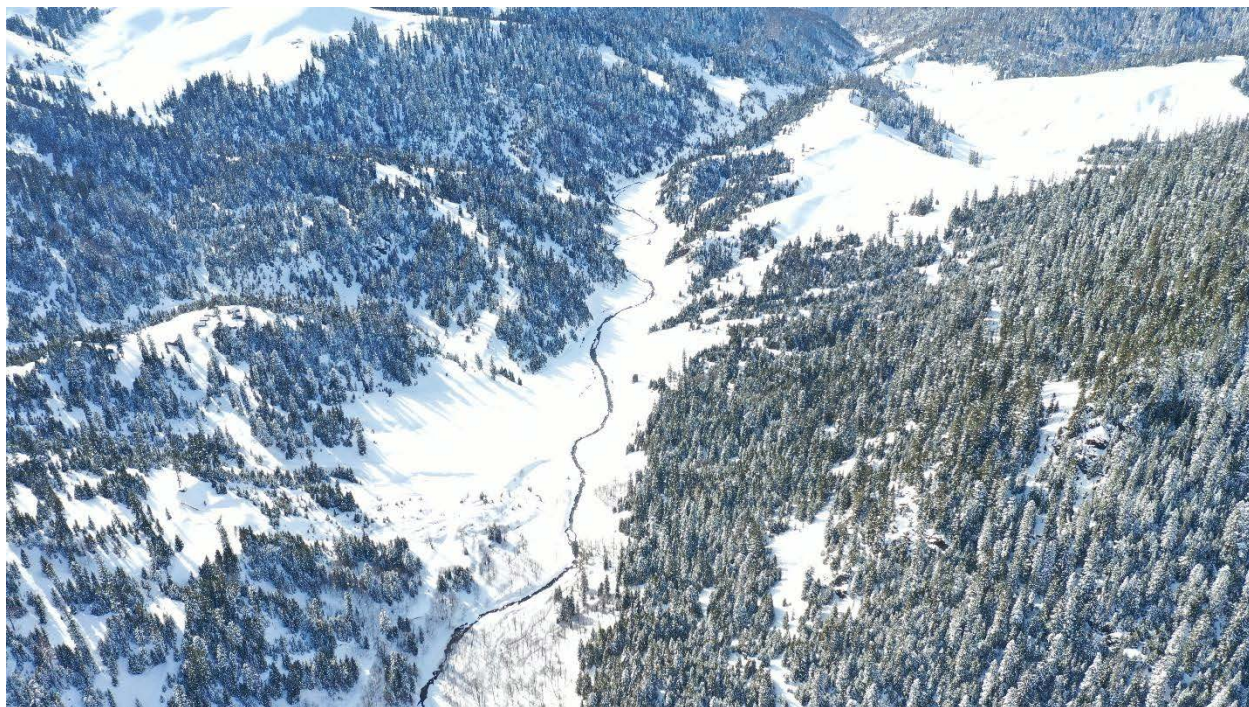


არსებული მდგომარეობისა და
კლიმატის ცვლილების შესაძლო გავლენის შეფასება
კურორტ ბახმაროზე



ჰიდროლოგიური ანგარიშები და წყლის რესურსების ანალიზი

პროექტის შესახებ

კლიმატის ცვლილება ძლიერ მოქმედებს ისეთ მთიან ლანდშაფტებზე, როგორიც ბახმაროს საკურორტო ზონაა. ამიტომ, აუცილებელია, შეფასდეს კლიმატის ცვლილების გავლენა, სანამ კურორტის განვითარების გეგმა შეიქმნება, ან ეს უნდა იყოს განვითარების გეგმის ნაწილი.

საქართველოს მთავრობის განცხადებით, ბახმარო გადაიქცევა სათხილამურო კურორტის დანიშნულების ადგილად. თუმცა არ ჩატარებულა რაიმე სახის შეფასება ბახმაროს საკურორტო ზონაზე კლიმატის ცვლილების გავლენის შესახებ; განსაკუთრებით კი, ისეთ მნიშვნელოვან კომპონენტებზე, როგორიცაა: ნალექების განაწილება და თოვლის საფარი. აღნიშნული შეფასება იქნება არსებითი ფაქტორი კლიმატის ადაპტაციის გეგმაში, რომელიც საშუალებას მისცემს შესაბამის სამთავრობო სტრუქტურებს, წინასწარ განსაზღვრონ კლიმატის ცვლილების ადაპტაციის ზომები.

CENN-მა, ბრიტანეთის საელჩოს მხარდაჭერით, დაიწყო პროექტი: „კლიმატის ცვლილების გავლენა ბახმაროს საკურორტო ზონაზე“, რომლის მიზანია ბახმაროს საკურორტო ზონის კლიმატის შესწავლა და არსებული კლიმატის პარამეტრების შეფასება, კლიმატის ცვლილების გავლენის განსაზღვრა და რეკომენდაციების მომზადება კლიმატის ცვლილებისადმი მედეგი ადაპტაციის შესახებ; იმისათვის, რომ ხელი შეუწყოს ინფორმირებული გადაწყვეტილებების მიღებას.

საკვლევი თემები

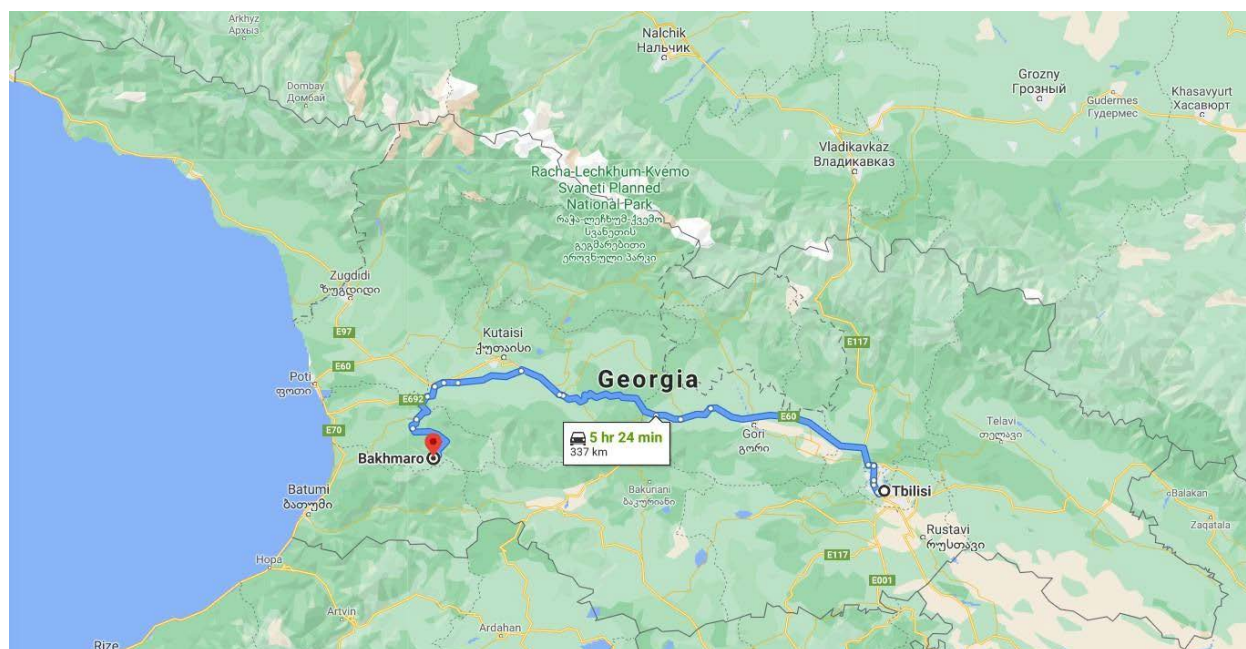
1. ჰიდროლოგიური და კლიმატის ცვლილების შეფასება, შესაძლო პრობლემების იდენტიფიცირება და შეფასების ანგარიშების მომზადება კლიმატის ცვლილების გავლენისა და სამომავლო რისკების შესახებ.

2. ადგილობრივ დონეზე, კლიმატის ცვლილების შერბილებისა და წყლის რესურსების მართვის გასაუმჯობესებლად დაუყოვნებლივი ზომების მისაღწევად საჭირო ღონისძიებების გატარება.

ზოგადი დახასიათება

ბახმარო მიმდებარეობს ჩოხატაურის მუნიციპალიტეტში, აჭარა-იმერეთის ქედზე ზღვის დონიდან 1800-2100 მეტრის ფარგლებში. საკურორტო ზონა მთლიანად მოქცეულია მდინარე ბახვისწყლისა და მისი შენაკადების წყალშემკრები უაზის ფარგლებში, რის გამოც ირგვლივ გარშემორტყმულია აჭარა-იმერეთის ქედის ცენტრალური ნაწილითა და გვერდითი ქედებით. ამიტომ ბახმაროს ტერიტორია ერთგვარ ქვაბულს წარმოადგენს, სადაც ძირითადად ნაძვისა და სოჭის შერეული ტყეები გვხვდება. თბილისიდან საკურორტო ზონა დაშორებულია 337 კმ-ით.

ფიგურა 1 მანძილი დედაქალაქიდან საკურორტო ზონამდე

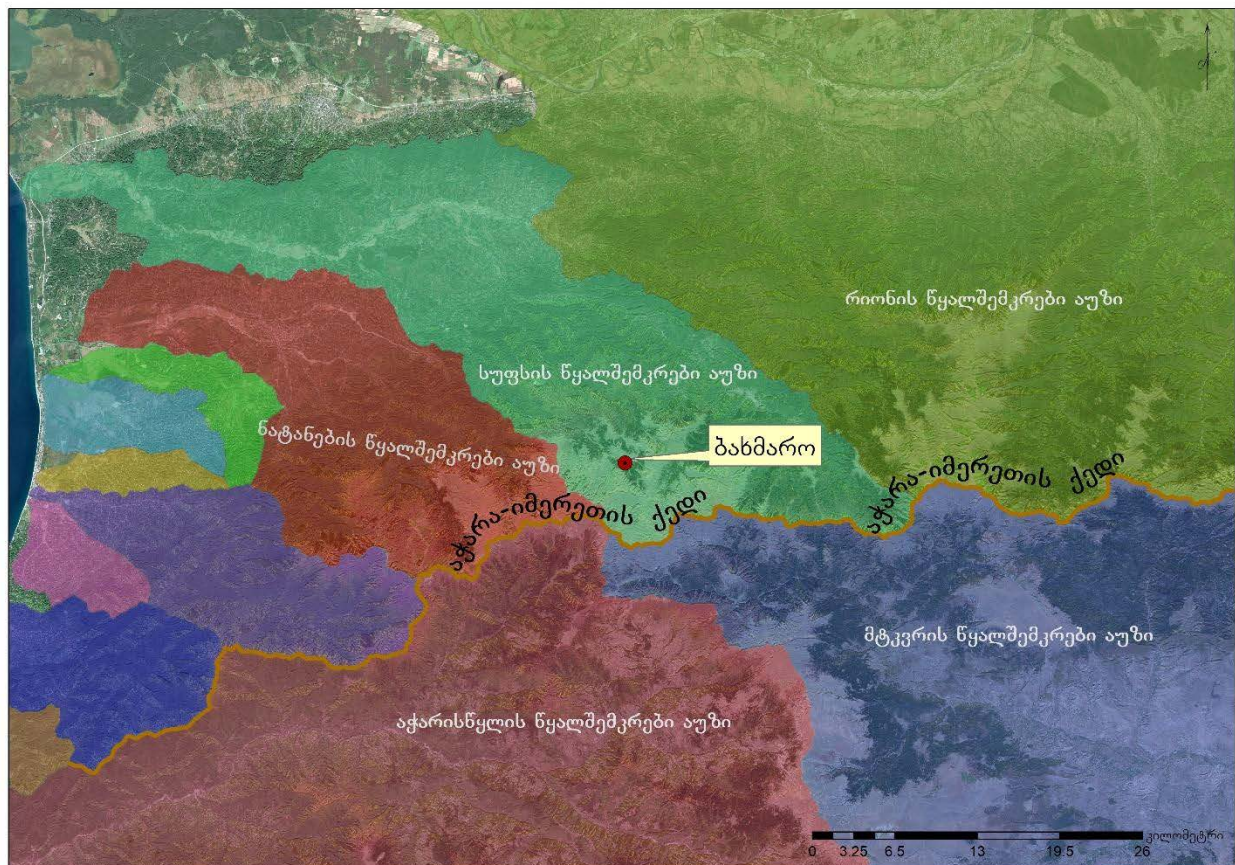


საკურორტო ზონა მთლიანად მოქცეულია მდინარე ბახვისწყლისა და მისი შენაკადების წყალშემკრები უაზის ფარგლებში, რის გამოც ირგვლივ გარშემორტყმულია აჭარა-იმერეთის ქედის ცენტრალური ნაწილითა და გვერდითი ქედებით. ზღვასთან სიახლოვის გამო, მიმდებარე ტერიტორიაზე სპეციფიური კლიმატური პირობები ყალიბდება, რაც კურორტს ოთხივე სეზონზე განვითარების შესაძლებლობას აძლევს.

აჭარა-იმერეთის ქედი ყველაზე ვრცელია და ოროგრაფიულად კარგად არის გამოხატული, მისი სიგრძე მ. ერგედან (896 მ) მ. კოკოლამდე (1341 მ) 182 კმ-ია, პირდაპირ ხაზით 151.0 კმ. სიგანე ფერსათის მერიდიანზე 40-45 კმ. მ. ერგედან მ. საყორნამდე (2755 მ) ქედს სუბმერიდიანული (სდ-ჩა) მიმართულება აქვს, აქედან კი ქვიშხეთამდე საერთო განედური მიმართულებისაა. უმაღლესი მწვერვალია მეფისწყარო (2850 მ). ქედს სუბმერიდიანული მონაკვეთი წარმოადგენს წყალგამყოფს აჭარისწყლის მარჯვენა შენაკადების და მდინარეების ჩაქვისწყლის, კინტრიშას, ნატანების აუზებს შორის. განედური მიმართულების წყალგამყოფი ერთმანეთისგან გამოყოფს მდ. მტკვრის და სუფსა-რიონის მარცხენა შენაკადების წყალშემკრებ აუზებს. განედური მიმართულების წყალგამყოფზე მდებარეობს მწვერვალები: საყორნია 2755 მ), ზოტის მთა (2676 მ), ხალხამო (2635 მ), დიდმაღალი (2588 მ), ლომისმთა (2187 მ), დედაბერა (1838 მ). ქედის ამ მონაკვეთში მდებარეობს 2100-2300 მ სიმაღლის უღელტეხილები. აღსანიშნავია ზეკარის (2182 მ), რომელზეც გადადის საავტომობილო გზა აბასთუმანი-საირმე-ბაღდათი.

დაბა ბახმაროს მიმდებარე ტერიტორიების რელიეფი აგებულია ეოცენური ასაკის ვულკანოგენურ-დანალექი ქანებით: ბაზალტებით, ანდეზიტებით, მასივური და სქელშრეებრივი ბრეჩიებით, ტუფებით, ტუფოქვიშაქვებით. ზოგ მონაკვეთზე პატარა უბნების სახით ეოცენური დიორიტებია წარმოდგენილი. ნაოჭა სტრუქტურები გართულებულია რღვევებით და შეცოცებებით.

ფიგურა 2 ბახმაროს მიმდებარე ტერიტორიის გეომორფოლოგიური დარაიონება



დაბა ბახმაროს მიმდებარე ტერიტორიებზე განლაგებული აჭარა-იმერეთის ქედი მორფოლოგიური, მორფომეტრიული და რელიეფის ფორმების გენეტური ნიშნების მიხედვით იყოფა სამ ძირითად ნაწილად: წყალგამყოფი თხემი, ჩრდილოეთ და სამხრეთ ფერდობად. წყალგამყოფ თხემს 100-200 მ სიმაღლის ტალღისებური მორფოლოგია აქვს, მხოლოდ ზოგიერთ მონაკვეთებში ზედაპირიდან მთის ცალკეული მასივები მაღლდება. რელიეფის ჩამოყალიბებაში დიდი როლი ძველი მყინვარების მოქმედებას ეკუთვნის. მყინვარული ფორმები კარები, მორენები, მცირე ზომის ტროგები დაკავშირებულია 2400 მ-ზე მაღალ მწვერვალებზე საყორნია. აღსანიშნავია, რომ თხემის მწვერვალების ჩრდილო ფერდობები კლდოვანი და ციცაბოა, ვიდრე სამხრეთი ფერდობები.

აჭარა-იმერეთის ქედის ჩრდილოეთ ფერდობი საკმაოდ განიერია 20-24 კმ. მ. საყორნიდან სუბმერიდიანული (ჩა-სდ მიმართულების ჩრ.დასავლეთური ფერდობი მდინარეების ნატანების, კინტრიშის, ჩაქვისწყლის, ყოროლისწყლის და მათი შენაკადების ხეობებით არის დანაწევრებული, ეროზიული ჩაჭრის სიღრმე 800-1200 მ-ია. მდინარეთა

წყალგამყოფებზე სხვადასხვა სიმაღლეზე რამდენიმე მოსწორებული საფეხურია გამოხატული, მათი სიმაღლე 1200-2200 მ-ის ფარგლებში მდებარეობს.

აჭარა-იმერეთის ქედს მთა საყორნიიდან აღმოსავლეთით განედური მიმართულება აქვს. მისი ჩრდილო ფერდობი დანაწევრებულია მდინარეების შენაკადებით. შტო ქედის დასავლეთ ფერდობზე, მდ. სუფსის აუზში, მოსწორებული ზედაპირებია განლაგებული 1100, 1650, 2200 და 2600 მ სიმაღლეზე. ზოგ მონაკვეთზე ქედზე შერჩევით გამოფიტვის მიერ წარმოქმნილი ფორმები გვხვდება.

აქ გამდინარე მდინარეები და მათი შენაკადები ჩრდილო-დასავლეთის მიმართულების საკმაოდ ღრმა, V-რი ხეობებს ივითარებენ, ჩაჭრის სიღრმე 800-1000 მეტრია, კალაპოტი ხშირად ჭორომიანია. გაფართოებულ მონაკვეთებში რამდენიმე ტერასა აღინიშნება 6-10, 60, 90-100 და 180 მ შეფარდებითი სიმაღლით. ზოგიერთი ნაკადი ამგებელ სტრუქტურებს ძირითადად პერპენდიკულარულად კვეთენ და ივითარებენ ღრმა, ანტეცენდენტურ ხეობებს ძლიერ დახრილი კალთებით. ზოგჯერ განედური მიმართულების მონაკვეთებში ხეობების მორფოლოგია ასიმეტრიულია. ჩაჭრის სიღრმე 1000-1200 მ-ია და კალაპოტი ჩქერებიანი. მდინარეთა აუზების წყალგამყოფებზე, რომლებიც ამავე დროს აჭარა-იმერეთის განშტოებებია შემონახულია ძველი მოსწორებული ზედაპირები (ტერასები მხოლოდ ხეობის ქვემო ნაწილებშია შემონახული).

კლიმატური პირობები

გეოგრაფიულად ბახმარო, ისევე როგორც საქართველოს მთელი ტერიტორია სუბტროპიკული სარტყლის ჩრდილოეთ პერიფერიაზე მდებარეობს, რის გამოც ხასიათდება ზომიერი ღრუბლიანობით. ღრუბლიანობის მაჩვენებლები კი შავ ზღვასთან სიახლოვის და ადგილის სიმაღლებრივი გავრცელებით მნიშვნელოვნად იცვლება. ამიტომაც რომ კურორტი ბახმარო, საქართველოს ტერიტორიისათვის, გამორჩეულია თავისი კლიმატური მახასიათებლების მიხედვით, რაც კარგად ექვემდებარება ადგილის ვერტიკალურ ზონალობას.



ბახმაროს ჩრდილო-დასავლეთ მხარე ღიაა და რის გამოც ხეობაში ადვილად იჭრება ზღვიდან მონაბერი ჰაერის მასები. რაც თავის მხრივ, რბილ შუა მთის ჰავის ფორმირებას უწყობს ხელს. ხშირია ბრიზის მაგვარი მთა-ბარის ქარებიც, რაც მის კარგ განიავებას და ჰაერის ცვლას უწყობს ხელს.

გარდა ამისა მნიშვნელოვანია მისი გავლენა ატმოსფერულ ნალექებსა და ტემპერატურაზე რაც ერთერთი მთავარი ინდიკატორია კლიმატის ცვლილებისა, რადგანაც მათ პირდაპირი გავლენა აქვთ როგორც თოვლის საფარსა და მის ხარისხზე ასევე წყლის რესურსებზეც.

კურორტ ბახმაროში, მეტეოროლოგიური სადგური 1936 წლიდან ფუნქციონირებს, რაც საკმაოდ კარგი ინდიკატორია კლიმატის ცვლილების გავლენის გამოვლენისა. სამწუხაროდ, ისევე როგორც სხვა მრავალი მეტროსადგურის თუ ჰიდროლოგიური საგუშაგოს შემთხვევაში, დაბაში არსებული სადგურიც დაიხურა 1990-იანი წლების შემდეგ, რის გამოც ტემპერატურის მაჩვენებლები (ისევე როგორც ნალექის და შესაბამისად მდინარეთა ჩამონადენის).

