველაზე მისაღებია.





ნახ. 35. ნაღებები წლიური რაოდენობა ატმოსფერული ნაღებების ეროზიული პოტენციალი სადგურ გორის თვის სამი საკვლევი პერიოდისთვის: ა) 1936-1962; ბ) 1963-1989; გ) 1990-2016



ნახ. 36. ნაღებები წლიური რაოდენობა ატმოსფერული ნაღებების ეროზიული პოტენციალი სადგურ ხაშურისთვის 1990-2016 პერიოდისთვის

ჩვენ შემთხვევაშიც სწორედ (5) ფორმულა იქნა გამოყენებული R ფაქტორის გამოსათვლელად. ლურერიოსა და კაუტინიოს მიერ მოცემულ გამოთვლაში საჭირო იყო ნაღებების დღიური და თვიური მონაცემები. ორივე სადგურისათვის შეიქმნა Excel-ის მონაცემთა ბაზა, სადაც შესრულდა მათემატიკური გამოთვლები. გარდა ზემოთხსენებული 27 წლიანი პერიოდისა, სადგურ გორისათვის ცალკე დამუშავდა კიდევ ორი პერიოდის

მონაცემები: 1936-1962 და 1963-1989 (ნახ. 35). ნაშრომში წარმოდგენილია ორივე სადგურის ნალექების წლიური რაოდენობისა და R ფაქტორის შედარება თითოეული წლისთვის. საინტერესოა, რომ R ფაქტორს უშუალო კავშირი არ აქვს ნალექების წლიურ რაოდენობასთან, ე.ი. უხვი ნალექი ერთი წლის განმავლობაში არ ნიშნავს მაღალ R ფაქტორს და პირიქით, ამ შემთხვევაში გადამწყვეტია ნალექიან დღეთა რაოდენობა და დღეში მოსული ნალექების მაქსიმალური რაოდენობა. მიღებული შედეგების თანახმად სადგურ გორისთვის R ფაქტორის მაჩვენებელი 1963-1989 წლებისათვის 29 %-ით გაიზარდა 1936-1962 წლებთან შედარებით, ხოლო 1990-2016 წლებისათვის დაახლოებით 5 %-ით შემცირდა, ე.ი. ამ სამი პერიოდიდან R ფაქტორი სადგურ გორისთვის ყველაზე მაღალი იყო 1963-1989 წლებში, ხოლო ყველაზე დაბალი 1936-1962 წლებში. რაც შეეხება უშუალოდ ორი სადგურის R ფაქტორის შედარებას, ხაშურის შემთხვევაში R ფაქტორი მცირედით აღემატება სადგურ გორის იგივე მონაცემს (ნახ. 36).

3.3.2 LS ფაქტორი

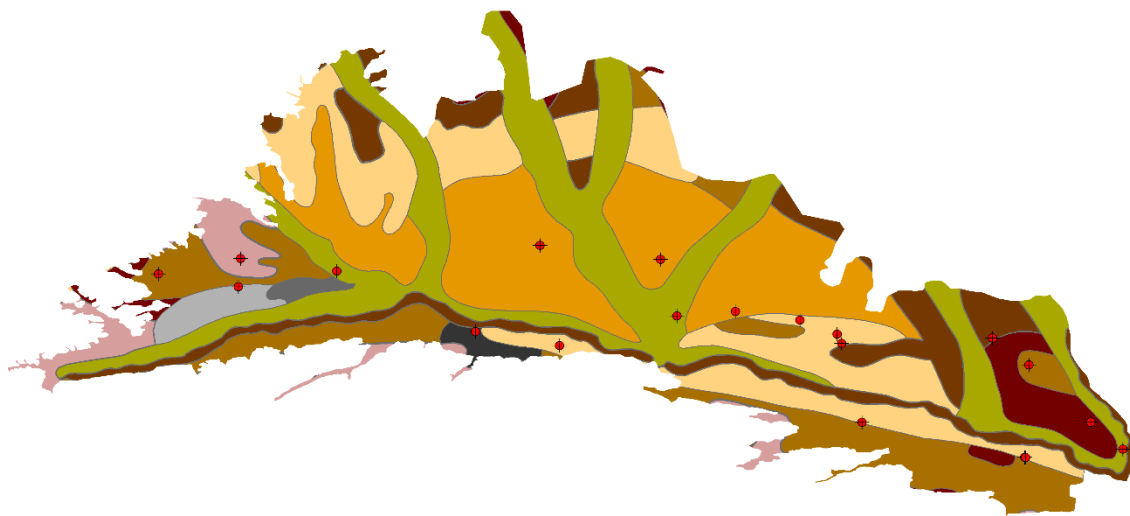
როგორც ზემოთ აღინიშნა LS-ის მაღალი მაჩვენებელი ეროზიის მაღალ პოტენციალზე მიგვითითებს. გამოთვლების შედეგად მიღებულ რასტრულ გამოსახულებაზე (ნახ. 24) ნათლად ჩანს, რომ LS-ის მაღალი მაჩვენებლები გვაქვს იქ, სადაც ფერდობების დახრილობა დიდია და შესაბამისად მაღალია ნაკადის სიჩქარეც. ჩვენს მიერ მიღებული შედეგებით LS-ის ყველაზე დაბალი მაჩვენებლებია შიდა ქართლის ვაკის ლიახვი-მეჯუდას შორის მოქცეულ ტერიტორიაზე, ხოლო მაღალი მაჩვენებლები ლოგიკურად კვერნაქების სერის ფერდობებზე და მდინარე ფრონეს ხეობის მიმდებარე მთისწინებზე.

3.3.3 K ფაქტორი



ფოტო 11. ველზე მუშაობის პროცესი

საკვლევ ტერიტორიაზე K ფაქტორის განსაზღვრისთვის მოეწყო ორი ექსპედიცია საკვლევ რეგიონში. ველზე ავიღეთ ნიადაგის ნიმუშები (ფოტო 11). ქვემოთ მოცემულ ნახაზზე წარმოდგენილია GPS-ით აღებული საველე საკონტროლო წერტილები (ნახ. 37).



ნახ. 37. საველე საკონტროლო წერტილების განლაგება საკვლევ ტერიტორიაზე

მოხდა ნიმუშების ლაბორატორიული დამუშავება (ფოტო 12), რის შედეგადაც განისაზღვრა ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობა და ჰუმუსის პროცენტული შემცველობა (ცხრ. 12) (ტალახაძე, 1962).



ფოტო 12. ლაბორატორიული სამუშაოების მსვლელობა (თსუ)

ჭრილის ნომერი	ნიმუშის აღების სიღრმე (სმ)	ფრაქციები (მმ)							ჯამური (%)
		>0.25	0.25- 0.05	0.05- 0.01	0.01- 0.005	0.005- 0.001	<0.001	<0.01	
1	0-20	12.35	0.45	26	6.4	29.2	25.6	61.2	2.5
2	0-20	3.99	0.01	24.4	4.4	22.8	44.4	71.6	2.9
3	0-20	0.5	11.1	5.2	5.6	9.2	68.4	83.2	2.6
4	0-20	0.77	6.43	8.4	7.2	24.4	52.8	84.4	2.4
5	0-20	7.81	4.99	19.6	8.8	21.6	37.2	67.6	1.9
6	0-20	2.78	0.02	21.6	10	30.4	35.2	75.6	1
7	0-20	1.66	0.34	16	10	19.6	52.4	82	2.1
8	0-20	11.7	7.1	22.8	8	20	30.4	58.4	2.7
9	0-20	5.24	1.16	22.4	4.8	29.6	36.8	71.2	3.2
10	0-20	23.55	32.04	23.15	7.05	7	7.21	21.26	2.27
11	0-20	25.25	22.06	25.99	12.2	8.36	6.14	26.7	1.8
12	0-20	7.87	29.36	24.17	10.35	10.9	17.35	38.6	6.05
13	0-20	3.65	42.83	26.45	7.75	7.58	11.74	27.07	1.73
14	0-20	37.61	26.3	18.13	5.23	4.53	8.2	17.96	2.18

ცხრილი 12. საკვლევი არეალის ნიადაგების ნიმუშების ლაბორატორიული ანალიზის შედეგები

მე-13 ცხრილიდან კარგად ჩანს თუ როგორ ცვალებადობს ჯამურის პროცენტული შემცველობა 1-6%-მდე. უნდა აღინიშნოს, რომ სავარგულებიდან ნიმუშების აღებისას არჩევანი ნასვენ მიწებზე შევაჩერეთ.

