

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

შიფრი № IHM-19-39- GTU-CD-5702

“ გ ა მ ტ კ ი ც ე ბ ”

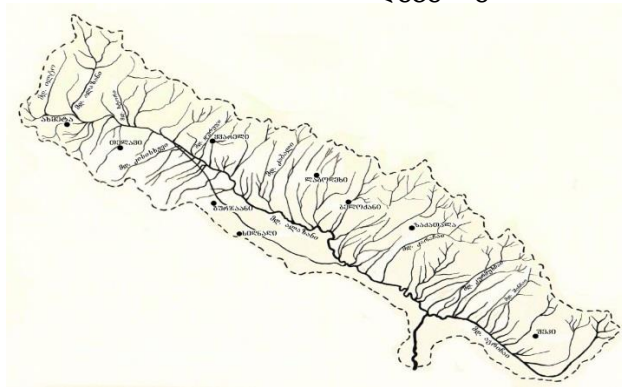
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის

დირექტორი

თ. ცინცაძე

„ 25 „ დეკემბერი

2019 წ.



**მდინარეთა წყალმცირობის პერიოდის ჩამონადენის საკრობნო
მეთოდოლოგია სარწყავი სისტემების მომსახურებისათვის
მდ. ალაზნის მაგალითზე**

(დასკვნითი ანგარიში)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის
სამეცნიერო საბჭოს თავჯდომარე

გიორგი მელაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის
წყლის რესურსებისა და ჰიდროლოგიური
პროგნოზების განყოფილების გამგე

სოფიო გორგიჯანიძე

პროექტის ხელმძღვანელი წყლის რესურსებისა
და ჰიდროლოგიური პროგნოზების განყოფილების
მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი, გეოგრაფიის
მეცნიერებათა დოქტორი

ცისანა ბასილაშვილი

თბილისი
2 0 1 9

რეზიუმე

მდინარეთა წყალმცირობის პერიოდის ჩამონადენის საპროგნოზო
მეთოდოლოგია სარწყავი სისტემების მომსახურებისათვის
(მდ. ალაზნის მაგალითზე)

განხილულია თანამედროვე არიდულობისა და წყალმცირობის პრობლემები. აღწერილია მდ. ალაზნის წყალწარმოქმნელი ფაქტორები, მათი ცვლილება და მოსალოდნელი მნიშვნელობები. დაზუსტებულია მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების წყლის ხარჯების პარამეტრები, მათი მრავალწლიური დინამიკა და მოსალოდნელი ცვლილების ტენდენციები.

მოცემულია შემუშავებული საპროგნოზო მეთოდოლოგია, რომლის შესაბამისი კომპიუტერული პროგრამებით შედგენილია გრძელვადიანი საპროგნოზო მეთოდოლოგია მდ. ალაზნის წყლის ხარჯებისათვის სავეგეტაციო პერიოდის, კვარტლებისა და თვეებისა ორ ჰიდროკვეთზე სოფ. ბირკიანთან და სოფ. შაქრიანთან, სადაც სათავეს იღებს ზემო და ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემები. მიღებული პროგნოზებით შესაძლებელია მათი უსაფრთხო და ეფექტური ექსპლუატაცია. პროგნოზების საფუძველზე დგება წყლის რესურსების რაციონალური ხარჯვის გეგმები, რითაც შეიძლება ამაღლდეს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობა.

მიღებული პროგნოზები და მდინარეთა წყლის ხარჯების მახასიათებლები დიდად დაეხმარება აგრეთვე წყალმომარაგების, ჰიდროენერგეტიკისა და სხვა სამეურნეო და საპროექტო ორგანიზაციების სპეციალისტებს სწორად აწარმოონ წყალსამეურნეო გაანგარიშებები.

Summary

The forecast methodology of the period of lack of water flow in rivers
for serving irrigation systems (for example river Alazani)

The paper deals with current problems of aridity and low waters. It describes water-forming factors of the river Alazani, their changes and expected values. It gives refined parameters of water flow of the river Alazani and its tributaries, their long-term dynamics and expected trends.

The prognostic methodology is given, according to which the methods of long-term forecasts of average water discharge of the river Alazani are compiled for the growing season, for individual quarters and months at two hydraulic rams at the village of Birkiani and Shakriani where the sources of the main canals of the upper and lower Alazani irrigation system are located. According to the forecasts, conducting their safe and efficient operations is feasible. Based on the forecasts, plans are made for the rational use of water resources, which will lead to an increase in crop yields. The obtained forecasts and characteristics of the river water discharge will also greatly assist water supply specialists, hydropower engineers, other business and design organizations and allow them to properly conduct water management calculations.

Резюме

Методология прогнозирования стока рек за период маловодья
для обслуживания оросительных систем (на примере р. Алазани)

Рассмотрены современные проблемы аридности и маловодья. Описаны водообразующие факторы р. Алазани, их изменение и ожидаемые значения. Уточнены параметры расходов воды р. Алазани и её притоков, их многолетняя динамика и ожидаемые тенденции изменения.

Дана прогностическая методология, по которой составлены методики долгосрочных прогнозов средних расходов воды р. Алазани за период вегетации, за отдельные кварталы и месяцы на двух гидростворах у с. Биркиани и с. Шакриани, где находятся истоки магистральных каналов верхней и нижней Алазанской ирригационной системы. По полученным прогнозам, возможно вести их безопасную и эффективную эксплуатацию. На

основании прогнозов составляются планы рационального расходования водных ресурсов, по которым возможно повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Полученные прогнозы и характеристики расходов воды рек окажет большую помощь также специалистам водоснабжений, гидроэнергетики и других хозяйственных и проектных организаций, для правильного ведения водохозяйственных расчётов.

რეზიუმე

ანგარიში შეიცავს 66 გვერდს, 18 ცხრილს, 8 ნახაზს,
1 სურათს და 86 ლიტერატურულ წყაროს.

საკვანძო სიტყვები: წყალწარმომქმნელი ფაქტორები; წყლის ხარჯების პარამეტრები; მოსალოდნელი ცვლილებები; მრავალფაქტორიანი მოდელი; საპროგნოზო განტოლებები; სავეგეტაციო, კვარტალური და თვის ხარჯების პროგნოზები.

განხილულია მტკნარი წყლის თანამედროვე პრობლემები მსოფლიოსა და საქართველოს მასშტაბით. წყალმცირება განსაკუთრებით უარყოფითად აისახება აღმოსავლეთ საქართველოს სოფლის მეურნეობაზე, რადგან მშრალი ჰავის პირობებში მცენარეთა მოსავლიანობისათვის აუცილებელია სარწყავი წყლით უზრუნველყოფა.

აღწერილია მდ. ალაზნის წყალწარმომქმნელი ფაქტორები, მათი მრავალწლიური დინამიკა და მოსალოდნელი მნიშვნელობები. დაზუსტებულია მდ. ალაზნის მდინარეთა წყლის ხარჯების მახასიათებლები, სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის პარამეტრები, მათი ცვლილების ყოველწლიური მნიშვნელობები და მოსალოდნელი ტენდენციები.

მოცემულია მრავალფაქტორიანი სტატისტიკური მეთოდოლოგია, ოპტიმალური მოდელის შერჩევით, საპროგნოზო განტოლებათა დადგენითა და შეფასებით. შესაბამისი კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით შემუშავებულია მდ. ალაზნის სავეგეტაციო პერიოდისა და მასში შემავალი კვარტლებისა და თვეების წყლის ხარჯების გრძელვადიანი საპროგნოზო მეთოდიკები ორ ჰიდროკვეთზე: სოფ. ბირკიანთან, სადაც აღრიცხულია მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენი და სათავეს იღებს ზემო ალაზნის სარწყავი სისტემა და სოფ. შაქრიანთან, სადაც იწყება ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემა.

მიღებული პროგნოზების დროულობა 1-დან 6 თვემდეა, მათი შეფასებათა კრიტერიუმები დამაკმაყოფილებელია. მსოფლიო სოფ. შაქრიანთან სავეგეტაციო პერიოდის საშუალო ხარჯების პროგნოზი გაიცემა კონსულტაციის სახით. თუ პროგნოზით მოსალოდნელია მდინარეზე დაბალი წყლიანობა (წყალმცირება), მომხმარებელს შეუძლია წინასწარ მიიღოს ზომები წყლის ოპტიმალური ხარჯვის გეგმის შესარჩევად. თუ პირიქით, პროგნოზით მოსალოდნელი წყლის ხარჯი აჭარბებს ნორმას და უახლოვდება მის უდიდეს მნიშვნელობას, მაშინ უნდა ჩატარდეს პრევენციული ღონისძიებები (ნაპირდაცვითი სამუშაოები, მდინარეთა კალაპოტებისა და არხების გაწმენდა და სხვა).

შემუშავებული პროგნოზების გამოყენებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი 15 – 35 %-ით აჭარბებს საპროგნოზო ჩამონადენის ნორმის გამოყენებით მიღებულს. გრძელვადიანი პროგნოზების დროს ეს ეფექტი მრავლდება საპროგნოზო პერიოდის თვეთა რაოდენობაზე, ამიტომ მიღებული ეკონომიკური ეფექტი საკმაოდ დიდია, რაც გამოიხატება იმაში, რომ მათი გამოყენებით შესაძლებელია საგრძნობლად გაიზარდოს მოსავლიანობა, წყალმომარაგება და სხვა. გარდა ამისა, დროული პროგნოზებით შეიძლება მნიშვნელოვნად შემცირდეს წყალდიდობებით მიყენებული ზარალი. გარდა პროგნოზებისა, ნაშრომში მიღებულ მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების წყლის ხარჯების დაზუსტებულ მახასიათებლებს აქვთ პრაქტიკული დანიშნულება სამეცნიერო, სამეურნეო და საპროექტო ორგანიზაციებში წყალსამეურნეო გაანგარიშებებისათვის.

შინაარსი

ბგ.

შესავალი		6
1	თავი I წყალმცირობის საშიში ეკოლოგიური პრობლემები	8
	1.1 მტკნარი წყლის თანამედროვეობის პრობლემები	8
	1.2 არიდულობის პროცესები საქართველოში	9
	1.3 წყალმცირობის პრობლემები საქართველოში	15
2	თავი II მდ. ალაზნის წყალწარმომქმნელი ფაქტორები და მათი ცვლილება	19
	2.1 წყალწარმომქმნელი ფაქტორები და მათი მახასიათებლები	19
	2.2 კლიმატური ფაქტორების დინამიკა	23
	2.3 წყალწარმომქმნელი ფაქტორების მოსალოდნელი მნიშვნელობები	26
3	თავი III მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენი და მისი დინამიკა	30
	3.1 მდ. ალაზნის აუზის მდინარეთა წყლის ხარჯების პარამეტრები	30
	3.2 მდ. ალაზნის წყლის სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენი	35
	3.3 წყლის ხარჯების ყოველწლიური ცვლილების შეფასება	38
	3.4 წყლის ხარჯების ცვლილების მოსალოდნელი ტენდენციები	42
4	თავი IV მდინარეთა წყლის ხარჯების საპროგნოზო მეთოდოლოგია	45
	4.1 მთის მდინარეთა წყლიანობის პროგნოზირების თავისებურებანი	45
	4.2 პროგნოზირების ზოგადი საფუძველები	46
	4.3 მრავალფაქტორიანი საპროგნოზო მოდელი	47
	4.4 ოპტიმალური საპროგნოზო მოდელის შერჩევა	49
	4.5 საპროგნოზო განტოლებათა დადგენა და შეფასება	54
5	თავი V მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების ბრძელვადიანი პროგნოზირება სარწყავი სისტემების მომსახურებისათვის	55
	5.1 სავეგეტაციო პერიოდის საშუალო წყლის ხარჯების პროგნოზები	55
	5.2 კვარტალური წყლის ხარჯების პროგნოზები	57
	5.3 თვიური წყლის ხარჯების პროგნოზები	28
დასკვნა		61
ლიტერატურა		63

შესავალი

გარემოს მთავარი სუბსტანცია, სადაც ჩაისახა სიცოცხლე და გაჩნდა პირველი ცოცხალი ორგანიზმები, არის წყალი. დედამიწაზე წყლის რესურსი უზარმაზარია. ჰიდროსფერო მოიცავს მსოფლიო ოკეანეს, ზღვებს, მიწისქვეშა წყლებს, მყინვარებს, ტბებსა და მდინარეებს.

მსოფლიოს ყველა ქვეყანაში წყალსარგებლობა მეურნეობის ყველა დარგს მოიცავს: მოსახლეობის სასმელ-სამეურნეო საჭიროება, კომუნალური, საყოფაცხოვრებო, სამკურნალო, საკურორტო და გამაჯანსაღებელი, სოფლის მეურნეობა და სამრეწველო წარმოება, ჰიდროენერგეტიკა, წყლის ტრანსპორტი, ხე-ტყის წარმოება, თევზის მრეწველობა და სხვა საჭიროებები.

ამრიგად, წყალი წარმოადგენს გარემოს, საზოგადოებისა და ქვეყნის ეკონომიკის საბაზისო ელემენტს. ამიტომ სადღეისოდ მტკნარი წყლის გარეშე შეუძლებელია ადამიანთა არსებობა და ქვეყნის განვითარება, მდინარეთა მტკნარი წყლების დამახასიათებელი თვისება, წყლის სხვა ობიექტებისაგან, არის მუდმივი განახლებადობა და ადვილად ხელმისაწვდომობა. ამის გამო, ძველთაგანვე ადამიანები თავიანთ საცხოვრისს მდინარის პირას აგებდნენ. მათი ჭალებისა და ტერასების ათვისება ხდება როგორც სასოფლო-სამეურნეო კულტურების, ისე საყოფაცხოვრებო საქმიანობისთვის შენობების, გზების, ელექტროგადამცემი ხაზებისა და სხვათა ასაგებად.

ისტორიულად ადამიანი ბუნებას იყენებდა თავისი სასიცოცხლო მოთხოვნების მიზნით და თან გარდაქმნიდა მას. საზოგადოების გარკვეული ნაწილის შეხედულებით ბუნება მხოლოდ საჩუქარია, რომელიც უნდა გამოვიყენოთ და მოვიხმაროთ. ამგვარი მიდგომით იზრდება ადამიანის გარემოზე ზემოქმედების მასშტაბები და აქტიურად მიმდინარეობს სამეურნეო და ენერგეტიკული რესურსების დიდი რაოდენობით მოპოვება. შედეგად დაირღვა ბუნებაში ბუნებრივი წონასწორობა. მომატებულია რადიაციული ფონი, რის შედეგად მცენარეებზე წარმოიშვა სხვადასხვა მუტანტური ფორმები, ხოლო ავტოტრანსპორტისა და სამრეწველო საწარმოების გამონაფრქვევი შეიცავენ ადამიანისა და ცხოველებისთვის საშიშ ტოქსიკურ ნივთიერებებს. დადგენილია, რომ XIX – XX საუკუნეების მანძილზე ადამიანთა სამეურნეო საქმიანობის შედეგად შეიცვალა ატმოსფეროს შედგენილობა, გაიზარდა გოგირდის ნაერთები 25-ჯერ, მეთანის რაოდენობა 200 %-ით და ნახშირორჟანგის რაოდენობა 25 %-ით. ამან განაპირობა დედამიწაზე “სათბურის ეფექტის” შექმნა, ოზონის შრის დეგრადაცია და მსოფლიო ჰავის ცვლილება, რაც XXI საუკუნეშიც გრძელდება. სადღეისოდ მიმდინარე გლობალური დათბობა იწვევს მრავალ უარყოფით პროცესებს: კატასტროფული მოვლენების სიხშირისა და სიმძლავრის მატებას, მტკნარი წყლის რესურსების შემცირებას, ნალექების რაოდენობისა და მისი განაწილების ცვლილებას, მცენარეთა მოსავლიანობისა და შინაური პირუტყვის პროდუქტიულობის შემცირებას, მავნე დაავადებათა გამრავლებას, რაც ცოცხალი ორგანიზმების გადაშენებას უწყობს ხელს.

2010 წლის მონაცემებით გლობალური დათბობის გამო მსოფლიოში ყოველწლიურად 300 ათასზე მეტი ადამიანი იღუპება, რაც 2030 წლისთვის 500 ათასამდე გაიზრდება. მოსალოდნელია, რომ 2050 წლისთვის დედამიწაზე მოსახლეობის რაოდენობამ 10 - 11 მლრდ-ს მიაღწიოს და უფრო გაიზარდოს მათი ზემოქმედება ბუნებაზე, რაც გამოიხატება ტყეების უმოწყალოდ გაჩეხვაში, ცხოველების გარკვეული სახეობების განადგურებაში, წყლის რესურსების, ატმოსფეროსა და წიაღისეულის ათვისებაში.

გლობალური დათბობის შედეგად დედამიწაზე სივრცესა და დროში მიმდინარე კლიმატური კრიზისული ანომალიები გავლენას ახდენს ბუნებრივ და განსაკუთრებით წყლისა და მიწის რესურსებზე. ამ ფონზე იზრდება ქვეყნის განვითარების რისკი, რაც განპირობებულია ძირითადად წყლის რესურსების მოცულობის შემცირებით, მათი ხარისხის გაუარესებითა და გახშირებული კატასტროფული ბუნებრივი მოვლენებით.

ტემპერატურის მატება და ატმოსფერული ნალექების შემცირება იწვევს მდინარეთა წყლიანობის შემცირებას, რაც უარყოფითად აისახება ქვეყნის სამეურნეო საქმიანობაზე, განსაკუთრებით იმ რეგიონებში, სადაც მცენარეთა მოსავლიანობა ბევრადაა დამოკიდებული მათი სარწყავი წყლით მომარაგებაზე. საქართველოში ამ მხრივ ყველაზე დიდი მოწყვლადობით გამოირჩევა კახეთი, სადაც ნაყოფიერი ნიადაგების ფართო ველებია და სასოფლო-სამეურნეო წარმოების მოცულობით საქართველოს წამყვანი რეგიონია. აქ წყლის პრობლემების სათანადო შეუფასებლობა არამარტო შეამცირებს ეკონომიკის განვითარებას, არამედ საგრძნობლად დააზიანებს ტერიტორიას, რადგანაც გააქტიურდება გაუდაბნოების პროცესები. იმისათვის, რომ თავიდან ავიცილოთ დიდი ზარალი, საჭიროა წყლის რესურსების მოსალოდნელი ცვლილებების ყოველმხრივი შესწავლა.

იმის გამო, რომ მცენარეთა სავეგეტაციო პერიოდში გვაღვიან თვეთა რიცხვი აქ 2-3 თვეა, ამიტომ ბოლო ორი ათეული წლის განმავლობაში უკვე დაზიანდა 200 ათასი ჰა ტერიტორია. გვაღვიების ნეგატიური შედეგების გასანეიტრალებლად ყველაზე ეფექტური არის ხელოვნური რწყვა, რომელსაც ძველთაგანვე ახორციელებდნენ ჩვენი წინაპრები. ეს განსაკუთრებით აქტუალურია სადღეისოდ, რადგან ეკონომიკური კრიზისა და უმუშევრობის პირობებში სოფლის მოსახლეობა მხოლოდ თავიანთ ნაკვეთებზე მიღებული პროდუქციით ირჩენს თავს. ამიტომ მათ შეუფერხებლად უნდა მიეწოდებოდეს სარწყავი წყალი.

კახეთის ვრცელი მინდვრები ირწყვება მდ. ალაზნის წყლით, სადაც აგებულია საქართველოში ყველაზე დიდი სარწყავი სისტემა. ამიტომ აუცილებელია მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენის დაზუსტება და მისი სამომავლო ცვლილების შესწავლა. არსებული წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენებისა და სარწყავი სისტემების ექსპლუატაციისათვის, განსაკუთრებით საჭიროა მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების ყოველწლიური პროგნოზირება სავეგეტაციო პერიოდის ცალკეული დროის ინტერვალებში. თუ წყალმომარების რეჟიმის დაგეგმარების დროს გვეცოდინება მდინარის წყლის მომავალი რაოდენობის პროგნოზი, წინასწარ შეიძლება დადგინდეს, თუ სავეგეტაციო პერიოდის რომელ ინტერვალებში იქნება შესაძლებლობა მორწყვისა მდინარის ჩამონადენით და როდის იქნება აუცილებელი ჭაბურღილებიდან სატუმბი სადგურების ამოქმედება ან დაწვიმებითი დანადგარების გამოყენება ან კიდევ ნალექების ხელოვნურად გაზრდა.

საპროგნოზო მეთოდოლოგია შემუშავდა არსებული ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის წყლის ხარჯებზე სტაციონალურ დაკვირვებათა მრავალწლიური რიგების გამოყენებით მდ. ალაზნის ორ ჰიდროლოგიურ საგუშაგოზე: მის ზემო წელში სოფ. ბირკიანთან, სადაც აღირიცხებოდა მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენი (წყალაღებისა და წყალჩაშვების გარეშე) და სათავეს იღებს ალაზნის ზემო მაგისტრალური სარწყავი არხი და მეორე საგუშაგოზე მდინარის შუაწელში სოფ. შაქრიანთან, სადაც სათავეს იღებს ქვემო მაგისტრალური არხი და ახლაც მოქმედებს ჰიდროლოგიური სადამკვირვებლო პუნქტი და ხდება წყლის დონეების გაზომვა.

თავი I. წყალმცირების საშიში ეკოლოგიური პრობლემები

1. 1. მტკნარი წყლის თანამედროვეობის პრობლემები

დედამიწაზე წყლის საერთო რაოდენობა 1386 მლნ კმ³-ს შეადგენს, რომლის 2,5 % ანუ 35 მლნ კმ³ არის მტკნარი წყალი, მაგრამ მისი 69 % ყინულებშია, მდინარეებში კი მისი მხოლოდ 0,006 % ანუ 2120 კმ³ წყლის მარაგია (The World's Water). გაეროს მონაცემების თანახმად მსოფლიოში 1 კმ² ფართობზე მოდის საშუალოდ 0,263 მ³ მდინარეული წყლის რესურსი. ხოლო 1 სულ მოსახლეზე მოდის 7056 მ³. ევროპაში ეს მაჩვენებელი შეადგენს 0,318 მ³ და 3954 მ³ –ს შესაბამისად. მაგრამ მოსახლეობისა და მეურნეობის ზრდის გამო არსებული წყლის რესურსები ვერ უზრუნველყოფენ მასზე გაზრდილ მოთხოვნილებებს განსაკუთრებით XIX საუკუნიდან დაწყებული გლობალური დათბობის პირობებში.

150 - 200 წლის წინათ მტკნარი წყლის პრობლემა არ იყო და პირდაპირ მდინარეთა წყალს ხმარობდნენ სასმელად. სადღეისოდ კი თანამედროვეობის სერიოზულ პრობლემას წარმოადგენს წყლის გაბინძურება. საქმე ისაა, რომ საუბედუროდ წყალმომარაგების მთავარი წყაროები – მდინარეები გამოიყენება ერთდროულად ასევე როგორც ნახშიარი წყლების ჩაშვების მთავარ არსებად. მრავალ საუკუნეთა განმავლობაში წყლის გატუჭყიანება შედარებით მცირე იყო და მდინარეებს გააჩნდათ თვითგაწმენდის უნარი. ამჟამად კი გატუჭყიანება კატასტროფულად იზრდება. ამ მხრივ აღსანიშნავია იმ შხამქიმიკატების სიმრავლე, რომლებიც გამოიყენება სოფლის მეურნეობაში. შედეგად დაბინძურებული წყალი ხდება უვარგისი სასმელად, სარწყავად და სხვა მიზნებისათვის. ის ისეა დაბინძურებული, რომ მასში ბანაობაც კი საშიშია, რადგან ბუნებრივ წყლებში დიდი რაოდენობით ხვდება მავნე და საშიში ნივთიერებები, რომლებიც ნეგატიურ გავლენას ახდენენ ეკოსისტემებზე.

ჯერ კიდევ XX საუკუნის 60-იან წლებში დაბინძურებული წყლით ყოველწლიურად დედამიწაზე ავადდებოდა (დიზენტერიით, ტიფით, ხოლერით და სხვა) 500 მლნ ადამიანი და 10 მლნ იღუპებოდა, ძირითადად ბავშვები. მაშინ ამერიკელი სპეციალისტი დ. ბერდი აღნიშნავდა, რომ “XXI საუკუნეში ჩვენ შეიძლება ჩვენივე ტუჭყმა დაგვახრჩოსო” [1].

სადღეისოდ მდინარეები იმყოფებიან მძიმე ეკოლოგიურ მდგომარეობაში, რადგან არალეგალური ნაგავსაყრელები უშუალოდ მდინარეთა ნაპირებთანაა განთავსებული. საწარმოთა და საყოფაცხოვრებო კოლექტორებს ხშირად არ გააჩნიათ გამწმენდი ნაგებობები. სამწუხაროდ, მოსახლეობის მხრიდანაც შეიმჩნევა სრული უპასუხისმგებლობა მდინარეთა სანიტარული მდგომარეობის მიმართ. წყლის გატუჭყიანება ყოველწლიურად მატულობს და კაცობრიობის წინაშე აყენებს მტკნარი წყლების გამოლევის რეალურ საშიშროებას. ამის გამო უკვე XX საუკუნის 80-იან წლებიდან, დაახლოებით 80-მდე სახელმწიფო, სადაც მსოფლიოს მოსახლეობის 40 % ცხოვრობს, უკვე განიცდიდა წყლის მწვავე ნაკლებობას. დღეს მთელი მოსახლეობის 1/3 ცხოვრობს იმ ქვეყნებში, სადაც წყალმომარაგება წყლის განახლებად მარაგს 10 %-ით აღემატება.

გაეროს ექსპერტთა პროგნოზების თანახმად, მსოფლიო წყალმომარაგება 2025 წლისთვის 40 %-ით გაიზრდება და კლიმატის გლობალური დათბობის ფონზე მოსახლეობის 2/3 აღმოჩნდება მტკნარი წყლის დეფიციტის პირობებში. თუ დაუბრუნებელი წყლის ხარჯვის ტემპი (რაც წლიურად 4 - 5 %-ს შეადგენს) გაგრძელდა, კაცობრიობა მტკნარი წყლის მარაგს უკვე XXI საუკუნის ბოლოს ამოწურავს.

მაღალმთიანი რეგიონის მდინარეები, რომლებიც სათავეს იღებენ ნივალურ ზონაში, უხვად საზრდოობენ მყინვარებისა და მუდმივი თოვლის ნაღნობი წყლებით. ამიტომ ცნობილი გლაციოლოგი ვ. კოტლიაკოვი მყინვარებს უწოდებდა მტკნარი წყლების სარეზერვო საწყობს. მაგრამ მთებში ტემპერატურის მატების ფონზე ინტენსიურად

მიმდინარეობს მყინვარების დნობა და უკან დახვევა. შედეგად მოსალოდნელია მათი გაქრობა. ამიტომ წყლის რეზერვების შევსების მიზნით ვ. კოტლიაკოვი მოუწოდებდა მთებში მყარი ნალექების ხელოვნური გაზრდის ტექნოლოგიის შემუშავებას [2].

კლიმატის დათბობის შედეგად შემცირდება რა თოვლის საფრის გავრცელება, შემცირდება მიწისქვეშა წყლის დონეები და შესაბამისად მდინარეთა ჩამონადენიც. ამის გამო, უკვე მთელ რიგ რეგიონებში აღინიშნება წყლის მწვავე დეფიციტი, რაც აფერხებს მეურნეობის მთელი რიგი დარგების განვითარებას, განსაკუთრებით სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობას. შედეგად სადღეისოდ დედამიწაზე ყოველწლიურად 6 - 7 მლნ ჰა-ით იზრდება უდაბნოები, რომლებიც იკავებენ ნახევარუდაბნოებისა და სავანების ადგილებს.

1. 2. არიდულობის პროცესები საქართველოში

ტერმინი “არიდული”, სათანადო ლექსიკონის განმარტებით, არის მშრალი (უდაბნოებისა და ნახევარუდაბნოების) ჰავა, სადაც ატმოსფერული დატენიანება არ არის საკმარისი მცენარეთა ვეგეტაციისათვის, ახასიათებს ჰაერის ტემპერატურის დიდი დღე-ღამური და წლიური ამპლიტუდა, ატმოსფერული ნალექების უმნიშვნელო რაოდენობა ან სრული უნალექობა, ხოლო აორთქლება მეტია მოსული ნალექების რაოდენობაზე [3].

კლიმატის თანამედროვე გლობალური დათბობის შედეგად ატმოსფერული ნალექების შემცირებამ და ტემპერატურის მატებამ დედამიწის ბევრ რეგიონში გამოიწვია ჰავის გამშრალება და გვალვების გახშირება. გვალვიანობამ განსაკუთრებით იმატა ევრაზიის კონტინენტის სამხრეთ ნაწილში, აფრიკაში, კანადასა და ბრაზილიის დიდ ტერიტორიებზე.

გვალვიანობა გლობალურ პრობლემად XX საუკუნის 70-იანი წლებიდან იქნა აღიარებული და 1977 წელს გაერომ შეიმუშავა გარემოსდაცვითი სამოქმედო გეგმა. გვალვიანობის გაზრდამ გამოიწვია უდაბნოების არეალის გაფართოება და ამის გამო 1994 წელს მიღებულ იქნა გაუდაბნოებასთან ბრძოლის კონვენცია. სხვადასხვა მათემატიკური მოდელებით შედგენილი კლიმატის ცვლილების პროგნოზებით XXI საუკუნის ბოლოსთვის მოსალოდნელია მშრალი პერიოდების კიდევ უფრო გახანგრძლივება, ე.ი. გაიზრდება არიდულობა.

არიდულობასთან დაკავშირებული ძირითადი საფრთხეებია: მიწის დეგრადაცია, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობის შემცირება, მეცხოველეობის დაკნინება, ტყის ხანძრების რისკის ზრდა, წყლის რესურსების შემცირება და სასოფლო-სამეურნეო წარმოების დაცემა, რასაც თან სდევს შიმშილობა და წყლის ნაკლებობით გამოწვეული დაავადებათა გავრცელება, წყლის დეფიციტი კომუნალურ და სამრეწველო სექტორებში, აგრეთვე ჰიდროენერგეტიკის პოტენციალის შემცირება და მოსახლეობის იძულებითი მიგრაცია გვალვით მოცული რეგიონებიდან [4].

საქართველოს არიდულ რაიონებში წყლის რესურსების ნაკლებობის გამო, გაუდაბნოების ალბათობა მაღალია და დიდ საშიშროებას უქმნის მოსახლეობას, გარემოსა და ქვეყანაში ეკონომიკის განვითარებას. ამიტომ აუცილებელია ამ პროცესების შესწავლა მთელი საქართველოს მასშტაბით.

საქართველოს მცირე ტერიტორიაზე ჩამოყალიბებულია 100-მდე სახეობის ლანდშაფტი [5]. მათ შორის არიდული ლანდშაფტები გავრცელებულია მთელ საქართველოში. აღმოსავლეთ საქართველოს კონტინენტურ მშრალ სუბტროპიკულ კლიმატურ ზონაში წარმოდგენილია კლასიკური არიდული ლანდშაფტები, ესენია: შიდა და ქვემო ქართლი, ივრის ზეგანი, ელდარის ველის ნახევარუდაბნო და ჯავახეთის მთიანეთის სტეპური მშრალი რეგიონი.

მშრალი სუბტროპიკული ვაკე-სტეპური ლანდშაფტები ჩამოყალიბებულია ქვემო ქართლის ვაკეზე, სადაც მაქსიმალური ტემპერატურა 30-45 °C-ია, დანესტიანების ხარისხი ნაკლებია 0,6-ზე, ნალექების თვიური ჯამი 46-47 მმ-ია. ზოგან წაბლა ნიადაგების

დამლაშებულ უბნებზე გავრცელებულია ჯაგეკლიანი და ნახევარუდაბნოების მცენარეულობა.

სტეპური და არიდული ტყე-ბუჩქნარების ლანდშაფტები ჩამოყალიბებულია ივრის ზეგანზე, სადაც მშრალი სუბტროპიკული თბილი ჰავაა, ცხელი ზაფხულით, ნალექების მინიმუმით გაზაფხულ-ზაფხულში, მაქსიმალური ტემპერატურა 35-45 °C, წლიური დანესტიანების ხარისხი 0,6-ზე ნაკლები. ასეთ კლიმატურ პირობებში შავმიწა წაბლა, დამლაშებულ ნიადაგებზე გავრცელებულია სტეპისა და ნახევარუდაბნოების მცენარეულობა, ზოგან არიდული ნათელი ტყე-ბუჩქნარით.

საქართველოში ტიპობრივად ნახევარუდაბნოს ვაკე-დაბლობის ლანდშაფტი მხოლოდ ელდარის ვაკე დაბლობზეა, რომლისთვისაც დამახასიათებელია ვაკე-დაბლობის რელიეფი, ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურა 40-50 °C-ს აღწევს, ნალექები მხოლოდ 200 მმ-ია წელიწადში და შედეგად დანესტიანების ხარისხი 0,3-მდეა შემცირებული. ამ ლანდშაფტის არეალი აქ ზამთრის საძოვრებად გამოიყენება.

მთის სტეპის ლანდშაფტები საქართველოს სამხრეთ მთიანეთში წარმოდგენილია მაღალი ვულკანური პლატოებითა და ვაკეებით, ზომიერად ნოტიო სუბტროპიკულიდან მშრალ სუბტროპიკულზე გარდამავალი ჰავით. მათ ახასიათებთ გაზაფხულ-ზაფხულში უნალექო პერიოდი, ტემპერატურის მაქსიმუმი 30-40 °C და წლიური დანესტიანების ხარისხი 0,6 - 1,0. ვულკანური ლავების გამოფიტვის ქერქზე მთის შავმიწებია და მათ მდელოებზე მთის სტეპები სახნავ-სათესად არის გამოყენებული.

აღსანიშნავია, რომ მიუხედავად ნოტიო სუბტროპიკული ჰავისა, არიდული ლანდშაფტები დასავლეთ საქართველოშიც არის გავრცელებული. კერძოდ ასეთი ადგილებია აჭარაში, გურიაში, სამეგრელოსა და იმერეთის გორაკ-ბორცვიან, აგრეთვე რაჭა-სვანეთის რაიონებში და სხვა. ისინი გამოირჩევიან მკვეთრად ცხელი, მშრალი გაზაფხულ-ზაფხულით, უთბილესი თვის საშუალო ტემპერატურა 22-24 °C, მაქსიმალური კი 30-40 °C-ს აღწევს, ნალექების თვიური ჯამია 170 მმ, ჰაერის ფარდობითი სინოტივე 45-50%, დანესტიანების საშუალო წლიური კოეფიციენტი დასავლეთ საქართველოში 1,5-ს აღემატება და ყველაზე მშრალ მაისის თვეში 0,6-ზე ნაკლებია. სავეგეტაციო პერიოდში აქ საკმაოდ ხშირია გვალვა, როდესაც კლიმატური მაჩვენებლები სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოთხოვნილებას ტენზე ვერ აკმაყოფილებს. მაგალითად, გვალვიან წლებში გურიის დაბლობ ნაწილში სუბტროპიკული მცენარეები ვეგეტაციას წყვეტენ [6].