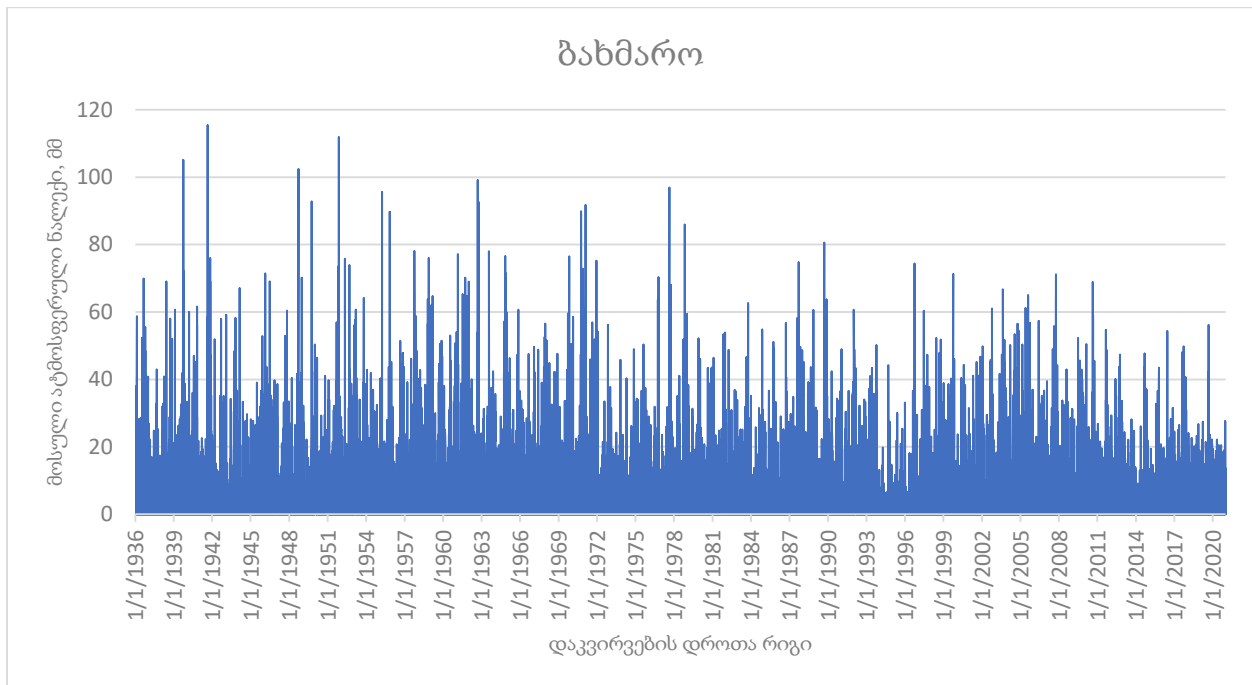
მონაცემების ანალიზით, რომელიც მოიცავს 1936 წლიდან 2020 წლამდე პერიოდს ირკვევა რომ დაბა ბახმაროში, მოსული ატმოსფერული ნალექის საშუალო მრავალწლიური მაჩვენებელი 1500 მმ-ის ფარგლებშია (მეტროსადგურის მონაცემებით 1936-1992 წლის

საშუალო მაჩვენებელი 1576 მმ-ს უდრის). თვის ჭრილში, ყველაზე ნალექიანი თვე ოქტომბერია, საშუალოდ ამ თვეში 182 მმ ნალექი მოდის. რაც შეეხება მინიმალურ მაჩვენებელს, ამ მხრივ აპრილი გამოირჩევა რა დროსაც მოსული ატმოსფერული ნალექის მაჩვენებელი 79 მმ-ის უდრის. სეზონების მიხედვით ყველაზე ნალექიანი სეზონი შემოდგომა-ზამთარია.

ცხრილი 1 მოსული ატმოსფერული ნალექის გადანაწილება თვეების მიხედვით, კურორტი ბახმარო, 1936-2020 წწ.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ჯამი
149	125	106	79	91	112	89	112	145	182	154	149	1493

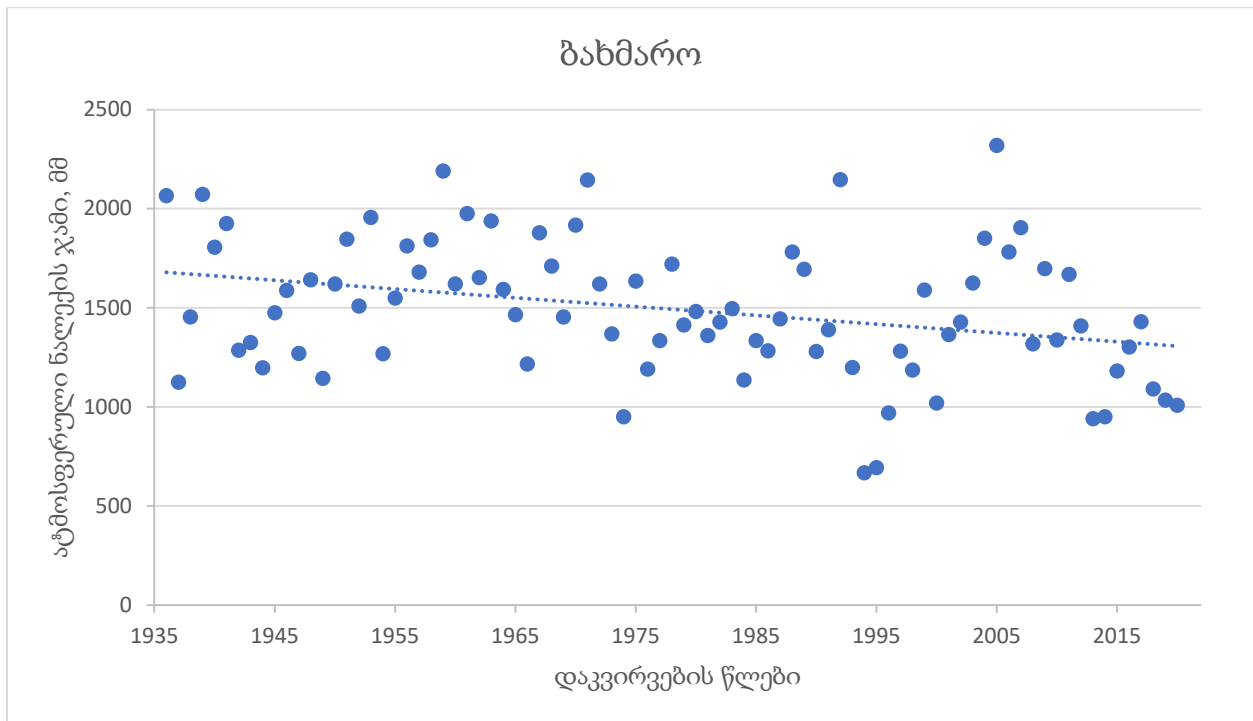
ფიგურა 4 ყოველდღიური ატმოსფერული ნალექი, კურორტი ბახმარო, 1936-2020 წწ.



გარდა ზემოთ აღნიშნული მონაცემებისა, საინტერესოა ის რომ კურორტ ბახმაროსა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე ნალექების რაოდენობა მცირედით შემცირება დაიკვირვება, განსაკუთრებით კი ბოლო 10 წელში, რაც კარგად ჩანს ფიგურა 5-ზე. გამომდინარე იქედან რომ ადგილზე არ მიმდინარეობს სტაციონალური დაკვირვება, მონაცემთა რიგის დასაგრძელებლად გამოყენებულია სატელიტური ინფორმაცია. მიუხედავად იმისა რომ სატელიტური ინფორმაციის სანდოობის მაჩვენებელი დაბალია, ნალექების შემცირების ტენდენცია აშკარად იკვეთება. რაც თოვლის აგეგმვის მონაცემებითაც დადასტურდა.

ამიტომ საგულისხმოა რომ კლიმატის ცვლილების შედეგების გარკვეული ნაწილი უკვე ასახულია საკურორტო ზონასა და მიმდებარე ტერიტორიაზე. დღეის მდგომარეობით, ცალსახაა სეზონების გადანაცვლება და წყლის რესურსების დეფიციტი დროის გარკვეულ მონაკვეთებში. განსაკუთრებით ზამთრის (იანვარი, თებერვალი) და ზაფხულის-შემოდგომის სეზონზე (აგვისტო-სექტემბერი). რაც ნეგატიურად აისახება როგორც წყლის რესურსების, ასევე თოვლის საფრის

ფიგურა 5 მოსული ატმოსფერული ნალექების ჯამი წლების მიხედვით და ტენდენციის ხაზი, 1936-2020



გარდა ატმოსფერული ნალექებისა, კლიმატის ცვლილების გამო აშკარა ცვლილებები იკვეთება ტემპერატურულ რეჟიმში. საგულისხმოა რომ იცვლება არა მხოლოდ წლის საშუალო ტემპერატურული რეჟიმი არამედ, აშკარაა სეზონური ცვლილებაც.

მონაცემების ანალიზიდან ჩანს რომ წლის საშუალო ტემპერატურა 4.3°C შეადგენს. წლის ყველაზე ცივი თვის მაჩვენებელი -5.13°C უდრის, მაშინ როდესაც წლის ყველაზე თბილ თვის საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურა 13.6°C არის (ცხრილი #2)

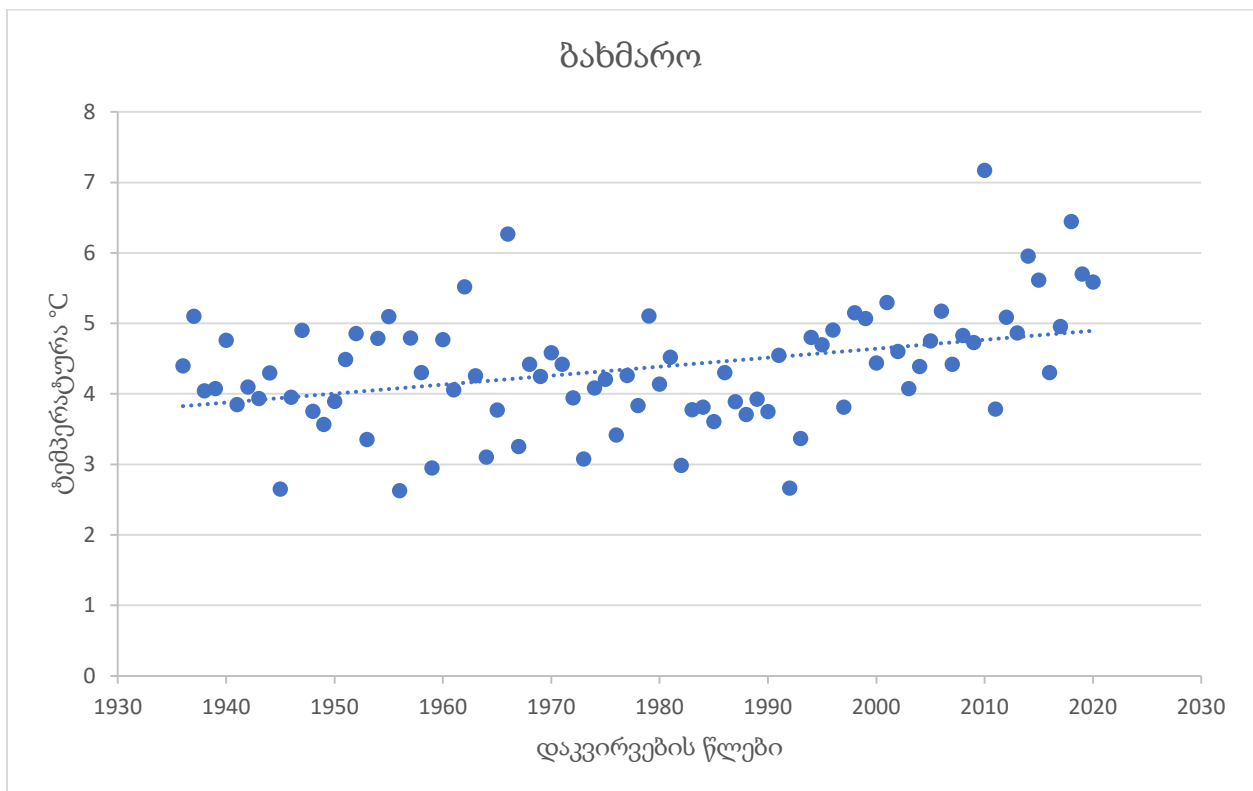
ცხრილი 2 საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურული ($^{\circ}\text{C}$) რეჟიმი, კურორტი ბახმარო, 1936-2020 წწ.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	საშ.
---	----	-----	----	---	----	-----	------	----	---	----	-----	------

-5.1	-4.7	-2.0	3.3	7.8	10.9	13.5	13.7	10.3	6.0	1.2	-2.9	4.3
------	------	------	-----	-----	------	------	------	------	-----	-----	------	-----

აღსანიშნავია რომ ტემპერატურულ რეჟიმზე გავლენა ყველაზე მეტად ჩანს გაზაფხულის (მარტი, აპრილი) და შემოდგომის (ოქტომბერი) თვეებში. რა დროსაც აშკარაა დათბობის მაღალი ტენდენცია. რაც შეეხება, დანარჩენ თვეებს ზაფხულის თვეებში შემიჩნევა ტემპერატურის მცირედი მატება, ხოლო ზამთრის თვეებში კი პირიქით კლება.

ფიგურა 6 ტემპერატურული რეჟიმი (წლის საშუალო მაჩვენებელი) წლების მიხედვით და ტენდენციის ხაზი, 1936-2020



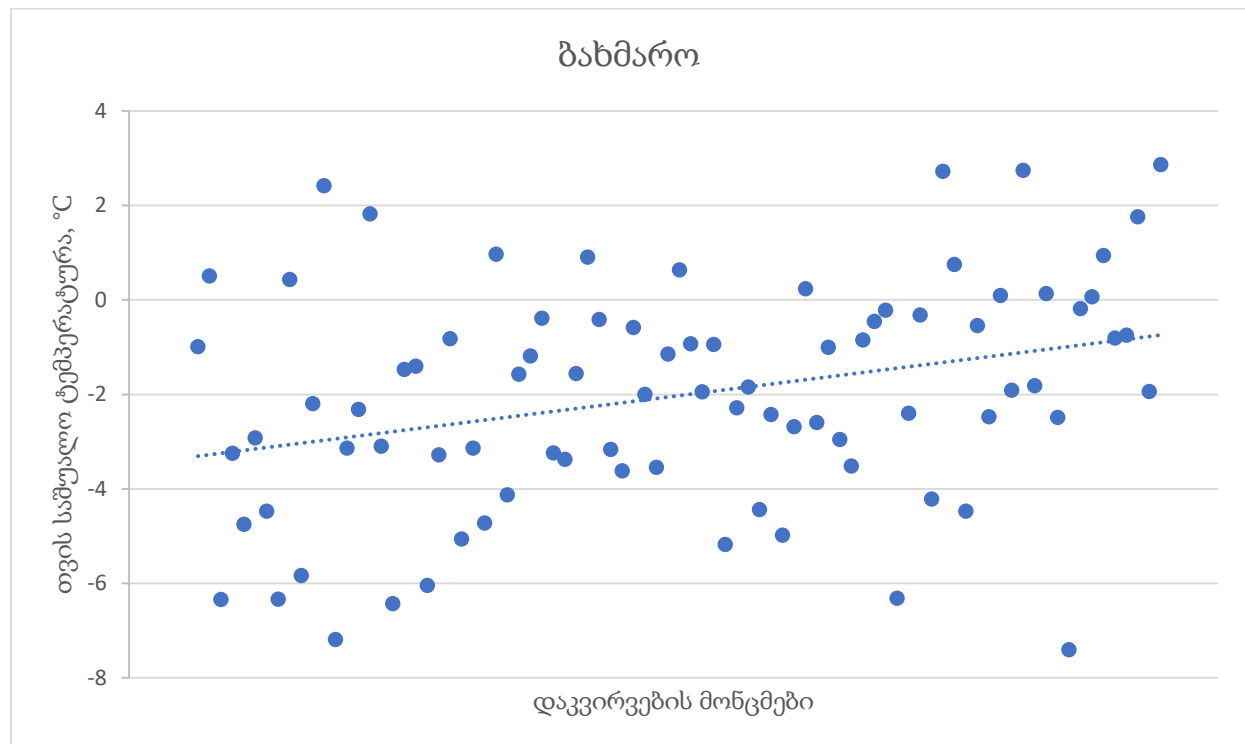
აღსანიშნავია რომ ტემპერატურულ რეჟიმზე გავლენა ყველაზე მეტად ჩანს გაზაფხულის (მარტი, აპრილი) და შემოდგომის (ოქტომბერი) თვეებში. რა დროსაც აშკარაა დათბობის მაღალი ტენდენცია. რაც შეეხება, დანარჩენ თვეებს ზაფხულის თვეებში შემიჩნევა ტემპერატურის მცირედი მატება, ხოლო ზამთრის თვეებში კი პირიქით კლება.

გაზაფხულის და შემოდგომის თვეებში ტემპერატურული მატება გავლენას ახდენს თოვლის საფრის ფორმირებაზე რაც პირდაპირ აისახება სათხილამურო სეზონის ხანგრძლივობასა და მოსული თოვლის ხარისხზე.

მიზნიდან გამომდინარე ტემპერატურული ცვლილების უკეთ შესაფასებლად არსებული დაკვირვების მონაცემები დაიყო ოცწლეულებად. შედეგად მომზადდა ოცი წლის საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურის ამსახველი ოთხი რუკა. რუკები მოიცავს მეტეოროლოგიური საგუშაგოს მიერ დაფიქსირებული ყოველდღიური ტემპერატურების მრავალწლიურ საშუალოებს სხვადასხვა წლების მიხედვით. ოცწლეულები მოიცავს 1941-1960, 1961-1980, 1981-2000, 2001-2020 მონაცემებს.

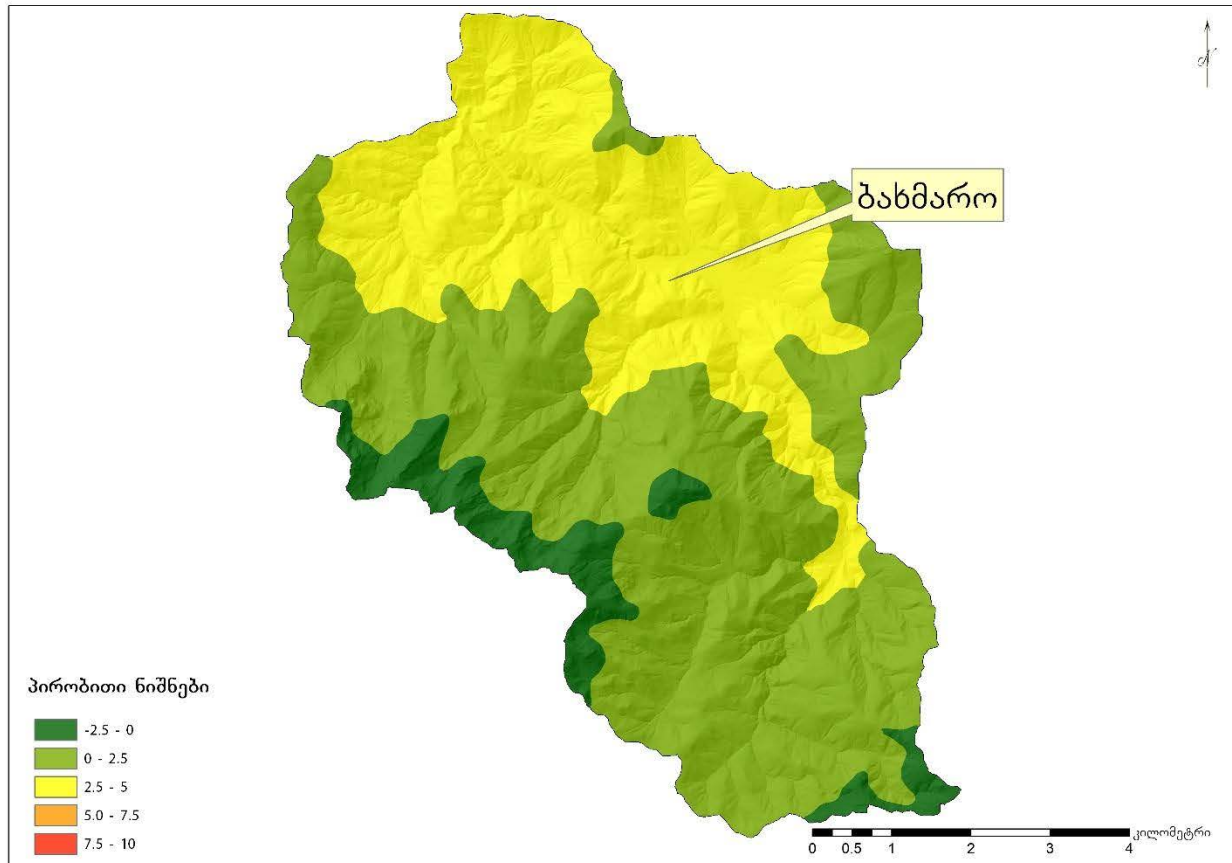
როგორც ცნობილია, მეტეოროლოგიური სადგური კურორტ ბახმაროში მდებარეობდა ზღვის დონიდან 1850 მეტრ სიმაღლეზე, შესაბამისად წყალშემკრები აუზის ფარგლებში ტემპერატურები ინტერპოლაციის გზით გადანაწილდა. ტემპერატურული გრადიენტის წესის დაცვით ანუ სიმაღლეზე ასვლისას ტემპერატურა ყოველ 100 მეტრზე ეცემა 0.6 გრადუსით. გარდა ამისა, დაკვირვების მონაცემებს დაემატა სატელიტური ინფორმაცია და არსებული წყვეტა (მეტეოროლოგიური სადგური, კურორტ ბახმაროში დაიხურა 1992 წელს) შეივსო Meteoblue-ს მონაცემების გამოყენებით.