მე-13 ცხრილში წარმოდგენილია ნიადაგის მექანიკური ანალიზის შედეგად თითოეულ ნიმუშში ქვიშის, ლექისა და მტვერის ფრაქციების პროცენტული განაწილება, რისი მეშვეობითაც განისაზღვრა თითოეული მათგანის ტექსტურის კლასი. ტექსტურის კლასის დასადგენად გამოვიყენეთ ზემოთხსენებული ტექსტურის სამკუთხედი (ნახ. 35). სპეციალურად ამ გამოთვლისთვის Excel-ში შექმნილ ბაზაში მონაცემთა თავმოყრის შემდეგ მივიღეთ სამკუთხედი, სადაც ჩვენი სავსე საკონტროლო წერტილები შემდეგნაირად გადანაწილდა (ნახ. 38). როგორც სურათიდან ჩანს, ჩვენი ნიმუშების მეტი ნაწილი განეკუთვნება საშუალო თიხნარ ნიადაგებს.

აღნიშნული სამკუთხედიდან (ნახ. 38) ტექსტურის კლასის განსაზღვრის შემდეგ, უკვე დადგინდა ნიადაგის წყალგამტარობა, ამისათვის გამოვიყენეთ წყალგამტარობის საშუალო მაჩვენებლები (სმ/სთ) ტექსტურის მიხედვით⁷ (ცხრ. 13).

⁷ http://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706e/x6706e09.htm

ჭრილის ნომერი	ქვიშა 1.00-0.05	მტვერი 0.05- 0.001	ლექი <0.001	P	K ფაქტორი
1	12.8	61.6	25.6	0.5	0.044657808
2	4	51.6	44.4	0.5	0.020016183
3	11.6	20	68.4	0.05	0.001394211
4	7.2	40	52.8	0.25	0.012630476
5	12.8	50	37.2	0.65	0.0316564
6	2.8	62	35.2	0.65	0.037618934
7	2	45.6	52.4	0.25	0.013523053
8	18.8	50.8	30.4	0.65	0.037415929
9	6.4	56.8	36.8	0.65	0.027582944
10	55.59	37.2	7.21	2.5	0.085013773
11	47.31	46.55	6.14	2.5	0.091280358
12	37.23	45.42	17.35	1.3	0.037376298
13	46.48	41.78	11.74	1.3	0.076257192
14	63.91	27.89	8.2	2.2	0.082779313

ცხრილი 13. ნიადაგების ტექსტურისა და K ფაქტორის მნიშვნელობები

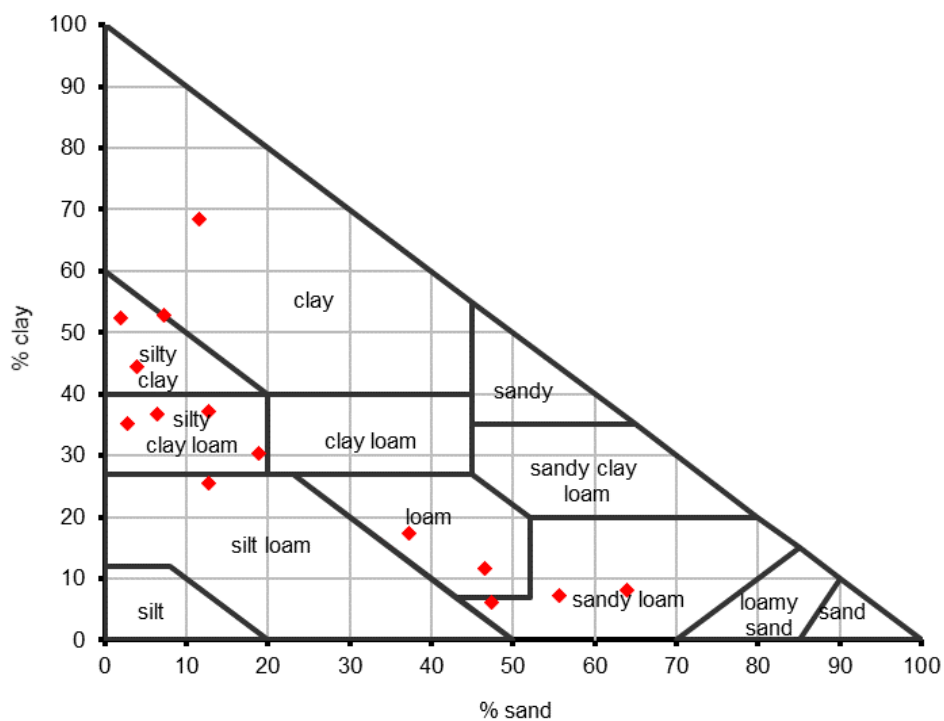
რაც შეეხება სტრუქტურას (ცხრ. 15), მისი განსაზღვრა მოხდა ასევე ტექსტურის მიხედვით (Lopez-Vicente, Navas, & Machin, 2008):

ცხრილი 14. ნიადაგის სტრუქტურის კლასები

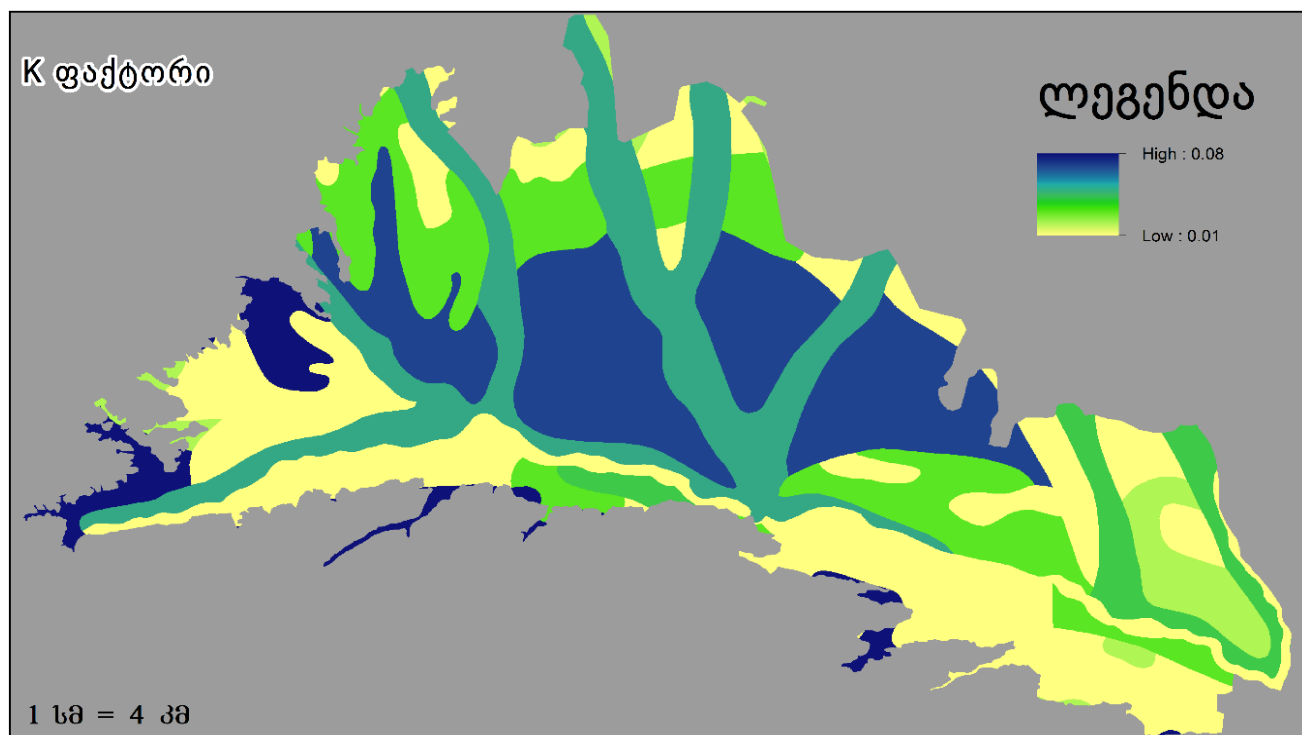
ნიადაგის სტრუქტურის კლასი	ნიადაგის სტრუქტურა (USDA 1983)
1	ძალიან წმინდა (<1 მმ)
2	წვრილი (1-2 მმ)
3	საშუალო ზომის ნაწილაკები (2-10 მმ)
4	ძალიან უხეში, ბლოკური (>10 მმ)