ტერმინოლოგიური ლექსიკონის [3] განმარტებით “გვალვა” ნიშნავს ჰაერის მაღალი ტემპერატურის დროს ნალექების ხანგრძლივ უკმარისობას, რის გამოც ნაიდაგი შრება და მოსავალი ან მცირდება ან მთლიანად იღუპება. ე.ი. გვალვა ეს არის ატმოსფერული ნალექების მნიშვნელოვანი დეფიციტი ხანგრძლივი დროის მანძილზე ჰაერის ტემპერატურის მომატების ფონზე, როდესაც აორთქლება სჭარბობს ნალექებს, რის შედეგადაც ნიადაგში იღვევა სინოტივის მარაგი, დაბლა იწვევს გრუნტის წყლების დონე და მცირდება მდინარეთა წყლიანობა და სარწყავი წყლის რესურსები, რაც უარყოფითად მოქმედებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების განვითარებაზე და იწვევს მოსავლის შემცირებას ან საერთოდ მათ განადგურებას.

გვალვას, როგორც ამინდის საშიშ მოვლენას, დიდი ზიანის მიყენება შეუძლია არა მარტო სასოფლო-სამეურნეო კულტურებსა და ნარგავებზე, არამედ ის ავნებს თვით ადამიანებსა და სხვა ცოცხალი ორგანიზმების ჯანმრთელობას, რადგან იწვევს სისხლის არტერიული მიმოქცევის მოშლას.

აღსანიშნავია, რომ გვალვიანობა დაკავშირებულია მზის აქტივობასთან, რადგან მზის ხანმოკლე ფლუქტუაციები განსაზღვრავენ ამინდის ცვალებადობას. 1843 წლის შემდეგ, როდესაც შვებამ აღმოაჩინა მზის აქტივობის 11 წლიანი ციკლი, მეცნიერებმა 200 წლიანი დაკვირვებათა ანალიზით დაადგინეს კლიმატური ელემენტების (ნალექები, ტემპერატურა) კორელაციური კავშირები მზის აქტივობის გრძელ და მოკლეპერიოდთან ციკლებთან.

დადგენილია, რომ გვალვები დაიკვირვება მზის ლაქების მინიმუმის წლებში. მათი მაქსიმუმის დროს, როდესაც ვოლფის რიცხვები აღემატება 30-ს, დედამიწაზე გვალვები არ აღინიშნება [7].

გვალვის ფორმირების ძირითადი ფაქტორებია ცირკულაციური პროცესები, რომლებიც განსაზღვრავენ გვალვის ინტენსივობას, ხანგრძლივობას და სიხშირეს. გვალვის ინტენსივობასა და ხანგრძლივობას განაპირობებენ აგრეთვე რადიაციული და თერმული ფაქტორები, რომელთა ხასიათი არსებითად არის დამოკიდებული რელიეფის მორფომეტრიულ მახასიათებლებზე.

ამრიგად, გვალვა წარმოადგენს რთულ მრავალფაქტორიან მეტეოროლოგიურ მოვლენას, რომლის კლიმატური სტრუქტურა ყალიბდება მზის ლაქების მინიმუმის წლებში, როდესაც ტერიტორია ხასიათდება მაღალი ტემპერატურული მანკვებლებით, ჰაერის დაბალი სინოტივითა და ნალექების დეფიციტით. უნალექოდ ითვლება ის პერიოდი, როდესაც ნალექები ან არ არის, ან მისი დღე-ღამური რაოდენობა 1 მმ-ს არ აღემატება. სიმშრალისა და ტენიანობის ხარისხი განისაზღვრება ნალექების შეფარდებით აორთქლებადობასთან. თუ ეს შეფარდება 1-ზე მეტია, მაშინ გარემო არის ტენიანი, თუ 1-ზე ნაკლებია, მაშინ მიდამო ღარიბია ტენით.

გვალვის პრობლემას საქართველოში დიდი ხნის ისტორია აქვს. გვალვიანობის წინააღმდეგ ბრძოლის მიზნით გაჰყავდათ სარწყავი არხები. აღმოსავლეთ საქართველოში შემორჩენილია X - XII საუკუნეებში არსებული სარწყავი სისტემების ცალკეული ელემენტები. თამარ მეფის დროს გაყვანილია სამგორის 20 კმ და ალაზნის 119 კმ სიგრძის არხები, რომლებითაც ირწყვებოდა 50 ათასზე მეტი ჰა ტირიფონის ველი, რუის-ურბნისის, მუხრანის, სამგორისა და კახეთის ტერიტორიები [9]. ეს იმაზე მეტყველებს, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში კლიმატი 8-10 საუკუნის წინათაც ისეთივე სიმშრალითა და მაღალი თერმული ველით ხასიათდებოდა, როგორც დღეს. ეს პერიოდი ემთხვევა იმ ცნობილ “მცირე კლიმატურ ოპტიმუმს”, რომელსაც ადგილი ჰქონდა ჩრდილო ნახევარსფეროში II ათასწლეულის დასაწყისში. ამ პერიოდს უკავშირდება პოლარული რაიონების ყინულისაგან განთავისუფლება, ვიკინგების მიერ (მწვანე) გრენლანდიის აღმოჩენა და აფრიკის ჩრდილოეთით საჰარის უდაბნოს ჩამოყალიბება.

აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ გვალვა არ არის მოხსენებული 290 წლის წინ ვახუშტი ბაგრატიონის ისტორიულ-გეოგრაფიულ ნაწარმოებში “აღწერა სამეფოსა საქართველოსი”. სავარაუდოა, რომ მაშინ საქართველოს ტერიტორიაზე არ აღინიშნებოდა ნალექების დეფიციტი და გვალვიანობა. მაშინ ალაზნის ველი დაფარული იყო ტყით, რომელიც დადებით როლს თამაშობს გვალვიანობის პროცესების შესუსტებასა და შერბილებაში. ამისგან განსხვავებით, მდ. იორის ქვემო წელის შესახებ ვახუშტი ბატონიშვილი აღნიშნავს, რომ “იორის ზეგანზე ზაფხული იცის ცხელი, ხაშმიანი, გაუსაძლისი”, სადაც სიტყვა ხაშმი ნიშნავს არაჯანსაღ-მავნებელს.

საქართველოში მიმდინარე უჩვეულო ბუნებრივი მოვლენების (წყალდიდობები, მზის დაბნელება, სეტყვა, გვალვა და სხვა) კატალოგები, განსხვავებით რუსეთისა და ევროპის სხვა ქვეყნებისაგან, არ არსებობს. სავარაუდოა, რომ მათი აღრიცხვა არ ხდებოდა ან ჩვენამდე ვერ მოაღწია. საქართველოში აღრიცხული გვალვების შესახებ ცნობები გამოქვეყნებულია მხოლოდ ერთ მონოგრაფიაში [9], სადაც გამოკვლეულია გვალვების გავრცელება და განმეორებადობა. საქართველოში გვალვების შესახებ გამოქვეყნებულია აგრეთვე მრავალი სტატია. წინა თაობის მეცნიერთა მიერ პირველ რიგში გამოკვლეულია გვალვის გენეზისი და მისი განვითარების პროცესი საქართველოს ტერიტორიაზე [10-13].

დადგენილია, რომ როდესაც ამიერკავკასიაში გაბატონებულია ანტიციკლონური სისტემა, საქართველოში მყარდება უნალექო პერიოდი მაღალი ტემპერატურითა და დაბალი სინოტივით. ამ დროს გვალვა გარდაუვალია. გაცილებით სასტიკი და საშიში მეტეოროლოგიური მოვლენაა აღმოსავლეთიდან მშრალი ჰაერის მასების შემოჭრა,

როდესაც საქართველოში დგება უნაღვექო ამინდები მაღალი ტემპერატურითა და დაბალი სინოტივით.

გვალვები გამოიჩინება სიმძაფრის, სისხირის, ხანგრძლივობისა და სეზონურობის მიხედვით. არჩევენ შემოდგომის, გაზაფხულისა და ზაფხულის პერიოდის გვალვებს, რომელთაგან ზაფხულის გვალვა უფრო საშიშია, რადგან ამ პერიოდში აქტიურდება მცენარეთა ზრდა-განვითარების პროცესი და მისი მოთხოვნილება წყლის მიმართ. საქართველოში გვალვიან დღეთა რიცხვი და მათი სისხირე იზრდება დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ, ე.ი. კონტინენტური ჰაერის მიმართულებით. ამიტომ გვალვების დიდი ხანგრძლივობა და მაღალი სისხირე დამახასიათებელია უფრო აღმოსავლეთ საქართველოსათვის, ვიდრე დასავლეთში.

სავეგეტაციო პერიოდის მიხედვით ტერიტორიის დარაიონების დროს კრიტერიუმად მიღებულია ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა 150 მმ-ის ტოლი ან ნაკლები. ამის მიხედვით საქართველოს ტერიტორიაზე გამოიყოფა სამი ზონა: I – ტენით გაჯერებული ზონა მოიცავს დასავლეთ საქართველოს, აღმოსავლეთ საქართველოს მთიანეთსა და მდ. ალაზნის აუზის ზემო და შუა წელს; II – საკმარისად ტენიანი ზონა ვრცელდება შიდა ქართლის ველზე, ქვემო ქართლის დასავლეთით მდ. ალგეთისა და მაშავერას მიმდებარე ტერიტორიებზე და მდ. ყვირილას ქვემო წელზე; III – მცირე ტენიანი ზონა მოიცავს გარდაბნის, ელდარის, შირაქის სტეპურ ველებს და ახალციხის ქვაბულს.

11-20 დღიანი უნაღვექო პერიოდები 10 წელიწადში 3-4-ჯერ შეიძლება განმეორდეს აჭარის სანაპიროზე, ხოლო შიდა და ქვემო ქართლის ველებზე ყოველ წელიწადში 5-6-ჯერ არის მოსალოდნელი, კახეთში კი წელიწადში 4-ჯერ, ასევე ხშირია აღმოსავლეთ საქართველოს მთიანეთში.

21-30 დღიანი უნაღვექო პერიოდები გარდაბნის სტეპურ ველზე წელიწადში 3-ჯერ არის მოსალოდნელი, ხოლო შავი ზღვის მიმდებარე რაიონებში 10 წელიწადში ერთხელ აღინიშნება. კავკასიონის მთიანეთში გვალვა არ არის საშიში, რადგან აქ ნიადაგში ტენი საკმარისად არსებობს. აღმოსავლეთ საქართველოს მშრალ რაიონებში უნაღვექო პერიოდები 80-100 დღე და უფრო დიდხანს გრძელდება [13].

ზოგადი ანალიზით ირკვევა, რომ აღმოსავლეთ საქართველოს ლანდშაფტები უფრო მგრძობიარეა კლიმატური რყევების მიმართ, რაც ტემპერატურის ზრდითა და ნალექების შემცირებით აღინიშნება. ამიტომაც, რომ საქართველოში ამჟამად ყველაზე გვალვასაშიში რეგიონებია არიდული ლანდშაფტები ქვემო ქართლში და კახეთში – შირაქისა და ელდარის ვაკეებზე.

გვალვის დროს ნალექების უკმარისობა და გაზრდილი აორთქლების თანაფარდობა იწვევს მკვეთრ შეუსაბამობას მცენარის ტენის მოთხოვნილებასა და ნიადაგიდან მის მიწოდებას შორის. გვალვა განსაკუთრებით საშიშია ზაფხულში, როდესაც მაღალი ტემპერატურა, დაბალი სინოტივე და ძლიერი აორთქლება აშრობს ნიადაგის ზედა ფენებს, აფერხებს ვეგეტაციური მასის დაგროვებას, ამცირებს მცენარის კვირტს და ზრდის ფესვებს. საერთო ჯამში კი ამცირებს ყველა სასოფლო-სამეურნეო კულტურის მოსავლიანობას [9].

გვალვის ყველაზე საიმედო მაჩვენებელია ტენის მარაგი ნიადაგის ფესვწარმოქმნელ შრეში. ტერიტორიის ტენით უზრუნველყოფის კრიტიკულ ნორმად მიღებულია ნალექთა ჯამი სავეგეტაციო პერიოდში (აპრილიდან სექტემბრის თვის ჩათვლით) 150 – 200 მმ-ის ფარგლებში. აქედან გამომდინარე მკაცრ გვალვად მიღებულია პერიოდი, როდესაც ნალექების ჯამი სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში არ აღემატება 150 მმ-ს. ასეთი გვალვები ხშირად აღინიშნება აღმოსავლეთ საქართველოში, სადაც ზოგიერთ რაიონში მკაცრი გვალვების ალბათობა 40%-ს აღემატება, რაც იმას ნიშნავს, რომ მკაცრი გვალვა მოსალოდნელია ყოველ 2-3 წელიწადში ერთხელ.

ცხრილ 1.1-ში მოცემულია საქართველოს ტერიტორიაზე სხვადასხვა ხანგრძლივობის უნაღვექო პერიოდის განმეორებადობა და მათი მაქსიმალური ხანგრძლივობა [4] ნაშრომის მიხედვით, საიდანაც ჩანს, რომ მაგალითად გარდაბანში 5-10 დღიანი უნაღვექო პერიოდი

საშუალოდ მრავალწლიურ რიგში 11-ჯერ მეორდება, ხოლო 30 დღეზე მეტი ხანგრძლივობის პერიოდი წელიწადში ერთხელ, მაქსიმალური ხანგრძლივობა კი 60 დღეს აღწევს.

ბოლო წლებში გლობალურმა დათბობამ საქართველოს ბევრ რეგიონში გამოიწვია გვაღვიანი პერიოდის გახანგრძლივება. მაგ. ქვემო სვანეთში XX საუკუნის 60-იან წლებში გვაღვიანი პერიოდის საშუალო ხანგრძლივობა 34 დღეს შეადგენდა, 90-იან წლებში იგი 47 დღემდე გაიზარდა, ხოლო 1986-2007 წლებში ის 68 დღემდე გაიზარდა და გვაღვიამ ყოველწლიური ხასიათი მიიღო.

ცხრილი 1. 1. უნაღვექო პერიოდების ხანგრძლივობა წელიწადში

პუნქტი	სიმაღლე (მ)	უნაღვექო პერიოდების ხანგრძლივობა (დღე)				მაქსიმალური ხანგრძლივობა (დღე)
		5 – 10	11 – 20	21 – 30	> 30	
სოხუმი	26	15	4	0,5		27
გორდი	638	13	3	0,3		27
ჩაქვი	30	14	3	0,2		27
საქარა	149	14	4	0,5		51
ამბროლაური	546	15	5	0,4	0,1	44
ახალქალაქი	1717	13	6	0,9	0,3	58
როდიონოვკა	2100	13	4	0,9	0,04	46
გორი	590	14	6	1,1	0,3	79
ფასანაური	1062	13	4	1,0	0,04	43
გუდაური	2197	11	3	1,1	0,1	34
თბილისი	404	12	6	1,5	0,7	54
გარდაბანი	300	11	6	2,7	1,0	60
თელავი	562	13	5	1,0	0,3	52
ლაგოდეხი	435	14	5	0,8	0,2	38

ცხრილ 1.2-ში მოცემულია აღმოსავლეთ საქართველოს მეტეოსადგურებზე 1961-2009 წლებში დაკვირვებათა მონაცემებით [14] ნაშრომში მიღებული გვაღვიების შიდასეზონური განმეორებადობა სავეგეტაციო პერიოდში, რომლის მიხედვით ირკვევა, რომ გვაღვიანობის განმეორებადობის მაქსიმუმები (50-90%) ყველგან აღინიშნება სავეგეტაციო პერიოდის მეორე ნახევარში – ივლის-სექტემბერში, მინიმუმი (0-50%) კი აპრილ-მაისშია. ყველაზე გვაღვიანი რეგიონია ქვემო ქართლი, შიდა ქართლი და კახეთი. გვაღვიანობის დიდი სიხშირე აღინიშნება გარდაბანში, ბოლნისში, გორში, თბილისში და შირაქში.

ცხრილი 1. 2. გვაღვიების განმეორებადობა აღმოსავლეთ საქართველოში თვეების მიხედვით %-ში მეტეოსადგურებზე 1961 – 2005 წლების მონაცემებით

მეტეოსადგური	სიმაღლე (მ)	თვეები					
		IV	V	VI	VII	VIII	IX
თელავი	542	16	9	13	52	52	54
ახმეტა	567	17	7	17	57	57	53
ყვარელი	448	4	4	16	40	40	24
ლაგოდეხი	435	10	13	30	43	43	47
გურჯაანი	415	20	13	23	47	47	53
საგარეჯო	806	13	10	13	57	57	50
შირაქი	550	23	23	33	60	70	73
თიანეთი	1091	0	0	0	40	20	37
ახალქალაქი	1717	2	0	4	52	41	46
თეთრი წყარო	1220	7	3	3	47	50	47
გარდაბანი	300	50	53	57	80	87	90

ბოლნისი	534	15	24	46	85	76	70
ახალციხე	980	9	13	15	63	63	63
ბორჯომი	794	0	3	10	67	57	53
დუშეთი	922	3	6	16	47	52	52
წალკა	1475	2	0	4	24	29	29
ცხინვალი	862	17	17	23	80	80	53
თბილისი	404	40	28	43	76	80	78
გორი	590	32	32	41	88	88	76

გვალვები და მათი ცვლილებები საქართველოში რაოდენობრივად გამოთვლილ იქნა კლიმატის მესამე ეროვნული შეტყობინების [15] ფარგლებში. გაირკვა, რომ 1986-2010 წლებში გვალვების რაოდენობა ყველაზე მეტად მომატებულია საგარეჯოში, ექსტრემალური გვალვები კი ყველგან მომატებულია. ყველაზე მეტად კი მომატებულია დედოფლისწყაროში, თელავსა და ყვარელში. დაკლებულია შედარებით მსუბუქი გვალვები ლაგოდეხში, სიღნაღში და ახმეტაში. 2021 – 2050 წლებში გვალვები ძირითადად მცირდება, რადგან მცირდება მკაცრი გვალვები. სიმშრალის რისკი იზრდება ლაგოდეხის ტერიტორიაზე.

ამრიგად შეიძლება ითქვას, რომ სოფლის მეურნეობისათვის რისკები 2021 – 2050 წლებში უმეტეს ტერიტორიაზე მცირდება, რადგან მცირდება მკაცრი გვალვები, იზრდება სავეგეტაციო პერიოდი და აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი, თუმცა სეტყვის (გურჯაანში, თელავში, ყვარელში) და გაზაფხულის ძლიერი ქარების პრობლემა (დედოფლისწყაროსა და სიღნაღში) კვლავ რჩება. რაც შეეხება 2071 – 2100 წლების პერიოდს, ამ მონაკვეთში პროგნოზის თანახმად ყველა ტიპის გვალვები მოიმატებს [15]. მკაცრი გვალვების მაქსიმალური ალბათობით ხასიათდება ქვემო ქართლი, სადაც ეს მოვლენა მეორდება ყოველ 2 - 3 წელიწადში. ასეთი მაღალია ალბათობა გარე კახეთშიც, სადაც მკაცრ გვალვას ადგილი აქვს ყოველ 3-5 წელიწადში.

გვალვიანობის სიხშირე გაუდაბნოების პროცესის ხელშემწყობი ძირითადი ფაქტორია. გარდა გვალვებისა, გაუდაბნოების სხვა მრავალრიცხოვანი ფაქტორებიც განაპირობებენ, ატმოსფერული პროცესებიდან დაწყებული ნიადაგის სტრუქტურული შემადგენლობით დამთავრებული. მაგალითად, ავტორთა კოლექტივმა [16] გაუდაბნოების ხელშემწყობი პროცესების დასახასიათებლად გამოიყენა ნიადაგის ზედაპირიდან ტემპერატურის სიჭარბისა და ნალექების დეფიციტის ჯამების შეფარდება წელთა რიცხვზე, რომელიც განსაზღვრავს გაუდაბნოების პროცესის ინტენსიურობას და მას პირობითად გაუდაბნოების კოეფიციენტი უწოდეს. იგი გამოისახება ექვს ბალიანი სისტემით და აღრიცხავს გაუდაბნოების ხელშემწყობი პროცესების ინტენსიურობას, რაც ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ზრდისა და ნალექების შემცირების ფაქტორული მნიშვნელობიდან გამომდინარეობს. მათ მიერ მიღებული გაანგარიშებიდან ირკვევა, რომ ყველაზე მაღალი (6 ბალიანი) გაუდაბნოების კოეფიციენტით ხასიათდება ლაგოდეხი, გურჯაანში, თელავში და შირაქში გაუდაბნოების ხელშემწყობი პროცესების კოეფიციენტი ტოლია 4-სა, ახმეტაში კი 2-ის.

გაუდაბნობასთან ბრძოლის ისტორიას ხანგრძლივი ტრადიცია გააჩნია. ამაზე მიუთითებს ინდოეთში არქეოლოგიური გათხრების შედეგად აღმოჩენილი ჩვენი ეპოქის პირველ ათასწლეულში წვეთოვანი რწყვისა და წყლის დაგროვება-განაწილების რთული სისტემა [17]. აღმოსავლეთ საქართველოში X - XII საუკუნეებში არსებული სარწყავი სისტემები მტრის მრავალჯერადი შემოსევების დროს განადგურდა. აქ XX საუკუნის 50-60-იან წლებშიც აშენდა საირიგაციო სისტემების ფართო ქსელი, მაგრამ ისინი 1992 წლიდან ეროვნული ხელისუფლების დამხობის შემდეგ ასევე განადგურდა.

გაეროს მიერ 1994 წელს გაგრძელებულ იქნა გაუდაბნოების საშიშროების ქვეშ არსებული მსოფლიოს გვალვიანი რაიონების რუკა [18], სადაც ნაჩვენებია გვალვიანი,

ნახევრადგვალვიანი და მშრალი რაიონები. სადღეისოდ დედამიწაზე გაუდაბნობას განიცდის სარწყავი მიწების 80% და 170 მლნ ჰა ურწყავი მიწები. ყოველწლიურად იკარგება და გამოუსადეგარი ხდება 6 მლნ ჰა ფართობი. აღსანიშნავია, რომ გაუდაბნოებით ხელყოფილ მიწებზე ცხოვრობს მსოფლიო მოსახლეობის 25%. ყველაზე გვალვიან კონტინენტად მიჩნეულია ავსტრალია, სადაც გაუდაბნობას განიცდის კონტინენტის 2/3 ტერიტორია. აზიაში გაუდაბნოების აქტიური კერები მის ცენტრალურ ნაწილშია. მაგალითად ჩინეთში უკვე გაუდაბნოებულია 20 მლნ. ჰა და ის ვითარდება კიდევ 14 მლნ ჰა ფართობზე. ყოველწლიური დანაკარგი გაუდაბნოების გამო 2-3 მლრდ დოლარია.

გაუდაბნოების აღნიშნულ მსოფლიო რუკაზე მშრალ რაიონებშია მოქცეული აღმოსავლეთი ამიერკავკასია, სადაც შედის აღმოსავლეთი საქართველო, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ აქ გლობალური დათბობის პირობებში მოსალოდნელია გაუდაბნოების პროცესის გააქტიურება.

პროფესორ ე. ელიზბარაშვილის [19] ცნობით, აღმოსავლეთ საქართველოს სტეპებში და ნახევარუდაბნოებში სიმშრალის რადიაციული ინდექსის საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობა ცალკეულ პუნქტებში იცვლება 1,2-დან 2,5-მდე, მაგრამ თუ ეს ინდექსი 3-ზე მეტი გახდება, საქართველოს სტეპები და ნახევარუდაბნოები შეიძლება გარდაიქმნან უდაბნოდ. სადღეისოდ გაუდაბნოების ალბათობა აღმოსავლეთ საქართველოს არიდულ რაიონებში 30%-ს აღემატება, რაც საკმაოდ მაღალია [20].

საქართველომ გაეროს გაუდაბნობასთან ბრძოლის კონვენციას 1994 წელს მოაწერა ხელი, მაგრამ მისი რატიფიკაცია მოახდინა მხოლოდ 1999 წელს, რითაც აიღო ვალდებულება შეიმუშაოს გაუდაბნობასთან ბრძოლისა და გვალვის შედეგების შემცირებისკენ მიმართული სათანადო ღონისძიებები.

ამასთან დაკავშირებით სოფლის მეურნეობის წარმოებისათვის გასათვალისწინებელია ის ფაქტი, რომ რადგან საქართველოს არიდულ რეგიონებში არსებული ჰიდროთერმული კოეფიციენტი ვერ უზრუნველყოფს მცენარეთა ნორმალურ ზრდა-განვითარებას, ამიტომ სავეგეტაციო პერიოდში აუცილებელია რეგულარული ნიადაგის დროული მორწყვა და კულტივაცია-გაფხვიერება. ვინაიდან ცალკეულ წლებში ინტენსიური გვალვების საშიშროება დიდია, სოფლის მეურნეობის სპეციალისტებმა, ფერმერებმა და კერძო სექტორის მიწათმოქმედმა პირებმა დაზღვევის მიზნით უნდა ჩაატარონ სათანადო პრევენციული ღონისძიებები, რათა მიიღონ გარანტირებული მოსავალი.

მზარდი არიდულობის პროცესები საქართველოში მეტად სერიოზულ პრობლემას წარმოადგენს, რომელიც დიდ საშიშროებას უქმნის ქვეყნის განვითარებას. გვალვიანობის შედეგად ირღვევა ჰიდროლოგიური წონასწორობა. წყლის რესურსების შემცირება კი მეტად უარყოფითად მოქმედებს გარემოზე, სოფლის მეურნეობაზე, ადამიანთა ჯანმრთელობაზე, ქვეყნის ეკონომიკასა და სოციალურ სფეროზე.

მომავალში მშრალი პერიოდების გახანგრძლივებისა და გვალვიანობის მატების პროგნოზის გამო, იქმნება დიდი საშიშროება მდინარეთა წყლიანობის შემცირებისა და გაუდაბნოების პროცესის განვითარებისა. მათი შენელება-შეჩერებისათვის კი საჭიროა შემუშავდეს და ჩატარდეს სათანადო საადაპტაციო და პრევენციული ღონისძიებები, რაც განაპირობებს ქვეყნის გამოყვანას კრიზისული მდგომარეობიდან და შექცევისდაგვარად მოსახლეობის დაცვას გვალვისა და გაუდაბნოების გამანადგურებელი ზემოქმედებისაგან.

1. 3. წყალმცირობის პრობლემები საქართველოში

საქართველოში 26060 მდინარის საერთო წლიური ჩამონადენი 1 კმ ფართობზე შეადგენს 0,9 მ-ს შეადგენს. მტკნარი წყლის ასეთი დიდი რესურსები ჩვენს ქვეყნისთვის დიდი სიმდიდრეა, რომელიც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ქვეყნის ეკონომიკის პოტენციალურ

შესაძლებლობას. მაგრამ აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ საქართველოს ფიზიკურ – გეოგრაფიული და კლიმატური პირობები განსაზღვრავს დიდ ჰიდროლოგიურ მრავალფეროვნებას და მდინარეთა ჩამონადენის არაპროპორციულ განაწილებას ფართობით და მოსახლეობით თითქმის თანაბარ დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს შორის: დასავლეთ საქართველოში 1340 ათასი მ (78 %) და აღმოსავლეთ საქართველოში 370 ათასი მ (22 %) წყალი მოდის. ერთ სულ მოსახლეზე წელიწადში 4-ჯერ მეტია წყალი (21600 მ) დასავლეთ საქართველოში, ვიდრე აღმოსავლეთ საქართველოში (5750 მ) [21].

ამასთან ერთად საყურადღებოა, რომ სარწყავი მიწების ფონდიდან დასავლეთ საქართველოში, სადაც უხვი ნალექებია, ირწყვება მხოლოდ 65 ათასი ჰა მიწა, რაზეც იხარჯება წყლის რესურსული პოტენციალის 2 %. ამიტომ აქ მდინარეებს არც რესურსული და არც ხარისხობრივი გამოფიტვა არ ემუქრებათ. აღმოსავლეთ საქართველოში კი, სადაც მშრალი კლიმატია, არის მთელი საქართველოს სარწყავი მიწების 85 %, რისთვისაც გამოიყენება აქ არსებული წყლის რესურსების 30 %, რაც წყლით სარგებლობის დონის დაქვეითებას გამოიწვევს [22].

აღმოსავლეთ საქართველოში მოსავლიანობის მისაღებად მოქმედებდა სარწყავი სისტემების ფართო ქსელი, რომლებიც 1992 წლიდან განადგურდა, გაიჩეხა ქარსაფარი ტყის ზოლები და შედეგად გაძლიერდა ეროზია. კლიმატის დათბობის პირობებში სამხრეთ – აღმოსავლეთით უკვე გაუდაბნოებულია 3000 ჰა ფართობი. თუ დროულად არ ჩატარდა სათანადო ღონისძიებები, გაუდაბნოების შენელება - შეჩერება შემდგომში უფრო რთული და ძვირადღირებული იქნება.

სასოფლო - სამეურნეო წარმოების მოცულობით, არამარტო აღმოსავლეთ საქართველოში, არამედ მთელი საქართველოს მასშტაბით წამყვანი რეგიონია კახეთი, სადაც ყველაზე ნაყოფიერი ნიადაგების ფართო ველებია. აქ სოფლის მეურნეობა მრავალდარგოვანია (მევენახეობა, მეხილეობა, მეპოსტნეობა, მემარცვლეობა, მესაქონლეობა, მეფუტკრეობა), მაგრამ ისინი აქ მაღალი მოწყველადობით გამოირჩევიან ამინდისა და კლიმატის ცვლილების მიმართ.

თანამედროვე კლიმატური მოდელებით ჩატარებული გამოთვლებით დადგინდა, რომ 2010 წელთან შედარებით 2050 წლისთვის კახეთის უმეტეს ტერიტორიაზე საშუალო წლიური ტემპერატურა 1,1 °C-ით, ხოლო 2100 წლისთვის 3,5 °C-ით მოიმატებს, ნალექები 2050 წლისთვის უმნიშვნელოდ შეიცვლება, მაგრამ 2100 წლისთვის ყველგან დაიკლებს 10 - 20 %-ით, როდესაც მკვეთრად გაიზრდება სარწყავ წყალზე მოთხოვნა. ასეთი პროგნოზი სოფლის მეურნეობის განვითარებისთვის მეტად არახელსაყრელია [23].

არსებული პროგნოზის თანახმად, XXI საუკუნის დასასრულისთვის კახეთის სამხრეთ ნაწილში (დედოფლისწყარო) მოსალოდნელია ჰიდროთერმული კოეფიციენტის 1,1-დან 0,7-მდე შემცირება, რაც რეგიონის კლიმატს მშრალი სუბტროპიკებიდან ძლიერ არიდულ კატეგორიაში გადაიყვანს. ბუნებრივია, ეს მეტნაკლებად გავრცელდება კახეთის მთელ ტერიტორიაზე, კლიმატის დათბობა გამოიწვევს სავეგეტაციო პერიოდის გახანგრძლივება – წანაცვლებას და საირიგაციო წყალმომხმარების გაზრდას [24].

კახეთში მოსახლეობის ძირითადი ნაწილი (> 80 %) დაკავებულია სასოფლო-სამეურნეო საქმიანობით. რეგიონის ბუნებრივი პირობები განაპირობებენ ხელოვნური მორწყვის აუცილებლობას. რეგიონი წარმოადგენს გაუდაბნოებისადმი მოწყველად ტერიტორიას, რაც კიდევ უფრო ამწვავებს მტკნარი წყლის რესურსების პრობლემას და სავარაუდოდ გამოიწვევს მოსახლეობის მიგრაციას.

ამჟამად კახეთის საირიგაციო სისტემა (ცხრილი 1. 3.) ფუნქციონირებს, მაგრამ არასრული დატვირთვით მუშაობს. სარწყავი სისტემების უმრავლესობას არა აქვს დარეგულირებული წყლის ჩამონადენი. არ არსებობს წყალაღების კონტროლი, საკოლექტორო - სადრენაჟო ქსელი და მორწყვის პროცესის ავტომატიზაცია. არხების სისტემა გასაწმენდია, მათ უმეტესობას მოუპირკეთებელი მიწის კალაპოტი აქვს, ბევრგან არის მიტოვებული არ-

ხები და ჭაბურღილები. ყოველივე ეს იწვევს მორწყვის უთანაბრობასა და წყლის ზედმეტ ხარჯვას, უარყოფითად მოქმედებს მიწების მელიორაციულ მდგომარეობაზე (ეროზია, დამლაშება, დაჭაობება) და აფერხებს სარწყავი სისტემის საიმედო ფუნქციონირებას. არსებული სარწყავი სისტემის უმრავლესობის მარგიქმედების კოეფიციენტი 0,4 – 0,6, ფილტრაციაზე წყლის დანაკარგებია 65 – 70 %, 20 – 30 % ტექნიკური დანაკარგებია, 3 - 6 % აორთქლება წყლის ზედაპირიდან და სხვა [25].

დღეისათვის მორწყვის პროგრესულ მეთოდებად ითვლება: შიდანიდაგური, ფესვკვეშა, წვეთოვანი და წვრილდისპერსიული, რომლებიც ამცირებენ დახარჯული წყლის ოდენობას. ყველა ეს მეთოდი ეფექტურია საქართველოსთვის, მაგრამ მათი გამოყენება დაკავშირებულია ტექნიკურ სირთულეებთან და დიდ მატერიალურ ხარჯებთან. საქართველოს პირობებში ყველაზე რაციონალურია თვითდინებითი სარწყავი არხები მექანიკური წყალამწევეებით, დასაწვიმი აგრეგატები და წვეთოვანი სისტემა.