ფიგურა 7 საშუალო ტემპერატურა ($^{\circ}\text{C}$) მარტის თვეში და ტენდენციის ხაზი, 1936-2020 წწ

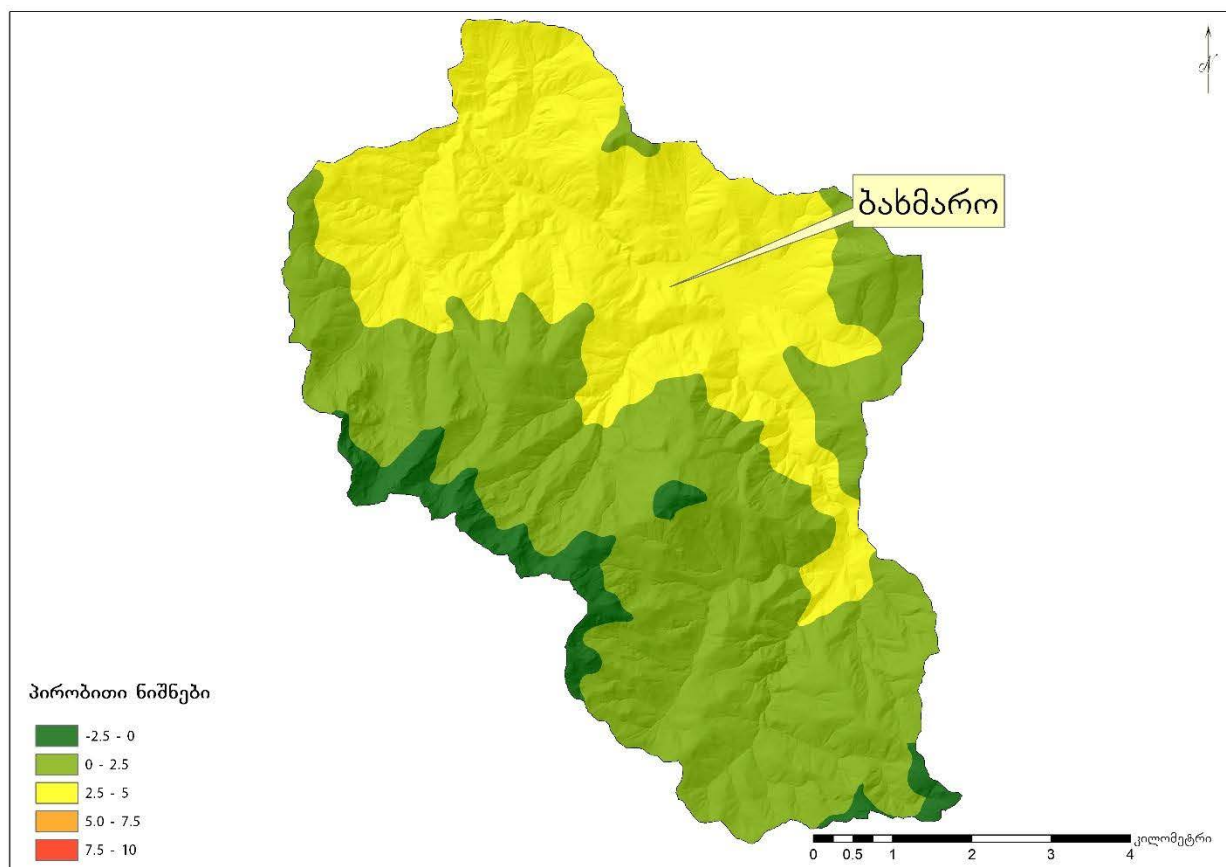


ტემპერატურული რეჟიმის ცვლილების უკეთ წარმოსაჩენად მომზადებული რუკები მოცემულია ფიგურა 8-11-ზე.

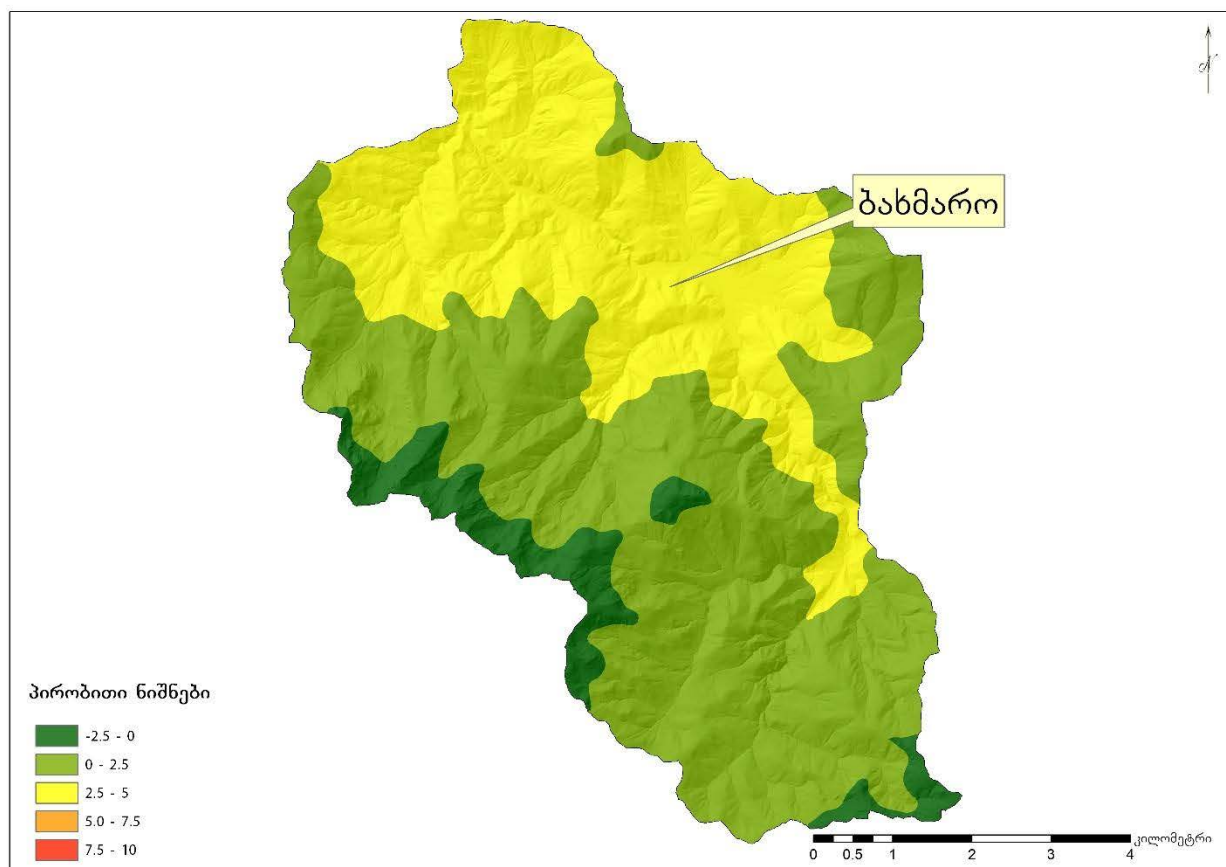
ფიგურა 8 კურორტი ბახმარო და მისი მიმდებარე ტერიტორია, 1941-60 წწ საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურა (°C)



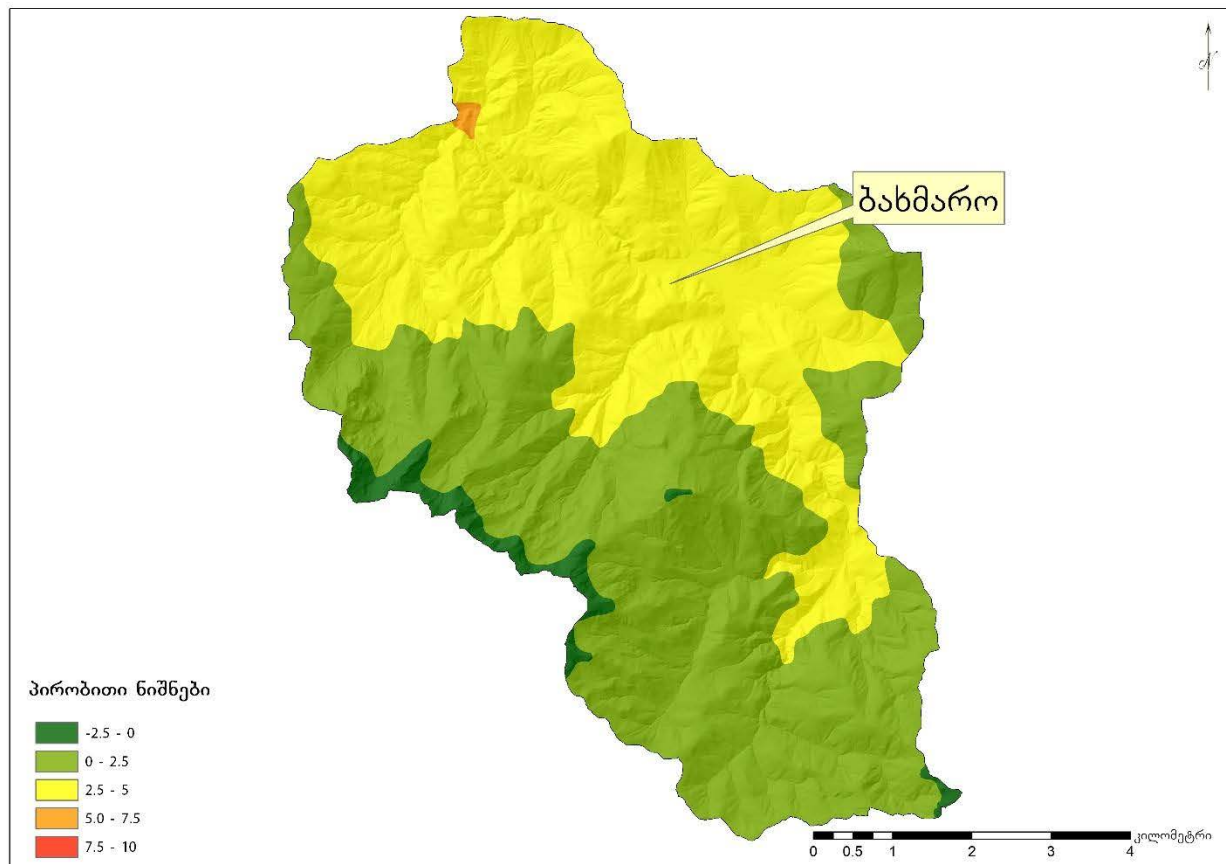
ფიგურა 9 კურორტი ბახმარო და მისი მიმდებარე ტერიტორია, 1961-80 წწ საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურა (°C)



ფიგურა 10 კურორტი ბახმარო და მისი მიმდებარე ტერიტორია, 1981-00 წწ საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურა (°C)



ფიგურა 11 კურორტი ბახმარო და მისი მიმდებარე ტერიტორია, 2001-20 წწ საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურა (°C)



მონაცემების ანალიზით ირკვევა რომ წლის საშუალო ტემპერატურა, ბოლო ოცი წლის მანძილზე დაახლოებით 0.5°C -ით არის გაზრდილი. მიუხედავად ტემპერატურული რეჟიმის ცვლილება დაიკვირვება, გასულ 80 წელთან შედარებით ყველაზე მაღალი ცვლილება სწორედ ბოლო 20 წელში ჩანს.

აღნიშნული, რადიკალური, განსხვავება შესაძლოა გამოწვეული იყოს იმით რომ 2001 წლიდან 2020 წლის ჩათვლით, ტემპერატურული მონაცემები მოპოვებულია MeteoBlue-ს ბაზებიდან. მაგრამ ამ მსჯელობას აქარწყლებს გურია, აჭარა, სამეგრელო, იმერეთის რიგ ქალაქებში უწყვეტად მოქმედი მიწისპირა მეტეოროლოგიური დაკვირვების სადგურთა მონაცემები. რომლებიც, მსგავსად კურორტ ბახმაროსათვის გამოყენებული ინფორმაციისა, მიუთითებენ წლის საშუალო ტემპერატურის მნიშვნელოვან მატებაზე, განსაკუთრებით კი ბოლო 20 წელში.

ჰიდროლოგია

ჰიდროლოგიურ კვლევებს, საქართველოში დიდი ხნის ისტორია აქვს. განსაკუთრებით, ინტენსიური მსგავსი სახის კვლევები გასული საუკუნის 50-იანი წლების შემდეგ გახდა, რა დროსაც საკმაოდ გაიზარდა დაკვირვების ქსელი და შესაბამისად მდინარეთა ჩამონადენის მონიტორინგი გაფართოვდა. მაგრამ, ისევე როგორც მეტეოროლოგიური სადგურების შემთხვევაში, ჰიდროლოგიური მონიტორინგი, მდინარეთა უდიდეს ნაწილზე გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან შეწყდა და დღეის მდგომარეობით, მონიტორინგის სისტემა, ძირითადად დიდ მდინარეებზე ხდება. ისეთებზე როგორცაა, მტკვარი, არაგვი, ალაზანი, რიონი, ენგური, სუფსა და ა.შ. მიუხედავად იმისა რომ ბოლო წლებში გარკვეულ წილად გაუმჯობესდა სისტემა, იგი მაინც არ იყო და სამწუხაროდ არც დღეს არის საკმარისი. მდინარეთა ჰიდროლოგიური რესურსების ზუსტი შეფასებისათვის.

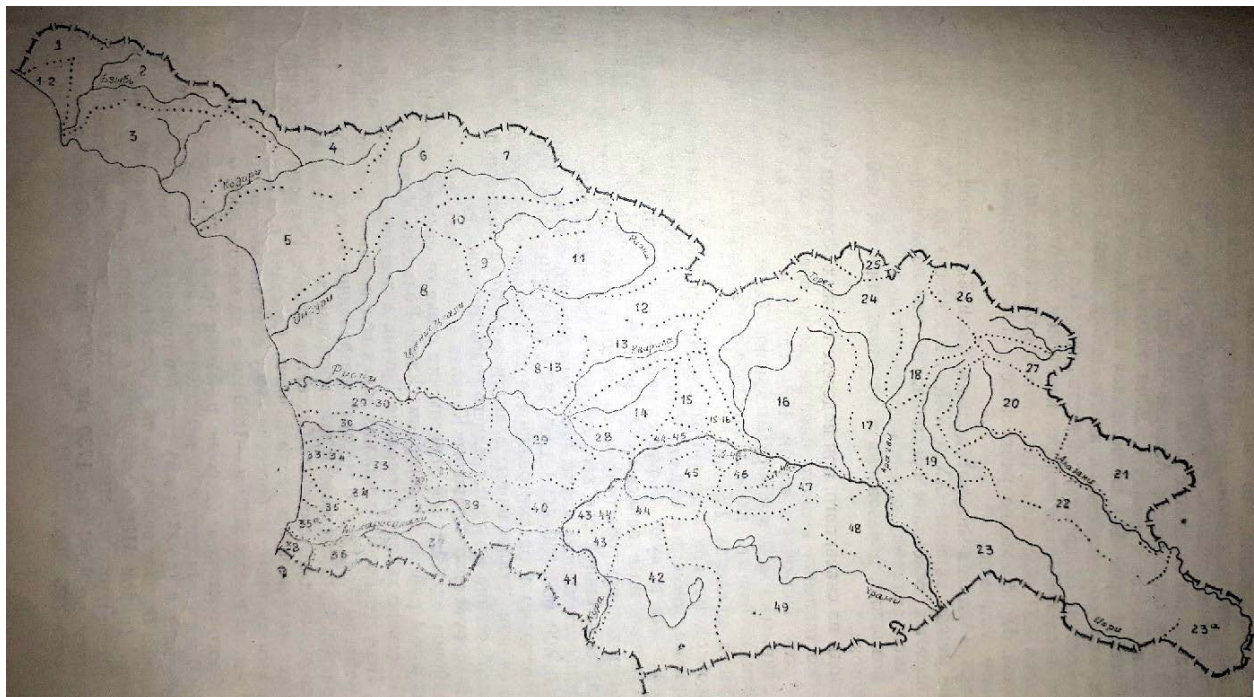
დღეს მოქმედი მიდგომები, რომლითაც ხორციელდება, მდინარეთა საშუალო მრავალწლიური ხარჯის დადგენა, დაფუძნებულია ჰიდროლოგიური საგუშაგოების მონაცემებზე, რომლებიც გაბნეული იყოს მთელი ქვეყნის მასშტაბით (ძირითად მდინარეებზე, იშვიათ შემთხვევაში კი პირველი რიგის შენაკადებზეც). აღნიშნული მიდგომა, ცნობილია როგორც „საქართველოს წყლის ბალანსის“ სახელით, რომელიც შემუშავებულია ლ. ვლადიმეროვის მიერ, გასული საუკუნის 70-იან წლებში. აღნიშნული მიდგომა იყენებს 1968-წლის ჩათვლით არსებული ჰიდროლოგიური საგუშაგოების ყოველდღიურ ხარჯებს, და ინტერპოლაციის მეთოდით ანაწილებს საქართველოს ტერიტორიაზე. გამომდინარე ქვეყნის ოროგრაფიული საწყისებისა, მეთოდის ავტორს ქვეყანა დაყოფილი აქვს ე.წ ჰიდროლოგიურ რაიონებად, რომლებიც ძირითადი მდინარეების და მათი პირველადი შენაკადების საზღვრებს ემთხვევა (ფიგურა 12).

გამომდინარე იქედან რომ აღნიშნული მიდგომა ეფუძნება 1968 წლის ჩათვლით არსებულ მონაცემებს, საკმაოდ მოძველებულია და ვერ ასახავს დღევანდელობას. ასევე პრობლემურია მდინარე ბახვისწყალზე მდებარე ჰიდროლოგიური საგუშაგოს მონაცემებიც. გარდა იმისა რომ ბოლო გაზომილი ხარჯი 1978 წლით თარიღდება. თავად

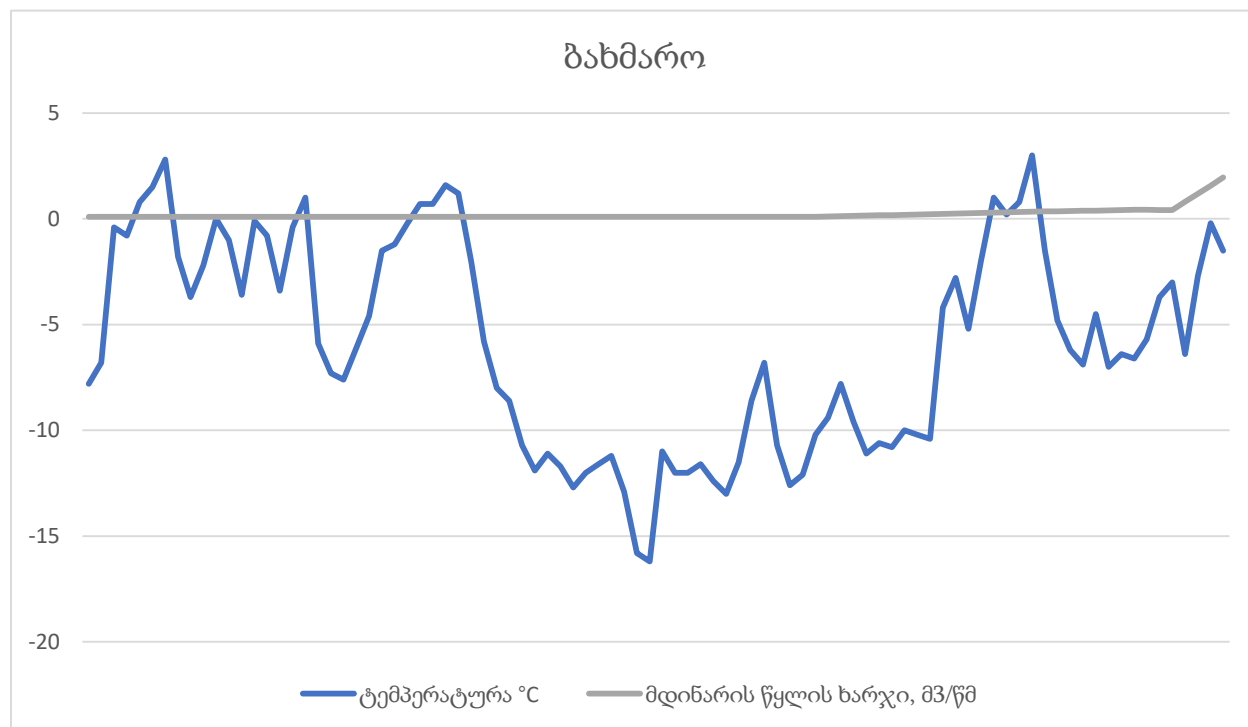
მონაცემების სისწორეც კითხვის ნიშნის ქვეშ დგას. მაგალითად, 1959 წლის იანვრის თვეში წყლის რაოდენობა სტაბილურად $0.104 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ -ია, მაშინ როდესაც იმავე პერიოდის მეტეოროლოგიური მონაცემები განუხრელად იცვლება (ფიგურა 13). მსგავსი სიტუაცია არის არა მხოლოდ აღნიშნულ პერიოდში არამედ დაკვირვების რიგის მთელი დროის მანძილზე, ფრაგმენტულად. ეს კი მონაცემების სანდოობას ეჭვქვეშ აყენებს, მითუმეტეს იმის გათვალისწინებით რომ ბოლო გაზომილი ხარჯიდან დიდი დროა გასული და ამასთანავე კლიმატის ცვლილების გავლენა აშკარად იკვეთება მდინარის ხეობაში მიზანშეუწონელია დაკვირვების რიგის გამოყენება სხვადასხვა ობიექტის დასაპროექტებლად მითუმეტეს მდინარის და მისი შენაკადების წყლის რესურსების შესაფასებლად.