ყველა მონაცემის თავმოყრის შემდეგ განისაზღვრა K ფაქტორი (11) ფორმულის მიხედვით (ცხრ. 14).

მონაცემთა ბაზაში ნიადაგების პოლიგონებს მიენიჭათ K ფაქტორის შესაბამისი მნიშვნელობები, შემდეგ უკვე აღნიშნული ვექტორული ფაილის საფუძველზე მომზადდა რასტრული ფენა შემდგომი გამოთვლებისთვის (ნახ. 39).



ნახ. 38. საკვლევი არეალის წიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობა



ნახ. 39. K ფაქტორი

როგორც ზემოთ აღინიშნა, ის ნიადაგები, რომლებიც ხასიათდება ლექისა და მტვერის ფრაქციების მაღალი პროცენტული შემცველობით უფრო მაღალი ეროზიულობით ხასიათდება. მე-13 ცხრილიდან კარგად ჩანს, რომ მოცემულ შემთხვევაშიც K ფაქტორის მაღალი მნიშვნელობები მივიღეთ სწორედ იმ ნიმუშებში, სადაც ლექისა და მტვერის ფრაქციების პროცენტული შემცველობა მაღალია, ხოლო K ფაქტორის დაბალი მნიშვნელობები აღინიშნა იქ, სადაც ქვიშის ფრაქციის პროცენტული მაჩვენებელი იყო მაღალი. მსგავსი მნიშვნელობების პირობებში კი ჰუმუსის პროცენტულმა მნიშვნელობამ ითამაშა გადაწყვეტი რილი. მეტ-ნაკლებად მსგავსი ტექსტურის პირობებში K ფაქტორის მნიშვნელობა ნაკლებია იქ, სადაც ჰუმუსის პროცენტული შემცველობა მაღალია.

მიღებული შედეგების გამოყენებით კი გის-ში მომზადდა K ფაქტორის რასტრული ფაილი საბოლოო გამოთვლისთვის (ნახ. 39).

3.3.4 C ფაქტორი

3.2 ქვეთავში აღინიშნა, რომ C ფაქტორის გამოსათვლელად მივმართეთ დისტანციურად ზონდირებული სურათის დეშიფრირების მეთოდს და უპირველესად გამოვთვალეთ NDVI. გამოთვლების შედეგად დადგინდა რომ NDVI-ის ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი დაკავშირებულია მდინარე ფრონეს ხეობაში არსებულ ტყის მასივთან, ასევე მდინარე ლეხურას შუა წელში არსებულ ტყის მასივთან და ასევე დამუშავებულ ფართობებზე არსებულ მრავალწლიან ნარგავებთან. ლოგიკურად დაბალი მაჩვენებლები (უარყოფითი მაჩვენებლები) დაკავშირებულია წყალთან და შიშველ ნიადაგთან.

მე-13 ფორმულაში მნიშვნელობების განთავსების შემდეგ მიღებულ რასტრულ ფაილზე C ფაქტორის გამოთვლებმა აჩვენა (ნახ. 31), რომ ყველაზე მაღალი მნიშვნელობები დაკავშირებულია წყალთან და შიშველ ნიადაგთან, ხოლო დაბალი მნიშვნელობები, პირველ რიგში, ტყიან ტერიტორიებთან, ხოლო შემდგომ ხეხილის ბაღებთან, საშუალო მაჩვენებლები კი ბალახიან საფართან ე.ი. ზემოთხსენებული კორელაციური კავშირი NDVI-სა და C ფაქტორს შორის შედგა.

როგორც ცნობილია, რაც უფრო დაბალია C ფაქტორის მნიშვნელობები, მით უფრო უკეთაა ნიადაგი დაცული მცენარეულობით. მოცემული კონკრეტული კვლევის შემთხვევაში ტერიტორიის დიდი ნაწილი მოქცეულია საშუალო და მაღალი მნიშვნელობების მქონე კლასში, რაც ძირითადად, მცენარეულობას ბუნებრივად მოკლებულ ან სასოფლო-სამეურნეო ტერიტორიებს უკავშირდება.