ამჟამად ძირითადად გამოიყენება ზედაპირული თვითდინებითი ტექნოლოგია. ყველაზე მეტ ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა ხელოვნური დაწვიმება, როდესაც სარწყავი წყლის ნორმა 200 – 300 მ-ით მცირდება, მცირდება აგრეთვე წყლის დანაკარგები ფილტრაციაზე და აორთქლებაზე. მცირდება ეროზიის საშიშროება, მცენარეთა ფოთლებიდან ირეცხება მტვერი და სხვა ნივთიერებები, რის შედეგადაც უმჯობესდება ფოტოსინთეზის პროცესი (ნახშირბადის შეთვისება და ჟანგბადის გამოყოფა). მაგრამ დაწვიმებით რწყვას ართულებს ძლიერი ქარები, ამიტომ აუცილებელია მათი მოქმედების არეალში ქარსაფარი ზოლების არსებობა.

ცხრილი 1. 3. შიგნი კახეთის სარწყავი სისტემების არხები, საანგარიშო მიწის ფართობები, მორწყული და მოსარწყავი ფართობები

№	სარწყავი სისტემებისა და სარწყავი არხების დასახელება	საზრდობის წყარო	საანგარიშო მიწის ფართობი კა	არსებული სარწყავი ფართობი კა	სარწყავი ფართობი	
					მშენებარე, კა	გათვალისწინებული
1	ალაზნის ქვემო სარწყავი სისტემა	მდ. ალაზანი	34416	34416		
2	ალაზნის მარცხენა არხი	მდ. ალაზანი	1290	1290		
3	ალაზნის ზემო სარწყავი სისტემა	მდ. ალაზანი	41000		41000	
4	ალაზნის მარჯვენა არხი	ზემო ალაზნის სისტემა	22000			22000
5	ჯოყოლო-მატანის არხი	მდ. ალაზანი	1750	1750		
6	ალვანის არხი	მდ. ალაზანი	960			960
7	წნორი-მილარის სარწყავი სისტემა	მდ. ალაზანი	6000			6000
8	ილტოს სარწყავი არხი	მდ. ილტო	480	480		
9	ახმეტის სარწყავი არხი	მდ. ილტო	1120	1120		
10	მატანის სარწყავი არხი	მდ. ილტო	680	680		
11	თურდოს სარწყავი	მდ. თურდო	270	270		

	არხი					
12	ნაურდილის არხი	მდ. სტორი	11030	11030		9910
13	ღალისყურის არხი		1060	1060		1060
14	დიდისხევის სარწყავი არხი	მდ. დიდისხევი	570	570		
15	სანიორეს სარწყავი არხი	მდ. დიდისხევი	530	530		
16	ვედრების სარწყავი არხი	მდ. ლოპოტა	1670	1670		
17	ღურუჯის სარწყავი არხი	მდ. ღურუჯი	820	820		
18	კაბალას სარწყავი არხი	მდ. კაბალა	2730	1730		1000
19	ბარსუბნის სარწყავი არხი	მდ. ბაისუბანი	660	660		
ცხრილი 1. 3-ის გაგრძელება						
20	ბუდიონის სარწყავი არხი	მდ. ჩართლისხევი	1240	1240		
21	შრომა-კავშირის სარწყავი არხი	მდ. შრომისხევი	1140	1140		
22	ლაგოდების არხი	მდ. ლაგოდების წყალი	920	920		
23	ჩელთის სარწყავი არხი	მდ. ჩელთა	3000			3000
24	აფენის სარწყავი არხი	მდ. აფენისწყალი	530			530
25	თელავის, ყვარელის, ლაგოდების წვრილი არხები	წყაროები, ხეხები და ღელეები	14230	14230		
		სულ	150096	64636	41000	44430

თავი II. მდინარე ალაზნის წყალწარმოქმნელი ფაქტორები

2. 1. წყალწარმოქმნელი ფაქტორები და მათი მახასიათებლები

წყალწარმოქმნის ზედაპირული ფაქტორები. მდ. ალაზნის აუზი ჩრდილოეთით და ჩრდილო-აღმოსავლეთით შემოსაზღვრულია დიდი კავკასიონის ქედის სამხრეთი ფერდობებით. დასავლეთით და სამხრეთ-დასავლეთით – კახეთისა და ცივ-გომბორის ქედებით. აუზის ზედაპირზე გამოყოფილია რელიეფის სამი ტიპი:

I – ზ.დ. 3000 – 3500 მ სიმაღლის კავკასიონის ქედების ციცაბო ფერდობები, სადაც ჭარბობს ღრმა და ვიწრო ხეობები. აქ არსებული უმაღლესი მწვერვალებიდან აღსანიშნავია აღმოსავლეთით ალაზნის მარცხენა შენაკად სტორის სათავეებთან მდებარე მწვერვალი შავი კლდე (3578 მ) და მდ. ლაგოდუხის წყლის სათავეებთან ხონალდიდის მთა (3428 მ), ჩრდილოეთით კი, თვით მდ. ალაზნის სათავეებთან მდებარეობს დიდი ბორბალოს მთა (3294 მ). აუზის მთიან ზონაში 2000 მ-ის ზევით ალპური ბალახეულობით დაფარული მდელოებია, მის ქვევით 1200 მ სიმაღლემდე კი – ტყის ნიადაგები;

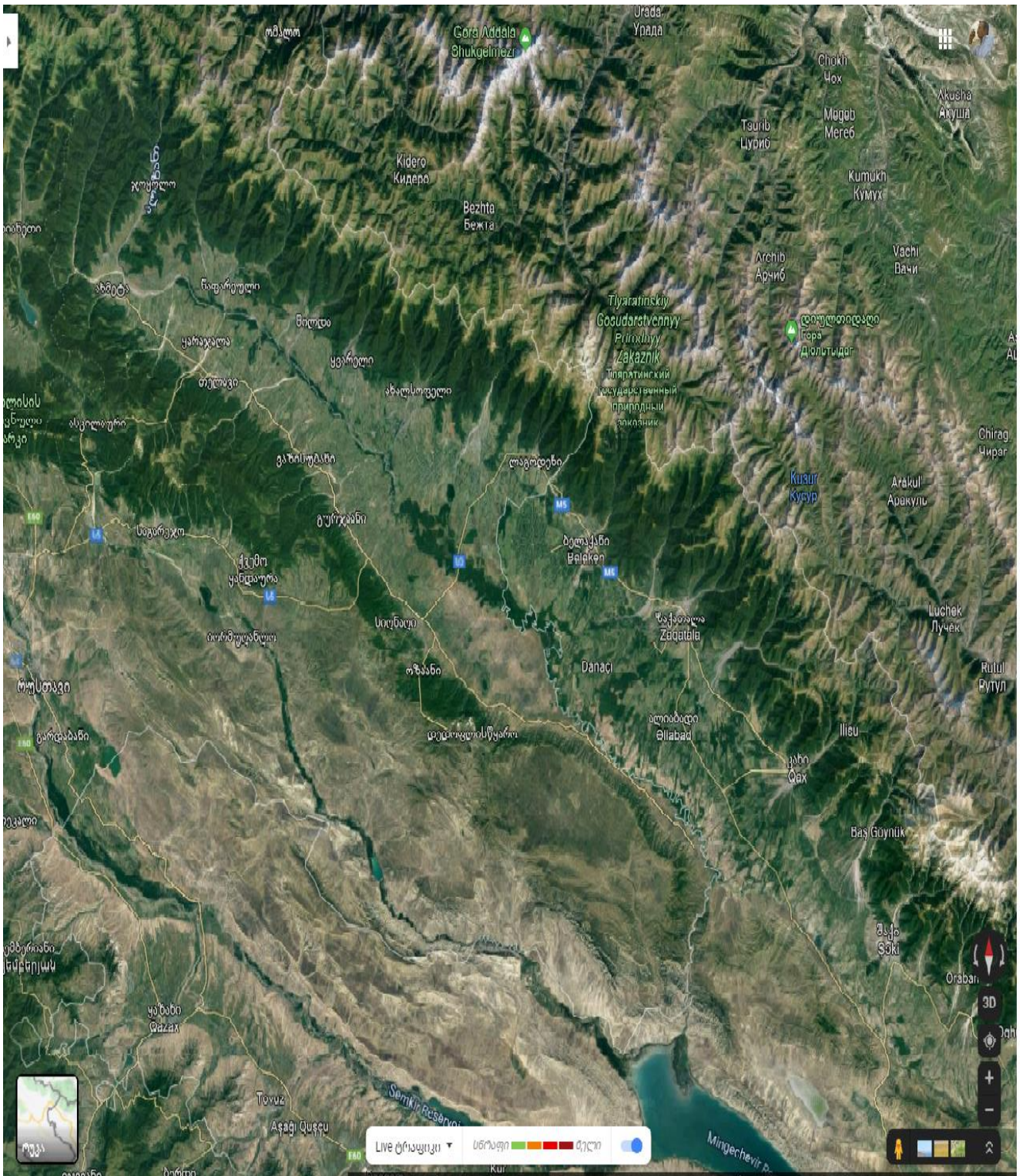
II – მთისწინები აგებულია მდ. ალაზნის შენაკადების მიერ შემოტანილი მასალის გამოზიდვის კონუსებით. აქ 1200 მ სიმაღლიდან 800 მ-მდე ნაყოფიერი ნიადაგებია, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება ვენახებისა და ხეხილის ბაღების გასაშენებლად, მარცვლოვანი კულტურების მოსაყვანად. უფრო ქვევით, 400 მ სიმაღლემდე, აუზის 46 % (სოფ. ზემო ქედის ზევით) მუხნარ და რცხილნარ ტყეებს უკავია, დაბლობებში კი ჭარბობს ბუჩქნარები;

III – აუზის 300 – 600 მ სიმაღლეთა შუალედში გაშლილია ალაზნის ვაკე, რომელიც ალაზნის ზემო წელში მის მარჯვენა შენაკად ილტოს შესართავთან იწყება და სამხრეთ-აღმოსავლეთით 160 კმ სიგრძეზე ვრცელდება. ვაკის სიგანე დასაწყისში 5 კმ-ია, ქვემოთ კი განიერდება და 38 კმ-ს აღწევს. ვაკეზე მარცვლეულის ნათესები და ვენახებია [1]. აუზის უდაბლესი ადგილი (სიმაღლე 90 მ) დაფიქსირებულია მინგეჩაურის წყალსაცავთან, სადაც მდ. ალაზანი მტკვარს უერთდება. მდინარის აუზში სიმაღლეთა ასეთი დიდი სხვაობა განაპირობებს მისი კალაპოტის დიდ დაქანებას, რაც ხელშემწყობი ფაქტორია წყალწარმოქმნის პროცესისათვის.

სურ. 2. 1-ზე გამოსახულია მდ. ალაზნის აუზის რუკა. მდ. ალაზნის მარცხენა შენაკადები (სტორი, დიდხევი, ლოპოტა, ჩელთი, დურუჯი და სხვა), რომლებიც კავკასიონის სამხრეთ ციცაბო ფერდობებზე ჩამოედინება, უხვწყლიანია, ახასიათებს ჭორომიანი და ჩანჩქერებიანი კალაპოტის მქონე ვიწრო და ღრმა ხეობები. ისინი იწვევენ ძალზე ღრმა ეროზიას და ქვემო წელში ქმნიან გამოზიდვის კონუსებს.

ალაზნის მარჯვენა შენაკადები (ილტო, თურსო, კისისხევი, ჩერემისხევი და სხვა) მცირე წყლიანობით გამოირჩევა და ვარდნაც ასევე მცირე აქვს. მდ. ალაზნის ორივე მხარის შენაკადებისათვის ხშირია ღვარცოფები, და მათ მიერ ჩამოტანილი დიდი რაოდენობით ნატანი მასალა დიდ ზიანს აყენებს შიდა კახეთის მოსახლეობასა და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს.

წყლის ჩამონადენის ძირითადი მაფორმირებელი ფაქტორები. მდინარის წყლის ჩამონადენის ფორმირება პირველ რიგში დამოკიდებულია აუზის კლიმატურ პირობებზე, რომელთა შორის გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს კლიმატის ისეთ ცვალებად ელემენტებს, როგორცაა ატმოსფერული ნალექები, ჰაერის ტემპერატურა და თოვლის საფარი. სწორედ მათანაა დაკავშირებული წყლის ჩამონადენის მთავარი წარმომქმნელი ფაქტორები. კერძოდ, ატმოსფერული ნალექები განაპირობებს მდინარის წყლიანობას; მათი განაწილება დროსა და სივრცეში განსაზღვრავს ჩამონადენის რეჟიმს. ზამთარში დაგროვილი თოვლის მარაგი სიმაღლითი ზონების მიხედვით მდინარის გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდის ჩამონადენის რაოდენობის მაჩვენებელია. ჰაერის ტემპერატურა კი განსაზღვრავს როგორც მდინარის საზრდოობის პირობებს, თოვლისა და ყინულის დაგროვებას და მის დნობას, ისე აუზის ზედაპირიდან აორთქლებას და ამდენად, მდინარეში წყლის მოდინების რეჟიმსა და ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილების ხასიათს.



სურ. 1. მდ. ალაზნის აუზის რუკა.

მდინარის აუზის ჰავის თავისებურებას განაპირობებს მისი ზედაპირის ოროგრაფიული ხასიათი. აუზი სამი მხრიდან გარშემორტყმულია მაღალი და საშუალო სიმაღლის ქედებით, რაც შიდა კახეთის ვაკისა და მთისწინების ზონას იცავს ჰაერის ცივი მასების შემოჭრისაგან და ხელს უწყობს საკმაო რაოდენობით ატმოსფერული ნალექების მოსვლას. სამხრეთ-აღმოსავლეთიდან აუზს აქვს ღია მდებარეობა. ამ მხრიდან შემოჭრილი სამხრეთ-აღმოსავლეთის თბილი მასები სათანადო გავლენას ახდენს იქაურ თერმულ რეჟიმზე და საერთოდ კლიმატის ფორმირებაზე.

დასავლეთიდან შემოჭრილი ჰაერის მასები ტენით გაღარიბებულია. კახეთისა და ცივ-გომბორის ქედებიდან დაშვებული ჰაერის მასები თბება და შრება, რის გამოც აღნიშნული ქედების ჩრდილო-აღმოსავლეთ ფერდობებზე ნალექების გამოყოფა არ ხდება. ხეობაში შემოჭრილი გამშრალი ჰაერის მასების ნაწილი მიემართება სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ, ხოლო ნაწილი – კავკასიონის ქედისაკენ და ციცაბო ფერდობებზე ასვლისას ხდება მისი გაცივება და ჰაერის გაჟღენთვა კონდენსაციის წერტილამდე. ამის შედეგად გამოიყოფა მეტი ნალექი, ვიდრე კახეთისა და ცივ-გომბორის ქედების ჩრდილო – აღმოსავლეთ ფერდობებზე. აღმოსავლეთიდან შემოჭრილი ჰაერის მასები განიცდის იძულებით აღმასვლას, რის გამოც წარმოიშობა მნიშვნელოვანი ღრუბლიანობა, ჩნდება ნისლი და მოდის უხვი ატმოსფერული ნალექი. ამრიგად, მდ. ალაზნის აუზში ორივე მხრიდან შემოჭრილი ჰაერის მასები იწვევს არამარტო უხვ ნალექებს, არამედ წლის თბილ პერიოდში ხშირ ელჭექებსა და სეტყვას, რაც დიდ ზიანს აყენებს კახეთის სოფლის მეურნეობას [2].

კლიმატური ელემენტების დასახასიათებლად გამოყენებულ იქნა აუზში ადრე არსებული და ამჟამად მოქმედი მეტეოსადგურებისა და საგუშაგოების მრავალწლიური მონაცემები. 2. 1. ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ აუზის ვაკისა და მთისწინების ზონაში საკმაო რაოდენობის (620 – 1100 მმ) ატმოსფერული ნალექები მოდის. მათი რაოდენობა ძირითადად განპირობებულია ადგილმდებარეობით. ნალექების წლიური ჯამი მატულობს კავკასიონის ქედისა (ლაგოდეხი 1004 მმ) და ჩრდილო – დასავლეთის მიმართულებით (ჯოყოლო 1100 მმ), ხოლო ცივ-გომბორის ქედისა და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით – კლებულობს (წნორი – 568 მმ, ალაზანი – 617 მმ).

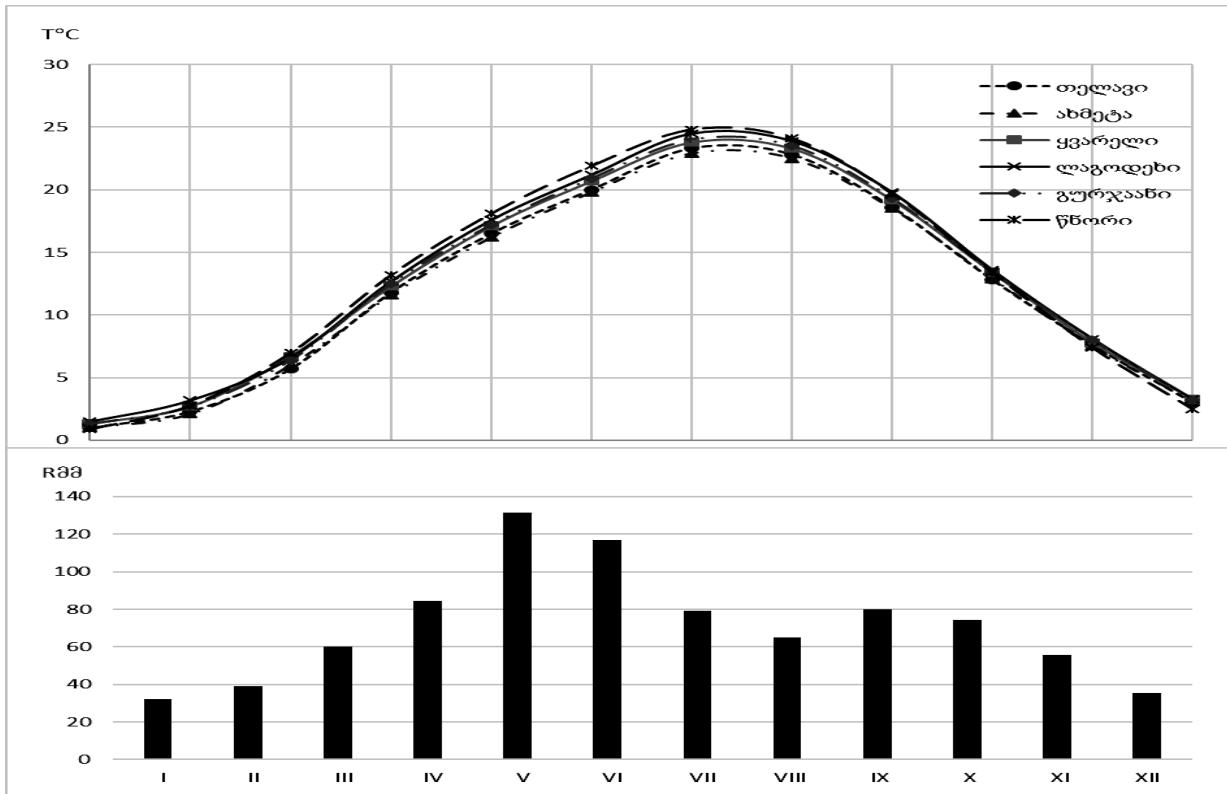
ცხრილი 2. 1. ატმოსფერული ნალექების ჯამი (მმ) და ჰაერის ტემპერატურა (°C)

მეტეოპუნქტი	სიმაღლე (მ)	ატმოსფერული ნალექები (მმ)			ჰაერის ტემპერატურა (°C)		
		I – XII	IV – X	XI – III	საშ.	მაქს.	მინ.
გომბორი	1085	730			8,1		
სიღნაღი	795	735			11,1	37	-24
ბირკიანი	758	1097	800	297			
ჯოყოლო	663	1100			10,8	38	-26
თელავი	568	770	590	180	12,1	39	-23
ახმეტა	567	788	562	226	12,0	38	-23
ყვარელი	448	991	759	232	12,6	38	-23
ლაგოდეხი	435	1024	736	268	12,6	38	-23
გურჯაანი	415	741	543	198	12,7	39	-22
ალაზანი	290	617			13,3	40	-24
წნორი	223	568	420	148	13,0	40	-25

ნახ. 2. 1-ზე მოცემულია მდ. ალაზნის აუზში ყველა მეტეოსადგურის ატმოსფერულ ნალექებზე მრავალწლიან დაკვირვებათა გასაშუალოებული მნიშვნელობები (მმ) ცალკეული თვეების მიხედვით. ნალექების შიდაწლიური განაწილება მეტად არათანაბარია. ყველაზე დიდი რაოდენობის ნალექი (93 – 172 მმ) მოდის მაისსა და ივნისში, ყველაზე ნაკლები – ზამთრის თვეებში (იანვარში 22 – 42 მმ). ზაფხულის თვეებში ნალექები ნაკლებია (მაგალითად აგვისტოში 39 – 92 მმ) გაზაფხულის თვეებთან შედარებით. ზოგადად თითქმის ყველაგან წელიწადის თბილ პერიოდში (IV – X) მოსული ნალექები (420 – 800 მმ) ორჯერ აღემატება ცივ პერიოდში (XI – III) მოსულ ნალექებს (148 – 297 მმ).

როგორც 2. 1 ცხრილიდან ჩანს, ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა, ჩვეულებრივ, ადგილის სიმაღლის მატებასთან ერთად კლებულობს 13-დან (223 მ) 8 °C-მდე (1085 მ). მაქსიმალური ტემპერატურა (40 °C) ფიქსირდება დაბლობებში (წნორში და

ალაზანზე), უფრო მაღალ ადგილებში ის მერყეობს 39 – 37 °C-ის ფარგლებში. აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურა კი –23 და –25 °C-ის ფარგლებშია. ძლიერმა უარყოფითმა ტემპერატურამ შეიძლება დააზიანოს ვაზი და სხვა კულტურები, განსაკუთრებით წნორის ტერიტორიაზე, სადაც იგი –25 °C-ს აღწევს. ზამთრის ყინვები და უთოვლობა ცუდად მოქმედებს საშემოდგომო ხორბლის ნათესებზეც. ყველაზე ცივი თვეა იანვარი, როცა საშუალო თვიური ტემპერატურაა 0,9 – 1,5 °C. ყველაზე ცხელი კი – ივლისი და აგვისტო, როცა თვიური ტემპერატურა 23 – 25 °C-ს აღწევს.

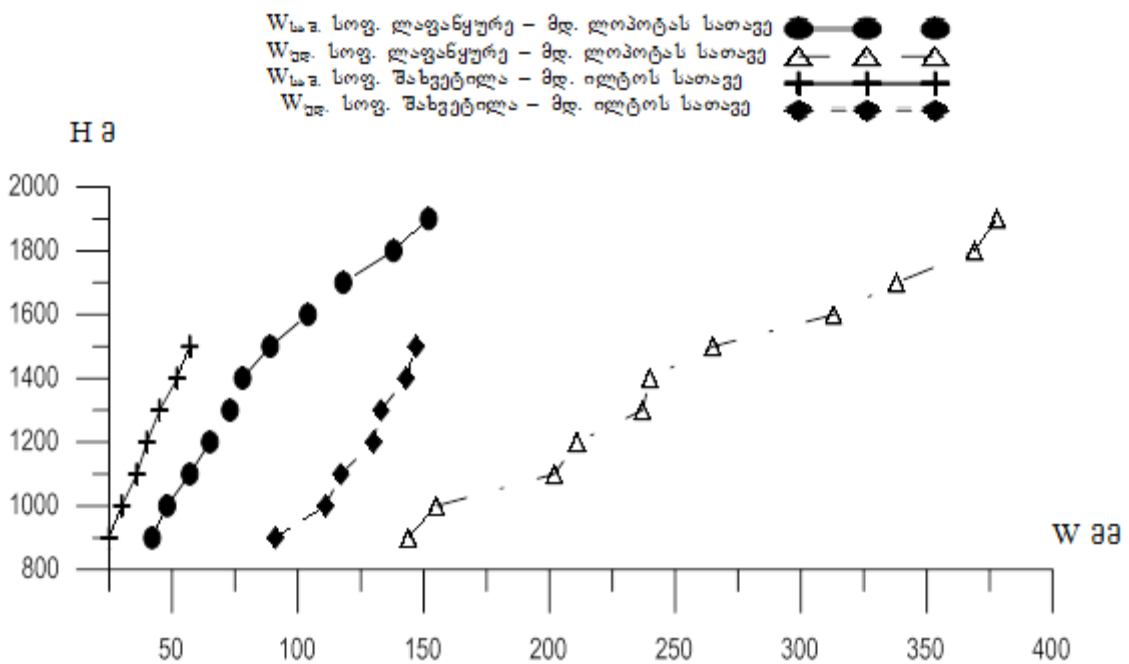


ნახ. 2. 1. მდ. ალაზნის აუზში ატმოსფერული ნალექებისა (R მმ) და ჰაერის ტემპერატურის (T °C) საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები ცალკეული თვეების მიხედვით.

მდინარის ჩამონადენის რაოდენობასა და დროის მიხედვით მის განაწილებაზე, ნალექებისა და ჰაერის ტემპერატურის გარდა, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სხვადასხვა სიმაღლით ზონაში ზამთარში დაგროვილ თოვლში არსებული წყლის მარაგი. 2. 2. ნახ-ზე წარმოდგენილია ჩვენმიერ მდ. ალაზნის აუზში არსებული თოვლის საფრის მარშრუტული აგეგმვის მასალების მრავალწლიური მონაცემების დამუშავების შედეგები. აქ მოცემული მახასიათებლები აღწერს თოვლის საფრის მდგომარეობას მარტის თვის დასაწყისისათვის, როდესაც იწყება მისი დნობა და მოქმედება მდინარის წყლის ჩამონადენზე ალაზნის მარჯვენა შენაკად ილტოსა და მარცხენა შენაკად ლოპოტას ხეობებში.

თოვლის წყლიანობა (ნახ. 2. 2) იზრდება ჩვეულებრივ სიმაღლის მატებასთან ერთად მდ. ლოპოტას ხეობაში 42-დან (900 მ სიმაღლეზე) 152 მმ-მდე (2000 მ-ზე), ხოლო მდ. ილტოს ხეობა უფრო მცირეთოვლიანია და თოვლის წყლიანობა იცვლება 25-დან (900 მ-ზე) 87 მმ-მდე (1600 მ-ზე). მათი ვარიაციის კოეფიციენტი (Cv) იცვლება სიმაღლის მიხედვით მდ. ილტოს ხეობაში 0,85-დან (900 მ-ზე) 0,53-მდე (1600 მ-ზე). მდ. ლოპოტას ხეობაში ვარიაცია უფრო მაღალია და მისი კოეფიციენტი იცვლება 1,06-დან (700 მ-ზე) 0,66-მდე (2000 მ-ზე).

აღსანიშნავია, რომ თოვლის საფარი იცავს ნაკლებად ყინვაგამძლე სასოფლო-სამეურნეო კულტურებს ჰაერის უარყოფითი ტემპერატურებისაგან. ამიტომ მიწათმოქმედების სპეციალისტებისათვის მნიშვნელოვანია თოვლის საფრის გაჩენისა და გაქრობის თარიღები. თოვლის საფრიან დღეთა რაოდენობა არ არის ბევრი, თუმცა შედარებით მეტია თელავში (33 დღე) და ყველაზე მცირე (10 დღე) – წნორში. თოვლის საფარი შედარებით ადრე ჩნდება და გვიან დნება ახმეტაში, ხოლო შედარებით გვიან ჩნდება და ადრე დნება ყვარელში, ლაგოდეხსა და წნორში. თოვლის საფრის სიმაღლეზე დამოკიდებული ნიადაგის ზედაპირისა და მისი სიღრმის გაყინვის ტემპერატურები (მაღალი თოვლის საფარი ამცირებს ნიადაგის გაყინვის ტემპერატურას). მაგრამ განხილული მეტეოსადგურების მონაცემებით აღრიცხული თოვლის საფრის საშუალო დეკადური სიმაღლე 2–5 სმ-ია.



ნახ. 2. 2. მდ. ალაზნის აუზში მარტის თვეში აღრიცხული თოვლში არსებული წყლის მარაგის (მმ) საშუალო მრავალწლიური და უდიდესი მნიშვნელობები სიმაღლითი ზონების მიხედვით.

სასოფლო-სამეურნეო კულტურებისათვის მეტად არახელსაყრელი მოვლენაა გვალვა. იგი ცხელი ($> 30^{\circ}\text{C}$) ზაფხულის პირობებში და მცირე დღე-ღამური ნალექების (5 მმ-მდე) დროს ქმნის მცენარეთა განვითარებისათვის არასაკმარისი ტენიანობის პირობებს. სუსტი და საშუალო ინტენსიურობის გვალვები რეგიონის ტერიტორიაზე ყოველწლიურადაა მოსალოდნელი. გვალვების შემთხვევები ხშირად არ არის კატასტროფული, მაგრამ იგი მნიშვნელოვანია მოსავლის შენარჩუნებისათვის. ასეთ პირობებში უნდა განხორციელდეს ნიადაგის ხშირი მორწყვა და კულტივაცია.

2. 2. კლიმატური ფაქტორების დინამიკა

სადღეისოდ დედამიწაზე მიმდინარე კლიმატის გლობალური დათბობა მრავალმხრივ აისახა მდ. ალაზნის აუზში არსებულ ბუნებრივ პირობებზე და, შესაბამისად, მის წყლიანობაზე. ეს პროცესები გამოვლენილ იქნა ჯერ კიდევ გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციის საქართველოს პირველ ეროვნულ შეტყობინებაში 1999 წელს [3], სადაც აღნიშნული იყო, რომ ჰაერის ტემპერატურის საუკუნოვანმა ნაზრდმა აღმოსავლეთ საქართველოში და კერძოდ კახეთში, $0,5^{\circ}\text{C}$ -ს მიაღწია.

2009 წელს მეორე ეროვნულ შეტყობინებაში [4] გაერთიანებული სამეფოს ჰადლეის ცენტრში დამუშავებული კლიმატის ცვლილების რეგიონული მოდელის (RegCM4) მიხედვით, პროგნოზირებულ იქნა ჰაერის ტემპერატურის, ნალექთა ჯამების, სინოტივისა და ქარის სიჩქარის მოსალოდნელი ცვლილება 2100 წლამდე დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს კლიმატური ოლქისათვის როგორც წლიური, ასევე სეზონების მიხედვით. აღმოსავლეთ საქართველოში 2100 წლისათვის ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის 4 °C-ით მატებას თან მოჰყვება ნალექების 14 %-იანი კლება. პროცესები განსაკუთრებით მწვავე ხასიათსღებულობს ზაფხულში, როდესაც ტემპერატურის მატებისა და ნალექების კლების ტენდენცია გაცილებით მეტი იქნება, ვიდრე სხვა სეზონებში (ცხრილი 2. 2).

2015 წელს გამოიცა კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინება [5], რომელშიც კახეთის რეგიონის რვა მეტეოსადგურისათვის მოცემულია მეტეოელემენტების წლიური და სეზონური მნიშვნელობები დაკვირვებათა ორი 25-წლიანი პერიოდისათვის: I პერიოდი მოიცავს 1961 – 1985 წლებს და II – 1986 – 2010 წლებს. მათ შორის სხვაობები, რომელთა მიხედვით გლობალური დათბობის გააქტიურების შედეგად 1986 – 2010 წლებში 1961 – 1985 წლებთან შედარებით გამოვლინდა მეტეოელემენტების შემდეგი ცვლილებები: ატმოსფერული ნალექების წლიური ჯამები 5 მეტეოსადგურზე შემცირდა -4 %-ით. შემცირების მაქსიმუმი (-10 %) დაფიქსირდა საგარეჯოში. ნალექები გაიზარდა 2 მეტეოსადგურზე +4 %-ით, ზრდის მაქსიმუმი (+8 %) იყო ლაგოდეხში. ჰაერის საშუალო წლიურმა ტემპერატურამ ყველგან მოიმატა საშუალოდ 0,5 °C-ით, მაქსიმალური მატება (+7 °C-ით) აღინიშნა დედოფლისწყაროში.

ცხრილი 2. 2. 2100 წლისათვის პროგნოზირებული ჰაერის ტემპერატურისა (T, °C) და ატმოსფერული ნალექების (R, მმ) მნიშვნელობები აღმოსავლეთ საქართველოში

სეზონი	გაზაფხული		ზაფხული		შემოდგომა		ზამთარი		წლიური	
	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R
საბაზისო პერიოდი	9,3	15,8	20,5	170	11,6	126	1,0	85	11,3	570
2100 წ.	13,9	93	26,4	98	15,7	81	5,5	56	15,4	487
სხვაობა	4,6	-65	5,9	-72	4,1	-45	4,5	-29	4,1	-83

წლის სეზონების მიხედვით მეტეოელემენტები ასე შეიცვალა:

ზამთარში დათბობა დაფიქსირდა ყველა სადგურზე საშუალოდ + 0,4 °C-ით, მაქსიმალური (+7 °C) აღინიშნა წნორში. ზამთრის ნალექებმა მოიმატა საშუალოდ 9 %-ით ყველა სადგურზე, გარდა საგარეჯოსი, სადაც ისინი შემცირდა - 8,7 %-ით. ქარის სიჩქარე შემცირდა ყველა სადგურზე.

გაზაფხულზე ტემპერატურა გაიზარდა 5 სადგურზე საშუალოდ 0,2 °C-ით. უცვლელი დარჩა გურჯაანში. ნალექებმა იმატა 4 სადგურზე საშუალოდ +6 %-ით და დაიკლო 3 სადგურზე საშუალოდ -5 %-ით, ქარი ყველგან შემცირდა.

ზაფხულში დათბობა აღინიშნა ყველა სადგურზე საშუალოდ +0,8 °C-ით, მაქსიმალურად (+1,4 °C-ით) მოიმატა დედოფლისწყაროში. ნალექებმა იკლო 7 სადგურზე საშუალოდ - 18 %-ით, ხოლო მოიმატა მხოლოდ ლაგოდეხში +7 %-ით. მკვეთრად შემცირდა ნალექები: - 25 %-ით საგარეჯოში.

შემოდგომაზე დათბა ყველა სადგურზე საშუალოდ +0,5 °C-ით, მაქსიმალური მატება (0,8 °C) აღინიშნა დედოფლისწყაროში. ნალექების ჯამი გაიზარდა ყველგან +10 %-ით. უდიდესი ნაზრდი (20 %) იყო დედოფლისწყაროში [6].