გამომდინარე ზემოთ ნახსენები პრობლემებიდან, მდინარის ჰიდროლოგიური რესურსის შეფასებისათვის გადაწყდა ჰიდროლოგიური მოდელირების მომზადება, რომელიც ერთის მხრივ აღადგენს გამოტოვებულ პერიოდს, ხოლო მეორეს მხრივ მოგვცემს შესაძლებლობას კლიმატის ცვლილების გარკვეული გავლენა დავინახოთ.

ფიგურა 12 ჰიდროლოგიური დარაიონება, მომზადებული ვლადიმეროვის მიერ

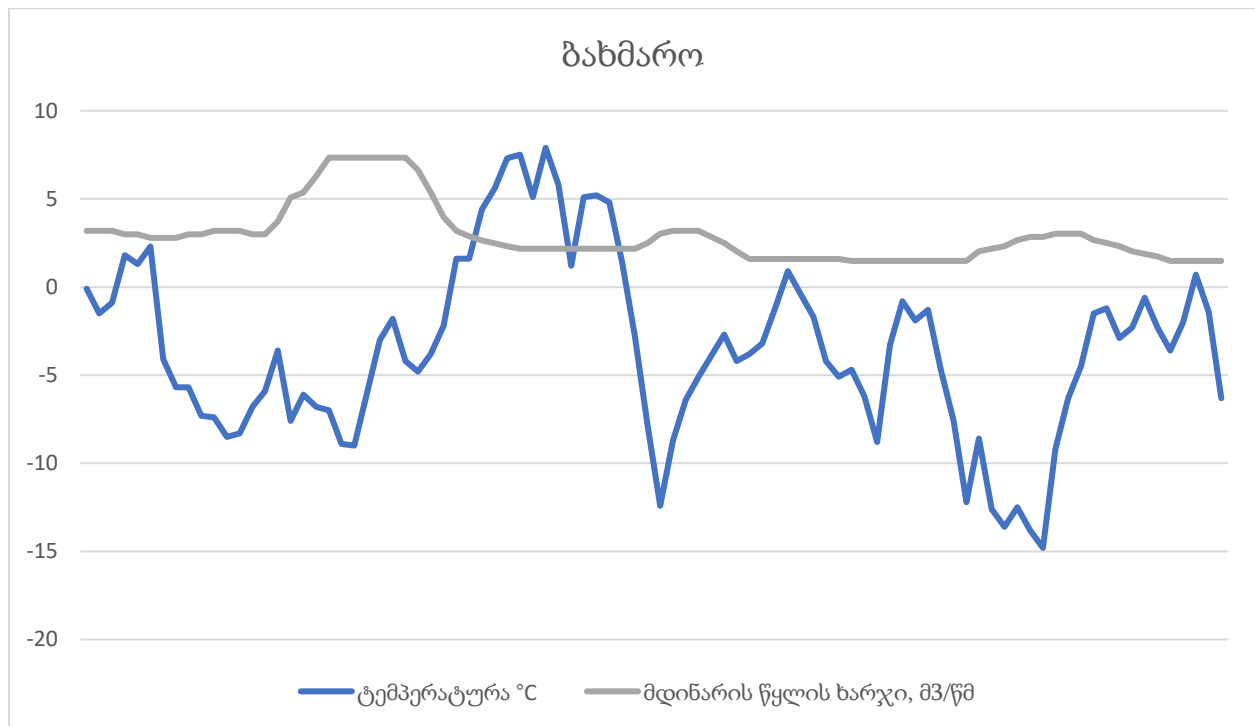


ფიგურა 13 მეტეოროლოგიური საგუშაგოს და ჰიდროლოგიური საგუშაგოს მონაცემები, 1959 წლის იანვარი-მარტი



გარდა ამისა, ასევე გაუგებარია რამ გამოიწვია მდინარის ხარჯის საკმაოდ მაღალი მაჩვენებლები ზამთრის თვეებში, მაშინ როდესაც ტემპერატურები უარყოფით ნიშნულებს ინარჩუნებდნენ (ფიგურა 14).

ფიგურა 14 მეტეოროლოგიური საგუშაგოს და ჰიდროლოგიური საგუშაგოს მონაცემები, 1970-71 წლის დეკემბერი-თებერვალი



როგორც ზემოთ ითქვა, მდინარე ბახისწყალზე ჰიდროლოგიური საგუშაგო ფუნქციონირებდა (წყვეტით) 1947 წლიდან 1978 წლამდე, ხოლო უწყვეტად 1959-დან 1978-მდე (ცხრილი 3). მონაცემებს ანალიზით ირკვევა რომ, მდინარის საშუალო მრავალწლიური ხარჯი ჰიდროლოგიური საგუშაგოს კვეთში შეადგენს 1.86 მ³/წმ-ს. ხოლო ჩამონადენის ფენა კვადრატული კილომეტრიდან უდრის 55.7 ლ/წმ-ს უდრის.

ცხრილი 3 მდინარე ბახისწყლის ჰიდროლოგიური საგუშაგოს მონაცემები, ბახმარო

წელი	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	საშ.
1947	0.75	0.68	1.07	1.97	2.56	1.52	1.07	0.97	1.51	1.79	1.26	0.57	1.31
1949	0.42	0.32	0.35	0.77	5.81	4.14	0.87	0.48	0.59	1.69	0.81	0.42	1.39
1950	0.38	0.32	0.34	3.48	6.77	4.20	1.25	0.90	0.58	1.28	1.65	0.89	1.84
1953	0.45	0.38	0.33	2.03	7.24	5.09	1.47	0.86	0.48	0.68	0.65	0.44	1.67
1955	0.46	0.49	0.90	4.53	6.62	2.61	1.54	1.42	1.36	1.17	1.61	1.28	2.00
1956	1.10	0.99	0.95	2.08	3.97	4.79	2.76	0.67	1.00	1.03	0.98	0.78	1.76
1957	0.51	0.42	0.74	4.67	8.24	5.66	3.56	0.40	0.66	1.58	1.17	1.02	2.39
1959	0.07	0.07	0.30	3.90	9.89	4.88	2.38	0.96	1.86	2.00	1.19	0.57	2.34
1960	0.42	0.47	0.53	3.83	4.81	3.84	1.14	0.62	0.41	0.43	0.43	0.43	1.45
1961	0.42	0.42	0.42	2.12	12.25	4.02	1.30	0.50	1.13	0.89	0.93	1.17	2.13
1962	0.61	0.55	0.67	1.74	5.06	2.90	1.08	0.62	1.59	1.58	1.12	0.69	1.52
1963	0.60	0.54	0.56	1.34	3.07	3.15	1.64	1.70	0.61	0.90	1.23	0.94	1.36

1964	0.98	0.89	0.79	1.75	5.80	3.25	1.46	1.12	0.79	1.15	0.79	0.70	1.62
1965	0.51	0.29	0.63	1.65	4.42	4.03	1.50	0.56	0.45	0.70	0.72	0.58	1.34
1966	0.45	0.46	1.02	2.65	3.02	2.28	1.28	0.90	0.68	0.42	0.33	0.35	1.15
1967	0.25	0.22	0.24	1.02	5.57	5.52	4.06	3.43	1.70	0.85	0.65	0.62	2.01
1968	0.58	0.58	0.57	3.94	7.05	4.13	2.89	1.92	1.40	1.32	1.15	1.09	2.22
1969	0.97	0.92	1.06	2.31	4.48	2.53	1.15	1.05	1.06	1.71	1.20	1.26	1.64
1970	1.21	1.10	1.31	4.51	8.54	5.81	3.32	2.52	2.50	3.26	2.85	3.10	3.34
1971	1.50	1.39	1.24	2.96	12.9 6	7.91	3.22	3.20	0.91	1.26	1.43	1.03	3.25
1972	0.56	0.39	0.33	5.01	5.18	4.71	1.76	1.26	0.71	0.69	1.15	1.05	1.90
1973	0.77	0.56	0.57	1.41	4.84	2.10	1.72	1.15	0.63	0.53	0.87	0.79	1.33
1974	0.46	0.36	0.86	0.94	4.90	2.35	0.77	0.90	0.83	0.65	0.64	0.52	1.18
1975	0.58	0.52	0.59	6.60	7.82	7.64	3.44	1.74	0.86	0.51	0.35	0.30	2.58
1976	0.23	0.20	0.41	1.75	3.84	3.26	2.33	1.43	1.73	2.05	0.72	0.32	1.52
1977	0.26	0.29	0.42	1.69	2.55	1.41	0.75	1.00	1.28	1.21	0.99	1.05	1.08
1978	0.86	0.85	0.84	1.41	4.16	5.26	4.24	3.44	3.05	3.69	3.86	2.46	2.84
საშ.	0.61	0.54	0.67	2.67	5.98	4.04	2.00	1.32	1.12	1.30	1.14	0.90	1.86

აღსანიშნავია ის ფაქტი რომ პროექტის ფარგლებში, ჰიდროლოგიური პარამეტრები დამუშავდა ბახმაროს სარეკრეაციო ტერიტორიის ქვედა საზღვრს, ამიტომ მდინარის ხარჯები შერჩეული კვეთისათვის გადამყვანი კოეფიციენტის გამოყენებით განისაზღვრა. ამიტომ შერჩეულ კვეთში, მდინარის საშუალო მრავალწლიური ხარჯი განისაზღვრა 2.75 მ³/წმ-ით ნაცვლად 1.86 მ³/წმ-სა.

დღეის მდგომარეობით, ხეობაში, არ არის ჰიდროლოგიური დაკვირვების საგუშაგო (დაიხურა 1978 წელს), ასევე არ ფუნქციონირებს მეტროსადგური (დაიხურა 1993 წელს), ჰიდროლოგიური მოდელირების კალიბრაცია და მისი ვალიდურობის დადასტურება რთულია. რადგანაც ერთის მხრივ გვაქვს არასანდო ჰიდროლოგიური მონაცემები და მეორეს მხრივ სატელიტური მონაცემებით ხელმისაწვდომია მხოლოდ 1981 წლიდან. ამიტომ აუცილებელია, მნიშვნელოვან ინფრასტრუქტურული ღონისძიებებს წინ უსწრებდეს, რამდენიმე წლიანი, მაღალი ხარისხის ჰიდროლოგიური მონიტორინგი და სრულფასოვანი დაკვირვება, როგორც ჰიდროლოგიურ ნაწილზე ისე კლიმატის, ნიადაგის და მცენარეული საფრის მიმართულებით.

ჰიდროლოგიური მოდელირება

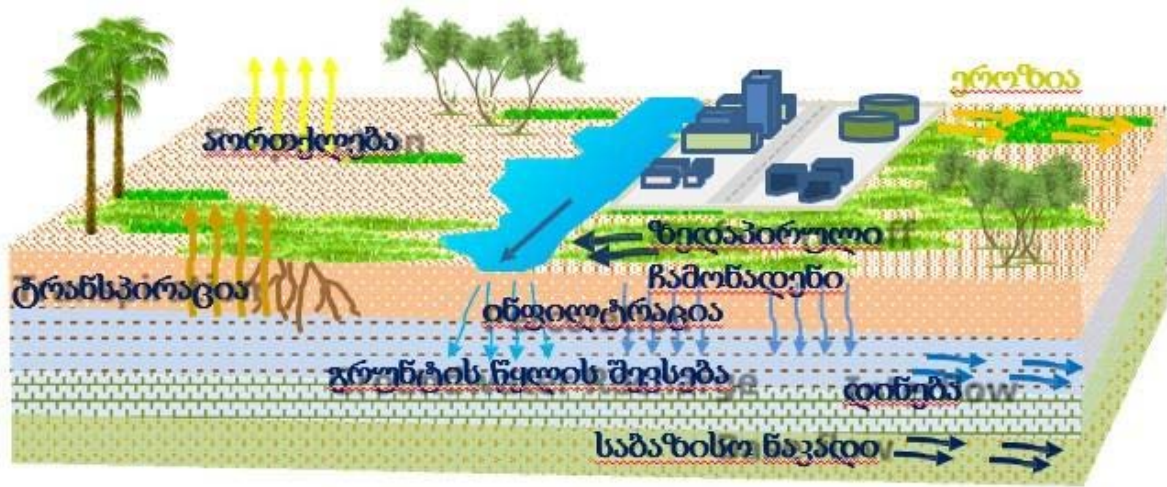
ჰიდროლოგიური მოდელირება ერთის მხრივ ეფუძნება, ისტორიულ მონაცემებს, ძირითადად ნალექის და ტემპერატურის მაჩვენებლებს ხოლო მეორე მხრივ სხვადასხვა სახის პარამეტრებს რომლებიც უზრუნველყოფენ მდინარეთა ხეობებში წყლის რესურსის

შენარჩუნებასა და დროში გადანაწილებას. მათ შორის ისეთი მნიშვნელოვანი პარამეტრები როგორიცაა, ნიადაგი, მცენარეული საფარი, ფერდობთა ექსპოზიცია, ფერდობთა დახრილობა, ტემპერატურა და ა.შ.

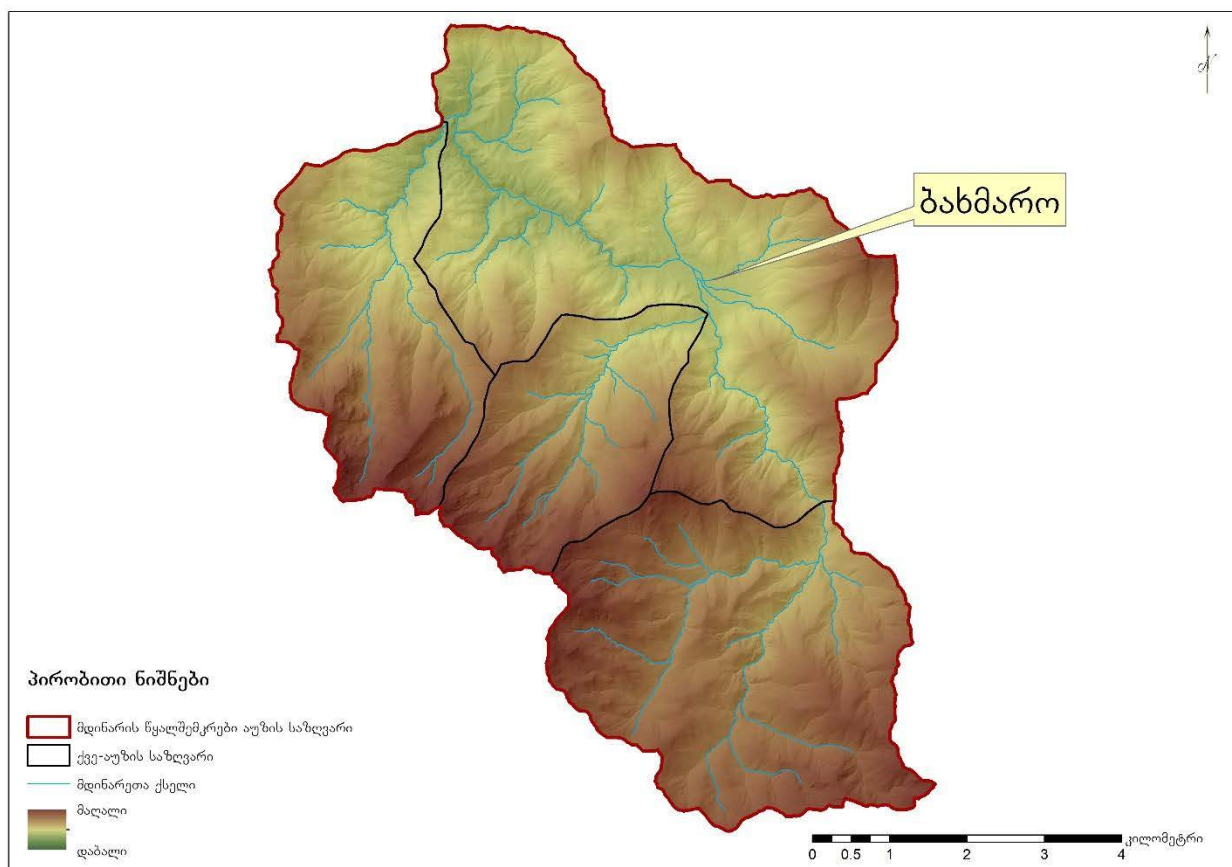
ჰიდროლოგიური მოდელირება ეფუძნება, მიდგომას, რომლის გამოყენებითაც შესაძლებელია ატმოსფერული ნალექის მდინარის ხარჯად გარდაქმნა და მისი დროში გადანაწილება. ამიტომ მოდელის აგებისას დიდი ყურადღება ენიჭება სხვადასხვა სახის პარამეტრებს და მათ სიზუსტეს. ამიტომ შეიძლება ითქვას რომ ჰიდროლოგიური მოდელირებისაგან მიღებული შედეგების სიზუსტე 100%-ით დამოკიდებულია მაშინ შემაჯავლი პარამეტრების მართებულობაზე.

მოდელირების საწყისი ეტაპი, შესაბამისი მონაცემების გეოინფორმაციულ სისტემაში დამუშავებაა, რა დროსაც მდინარის წყალშემკრები აუზის საზღვრების და მისი ფართობის განსაზღვრა/დაზუსტება ხდება. შემდეგი ეტაპი, შერჩეული მონაკვეთის ქვე-აუზებად დაყოფაა რა დროსაც აუცილებელია გავითვალისწინოთ ადგილის ოროგრაფია. ქვე-აუზებად დაყოფის აუცილებლობა მოდელის და მისგან მიღებული შედეგების სანდოობის გაზრდისათვისაა აუცილებელი, რადგანაც იგი არ წარმოადგენს ჰომოგენურ სტრუქტურას და მასში ფორმირებული წყალი დაკავშირებულია სხვადასხვა მდგენელზე. მათ შორის პირველ რიგში ჰიფსომეტრულ სიმაღლესა და შესაბამის ტემპერატურულ რეჟიმზე რაც განაპირობებს სხვადასხვა მახასიათებლების ჩამოყალიბებას. მათ შორის აღსანიშნავია ის რომ, ნიადაგის, მცენარეული საფრის, ამა თუ იმ სახის წყალშემკრებში არსებობა პირდაპირკავშირშია ზომით მოყვანილ ჰიფსომეტრულ მახასიათებელსა და ტემპერატურულ რეჟიმზე. ხოლო თავად ნიადაგის ფიზიკური შემადგენლობა და მცენარეულის საფრის სტრუქტურა კი განაპირობებს მდინარეში წყლის რესურსის განაწილებას. კერძოდ, ქვეფენილის ზედაპირია პასუხისმგებელი მდინარის ხეობაში წყლის გადაადგილების სიჩქარესა და რაოდენობაზე. ამიტომაც აუცილებელია წყალშემკრები აუზი დაიყოს მცირე ზომის ქვე აუზებად, რომელთა შიგნითაც გარემოპირობები მეტ-ნაკლებად მსგავსია (ფიგურა 15).

ფიგურა 15 ჰიდროლოგიური რეჟიმზე მოქმედი ფაქტორები



ფიგურა 16 მდინარე ბახვისწყლის წყალშემკრები აუზი

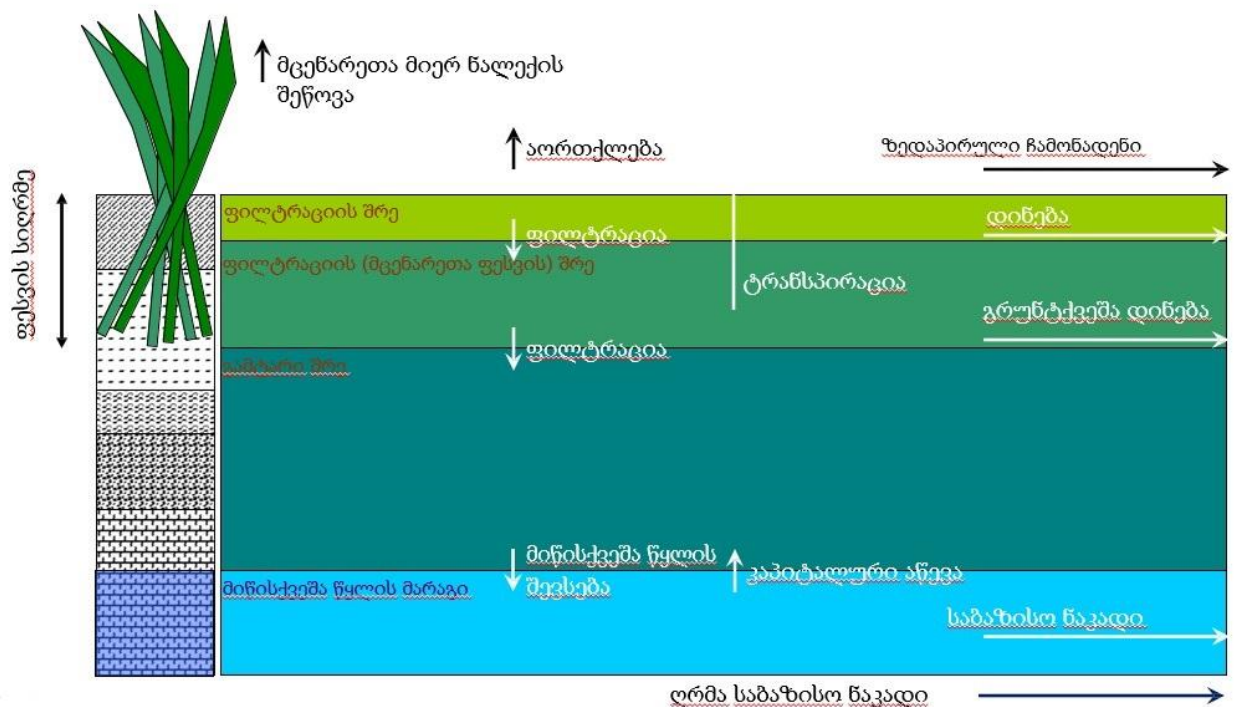


გამომდინარე წყალშემკრები აუზის მცირე ფართობიდან კურორტ ბანმაროსა და მიმდებარე ტერიტორია დაიყო ოთხ მცირე ქვე აუზად და მომზადდა შესაბამისი პარამეტრები ჰიდროლოგიური მოდელირებისათვის.