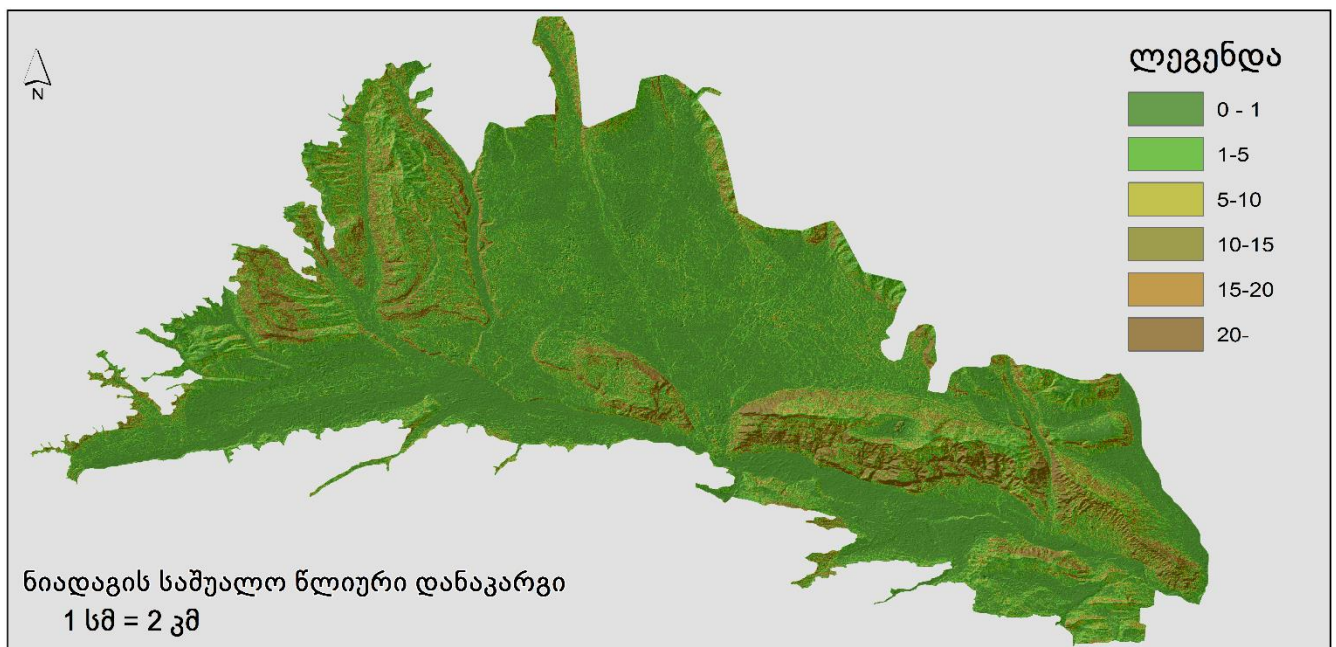
3.3.5 P ფაქტორი

როგორც უკვე აღინიშნა 3.2 ქვეთავში, მიმდინარე კვლევისას გამოვიყენეთ P ფაქტორის გამოთვლის არაპირდაპირი ე.წ. ვერნერის მეთოდი, სადაც მთავარი მდგენელი ფერდობების დახრილობის ამსახველი რასტრული ფაილია, სადაც P-ს დაბალი მნიშვნელობები შედარებით ეფექტურ დამცავ ღონისძიებებს აღნიშნავს. ჩვენ შემთხვევაშიც (ნახ. 32) დაბალი მნიშვნელობები სწორედ მცენარეულობით დაფარულ ვაკე ადგილების შემთხვევაში მივიღეთ, ხოლო მაღალი მნიშვნელობები მეტად დახრილ ფერდობებზე შიშველი ნიადაგით.

3.4 ნიადაგ-ეროზიული დარაიონება

ზემოთხსენებული ხუთივე ფაქტორის მოდელირების შედეგად მიღებული რასტრული ფაილები განთავსდა (1) ფორმულაში და შემდეგ გამოთვლა შესრულდა გის-ის რასტერ კალკულატორში. შედეგად მივიღეთ საკვლევი ტერიტორიის რასტრული გამოსახულება, სადაც მოცემულია ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგი.

როგორც მოსალოდნელი იყო, მინიმალური დანაკარგი (0-1 ტ/ჰა) აღინიშნება ვაკე ტერიტორიაზე და მას მთელი საკვლევი ტერიტორიის 57% უკავია. ქვემოთ წარმოდგენილ გამოსახულებაზე (ნახ. 40) კარგად ჩანს, რომ დანაკარგის მაღალი მაჩვენებელი (>20 ტ/ჰა) ძირითადად აღინიშნება კვერნაქების ქედის სამხრეთ ფერდობზე, იქ სადაც დახრილობა მაღალია.

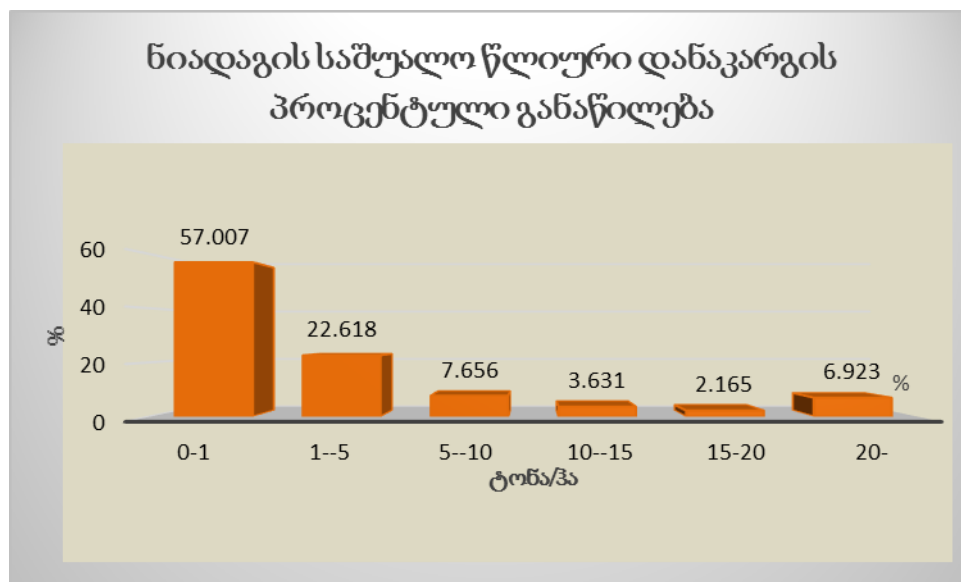


ნახ. 40. საკვლევი ტერიტორიაზე ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგი (ტ/ჰა)

მიღებული შედეგები დავყავით კლასებად, სულ გამოვყავით ექვსი კლასი. ქვემოთ მოცემულ ცხრილში წარმოდგენილია ჩვენს მიერ გამოყოფილი კლასები (ცხრ. 15).

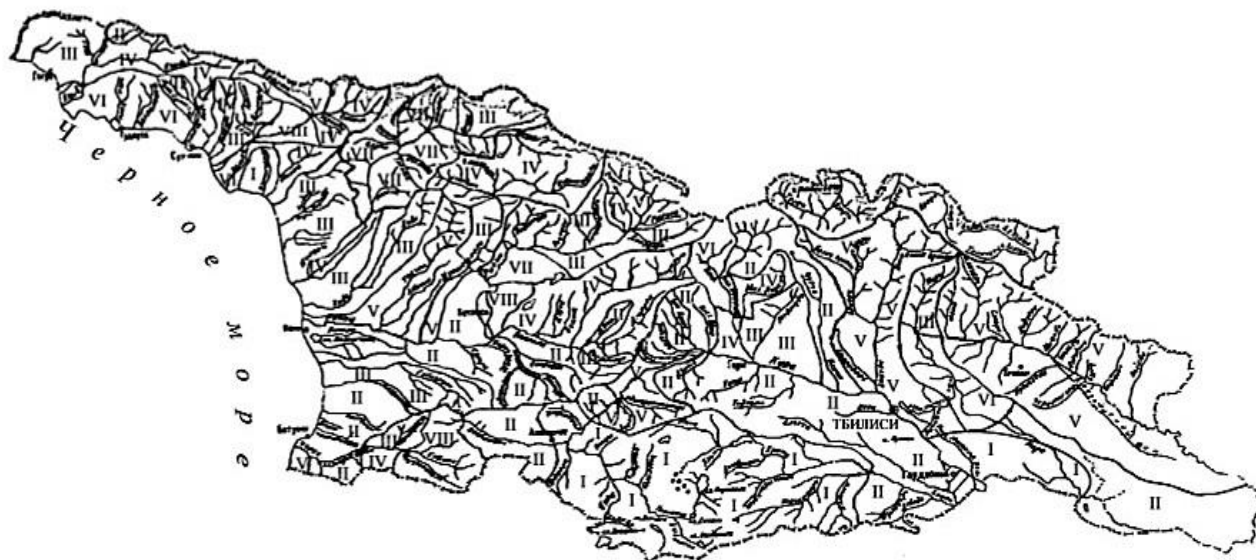
ცხრილი 15. ნიადაგის ეროზიის კლასები ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგის მიხედვით

კლასი	ტ/ჰა	ტიპი
1	<1	უმნიშვნელო
2	1-5	ძალიან ნელი
3	5-10	ნელი
4	10-15	საშუალო
5	15-20	მაღალი
6	>20	ძალიან მაღალი



ნახ. 41. ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგის პროცენტული განაწილება

საინტერესო იყო ჩვენს მიერ მიღებული შედეგების გადამოწმება. გ. გოგიჩაიშვილის მიერ წარმოდგენილ რუკაზე (ნახ. 42) მოცემულია ტერიტორიის დარაიონება ეროზიული პროცესების გამოვლენის მიხედვით. აღნიშნულ რუკაზე ჩვენი საკვლევი ტერიტორია მოქცეულია II, III და IV ზონებში, რაც თავის მხრივ აღნიშნავს 1-5, 5-10, 10-15 ტ/ჰა დანაკარგს წელიწადში (Гогичაიშვილი, 2016).