ამრიგად, კახეთში კლიმატის ცვლილება 1986 – 2010 წლებში ყველაზე მეტად გამოვლინდა ზაფხულში, როდესაც ტემპერატურამ მოიმატა და ნალექები შემცირდა. ყველაზე ნაკლებია კლიმატის ცვლილება გაზაფხულზე. ყველაზე ხანგრძლივი ვეგეტაციის

პერიოდი და მაღალ აქტიურ ტემპერატურათა ($\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) ჯამი იყო და რჩება ლაგოდესში. ყველაზე მოკლე სავეგეტაციო პერიოდია დედოფლისწყაროსა და საგარეჯოში. ნალექები ვეგეტაციის პერიოდში ყველაზე მაღალია ლაგოდესში, ყველაზე მცირე კი – დედოფლისწყაროში. ნალექები მომატებულია ლაგოდესში, სხვაგან ყველგან დაკლებულია.

2013 წელს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში შედგენილ [7] ნაშრომში განსაზღვრულია ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექების ცვლილების სიჩქარე ყოველ 10 წელიწადში 1936 – 2008 წლების პერიოდში საქართველოს ცალკეული მეტეოსადგურებისათვის, მათ შორის კახეთის ტერიტორიაზე (ცხრილი 2. 3), რომლის მიხედვით ატმოსფერული ნალექების 10-წლიანი ცვლილების სიჩქარეები უარყოფითი იყო, ე.ი. ნალექები მცირდებოდა, გარდა დედოფლისწყაროსა და შირაქისა. ნალექების წლიური ჯამების კლების სიჩქარე მერყეობდა -6 -დან (გურჯაანში) -50 მმ-მდე (თიანეთში), დედოფლისწყაროში კი ის $+10$ მმ-მდე იზრდებოდა. თბილ პერიოდში ნალექები ყოველ 10 წელიწადში კლებულობდა $-0,5$ -დან (შირაქი) -38 მმ-მდე (თიანეთი) სიჩქარით.

ჰაერის საშუალო წლიური და იანვრის თვის ტემპერატურის 10-წლიანი ცვლილების სიჩქარე ყველგან დადებითი იყო, ე. ი. იზრდებოდა. საშუალო წლიური ტემპერატურის მატების სიჩქარე იცვლებოდა $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ -დან (შირაქში) $0,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ -მდე (ნაფარეულში). აქ გამონაკლისია მეტეოსადგური ალაზანი, სადაც ტემპერატურის კლება აღინიშნებოდა $-0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ სიჩქარით. ცივი, იანვრის თვის ტემპერატურის ზრდის სიჩქარე კი იცვლება $0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ -დან (თელავში) $0,18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -მდე (გომბორზე). ცხელი – ივლისის თვის ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე ზოგან უარყოფითი იყო და მცირდებოდა (შირაქში $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ით, ალაზანზე $-0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$, დედოფლისწყაროში $-0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$), დანარჩენ მეტეოსადგურებზე კი აღინიშნებოდა ტემპერატურის ზრდა $0,01$ -დან (ლაგოდესი) $0,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ -მდე (ნაფარეული).

ცხრილი 2. 3. ჰაერის ტემპერატურისა ($^{\circ}\text{C}$) და ატმოსფერული ნალექების (მმ) ცვლილების სიჩქარე ყოველ 10 წელიწადში 1936 – 2008 წლების მონაცემებით

მეტეოპუნქტი	სიმაღლე მ	ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე, $^{\circ}\text{C}$			ატმოსფერული ნალექების ცვლილების სიჩქარე, მმ		
		I-XII	იანვარი	ივლისი	I-XII	IV-X	XI-III
ომალო	1880	0,05	0,01	0,10			
თიანეთი	1091	0,10	0,07	0,10	-50	-38	-12
გომბორი	1085	0,08	0,18	0,09	-19	-17	-2,2
საგარეჯო	802	0,06	0,14	0,10	-31	-21	-11
დედოფლისწყარო	800	0,09	0,08	-0,05	9,6	4	5,3
იყალთო	700	0,03	0,02	0,04			
ჯოყოლო	665	0,05	0,01	0,02			
თელავი	568	0,05	0,03	0,05	-12	-9	-2,6
1975 – 2008		0,23	0,15	0,02			
ახმეტა	567	0,11	0,07	0,15	-23	-11	-8,6
შირაქი	550	0,01	0,09	-0,15	0,5	-0,5	
ყვარელი	449	0,06	0,10	0,07	-10	-7	-3,6
1975 – 2008		0,37	0,34	0,06			
ლაგოდესი	435	0,0	0,12	0,01	-23	-16	-8
ნაფარეული	423	0,11	0,08	0,16			
გურჯაანი	415	0,05	0,14	0,06	-6	-3,5	-2,5
ალაზანი	290	-0,02	0,11	-0,09			

აღსანიშნავია, რომ ინტენსიური გლობალური დათბობის პერიოდში (1975 – 2008 წწ.) წლიური და იანვრის ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარე ყოველ 10 წელიწადში მაღალი იყო: ყვარელში 0,34 – 0,37 °C და თელავში 0,15 – 0,25 °C, ივლისში კი ტემპერატურის მატება შედარებით ზომიერი იყო.

ჩვენ მიერ [6] ნაშრომში განხილულია მდ. ალაზნის აუზის ტერიტორიაზე არსებულ ჰიდრომეტეოროლოგიურ ქსელში განხორციელებულ მრავალწლიან დაკვირვებათა რიგების ანალიზი 2010 წლამდე. კერძოდ შესწავლილია მდ. ალაზნის აუზის მარჯვენა და მარცხენა მხარეზე არსებული თელავისა და ლაგოდეხის მეტეოსადგურებზე მთავარი წყალწარმოქმნელი ფაქტორების ატმოსფერული ნალექებისა და ჰაერის ტემპერატურის ყოველწლიური ცვლილების ამსახველი ტრენდები.

როგორც ირკვევა, მდ. ალაზნის აუზის ორივე მარჯვენა და მარცხენა მხარეს ხდება ჰაერის ტემპერატურის გაზრდა და ნალექების მნიშვნელოვანი შემცირება, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მოსალოდნელია მდ. ალაზნის აუზში მდინარეთა წყლის ჩამონადენის შემცირება. აქვე შევნიშნავთ, რომ ტემპერატურის მატებისა და ნალექების შემცირების მაღალი ინტენსიურობით გამოირჩევა მდინარის მარცხენა მხარე. ლაგოდეხის მეტეოსადგურის მონაცემებით ნალექების წლიური ჯამი ყოველწლიურად მცირდება 2,32 მმ-ით, ხოლო თელავის მეტეოსადგურის მონაცემებით მათი შემცირების სიჩქარე განახევრებულია და 1,18 მმ-ს შეადგენს. ჰაერის საშუალო ტემპერატურის ყოველწლიური მატების სიჩქარე პირველ შემთხვევაში 0,007 °C-ია, მეორეში კი – 0,005 °C [5].

2. 3. მთავარი წყალწარმოქმნელი ფაქტორების მოსალოდნელი მნიშვნელობები.

კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციის საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინების [5] ფარგლებში მოხდა კლიმატური ფაქტორების მოსალოდნელი ცვლილების შეფასება საქართველოს 33 მეტეოსადგურის 1961 – 2010 წწ. დაკვირვების მონაცემებზე დაყრდნობით. ვინაიდან სადგურების უმრავლესობა ბარში მდებარეობს, მთიანი ნაწილების დასახასიათებლად გამოყენებულ იქნა მთელი დედამიწის 50 კმ-იან ბადეზე დაკვირვების სადგურებიდან მიღებული ინფორმაციის სივრცულ-დროითი ინტერპოლირების მეთოდი კლიმატური ელემენტის მნიშვნელობის გამოსათვლელად. ამ მონაცემთა ბაზაზე კლიმატის რეგიონული მოდელის (RegCM4) გამოყენებით კახეთის 8 მეტეოსადგურისათვის ცალ-ცალკე შედგენილ იქნა საპროგნოზო სცენარები 2021 – 2050 და 2071 – 2100 წლების პერიოდებისათვის.

2. 4. ცხრილის მონაცემების მიხედვით 2010 წლისთვის 1985 წელთან შედარებით ტემპერატურის ნაზრდმა მაქსიმუმს 0,8 °C-მდე ზაფხულში მიაღწია, ხოლო მინიმალური მატება 0,2 °C-მდე იყო გაზაფხულზე. 2021 – 2050 წლებში 1986 – 2010 წლებთან შედარებით, კახეთის ტერიტორიაზე, ყველა სადგურზე მოსალოდნელია საშუალო წლიური ტემპერატურის მატება 1 – 1,2 °C-ით, ხოლო სეზონური ტემპერატურისა 0,7 °C-დან 1,4 °C-მდე. 2050 წლისათვის კახეთში მოსალოდნელია საშუალო ტემპერატურის მატება 1,1 – 1,2 °C-ით; სეზონური ტემპერატურების დიდი ნამატი (1,4 °C) კი – გაზაფხულზე წნორში და შემოდგომაზე ლაგოდეხში. ყველაზე მცირე ნამატი (0,7 °C) იქნება ზაფხულში დედოფლისწყაროში.

ყველაზე მაღალი საშუალო წლიური ტემპერატურები (14,6 – 14,7 °C) 2021 – 2050 წლებში მოსალოდნელია ლაგოდეხში, თელავსა და წნორში, ყველაზე დაბალი (12,3 °C) კი – დედოფლისწყაროში. რაც შეეხება სეზონურ ტემპერატურებს, ზამთარში მაღალი საშუალო ტემპერატურა (4,4 °C) ნავარაუდებია ლაგოდეხში, დაბალი (2,1 °C) კი – დედოფლისწყაროში. გაზაფხულზე 14 °C ტემპერატურა მოსალოდნელია წნორში, 11 °C კი – დედოფლისწყაროში. ზაფხულში მაღალი (25,4 °C) ტემპერატურა იქნება ასევე წნორში, დაბალი (22,8 °C) კი – დედოფლისწყაროში. შემოდგომაზე მაღალი ტემპერატურა (17,9 °C) მოსალოდნელია ლაგოდეხში, დაბალი (15,6) კი – ისევ დედოფლისწყაროში.

2071 – 2100 წლებში საშუალო წლიური ტემპერატურის ნამატი 1986 – 2010 წლებთან შედარებით იქნება 3,3 – 3,6 °C. მაღალი საშუალო წლიური ტემპერატურა 17 °C მოსალოდნელია ლაგოდეხში, შედარებით დაბალი (14 °C) – დედოფლისწყაროში.

სეზონური ტემპერატურების ნამატი 2021 – 2050 წლებთან შედარებით მერყეობს 2,3 °C-დან 4,2 °C-მდე. ზამთარში ყველაზე მაღალი ნამატი (3 °C) იქნება ყვარელსა და თელავში, მცირე ნამატი (2,3 °C) – წნორში. ზამთრის მაღალი ტემპერატურა (6,1 °C) იქნება ყვარელსა და ლაგოდეხში, მცირე (3,6°C) – დედოფლისწყაროში. გაზაფხულზე ტემპერატურის მაღალი ნამატი (4 °C) იქნება წნორში, დაბალი (3,3 °C) – ახმეტაში. გაზაფხულზე შედარებით მაღალი ტემპერატურები (16,6 °C) იქნება წნორში, დაბალი (13,6 °C) – დედოფლისწყაროში. ზაფხულში ტემპერატურის მაღალი ნამატი (4,2 °C) მოსალოდნელია გურჯაანში და წნორში, ზაფხულის მაღალი ტემპერატურები (28,3°C) – წნორში, შედარებით დაბალი (25,6 °C) – დედოფლისწყაროში. შემოდგომაზე მაღალი ნამატი (3,8 °C) იქნება გურჯაანში, დაბალი (3,4) – ისევ დედოფლისწყაროში. შემოდგომის საშუალო სეზონური ტემპერატურის მაღალი მნიშვნელობა (17,9 °C) იქნება ლაგოდეხში, დაბალი ტემპერატურები (15,6 °C) კვლავ დედოფლისწყაროში [5].

ცხრილი 2. 4. ქაერის საშუალო ტემპერატურის სეზონური და წლიური მნიშვნელობები (T, °C): T₃ – 1986-2010 წწ., T₄ – 2021-2050 წწ., T₅ – 2071-2100 წწ.

და მათ შორის ცვლილებები: Δ₃ და Δ₄

სადგური	სიმაღლე მ	T ₃	T ₄	T ₅	Δ ₃	Δ ₄	T ₃	T ₄	T ₅	Δ ₃	Δ ₄	
		ზამთარი					ზაფხული					
დედოფლისწყარო	800	1,0	2,1	3,6	1,1	2,6	22,1	22,8	25,6	0,7	3,5	
ყვარელი	448	3,1	4,2	6,1	1,1	3,0	23,4	24,5	27,2	1,1	3,8	
ლაგოდეხი	437	3,2	4,4	6,1	1,2	2,9	23,8	25,0	27,9	1,2	4,1	
გურჯაანი	415	2,8	4,1	5,7	1,3	2,9	23,3	24,6	27,5	1,3	4,2	
თელავი	568	2,4	3,7	5,5	1,3	3,1	22,7	23,8	26,6	1,1	3,9	
წნორი	223	2,6	3,5	4,9	0,9	2,3	24,1	25,4	28,3	1,3	4,2	
ახმეტა	567	2,8	3,9	5,7	1,1	2,9	22,9	23,8	26,7	0,9	3,8	
საგარეჯო	802	1,9	3,0	4,6	1,1	2,7	21,7	22,9	25,8	1,2	4,1	
საშუალო		2,5	3,6	6,3	1,1	2,8	23,0	24,1	27,0	1,0	4,0	
		გაზაფხული					შემოდგომა					
დედოფლისწყარო	800	9,9	11,1	13,6	1,2	3,7	12,2	13,2	15,6	1,0	3,4	
ყვარელი	448	12,4	13,5	15,9	1,1	3,5	14,0	15,1	17,5	1,1	3,5	
ლაგოდეხი	437	12,6	13,8	16,3	1,2	3,7	14,3	15,7	17,9	1,4	3,6	
გურჯაანი	415	12,3	13,6	16,0	1,3	3,7	13,8	15,1	17,6	1,3	3,8	
თელავი	568	11,7	12,9	15,2	1,2	3,5	13,2	14,5	16,9	1,3	3,7	
წნორი	223	12,6	14,0	16,6	1,4	4,0	14,2	15,5	17,7	1,3	3,5	
ახმეტა	567	12,0	13,0	15,3	1,0	3,3	13,6	14,8	17,3	1,2	3,7	
საგარეჯო	802	10,6	11,6	14,0	1,0	3,4	12,5	13,7	16,2	1,2	3,7	
საშუალო		11,8	13,0	15,3	1,2	3,6	13,8	14,7	17,1	1,2	3,6	
		წლიური										
დედოფლისწყარო	800	11,3	12,3	14,6	1,0	3,3						
ყვარელი	448	13,2	14,3	16,7	1,1	3,5						
ლაგოდეხი	437	13,5	14,7	17,0	1,2	3,5						
გურჯაანი	415	13,1	14,3	16,7	1,2	3,6						
თელავი	568	12,5	13,7	16,0	1,2	3,5						
წნორი	223	13,4,7	14,6	16,9	1,2	3,5						

ახმეტა	567	12,8	13,9	16,2	1,1	3,4					
საგარეჯო	802	11,7	12,8	15,2	1,1	3,5					
საშუალო		12,7	13,8	16,2	1,1	3,1					

ამრიგად, პროგნოზების თანახმად კახეთის მთელ ტერიტორიაზე მოსალოდნელია როგორც საშუალო წლიური, ასევე საშუალო სეზონური ტემპერატურების მნიშვნელოვანი მატება. 8 მეტეოსადგურის მონაცემებით, თუ კახეთში საშუალო წლიური ტემპერატურა 1986 – 2010 წლებში იყო 12,7 °C, 2021 – 2050 წლებში იქნება 13,8 °C, ხოლო 2071 – 2100 წლებში გაიზრდება 16,2 °C-მდე. ე. ი. დღევანდელთან შედარებით 2021 – 2050 წლებში 1,1 °C-ით, ხოლო 2071 – 2100 წლებში 3,5 °C-ით მოიმატებს, რაც მეტად საყურადღებო და საგულისხმოა სოფლის მეურნეობის განვითარებისათვის. ამასთან, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ საკმაოდ გაიზრდება აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი და სავეგეტაციო პერიოდის ხანგრძლივობა, რაც იმის საშუალებას მოგვცემს, რომ ერთი მოსავლის მაგივრად ორი, ზოგიერთი მცენარისა კი სამი მოსავალი მივიღოთ, მაგრამ ამ შემთხვევაში ასეთი მაღალი ტემპერატურების პირობებში უფრო გაიზრდება აორთქლება და აუცილებელი იქნება მცენარეთა წყლით უზრუნველყოფა, რაც დამოკიდებულია ატმოსფერული ნალექების რაოდენობასა და მდინარეთა წყლიანობაზე.

2. 5. ცხრილში მოცემულია 1986 – 2010 წლებში აღრიცხული ატმოსფერული ნალექები და მათი მოსალოდნელი მნიშვნელობები 2021 – 2050 და 2071 – 2100 წლებისათვის და მათი პროცენტული ცვლილებები. გარკვეული ანალიზის შედეგად ირკვევა, რომ 2021 – 2050 წლებში მოსალოდნელია ძირითადად ნალექების შემცირება –10-დან –25 %-მდე. ზამთარში ნალექების კლება მოხდება 6-დან (წნორში) 44 %-მდე (საგარეჯოში). ზაფხულში ნალექების კლება ივარაუდება მხოლოდ ყვარელში (–5,8 %) და ლაგოდეხში (–15,9 %), დანარჩენ მეტეოსადგურებზე მოსალოდნელია ნალექების მატება 6,1-დან (თელავში), 14,2 %-მდე (გურჯაანში). შემოდგომაზე ნალექების კლება ივარაუდება დედოფლისწყაროში (–4,6 %), თელავში (–4,9 %) და წნორში (–2,2 %). დანარჩენ 5 მეტეოსადგურზე იქნება ნალექების მატება 0,4 %-დან (გურჯაანში) 11,4 %-მდე (ახმეტაში).

ცხრილი 2. 5. ატმოსფერული ნალექების (P, მმ) სეზონური და წლიური ჯამების მნიშვნელობები: P₃-1986-2010 წწ., P₄-2021-2050 წწ., P₅-2071-2100 წწ. და მათ შორის ცვლილებები (%):Δ₃ და Δ₄

სადგური	სიმაღლე მ	P ₃	P ₄	P ₅	Δ ₃	Δ ₄	P ₃	P ₄	P ₅	Δ ₃	Δ ₄	
		ზამთარი					ზაფხული					
დედოფლისწყარო	800	83	97	94	16,1	13,5	166	188	186	13,5	12,2	
ყვარელი	448	131	181	107	38,7	-17,9	290	273	235	-5,8	-19	
ლაგოდეხი	437	139	179	105	28,6	-24,7	319	268	240	-15,9	-24,7	
გურჯაანი	415	107	141	94	32,4	-11,4	207	236	197	14,2	-4,7	
თელავი	568	94	134	80	43,4	-14,6	233	247	211	6,1	-9,5	
წნორი	223	90	95	80	6,4	-10,7	160	174	161	8,9	0,8	
ახმეტა	567	105	137	90	31,2	-13,1	213	228	195	6,6	-8,7	
საგარეჯო	802	94	135	104	44,1	10,5	198	226	198	14,1	-0,1	
საშუალო		105	137	94	30,1	-8,7	223	230	203	5,2	-6,7	
		გაზაფხული					შემოდგომა					
დედოფლისწყარო	800	212	160	96	-24,6	-54,9	153	146	145	-4,6	-5,5	
ყვარელი	448	297	263	226	-11,4	-23,8	246	254	224	3,2	-8,9	
ლაგოდეხი	437	332	260	228	-21,7	-31,3	273	288	242	5,2	-11,5	
გურჯაანი	415	262	209	175	-20,3	-33,1	201	201	173	0,4	-13,7	
თელავი	568	251	216	178	-13,8	-28,9	184	175	159	-4,9	-13,7	
წნორი	223	199	152	136	-23,6	-31,8	148	145	120	-2,2	-19,1	

ახმეტა	567	231	200	166	-13,2	-28,2	177	198	163	11,4	-8,2	
საგარეჯო	802	245	221	169	-9,8	-31,0	191	201	171	4,8	-10,8	
საშუალო		254	210	172	-16,0	-32,9	197	201	175	1,5	-11,4	
		წლიური										
დედოფლისწყარო	800	612	589	525	-3,8	-14,2						
ყვარელი	448	961	970	804	0,9	-16,4						
ლაგოდეხი	437	1061	994	829	-6,3	-21,9						
გურჯაანი	415	774	786	647	1,6	-16,3						
თელავი	568	760	771	636	1,5	-16,2						
წნორი	223	595	586	501	-4,9	-15,8						
ახმეტა	567	726	762	606	5,0	-16,5						
საგარეჯო	802	427	781	655	7,5	-9,9						
საშუალო		777	771	650	0,3	-15,9						

ატმოსფერული ნალექების წლიური ჯამები 2021 – 2050 წლებში შემცირდება დედოფლისწყაროში -4 %-ით, ლაგოდეხში -6 %-ით და წნორში -5 %-ით, დანარჩენი 5 მუნიციპალიტეტის მონაცემებით კი მოსალოდნელია მათი მატება 0,9 %-დან (ყვარელში) 7,5 %-მდე (საგარეჯოში).

2071 – 2100 წლებში კახეთის ტერიტორიაზე წლიური ნალექების ჯამი საგრძნობლად შემცირდება -9,9-დან (საგარეჯოში) -21,9 %-მდე (ლაგოდეხში). ზამთარში სეზონური ნალექების ჯამი მოიმატებს მხოლოდ საგარეჯოსა (10,5 %-ით) და დედოფლისწყაროში (13,5 %-ით), დანარჩენ ტერიტორიაზე კი ნალექები მცირდება -24-დან (ყვარელი) -55 %-მდე (დედოფლისწყაროში). ზაფხულის სეზონში ნალექები ყველგან დაიკლებს -5,5-დან (დედოფლისწყაროში) -19,1 %-მდე (წნორში).

ასეთი ცვლილებების შედეგად 2100 წლისათვის კახეთის ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექების წლიური ჯამი იქნება 501 მმ-დან (წნორი, ნაცვლად 595 მმ-ისა), 829 მმ-მდე (ლაგოდეხი, ნაცვლად 1061 მმ-ისა). ზამთარში ნალექების ჯამი მოსალოდნელია შეიცვალოს 80 მმ-დან (წნორი, ნაცვლად 90 მმ-ისა), 107 მმ-მდე (ყვარელი, ნაცვლად 131 მმ-ისა). გაზაფხულზე ნალექების ჯამი იქნება 96 მმ-დან (დედოფლისწყარო, ნაცვლად 212 მმ-ისა) 228 მმ-მდე (ლაგოდეხი, ნაცვლად 332 მმ-ისა). ზაფხულში ნალექების ჯამი შეიცვლება 161 მმ-დან (წნორი), 244 მმ-მდე (ლაგოდეხი, ნაცვლად 319 მმ-ისა). შემოდგომაზე კი ნალექების ჯამი მერყეობს 120 მმ-დან (წნორი, ნაცვლად 148 მმ-ისა), 242 მმ-მდე (ლაგოდეხი, ნაცვლად 273 მმ-ისა).

რაც შეეხება გვაღვიანობის პროგნოზებს, მათი ცვლილებებიც რაოდენობრივად გამოთვლილ იქნა კლიმატის მესამე ეროვნული შეტყობინებების [5] ფარგლებში, რომლის მიხედვით გვაღვიები 2021 – 2050 წლებში ძირითადად შემცირდება, რადგან შემცირდება მკაცრი გვაღვიებიც, ლაგოდეხის ტერიტორიაზე მატულობს სიმშრალის რისკი. ერთთვიანი გვაღვის მატება ყველაზე მეტად ივარაუდება საგარეჯოში. აქ ექსტრემალური გვაღვიების რაოდენობაც გაიზრდება. ექსტრემალური გვაღვიები ყველაზე მეტად მოსალოდნელია დედოფლისწყაროში, თელავსა და ყვარელში, ასევე ახმეტაში [6].

ასე რომ, რადგან მცირდება მკაცრი გვაღვიები, 2021 – 2050 წლებში კახეთის უმეტეს ტერიტორიაზე ივარაუდება სოფლის მეურნეობის რისკების შემცირებაც. ამასთან იზრდება სავეტერინარული პერიოდი და აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი, თუმცა სეტყვის პრობლემა (გურჯაანი, თელავი, ყვარელი) და გაზაფხულის ძლიერი ქარები (დედოფლისწყაროსა და სიღნაღში) კვლავ რჩება. რაც შეეხება 2071 – 2100 წლების პერიოდს, დროის ამ მონაკვეთში პროგნოზის თანახმად, ყველა ტიპის გვაღვი მოიმატებს.

აღნიშნული კვლევების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მდ. ალაზნის მარჯვენა და მარცხენა მხარეს მოსალოდნელია ატმოსფერული ნალექების მნიშვნელოვანი

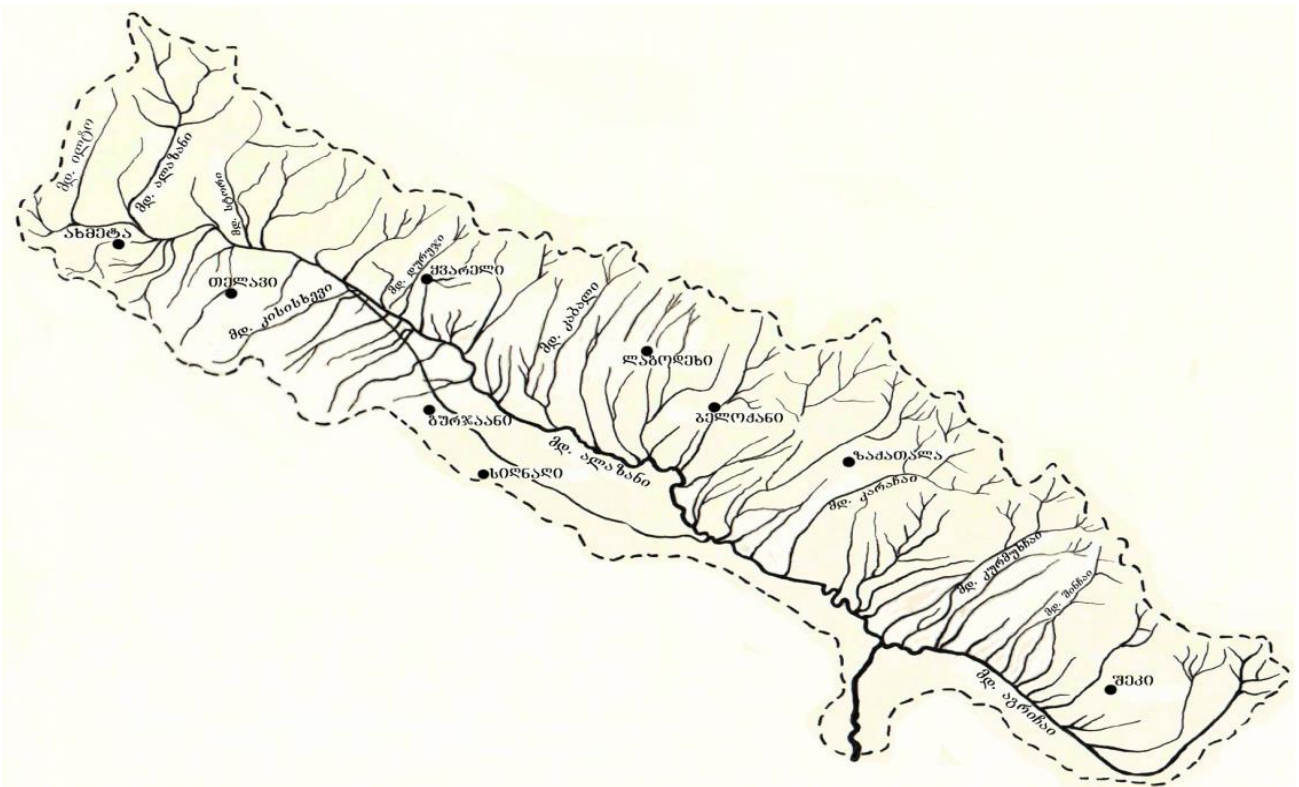
შემცირება და ჰაერის ტემპერატურის მომატება, რაც ბუნებრივად გამოიწვევს მდინარეთა წყლიანობის შემცირებას.

აღსანიშნავია, რომ ნალექების შემცირების გარდა, ტემპერატურის მატება გაზრდის მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების აუზის ზედაპირიდან აორთქლებას განსაკუთრებით სავეგეტაციო პერიოდში, რაც საგრძნობლად შეამცირებს სარწყავი წყლის მარაგს. სარწყავი წყლის დეფიციტი კი მომატებული გვაღვიანობის პირობებში გამოიწვევს მოსავლიანობის შემცირებას. ამიტომ კვლევის შედეგები გათვალისწინებული უნდა იქნეს ადმინისტრაციული ორგანოების მიერ მომავალში სამეურნეო საქმიანობის წარმართვისას, და განხორციელდეს სათანადო საადაპტაციო ღონისძიებები ნეგატიური შედეგების თავიდან ასაცილებლად.

თავი III. მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენი და მისი ცვლილება

3. 1. მდ. ალაზნის წყლიანობის მახასიათებლები

მდ. ალაზნის აუზის მდინარეთა წყლიანობა. საქართველოში მტკნარი წყლის მთავარი წყაროა კავკასიონის ქედიდან ჩამომავალი მდინარეები, მათ შორისაა ყველაზე გრძელი (407 კმ) მდ. ალაზანი, რომელიც კახეთის რეგიონის წყალმომარაგების მთავარ არტერიას წარმოადგენს. ნახ. 3. 1-ზე მოცემულია მდ. ალაზნის აუზის ჰიდროგრაფიული ქსელი. მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენზე სარწყავად მიმაგრებულია 338 ათასი ჰა სასოფლო-სამეურნეო მიწის სავარგულები. მდინარეთა წყალი გამოიყენება აგრეთვე ელექტროენერჯის მისაღებად, მოსახლეობისა და მეურნეობის სხვადასხვა დარგის საწარმოების წყალმომარაგებისათვის და თევზის სარეწად.



ნახ. 3. 1. მდ. ალაზნის აუზის ჰიდროგრაფიული ქსელი

ასე რომ, მდ. ალაზნის აუზის წყლის რესურსებს დიდი მნიშვნელობა აქვს რეგიონში მოსახლეობის კეთილდღეობისა და ეკონომიკის განვითარებისათვის. მაგრამ 1992 წლიდან, როდესაც მოხდა საქართველოს ეროვნული ხელისუფლების სამხედრო გზით გადატრიალება, მაშინ ახალი მთავრობის პირობებში განადგურდა სამეურნეო საწარმოები და სარწყავი სისტემების ფართო ქსელი, გაიჩეხა ტყეები და ქარსაცავი ტყის ზოლები, რის გამოც გაძლიერდა ეროზია და დაზიანდა მრავალი ათასი ჰა მიწა, შეწყდა მდინარეთა წყლიანობისა და მისი გამოყენების სათანადო აღრიცხვა, ორი ათეული წლის განმავლობაში აღარ ფუნქციონირებდა ალაზნის ქვემო და ზემო მაგისტრალური არხების სარწყავი სისტემები.

სადღეისოდ რეგიონში მიმდინარეობს სარწყავი არხების აღდგენითი სამუშაოები და დაგეგმილია კახეთის რეგიონში სოფლის მეურნეობის აღორძინება, რისთვისაც აუცილებელია მდ. ალაზნის წყლიანობისა და მისი მოსალოდნელი ცვლილებების შესწავლა, რასაც უდიდესი მნიშვნელობა აქვს მომავალში სამეურნეო საქმიანობის წარმოებისთვის.

აღსანიშნავია, რომ მდ. ალაზნის აუზის ფიზიკურ - გეოგრაფიული დახასიათება და მდინარეთა ჰიდროლოგიური აღწერილობა (წყლის რეჟიმი, ჩამონადენის შიდაწლიური გა-

ნაწილება, სხვადასხვა პერიოდის ჩამონადენის პარამეტრები, წყლის რესურსების გამოყენება და სხვა) დეტალურად განხილულია ჩვენ მიერ შესრულებულ 2016 წლის თემის “კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე მდინარეთა წყალმცირობის შეფასება და საადაპტაციო ღონისძიებების შემუშავება (მდ. ალაზნის მაგალითზე)” დასკვნით ანგარიშში [1], ამიტომ ისინი აქ აღარ განიხილება.

მდ. ალაზნის აუზში არსებული წყლის რესურსების შესწავლა დაიწყო გასული საუკუნის 20-იან წლებში, როდესაც დაიგეგმა მდინარეებზე სარწყავი სისტემების მაგისტრალური არხის მშენებლობა. 90-იან წლებამდე მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების 12 ჰიდროლოგიურ საგუშაგოზე მიმდინარეობდა მდინარეთა წყლის ხარჯების გაზომვა დღეში ორჯერ (დილა-სადამოს), მაგრამ შემდეგ მდ. ალაზანზე იზომება მხოლოდ წყლის დონეები სოფ. შაქრიანის ჰიდროლოგიურ საგუშაგოზე. 1990 წლამდე არსებული მონაცემებით ჩვენ მიერ მრავალმხრივ იქნა შესწავლილი მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების წყლიანობა 12-ვე ჰიდროლოგიურ კვეთზე არსებული მრავალწლიანი სტაციონარული დაკვირვებათა მონაცემების (ცხრილი 3.1) სტატისტიკური დამუშავების საფუძველზე [2 – 6].