პირველ რიგში შეფასდა მცენარეული საფრის ფართობი და მათი ტიპი. ასევე დამუშავდა ნიადაგის რუკები და მათი ფიზიკური შემადგენლობა, ჰორიზონტების მიხედვით. ასევე, ექსპოზიცია, საშუალო სიმაღლე, დახრილობა და ა.შ. მონაცემების დამუშავების შედეგად კი აიწყო მოდელი TalsimNG-ის ბაზაზე, რომელიც შემუშავებულია ჰიდროლოგიური მოდელირებისათვის sydro-ს მიერ.

TalsimNG-ის მუშაობის პრინციპი ძალიან გავს HEC-HMS-ს რომელიც ასევე დაფუძნებულია ნალექებიდან მდინარეთა ჩამონადენის საანგარიშოდ და რომელიც იდენტურ მონაცემებს იყენებს. განსხვავება ისაა რომ Sydro-ს მიერ შექმნილ მოდელი ბევრად სტაბილურია განსკუთრებით კი მაშინ როდესაც საქმე დიდი რაოდენობის ინფორმაციის დამუშავებას ეხება. ასევე აღნიშნული მოდელი გამოიყენება ჰიდროლოგიური რესურსების მართვისა და პროგნოზირების გასაკეთებლად და გამოცდილია მრავალი ტიპის მდინარეზე, მათ შორის საქართველოშიც.

ფიგურა 17 ნიადაგის და მცენარეული საფრის სტრუქტურა. მათი გავლენა მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირებაზე



მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირებაზე დიდი გავლენა კარგად გამოიხატება მაშინ როდესაც საქმე გვაქვს მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯების ანგარიშისას. სხვაგვარად რომ ვთქვათ ნიადაგის ფიზიკურ შემადგენლობასა და მცენარეულ საფარზე პირდაპირაა დამოკიდებული , წვიმის დროს. წყლის მაქსიმალური რაოდენობა და მინიმალური ჩამონადენი გვალვიან პერიოდში.

როგორც წესი, წვიმის წვეთი საკმაოდ რთულ გზას გადის მანამ სანამ იგი მდინარის კალაპოტში მოხვდება (ფიგურა 16). ამიტომ მოდელის სტაბილურობისა და შედეგების მაქსიმალური სიზუსტისათვის აუცილებელია აღნიშნული მონაცემების ზედმიწევნით დამუშავება და შესაბამისი პარამეტრების ზუსტი განსაზღვრება.

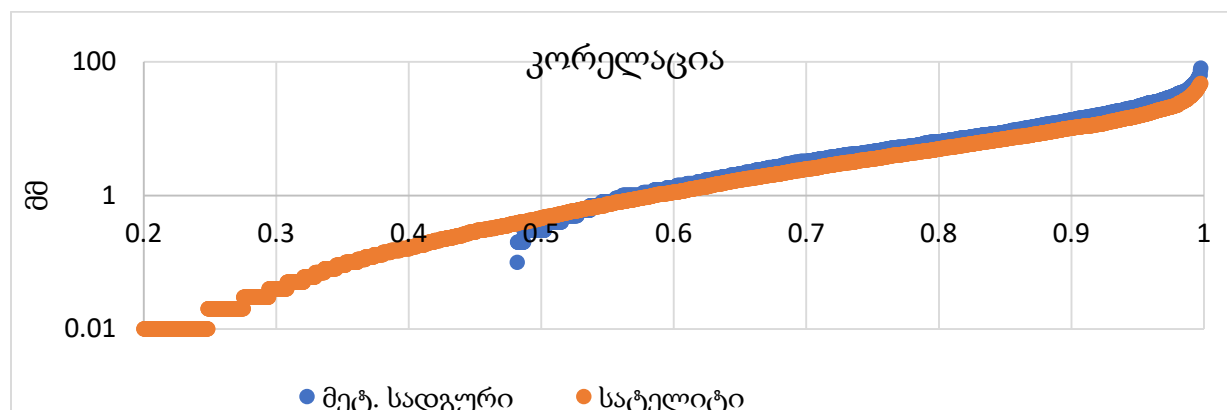
ცხრილი 4 მიწის გამოყენების საკლასიფიკაციო მახასიათებლები გურიის რეგიონისათვის

მახასიათებლები	
სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები: ნათესი კულტურები	
მწკრივად ნათესი კულტურები (ვენახი, ხეხილის ბაღი)	
საძოვრები	ცუდ მდგომარეობაში
	კარგ მდგომარეობაში
სათიბი / მდელო კარგ მდგომარეობაში	
ტყე	ძლიერ დეგრადირებული
	მეჩხერი ტყე
	ხშირი
ღია სივრცეები:	
კარგ მდგომარეობაშია, ბალახის საფარით > 75%	
საკმაოდ კარგ მდგომარეობაში ბალახის საფარით 50 - 75%	
ბუჩქნარი ბალახით	ცუდ მდგომარეობაში
	კარგ მდგომარეობაში
შენობის სახურავები წყალგაუმტარი ზედაპირით 85%	

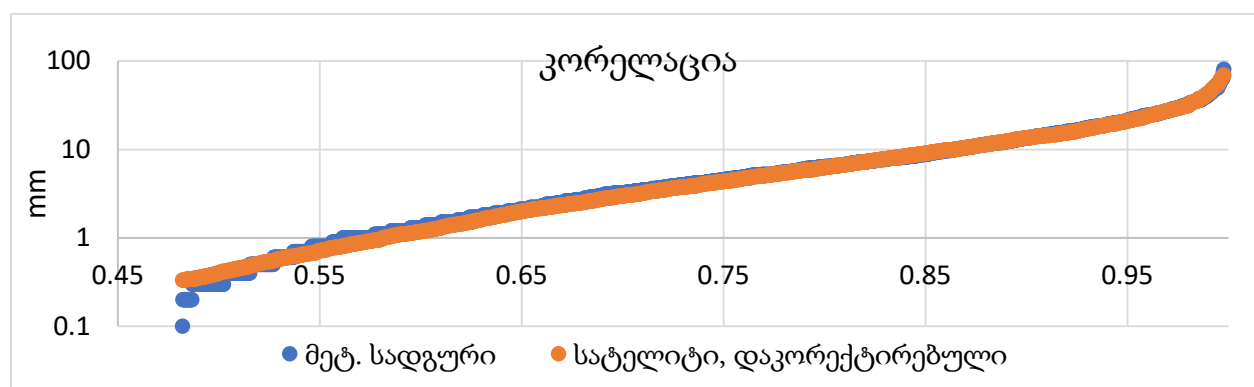
სამრეწველო მოედნები: წყალგაუმტარი ზედაპირით 72%	
დასახლებული პუნქტები:	
საშუალო ფართობი	% წყალგაუმტარი ტერიტორია
500 მ ²	65
1000 მ ²	38
1300 მ ²	30
2000 მ ²	25
4000 მ ²	20
ბეტონის/ასფალტის საფარი, ბორდიურები და დრენაჟები	
ხრეში	
ქვა-ღორღი	

ნიადაგის და მიწის გამოყენების კლასიფიკაციის შემდეგ, მთავარი ყურადღება ენიჭება ნალექისა და ტემპერატურის შესახებ არსებული მონაცემების დამუშავებას. რადგანაც ბახმარო და მიმდებარე ტერიტორიაზე არ მიმდინარეობს ჰიდრომეტეოროლოგიური დაკვირვება, მოდელისათვის საჭიროა სატელიტური (ატმოსფერული ნალექი და ტემპერატურა) მონაცემების გამოყენება და მისი ვალიდაცია ამიტომ სათანადო შედეგების მისაღებად სატელიტური მონაცემები დამუშავდა და დაკორექტდა Bias-correction მეთოდით. აღნიშნული მიდგომა ითვალისწინებს მიწისპირა დაკვირვების და სატელიტური ინფორმაციის ურთიერთდამოკიდებულების მიხედვით მონაცემების გასწორებას. ამისათვის კი აუცილებელია სატელიტური ინფორმაცია და მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებს შორის დაკვირვების ერთნაირი ერთიანი პერიოდი მოიძებნოს. გამომდინარე იქედან რომ მიწისპირა მეტეოროლოგიური სადგური ფუნქციონირებდა 1992 წლის ჩათვლით, ხოლო სატელიტური გაზომვები დაიწყო 1981 წლიდან. მონაცემების დასაზუსტებლად სწორედ აღნიშნული პერიოდია გამოყენებული.

ფიგურა 18 მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების და სატელიტური ინფორმაციის ურთიერთდამოკიდებულება Bias-correction-მდე



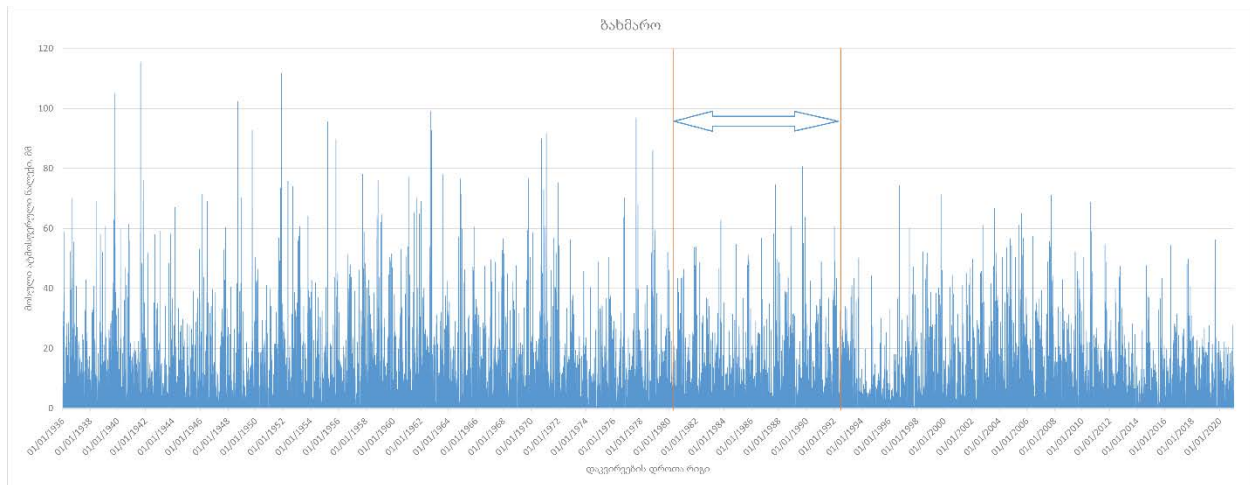
ფიგურა 19 მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების და სატელიტური ინფორმაციის ურთიერთდამოკიდებულება Bias-correction-ის შემდეგ



აღსანიშნავია რომ მიუხედავად მაღალი ხარისხის შესწორებისა, რთულია იმის თქმა რომ ამ მეთოდით დამუშავებული მონაცემები აბსოლუტური სიზუსტით აღადგენს 1992 წლიდან დღემდე არსებულ კლიმატურ მონაცემებს, რადგანაც სატელიტური ინფორმაციის დასაკორექტირებლად გამოყენებული მონაცემები მოიცავს მხოლოდ 1981-დან 1992-ი წლის ჩათვლით არსებულ ინფორმაციას. გარდა ამისა აღსანიშნავია რომ მსგავს მიდგომას, ისევე როგორც თითქმის ყველა სამეცნიერო მეთოდს გააჩნია თავისი შეზღუდვები¹.

¹ Cannon, Sobie, & Murdock, 2015

ფიგურა 20 მოსული ატმოსფერული ნალექი, დაბა ბახმარო, 1936-2020 წწ



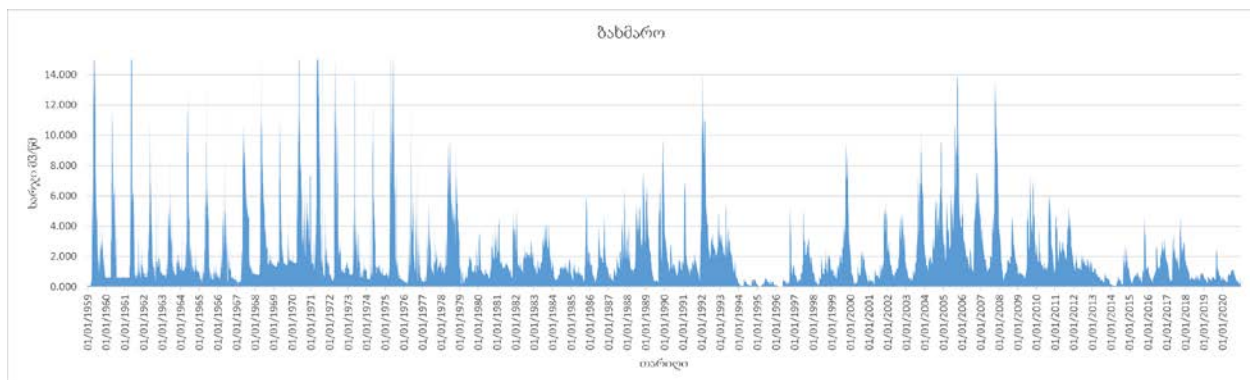
როგორც ფიგურა 20-ზე ჩანს Bias-correction დროის საკმაოდ მცირე მონაკვეთის გამოყენებით მომზადდა. შესაბამისად 1992 წლის შემდგომი პერიოდი მთლიანად აღდგენილია სატელიტური მონაცემების გამოყენებით. აგრეთვე აღსანიშნავია, კორექტირებული პერიოდი მეტნაკლებად იმეორებს იმ შუალედის მაქსიმალურ და მინიმალურ საზღვრებს, რომელი შუალედიდან დაკორექტდა. ამიტომაც რომ ბოლო 30 წლის მანძილზე სატელიტური მონაცემების მიხედვით აღდგენილ მონაცემებში ნალექის პიკური მაჩვენებლები არ აღემატება 1981-1992 წლების პიკურ მაჩვენებელს, მაშინ როდესაც მთელი წინარე პერიოდის განმავლობაში არაერთი შემთხვევაა ისეთი როდესაც 24 საათის მანძილზე მოსული ნალექის რაოდენობა აღემატება 80 მმ-ს, ზოგჯერ კი 100 მმ-საც კი. მიუხედავად ამისა მაქსიმალურ და მინიმალურ საზღვარს შორის არსებული მონაცემები, კარგად აჩვენებენ კლიმატის ზოგად ტენდენციას. საინტერესოა ისიც რომ, ამ მაჩვენებლების მიხედვით ყველაზე მშრალი პერიოდი ასევე იკვეთება რომ ყველაზე მშრალი პერიოდი, 1936 წლიდან დღემდე 1996 წელია, რაც ასევე რეგიონში არსებული სხვა მიწისპირა მეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემებითაც დასტურდება. მაგალითად 1996 წელს, კურორტ გოდერძიზე მოსულმა ნალექმა დაახლოებით 750 მმ შეადგინა, მოშინ როდესაც მრავალწლიური საშუალო მაჩვენებელი 1200 მმ, ხოლო ქალაქ ჩოხატაურში დაახლოებით 1050 მმ (მრავალწლიური საშუალო დაახლოებით 1700 მმ). იმავე წლის მაშვნებელი კურორტ ბახმაროსათვის 968 მმ-ს შეადგენს, ამიტომ შეიძლება, თამამად ითქვას რომ, ნალექების მაჩვენებელი გარკვეულწილად ასახავს და ძალიან არაა აცდენილი რეალობას.

მონაცემების დამუშავების შემდეგ, ჰიდროლოგიური მოდელირების ბოლო ეტაპზე, შერჩეული კვეთისათვის, მოგროვებული ჰიდრომეტეოროლოგიური მონაცემების გამოყენებით, გამოითვალა მდინარის საშუალო მრავალწლიური ხარჯი და დაგრძელდა ჰიდროლოგიური საგუშაგოს მონაცემები.

გამომდინარე იქედან რომ ჰიდროლოგიური საგუშაგოს მონაცემების ხარისხი ეჭვს ბადებს, მოდელირებული ხარჯების კალიბრაცია მიზანშეუწონლად იქნა მიჩნეული. ამ გზით, გარდა იმისა რომ მეტეოროლოგიური პარამეტრების კიდევ უფრო დამახინჯებას ვარიდებთ თავს, შესაძლებლობა გვაქვს დავინახოთ ნალექების და ტემპერატურული რეჟიმის გავლენა წყალშემკრებზე. ამასთანავე აღსანიშნავია რომ როდესაც ჰიდროლოგიური საგუშაგოს მონაცემების სანდოობა კითხვის ნიშნის ქვეშ დგას, უმჯობესია მოდელი დაეყრდნოს გარემო პირობებს და შესაბამის მდგენელებს², როგორიცაა ნიადაგი, დახრილობა, ექსპოზიცია, ნალექი და ა.შ.

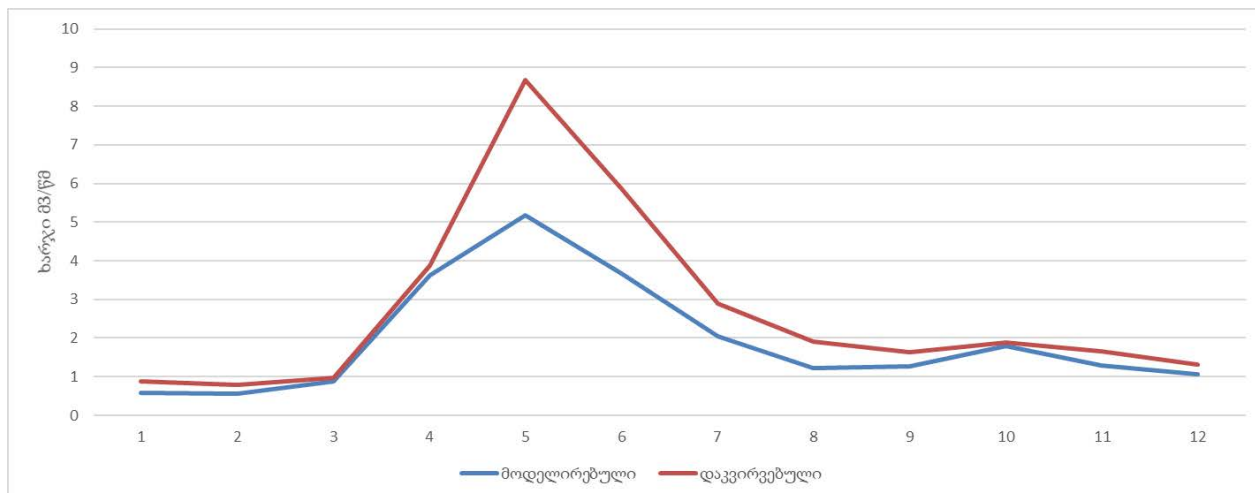
მონაცემების დამუშავების შემდეგ (ფიგურა 21) შერჩეული კვეთისათვის გამოითვალა მდინარე ბახვისწყლის საშუალო მრავალწლიური ხარჯი, რომელიც მოდელირებული ხარჯის მიხედვით შეადგენს 1.93 მ³/წმ-ს ხოლო დაკვირვების მონაცემებით 2.74 მ³/წმ-ს. უზვწყლიანი პერიოდები ტემპერატურულ რეჟიმს ემთხვევა, რაც თოვლის დნობით არის გამოწვეული. ხეობაში წყალმცირე პერიოდი ორია, ზამთრის (იანვარი-თებერვალი) და ზაფხული-შემოდგომის (აგვისტო-სექტემბერი).

ფიგურა 21 ჰიდროლოგიური მოდელირების შედეგები და ჰ/ს ბახმაროს მონაცემები შერჩეული კვეთისათვის, 1959-2020 წწ.



² McDonnell *et al.*, 2005, 2007

ფიგურა 22 საშუალო მრავალწლიური ხარჯი, მდინარე ბახვისწყლის შერჩეულ კვეთში



საველე სამუშაოები და თოვლის აგეგმვა

საველე სამუშაოები მიზნად ისახავდა სხვადასხვა სახის ინფორმაციის შეგროვებას მათ შორის თოვლის საფრის მარშრუტულ აგეგმვას და სასმელი წყლით მომარაგების, ბახმაროს განვითარების გეგმაში³ მოცემული, ინფორმაციის სარწმუნოების შეფასებას და ალტერნატიული გზების მოძიებას.

³ <http://bakhmaro.info/>

თოვლის აგეგმვითი სამუშაოები

თოვლის საფარის აგეგმვითი სამუშაო, რომელიც ჩატარდა მდ. ბახვისწყლის აუზში ემორჩილება ზონალობის პრინციპს 1800-2200 მ. თოვლის საფარის მარშრუტული აგეგმვა წარმოებს დღეისათვის მიღებული საველე-ექსპედიციური მეთოდით. კვლევა ჩატარდა მარტის თვეში (როგორც წესი 1-15 მატრის ფარგლებში ტარდება თოვლის მარშრუტული აგეგმვა საქართველოს პირობებში).