ნახ. 42. საქართველოს მდინარეთა აუზებში სახნავ-სათესი მიწების დარაიონება ნიადაგის ეროზიის გამოვლენის ინტენსივობის მიხედვით (ტ/ჰა წელიწადში): I-<1; II-1-5; III-5-10; IV-10-15; V-15-20; VI-20-25; VII-25-30; VIII->30

დასკვნები

წინამდებარე ნაშრომში განხილულია წყლისმიერი ეროზიის შედეგად შიდა ქართლში ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგი. დასახული ამოცანების გადასაწყვეტად კვლევის პროცესში გამოყენებული იქნა მარავალფეროვანი მეთოდები მათ შორის აეროკოსმოსური სურათების დეშიფრირება, საველე ექსპედიციები და ლაბორატორიული კვლევები. მიღებული შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ:

1. რეგიონში ეროზიის გამომწვევი ცალკეული ფაქტორების ანალიზით ირკვევა რომ ცალკე აღებული რელიეფი ხელსაყრელ პირობებს ქმნის ეროზიის განვითარებისათვის. ცნობილია, რომ რაც უფრო მეტადაა დახრილი ფერდობი, მით უფრო ნაკლები წყლის დაკავების უნარი აქვს მას, და შესაბამისად იზრდება ზედაპირული ჩამონადენიც. ჩატარებულმა გამოთვლებმა გვაჩვენა, რომ საკვლევ რეგიონში ყველაზე მაღალი პროცენტული მაჩვენებელი (32%) უჭირავს 15-30° დახრილობის ფერდობებს, რომელსაც მცირედით ჩამორჩება (31.3%) 5-15° დახრილობის ფერდობები. მიღებული შედეგები გვიჩვენებს, რომ შიდა ქართლის რელიეფი საკმაოდ მგრძნობიარეა ეროზიული პროცესების მიმართ. ამასთან, სამხრეთის ექსპოზიციის ფერდობები უფრო მეტად განიცხდის გამოფიტვის პროცესებს და ნიადაგის სწრაფად გადარეცხვასაც, რეგიონში სამხრეთი ექსპოზიციის ფერდობებს დაახლოებით 15% უკავია. რაც შეეხება კლიმატს, ატმოსფერული ნალექების სიხშირე და განსაკუთრებით ინტენსივობა წარმოადგენს ნიადაგის ეროზიის გამომწვევ ერთ-ერთ მთავარ ფაქტორს. წინამდებარე კვლევისათვის დამუშავდა 1284 თვის ნალექების ყოველდღიური მონაცემი, აქედან 1936-2016 წლის რიგი სადგურ გორისთვის და 1990-2016 წლების რიგი სადგურ ხაშურისთვის. ჩვენ ხელთ არსებული მონაცემების გაანალიზების შედეგებმა აჩვენა, რომ 1936 წლიდან 2016 წლის ჩათვლით ნალექების წლიური რაოდენობა არ იცვლება და სტაბილურია. ჩვენ შემთხვევაში ასევე ძალზე საინტერესო იყო გაგვეგო შეიცვალა თუ არა ერთ დღეში მოსული ნალექების მაქსიმალური რაოდენობა. ამისათვის გავაანალიზეთ ორი მეტეოსადგურის-გორისა და ხაშურის მონაცემები აპრილიდან აგვისტოს ჩათვლით. გორის შემთხვევაში ეს 1936-2016 წლების რიგი, ხოლო ხაშურისათვის 1990-2016 წლების მონაცემები. მიღებული შედეგებიდან კარგად ჩანს, რომ გორის თვიური მაქსიმუმი იზრდება, განსაკუთრებით ივნისსა და ივლისში, რაც შეეხება ხაშურს, ამ შემთხვევაში თვიური მაქსიმუმების ზრდა გვაქვს აპრილსა და ივნისში, აგვისტოში კი პირიქით კლება.
2. მოდელისათვის საჭირო პარამეტრების მისაღებად გამოყენებული იქნა სხადასხვა მეთოდები, კერძოდ, მორფომეტრიული ანალიზისთვის დამუშავდა რეგიონის რელიეფის ციფრული მოდელი, რეგიონში მიწათსარგებლობის ეროზიაზე გავლენის შესაფასებლად გამოვიყენეთ Landsat 8 OLI-ის კოსმოსური სურათი, საიდანაც განისაზღვრა NDVI ინდექსი, რომელიც დაგვეხმარა უშუალოდ ფაქტორის განსაზღვრაში. მოეწყო ექსპედიციები რეგიონში ნიადაგის ცალკეული ტიპების ნიმუშები ასაღებად.