ცხრილი 3. 1. მდ. ალაზნის აუზის მდინარეთა ჰიდროგრაფიული მახასიათებლები და დაკვირვების რიგები

მდინარე – პუნქტი	აუზის ფართ.	აუზის სიმაღლე	მდინარ. სიგრძე	მდინარ. ვარდნა	პუნქტ. სიმაღლე	აუზის ტყიანობა	მდინარ. დახრილობა	დაკვირვების წლები	წლების რაოდენობა
	F (კმ ²)	H (მ)	L (კმ)	Δ H (მ)	H (მ) აბს.	T (%)	U (%)	წლები	რიგი
ალაზანი-ბირკიანი	282	2200	32	1234	758	42	62	1950 – 1996	47
ალაზანი-შაქრიანი	2190	1260	95	2410	340	61	26	1925 – 2010	79
ალაზანი-ჭიაური	4530	980	173	2550	195	56	15	1925 – 1990	59
ალაზანი-ზემო ქელი	7490	900	279	2575	175	46	9	1958 – 1983	26
სამყურ.-ხადორი	121	2590	18	2017	820	15	115	1950 – 1990	40
სტორი-ლეჩური	203	1850	22	1614	520	54	111	1940 – 1990	44
დიდხევი-არტანა	78	1650	14		545	54	126	1946 – 1990	45
ინწობა-საბუე	41	1620	12	2203	617	89	173	1952 – 1990	38
ჩელთი-შიღდა	72	1784	15	1890	510	50	124	1937 – 1987	39
დურუჯი-ყვარელი	68	1630	13	1800	400	84	130	1960 – 1980	21
ავანისხ. – ახალსოფ.	86			1955	265			1971 – 1981	11
ლაგოდეხ.-ნაკრძალი	46							1982 – 1990	9

საყურადღებოა, რომ მდ. ალაზნის წყლის ბუნებრივი ჩამონადენი (წყალაღებისა და წყალჩაშვების გარეშე) იზომებოდა სოფ. ბირკიანთან. იქ არსებულ ჰიდროკვეთზე 47-წლიანი დაკვირვებათა მონაცემებით განისაზღვრა ზემო ალაზნის სარწყავ მაგისტრალურ არხში წყლის ოდენობა. რაც შეეხება ალაზნის ქვემო სარწყავი მაგისტრალური არხის წყლიანობას, იგი განისაზღვრა სოფ. შაქრიანთან არსებული და დღესაც მოქმედი საგუშაგოს 76-წლიანი მონაცემებით. სხვა საგუშაგოებზე დაკვირვებათა რიგი საშუალოდ 40 – 60 წელია.

ამ მონაცემთა საფუძველზე დაზუსტებულია მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების ჰიდროლოგიური პარამეტრები [3, 4], რომლებიც მეტად მნიშვნელოვანია სამეცნიერო, საპროექტო და სამეურნეო ორგანიზაციებში ყველა სახის წყალსამეურნეო გაანგარიშებისათვის და სამეურნეო ნაგებობების საიმედო ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების მისაღებად. 3. 2. ცხრილში მოცემულია მდინარეთა წყლიანობის ძირითადი მახასიათებლები საშუალო-წლიური და ექსტრემალური წყლის ხარჯები, რომლებიც საჭიროა წყლის რესურსების რაციონალურად გადანაწილებისათვის მოსახლეობისა და სამეურნეო საწარმოების წყალმომარაგების, მელიორაციისა და ენერგეტიკის მომსახურებისა და აგრეთვე გარემოს უსაფრთხოებისთვის.

ცხრილი 3. 2. მდ. ალაზნის აუზის მდინარეთა წყლის ხარჯების (მ³/წმ) მახასიათებლები

მდინარე – პუნქტი	საშუალო წლიური	ვარიაც. კოეფიც.	ექტრემუმი		წლიური ხარჯების ალბათობა		
			უდი-დესი	უმცი-რესი	50%	75%	95%
ალაზანი-ბირკიანი	13,6	0,19	365	1,0	14,3	12,5	10,3
ალაზანი-შაქრიანი	43,4	0,25	1160	3,8	42,5	35,7	27,4
ალაზანი-ჭიაური	61,8	0,26	685	4,0	61,8	51,5	39,0
ალაზანი-ზემო ქელი	98,8	0,26	753	17,0	95,2	79,4	60,2
სამეურ.-ხაღორი	5,04	0,15	112		5,96	5,00	4,31
სტორი-ლეჩური	7,72	0,20			7,79	6,78	5,50
დიდხევი-არტანა	3,97		10,3	0,55			
ინწობა-საბუე	1,54	0,22	37,2	0,04	1,57	1,35	1,07
ჩელთი-შილდა	2,14	0,28	41,5		2,04	1,68	1,24
დურუჯი-ყვარელი	0,77		1,24	0,44			
ავანისხ. – ახალსოფ.	2,04		54,8	0,50			
ლაგოდეხ.-ნაკრძალი	2,57		9,12	1,16			

ყველასათვის ცნობილია, რომ სამყაროში ყველაფერი ცვალებადია და, რა თქმა უნდა, არც მდინარეთა ჩამონადენის ნორმისა და სხვა პარამეტრების მდგრადობაა უცვლელი. მდინარის წყლის ნებისმიერი პერიოდის ჩამონადენი წლიდან წლამდე განიცდის ცვლილებას, რომლის მახასიათებელი მათემატიკური სტატისტიკის მიხედვით არის მათი ვარიაციის (C_v) კოეფიციენტი:

$$C_v = \sigma/Q_0, \quad (3.1.)$$

სადაც σ მდინარის ჩამონადენის ნორმის საშუალო კვადრატული გადახრაა, Q_0 – მდინარის ჩამონადენის ნორმა.

როდესაც ჩამონადენის ვარიაციის ($0 < C_v < 1$) კოეფიციენტი დიდია, მაშინ იზრდება მისი მნიშვნელობის გადახრა ნორმიდან და, პირიქით, მცირე ვარიაციის დროს ეს გადახრა მცირდება. მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების წყლის საშუალო-წლიური ჩამონადენის ვარიაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობები შედარებით მცირეა და მერყეობს 0,19-დან (მდ. ალაზანზე სოფ. ბირკიანთან) 0,28-მდე (მდ. ჩელთზე სოფ. შილდასთან).

მაღალი ვარიაციის კოეფიციენტებით ხასიათდება მდინარეთა წყლის ჩამონადენი წლის ცალკეულ პერიოდებში, განსაკუთრებით მესამე კვარტლის თვეებში (ივლისი, აგვისტო და სექტემბერი). ჩვენი კვლევის მიხედვით ამ თვეების ჩამონადენის ვარიაციის კოეფიციენტი მდ. ალაზანზე სოფ. ბირკიანთან შეადგენს 0,36–0,40, სოფ. შაქრიანთან კი – 0,46–0,57-ს. ამ კოეფიციენტების მნიშვნელობები უფრო მაღალია ამ თვეების ცალკეული დეკადური წყლის ხარჯებისათვის, რომლებიც სოფ. ბირკიანთან ცვალებადობს 0,32–0,47, ხოლო სოფ. შაქრიანთან 0,50–0,67 ფარგლებში.

ამრიგად ირკვევა, რომ მდ. ალაზნის ზემო წელში (ქვემო წელთან შედარებით, სადაც ხშირია წყალაღებები და წყალჩაშვებები) წყლის ჩამონადენი შედარებით მდგრადია.

სამეურნეო ორგანიზაციებისათვის და განსაკუთრებით სარწყავი სისტემების მომსახურებისათვის მეტად მნიშვნელოვანია მდინარეთა ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილების გაანგარიშება, რისთვისაც გამოიყენება ალბათობის თეორიაში ცნობილი ე. წ. უზრუნველყოფის მრუდები, ისინი უშუალოდ პასუხობენ კითხვას: როგორია ნაგებობის ან რაიმე ღონისძიების უზრუნველყოფა მდინარის წყლის ხარჯის გარკვეული მნიშვნელობის დროს.

მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების წყლის საშუალო წლიური ხარჯების 50, 75 და 95 %-იანი უზრუნველყოფის მნიშვნელობები შეესაბამება 2, 4.5 და 20 წლიან განმეორებადობას (ცხრ. 3. 2).

3. 2. მდ. ალაზნის წყლის სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენი

მდ. ალაზნის წყლის ბუნებრივი ჩამონადენი იზომებოდა მის ზემო წელში ს.ბირკიანთან, რომელიც იყო საანგარიშო ჰიდროკვეთი ზემო ალაზნის სარწყავი სისტემისათვის, რადგან მის ქვევით სოფ. დუისთან არის ამ სისტემის სათავე ნაგებობა. ქვემოთ ალაზნის სარწყავი სისტემის საანგარიშო ჰიდროკვეთს კი წარმოადგენს დაკვირვების პუნქტი სოფ. შაქრიანთან. ამიტომ მეტად მნიშვნელოვანია მდ. ალაზნის ჩამონადენის კვლევა ამ ჰიდროკვეთებისათვის.

3.3. ცხრილში მოცემულია მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების მრავალწლიური მონაცემების დამუშავებით მიღებული სტატისტიკური მახასიათებლები, როგორც მთლიანი (IV-IX) სავეგეტაციო პერიოდის, ასევე მისი ცალკეული თვეებისა და კვარტლებისათვის. თითოეული პერიოდისათვის მიღებულია მდინარის წყლის ხარჯების მრავალწლიური ნორმა, მისი პროცენტული წილი წლიურ ჩამონადენში, აგრეთვე მათი ექსტრემალური მნიშვნელობები (უდიდესი და უმცირესი) მრავალწლიურ რიგში, რყევის ამპლიტუდა, საშუალო კვადრატული გადახრა და ცვალებადობის კოეფიციენტები: ვარიაციის, ასიმეტრიისა და არამდგრადობის (უდიდესის შეფარდება უმცირესთან).

როგორც ცხრილი 3.3-დან ჩანს, ს. ბირკიანთან მდ. ალაზნის საშუალო წლიური ხარჯის ნორმა შეადგენს 13,9 მ³/წმ-ს, ხოლო სავეგეტაციო პერიოდის ხარჯი 20,4 მ³/წმ,

რომელიც წლიური ჩამონადენის ჯამის 73 %-ს შეადგენს. სავეგეტაციო პერიოდის წყლის ხარჯების მნიშვნელობები მერყეობს 32 მ³/წმ-დან 13,4 მ³/წმ-მდე, რომლის ცვალებადობის კოეფიციენტი წლიდან წლამდე (ვარიაცია) დაბალია და შეადგენს 0,22-ს. სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენიდან 59% მოდის გაზაფხულზე II კვარტალში (IV-VI), ხოლო ზაფხულში მდინარეზე გაედინება მისი 41%. მაღალი წყლის ხარჯები (27-28 მ³/წმ) გაედინება მაის-ივნისში, ხოლო მინიმალური ხარჯებით (2,7 მ³/წმ) ხასიათდება სექტემბერი.

ს. შაქრიანთან მდ. ალაზნის წყლის საშუალო წლიური ხარჯი შეადგენს 45,7 მ³/წმ, რომლის 69% გაედინება სავეგეტაციო პერიოდში. მისი საშუალო ხარჯი 62 მ³/წმ, რომლის უდიდესი მნიშვნელობა 128 მ³/წმ, უმცირესი კი 36,5 მ³/წმ-ს შეადგენს. მათი ვარიაციის კოეფიციენტი 0,30. სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის 66% გაედინება მის პირველ ნახევარში (IV-VI), ხოლო დანარჩენი 34% ივლისიდან სექტემბრამდეა. მაქსიმალური ხარჯებით გამოირჩევა მაისის თვე, როცა უდიდესი ხარჯი 246 მ³/წმ-ს აღწევს, ხოლო მინიმალური წყლის ხარჯებით ხასიათდება აგვისტო და სექტემბერი, როცა წყლის ხარჯები მცირდება 5-9 მ³/წმ-მდე და ხდება წყლის მწვავე დეფიციტი სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსარწყავად.

მდ. ალაზნის სავეგეტაციო პერიოდის მახასიათებლების დაზუსტებულ მნიშვნელობებს დიდი პრაქტიკული დანიშნულება აქვს წყალსამეურნეო გაანგარიშებისათვის ენერგეტიკის, სოფლის მეურნეობისა და წყალმომარაგების მომსახურებისათვის.

აღსანიშნავია, რომ როგორც ჰიდროელექტროსადგურების, ისე წყალმომარაგებისა და განსაკუთრებით სარწყავი სისტემების ექსპლუატაციისათვის გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მდინარის წყლის მახასიათებლებს დეკადურ ჭრილში, რადგან მიწების მორწყვის დაგეგმარება ხდება დეკადური წყლის ხარჯების მნიშვნელობებით. ამის გამო 3. 4 ცხრილში მოცემულია მდ. ალაზნის დეკადური წყლის ხარჯების მრავალწლიური დაკვირვების მონაცემების სათანადო ანალიზით მიღებული სტატისტიკური მახასიათებლები.

ცხრილი 3. 3. მდ. ალაზნის სავეგეტაციო პერიოდის წყლის ხარჯების (Q მ³/წმ) სტატისტიკური მახასიათებლები

საანგარიშო პერიოდი	განზომილება	თ ვ ე ე ბ ი								
		IV- IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-VI	VII-IX
მდ. ალაზანი – ს. ბირკიანი F = 282 კმ ² , H = 2200 მ										
საშუალო ხარჯი	მ ³ /წმ	20.4	16.7	26.8	27.7	22.3	15.4	12.7	23.7	16.8
წილი წლიურიდან	%	73.0	10.1	16.4	16.4	13.6	9.0	7.58	43.1	30.2
უდიდესი	მ ³ /წმ	32.0	27.6	42.7	57.2	51.1	31.0	26.2	39.4	27.1
უმცირესი	მ ³ /წმ	13.4	8.16	17.8	13.5	12.4	7.98	5.98	15.7	9.48
ამპლიტუდა	მ ³ /წმ	18.6	19.4	24.9	43.7	38.7	23.0	20.2	23.7	17.6
საშ.კვ ადახრა	მ ³ /წმ	4.50	4.1	6.37	8.51	9.08	5.45	4.82	5.35	4.97
ვარიაცია	Cv	0.22	0.24	0.23	0.31	0.40	0.36	0.38	0.22	0.30
ასიმეტრია	Cs	0.94	0.42	0.50	1.24	1.34	1.05	0.71	0.86	0.57
არამდგრადობა	უდ/უმც	2.39	3.38	2.10	4.24	4.12	3.88	4.38	2.51	2.86
მდ. ალაზანი – ს. შაქრიანი F = 2190 კმ ² , H = 1260 მ										
საშუალო ხარჯი	მ ³ /წმ	62.0	70.3	94.0	80.2	52.4	37.0	37.6	81.5	42.3
წილი წლიურიდან	%	69.4	12.9	17.3	15.1	9.9	6.9	7.0	45.4	24.0

ცხრილი 3.3-ის გაგრძელება										
უდიდესი	მ ³ /წმ	128	120	246	223	112	109	117	176	91.3
უმცირესი	მ ³ /წმ	36.5	25.0	32.4	31.3	15.8	5.72	9.25	40.4	14.4
ამპლიტუდა	მ ³ /წმ	91.5	95.0	214	192	96.2	103	108	136	76.9
საშ.კვ გადახრა	მ ³ /წმ	18.5	23.1	37.9	31.1	24.1	20.2	21.3	26.3	16.3
ვარიაცია	Cv	0.30	0.33	0.41	0.38	0.46	0.54	0.57	0.32	0.38
ასიმეტრია	Cs	1.54	0.29	1.74	1.86	0.77	1.25	1.44	1.46	0.60
არამდგრადობა	უდ/უმც	3.51	4.80	7.59	7.12	7.09	19.1	12.7	4.36	6.34

ცხრილი 3. 4. მდ. ალაზნის წყლის დეკადური ხარჯები (Q მ³/წმ), მათი წილი % წლიურ ჩამონადენში, ვარიაცია (Cv) და ექსტრემალური მნიშვნელობები (Q_{max}, Q_{min})

დეკადა	სოფ. ბირკიანთან 1950 – 1986 წწ, (37 წელი)					სოფ. შაქრიანთან 1936 – 1986 წწ, (50 წელი)				
	Q	%	Q _{max}	Q _{min}	Cv	Q	%	Q _{max}	Q _{min}	Cv
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I 1	5,90	1,2	9,9	3,5	0,26	20,0	1,2	36,9	5,6	0,29
I 2	5,53	1,1	8,7	3,3	0,24	18,7	1,2	34,8	6,2	0,29
I 3	5,36	1,1	8,3	3,0	0,26	17,9	1,1	33,6	6,7	0,30
II 1	5,23	1,0	8,3	2,9	0,25	18,0	1,1	36,0	7,1	0,33
II 2	5,54	1,1	10,9	2,9	0,31	20,5	1,3	42,5	10,3	0,38
II 3	5,69	1,1	9,9	2,6	0,32	23,8	1,5	49,2	9,8	0,45
III 1	6,02	1,2	10,5	2,9	0,33	26,5	1,6	62,6	11,7	0,45
III 2	6,60	1,3	12,5	3,5	0,35	31,7	2,0	76,9	15,8	0,43
III 3	8,61	1,7	16,4	4,1	0,32	41,0	2,5	80,1	13,2	0,41
IV 1	13,3	2,7	25,8	4,0	0,35	57,7	3,5	110	19,8	0,39
IV 2	16,8	3,4	27,4	6,1	0,30	73,5	4,5	184	18,0	0,42
IV 3	20,9	4,2	35,9	9,8	0,31	79,4	4,9	184	35,4	0,40
V 1	24,4	4,9	38,2	12,3	0,28	89,1	5,5	128	38,4	0,42
V 2	28,7	5,7	59,4	16,8	0,28	99,3	6,1	227	43,0	0,40
V 3	29,2	5,8	45,2	17,9	0,27	94,3	5,6	248	40,9	0,46
VI 1	28,5	5,7	57,7	14,7	0,32	92,4	5,7	284	32,0	0,45
VI 2	27,9	5,6	56,8	13,0	0,35	77,7	4,8	164	31,4	0,35
VI 3	25,6	5,1	57,2	12,8	0,37	72,7	4,5	221	13,0	0,53
VII 1	24,3	4,9	54,2	12,8	0,38	65,0	4,0	170	17,2	0,50
VII 2	21,6	4,3	57,7	9,9	0,46	53,2	3,3	149	11,5	0,53
VII 3	19,7	3,9	42,1	10,0	0,43	42,2	2,6	114	11,9	0,58
VIII 1	16,7	3,3	33,3	8,6	0,35	39,8	2,5	135	8,1	0,66
VIII 2	15,1	3,0	33,0	7,6	0,45	36,1	2,2	126	4,7	0,58
IVIII 3	13,6	2,7	27,0	6,3	0,42	36,1	2,2	94,7	4,5	0,57
IX 1	12,7	2,5	30,4	5,7	0,47	36,0	2,2	78,8	7,6	0,58
IX 2	12,6	2,5	26,8	5,5	0,41	39,0	2,4	151	6,9	0,67
IX 3	12,9	2,6	28,5	6,1	0,45	38,1	2,3	127	13,2	0,63
X 1	13,0	2,6	30,2	6,5	0,43	35,9	2,2	77,6	12,1	0,44
X 2	11,4	2,3	24,4	4,6	0,41	39,9	2,5	113	16,4	0,53

ცხრილი 3.4-ის გაგრძელება										
X 3	10,5	2,1	20,0	5,4	0,34	35,8	2,2	88,1	15,6	0,50
XI 1	9,35	1,9	15,8	4,9	0,27	33,1	2,0	80,4	14,8	0,46
XI 2	8,62	1,7	14,2	4,9	0,24	31,6	2,0	63,2	9,8	0,46
XI 3	7,99	1,6	12,8	4,9	0,26	30,6	1,9	15,2	6,8	0,69
XII 1	7,35	1,5	11,8	4,3	0,25	27,0	1,7	92,8	8,2	0,50
XII 2	6,83	1,4	9,7	4,2	0,22	23,1	1,4	52,2	5,4	0,34
XII 3	6,26	1,3	8,8	4,0	0,22	21,6	1,3	49,7	4,5	0,38

3. 3. მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების ყოველწლიური ცვლილების შეფასება.

დღემდე არ არსებობს ზუსტი მეთოდი, რომელიც სრულყოფილად აღწერს მდინარის წყლის ჩამონადენის ცვლილებას, რადგან ეს ცვლილება განპირობებულია არამარტო ადგილობრივი ფაქტორებით, არამედ პელიოსინოპტიკური პროცესებითაც, რომელთა გათვალისწინება დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული.

კლიმატის თანამედროვე გლობალური დათბობის ზეგავლენის შესწავლის მიზნით მეტად აქტუალურია ჰიდრომეტეოროლოგიური პროცესების სიდიდეთა ცვალებადობის დინამიკის კვლევა. ადამიანის ანთროპოგენური ფაქტორებისა და სხვა ფაქტორთა ზემოქმედებით ჰიდროლოგიურ პროცესებში XX საუკუნის დასასრულიდან შეიმჩნევა გარკვეული ტენდენციები, რასაც მათემატიკური სტატისტიკის ტერმინოლოგიით ტრენდები ეწოდება, მათ აქვთ აღმავალი (მატების) ან დაღმავალი (კლების) მიმართულებები.

სადღეისოდ მეტად მნიშვნელოვანია მდინარეთა ჩამონადენის მრავალწლიური დინამიკის როგორც ხარისხობრივი, ისე მათი რაოდენობრივი გაანგარიშება, რაც გულისხმობს ტრენდის შეფასებას მათი აპროქსიმაციის ამსახველი წრფის განტოლების განსაზღვრით. სწორხაზოვანი წრფის შემთხვევაში რეგრესიის განტოლება ასე გამოისახება:

$$T_Q = an + b, \quad (3. 2.)$$

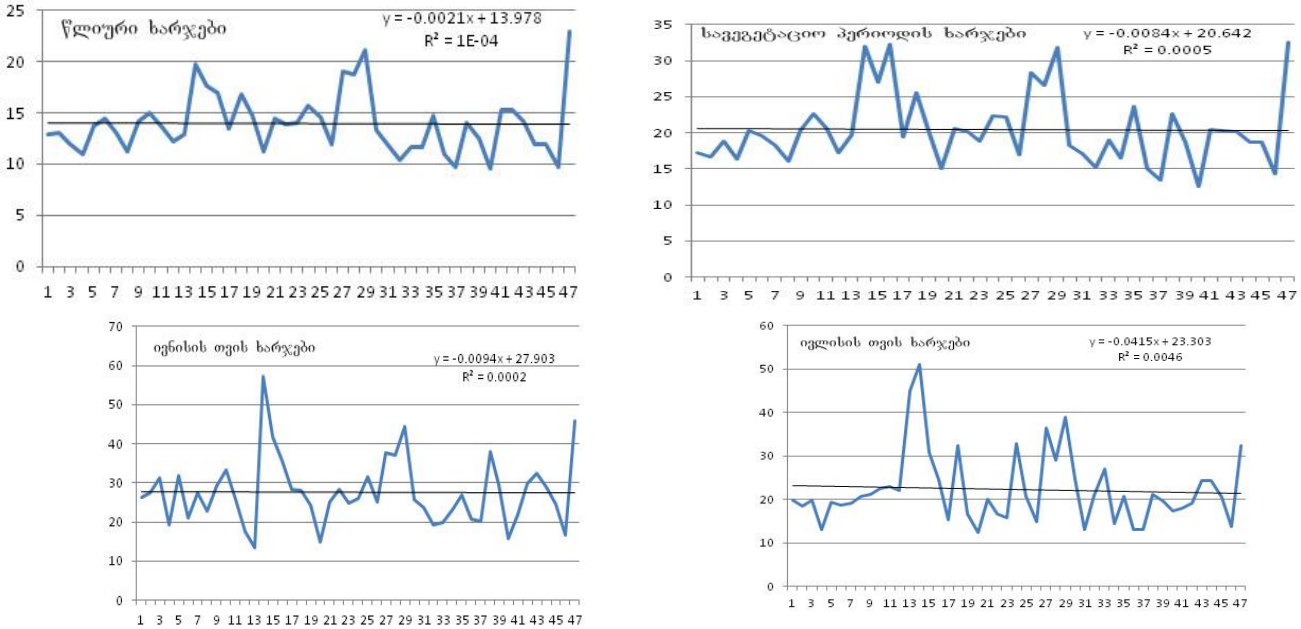
სადაც T არის ტრენდი, ანუ საკვლევი ელემენტის მრავალწლიანი ცვლილების ტენდენციის ამსახველი გასაშუალოებული წრფე; n – ამ ელემენტის დაკვირვებათა მონაცემების რიგითი ნომერი მათი საწყისი წლიდან, რომლისთვისაც $n = 1$, ყოველი შემდეგი (i) წლისათვის $n = 1 + i$; a – განტოლების კოეფიციენტი, რომლის ნიშანი (+ ან –) აჩვენებს საკვლევი ელემენტის ცვლილების მიმართულებას: დადებითი (+) ნიშანი გამოხატავს მის მატებას, ანუ ელემენტის აღმავალ ტენდენციას, ხოლო უარყოფითი (–) ნიშანი მიუთითებს საკვლევი ელემენტის კლებას ანუ დაღმავალ ტენდენციას; თვით a პარამეტრის რაოდენობრივი მნიშვნელობა კი განსაზღვრავს საკვლევი ელემენტის ცვლილების ინტენსიურობას, ანუ სიჩქარეს ყოველი ერთეული (i) წლისათვის; b – განტოლების მუდმივაა, რომელიც წარმოადგენს საკვლევი ელემენტის ტრენდის ხაზის მინიმალურ მნიშვნელობას აღმავალი ტენდენციის შემთხვევაში ან მის მაქსიმალურ მნიშვნელობას – დაღმავალი ტენდენციის დროს.

მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენის ცვლილების შესწავლა განხორციელდა ორი ჰიდროკვეთისათვის: პირველია სოფ. ბირკიანთან აღრიცხული მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენი 47 წლიანი (1950 – 1996 წწ.) წყლის ხარჯების მთლიანი რიგით და სოფ. შაქრიანთან 76 წლიანი (1933 – 2010 წწ.) წყლის ხარჯების მთლიანი რიგით.

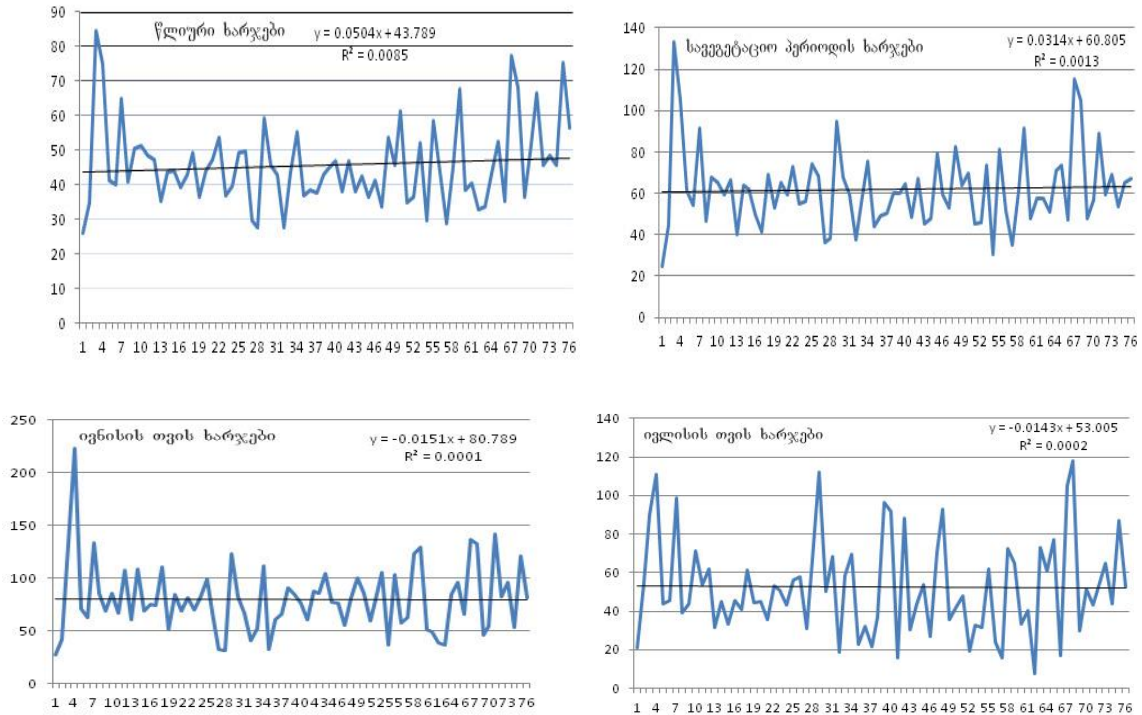
აღსანიშნავია, რომ კლიმატის გლობალური დათბობის ინტენსიურობა განსაკუთრებით გაიზარდა გასული საუკუნის 80-იანი წლებიდან, ამიტომ მდინარის წყლიანობის დინამიკა შესწავლილ იქნა როგორც არსებულ დაკვირვებათა მთლიანი რიგებით, ისე წლების ცალკეული გრადაციებით 1980 წლამდე, ხოლო 1981 წლიდან – ჩვენ ხელთ არსებული 2010 წლამდე დაკვირვებებით. ვინაიდან სოფ. ბირკიანთან 1981 – 1996 წლების დაკვირვებები მხოლოდ 16 წელს მოიცავდა, მონაცემების აღდგენა 1997-დან 2010

წლამდე განხორციელდა სოფ. შაქრიანთან მოქმედი ჰიდროლოგიური საგუშაგოს მონაცემების მიხედვით მათი შესაბამისი შეფარდებების, ანუ გადამყვანი კოეფიციენტების გათვალისწინებით (ინტერპოლაციის მეთოდი).

3. 2 და 3. 3 ნახაზებზე წარმოდგენილია ამ რიგებით მიღებული წყლის ხარჯების დინამიკა როგორც წლიური და სავეგეტაციო პერიოდისა, ისე მისი ცალკეული თვეებისათვის. გრაფიკებზე გამოსახულია მათი ტრენდების წრფივი აპროქსიმაციით მიღებული რეგრესიის განტოლებები, ხოლო მათი შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობები მოცემულია 3. 5 ცხრილში.



ნახ. 3. 2. მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების მრავალწლიური (1950-1996 წწ.) დინამიკა სოფ. ბირკიანთან



ნახ. 3. 3. მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების მრავალწლიური (1933 – 2010 წწ.) დინამიკა სოფ. შაქრიანთან

ცხრილი 3. 5. მდ. ალაზნის სხვადასხვა პერიოდის წყლის ხარჯების ყოველწლიური დინამიკის ტრენდების ამსახველი განტოლებების
($T = an+b$) პარამეტრები (a და b)

პერიოდი	თვეები	ს. ბირკიანთან			ს. შაქრიანთან		
		წლები	a	b	წლები	a	b
წლიური	I–XII	1950-1996	- 0,002	13,98	1933-2010	0,050	43,79
		1950-1980	0,109	12,67	1933-1980	- 0,242	50,72
		1981-2010	0,230	10,73	1981-2010	0,509	40,04
მაქსიმალური		1950-1996	- 1,079	98,42	1933-2010	- 1,184	347,8
მინიმალური		1950-1996	0,019	3,731	1933-2010	- 0,126	20,44
სავეგეტაციო	IV–IX	1950-1996	- 0,008	20,642	1933-2010	0,031	60,80
		1950-1980	0,103	18,64	1933-1980	- 0,243	66,87
		1981-2010	0,177	17,26	1981-2010	0,531	56,34
აპრილი	IV	1950-1996	0,004	16,64	1933-2010	0,337	57,29
მაისი	V	1950-1996	- 0,058	28,23	1933-2010	0,060	90,44
ივნისი	VI	1950-1996	- 0,009	27,90	1933-2010	- 0,015	80,79
ივლისი	VII	1950-1996	- 0,041	23,30	1933-2010	- 0,014	53,00
აგვისტო	VIII	1950-1996	0,094	13,13	1933-2010	- 0,005	37,20
სექტემბერი	IX	1950-1996	0,005	12,60	1933-2010	- 0,036	39,01

მიღებული ტრენდების პარამეტრების სათანადო ანალიზით ირკვევა, რომ სოფ. ბირკიანთან ბუნებრივი ჩამონადენის წლიური ხარჯების ნატურალური დაკვირვებების 1950 – 1996 წლების მონაცემებით მიღებული ტრენდი დადებითია ე. ი. ხდება წყლის ხარჯების კლება. წყლის საშუალო წლიური ხარჯების აღდგენილი (1997 – 2010 წწ.) მონაცემებით მიღებულ ტრენდზე კი აღინიშნება მათი მატების ტენდენცია. მატების მაღალი ინტენსიურობა აღინიშნება განსაკუთრებით 1981 – 2010 წლებისათვის. ამ პერიოდის 14, ანუ 47 % მონაცემებისა აღდგენილია სოფ. შაქრიანთან მაღალი წყლის ხარჯების მიხედვით

სოფ. შაქრიანთან დაფიქსირდა წყლის წლიური ხარჯების მატების ტენდენცია წლების ყველა გრადაციისათვის, გარდა 1933 – 1980 წლებისა, როდესაც აღინიშნა მათი კლების ტენდენცია და ინტენსიურობა შეადგენდა -0,242-ს, 1981 – 2010 წლებში ეს მაჩვენებელი შეიცვალა და შეადგინა 0,509.

ანალოგიური ტენდენციები აღინიშნება ორივე ჰიდროკვეთის სავეგეტაციო პერიოდის (აპრილიდან – სექტემბრამდე) საშუალო წყლის ხარჯებზე. აქაც 1933 – 1980 წლებში სავეგეტაციო პერიოდის ხარჯების დადებითი ტრენდის სიჩქარე $a = -0,243$ -ს, ხოლო 1981 – 2010 წლებისათვის – ტრენდი დადებითი ტენდენციისაა და მისი სიჩქარე $a = 0,531$ -ს.

სოფ. ბირკიანთან მდ. ალაზნის წყლის სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენი ნატურალური დაკვირვებების მიხედვით ხასიათდება დადებითი ტრენდით, რომლის კლების სიჩქარე $a = -0,008$ -ს, 1997 – 2010 წლების აღდგენილი ხარჯებით კი მიიღება დადებითი ტრენდი $a = 0,012$ სიჩქარით.

სავეგეტაციო პერიოდის ცალკეული თვეების წყლის ხარჯების დინამიკის (ნახ. 3. 2 და ნახ. 3. 3) კვლევის შედეგების (ცხრილი 3. 3) ანალიზიდან ირკვევა, რომ სოფ. ბირკიანთან დადებითი (მატების) ტენდენციით ხასიათდება აპრილის, აგვისტოსა და სექტემბრის თვეების წყლის ხარჯები. დანარჩენ თვეებში (მაისი, ივნისი და ივლისი) აღინიშნება წყლის ხარჯების კლება, ანუ მათი ტრენდები დადებითი ტენდენციით ხასიათდება.

სოფ. შაქრიანთან წყლის ხარჯების მატების ტენდენცია აღინიშნება აპრილისა და მაისის თვეებში, ხოლო ივნისში, ივლისში, აგვისტოსა და სექტემბერში ფიქსირდება წყლის ხარჯების კლება, რაც გამოწვეულია როგორც ჰავის სიმშრალით, ასევე სარწყავად წყალაღებების მაღალი მნიშვნელობებით.