კვლევის დროს შერჩეული იქნა პუნქტები, სიმაღლითი ზონალობის მიხედვით რომელთა სხვაობა 100 მეტრს შეადგენს. თოვლის პუნქტზე არსებული თოვლის საფარი დაცული იყო, როგორც გადმოქარული, ასევე ქარის მიერ შემცირებული თოვლისა. საკვლევ ტერიტორიაზე თითოეულ პუნქტზე, თოვლის საფარის მთელ სიღრმეზე აღებულ იქნა სიმკვრივის დასადგენი საზომი ხელსაწყოთი, თოვლის მძლავრი და მკვრივი საფარის შემთხვევაში ხდება შურფის ამოღება რაც აადვილებს საზომი ხელსაწყოთი მუშაობას და თოვლის სტრუქტურის დადგენას. გაზომილი მასალების მიხედვით დადგინდა თოვლის ფენის წყლიანობა, რომელიც საველე მასალებში აისახა და ჯამური ცხრილის სახით არის წარმოდგენილი წარმოდგენილი.

მდ. ბახვისწყლის აუზში ატმოსფერულ ნალექებს (ზამთრის პერიოდში დაგროვილი თოვლის მარაგი), მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმის ფორმირებაში უმნიშვნელოვანესი როლი უჭირავს.

თოვლის საფარის შესწავლის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს მისი ფენის სისქის, სიმკვრივის და მასში წყლიანობის განსაზღვრა. თოვლის მარაგის განსაზღვრისთვის ხდება დაკვირვება და თოვლის მარშრუტული აგეგმვა. გასული საუკუნის 90-იან წლებში დაინერგა და თოვლის საფარის შესწავლა დისტანციური მეთოდებით: 1) აეროფოტოგადაღება, 2) აეროვიზუალური შეფასება, 3) აეროვიზუალური შეფასება. უკანასკნელი მეთოდი ხორციელდება აეროფოტო და მეტეოროლოგიური თანამგზავრების საშუალებით.

თოვლის საფარის შესწავლი დროს იყენებენ სამ ძირითად ხერხს: 1. თოვლის საფარის გაზომვა ნალექმზომის საშუალებით, 2. ადგილზე მუდმივი თოვლსაზომი ლარტყის საშუალებით და 3. თოვლის მარშრუტული აგეგმვით.

1. თოვლის საფარის გაზომვა ნალექმზომის საშუალებით სრულდება ყველა მეტეოროლოგიურ სადგურზე. მოსული თოვლის რაოდენობის შესაბამისი წყლის ფენის სიმაღლე განისაზღვრება ნალექმზომში არსებული თოვლის გადნობით ოთახის ტემპერატურაზე და მიღებული წყლის ფენის სიმაღლის გაზომვით.
2. თოვლმზომი ლარტყების საშუალებით მეტეოროლოგიურ სადგურებში სისტემატურად ზომავენ თოვლის სიმაღლეს სანტიმეტრებში, ხოლო თოვლის სიმკვრივე იზომება სადგურის თოვლსაზომის საშუალებით.
3. თოვლის აზომვითი აგეგმვა სხვადასხვა რელიეფის პირობებში უფრო ზუსტ მონაცემებს იძლევა. თოვლის აგეგმვის დროს მდ. ბახვისწყლის აუზში წინასწარ განსაზღვრულ პუნქტებზე ჩატარდა კვლევები. კამერალურ პირობებში წერტილები შეირჩა მსხვირ მასტაბიანი რუკების, 1: 25 000 – 1:50 000 ტოპოგრაფიული რუკების, სხვადასხვა წლების აეროფოტო გამოსახულების ანალიზის შედეგად.

საველე პირობებში საკვლევ ტერიტორიაზე თოვლის საფარის წყლიანობის განსაზღვრა მოხდა ხელსაწყოთი, რომელიც არის მეტალის ცილინდრის, მასზე ყოველი დანაყოფი შეესაბამება 5 გრამ ან 5 სმ³-ს. მეტალის ცილინდრის განივი კვეთის ფართობია 50 სმ². ცილინდრის ერთი ბოლო დახურულია სარქველით, მეორე ბოლო ღიაა. ცილინდრის გარეთა მხარეს დატანილია შკალა ყოველი ერთი სანტიმეტრი ინტერვალით. თოვლის სინჯის ალების დროს მეტალის ცილინდრი ღია ბოლოთი ჩაბრაზნილ იქნა თოვლში ნიადაგის მიჯნამდე. თოვლის სიმაღლის დასადგენად ანათვალის ალება მოხდა ცილინდრზე და სპეციალური სასწორის მეშვეობით განისაზღვრა თოვლის წონა.

თოვლის სიმკვრივე გამოითვლება ფორმულით

$$p = \frac{5n}{50h} = \frac{n}{10h}$$

სადაც, n არის დანაყოფები გრამებში, h თოვლის საფარის სიმაღლე სმ-ში რომელიც აითვლება ცილინდრზე. აქედან გამომდინარე თოვლი საფარის სიმკვრივის დასადგენი ფორმულას აქვს საბოლოოდ ასეთი სახე

$$p = \frac{n}{10h}$$

თოვლის საფარის წყლიანობის განსაზღვრისთვის თოვლის საფარის სიმკვრივე მრავლდება მის სიმაღლეზე.

რადგან თოვლის საფარის სიმკვრივე იზომება მმ-ში, ხოლო სიმაღლე სანტიმეტრებში, საბოლოო შედეგი მრავლდება 10-ზე. თოვლის საფარში წყლის ფენის სიმაღლე აღინიშნება S. შესაბამისად $S=10hp$

საიდანაც,

$$p = \frac{S}{10h}$$

თუ შევადარებთ მე-2 და მე-3 ფორმულებს დადგინდება, რომ სასწორზე ანათვალი n, რომელიც მიიღება თოვლის სინჯის აწონვის პროცესში, გამოხატავს თოვლის საფარში წყლის მარაგს მმ-ში. ანუ,

$$\frac{n}{10h} = \frac{S}{10h}$$

ეს იგივეა რაც $n=S$.

ასევე თოვლის საფარის კვლევის დროს დადგინდა თოვლის საფარის საშუალო სიმაღლე, საშუალო სიმკვრივე, საშუალო წყლის მარაგი თოვლში.

თოვლის საფარის აგეგმვის შედეგები

საველე სამუშაოების დროს გაიზომა თოვლის საფარის სიმკვრივე, თოვლის საფარის საშუალო, უდიდესი, უმცირესი სიმაღლე და წყლიანობა.

ცხრილ 5 -ში მოცემულია ინფორმაცია თოვლის საფარის სიმაღლის სიმკვრივის გაზომვების რაოდენობა სხვადასხვა ექსპოზიციის და ჰიფსომეტრიის ფერდობებზე.

ცხრილი 5 გაზომილი ადგილები და მათი კოორდინატები

Id	X	Y	Elevation
1	27767 1	46363 00	1810
2	27832 8	46363 78	1850

3	27885 5	46361 91	1850
4	27948 4	46358 54	1900
5	27800 9	46366 53	1900
6	27984 3	46355 86	1950
7	27806 4	463713 0	1950
8	27823 4	46377 05	2000
9	27998 7	46354 66	2000
10	28009 6	46353 79	2028
11	27873 9	463731 8	2050
12	27957 6	46372 08	2088
13	27987 9	463713 7	2100
14	28053 3	46354 03	2107
15	28081 3	46353 05	2150

ცხრილ 6-ში მოცემულია ინფორმაცია თოვლის აგეგმვის ცხრილის შესახებ 1800-2200 მეტრ სიმაღლეზე ბახმაროს ტერიტორიისათვის.

ცხრილი 6 თოვლის საფრის აგეგმვის შედეგები

Id	X	Y			თოვლის საფრის გაზომვა
----	---	---	--	--	-----------------------

			სიმაღ ლე ზღვის დონი დან	ლარტ ყის სიმაღ ლე	სიმაღლ ე სიმკვრი ვის მზომ ცილინდ რზე	წონა სასწორ ის ბერკეტ ების დანაყო ფებით	სიმ კვ რი კე გრ/ სმ3	წყლიან ობა, მმ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	27767 1	46363 00	1810	109	108	346	0.3 2	349
2	27832 8	46363 78	1850	114	114	353	0.3 1	353
3	27885 5	46361 91	1850	116	113	350	0.3 1	360
4	27948 4	46358 54	1900	125	125	363	0.2 9	363
5	27800 9	46366 53	1900	120	120	336	0.2 8	336
6	27984 3	46355 86	1950	121	120	300	0.2 5	351
7	27806 4	46371 30	1950	117	117	339	0.2 9	339
8	27823 4	46377 05	2000	129	128	358	0.2 8	361
9	27998 7	46354 66	2000	131	129	374	0.2 9	380
10	28009 6	46353 79	2028	133	133	306	0.2 3	306
11	27873 9	46373 18	2050	139	139	375	0.2 7	375
12	27957 6	46372 08	2088	142	142	383	0.2 7	383
13	27987 9	46371 37	2100	161	160	435	0.2 7	435
14	28053 3	46354 03	2107	170	170	442	0.2 6	442
15	28081 3	46353 05	2150	180	180	471	0.2 6	471

ცხრილ 7-ში მოცემულია ინფორმაცია თოვლის აგეგმვის ჯამური ცხრილის შესახებ 1800-2200 მეტრ სიმაღლეზე ბახმაროს ტერიტორიისათვის.

ცხრილი 7 თოვლის საფარის აგეგმვის დაჯამებული შედეგები

თოვლის აგეგმვის ჯამური ცხრილი							
N	სიმაღლე	თოვლის სიმაღლის სიმკვრივის გაზომვის რაოდენობა	თოვლის საფარის სიმაღლე, სმ			საშუალო სიმკვრივე, გრ/სმ ³	საშუალო წყლიანობა, მმ
			საშუალო	უდიესი	უმცირესი		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1800 - 1900	3	113	115	109	0.31	350
2	1900 - 2000	4	121	125	117	0.28	339
3	2000 - 2100	5	135	142	129	0.27	366
4	2100 - 2200	3	170	198	161	0.26	442

კურორტ ბახმაროს წყლიანობის განსაზღვრისთვის (ჩამკეტი კვეთი X-277771 Y-4636300 Z-1810) 2021 წლის მარტის თვეში ჩატარებული თოვლის აგეგმვის მასალების საფუძველზე დადგინდა (1800-2200 მ), რომ თოვლის საფარის საშუალო სიმაღლე საკვლევ ტერიტორიაზე მთელი აუზისთვის შეადგენდა 135 სმ-ს, თოვლის საშუალო სიმკვრივე 0,28 გრ/სმ³. წყლის მარაგმა თოვლის საფარში შეადგინა 378 მმ, ე.ი. წყალშემკრები აუზის მთელ ფართობზე (საკვლევ ტერიტორიაზე - F=34.5 კმ²), 34 500 000 მ³ დაგროვდა წყლის

ფენა თოვლის სახით 378 მმ, ანუ 0,378 მ. აღნიშნული პარამეტრების გათვალისწინებით დამდნარი წყლის მოცულობა ტოლია 13 041 000 მ³.

ფიგურა 23 საველე სამუშაოები, 2021 წ



სასმელი წყლით მომარაგების ქსელი

არსებული სიტუაცია და შესაძლო გამოსავლები, აღწერილია და მოცემულია ბაზმაროს სარეკრეაციო მიწათსარგებლობის გენერალურ გეგმაში⁴. მონაცემების მიხედვით, 2016 წლის 1-2 ოქტომბერს მოიკვლიეს პოტენციური ადგილები რომელთა გამოყენებაც შესაძლებელია სასმელი წყლით მომარაგების სისტემის მოწყობისათვის. სულ იმ დროისათვის დაიზვერა და შეფასდა 10 წყაროს და ერთი ჭაბურღილის დებეტი (ცხრილი . ჯამში მოყვანილი მონაცემების მიხედვით შესაძლებელია წამში 20.2 ლიტრი წყლის შეგროვება და მომხმარებლისათვის მიწოდება.

ცხრილი 8 დაზვერული წყაროები და მათი დებეტი 2016 წლის 1-2 ოქტომბრის მდგომარეობით

№	X	Y	Q
წყარო №1	277613	463747 0	0.3 ლ/წმ
წყარო №2	277579	4637595	0.5 ლ/წმ
წყარო №3	277625	4637512	0.5 ლ/წმ
წყარო №4	278033	463747 0	5.0 ლ/წმ
წყარო №5	278033	463747 0	0.5 ლ/წმ
წყარო №6	279790	4636123	0.5 ლ/წმ
წყარო №7	279790	4636123	0.5 ლ/წმ
წყარო №8	279765	463608 3	2.0 ლ/წმ

⁴ Artstudio project

წყარო №1გ	28 10 50	46 34 323	5.0 ლ/წმ
წყარო №2გ	28 10 39	46 34 29 5	5.0 ლ/წმ
ჭაბ. 1	27 8 6 4 5	46 36 0 8 0	0.4 ლ/წმ

ზემოთ აღნიშნულ დოკუმენტში მოცემული ინფორმაციის გადამოწმების მიზნით, თოვლის მარშრუტული აგეგმვის დროს, პარალელურად გადამოწმდა მითითებული წყაროები შესაბამისი კოორდინატების გამოყენებით და ადგილობრივი მოსახლეობის გამოკითხვით. მოკვლევის დროს მონახულებული ადგილების უმეტესობა მშრალი იყო, რაც მიუთითებს იმაზე რომ წყაროთა გამოსავლები რეალურად ზედაპირული გრუნტის წყლები არის, რის გამოც ზამთრის პერიოდში წყალი ფაქტობრივად არ მოედინება. ამასთანავე შერჩეული ადგილების აბსოლუტური უმრავლესობა მდებარეობს სამხრეთ ფერდობებზე, რომლებიც როგორც წესი ჩრდილოეთი ფერდობებისაგან განსხვავებით მეტ მზის რადიაციას იღებენ, შესაბამისად მაღალია აორთქლების და მცენარეთა მიერ ტრანსპირაციის მაჩვენებელიც. ამიტომ ნაკლებ სავარაუდოა რომ ზემოთ მოცემული წყაროების მუდმივობა. რაც ადგილობრივი მოსახლეობის გამოკითხვამაც დაადასტურა. მეორე პრობლემა წყლის რაოდენობასთან და მოცემული ფოტოსურათების გადაღების თარიღთან არის დაკავშირებული. პირველ შემთხვევაში არ არის მოცემული წყლის გაზომვის მეთოდი, რითაც კვლევის შემსრულებელმა დაადგინა წყაროს დებეტი. ასევე არ არის მოცემული რა ობიექტურმა გარემოებებმა მისცა მათ იმ ვარაუდის გამოთქმის შესაძლებლობა რითაც დაადგინეს წყაროთა დებეტის მუდმივობა, გარდა იმისა რომ ადგილობრივები გამოიკითხა. რადგანაც 2021 წლის მარტის თვეში კვლევის დროს მონიშნული წყაროების მშრალი იყო (დაბალი ტემპერატურების გამო, რომელიც ჩვეულებრივი მოვლენაა ზამთრის პერიოდში). ასევე შეუსაბამოა და კითხვებს აჩენს ვებ-გვერდზე მოცემული ფოტოები, რადგანაც landsat 8-ის მიერ გადაღებულ აეროფოტოსურათზე, რომელიც 2016 წლის 2 ოქტომბრით თარიღდება ნათლად ჩანს რომ ბახმაროსა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე თოვლის საფარია. რაც იმას ნიშნავს რომ წინა პერიოდში ნალექიანი პერიოდი იყო და შეიძლება მან დროებითად გაზარდა წყლის ხარჯები.

ფიგურა 24 Landsat 8-ის მიერ გადაღებული აეროფოტოსურათი, 2016 წლის 2 ოქტომბერი



ფიგურა 25 ანგარიშში მოცემული ფოტოსურათები, 2016 წლის 1-2 ოქტომბერი



სურათი 7: ნგრო 1



სურათი 8: ნგრო 2



სურათი 9: ნგრო 3

კლიმატის ცვლილების გავლენა

კლიმატის ცვლილების გავლენა, ბახმაროსა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე აშკარად იკვეთება. განსაკუთრებით კი ტემპერატურულ რეჟიმზე, რის გამოც დიდია გავლენა ჰიდროლოგიურ მახასიათებლებზეც მათ შორის ჩამონადენის სეზონურობაზე, თოვლის

საფარზე, წყალდიდობა-წყალმოვარდნებზე, მინიმალურ ჩამონადენზე. ამიტომ შედეგების უკეთ წარმოსაჩენად აღნიშნულ თავში განხილულია კლიმატური პარამეტრები, თოვლის საფარი და ჰიდროლოგია შესაბამისი თავების მიხედვით.

სტატისტიკური ანალიზი და გავლენა ნალექსა და ტემპერატურაზე

გამოყენებული მონაცემები ტემპერატურისა და ნალექიანობის შესახებ ორი ტიპისაა: მეტეოროლოგიურ სადგურის მიერ გაზომილი (1936-1992) და სატელიტის მეშვეობით დაფიქსირებული (1981-2019).

მეტეოროლოგიურ სადგურზე ჩაწერილი მონაცემები მოიცავს 1936 წლის 1 იანვრიდან 2011 წლის 28 თებერვლის ჩათვლით დაკვირვების ყოველდღიურ შედეგებს, თუმცა ზოგიერთი დღის მონაცემები დახარვეზებულია. სულ ასეთია 2140 დღის მონაცემები სხვადასხვა წელს (1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000, 2007, 2008, 2009). ჯამში მთლიანი ბაზა მოიცავს 27453 დღის მონაცემებს დახარვეზებული მონაცემების ჩათვლით. აღნიშნულ მეტეოროლოგიურ სადგურებზე ყოველდღიურად იზომებოდა დღის საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური ტემპერატურა, ასევე ნალექიანობა.

სატელიტის მეშვეობით გაზომილი მონაცემები მოიცავს 1981 წლის იანვრის თვიდან 2019 წლის დეკემბრის ჩათვლით, ყოველი თვის ნალექიანობის ჯამურ მნიშვნელობას.

ამოცანა

ბახმაროს მეტეოროლოგიურ პარამეტრებზე ჩატარებული ანალიზისა და მოდელირების ამოცანაა:

1. შეიქმნას წრფივი რეგრესიული მოდელი, რომელიც აჩვენებს სატელიტური მონაცემების დამოკიდებულებას მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებზე.

2. შექმნილი მოდელით ვივარაუდოთ, თუ ნალექიანობის რა მაჩვენებლები იქნებოდა მეტეოროლოგიურ სადგურზე ჩაწერილი 2011 წლიდან 2019 წლის დეკემბრამდე.
3. დავადგინოთ ტემპერატურის მრავალწლიანი ცვალებადობის ტრენდი.
4. დავადგინოთ, არის თუ არა ტემპერატურის მონაცემების 10 წლიან ჯგუფებს შორის სტატისტიკური განსხვავება.
5. დავადგინოთ ნალექიანობის მრავალწლიანი ცვალებადობის ტრენდი.
6. დავადგინოთ, არის თუ არა ნალექიანობის მონაცემების 10 წლიან ჯგუფებს შორის სტატისტიკური განსხვავება.

ანალიზისთვის მონაცემები სხვადასხვა სტატისტიკური ოპერაციისთვის მომზადდა Microsoft Excel-ში უკვე არსებული მონაცემების გამოყენებით.

კორელაციური და რეგრესიული ანალიზი ჩატარდა სტატისტიკური პროგრამული ენის_ R-ის მეშვეობით. ასევე, ამავე პროგრამული ენის დახმარებით გაკეთდა ვარიანსას ანალიზი და სხვა სტატისტიკური ოპერაციები.

კორელაციური ტესტის ჩატარებამდე ცვლადები შევამოწმე ნორმალურობის ტესტზე, რომელიც აჩვენებს არის თუ არა ნორმალურად განაწილებული ცვლადის მნიშვნელობები. ნორმალურობის ტესტის მიხედვით არც-ერთი ცვლადის მნიშვნელობები არ იყო ნორმალურად განაწილებული. შესაბამისად, კორელაციური ტესტისთვის შევარჩიე სპირმენის მეთოდი, რომელიც კორელაციის არაპარამეტრული ტესტია.