3. თითოეული მონაცემი დამუშავდა კომპიუტერულად, კერძოდ კლიმატური მონაცემებისთვის შეიქმნა Excel-ის მონაცემთა ბაზა, ხოლო რასტრული ინფორმაცია დამუშავდა პროგრამა Arc GIS-ში.
4. როგორც ზემოთ აღინიშნა LS-ის მაღალი მაჩვენებელი ეროზიის მაღალ პოტენციალზე მიგვითითებს. გამოთვლების შედეგად მიღებულ რუკაზე ნათლად ჩანს, რომ LS-ის მაღალი მაჩვენებლები გვაქვს იქ, სადაც ფერდობების დახრილობა დიდია და შესაბამისად მაღალია ნაკადის სიჩქარეც. ჩვენს მიერ მიღებული შედეგებით LS-ის ყველაზე დაბალი მაჩვენებლებია შიდა ქართლის ვაკის ლიახვი-მეჯუდას შორის მოქცეულ ტერიტორიაზე, ხოლო მაღალი მაჩვენებლები ლოგიკურად კვერნაქების სერის ფერდობებზე და მდინარე ფრონეს ხეობის მიმდებარე მთისწინებზე. როგორც ზემოთ აღინიშნა, ის ნიადაგები, რომლებიც ხასიათდება ლექისა და თიხის ფრაქციების მაღალი პროცენტული შემცველობით უფრო მაღალი ეროზიულობით ხასიათდება. მე-13 ცხრილიდან კარგად ჩანს, რომ მოცემულ შემთხვევაშიც K ფაქტორის მაღალი მნიშვნელობები მივიღეთ სწორედ იმ ნიშნულებში, სადაც ლექისა და თიხის ფრაქციების პროცენტული შემცველობა მაღალია, ხოლო K ფაქტორის დაბალი მნიშვნელობები აღინიშნა იქ, სადაც ქვიშის ფრაქციის პროცენტული მაჩვენებელი იყო მაღალი. მსგავსი მნიშვნელობების პირობებში კი ჰუმუსის პროცენტულმა მნიშვნელობამ ითამაშა გადამწყვეტი როლი. მეტ-ნაკლებად მსგავსი ტექსტურის პირობებში K ფაქტორის მნიშვნელობა ნაკლებია იქ, სადაც ჰუმუსის პროცენტული შემცველობა მაღალია. C ფაქტორის გამოთვლებმა აჩვენა (ნახ. 13) რომ ყველაზე მაღალი მნიშვნელობები დაკავშირებულია წყალთან და შიშველ ნიადაგთან, ხოლო დაბალი მნიშვნელობები, პირველ რიგში, ტყიან ტერიტორიებთან, ხოლო შემდგომ ხეხილის ბაღებთან, საშუალო მაჩვენებლები კი ბალახიან საფართან.
5. მოდელში შემავალი ფაქტორების კომპიუტერული დამუშავების შემდეგ მომზადდა საბოლოო რასტრული ფენა, სადაც ასახულია ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგი, საკვლევი პერიოდი 1990-2016 წწ. მიღებული შედეგებით საკვლევი ტერიტორიის 57% მოქცეულია იმ ზონაში, სადაც ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგი მინიმალურია (0-1 ტ/ჰა), მეორე ზონა, სადაც დანაკარგი 1-5 ტ/ჰა-ზეა მოიცავს ტერიტორიის 22%-ს. რაც შეეხება მაქსიმალური დანაკარგის ზონას (>20 ტ/ჰა), იგი ტერიტორიის მხოლოდ 7 %-ს მოიცავს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ამბოკაძე, ვ. (1955). *ნიადაგის ეროზია და მის წინააღმდეგ ბრძოლა საქართველოში*. თბილისი: საქ. სსრ. მეც. აკადემია.
2. ანჯაფარიძე, ი. (1972). *საქართველოს ყავისფერი ნიადაგები*. თბილისი: საბჭოთა საქართველო.
3. ბრეგვაძე, მ. (1952). *ნიადაგის ეროზია ზესტაფონის რაიონში*. თბილისი: საქ. სსრ. მეცნ. აკადემია.
4. გედევანიშვილი, დ. პ., & ტალახაძე, გ. რ. (1961). *ნიადაგნაცოცხების კურსი*. თბილისი: საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის გამომცემლობა.
5. გობეჯიშვილი, რ. (2011). *საქართველოს რელიეფი*. თბილისი: უნივერსალი.
6. გოგიჩაიშვილი, გ., ღორჯომელაძე, მ., თურმანიძე, ნ., & ღორჯომელაძე, მ. (2011). საქართველოს ნიადაგების ეროზიული მდგრადობის შეფასება. *საქართველოს სოფლიე მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე*, #29, 188-192.
7. გოგიჩაიშვილი, გ., ღორჯომელაძე, ო., & თურმანიძე, ნ. (2012). ნიადაგების ეროზიულობის დინამიკა წლის განმავლობაში. *საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე*, #30, 189-199.
8. გუჯაბიძე, გ. (თ. გ.). *საქართველოს გეოლოგიური რუკა 1:500 000*. საქართველოს გეოლოგიის სახელმწიფო დეპარტამენტი, თბილისი.
9. თვალავაძე, მ., მარდალეიშვილი, რ., & მარდალეიშვილი, მ. (2008). აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთი ნიადაგის დეგრადაცია და ნაყოფიერების ამაღლების ღონისძიებები. *საქართველოს სოფლიე მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე*, #22, 125-127.
10. კეცხოველი, ნ. (1959). *საქართველოს მცენარეული საფარი*. თბილისი: საქ. სსრ მეცნ. აკადემია.
11. კორძაძე, მ. (1961). *საქართველოს ჰავა*. თბილისი: საქ. სსრ აკად. გამ-ბა და სტ.
12. კორძაძე, მ., & ჯავახიშვილი, შ. (1971). *საქართველოს ჰავა*. თბილისი: განათლება.

13. მაჭავარიანი, ვ. (1972). *რეკომენდაცია: ნიადაგის ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებები*. თბილისი: საქ.სსრ სოფლ.მეურნ.სამინისტრო.
14. მაჭავარიანი, ვ. (1987). *ნიადაგის ეროზია და დაცვის ღონისძიებები*. თბილისი: მეცნიერება.
15. მაჭავარიანი, ჯ. (1973). შიდა ქართლის ნიადაგები. *დისერტაცია*. თბილისი: ნიადაგმცოდნეობის, აგროქიმიის და მელიორაციის სამეცნ. კვლევ. ინ-ტი.
16. საბაშვილი, მ. (1967, 4). ნიადაგის ეროზია საქართველოში და მასთან ბრძოლა. *საქართველოს სოფლის მეურნეობა*, 5-7.
17. ტალახაძე, გ. რ. (1962). *ნიადაგმცოდნეობის პრაქტიკუმი*. თბილისი: საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის გამომცემლობა.
18. ტალახაძე, გ; ანჯაფარიძე, ი; ლატარია, ვ; კირვალიძე, რ; მინდელი, კ; ნაკაშიძე, ლ; მინდელი, მ; (1983). *საქართველოს ნიადაგები. საშუალო ნიადაგების მთიანეთის და ბარის ზონა*. თბილისი: განათლება.
19. ტარასაშვილი, გ. (1953). *ნიადაგის ჩამორეცხვის საწინააღმდეგო ღონისძიებანი საქართველოში (ლაგოდებელ კოლმეურნეებთან წაკითხული ლექცია)*. თბილისი: საქ.სსრ.მეც.აკადემია.
20. ურუშაძე, თ. (1972). *საქართველოს ტყის ნიადაგები*. თბილისი: საბჭოთა საქართველო.
21. ურუშაძე, თ. (1997). *საქართველოს ძირითადი ნიადაგები*. თბილისი: მეცნიერება.
22. ურუშაძე, თ. (თ. გ.). *საქართველოს ნიადაგების რუკა 1:500 000*. სს. კარტოგრაფია, თბილისი.
23. ურუშაძე, თ., & ანჯაფარიძე, ი. (1987). *ნიადაგის ეროზია და მასთან ბრძოლა*. თბილისი: საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტი.
24. ურუშაძე, თ., & ბლუმი, ვ. (2011). *ნიადაგების გეოგრაფია ნიადაგმცოდნეობის საფუძვლებით*. თბილისი: თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა.
25. ქვაჩაკიძე, რ. (2009). *საქართველოს მცენარეულობა*. თბილისი: თბილისის ბოტანიკური ბაღი და ბოტანიკის ინსტიტუტი.

26. ღორჯომელაძე, ო., გოგიჩაიშვილი, გ., & თურმანიძე, ნ. (2009). ნიადაგის ეროზიული საშიშროების შეფასება სხვადასხვა ფაქტორებთან (ნალექები, რელიეფი, ნიადაგი, მცენარეულობა) დაკავშირებით. *საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე*, #26, 175-179.
27. ციცაგი, მ. (2014). ნიადაგის ეროზიის ინტენსივობის განსაზღვრა ნიადაგის დაკარგვის გაერთიანებული უნივერსალური განტოლების გამოყენებით მდ. ტანას აუზის მაგალითზე. *თსუ, ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტი შრომათა კრებული*, 153-160.
28. ციცაგი, მ., & გუგეშაშვილი, მ. (2016). მცენარეული საფარის ცვლილების შეფასება NDVI გამოყენებით (ბორჯომის მუნიციპალიტეტის მაგალითზე). *რეგიონული განვითარების პერსპექტივები: „სამცხე-ჯავახეთი“*, 220-227.
29. ცხოვრებაშვილი, შ. (1954). გეომორფოლოგიური დაკვირვებები ქ. გორის მიდამოებში. *თსუ-ს შრომები ტ.52*, გვ. 11-13.
30. ცხოვრებაშვილი, შ. (1978). *აჭარა-თრიალეთის მთაგრეხილის გეომორფოლოგია*. თბილისი: თსუ-ს გამომცემლობა.
31. ხარაიშვილი, გ. (1971). *ნიადაგის ეროზიასთან ბრძოლის სატყეო-სამელიორაციო ღონისძიებანი*. თბილისი: საბჭოთა საქართველო.
32. ჯორბენაძე, ნ. (1990). შიდა ქართლის ბარის ლანდშაფტების ბუნებათსარგებლობის ზოგი საკითხი. *საქართველოს გეოგრაფიული საზოგადოების შრომები, ტ. 1*, 82-85.
33. Гогичаишвили, Г. П. (2016). ЭРОЗИЯ ПОЧВ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ ГРУЗИИ. *ПОЧВОВЕДЕНИЕ*, 6, 745-754.
34. Гогичаишвили, Г. П. (2004). Ерозионный Потенциал Осадков в Грузии и его Оценка в Связи с Изменением Климата. *Annals of Agrarian Sciences*, 4, 41-46.
35. Заславский, М. Н. (1983). *Эрозиоведение*. Москва: Высшая школа.
36. Мдинарадзе, Л. А., Мачавარიანი, В. М., & Хундадзе, З. Г. (1988). *Генеральная схема противоэрозионных мероприятий Грузинской ССР на 1981-1990 годы и на период до 2000 года*. Тбилиси: Сабчота Сакартвело.
37. Мирцхулава, Ц. (2000). *Водная эрозия почв. (Механизм, прогноз)*. Тбилиси: Мецниереба.