ამ ფაქტთან დაკავშირებით აღსანიშნავია ის, რომ სავეგეტაციო პერიოდში, სოფ. ბირკიანამდე მდ. ალაზნიდან არ ხდება არც წყალაღებები და არც წყალჩაშვებები, მის ქვემოთ კი ეს პროცესები აქტიურდება როგორც ზემო და ქვემო სარწყავი მაგისტრალური არხების სისტემებით, ისე მრავალი არასაინჟინრო წყალგადამგდები არხებით. საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ მდ. ალაზანში წყალჩაშვებები იწვევს წყლის ხარჯების ხელოვნურ მატებას სოფ. შაქრიანთან. წყალჩაშვებები ხდება იმ საწარმოებიდან, რომლებიც წყალს იღებენ მიწისქვეშა წყლებიდან ჭაბურღილების მეშვეობით და შემდეგ ნახმარ წყალს უშვებს მდ. ალაზანში. ამ საწარმოების ჩამონათვალი და წყალჩაშვებების წლიური რაოდენობა 2006 წლის მაგალითზე მოცემულია 3. 6. ცხრილში [6].

ცხრილი 3. 6. მდ. ალაზანში საწარმოებიდან 2006 წელს ჩაშვებული წყლის მაჩვენებლები

საწარმოს დასახელება, მისამართი	წყალჩაშვება ათასი მ ³	მანძილი შესართავიდან კმ
ს.ს. თელავწყალკანალი, ქ. თელავი	629	220
შპს ყვარლის წყალკანალი, ქ. ყვარელი	1100	217
შპს გურჯაანის წყალკანალი, ქ. გურჯაანი	430	150
ს.ს. ახმეტის ღვინის ქარხანა	1,5	250
შპს ქინძმარაულის მარანი, ყვარლის რ-ნი, სოფ. გაეაზი	1,2	200
შპს კახეთის ღვინის სახლი, თელავის რ-ნი, სოფ. სანიორე	2	220

საშუალო წლიური და სავეგეტაციო პერიოდის წყლის ჩამონადენის ცვლილებასთან ერთად მეტად საყურადღებოა მდინარის მაქსიმალური და მინიმალური წყლის ხარჯების მრავალწლიური დინამიკის განსაზღვრა. ამისათვის გამოკვლეულ იქნა მათი ყოველწლიური ცვლილება. მიღებული ტრენდების პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობები მოცემულია 3. 5. ცხრილში. მონაცემების შესწავლის შედეგად გაირკვა, რომ მდ. ალაზნის წყლის მაქსიმალური ხარჯები მის ორივე საკვლევ ჰიდროკვეთზე მცირდება, და მათი ყოველწლიური კლების სიჩქარე სოფ. ბირკიანთან -1,08-ს, ხოლო სოფ. შაქრიანთან კი -1,18-ს შეადგენს. ამ შემცირების მიზეზი სავარაუდოდ კლიმატის დათბობის პირობებში ზამთარში მყარი ნალექებისა და შესაბამისად გაზაფხულის წყალდიდობების შემცირებაა, როდესაც მდინარეზე ძირითადად წყლის მაქსიმალური ხარჯები აღირიცხება.

ამის საწინააღმდეგო პროცესი მიმდინარეობს მდ. ალაზნის წყლის მინიმალური ხარჯების ცვლილებასთან დაკავშირებით. 3. 5. ცხრილის მონაცემების მიხედვით, მდ. ალაზნის წყლის მინიმალური ხარჯები ორივე ჰიდროკვეთზე იზრდება ყოველწლიურად 0,02 სიჩქარით. სავარაუდოდ, ამის მიზეზი არის ის ფაქტი, რომ ზამთარში, როდესაც მდინარეზე აღირიცხება მინიმალური წყლის ხარჯები, რომლებიც ადრე ფორმირდებოდა ძირითადად მიწისქვეშა წყლებით, კლიმატის დათბობის გააქტიურების პირობებში, აუზის ზედაპირზე თოვლის ნაცვლად მოდის წვიმა, რომელიც დაუბრკოლებლად ჩაედინება მდინარეში და ემატება მიწისქვეშა წყლებს.

3. 4. მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების მოსალოდნელი ცვლილება.

კლიმატის მიმდინარე და მოსალოდნელი ცვლილების გავლენის შესწავლა მდინარის წყლის ჩამონადენზე ერთ-ერთი მთავარი ამოცანაა ნებისმიერი რეგიონისათვის, მდ. ალაზნის შემთხვევაში კი მთელი ჩვენი ქვეყნისათვის, რადგან ეს მდინარე არის მთავარი წყარო კახეთის ნაყოფიერი ნიადაგების მოსარწყავად და სასოფლო-სამეურნეო კულტურების უხვი მოსავლის მისაღებად. მაგრამ კლიმატური ელემენტების ცვლილების შედეგად მდინარის წყლის ჩამონადენის ცვლილების შეფასება საკმაოდ რთულ ამოცანას წარმოადგენს.

დასმული საკითხის შესასწავლად კლიმატის ცვლილების საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინების ფარგლებში გამოყენებულ იქნა ორი კომპიუტერული რეგიონული კლიმატისა (PRECIS) და ჰიდროლოგიური (WEAP) მოდელები [6]. განხილულ იქნა 15-წლიანი და 30-წლიანი პერიოდები. მდ. ალაზნის ხემო წელში არსებული ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემებით საპროგნოზო გამოთვლების შედეგად მიღებული ტემპერატურის, ნალექებისა და მდინარის ჩამონადენის ცვლილება მოცემულია 3. 7. ცხრილში, საიდანაც ჩანს, რომ ნალექების რაოდენობა შედარებით მცირედ იცვლება ტემპერატურის არსებითი მატების ფონზე, რომელიც XXI საუკუნის ბოლოსათვის 5 °C-ს აღემატება. შესაბამისად, აუზის ზედაპირზე მოიმატებს აორთქლება და შემცირდება მდინარის ჩამონადენი XX საუკუნის მეორე ნახევართან შედარებით.

ამ ცხრილის მიხედვით 15-წლიანი პერიოდების განხილვის დროს ატმოსფერული ნალექები გამონაკლისის გარდა თითქმის უცვლელი რჩება, ხოლო ტემპერატურა XXI საუკუნის ბოლოსათვის 5 °C-ით გაიზრდება. ეს ფაქტი შესაბამისად აისახება მდინარის ჩამონადენზეც და მიღებული პროგნოზის თანახმად 2100 წლისთვის მოსალოდნელია მდ. ალაზნის ჩამონადენის კლება, ოღონდ პერიოდული ვარიაციებით.

30-წლიანი პერიოდების გასაშუალოების შემთხვევაში მდინარის ჩამონადენი მცირე კლების ტენდენციას აჩვენებს. შესაბამისად XXI საუკუნის ბოლოსთვის 1951 – 1980 წლებთან შედარებით ჩამონადენის 8,6 %-იანი კლებაა მოსალოდნელი პერიოდული ვარიაციებით.

ცხრილი 3. 7. ატმოსფერული ნალექების, ჰაერის ტემპერატურისა და მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენის მნიშვნელობები 15- და 30-წლიან პერიოდებში

წლები	ნალექები მმ	ცვლილება მმ	ტემპერატურა °C	ცვლილება °C	ჩამონადენი მლნ მ ³	ცვლილება მლნ მ ³
15 წლიანი პერიოდი						
1951 – 1965	2200		3,3		441	
1966 – 1980	2280	+ 80	3,3	0,0	474	+ 33
2071 – 2085	2150	- 130	7,9	+ 4,6	408	- 66
2086 – 2100	2260	+ 110	8,9	+ 1,0	433	+ 25
30 წლიანი პერიოდი						
1951 – 1980	2240		3,3		459,7	
2071 – 2100	2205	- 35	8,4	+ 5.1	420,2	- 39,5
ცვლილება %		-1,6 %				- 8,6 %

აღსანიშნავია, რომ მდ. ალაზნის ჩამონადენი მის ქვემო წელში დაახლოებით 13 %-ით აღემატება შესაბამის მნიშვნელობას შუა წელში და მისი ცვალებადობა სინქრონულად მიმდინარეობს მდინარის გაყოლებაზე. ამიტომ შაქრიანის ჰიდროლოგიური საგუშაგოსთვის, რომლის მახლობლად სათავეს იღებს ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემა,

მიღებული შედეგები შეიძლება გავრცელდეს მდ. ალაზნის ქვემო წელზეც და საუკუნის ბოლოსთვის 2070 – 2100 წლების ჩამონადენი მდ. ალაზანზე სავარაუდოდ საშუალოდ 10 %-ით დაიკლებს.

ჩვენი კვლევის მიხედვით, სავეგეტაციო პერიოდში მდ. ალაზანზე ბუნებრივი ჩამონადენის ($m^3/წმ$) დინამიკის ამსახველი (ნახ. 3. 2.) დადამავალი (კლების) ტენდენციის ტრენდის განტოლება (ცხრ. 3. 5.) სოფ. ბირკიანთან ასე წარმოდგება:

$$T_Q = -0,0084 n + 20,642, \quad (3. 3.)$$

სადაც n წლის რიგითი ნომერია 1950 წლიდან, ე. ი. როდესაც $n = 1$, მისი კოეფიციენტი ($-0,0084$) კი უჩვენებს ჩამონადენის ყოველწლიური კლების ინტენსიურობას.

ასეთ პირობებში კახეთის რეგიონში შესაძლებელია გააქტიურდეს გაუდაბნობის პროცესი, მაგრამ საქართველოს კლიმატის მეორე ეროვნული შეტყობინების [7] თანახმად მდ. ალაზნიდან წყლის მოთხოვნაზე მხოლოდ მაშინ შეიძლება წარმოიშვას პრობლემა, როდესაც ჩამონადენი შემცირდება 50 %-ით და ამდენივეთი გაიზრდება მოთხოვნა წყალზე. რადგანაც მაშინდელი პროგნოზით ჩამონადენის ასეთი შემცირება სავარაუდოევი არ იყო, ამდენად წყლის მოთხოვნის მნიშვნელოვანი ზრდის შემთხვევაშიც კი მდ. ალაზანზე წყლის დეფიციტი არც მიმდინარე საუკუნეშია მოსალოდნელი [7].

აღბათ ასეთი დამაიმედებელი პროგნოზის გამოა, რომ კლიმატის ცვლილების მესამე ეროვნულ შეტყობინებაში [8] მდინარის წყლის ჩამონადენის ცვლილების საკითხი არ არის განხილული, მაგრამ განხილულია ჰაერის ტემპერატურის, ატმოსფერული ნალექებისა და გვალვიანობის პროგნოზები 2071 – 2100 წლებისათვის. საგანგაშოა ის, რომ მდ. ალაზნის აუზის ორივე მხარეზე მოსალოდნელია ნალექების მნიშვნელოვანი შემცირება და ჰაერის ტემპერატურის მომატება, რაც ბუნებრივად გამოიწვევს მდინარეთა წყლიანობის შემცირებას.

ამრიგად კლიმატის თანამედროვე დათბობისა და ანთროპოგენური ფაქტორების მოქმედების შესაფასებლად მდინარის ჩამონადენზე გამოკვლეულია მდ. ალაზნის წყლის წლიური, მაქსიმალური, მინიმალური, სავეგეტაციო პერიოდისა და ცალკეული თვეების ხარჯების მრავალწლიური დინამიკა. შედგენილია მათი სათანადო ტრენდები და მიღებულია მათი აპროქსიმაციის გამომსახველი განტოლებები შესაბამისი შეფასებებით. ვინაიდან წლის სხვადასხვა პერიოდში ტემპერატურისა და ნალექების ცვლილება ხდება სხვადასხვა ინტენსიურობით, მდ. ალაზნის სხვადასხვა პერიოდის ჩამონადენის ცვლილების ტენდენციაც განსხვავებულია.

მდინარის აუზის ზემო წელში (სოფ. ბირკიანთან), სადაც აღირიცხებოდა წყლის ბუნებრივი ჩამონადენი (წყალაღებისა და წყალჩაშვების გარეშე), მის მრავალწლიურ დინამიკაში აღინიშნება საშუალო წლიური, საშუალო სავეგეტაციო პერიოდისა და მისი ცალკეული თვის მაისის, ივნისისა და ივლისის თვის წყლის ხარჯების კლება, აპრილში, აგვისტოსა და სექტემბერში კი ხდება მათი მომატება.

მდინარის აუზის შუა წელში, სადაც ხდება აქტიური წყალმოხმარება (სოფ. შაქრიანთან) იზრდება მდინარის საშუალო წლიური, სავეგეტაციო პერიოდის, აგრეთვე აპრილის თვის წყლის ხარჯები, დანარჩენ თვეებში (ივნისიდან ოქტომბრამდე კი, როდესაც იზრდება წყალმოთხოვნილება, მდინარის წყლის ხარჯები მცირდება).

ყველა ეს სხვადასხვაობა შეიძლება აიხსნას მდინარეში ამ ჰიდროკვეთებამდე ჩამდინარე შენაკადების წყლიანობისა და მათი წყალმოხმარების რეჟიმების სხვადასხვაობით. მაგრამ განსაკუთრებით საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ მდ. ალაზნის ორივე ჰიდროკვეთზე მრავალწლიურ ჭრილში წყლის მაქსიმალური ხარჯები მცირდება, მინიმალური წყლის ხარჯები კი იზრდება. ეს გამოწვეულია ძირითადად კლიმატის დათბობის პირობებში ზამთარში მყარი ნალექების შემცირებით, რის გამოც მცირდება გაზაფხულის წყალდიდობა და შესაბამისად მცირდება მაქსიმალური ხარჯები, რომლებიც ძირითადად ამ დროს აღირიცხება.

მდინარეში წყლის მინიმალური ხარჯების მატება კი, რომლებიც ძირითადად ზამთარში (იანვარ - თებერვალში) აღირიცხება, გამოწვეულია იმით, რომ დათბობის პირობებში ზამთარში მყარი ნალექების ნაცვლად ზოგჯერ მოდის თხიერი ნალექები, რომლებიც მაშინვე დაუბრკოლებლად ჩაედინება მდინარეში და ემატება იმ მიწისქვეშა წყლებს, რომლებითაც ფორმირდება მინიმალური ხარჯები. გარდა ამისა, მდინარის მინიმალური ხარჯების მატების მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს აგრეთვე სამეურნეო საწარმოების მიერ მოხმარებული წყლების წყალჩაშვების მატება მდინარეში.

აღსანიშნავია, რომ 2009 წელს მიღებულ [7] კლიმატის ცვლილების მეორე ეროვნულ შეტყობინებაში გამოკვლევულ იქნა მდ. ალაზნის წყლიანობის პროგნოზი, რომლის მიხედვით XXI საუკუნეში მდ. ალაზანზე წყლის დეფიციტი არ იყო მოსალოდნელი. ამის გამო მდინარეთა წყლიანობა აღარ იქნა განხილული 2015 წელს მიღებულ [8] კლიმატის მესამე ეროვნულ შეტყობინებაში. მასში შედგენილია პროგნოზები ჰაერის ტემპერატურის, ატმოსფერული ნალექებისა და გვაღვიანობისა, რომლის მიხედვით მდ. ალაზნის აუზში 2071 – 2100 წლებში მნიშვნელოვნად შემცირდება ნალექები, გაიზრდება ჰაერის ტემპერატურა და გვაღვიანობა, რაც უარყოფითად აისახება მდინარეთა წყლიანობაზე და შემცირდება სარწყავი წყლის რესურსები და შესაბამისად მოსავლიანობა.

ასეთი ვითარება მეტად საყურადღებოა და საჭიროა სათანადოდ იქნეს შესწავლილი მასთან დაკავშირებული მოსალოდნელი პრობლემები, რათა შემუშავდეს და ჩატარდეს შესაბამისი პრევენციული ღონისძიებები ნეგატიური პროცესების შერბილებისა და ზარალის შემცირებისათვის. მათი გათვალისწინებით შესაძლებელია მდინარეთა არსებული წყლის რესურსების რაციონალურად გამოყენების სწორი დაგეგმარება, განსაკუთრებით სავგებტაციო პერიოდში, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ყაირათიანად რწყვის საწარმოებლად და შედეგად მოსავლიანობის ასამაღლებლად, რაც მეტად მნიშვნელოვანია ქვეყნის ეკონომიკისა და მოსახლეობის კეთილდღეობისათვის.

თაზი IV. მდინარეთა წყლის ხარჯების საპროგნოზო მეთოდოლოგია

4. 1. მთის მდინარეთა წყლიანობის პროგნოზირების თავისებურებანი

მდინარეთა წყლის ხარჯების პროგნოზირება განსაკუთრებით მთის მდინარეებზე წარმოადგენს ყველაზე რთულ პრობლემას ჰიდროლოგიაში. საქართველოს მდინარეთა რეჟიმი და ჩამონადენის თავისებურება განისაზღვრება მდინარეთა აუზების ზედაპირის ხასიათისა და კლიმატური პირობების სხვადასხვაობით. რთული მთიანი რელიეფის პირობებში, მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირებაში დიდ როლს თამაშობს აუზის ზედაპირის ვერტიკალური ზონალობა, რომელიც თითოეული მდინარის აუზში გარკვეული თავისებურებებით გამოირჩევა. ამიტომ მათი ჩამონადენის განაწილება სივრცესა და დროში სხვადასხვა იქნება. ამის გამო ყოველი მდინარის აუზისათვის შემუშავებულ უნდა იქნეს ინდივიდუალური საპროგნოზო მეთოდი.

განსაკუთრებით დიდ სირთულეს ქმნის მთებში მოსული ნალექების არათანაბარი განაწილება. წყლის ხარჯები მდინარეებზე ფორმირდება როგორც წვიმისა და თოვლის დნობის ერთობლივი მოქმედებით, ასევე მხოლოდ წვიმის წყლებით დაბლობ რაიონებში. მაღალ მთებში კი მნიშვნელოვანია ნადნობი წყლების როლი წყლის ხარჯების ფორმირებაში.

მდინარის საზრდოობაში მნიშვნელოვანი როლი ეკუთვნის გრუნტის წყლებსაც, ამიტომ პროგნოზირების დროს აუცილებელია მათი გათვალისწინება წინა საპროგნოზო პერიოდის მდინარის ჩამონადენის სახით. ზამთარში დათბობების დროს ხდება თოვლის წყლის დანაკარგები, რაც აისახება ზამთრის პერიოდის ჩამონადენში და ამიტომ პროგნოზირებისას აუცილებელია როგორც ზამთრის პერიოდის ჰაერის ტემპერატურების, ისე მდინარის წყლის ხარჯების გათვალისწინება.

აღსანიშნავია, რომ ზამთრის დათბობების დროს თოვლის დანაკარგები არ აღირიცხება ზამთრის ნალექების ჯამში, რომელიც ხშირად გამოიყენება თოვლის მარაგის შესაფასებლად. ამ მიზნით უმჯობესია გამოვიყენოთ თოვლში წყლის მარაგის მნიშვნელობა, რომელსაც ჩვენ თოვლის წყალშემცველობას ვუწოდებთ.

მდინარის ჩამონადენის პროგნოზირების საკითხი პირველ რიგში დამოკიდებულია ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის დაკვირვების პუნქტების რაოდენობაზე, მათ განლაგებაზე, დაკვირვების რიგზე, მის სისწორეზე და რაც მთავარია მათ ინფორმაციულობაზე. საპროგნოზოდ შეიძლება მხოლოდ იმ პუნქტების გამოყენება, რომლებიდანაც რეგულარულად მიიღება შესაბამისი ოპერატიული ინფორმაცია.

მთის მდინარეთა აუზებში არსებული საინფორმაციო მეტეოპუნქტების მონაცემები არ ახასიათებს მაღალმთიან პირობებს 2000 მ-ის ზევით. თუ გავითვალისწინებთ, რომ განსახილველ მდინარეთა აუზები მოიცავს უფრო მაღალი სიმაღლითი ზონების ტერიტორიებს, ინფორმაცია მეტეოროლოგიური ფაქტორებისა აღნიშნული მეტეოპუნქტებიდან არ იქნება მახასიათებელი მდინარეთა აუზებში არსებული პირობებისა და ამიტომ რთული იქნება მათი გამოყენებით კარგი შეფასების პროგნოზების მიღება.

ამრიგად, მთის მდინარეებზე არსებული შეზღუდული ინფორმაციული მონაცემები არ ასახავს მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირების რეალურ სურათს და ამიტომ არ არის ხელსაყრელი პროგნოზირებისათვის და შეუძლებელია მაღალი

გამართლების პროგნოზების მიღება. ცნობილი ჰიდროპროგნოზისტი ე. პოპოვი აღნიშნავდა, რომ “დღემდე ჰიდროლოგიაში არსებული ყველა საპროგნოზო მეთოდი მიახლოებითია” [1].

4. 2. პროგნოზირების ზოგადი საფუძვლები

ჰიდროლოგიური პროგნოზი არის ჰიდროლოგიური მოვლენის წინასწარმეტყველება, თვით ჰიდროლოგია კი განიხილავს წყლის რესურსებს, მის განაწილებას, რეჟიმს, მახასიათებლებსა და სხვა. ჰიდროლოგიური პროგნოზი ემყარება მდინარის ჩამონადენის ფორმირების კანონზომიერებებს და არის მათი პრაქტიკული გამოყენების ფორმა. მდინარის ჩამონადენი მრავალფეროვანი გეოგრაფიული გარემოს პირობებში ფორმირდება და ურთიერთდაკავშირებული რთული პროცესების კომპლექსური ქმედების შედეგია, რომელიც ატმოსფეროში, დედამიწის ზედაპირზე, ნიადაგის ფენაში და მდინარის მრავალგანშტოებიან კალაპოტის ქსელში მიმდინარეობს.

ჰიდროლოგიური პროგნოზირების მეთოდების შემუშავებას საფუძვლად უდევს პროცესების ფიზიკური ანალიზი და მისი საბოლოო მიზანია რიცხობრივი დამოკიდებულების მოძებნა, რომლითაც გაიანგარიშება მდინარის რეჟიმის გარკვეული ელემენტის, მაგალითად წყლის ხარჯის (მ³/წმ) საშუალო მნიშვნელობა საპროგნოზო პერიოდის განმავლობაში.

საქართველოს მდინარეები წლიური სეზონების მიხედვით იკვებება საზრდოობის წყაროების სხვადასხვა შეფარდებით. იმის მიხედვით, თუ რომელი მათგანი ჭარბობს, იცვლება ჩამონადენის რეჟიმი. ამ ცვალებადობის აღწერა შეიძლება წყლის ბალანსის განტოლებით, რომელიც წლის ნებისმიერი დროის ინტერვალისათვის განსახილველ მდინარეებზე მიახლოებით ასე წარმოდგება:

$$y = y_0 + P + W + W_a - (Z_{\text{წ}} + Z_{\text{დ}} + J), \quad (4. 1)$$

სადაც y – მდინარის ჩამონადენია განსახილველი საპროგნოზო პერიოდისათვის, y_0 – გრუნტის წყლების მრავალწლიური და სეზონური მარაგი, P – წვიმის წყლები კონდენსაციასთან ერთად, W – სეზონური თოვლის ნადნობი წყლები, W_a – მყინვარებისა და მარადი თოვლის ნადნობი წყლები, $Z_{\text{წ}}$, $Z_{\text{დ}}$ – წვიმისა და ნადნობი წყლების აორთქლება, J – წვიმისა და ნადნობი წყლების ინფილტრაცია.

აღსანიშნავია, რომ სწორედ წყლის ბალანსის განტოლების ამოხსნა წარმოადგენს განსახილველი პერიოდისათვის მდინარის ჩამონადენის პროგნოზირების ზოგად ფიზიკურ საფუძველს, მაგრამ (4. 1) განტოლებაში შემავალი ელემენტებიდან მხოლოდ წვიმა (P) და თოვლის წყალშემცველობა (W) იზომება რეგულარულად. განტოლების დანარჩენი წევრები არ იზომება და ძალზე ძნელია მათი გამოანგარიშება. ამის გამო საპროგნოზო მეთოდიკის შემუშავების დროს გამოიყენება ჩამონადენის გაზომილ ფაქტორებთან მიახლოებითი კორელაციური კავშირები, რომლებიც დგინდება ცალკეული მდინარის აუზში მრავალწლიური დაკვირვების მონაცემების საფუძველზე მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების გამოყენებით. ასეთი მეთოდები ფიზიკურ - სტატისტიკურ მეთოდებად იწოდებიან [2].

მდინარის ჩამონადენზე წელიწადის სხვადასხვა დროს მოქმედებს როგორც მუდმივ მოქმედი (რელიეფი, ნიადაგ - მცენარეული საფარი და სხვა), ასევე ცვალებადი ფაქტორები (ტემპერატურა, ნალექი, აორთქლება, ინფილტრაცია და

სხვა). ჩამონადენის ცვალებადობა დროის მიხედვით ძირითადად დამოკიდებულია სწორედ ამ ცვლად ფაქტორებზე, რომლებიც მისი საზრდოობის წყაროზე მოქმედებს.

ამრიგად, საპროგნოზო მეთოდის შემუშავების დროს უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება საწყის მონაცემებს. არახელსაყრელ პირობებში (მცირე დაკვირვების ქსელი ან დაკვირვების დაბალი სიზუსტე) პროგნოზის ცდომილება ხშირად ძალზე მნიშვნელოვანია. ამიტომ მდინარის ჩამონადენის პროგნოზის სიზუსტე, პირველ რიგში, განპირობებულია ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის დაკვირვების მონაცემების რაოდენობითა და მათი სისწორით.

4. 3. მრავალფაქტორიანი საპროგნოზო მოდელი

მდინარის ხარჯის სიდიდე დამოკიდებულია მრავალრიცხოვან ფაქტორებზე, რომელთა გამოვლენა, მათი მოქმედების კანონზომიერების შესწავლა დიდ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული. ჰიდროლოგიური პროცესების დიდი არათანაბრობა, გამოწვეული გეოგრაფიული გარემოს არაერთგვაროვნებით, და აგრეთვე უკიდურესად შეზღუდული საწყისი ინფორმაცია ქმნის დიდ სირთულეებს მრავალრიცხოვანი მოქმედი ფაქტორების ურთიერთკავშირის რთული პროცესების გარკვევაში და გვაიძულებს ვეძებოთ მიახლოებითი დამოკიდებულებები, რომლებიც მხოლოდ ძირითად ფაქტორებს ითვალისწინებს. ჩვენს პირობებში ამის მიზეზია, ის, რომ მთიანი აუზის ზედაპირზე თითქმის ყველა სიმაღლით ზონაში სხვადასხვა პირობებია, რომელთა ასახვა არ ხდება სათანადო დაკვირვების მასალებით.

მთის მდინარეთა ჩამონადენი, ძირითადად ფორმირდება მაღალმთიან ზონებში, სადაც რთული ბუნებრივი პირობების გამო ჰიდრომეტეოროლოგიურ ელემენტებზე დაკვირვება არ ხდება, რის გამოც პროგნოზირებისათვის საჭირო მასალების დეფიციტთან გვაქვს საქმე. ზოგიერთი მდინარის აუზში სულ არ არის დაკვირვების პუნქტები, ზოგიერთში კი მხოლოდ ერთია და ისიც ისეთ ზონაში, რომელიც არ წარმოაჩენს მდინარის ჩამონადენის ფორმირების რეალურ სურათს. ამის გამო მოცემული აუზის დასახასიათებლად იძულებული ვხდებით გამოვიყენოთ მეზობელი აუზის მონაცემები. თუმცა ამ შემთხვევაში საქართველოს ცალკეულ მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირების მკვეთრი ინდივიდუალობის გამო საქმე გვაქვს არარეპრეზენტატიულ მონაცემებთან.

ასეთ პირობებში გასაგებია ის სირთულეები, რის გამოც ვერ ხერხდება განხილულ მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირების იმ კანონზომიერების დადგენა, რომლებიც გამოიყენება თანამედროვე მათემატიკურ საპროგნოზო მოდელეებში და მათ საფუძველზე საპროგნოზო მეთოდების შემუშავება. არსებული დაკვირვების მასალები იმდენად არასრულყოფილად აღწერენ მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირების პირობებს, რომ მათი გამოყენება ჩამონადენის რომელიმე გენეტიკური სახის საპროგნოზო მოდელში გაუმართლებელია. ამის გამო საპროგნოზო დამოკიდებულების შესადგენად ვიყენებთ მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდს – ემპირიულ კავშირს ჩამონადენსა და მის მაფორმირებელ ფაქტორებს შორის.

ჰიდროლოგიური პროცესის მრავალფაქტორიანობის არსიდან გამომდინარე, მისი მათემატიკური აღწერა შეიძლება მხოლოდ მათემატიკური სტატისტიკის დახმარებით. ამიტომ სტატისტიკური მეთოდი ხშირ შემთხვევაში ერთადერთი საშუალებაა საპროგნოზო დამოკიდებულების დასადგენად. მათემატიკური

სტატისტიკა არის დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე ოპტიმალური ამოხსნის მეცნიერება, სადაც გამოიყენება მათემატიკა, მაგრამ წამყვანი მაინც ლოგიკაა. ლოგიკა აყენებს მეთოდოლოგიურ პრობლემას, მიმართულებას აძლევს მის ამოხსნას და აკონტროლებს მის სარგებლიანობას.

ამრიგად მდინარეთა ჩამონადენის ფაქტორების სიმრავლე, მათი ურთიერთქმედების სირთულე და მათი რიცხვითი აღრიცხვის შეუძლებლობა გვაიძულებს, რომ პროგნოზირების დროს გამოვიყენოთ სტატისტიკური მოდელი მხოლოდ იმ ფაქტორების გათვალისწინებით, რომლებიც ექვემდებარებიან სტანდარტულ დაკვირვებებს და რომელთა შესახებ არსებობს ინფორმაცია ოპერატიული პროგნოზების გაცემის დროს. ასეთი პრინციპით მიღებულ საპროგნოზო მოდელში [3] პრედიქტანტსა და პრედიქტორებს შორის არსებული სტატისტიკური კავშირი ასე გამოისახება:

$$Q_{t+T} = f(P_t, \theta_t, W_t, Q_t), \quad (4.2)$$

სადაც Q_{t+T} – მდინარის საპროგნოზო ხარჯია ($m^3/წმ$), t – პროგნოზის შედგენის დროა, T – საპროგნოზო პერიოდის ხანგრძლივობა (დროულობა), f – გარდამქმნელი ფუნქცია, P_t – ჰაერის საშუალო ტემპერატურა ($^{\circ}C$), W_t – თოვლის წყალშემცველობა (m), Q_t – მდინარის წყლის ხარჯი ($m^3/წმ$) t დროში.

ეს ფაქტორები არის მთავარი, რეალური, მაგრამ არაპირდაპირი მაჩვენებლები ჩამონადენის ოდენობისა. თითოეული ფაქტორი უმჯობესია დავანაწევროთ ცალკეული პერიოდების მაჩვენებლებად, რადგან ისინი სხვადასხვანაირად მოქმედებენ საპროგნოზო ჩამონადენზე. მაგალითად სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენზე სხვადასხვანაირად მოქმედებს შემოდგომაზე, ზამთარში და გაზაფხულზე მოსული ნალექები, ამიტომ მათი ერთ ჯამად წარმოდგენა არ იქნება გამართლებული. ამასთან დაკავშირებით, თუ (4.2.) გამოსახულებაში თითოეული ელემენტის მნიშვნელობებს შევიტანთ ცალკეული პერიოდების მიხედვით და მათ დავუმატებთ საპროგნოზო (T) პერიოდის ნალექებსა და ჰაერის ტემპერატურას, მივიღებთ გაფართოებულ საპროგნოზო მოდელს:

$$Q_{t+T} = f(P_{t_0}, \theta_{t_0}, Q_{t_0}, P_{t_0+1}, \theta_{t_0+1}, Q_{t_0+1}, \dots, P_{t-1}, \theta_{t-1}, W_{t-1}, Q_{t-1}, P_t, \theta_t, W_t, Q_t, \theta_T, P_T), \quad (4.3)$$

სადაც t_0 – ფაქტორების ათვლის საწყისი დროა.

ამრიგად საპროგნოზო მეთოდიკის შესამუშავებლად ვიყენებთ სტატისტიკურ მოდელს, რომელშიც კომპლექსურად განიხილება მთავარი ჰიდრომეტეოროლოგიური ფაქტორები, რაც საშუალებას იძლევა აღვრიცხოთ მათი ერთობლივი მოქმედება მდინარის ჩამონადენზე. ფაქტორების დანაწევრებით გათვალისწინებულია ჰიდრომეტეოროლოგიური ელემენტების დინამიკის მოქმედება მდინარის მომავალი ჩამონადენის ოდენობაზე. ასეთი მოდელი საშუალებას იძლევა კონკრეტულ შემთხვევაში, გამოვიყენოთ მხოლოდ ცალკეული ელემენტები. მაგალითად, მხოლოდ ადრეული ინფორმაციის გათვალისწინებით, შეიძლება გაიზარდოს საპროგნოზო დროულობა, ხოლო თუ ბოლო პერიოდის ფაქტორებს გამოვაკლებთ, შეიძლება მივიღოთ პროგნოზები ამინდის პროგნოზის გარეშე.

გარდა ამისა, ასეთი მრავალფაქტორიანი საპროგნოზო მოდელი საშუალებას იძლევა თავიდან ავიცილოთ ის ცდომილებები, რომელსაც უშვებდნენ ადრეულ საპროგნოზო მეთოდიკებში, სადაც 1 ან 2 ფაქტორიან გრაფიკულ

დამოკიდებულებებზე, სხვა ფაქტორების გათვალისწინებლობის მიზეზით, ხშირად უგულებელყოფდნენ გადახრილ წერტილებს, რითაც საპროგნოზო შეფასების კრიტერიუმი უმჯობესდებოდა, მაგრამ მცირდებოდა მათი საიმედოობა.

(4. 3) საპროგნოზო მოდელი არის ზოგადი სახე წლის ყველა პერიოდის ჩამონადენისა. კონკრეტული სახის საპროგნოზო მოდელის შედგენა ხდება ამ გამოსახულების სხვადასხვა მოდიფიკაციით, საპროგნოზო ჩამონადენის ფორმირების პროცესის ფიზიკური ანალიზის შედეგად იმ ინფორმაციის გათვალისწინებით, რომელიც გვაქვს ოპერატიული პროგნოზების შედგენისას. ასე დგება ცალკეული პერიოდის საპროგნოზო მოდელი სავეგეტაციო, კვარტალური და თვიური წყლის ხარჯების პროგნოზირებისათვის. ასე მაგალითად, სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის პროგნოზირებისათვის პროცესის ფიზიკური ანალიზისა და მაფორმირებელი ფაქტორების გათვალისწინების საფუძველზე შედგენილ იქნა შემდეგი საპროგნოზო მოდელი:

$$Q_{IV-IX} = f(Q_{VII-IX}, P_{IX-X}, Q_X, \theta_{X-XI}, Q_{XII}, P_{XI-I}, Q_{II}, W_{II}, Q_{XII}, \theta_{XII}, W_{III}, \theta_{III}, P_{III}, Q_{III}, \theta_{IV}, P_{IV}), \quad (4. 4)$$

სადაც ქვედა ინდექსებით აღნიშნულია ფაქტორების საანგარიშო პერიოდები თვეების მიხედვით. კერძოდ აქ VII-დან XII-მდე წინა წლის, ხოლო I-დან IV-მდე საპროგნოზო წლის თვეების მონაცემებია.