კორელაციური ტესტის შედეგები მოცემულია ცხრილ 1-ში:

	Average. of.Tmean	Max.of .Tmax	Min.of .Tmin	Average. of.Tmax	Average. of.Tmin	Sum.of .PRCP	SAT_ PRCP
Average. of.Tmean	1.000000 0	0.945 9 1198	0.960 6 0695	0.99633 36	0.99762 25	- 0.1213 4635	- 0.263 8032

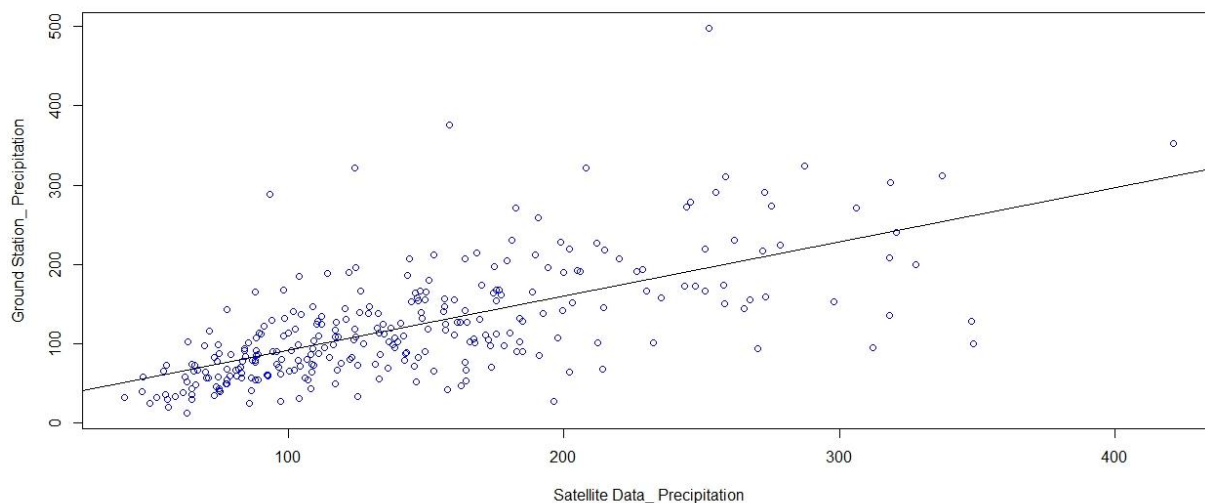
Max.of.T max		1.0000 0000	0.892 62335	0.94952 48	0.93998 43	- 0.0886 5107	- 0.231 7101
Min .of.T min			1.0000 0000	0.94950 78	0.96674 35	- 0.0959 2288	- 0.230 6321
Average. of.Tmax				1.00000 000	0.98984 86	- 0.1294 4539	0.283 8449
Average. of.Tmin					1.00000 000	- 0.11316 852	- 0.245 0855
Sum .of.P RCP						1.0000 0000	0.690 6831
SAT_ PR CP							1.000 0000 0

ცხრილი 1: კორელაციური მატრიცა

კორელაციური ტესტით დგინდება, რომ ტემპერატურის მაჩვენებლებს შორის კორელაცია 1-თან ახლოს არის. რაც შეეხება რეგრესიული ანალიზისთვის საინტერესო ცვლადებს (მეტეოროლოგიური სადგურისა და სატელიტის მიერ გაზომილი ნალექიანობის ჯამური მაჩვენებლები), მათ შორის სტატისტიკურად სანდო ($p\text{-value} < 2.2e-16$) და მაღალი (0.6906831) კორელაციაა.

რეგრესიული ანალიზის შედეგად მივიღეთ წრფივი ფუნქცია, რომელიც აჩვენებს, თუ როგორ განსაზღვრავს მეტეოროლოგიურ სადგურზე ჩაწერილ ნალექიანობის ჯამურ მნიშვნელობას, სატელიტის მეშვეობით გაზომილი ნალექიანობის ჯამური მნიშვნელობა.

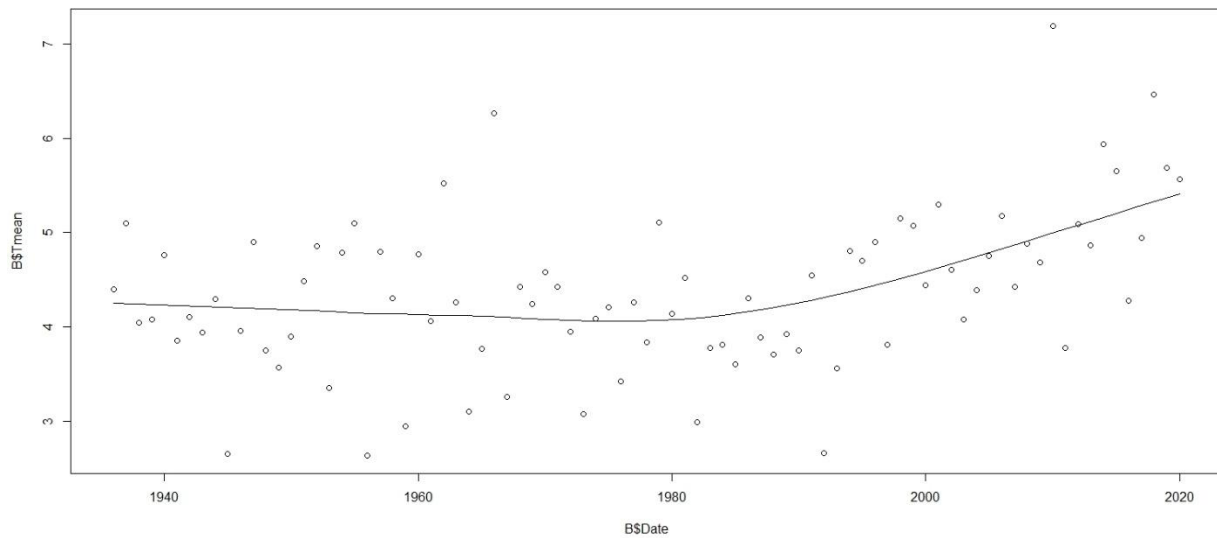
$Y=0.68251X+23.45063$, სადაც X სატელიტის მეშვეობით გაზომილი ნალექიანობის ჯამური მნიშვნელობაა, Y კი მეტეოროლოგიურ სადგურზე ჩაწერილი ნალექიანობის ჯამური მნიშვნელობა.



სურ. 1: სატელიტის მიერ გაზომილი და მეტეოროლოგიურ სადგურზე ჩაწერილი ნალექიანობის მაჩვენებლების დამოკიდებულების გრაფიკი და მასზე დატანილი წრფივი რეგრესიის ხაზი

აღნიშნული წრფივი ფუნქციით სატელიტური მონაცემების საფუძველზე ვივარაუდებ 1981 წლიდან 2019 წლამდე იმ თვეების ნალექიანობის ჯამური მნიშვნელობა, რომელ თვეებშიც მეტეოროლოგიურ სადგურზე არანაირი მონაცემი არ გვხვდება.

ტემპერატურის მრავალწლიური ტრენდი და ვარიანსას ანალიზი ტემპერატურის 10 წლიანი ჯგუფებისთვის

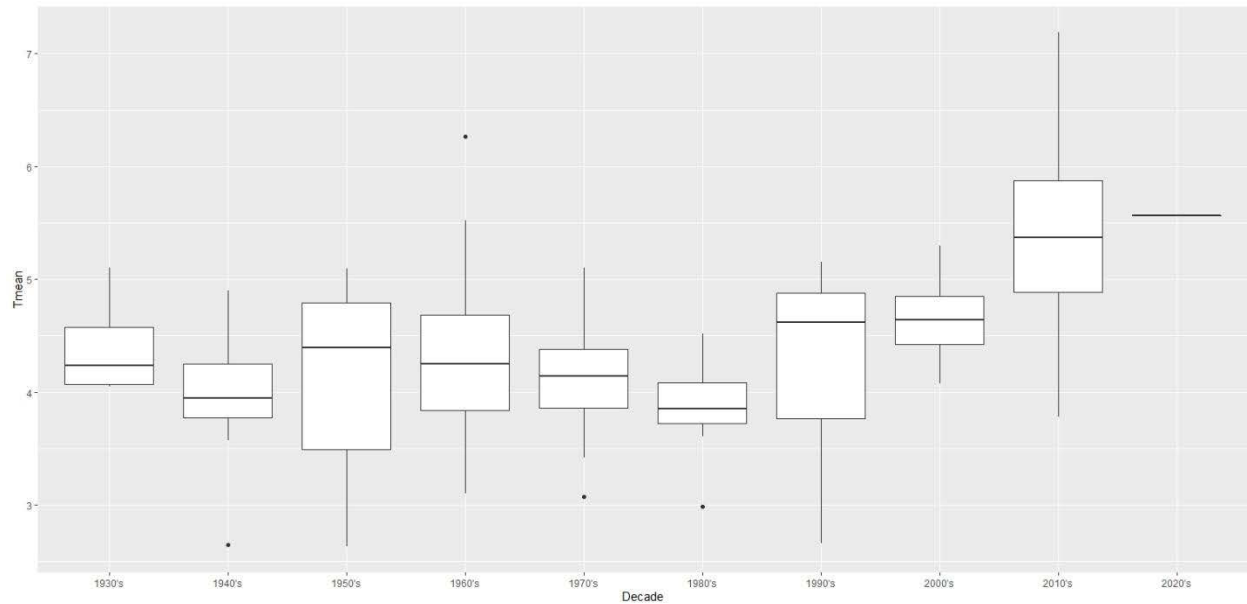


სურ. 2: ტემპერატურის მრავალწლიანი ტრენდი

გრაფიკზე გამოსახულ ტემპერატურის მრავალწლიან ტრენდში ტემპერატურის ზრდა იკვეთება 1980-იანი წლებიდან.

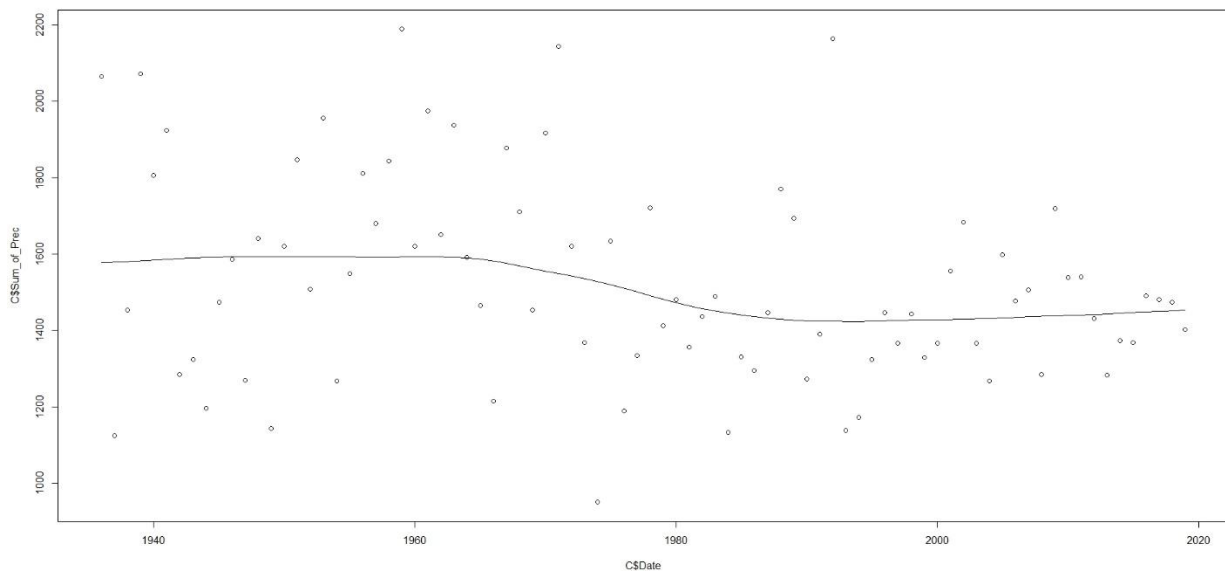
ტემპერატურის ყოველწლიური საშუალოს დეკადების მიხედვით გამოყოფილ ჯგუფებში განსხვავებების დასადგენად გამოვიყენე ვარიანსას ანალიზი (ანოვას ტესტი), რომელმაც აჩვენა, განსხვავდება, თუ არა ტემპერატურის აღნიშნული მონაცემები დეკადების მიხედვით და არის თუ არა ეს განსხვავება სტატისტიკურად სარწმუნო.

ანოვას შედეგად გამოიკვეთა, რომ დეკადების მიხედვით სარწმუნოდ განსხვავდება ტემპერატურის საშუალო წლიური მაჩვენებლები (სარწმუნოობის კოეფიციენტი_ 0.000602).



სურ. 3: ყუთოვანი გრაფიკი, რომელიც აჩვენებს დეკადების მიხედვით ტემპერატურის საშუალო წლიური მაჩვენებლების სიხშირეს.

ნალექიანობის მრავალწლიური ტრენდი და ვარიანსას ანალიზი ნალექიანობის 10 წლიანი ჯგუფებისთვის

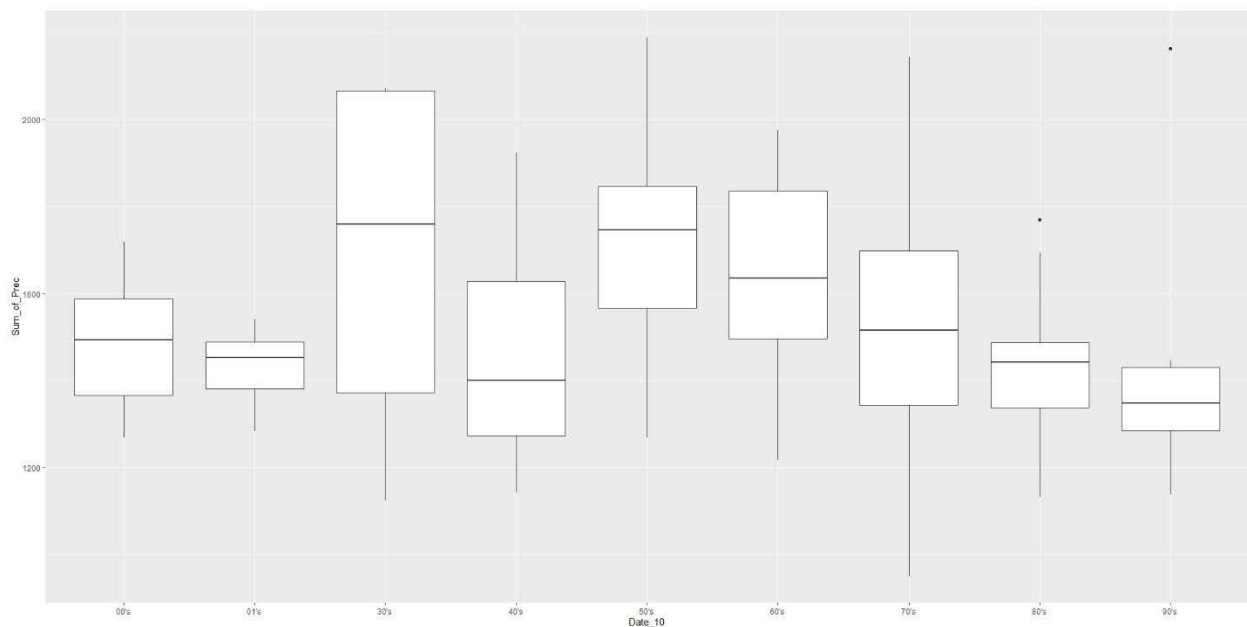


სურ. 4: ნალექიანობის მრავალწლიანი ტრენდი

ნალექიანობის წლიური ჯამური მნიშვნელობების გრაფიკზე გამოსახული მნიშვნელობები 2011 წლამდე მეტეოროლოგიურ სადგურზე ჩაწერილ მონაცემებს, 2011 წლის შემდეგ კი რეგრესიული მოდელით ნავარაუდევ მაჩვენებლებს წარმოადგენს. გრაფიკზე ჩანს, რომ 1990 წლის, განსაკუთრებით კი 2011 წლის შემდეგი პერიოდისთვის ნალექიანობის მონაცემები მრუდთან შედარებით კონცენტრირებულია, მანამდე კი მრუდისგან საკმაოდ გაბნეულია. ეს შეიძლება აიხსნას იმით, რომ 1990 წლის შემდეგ 18 წლის (1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000, 2007, 2008, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018) მონაცემები მთლიანად, ან ნაწილობრივ მოდელირებულ მონაცემებს წარმოადგენს, რაც შეიძლება ამ მონაცემების მრუდთან კონცენტრირების მიზეზი იყოს.

ნალექიანობის მონაცემების დეკადების მიხედვით გამოყოფილ ჯგუფებში განსხვავების დასადგენად გამოყენებულმა ვარიანსას ანალიზმა აჩვენა, რომ მეტ-ნაკლებად სარწმუნოა (სარწმუნოობის კოეფიციენტი_ 0.0684).

დეკადების მიხედვით ნალექიანობის ჯამური მაჩვენებლების სიხშირეები წარმოდგენილია სურ. 5-ში.



სურ. 5: ყუთოვანი გრაფიკი, რომელიც აჩვენებს დეკადების მიხედვით ნალექიანობის წლიური ჯამური მაჩვენებლების სიხშირეს.

ბახმაროს ტემპერატურისა და ნალექიანობის მრავალწლიური მონაცემების მიხედვით შეიქმნა წრფივი რეგრესიული მოდელი, რომლის მიხედვითაც შეივსო დროის იმ პერიოდის ნალექიანობის მონაცემები, რომლებიც ხარვეზიანად, ან საერთოდ არ იყო ჩაწერილი მეტეოროლოგიურ სადგურზე.

ტემპერატურის მრავალწლიურ ცვალებადობაში 1980-იანი წლებიდან შეინიშნება ტემპერატურის საშუალო წლიური მნიშვნელობების ზრდა. ტემპერატურის საშუალო წლიური მნიშვნელობები სტატისტიკურად სარწმუნოდ განსხვავდება დეკადებს შორის.

არ შეინიშნება მნიშვნელოვანი მრავალწლიური ცვალებადობა, ნალექიანობის წლიური ჯამური მნიშვნელობების მიხედვით. ყველაზე დაბალი ნალექიანობა ფიქსირდება ბოლო ოთხ დეკადაში (1980-იან, 1990-იან, 2000-იან და 2010-იან წლებში), თუმცა ამავდროულად ამ დეკადებში მონაცემები საშუალო მნიშვნელობასთან კონცენტრირებულია, რაც შეიძლება აიხსნას იმით, რომ ამ დეკადებში მონაცემების დიდი ნაწილი წრფივი რეგრესიის შედეგადაა ნავარაუდები.

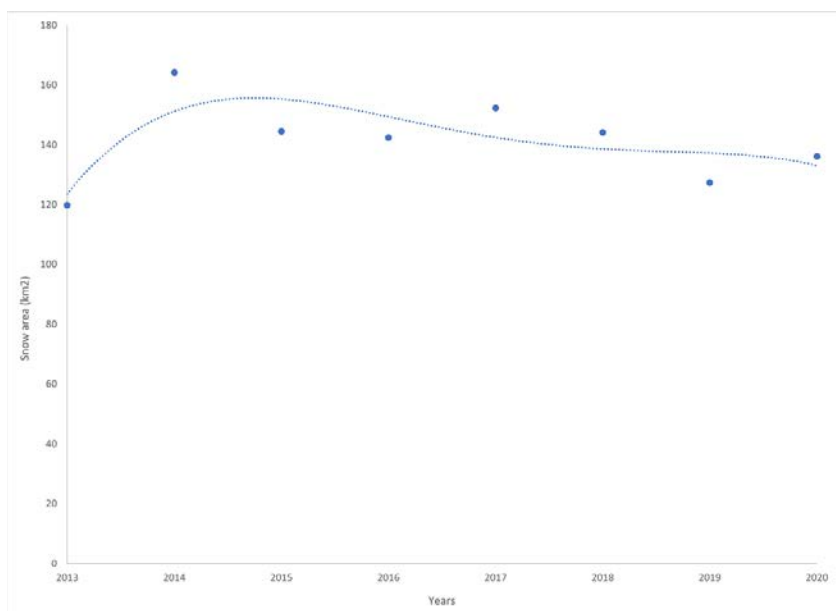
გავლენა თოვლის საფარზე

კლიმატის ცვლილების თოვლის საფარზე გავლენის გამოსაკვეთად გამოყენებულია ორი ტიპის მონაცემი. პირველი არის თოვლის მარშრუტული აგეგმვის მასალები მოწოდებულია გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ. ხოლო მეორე მიღებულია სატელიტური მონაცემების ანალიზით რათა შეფასდეს ფართობის სავარაუდო ცვლილება.

პირველადი შედეგები აჩვენებს თოვლის საფრის ცვლილებას ბახმაროს მიმდებარე ტერიტორიაზე. გამომდინარე პირველადი შედეგებისა და კლიმატური მონაცემებიდან, თოვლის საფრის ცვლილების ანალიზი მაღალმთიანი ზონისთვის (ტყის ზონის ზემოთ) განისაზღვრა აპრილის თვისათვის. გამომდინარე სიმაღლებრივი სარტყლობიდან მარტის თვე არ აჩვენებდა საკმარისი ცვლილებას მაღალი ზონისათვის და ცვლილებები

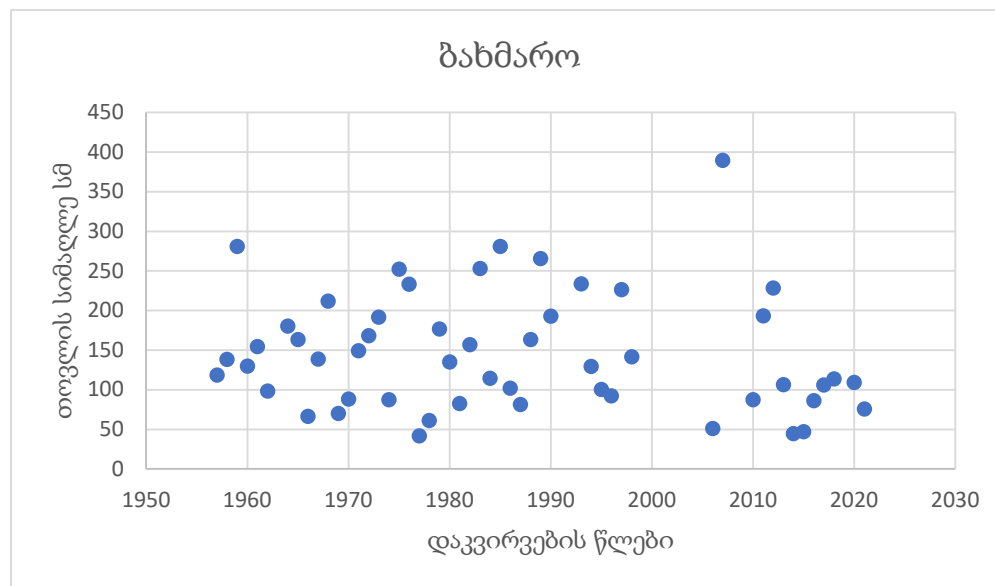
რომლებისაც ადგილი განიცდის მარტივი დასანახი იყო აპრილისა და მისის თვეებში, რადგანაც ამ დროს თოვლი ინტენსიურად დნება, ტემპერატურა იზრდება. ამ შემთხვევაში თუ თოვლის საფარის ფართობი დაიკლებს იგი კორელაციაში მოვა ტემპერატურის მატების ტრენდთან, რომელიც აპრილის თვეში ფიქსირდება კლიმატური მონაცემების მიხედვით. ეს კი მოგვცემს ძლიერ საფუძველს თოვლის საფარის ცვლილებასთან დაკავშირებით, როგორც მარტის ისე აპრილის თვისათვის.