38. Швебс, Г. И. (1974). *Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка (на примере Украины и Молдавии)*. Ленинград: Гидрометеоизд.
39. Al-Quraishi, A. (2003). Soil Erosion Risk Prediction with RS and GIS for the northwestern part of Hobei Province, China. *Pak J Appl Sci* 3 (10-12), 659-669.
40. Angulo-Martinez, M., & Begueria, S. (2009). Estimating Rainfall Erosivity from Daily Precipitation Records: A comparison among Methods Using Data from the Ebro Basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*.
41. Dabral, P. P., Baithuri, N., & Pandey, A. (2008). Soil Erosion Assessment in a Hilly Catchment of North Eastern India using USLE, GIS and Remote Sensing. *Water Resour Manag.* 22, 1783-1798.
42. de Santos Loureiro, N., & de Azavedo Coutinho, M. (2001). A New Procedure to Estimate the RUSLE EI30 index, based on Monthly Rainfall Data and Applied to the Algrave Region, Portugal. *Journal of Hidrology* 250, 12-18.
43. Diodato, N. (2004). Estimating RUSLE's Rainfall Factor in the Part of Italy with a Mediterranean Rainfall Regime. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union*, 8 (1), 103-107.
44. Dubbin, W. (2001). *Soils*. London: The Natural History Museum.
45. Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G., & Moldenhauer, W. C. (1981). Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units. *Journal of Soil and Water Conservation* 36(6), 355-359.
46. Imani, R., Ghasemieh, H., & Mirzavand, M. (2014). Determining and Mapping Soil Erodibility Factor (Case Study: Yamchi Watershed in Northwest of Iran) . *Open Journal of Soil Science*, 4, 168-173.
47. Jahun, B. G., Ibrahim, R., Dlamini, N. S., & Musa, S. M. (2015). Review of Soil Erosion Assessment using RUSLE Model and GIS . *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* , Vol.5, No. 9, 36-47.
48. Jones, M. G., & Vaughan, R. A. (2010). *Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques and Applications*. London: Oxford.

49. Karaburun, A. (2010). Estimation of C Factor for Soil Erosion Modeling using NDVI in Buyukcekmece Watershed . *Ozean Journal of Applied Sciences* 3(1), 77-85.
50. Khosrokhani, M., & Pradhan, B. (2014). Spatio-temporal assessment of soil erosion at Kuala Lumpur metropolitan city using remote sensing data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 5:3, 252-270.
51. Kreselidze, D. N., Machavariani, L. G., Kalandadze, B. B., & Trapaidze, V. Z. (2013). Allowable Soil Erosion Rates in Georgia. *Euroasian Soil Science. Vol. 46 No. 4*, 438-446.
52. Laflen, J. M., & Flanagan, D. C. (2013). The Development of U.S. Soil Erosion Prediction and Modeling. *International Soil and Water Conservation Research, Vol. 1, No. 2*, 1-11.
53. Lahlaoui, H., Rhinane, H., Hilali, A., Lahssini, S., & Khalile, L. (2015). Potential Erosion Risk Calculation Using Remote Sensing and GIS in Oued El Maleh Watershed, Morocco . *Journal of Geographic Information System*, 7, 128-139.
54. Lal, R. (1999). *Soil Quality and Soil Erosion*. CRC.
55. Lopez-Vicente, M., Navas, A., & Machin, J. (2008). Identifying Erosive Periods by using RUSLE Factors in Mountain Fields of the Central Spanish Pyrenees. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 523-535.
56. Minar, J., Mentlik, P., Jedlicka, k., & Barka, I. (2005 წლის March). Geomorphological information system: idea and options for practical implementation. *Geograficky casopis*, 33. 247-266.
57. Nigel, R., Chokman, K., Novoa, J., Rousseau, A. N., & Alem, A. E. (2014 წლის september). Anextended riparian buffer strip concept for soil conservation and stream protection in an agricultural reverine area of the La chevetteiere River watershed, Quebec,Canada, using remote sensing and GIS techniques. *Canadian Water Resources Journal*.
58. Parveen, R., & Kumar, U. (2012). Integrated Approach of Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for Soil loss Risk Assessment in Upper South Koel Basin, Jharkhand . *Journal of Geographical Information System. 4*, 588-596.
59. Patil, R. J., & Sharma, S. K. (2013). Remote Sensing and GIS based modeling of crop/cover management factor (C) of USLE in Shakker river watershed. *International Conference on Chemical, Agricultural and Medical Sciences* , (გვ. 1-4). Kuala Lumpur (Malaysia).

60. Prasannakumar, V., Shiny, R., Geetha, N., & Vijith, H. (2011). Spatial Prediction of Soil Erosion Risk by Remote Sensing, GIS and RUSLE approach: a case study of Siruvani river watershed in Attapady valley Karala, India. *Environmental Earth Sciences*; vol:64, 965-972.
61. Remortel, V., Hamilton, R. M., & Hickey, R. (2001). Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data. *Cartography*, v. 30, no. 1, 27-35.
62. Renard, K. G., Yoder, D. C., Lightle, D. T., & Dabney, S. M. (2011). Universal Soil Loss Equation and Revised Universal Soil Loss Equation. *Handbook of Erosion Modeling*. (გვ. 141-142).-შო Blacjwell Publishing Ltd.
63. Schmidt, J. (2000). *Soil Erosion. Application of Physically Based Models*. Berlin: Springer.
64. (2013). *Shida Kartli Regional Development Strategy 2014-2021*. Tbilisi: Ministry of regional development.
65. Silleos, N. G., Alexandridis, T. K., Gitas, I. Z., & Perakis, K. (2006 წლის December). Vegetation Indices: Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30Years. *Geocarto International Vol. 21*.
66. Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning*. Washington: United states department of agriculture.