4. 4. ოპტიმალური საპროგნოზო მოდელის შერჩევა

პროგნოზებში სტატისტიკური მეთოდის გამოყენების დროს ყველაზე მთავარი და რთულია ისეთი ინფორმაციული ფაქტორების შერჩევა, რომლებიც სრულად წარმოადგენენ საპროგნოზო მოვლენას. პროგნოზების პრაქტიკული გამოყენებაც დიდადაა დამოკიდებული პრედიქტორების ოპტიმალური სისტემის შერჩევაზე.

როგორც მიღებული საპროგნოზო (4. 4) მოდელიდან ჩანს, მოქმედი ცვლადების რაოდენობა $m > 10$. ამდენი არგუმენტის შეტანა საპროგნოზო დამოკიდებულებაში არ იქნება გამართლებული არც პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით, დიდი ინფორმაციის საჭიროების გამო, და არც თეორიულად, რადგან პრედიქტორების რაოდენობის ზრდასთან ერთად, საპროგნოზო განტოლების მდგრადობა მცირდება [4] და იზრდება ალბათობა მაღალი კორელაციის კოეფიციენტის შემთხვევითობისა [5]. საპროგნოზო პრედიქტორების რაოდენობა (m) დამოკიდებულია რიგის სიგრძეზე (N). ლიტერატურაში არ არის მითითება მათ ოპტიმალურ თანაფარდობაზე, ცნობილია, რომ დაცული უნდა იყოს პირობა $m \ll N$ [6]. პრაქტიკაში [7] კრიტერიუმად მიღებულია შედარება $(m/N) \leq (1/10)$. საპროგნოზო განტოლება უფრო საიმედოა მაშინ, როდესაც ის მიღებულია m და N რიცხვების დიდი მნიშვნელობებით. ამის გამო, ჩვენი მიზანია ყველა სავარაუდო ფაქტორიდან შეირჩეს ყველაზე ოპტიმალური ნაერთი პრედიქტორებისა, რითაც შესაძლებელი იქნება მაღალი შეფასების პროგნოზების მიღება.

პროგნოზირების პრაქტიკაში [8, 9] პრედიქტორების ოპტიმალურ რაოდენობად ითვლება ის, რომელიც საპროგნოზო ცდომილებას მინიმალურს გახდის. ამ პრინციპის თანახმად ჩვენ ვემხრობით მინიმალური ოდენობის ცვლადების გამოყენებას, რათა პროგნოზების შესადგენად ნაკლები ინფორმაცია იყოს საჭირო, რაც ჩვენს პირობებში განსაკუთრებით პრობლემატურია.

დღეისათვის არ არსებობს ერთიანი მეთოდი პრედიქტორების ოპტიმალური სისტემის შესარჩევად და შესაფასებლად. არის რამდენიმე ხერხი. აღსანიშნავია, რომ ყოველ მათგანს აქვს გარკვეული უპირატესობა და წარმატებით გამოიყენება კონკრეტულ შემთხვევაში. ჩვენ გამოვიყენეთ სხვადასხვა ხერხის კომბინაცია, ძირითადად “გაცხრილვის” მეთოდი [7, 13, 14], მაგრამ აქ რომელიმე პრედიქტორის არასწორ შერჩევას, ხშირად მოყვება ხოლმე სხვა დანარჩენი მცდარი პრედიქტორებიც, რასაც მიყვავართ დიდ ცდომილებამდე. ეს ხდება იმის გამო, რომ არგუმენტების შერჩევა ხდება სუბიექტურად. ამ ნაკლის თავიდან აცილების მიზნით საპროგნოზო ჩამონადენის პროცესის ფიზიკური ანალიზის საფუძველზე შერჩეული არგუმენტების შესაფასებლად გამოვიყენეთ მათემატიკურ სტატისტიკაში ცნობილი გ. ალექსეევის [15], რ. ფიშერისა და სტიუდენტის [4, 16] კრიტერიუმები.

ამის სარეალიზაციოდ გამოვიყენეთ ჩვენ მიერ შედგენილი კომპიუტერული პროგრამა [17], რომელშიც ერთდროულად შეიძლება განვიხილოთ $m = 18$ ცვლადის მონაცემები, რომელთაგან თითოეულის დაკვირვების რიგის სიგრძე შეიძლება იყოს $N = 500$. ე.ი. განხილულ მონაცემთა მაქსიმალური მოცულობა შეადგენს $m \cdot N = 9000$. პრედიქტორების შერჩევის მიზნით განისაზღვრება კორელაციის კოეფიციენტების მატრიცა, რომელიც გვიჩვენებს ცვლადებს შორის კავშირს. იმისათვის, რომ თავი ავარიდოთ მცდარ კორელაციას საკვლევ ელემენტსა და მის განმსაზღვრელ არგუმენტებს შორის, საჭიროა დუბლირებული არგუმენტების გამოვლენა. ამისათვის განვიხილავთ სამკუთხა კორელაციურ მატრიცას:

$$\begin{aligned} & r_{12}, r_{13}, r_{14}, \dots, r_{1m}, \\ & \quad r_{23}, r_{24}, \dots, r_{2m}, \\ & \quad \quad r_{34}, \dots, r_{3m}, \\ & \quad \quad \quad \dots, \\ & \quad \quad \quad \quad r_{m-1, m}. \end{aligned} \tag{4.5}$$

დუბლირებული არგუმენტების განმსაზღვრელი კრიტერიუმია უტოლობა [15]:

$$|r_{jk}| > 1 - 2 \sigma_{rjk}, \tag{4.6}$$

(4. 6) უტოლობის შემთხვევაში განტოლებათა სისტემა სუსტადაა უზრუნველყოფილი და საჭიროა რომელიმე j ან K არგუმენტის გამორიცხვა. ამისათვის განიხილება კორელაციის კერძო კოეფიციენტები $(r_0, r_{01}, r_{02}, \dots, r_{0m})$ და გამოირიცხება K არგუმენტი. თუ

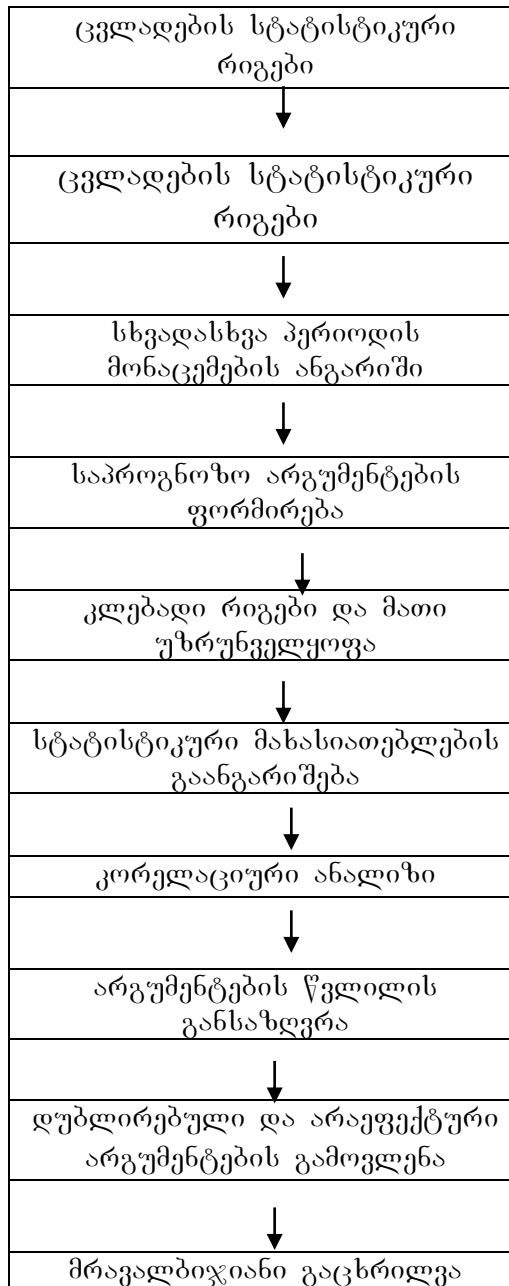
$$r_{jk} < r_{0j} \tag{4.7}$$

ასეთ შემთხვევაში მიიღება შედარებით მდგრადი განტოლებათა სისტემა.

პრედიქტორების შერჩევის მეორე ეტაპზე განვიხილავთ არგუმენტების დარჩენილ სისტემას და ვიყენებთ მრავალბიჯიანი გაცხრილვის მეთოდს. ამ შემთხვევაში კორელაციის კოეფიციენტების მიხედვით შეირჩევა პირველი “საუკეთესო” პრედიქტორი X_1 , რომელიც იძლევა კორელაციის კოეფიციენტის უდიდეს მნიშვნელობას X_0 პრედიქტანტთან. შემდეგ დარჩენილებთან განიხილება რეგრესიის განტოლება და შეირჩევა ის მეორე “საუკეთესო”, რომელიც პირველთან ერთად საკვლევ ელემენტთან კავშირში

$$X_0 = f(X_1, X_2), \tag{4.8}$$

იძლევა ყველაზე დიდი მრავლობითი კორელაციის კოეფიციენტს. შემდეგ ამ ორ “საუკეთესოს” დავაკავშირებთ ცალკეულად დანარჩენ არგუმენტებთან, იმავე პრინციპით შევარჩევთ მესამე “საუკეთესოს” და ა.შ.



ნახ. 4. 1. ცვლადების სტატისტიკური ანალიზისა და ოპტიმალური საპროგნოზო მოდელის შესადგენი ალგორითმის საერთო სქემა.

4. 5. საპროგნოზო განტოლებათა დადგენა და შეფასება

მრავალბიჯიანი გაცხრილვის შედეგად მიღებული ოპტიმალური საპროგნოზო მოდელების შედგენის შემდეგ საპროგნოზო განტოლებათა განსაზღვრისა და მათი შეფასებისათვის გამოყენებულ იქნა ჩვენ მიერ შედგენილი კომპიუტერული პროგრამა [19], რომლის თავდაპირველი ალგორითმის შესახებ ცნობები მოცემულია [3] შრომაში. შემდგომში ეს პროგრამა იქნა სრულყოფილი [20] და მოდიფიცირებული პერსონალური კომპიუტერისათვის.

მრავალფაქტორიანი დამოკიდებულების ყველა შესაძლებელი ვარიანტის კვლევის მიზნით გამოყენებულია ფაქტორთა სისტემის მრავალბიჯიანი პირდაპირი და შებრუნებული გაშლა, რის შედეგადაც ერთდროულად განისაზღვრება და ფასდება მრავალფაქტორიანი დამოკიდებულებათა ორი საპროგნოზო სისტემა.

$$\begin{aligned}
 Y^I &= f(X_1); \\
 Y^{II} &= f(X_1, X_2); \\
 Y^{III} &= f(X_1, X_2, X_3); \\
 &\dots\dots\dots \\
 Y^{(m)} &= f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_m).
 \end{aligned}
 \tag{4. 9}$$

$$\begin{aligned}
 Y^I &= f(X_m); \\
 Y^{II} &= f(X_m, X_{m-1}); \\
 Y^{III} &= f(X_m, X_{m-1}, X_{m-2}); \\
 &\dots\dots\dots \\
 Y^{(m)} &= f(X_m, X_{m-1}, X_{m-2}, \dots, X_1).
 \end{aligned}
 \tag{4. 10}$$

ასეთი მეთოდის გამოყენება საშუალებას იძლევა გამოვიკვლიოთ პრედიქტორების რაოდენობის შემცირების შესაძლებლობა. გარდა ამისა, თუ საწყის ელემენტებად შევიტანთ ადრეული ინფორმაციის შემცველ ფაქტორებს, ხოლო მომდევნო ადგილებზე მოვათავსებთ უფრო გვიანდელი ინფორმაციის პრედიქტორებს, როგორც ამას მოითხოვს ზოგადი მრავალფაქტორიანი საპროგნოზო მოდელი (4. 4), მაშინ ერთდროულად პროგნოზების სიზუსტის ამაღლების გარდა, შეიძლება გამოკვლეულ იქნას დროულობის გაზრდისა და ამინდის პროგნოზის გარეშე ჩამონადენის პროგნოზირების შესაძლებლობა.

საპროგნოზო დამოკიდებულების კვლევისას მთავარია კავშირის ფორმის დადგენა და განტოლების პარამეტრების განსაზღვრა. ბუნებრივი პროცესების აღწერისას ყველაზე ხშირად ვიყენებთ წრფივ და მრუდხაზოვან დამოკიდებულებებს. სწორედ ამიტომ, საანგარიშო პროგრამის მიხედვით გამოითვლება მრავალფაქტორიანი დამოკიდებულების როგორც წრფივი:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots + a_m X_m,
 \tag{4. 11}$$

ისე მრუდხაზოვანი ხარისხობრივი ფუნქცია:

$$Y = a_0, X_1^{a_1}, X_2^{a_2}, X_3^{a_3}, \dots, X_m^{a_m},
 \tag{4. 12}$$

სადაც a_0 - განტოლების თავისუფალი წევრია, $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$ - განტოლების პარამეტრებია.

შემდეგ განისაზღვრება საპროგნოზო განტოლებები, რომლებიც სწორხაზოვანი დამოკიდებულების აღწერისას ასეთ სახეს ღებულობს: პირდაპირი გაშლის დროს

$$\begin{aligned}
 Y^I &= a_0^I + a_1^I X_1; \\
 Y^{II} &= a_0^{II} + a_1^{II} X_1 + a_2^{II} X_2; \\
 Y^{III} &= a_0^{III} + a_1^{III} X_1 + a_2^{III} X_2 + a_3^{III} X_3; \\
 &\dots\dots\dots \\
 Y^{(m)} &= a_0^{(m)} + a_1^{(m)} X_1 + a_2^{(m)} X_2 + \dots + a_m^{(m)} X_m,
 \end{aligned}
 \tag{4. 13}$$

შებრუნებული გაშლისას კი

$$\begin{aligned}
 Y^I &= \mathbf{a}_0^I + \mathbf{a}_1^I X_m; \\
 Y^{II} &= \mathbf{a}_0^{II} + \mathbf{a}_1^{II} X_m + \mathbf{a}_2^{II} X_{m-1}; \\
 Y^{III} &= \mathbf{a}_0^{III} + \mathbf{a}_1^{III} X_m + \mathbf{a}_2^{III} X_{m-1} + \mathbf{a}_3^{III} X_{m-2}; \\
 &\dots\dots\dots \\
 Y^{(m)} &= \mathbf{a}_0^{(m)} + \mathbf{a}_1^{(m)} X_m + \mathbf{a}_2^{(m)} X_{m-1} + \dots + \mathbf{a}_m^{(m)} X_1.
 \end{aligned}
 \tag{4.14}$$

საპროგნოზო განტოლებათა განსაზღვრის შემდეგ ყველა ვარიანტისათვის გამოიანგარიშება შეფასებათა კრიტერიუმები ჰიდროლოგიური პროგნოზების სათანადო “დარიგების” [26] მიხედვით. პროგნოზების დასაშვები ცდომილება:

$$\delta = 0,674 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{N - 1}}, \tag{4.15}$$

სადაც \bar{y} საპროგნოზო ელემენტის მათემატიკური ლოდინია (საშუალო).

საპროგნოზო დამოკიდებულებაში გადახრათა ვარიაციის დასახასიათებლად გამოითვლება პროგნოზების საშუალო კვადრატული ცდომილება:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^I)^2}{N - K}}, \tag{4.16}$$

სადაც y_i საკვლევი ელემენტის ფაქტობრივი მნიშვნელობებია, y_i^I – საპროგნოზო განტოლებით მიღებული მნიშვნელობები, K – საპროგნოზო განტოლებაში პრედიქტორების რაოდენობა.

საპროგნოზო დამოკიდებულება ითვლება ეფექტურად და მისი გამოყენება მიზანშეწონილია პრაქტიკაში, თუ პროგნოზის საშუალო კვადრატული ცდომილება (s) ნაკლებია საპროგნოზო ჩამონადენის ფაქტობრივი მნიშვნელობის გადახრაზე მისი ნორმიდან (σ). ამის შესაფასებლად მიღებულია მათი შეფარდება (s/σ), რომელიც ერთდროულად ახასიათებს როგორც საპროგნოზო მეთოდის საიმედოობას, ასევე მის ეფექტურობას. ის არის საპროგნოზო დამოკიდებულების შეფასების მთავარი კრიტერიუმი. [21]-ის მიხედვით გრძელვადიანი პროგნოზების შემთხვევაში, როდესაც $N \geq 25$ მეთოდის კარგია, თუ $s/\sigma \leq 0,50$, თუ $s/\sigma = 0,50 \div 0,80$, მეთოდის დამაკმაყოფილებელია, ხოლო როდესაც $s/\sigma \geq 0,80$, მაშინ პროგნოზი არადამაკმაყოფილებელია და ის შეიძლება გაიცეს მხოლოდ კონსულტაციის სახით.

პროგნოზი ითვლება გამართლებულად, როდესაც მისი გადახრა ფაქტობრივი მნიშვნელობიდან ნაკლებია დასაშვებ ცდომილებაზე (δ). საპროგნოზო დამოკიდებულების სიზუსტე განისაზღვრება დასაშვები ცდომილების უზრუნველყოფით, რომელიც გამოიხატება პროცენტებით:

$$P = (n / N) \cdot 100\%, \tag{4.17}$$

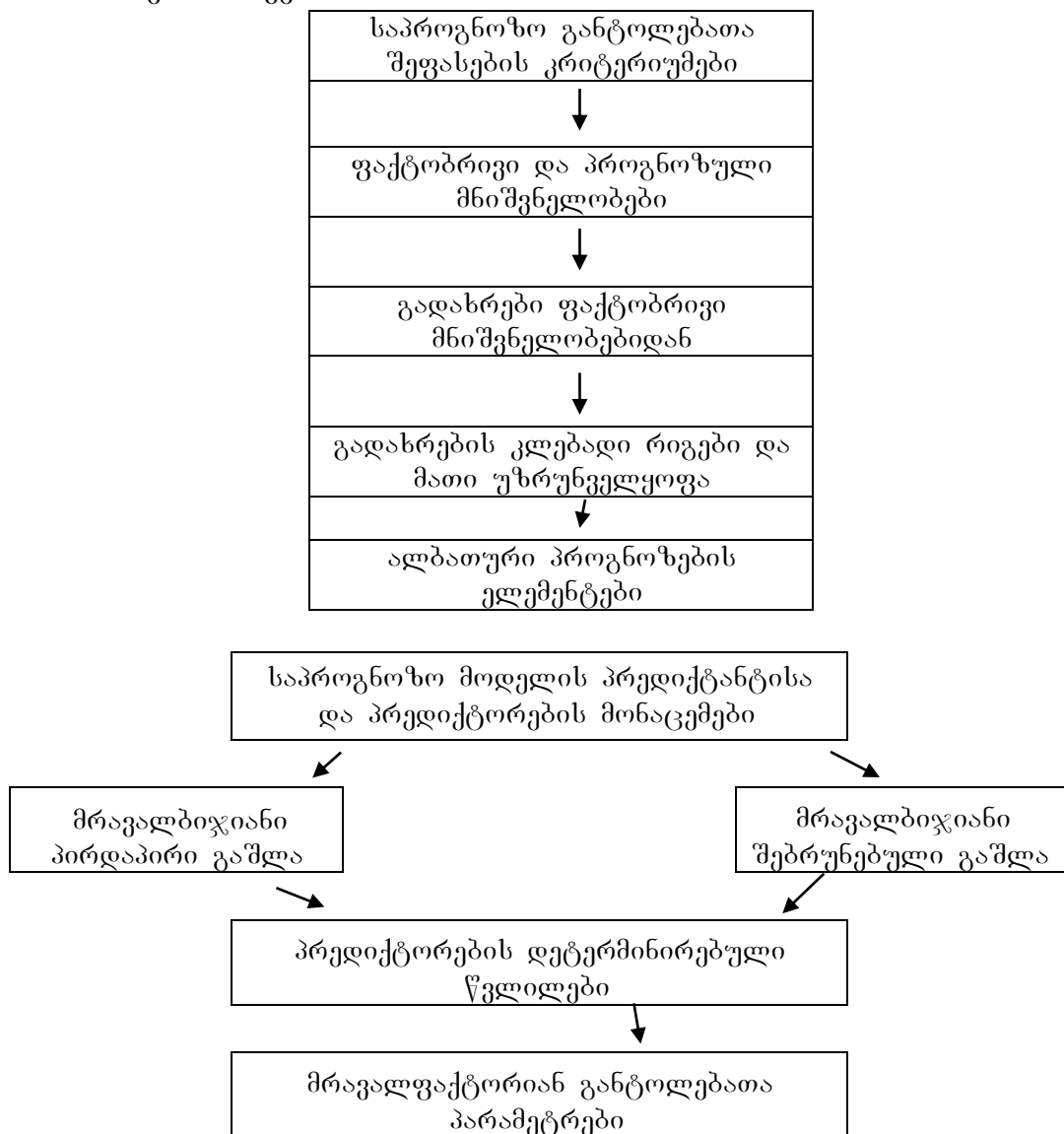
სადაც n იმ შემთხვევების რაოდენობაა, რომელთა გადახრა არ აღემატება დასაშვებ ცდომილებას (δ). სიზუსტის მთავარი მახასიათებელია კორელაციური შეფარდება:

$$\zeta = \sqrt{1 - \frac{s^2}{\sigma^2}} \quad (4.18)$$

[21] დარიგების მიხედვით საპროგნოზო დამოკიდებულება კარგია, თუ კორელაციური შეფარდება $\zeta \geq 0,87$, თუ მისი მნიშვნელობა $0,86 - 0,60$ ფარგლებშია, მაშინ ის დამაკმაყოფილებლად შეიძლება ჩაითვალოს.

მიღებული საპროგნოზო დამოკიდებულების უფრო ზუსტი შეფასებისათვის, იანგარიშება აგრეთვე კორელაციის კოეფიციენტი (r) საპროგნოზო ელემენტის ფაქტობრივ და პროგნოზულ მნიშვნელობებს შორის.

გარდა ამისა, საანგარიშო პროგრამით [20] ყველა საპროგნოზო განტოლებისათვის იანგარიშება საპროგნოზო მნიშვნელობები, მათი გადახრები ფაქტობრივიდან, ამ გადახრების კლებადი რიგები და მათი უზრუნველყოფა, აგრეთვე პროგნოზების ალბათური მნიშვნელობები და მათი ეკონომიკური ეფექტურობა. ნახ. 4. 2. -ზე მოცემულია ზემოთ აღწერილი პროგრამის ალგორითმის საერთო სქემა.



ნახ. 4. 2. საპროგნოზო დამოკიდებულებათა განსაზღვრისა და შეფასების ალგორითმის საერთო სქემა

თაშო V. მღ. ალაზნის წყლის ხარჯების ბრძელვადიანი პროგნოზირება

სარწმინდო სისტემების მომსახურებისათვის

5. 1. სავეგეტაციო პერიოდის საშუალო წყლის ხარჯების პროგნოზები

აღმოსავლეთ საქართველოს მშრალი ჰავის პირობებში მცენარეთა აქტიური ვეგეტაციის დროს (აპრილიდან სექტემბრამდე) უხვი მოსავლის განმაპირობებელია სავარგულების სარწყავი წყლით უზრუნველყოფა. იმისათვის, რომ ეკონომიკურად და რაციონალურად წარიმართოს ამ დროს მდინარეთა წყლის რესურსების ხარჯვა, საჭიროა მათი მომავალი ოდენობის პროგნოზირება.

სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის პროგნოზირება, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია შუა აზიის მდინარეებისათვის, სადაც ზაფხულში აღინიშნება თითქმის სრული სიმშრალე, რის გამოც ხშირად მოსავალი ნადგურდება. ამიტომ ამ მხარის მდინარეთათვის მრავალი საპროგნოზო მეთოდია შემუშავებული ცნობილი მეცნიერების მიერ [1-7].

წყლის ბალანსის განტოლების მიხედვით სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენი (y_3) ასე წარმოდგება:

$$y_3 = y_0 + (W - Z_0) + (P_6 - Z_6) + (P_9 - Z_9) + y_9 + U_6 + U_9, \quad (5. 1)$$

სადაც y_0 – საშუალო მრავალწლიური მიწისქვეშა ჩამონადენია, W – თოვლის წყალშემცველობა, Z – თოვლის ნაღობი წყლების აორთქლება, P_6, P_9 – ატმოსფერული ნალექები მოსული გაზაფხულზე და ზაფხულში, y_9 – მყინვარული წყლები, U_6 – წყლის დანახარჯი მიწისქვეშა წყლების შევსებაზე გაზაფხულზე, U_9 – მიწისქვეშა წყლების მოდენა ზაფხულში.

ამ განტოლებაში ფაქტობრივად შემავალი სიდიდეების უმრავლესობა არ აღირიცხება. ოპერატიული პროგნოზების შედგენის დროს (მარტის თვეში) ფაქტობრივად მხოლოდ ორი სიდიდე y_0 და W არის ცნობილი.

აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთათვის XX ს-ის 60-იან წლებში ლ.ლოსკუტოვა - გეგელაშვილის მიერ შემუშავებული იქნა საპროგნოზო მეთოდები [8-10], რომელთა მიხედვითაც აიგო სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის გრაფიკული დამოკიდებულებები ატმოსფერულ ნალექებთან აგვისტოდან მარტის ჩათვლით:

$$Q_{IV-IX} = f(P_{VIII-III}) \quad (5. 2)$$

მათი შეფასება $s/\sigma = 0,50 - 0,80$ -ის ფარგლებში მიღწეული იყო ზოგჯერ გრაფიკებზე გადახრილი წერტილების გამორიცხვის შედეგად. შემდგომ, 30 წლიანი დაკვირვების რიგის დამატებით ჩვენ მიერ შემუშავებულ იქნა ახალი საპროგნოზო მეთოდები [11-14].

განსახილველ მდინარეთა აუზებში სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის ფორმირების პირობებისა და არსებული ინფორმაციის მიხედვით, სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის საპროგნოზოდ შეიძლება შედგეს შემდეგი სახის დამოკიდებულებები:

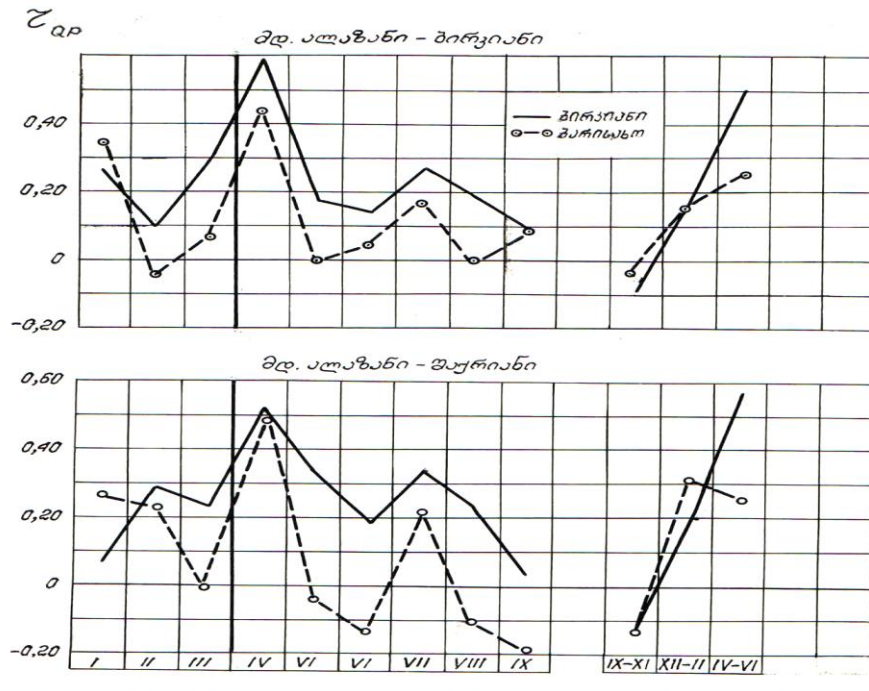
$$Q_{IV-IX} = f(P_{X-XI}, Q_{XII-II}, \theta_{XII-II}, P_{XII-II}, \theta_{III}, Q_{2,III}, W_{20/III}), \quad (5. 3)$$

$$Q_{IV-IX} = f(P_{VIII-XI}, Q_I, \theta_{II}, P_{XII-II}, Q_{II}, \theta_{III}, W_H, Q_{2,III}) \quad (5. 4)$$

კონკრეტულად რომელიმე მდინარის ჩამონადენის პროგნოზის შესადგენად ვატარებთ სათანადო ანალიზს და ვადგენთ იმ ფაქტორების კრებულს, რომლებიც განაპირობებენ ჩამონადენის სიდიდეს. მათი ერთდროული განხილვის შედეგად შევადგინეთ სავარაუდო ფაქტორების კრებული:

$$Q_{IV-IX} = f(Q_{XI-I}, P_{XII-II}, W_{28/II}, Q_{II}, \theta_{XII-II}, W_{1900}^{1800}, P_{III}, Q_{III,2}, \theta_{III}), \quad (5. 5)$$

ნახ. 5. 1-ზე მოცემულია მდ. ალაზნის ჩამონადენის მიღებული კავშირები ატმოსფერულ ნალექებთან. როგორც ირკვევა სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენი სუსტად უკავშირდება პროგნოზის წინა პერიოდის ფაქტორებს, ამიტომ არ უნდა ველოდოთ მათზე დაყრდნობით კარგი საპროგნოზო კავშირების მიღებას.



ნახ. 5. 1. სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენისა (Q_{IV-IX}) და ატმოსფერულ ნალექებს (P) შორის კორელაციის კოეფიციენტები მდ. ალაზანზე

IV თავში აღწერილი საპროგნოზო მეთოდოლოგიის გამოყენებით, საანგარიშო პირობებისათვის შერჩეულ იქნა სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის საპროგნოზო განტოლებები, რომლებიც მოცემულია 5. 1 ცხრილში. მდ. ალაზანზე – სოფ. შაქრიანთან მიღებული საპროგნოზო განტოლებების შეფასებათა კრიტერიუმები დაბალია ($s/\sigma = 0,90 - 0,84, P = 50 - 52 \%$), რაც ძირითადად გამოწვეულია ზემო ალაზნის სარწყავი სისტემების მოქმედებით, მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენი ამ პირობებთან უკვე დიდი ოდენობით იხარჯება სარწყავად, რომლის აღრიცხვა ძალიან რთულია და ვერ ხერხდება. პირობებში იზომება მხოლოდ მორწყვაზე დახარჯულიდან ნარჩენი ჩამონადენი, რომელიც სუსტად უკავშირდება მის მაფორმირებელ ფაქტორებს.

ცხრილი 5. 1. მდინარეთა სავეგეტაციო პერიოდის (აპრილი-სექტემბერი) საშუალო ხარჯების (მ³/წმ) საპროგნოზო განტოლებები და მათი შეფასებები

დასაშ. ცდომ. δ მ ³ /წმ	საპროგნოზო განტოლებები	შეფასებათა კრიტერიუმები			
		S/ δ	P%	r	ᄁ%
მდ. ალაზანი - ს.ბირკიანი					
3,31	$Q_{IV-IX} = 0,001P_{XI-I} + 0,92Q_{3.III} - 0,73\theta_{III} + 0,04P_{I.III} + 10,5$	0,80	52	0,63	55
“	$Q_{IV-IX} = 0,58Q_{3.III} - 0,84\theta_{IV} + 20,9$	0,76	56	0,66	59
“	$Q_{IV-IX} = 0,039P_{2.I} + 0,60Q_{3.III} - 0,75\theta_{IV} + 10,52$	0,72	61	0,72	61
მდ. ალაზანი - ს.შაქრიანი					
9,74	$Q_{IV-IX} = 0,177P_{3.II} - 0,022W_{1250} + 0,13P_{IV} + 45,11$	0,90	52	0,52	55
“	$Q_{IV-IX} = 0,298Q_{3.I} - 2,33\theta_{III} + 0,11P_{IV} + 45,40$	0,88	67	0,58	67
“	$Q_{IV-IX} = 0,48Q_{11} + 0,27P_{3II} - 0,53Q_{1.III} + 0,088P_{IV} + 44,5$	0,84	68	0,63	65

როგორც ცხრილი 5. 1-დან ირკვევა სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის პროგნოზი გაიცემა მარტის თვეში სოფ. ბირკიანთან აპრილის თვის ჰაერის ტემპერატურის გათვალისწინებით, ხოლო სოფ. შაქრიანთან კი აპრილის თვის ნალექების გათვალისწინებით. მათ გარეშე კი შეიძლება გაიცეს პროგნოზები მხოლოდ კონსულტაციის სახით.

ვინაიდან ამინდის პროგნოზით ჯერ-ჯერობით ვერ ხერხდება მომავალი თვის ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების რაოდენობრივი განსაზღვრა, ამიტომ მდინარის სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის პროგნოზების შედგენის დროს საანგარიშო განტოლებებში გათვალისწინებულ უნდა იქნეს მათი საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები.

ამრიგად 6 თვის ხანგრძლივობის პროგნოზების გამოყენება პრაქტიკაში და კერძოდ აღნიშნული პროგნოზებით ისეთი მნიშვნელოვანი ობიექტების მომსახურება, როგორცაა ალაზნის სარწყავი სისტემები, საშუალებას მოგვცემს წყლის რესურსების რაციონალური ხარჯვით რამდენადმე გაიზარდოს სასოფლო – სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობა, ელექტროენერჯის გამომუშავება და წყალმომარაგება.

5. 2. კვარტალური წყლის ხარჯების პროგნოზები

ტრადიციულად წყალსამეურნეო ობიექტების მუშაობის დაგეგმვა ხდება წლის სხვადასხვა პერიოდისათვის. მათ შორისაა კვარტალური დაგეგმვა. ამიტომ სარწყავი მიწათმოქმედებისათვის არსებული წყლის რესურსების რაციონალურად გამოყენების დაგეგმარების მიზნით, გარდა მთლიანი სავეგეტაციო პერიოდისა (IV – IX) აუცილებელია აგრეთვე მისი ცალკეული II (აპრილი – ივნისი) და III (ივლისი – სექტემბერი) კვარტლის წყლის ხარჯების პროგნოზირება.