ფიგურა 26 თოვლის საფარის ცვლილება წყლების მიხედვით, ბაზმაროს მიმდებარე ტერიტორიაზე (მცირე კავკასიონის დასავლეთ ნაწილი). დამატებითი ინფორმაციისათვის იხილეთ დანართი რომელიც მოიცავს Landsat 5-ის მონაცემებს და იწყება 1992-ი წლიდან



თოვლის საფარის ხარისხობრივი შეფასება სატელიტური მონაცემების მიხედვით რთულია და ხშირ შემთხვევაში შეუძლებელიც ამიტომ ამ საკითხის შეფასებისას თოვლის საფარის მარშრუტული აგეგმვის მონაცემებიც გამოვიყენეთ. რამაც მნიშვნელოვანი ცვლილება აჩვენა თოვლის საფარის სიმაღლებრივ ცვლილების დროს.

ფიგურა 27 თოვლის მარშრუტული აგეგმვის შედეგები, 1957-2021



გავლენა ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე

კლიმატის ცვლილების გავლენა ხეობის ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე სხვადასხვა სახისაა. მათ შორის აღსანიშნავია ჩამონადენის რეჟიმის ცვლილება. ჰიდროლოგიური მოდელირების და არსებული კლიმატური მონაცემების მიხედვით მომატებულია მინიმალური ჩამონადენის დღეთა რაოდენობა, ასევე გაზრდილია მაქსიმალური ჩამონადენი.

დღეის მდგომარეობით სახეზეა კლიმატის ცვლილების გავლენა სეზონების გადანაცვლებაზე, რომელიც ზამთრის პერიოდისათვის დამახასიათებელი ტემპერატურული რეჟიმის ცვლილებით (შემცირებით) გამოიხატება. ამიტომაც რომ ზაფხული და მასთან დაკავშირებული კლიმატური პირობები ბაზმაროში გახანგრძლივდა. ასევე ტემპერატურის მატების გამოისობით გაიზარდა მაქსიმალური ჩამონადენის რაოდენობა. ამ შემთხვევაში ჩამონადენის მატების პროცენტული მაჩვენებელი ყოველ მომატებულ ერთ გრადუსზე 7%-ს უდრის. რაც საყურადღებოა და შესაბამისი ნაბიჯების გატარებას საჭიროებს.

მიუხედავად იმისა რომ ნალექების წლიურ ჯამში მნიშვნელოვანი ცვლილებები არ ჩანს. საყურადღებოა თვეების მიხედვით არსებული მდგომარეობა. აღნიშნული ცვალებადობა კარგად ჩანს კლიმატის ცვლილების სავარაუდო სცენარების მიხედვით რომელიც მოცემულია ცხრილ 6-ზე. ჩანს რომ ნალექების კლების მნიშვნელოვანი ნაწილი ფიქსირდება თბილ სეზონზე, მაშინ როდესაც ზამთრის თვეებში საპირისპირო შედეგებია

მოსალოდნელი. რასაც პირდაპირი გავლენა ექნება მდინარის და მისი შენაკადების ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე. თუ იგი მდინარის მინიმალური ჩამონადენი დაახლოებით 10%-ით არის შემცირებულია. სამომავლოდ ამ დეფიციტის ზრდა გარდაუვალია განსაკუთრებით ზაფხულის პერიოდში.

ცხრილი 10 მოსალოდნელი ცვლილებები თვეების მიხედვით, საშუალო მაჩვენებელი 2040-2059 წწ.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
მმ	3.61	1.6 8	8.7 6	- 22.34	9.9 5	- 0.34	- 5.38	- 3.63	- 4.58	- 12.63	4.58	3.08

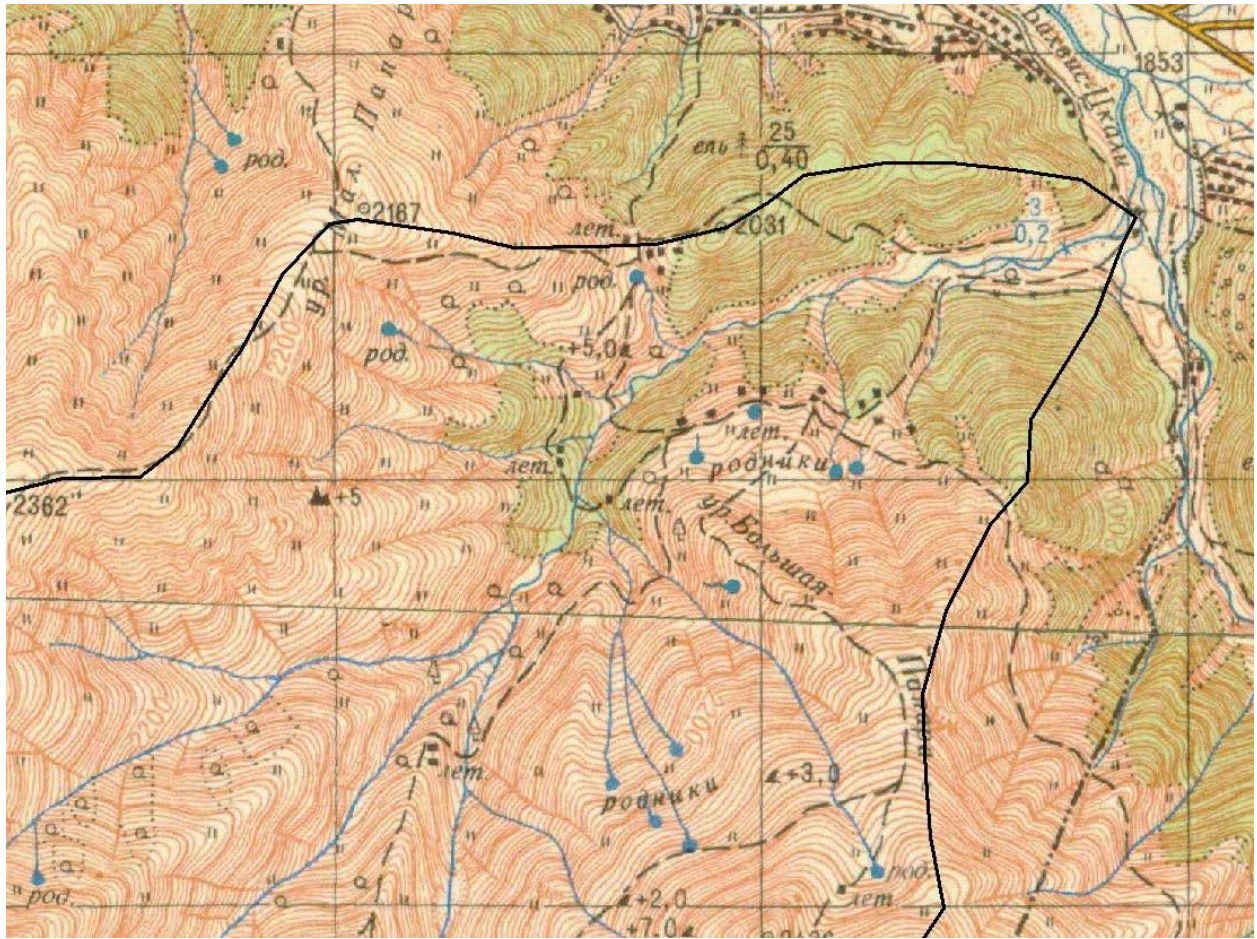
სასმელი წყლით მომარაგების შესაძლო გზები

კურორტ ბახმაროს სასმელი წყლის მომარაგების შესაძლებლობა დამყარებულია რამდენიმე ფაქტორთან მათ შორის უმთავრესია წყლის მუდმივობა და წყალმიმღების სიმაღლე ზღვის დონიდან, რათა წყალმა თვითდინებით მოახერხოს სისტემაში გადაადგილება. აღნიშნული ფაქტების გათვალისწინება შესაძლებლობას მოგვცემს ერთის მხრივ ვუზრუნველვყოფთ მოსახლეობა მუდმივი სასმელი წყლით და მეორეს მხრივ დაიზოგოს ექსპლუატაციის დროს გასაწევი ხარჯები. რაც მდგრადი განვითარების უმთავრესი კომპონენტია.

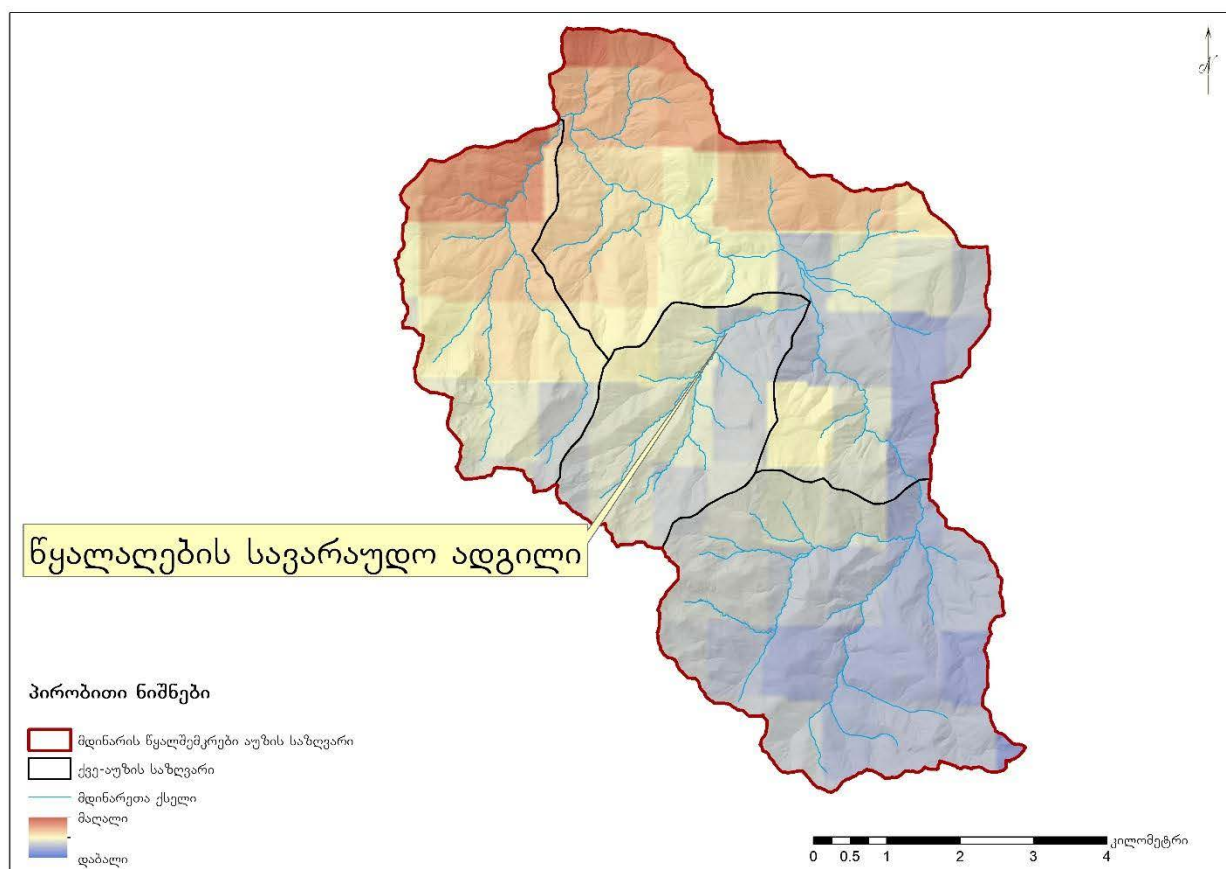
ადგილის შერჩევის მიზნით, დამუშავდა სხვადასხვა სახის ინფორმაცია, მათ შორის ტემპერატურული რეჟიმი, ნალექი და აორთქლება. ასევე მოდელირების დროს დიდი ყურადღება მიენიჭა ფერდობთა ექსპოზიციას და მათ დახრილობას.

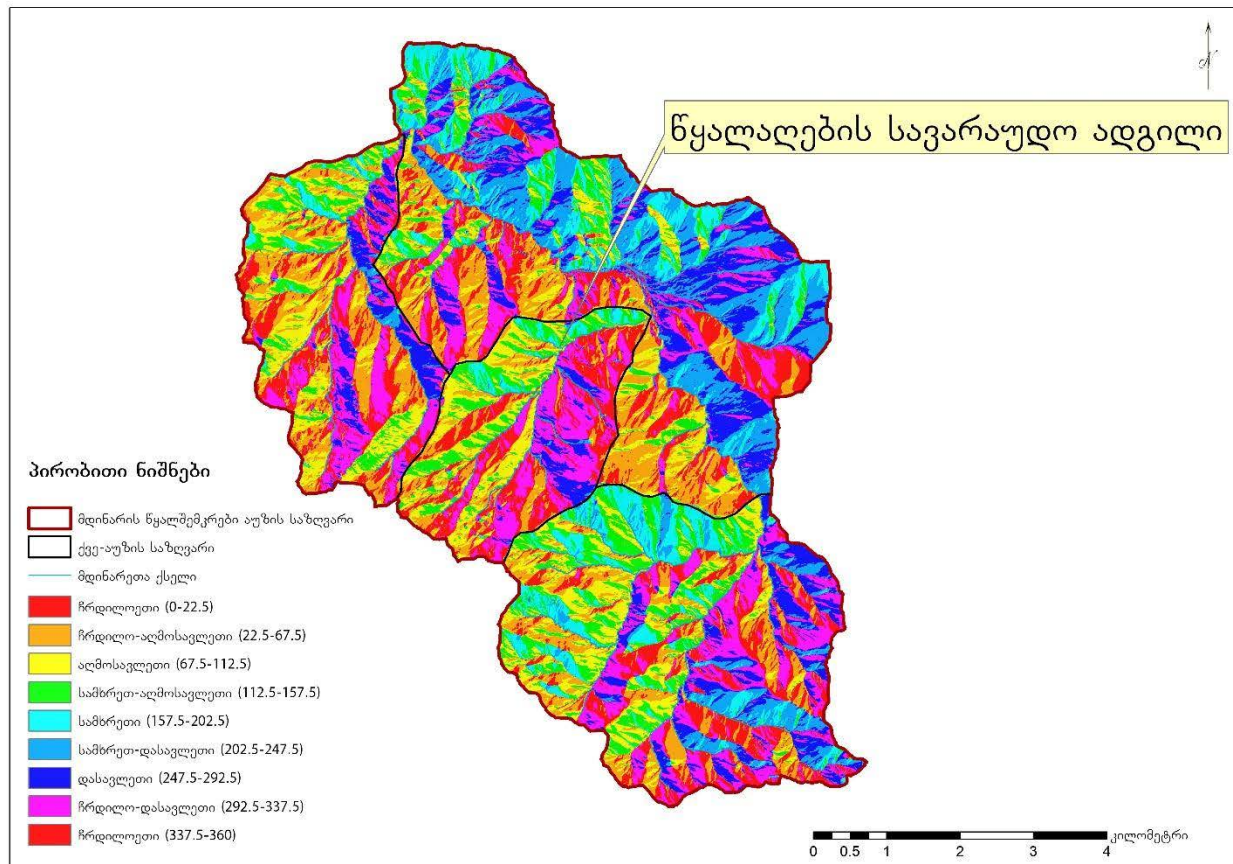
აღსანიშნავია რომ შედეგების მიხედვით, წყლის საკმარისი რაოდენობის მიღება შესაძლებელია მხოლოდ კურორტ ბახმაროს, სამხრეთით მდებარე ხეობა, რომელსაც მეტნაკლებად ხელსაყრელი ჰიდრომეტეოროლოგიური პირობები აქვს და წყაროების მაღალი კონცენტრაცია დაიკვირვება (ფიგურა 25). გარდა საბჭოთა ტოპოგრაფიული რუკისა, ამ ხეობის უპირატესობაზე სატელიტური მონაცემებიც მეტყველებს.

ფიგურა 28 ბახმაროდან სამხრეთით მდებარე ხეობა და იქ არსებული წყაროები



ფიგურა 29 მოსული ატმოსფერული ნალექის აორთქლება და ტრანსპირაცია ხეობიდან





მიუხედავად იმისა რომ ზემოთ ხსენებულ ხეობაში საკმარისი რესურსია ბახმაროს სასმელი წყლით მომარაგებისათვის საჭიროა რომ ხეობა დაცული იქნას ანთროპოგენული გავლენისაგან.

დასკვნები და რეკომენდაციები

პროექტის ფარგლებში დამუშავდა მრავალი სახის მონაცემები, რის შედეგადაც მიღებული შედეგები დაეხმარება კურორტის სწორ განვითარებას. განსაკუთრებით კი კლიმატის ცვლილების კუთხით ადაპტაციის გზაზე, რადგანაც ეს უკანასკნელი აშკარად დიდი გამოწვევაა არსებული მდგომარეობითაც კი. აღსანიშნავია რომ დღეის მდგომარეობით აშკარაა კლიმატის ცვლილების გავლენა ტემპერატურულ მაჩვენებლებზე, რაც თავის მხრივ ცვლის მიკრო კლიმატს და ზოგად ჰიდრომეტეოროლოგიურ პარამეტრებს. რის

გამოც გამოიკვეთა ორი მნიშვნელოვანი ასპექტი, მათ შორის სეზონების მონაცვლეობა და ჰიდროლოგიური რეჟიმის დარღვევა.

სეზონების მონაცვლეობის კუთხით აღსანიშნავია ტემპერატურული რეჟიმის სწრაფი ცვლილება და დათბობის ცალსახა პარამეტრების გამოკვეთა. ასევე გახშირდა თავსხმა წვიმები და წყალმოვარდნები, რის გამოც აუცილებელია სრულფასოვანი გეგმის შემუშავების ფარგლებში ასევე მომზადდეს წყალდიდობის საფრთხის ქვეშ მყოფი ტერიტორიების რუკა და შეიზღუდოს განაშენიანება.

კლიმატის ცვლილების ადაპტაციისათვის და არსებული წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენების მიზნით აუცილებელია შემდეგი რეკომენდაციების შესრულება:

- არავითარ შემთხვევაში არ შეიძლება „ბახმაროს სარეკრეაციო მიწათსარგებლობის გენერალურ გეგმა-ში“ მოცემული წყაროების გამოყენება კურორტის სასმელი წყლით მომარაგებისათვის.
- სასმელი წყლის რესურსის სიმცირის გამო აუცილებელია კურორტის ზემო წელში არსებული მცირე შენაკადის წყალშემკრები აუზი გამოცხადდეს სანიტარულ ზონად და აიკრძალოს პირუტყვის ძოვება-დაბინავება.
- გამომდინარე ხეობაში არსებული წყლის რესურსებიდან (განსაკუთრებით ზამთრის პერიოდში) სასმელ წყლად მხოლოდ წყაროების გამოყენება ვერ უზრუნველყოფს ერთდროულად 10 000 ადამიანს. ამიტომ აუცილებელია ალტერნატიული გზის სახით განხილულ იქნას სრულფასოვანი წყალმიმღები ნაგებობის და შესაბამისი საფილტრი დანადგარების ხეობაში განთავსება.
- ჰიდროლოგიური მოდელირებისას დადგინა რომ ჩამონადენის სტაბილურობაზე დიდი გავლენა აქვს მცენარეული საფრის სიჯანსაღეს. ამიტომ აუცილებელია მაქსიმალურად შეიზღუდოს ტყის საფარზე ნეგატიური ზემოქმედება. რიგ შემთხვევაში კი ხელი შეეწყოს გამწვანების ღონისძიებებს.
- სასმელი წყლის მომარაგების ასევე საკანალიზაციო სისტემები უნდა განლაგდეს გრუნტის ჩაყინვის მაქსიმალური სიღრმის ქვემოთ. რისთვისაც აუცილებელია საქმიანობის დაწყებამდე დამატებითი, პროფილური, კვლევის ჩატარება.

- სამთო სათხილამურო კურორტად ბახმაროს განვითარების მიზნით, აუცილებელია რომ სათხილამურო ტრასებისათვის შეირჩეს ზღვის დონიდან 2100-2200 მეტრს ზემოთ არსებული ტერიტორიები.
- თოვლის საფრის ხარისხი და მაჩვენებლების მნიშვნელოვნადაა გაუარესებული რის გამოც შემცირებულია სათხილამურო სეზონის ხანგრძლივობა. ამიტომ აუცილებელია საბოლოო გადაწყვეტილების მიღებამდე მომზადდეს თოვლის საფრის დეტალური კვლევა.
- აუცილებელია განხილულ იქნას ხელოვნური გათოვლიანების სიტემების დამონტაჟების შესაძლებლობა და დადებითი გადაწყვეტილების მიღებამდე აუცილებელია წყლით უზრუნველყოფის გზების მოძიება.
- ჰიდრომეტეოროლოგიური მონაცემების სრულყოფისათვის და ხეობაში შესაბამისი ეკოლოგიური მდგომარეობის შენარჩუნებისათვის აუცილებელია განახლდეს ატმოსფერულ მოვლენებზე და წყლის ხარჯზე დაკვირვება.