ნახ. 1. ეროზიის გამომწვევი ფაქტორები (Мирцхулаვა, 2000).....	15
ნახ. 2 შიდა ქართლი	21
ნახ. 3. შიდა ქართლის გეოლოგიური აგებულება (გუჯაბიძე).....	29
ნახ. 4. შიდა ქართლის ნიადაგები (ურუშაძე თ. , საქართველოს ნიადაგების რუკა 1:500 000).....	40
ნახ. 5. თანამედროვე ტყეების ფართობი შიდა ქართლში.....	44
ნახ. 6. მიწის ფონდის განაწილება შიდა ქართლში.....	46
ნახ. 7. ფერდობების ექსპოზიციის განაწილება პროცენტულად	48
ნახ. 8. ფერდობების ექსპოზიცია.....	49
ნახ. 9. ფერდობების დახრილობა გრადუსებში	50
ნახ. 10. ფერდობების დახრილობების (გრადუსებში) განაწილება პროცენტულად	51
ნახ. 11. ატმოსფერული ნალექების წლიური რაოდენობა სადგურ გორისთვის (1936-2016).....	52
ნახ. 12. თვითური მაქსიმუმების განაწილება სადგურ გორისათვის (1936-2016).....	54
ნახ. 13. ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა სადგურ ხაშურისთვის (1990-2016).....	55
ნახ. 14. თვითური მაქსიმუმების განაწილება სადგურ ხაშურისთვის (1990-2016).....	56
ნახ. 15. ნალექიან დღეთა რაოდენობა სადგურ გორისთვის: ა) 1936-1962; ბ) 1963-1989; გ) 1990-2016	57
ნახ. 16. ნალექიან დღეთა რაოდენობა სადგურ ხაშურისთვის.....	58
ნახ. 17. კვლევის სტრუქტურა.....	62
ნახ. 18. საკვლევი არეალი.....	63
ნახ. 19. წვიმის წვეთების ნიადაგზე მოქმედების სქემები: ა-წვიმის წვეთების დაცემის და ნიადაგის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე ნიადაგის ნაწილაკების გაშეფხვების სქემა; ბ-წვიმის წვეთების დაცემის და ნიადაგის დახრილ ზედაპირზე ნიადაგის ნაწილაკების გაშეფხვების სქემა; გ-წვიმის წვეთების დაცემის და ნიადაგის ნაწილაკების ფერდობის დახრილობის მიმართულებით მოძრაობის სქემა; დ. ე-წვიმის წვეთების დარტყმით ნიადაგის ფენის თანდათანობით მოხსნა; 1, 2, 3, 4, 5-წვეთების ნომრები	64
ნახ. 20. LS ფაქტორის მოდელირების პროცესი	68
ნახ. 21. ფერდობების დახრილობის პროცენტული განაწილება საკვლევი არეალზე.....	69
ნახ. 22. ფერდობების დახრილობა (გრადუსებში) საკვლევი ტერიტორიაზე.....	69
ნახ. 23. ნაკადის მიმართულება (A) ნაკადის დაგროვება (B).....	70
ნახ. 24. LS ფაქტორი.....	70
ნახ. 25. ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობის განმსაზღვრელი სამკუთხედი.....	75
ნახ. 26. ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობის გამოსახვა გიბს-როაზომის სამკუთხედის მიხედვით	76
ნახ. 27. SPOT-ის მიერ გადაღებული ინფრაწითელი სურათი	78
ნახ. 28. Landsat 8 OLI (170/31).....	80
ნახ. 29. NDVI-ის მნიშვნელობები საკვლევი ტერიტორიაზე.....	81
ნახ. 30. წრფივი კორელაცია C ფაქტორსა და NDVI-ის შორის.....	82
ნახ. 31. C ფაქტორის მნიშვნელობები საკვლევი ტერიტორიაზე.....	82
ნახ. 32. P ფაქტორის მნიშვნელობათა განაწილება საკვლევი ტერიტორიაზე.....	84
ნახ. 33. დღიური 10 მმ-ზე მეტი ნალექის მქონე დღეთა რაოდენობის ცვლილება თვეების მიხედვით (აპრილი, მაისი, ივნისი, ივლისი, აგვისტო) სადგურ გორისთვის (1936-2016წწ.)	85
ნახ. 34. დღიური 10 მმ-ზე მეტი ნალექის მქონე დღეთა რაოდენობის ცვლილება თვეების მიხედვით (აპრილი, მაისი, ივნისი, ივლისი, აგვისტო) სადგურ ხაშურისთვის (1990-2016წწ.).....	86
ნახ. 35. ნალექები წლიური რაოდენობა ატმოსფერული ნალექების ეროზიული პოტენციალი სადგურ გორის თვის სამი საკვლევი პერიოდისთვის: ა) 1936-1962; ბ) 1963-1989; გ) 1990-2016.....	88
ნახ. 36. ნალექები წლიური რაოდენობა ატმოსფერული ნალექების ეროზიული პოტენციალი სადგურ ხაშურისთვის 1990-2016 პერიოდისთვის	88
ნახ. 37. საველე საკონტროლო წერტილების განლაგება საკვლევი ტერიტორიაზე	90
ნახ. 38. საკვლევი არეალის ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობა.....	93
ნახ. 39. K ფაქტორი	93

ნახ. 40. საკვლევ ტერიტორიაზე ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგი (ტ/ჰა).....	95
ნახ. 41. ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგის პროცენტული განაწილება	96
ნახ. 42. საქართველოს მდინარეთა აუზებში სახნავ-სათესი მიწების დარაიონება ნიადაგის ეროზიის გამოვლენის ინტენსივობის მიხედვით (ტ/ჰა წელიწადში): I-<1; II-1-5; III-5-10; IV-10-15; V-15-20; VI-20-25; VII-25-30; VIII->30.....	96
ფოტო 1. მდ. ტანას ხეობა	30
ფოტო 2. კასპის კარბოატული ქანების საბადო	32
ფოტო 3. მდ. ტანას ხეობა	33
ფოტო 4. კვერნაქების ქედის სამხრეთი ფერდობი.....	34
ფოტო 5. სეტყვა მაისში, ქარელის მუნიციპალიტეტი.....	36
ფოტო 6. ნადარბაზევის ტბა.....	39
ფოტო 7. მაისის თავსხმა წვიმა	53
ფოტო 8. ნიადაგის ერთ-ერთი ნიმუში.....	60
ფოტო 9. წვიმის წვეთების შემხეფებით გამოწვეული ნაკადი	65
ფოტო 10. წვიმის სიმულატორი (National Soil Erosion Research Laboratory, Perdue University)	71
ფოტო 11. ველზე მუშაობის პროცესი.....	89
ფოტო 12. ლაბორატორიული სამუშაოების მსვლელობა (ოსუ)	90
ცხრილი 1. წყლისმიერი ეროზიის სახეები (IIIხეზ, 1974).....	12
ცხრილი 2. სხვადასხვა ავტორის მიერ შემოთავაზებული ნიადაგის დანაკარგის რაოდენობრივი შეფასების განტოლებები (Lafren & Flanagan, 2013)	18
ცხრილი 3. USLE-ს საფუძველზე შექმნილი სხვადასხვა მოდელები (Lafren & Flanagan, 2013)	19
ცხრილი 4. სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების მიერ დაკავებული ფართობი (%) მუნიციპალიტეტების მიხედვით.....	47
ცხრილი 5. მცენარეული საფარის გავლენა ნიადაგის ჩამორეცხვაზე	59
ცხრილი 6. K ფაქტორის განსაზღვრა ნიადაგის გრანულომეტრიული შედგენილობისა და ჰუმუსის პროცენტული შემცველობის დაკავშირებით	72
ცხრილი 7. გამარტივებული მეთოდით და რეალური გაანგარიშებით მიღებული K ფაქტორის მნიშვნელობების შედარება.....	73
ცხრილი 8. ნიადაგის წყალგამტარობის სიჩქარე ტიპების მიხედვით	77
ცხრილი 9. NDVI-ს მნიშვნელობების ცვლილება სხვადასხვა ტიპის ზედაპირზე.....	79
ცხრილი 10. NDVI-ის მნიშვნელობების განაწილება პროცენტულად	81
ცხრილი 11. C ფაქტორის მნიშვნელობათა განაწილება პროცენტულად.....	83
ცხრილი 12. საკვლევი არეალის ნიადაგების ნიმუშების ლაბორატორიული ანალიზის შედეგები ...	91
ცხრილი 13. ნიადაგების ტექსტურისა და K ფაქტორის მნიშვნელობები	92
ცხრილი 14. ნიადაგის სტრუქტურის კლასები	92
ცხრილი 15. ნიადაგის ეროზიის კლასები ნიადაგის საშუალო წლიური დანაკარგის მიხედვით	95