გასული საუკუნის 60-იან წლებში ლ. ლოსკუტოვამ [10] აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა II და III კვარტლების ჩამონადენისათვის შეიმუშავა შემდეგი სახის საპროგნოზო გრაფიკები:

$$Q_{IV-VI} = f\left(\sum_{VIII}^{III} X\right), \quad Q_{IV-VI} = f\left(S, \sum_{XI}^{II} t_+\right), \quad (5.6)$$

$$Q_{VII-IX} = f(Q_{VI}), \quad Q_{VII-IX} = f\left(\sum_{XI}^{VI} X\right), \quad (5.7)$$

სადაც X – ნალექებია, S – თოვლის მარაგი, t – ჰაერის ტემპერატურა.

ეს დამოკიდებულებები შედგენილი იყო XX საუკუნის 50-იანი წლების მონაცემებით და შეფასებულია გადახრილი წერტილების იგნორირებით. შემდგომში ჩვენ მიერ [11, 17 – 22] ახალი მონაცემების დამატებით მოხდა საქართველოს მთავარ მდინარეთა კვარტალური წყლის ხარჯების საპროგნოზო მეთოდიკების შემუშავება. ასეთი კვლევის განსაკუთრებული აუცილებლობა შეიქმნა მდ. ალაზნის წყლიანობის პროგნოზირებისათვის სავეგეტაციო პერიოდში, როდესაც პიკს აღწევს მოთხოვნილება სარწყავ წყალზე.

ამ მიზნით გამოკვლეულ იქნა მდინარის ორივე (ბირკიანი და შაქრიანი) ჰიდროკვეთის კვარტალური წყლის ხარჯების კავშირები წინა პერიოდის სხვადასხვა ფაქტორებთან (თოვლში წყლის მარაგი, ატმოსფერული ნალექები, ჰაერის ტემპერატურა, მდინარის წყლიანობა). საპროგნოზო მეტეოლოგიის (თავი IV) მიხედვით შერჩეულ იქნა საკვლევი ჩამონადენის ძირითადი განმსაზღვრელი პრედიქტორები და შედგა ოპტიმალური საპროგნოზო მოდელები 3 – 4 ფაქტორის მონაწილეობით. მათი სათანადო კვლევის შედეგად შეირჩა საუკეთესო ვარიანტები მრავალფაქტორიანი განტოლებებისა.

შერჩეული საპროგნოზო განტოლებები შესაბამისი შეფასებებით მოცემულია 5. 2. ცხრილში. მისი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ორივე ჰიდროკვეთში II კვარტლის პროგნოზები გამოირჩევა თავისი სიზუსტით, რაც მეტად მნიშვნელოვანია, რადგან სწორედ ამ კვარტალში ხდება მდინარეზე გაზაფხულის მაღალი წყალდიდობის გავლა, რომელიც ხშირად საფრთხეს უქმნის გარემოსა და მოსახლეობას. ამიტომ მათ პროგნოზებს ორმაგი დანიშნულება აქვთ.

აღსანიშნავია, რომ სოფ. ბირკიანთან ორივე კვარტლის პროგნოზები გაიანგარიშება ამინდის პროგნოზის გარეშე, სოფ. შაქრიანთან კი III კვარტლის წყლის ხარჯების საპროგნოზოდ აუცილებელია ივლისის თვის I დეკადაში მოსული ნალექების გათვალისწინე-

ბა. იმ შემთხვევაში, თუ არ იქნება ცნობილი ამინდის პროგნოზით ივლისის თვის ნალექების რაოდენობა, მაშინ საანგარიშოდ გამოიყენება მათი საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობა.

როგორც ცხრ. 5. 2-დან ირკვევა, შემუშავებული პროგნოზების გამოყენებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი 10 – 35 %-ით აჭარბებს საპროგნოზო ხარჯის ნორმის გამოყენებით მიღებულ ეფექტს. ამიტომ შეიძლება ითქვას, რომ 3 – 4 თვის ხანგრძლივობის მდინარის წყლის ხარჯების პროგნოზების გამოყენება პრაქტიკაში სარწმუნო სისტემებისა და არხების მომსახურების მიზნით, იძლევა საშუალებას მდ. ალაზნის წყლის არსებული რესურსების რაციონალურად ხარჯვისა და საფუძვლიანი დაგეგმარება – დარეგულირებით საგრძნობლად გაიზარდოს სასოფლო – სამეურნეო კულტურების მოსავალი. ეს პროგნოზები ასევე დიდ სარგებლობას მოუტანს აგრეთვე წყალმომარაგებისა და ელექტროენერჯის ობიექტებს, რათა მათ სწორად წარმართონ წყლის რესურსების გადანაწილება სხვადასხვა დანიშნულებით.

ცხრილი 5. 2. მდინარეთა საშუალო კვარტალური ხარჯების (მ³/წმ) საპროგნოზო განტოლებები და მათი შეფასებები

დასაშ. ცდომ. δ მ ³ /წმ	საპროგნოზო განტოლებები	შეფასებათა კრიტერიუმები			
		S/δ	P%	r	Θ%
მდ. ალაზანი - ს. ბირკიანი					
4,38	$Q_{IV-VI} = 0,04 P_1 + 1,18 Q_{3.III} + 11,8$	0,71	70	0,72	68
“	$Q_{IV-VI} = 0,03 P_1 + 1,13 Q_{3.III} + P_{0,13.II} + 11,1$	0,65	73	0,72	68
3,35	$Q_{VII-IX} = 0,21 Q_{2.VI} - 1,05 \theta_{VI} + 25,3$	0,79	60	0,63	65
“	$Q_{VII-IX} = 0,18 Q_{2.VI} - 0,97 \theta_{VI} + 0,01 P_{IV} + 23,3$	0,79	62	0,65	65
მდ. ალაზანი - ს. შაქრიანი					
12,9	$Q_{IV-VI} = 0,36 P_{2.III} - 5,19 \theta_{III} + 69,2$	0,79	63	0,65	60
“	$Q_{IV-VI} = 0,34 P_{2.III} - 3,36 \theta_{III} + 0,12 W_{1250} - 58,4$	0,73	71	0,72	63
9,88	$Q_{VII-IX} = 0,20 Q_{1.VI} + 0,20 P_{1.VII} - 0,29 Q_{III} + 25,1$	0,76	70	0,67	65
“	$Q_{VII-IX} = 0,12 Q_{1.VI} + 0,19 P_{1.VII} - 0,34 Q_{III} + 0,13 Q_{3.V} + 22,4$	0,73	75	0,71	69

5. 3. თვიური წყლის ხარჯების პროგნოზები

მდინარეთა თვის ხარჯების პროგნოზირება აუცილებელია ენერგეტიკის, სოფლის მეურნეობის, წყალმომარაგებისა და სხვა დარგების დაგეგმვისა და მომსახურების მიზნით. მთის მდინარეთა თვის ხარჯების პროგნოზირება რთული პრობლემაა, რადგან თითოეული თვის ჩამონადენის ფორმირება ხდება სხვა თვეებისაგან განსხვავებულ ჰიდრომეტეოროლოგიურ პირობებში, ამიტომაც ყველა თვისათვის ცალკეულად უნდა მოხდეს მათი საშუალო წყლის ხარჯების ინდივიდუალური საპროგნოზო მეთოდების შემუშავება.

საქართველოს მდინარეთა წყლის თვიური ხარჯების პროგნოზების შემუშავება დაიწყო XX საუკუნის 50-იან წლებში. საპროგნოზო გრაფიკებზე მომავალი თვის საშუალო ხარჯები დაკავშირებული იყო წინა თვის საშუალო ან მინიმალურ ხარჯებთან, უკვე ხშირად კი მესამე დეკადის ან მეხუთე პენტადის საშუალო ან მინიმალურ ხარჯებთან. მხოლოდ აპრილისა და მაისისათვის გამოიყენებოდა ზამთრის ნალექები ან თოვლის მარაგი. იმ შემთხვევაში თუ არ მიიღებოდა დამაკმაყოფილებელი შეფასების პროგნოზები, მაშინ დამატებით განიხილებოდა მეორე ფაქტორი: წინა ან საპროგნოზო თვის ნალექები ან ჰაერის ტემპერატურა. ამ დროს ხშირი იყო შემთხვევა გადახრილი წერტილების იგნორირებისა, რაც ამცირებდა მათ საიმედოობას.

აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეების თვიური ხარჯების პროგნოზირებაში დიდი წვლილი მიუძღვით ლ. ლოსკუტოვას [8, 10], ვ. რუხაძეს [25], ლ. სიდოროვას [24] და სხვა.

ლ. ლოსკუტოვამ შეიმუშავა საპროგნოზო მეთოდები სავეგეტაციო პერიოდის თვის ხარჯებისათვის [8], რომლებშიც გაზაფხულის თვეებისათვის აგებულ იქნა შემდეგი სახის გრაფიკული კავშირები:

$$Q_n = f(\sum X_{n-1}, \Delta t_{n-1}) \quad (5.8)$$

სადაც Δt_{n-1} – წინა თვის ჰაერის ტემპერატურის ნორმიდან გადახრაა. ზაფხულის თვეებისათვის ავტორმა არგუმენტებად გამოიყენა წინა თვის მინიმალური ან მესამე დეკადის წყლის ხარჯები.

შემდგომში საქართველოს მთავარ მდინარეთათვის ჩვენ მიერ მონაცემები შეივსო 1991 წლამდე არსებული მასალებით და მოხდა საპროგნოზო დამოკიდებულებათა სრულყოფა, რისთვისაც ცალკეულ მდინარეზე თითოეული თვისათვის ჩატარებულ იქნა არსებული მონაცემების კორელაციური ანალიზი. ყველა ფაქტორი განხილულ იქნა როგორც სეზონების, ასევე თვეებისა და დეკადების მიხედვით. ყველა თვისათვის ცალ-ცალკე შეირჩა ჩამონადენზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები და ჩამონადენის ფორმირების პროცესების ფიზიკური არსის გათვალისწინებით შედგენილ იქნა საპროგნოზო მოდელები. სათანადო კვლევის მეთოდების (4. 2 ქვეთავი) გამოყენებით მდ. ალაზნის წყლის თვის ხარჯებისათვის შერჩეული მთავარი საპროგნოზო განტოლებები და მათი შეფასებები მოცემულია 5.3 ცხრილში.

ცხრილი 5. 3. მდინარეთა საშუალო თვის ხარჯების (მ³/წმ) საპროგნოზო განტოლებები და მათი შეფასებები

დასაშ. ცდომ. δ მ ³ /წმ	საპროგნოზო განტოლებები	შეფასებათა კრიტერიუმები			
		S/δ	P%	r	ᄁ%
მდ. ალაზანი - ს. ბირკიანი					
2,79	$Q_{IV} = 1,51 Q_{III} - 1,35 \theta_{III} + 0,08 P_{1,IV} + 1,41 \theta_{IV} - 4,08$	0,69	73	0,76	70
4,30	$Q_V = 1,17 Q_{3.1} + 0,07 P_{2.1} + 1,06 Q_{3.III} + 0,12 P_{1,IV} + 6,82$	0,57	81	0,85	76
6,01	$Q_{VI} = 0,33 Q_{2,IV} - 1,42 \theta_V + 0,63 Q_{3.V} + 19,1$	0,64	81	0,79	60
6,12	$Q_{VII} = 0,05 P_1 + 0,11 d_{1250} + 0,34 Q_{2,VI} - 1,38 \theta_{VI} + 34,8$	0,75	83	0,71	70
3,67	$Q_{VIII} = - 0,02 P_V + 0,35 Q_{3,VII} + 0,04 P_{VIII} + 7,02$	0,67	76	0,77	76
3,25	$Q_{IX} = 0,12 Q_{2,VI} - 0,05 P_{II} + 0,43 Q_{3,VIII} + 6,46$	0,74	62	0,71	70
მდ. ალაზანი - ს. შაქრიანი					
15,4	$Q_{IV} = 0,05 P_{IX} + 0,76 Q_{2,II} - 3,28 \theta_{II} + 0,36 P_{2,III} + 13,7$	0,74	65	0,74	65
15,3	$Q_V = - 0,005 P_{IX-XI} - 3,31 \theta_{III} + 0,54 P_{3,II} + 0,06 W_{1250} + 0,19 P_{IV} + 59,2$	0,69	71	0,77	68
15,3	$Q_{VI} = 0,22 Q_{IV} - 3,52 \theta_V + 0,35 P_{3,V} + 79,9$	0,70	67	0,75	64
15,3	$Q_{VII} = 0,09 P_{IV-VI} + 0,13 Q_{3,V} + 0,3 P_{VII} - 21,0$	0,50	81	0,88	85
14,7	$Q_{VIII} = - 0,40 Q_{III} + 0,22 Q_{3,V} + 0,25 P_{1,VIII} + 0,20 P_{2,VII} + 10,8$	0,72	70	0,73	68
13,0	$Q_{IX} = - 0,15 P_{IV} + 3,2 \theta_{VI} + 0,39 Q_{3,VIII} + 0,1 P_{3,VIII} - 3,49 \theta_{IX} + 24,5$	0,78	68	0,67	64

ყველა ცალკეული თვისათვის მიღებულია რამდენიმე სახის განტოლება, რომლებშიც სხვადასხვა პერიოდის ფაქტორები მონაწილეობს, რაც საშუალებას იძლევა, ვცვალოთ პროგნოზის დროულობა და მოვახდინოთ მისი დაზუსტება. პროგნოზის დროულობა 1-დან 3-თვემდე იცვლება. უმეტესი თვის ხარჯების პროგნოზირება შეიძლება წინა თვის II დეკადის მონაცემებით. ამრიგად სოფ. ბირკიანთან და სოფ. შაქრიანთან სავეგეტაციო პერიოდის ყველა თვისათვის მიღებულია დასაშვები სიზუსტის პროგნოზები ($s/\sigma < 0,80$).

მხოლოდ ორ შემთხვევაში სოფ. ბირკიანთან აგვისტოს თვეში და სოფ. შაქრიანთან სექტემბრის თვეში ვერ მოხერხდა წინა თვის მესამე დეკადის ხარჯების მონაცემების გარეშე დადებითი შეფასების პროგნოზების მიღება.

ვინაიდან მდ. ალაზნის წყლის რესურსები ფართოდ გამოიყენება სამეურნეო საქმიანობაში, ამდენად მისი როლი მნიშვნელოვანია და შემუშავებული საპროგნოზო მეთოდების სრულყოფას დიდი პრაქტიკული დანიშნულება გააჩნია. პროგნოზები საშუალებას იძლევა ოპტიმალურად იმართოს და რაციონალურად გადანაწილდეს წყლის რესურსები როგორც მორწყვისათვის, ასევე ენერგეტიკისა და წყალმომარაგებისათვის, რითაც მიიღება მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტი.

დასკვნა

1. კლიმატის დათბობის შედეგად მცირდება რა თოვლის საფარი, შესაბამისად მცირდება მიწისქვეშა და მდინარეთა წყლის ჩამონადენი. წყლის დეფიციტი აფერხებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობას. შედეგად დედამიწაზე სადღეისოდ ყოველწლიურად 6 - 7 მლნ ჰა-ით იზრდება უდაბნოები. საქართველოს გარკვეულ რეგიონებშიც გააქტიურდა არიდულობის პროცესები, განსაკუთრებით უკიდურეს აღმოსავლეთით, სადაც ყველაზე ნაყოფიერი ნიადაგების ფართო ველებია.

2. მდ. ალაზანი თავისი შენაკადებით წარმოადგენს ამ ტერიტორიაზე წყლით მომარაგების მთავარ არტერიას. მისი წყალწარმომქმნელი ფაქტორების მრავალწლიური ცვლილების შესწავლის შედეგად გაირკვა, რომ ატმოსფერული ნალექების შემცირება და ტემპერატურისა და შესაბამისად აორთქლების მომატება საგრძნობლად მოქმედებს და ამცირებს მდინარეთა წყლიანობას, განსაკუთრებით სავეგეტაციო პერიოდში. სარწყავი წყლის დეფიციტი კი მომატებული გვალვიანობის პირობებში განაპირობებს მოსავლიანობის მკვეთრ შემცირებას და გაუდაბნობის პროცესის განვითარებას, რაც ნეგატიურად აისახება არა მარტო სოფლის მეურნეობასა და გარემოზე, არამედ აგრეთვე ადამიანთა ჯანმრთელობაზე, ეკონომიკაზე და სოციალურ სფეროზე.

3. დაზუსტებულია მდ. ალაზნის აუზის მდინარეთა წყლის ხარჯების მახასიათებლები სავეგეტაციო პერიოდის სხვადასხვა ინტერვალებში. დადგენილია მათი მრავალწლიური დინამიკა და მოსალოდნელი განვითარების ტენდენციები, განსაზღვრულია მათი ყოველწლიური ცვლილების სიჩქარის რიცხვითი მნიშვნელობები.

4. მდინარეში არსებული წყლის რაციონალურად გამოყენების დაგეგმარებისა და წყალსამეურნეო ობიექტების უსაფრთხო და ეფექტური ექსპლუატაციისათვის მეტად მნიშვნელოვანია მათი პროგნოზირება. ამ მიზნით გამოყენებულ იქნა ჩვენ მიერ შემუშავებული საპროგნოზო მეთოდოლოგია, რომელიც ეყრდნობა მრავალფაქტორიან საპროგნოზო მოდელს და შეიცავს ფიზიკური ლოგიკისა და კორელაციური ანალიზით შერჩეული პოტენციური პრედიქტორების ერთობლიობას. გარკვეული მათემატიკური კრიტერიუმებისა და მრავალბიჯიანი გამორიცხვის მეთოდის გამოყენებით ხდება ოპტიმალური საპროგნოზო მოდელის შედგენა, განტოლებათა სისტემის მრავალბიჯიანი პირდაპირი და შებრუნებული გაშლის გზით ხდება ერთდროული კვლევა საპროგნოზო პერიოდის გაზრდისა და პროგნოზის სიზუსტის ამაღლების შესაძლებლობისა.

5. საპროგნოზო მეთოდოლოგიის რეალიზაციისათვის შედგენილი კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით შემუშავებულია მდ. ალაზნის სავეგეტაციო პერიოდისა და მასში შემავალი II და III კვარტლებისა და IV, V, VI, VII, VIII, IX თვეების წყლის ხარჯების გრძელვადიანი საპროგნოზო მეთოდები ორ ჰიდროკვეთზე; სოფ. ბირკიანთან, სადაც აღრიცხულია მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენი და სათავეს იღებს ზემო ალაზნის სარწყავი მაგისტრალური არხი და სოფ. შაქრიანთან, სადაც იწყება ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემა.

პროგნოზების შედგენისა და შეფასებისათვის გამოყენებულია ჰიდრომეტეოროლოგიურ ელემენტებზე არსებული დაკვირვებათა 40 - 50 წლიანი რიგები და მიღებულია დასაშვები საპროგნოზო კრიტერიუმები, გარდა სოფ. შაქრიანთან, სადაც სავეგეტაციო პერიოდის (IV - IX) საშუალო ხარჯების პროგნოზი უნდა გაიცეს კონსულტაციის სახით.

6. შემუშავებული პროგნოზების გამოყენებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი 15 - 35 %-ით აჭარბებს საპროგნოზო ჩამონადენის ნორმის გამოყენებით მიღებულს. გრძელვადიანი პროგნოზების დროს ეს ეფექტი მრავლდება საპროგნოზო პერიოდის თვეთა რაოდენობაზე, რაც 1 - 6 თვეს შეადგენს. ამიტომ მიღებული ეკონომიკური ეფექტი საკმაოდ დიდია, რაც აისახება იმაში, რომ მათი გამოყენებით შესაძლებელია საგრძნობლად გაიზარდოს მოსავლიანობა, წყალმომარაგება და სხვა. გარდა ამისა, დროული პროგნოზებით შეიძლება მნიშვნელოვნად შემცირდეს მაღალი წყლიანობით მიყენებული ზარალი.

7. მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების ყოველწლიური პროგნოზების გათვალისწინებით შეიძლება დადგინდეს ის თუ როდის იქნება შესაძლებლობა მცენარეთა მორწყვისა მდინარის წყლით და როდის იქნება აუცილებელი სარწყავი წყლის შევსება სხვა წყაროებით, მაგალითად სატუმბი სადგურებით მიწისქვეშა წყლების ამოღება ან დაწვიმებითი დანადგარებით მცენარეთა დატენიანება ან ღრუბლებზე ზემოქმედებით ნალექების გაზრდა.

შემუშავებული პროგნოზების გამოყენება ხელს შეუწყობს გვაღვიანობასთან ბრძოლას და დაწვებული გაუდაბნოების პროცესის შენელება – შეჩერებას, მოსაგლიანობის გაზრდასა და მოსახლეობის ეკონომიკური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

8. გარდა პროგნოზებისა, მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების წყლის ხარჯების დაზუსტებულ მახასიათებლებს აქვთ პრაქტიკული დანიშნულება სამეცნიერო, სამეურნეო და საპროექტო ორგანიზაციებში წყალსამეურნეო გაანგარიშებების სწორად წარმართვისათვის.

1. Степанов В.Н. Откуда возникла угроза водного голода. В кн: Водный голод планеты. Москва, Изд. Знание, 1969, ст. 8-12.
2. Котляков В.М. Ледники – Резервные кладовые пресных вод. В кн: Водный голод планеты. Москва, Изд. Знание, 1969, ст. 18-20.
3. შ. ჯავახიშვილი. კლიმატოლოგიური ტერმინების სამეცნიერო ლექსიკონი. თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა. თბ., 1997, 434 გვ.
4. ბ. ბერიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, დ. ერისთავი. კლიმატის ცვლილება და გეოინჟინერია. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბ., 2016, 194 გვ.
5. ი. უკლება. აღმოსავლეთ საქართველოს მთიანი მხარეების ლანდშაფტები და ფიზიკურ-გეოგრაფიული რაიონები. თბ., “მეცნიერება”, 1974.
6. ც. ჟორჯიკაშვილი. არიდული ლანდშაფტები და ჰავა. // ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები, ტ. 107, 2002, გვ. 43-49.
7. რ. სამუკაშვილი. მზის აქტივობისა და გვალვიანობას შორის შესაძლო კავშირების შესახებ. // ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ.107, 2002, გვ. 39-42.
8. ი. ჯავახიშვილი. თხზულებათა კრებული. ტ. II, თბ., 1983.
9. ე. ელიზბარაშვილი, ზ. ჭავჭავაძე. გვალები, უნაღველი და ნაღველიანი პერიოდები საქართველოში. თბ., მეცნიერება, 1992.
10. Давитая Ф.Ф. Засухи СССР и научное обоснование мер борьбы с ними по природным зонам. Саратовское кн. изд. 1959.
11. კ. პაპინაშვილი. გვალება და მისი გავლენა სოფლის მეურნეობაზე. “საქართველოს კოლმეურნე”, № 11, თბ., 1955.
12. Чиракадзе Г.И. Засуха, бездождный период и суховей на территории Кавказа. Ленинград, Гидрометеиздат, 1980.
13. ლ. პაპინაშვილი. გვალება საქართველოში. // ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ-ის შრომები, ტ. 107, თბ., 2002, გვ. 39-42.
14. Горгишели В.Э. Повторяемость и динамика засух в Восточной Грузии в XX столетии. // Метеорология и Гидрология, 2009, № 6, с. 98-103.
15. ე. ელიზბარაშვილი. საქართველოს კლიმატური რესურსები. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბ., 2007, 328 გვ.
16. საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების შესახებ. UNOP in Georgia, თბ., 2015, 292 გვ.
17. კ. თავართქილაძე, გ. მესტიაშვილი, ე. საჯაია, ლ. ბეროშვილი. გაუდაბნობის ხელშემწყობი პროცესი საქართველოში და მისი შეფასების ანალიზური კრიტერიუმი. // ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 107, თბილისი, 2002, გვ. 186-193.
18. Dying Wisdom. Ed. by A. Agarwal and S. Narain. Center for Science and Environment. Delhi, 1997.
19. Планета. Программа ООН по окружающей среде. Т. 6, № 5, 1994.
20. Э. Ш. Элизбарашвили, М.Э. Элизбарашвили. Стихийные метеорологические явления на территории Грузии. Институт Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета. Тб., 2012, 104 с.
21. კ. ბეთანელი, მ. ჩიჯავაძე, ქ. მახარაძე. საქართველოს სასმელი წყლის რესურსები. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, № 1 – 3, 2002.
22. ი. ჟორდანიას, ე. ნაკაიძე, გ. გობეჩია. წყლის რესურსების მდგომარეობა და პრობლემები. მეცნიერება და ტექნიკა, № 10 – 12, 1999, გვ. 63-65.
23. კლიმატის ცვლილება და კახეთის სოფლის მეურნეობა. თბ. 2014, 351 გვ.
24. კლიმატის ცვლილების გავლენა დედოფლისწყაროს რაიონზე. თბილისი, 2008.
25. ნ. მაჭავარიანი, ვ. გელაძე, ნ. ბოლაშვილი, თ. ყარაღაშვილი, ნ. გეთიაშვილი. კახეთის წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენების პრობლემები კლიმატის მოსა-

ლოდნელი ცვლილების ფონზე. ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, 2011, № 3 (82), გვ. 247 – 250.

მეორე თავის

1. ნ. უკლება. საქართველოს სსრ წყლის რესურსების კომპლექსური გამოყენება სახალხო მეურნეობაში. თბ.: თსუ, 1977. - 394 გვ.
2. შ. ჯავახიშვილი. შიდა კახეთის კლიმატური დახასიათება. საქართველოს გეოგრაფიული საზოგადოების შრომები. ტ. IV, თბ., 1959.
3. საქართველოს პირველი ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის. თბ., 1999. - 151 გვ.
4. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის. თბ., 2009.
5. კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინება. UNDP in Georgia, თბ., 2015, - 292 გვ.
6. კლიმატის ცვლილება და კახეთის სოფლის მეურნეობა. თბ., 2014, - 351 გვ.
7. ე. ელიზბარაშვილი, მ. ტატიშვილი, მ. ელიზბარაშვილი, შ. ელიზბარაშვილი, რ. მესხია. საქართველოს კლიმატის ცვლილება გლობალური დათბობის პირობებში. თბ., 2013, - 128 გვ.

მესამე თავის

1. ც. ბასილაშვილი. კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე მდინარეთა წყალმცირობის შეფასება და საადაპტაციო ღონისძიებების შემუშავება მდ. ალაზნის მაგალითზე (დასკვნითი ანგარიში) 2016, 77 გვ. შიფრი ჰმი HM – 1626, სტუ CD – 3392.
2. T. Basilashvili, L. Machavariani, L. Lagidze. Desertification risk in Kakheti region, East Georgia. // Journal of Environmental Biology, vol. 36, 2015. pp. 33-36.
3. ც. ბასილაშვილი. მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების წყალმცირობის ჩამონადენის შეფასება. // საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრო-მეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტ. 123, თბ., 2016. გვ. 72-76.
4. ც. ბასილაშვილი. მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების წყლის ჩამონადენის პარამეტრები წყალსამეურნეო გაანგარიშებებისათვის. // საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტ. 124, თბ., 2017. გვ. 12-16.
5. ც. ბასილაშვილი. მდინარეთა წყლის შიდაწლიური განაწილება და სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენი მდ. ალაზნის აუზში. // საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტ. 124, თბ., 2017. გვ. 17-21.
6. ც. ბასილაშვილი, ი. ზარნაძე. მდ. ალაზნის წყალწარმოქმნელი ფაქტორების ცვლილებები და მათი მოსალოდნელი მნიშვნელობები გლობალური დათბობის პირობებში. // “მეცნიერება და ტექნოლოგიები”, № 3 (726), თბ., 2017. გვ. 33-47.
7. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის. თბ., 2009. - 230 გვ.
8. საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების შესახებ. UNOP in Georgia, თბ., 2015. - 292 გვ.

მეოთხე თავის

1. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. Ленинград, Гидрометеиздат, 1979, 255 с.
2. Руководство по гидрологическим прогнозам. вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Ленинград, Гидрометеиздат, 1989, 357 с.
3. Басилашвили Ц.З. Разработка долгосрочных прогнозов стока рек со сложным водным режимом (Западная Грузия). Труды ЗаКНИГМИ, Ленинград, 1979, вып. 68 (74), с. 77-87.
4. Езекиел М., Фокс К. Методы анализа корреляции и регрессий. Москва, Статистика, 1966, 557 с.

5. Батырева О.В. Расчёт значимости коэффициента множественной корреляции и выбор оптимального члена предсказателей. Метеорология и гидрология, 1969, № 3.
6. Уланова Е.С., Сиротенко О.Д. Методы статистического анализа в агрометеорологии. Ленинград, Гидрометеиздат, 1968, 198 с.
7. Груза Г.В. Основные вопросы корреляционного прогноза погоды. Труды САНИГМИ, 1968, вып. 38 (53), с. 78 – 105.
8. Электронные вычислительные машины в гидрологии. Сб. переводов, Ленинград, Гидрометеиздат, 1965, 233 с.
9. Ранькова З.Я. К вопросу о повышении информативности и снижении размерности вектора предиктора при вероятностном прогнозе. Труды САРНИГМИ, 1969, вып. 40 (55), с. 10 – 18.
10. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград, Гидрометеиздат, 1974, 424 с.
11. Картвелишвили Н.А. Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулирование речного стока. Ленинград, Гидрометеиздат, 1967, 291 с.
12. Ван дер Варден Б.П. Математическая статистика. Москва, 1960, 431 с.
13. Боровикова Л.Н., Денисов Ю.М., Шенцис И.Д. Некоторые вопросы статистических методов прогноза стока горных рек. Труды САРНИГМИ, 1975, вып. 26 (107), с. 3 – 20.
14. Shelton C.H., Sewell J.J. Parameter screening for watershed analysis. Trans., ASAE, 1969, 12, № 4, pp. 533 – 536.
15. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Ленинград, Гидрометеиздат, 1971, 363 с.
16. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Москва, Статистика, 1973, 392 с.
17. Басилашвили Ц.З. Статистический анализ переменных и выбор предикторов для прогностических зависимостей. В кн.: Аннотированный указатель алгоритмов и программ. ВНИИГМИ – МЦД, Обнинск, 1977, с. 43.
18. Schermerhorn V.P., Kuchi D.W. Operational streamflow forecasting with the SSARR model. Publ. AJHS, vol. 1, № 80, 1968.
19. Басилашвили Ц.З. Определение и оценка многофакторных зависимостей линейного или нелинейного вида с развёртыванием уравнения. В кн.: Аннотированный указатель алгоритмов и программ. ВНИИГМИ – МЦД, Обнинск, 1977, с. 43.
20. Басилашвили Ц.З., Плоткина И.Г. Определение многофакторных зависимостей с развёртыванием уравнения, оценка их качества и расчёт вероятностных прогнозов. В кн.: Аннотированный перечень новых поступлений в ОФАП Госкомгидромета. ВНИИГМИ – МЦД, Обнинск, 1985, с. 21.
21. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть 1, Ленинград, Гидрометеиздат, 1962, 129 с.

შეხვეთი თავის

1. Абальян Т.С. Основные высотные зоны формирования стока рек Средней Азии в различные месяцы вегетационного периода. Труды Цип, 1967, вып. 155, с. 3 – 15.
2. Боровикова Л.Н., Гриневиц А.Г., Овчинников А.Н. и др. Статистические методы прогнозов стока горных рек. Труды СарНИГМИ, 1977, вып. 51 (132), 82 с.
3. Джорджио З.В. Опыт долгосрочных прогнозов стока горных рек Средней Азии, Ташкент, Изд-во САГУ, 1957.
4. Голубцов В.В., Строева Г.П. О совместном использовании дискриминантного и регрессионного анализа при разработке методов прогноза водности рек. Селевые потоки, № 9, 1985, с. 96 – 104.
5. Денисов Ю.М. Схема расчёта гидрографа стока горных рек. Л., Гидрометеиздат, 1965, 103с.
6. Машуков П.М. Основные методы гидрологических прогнозов, применяемых в Средней Азии. Ташкент. СБ., Метеорология и гидрология в Узбекистане. 1955.
7. Мухин В.М. Совместное применение математического моделирования и эмпирических методов в долгосрочных прогнозах стока горных рек. Сб. докладов XIII конф. придунайских стран по гидрологическим прогнозам. Белград, 1986, с. 168 – 175.

8. Лоскутова Л.М. Методика прогноза средних вегетационных и средних месячных расходов воды рек Восточной Грузии. Сб. работ Тбил. ГМО, 1966, вып. 3.
9. Лоскутова – Гегелашвили Л.М. Анализ и прогноз стока вегетационного периода рек Восточной Грузии. Сб. работ Тбил. ГМО, 1969, вып. 5.
10. Лоскутова – Гегелашвили Л.М. Анализ и прогноз стока рек Восточной Грузии в вегетационный период. Автореферат Кандидатской диссертации. Москва, 1970, 15 с.
11. ბასილაშვილი ც., სიდოროვა ლ., ცომაია ვ. საქართველოს მდინარეთა ჰიდროლოგიური პროგნოზების სრულყოფა. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, თბილისი, 1996, ტ. 100, გვ. 126 - 131.
12. ბასილაშვილი ც. მდინარეთა წყლიანობა სავეგეტაციო პერიოდში და მათი პროგნოზირება მთავარი სარწყავი სისტემების მომსახურებისათვის. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის სამეცნიერო სესია “გვაღვა და მასთან ბრძოლის პრობლემები”. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები. თბილისი, 2002, ტ. 107, გვ. 139 - 146.
13. ბასილაშვილი ც. სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის პროგნოზირება აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეებზე. თბილისი, “მეცნიერება და ტექნიკა”, 1999, № 4 - 6, გვ. 112 - 116.
14. ბასილაშვილი ც., მამასახლისი ჟ., ფანხულიძე ჯ. სავეგეტაციო პერიოდის ჰიდროლოგიური პროგნოზები მრავალმხრივი გამოყენების წყალსამეურნეო ობიექტის მომსახურებისათვის (ყინვალის წყალსაცავი), აგრარული მეცნიერების პრობლემები, თბილისი – ბაქო, 2000, გვ. 279 - 285.
15. Басилашвили Ц.З. Проверка оправдываемости метода территориального прогноза стока рек Западной Грузии за период вегетации. Л., Труды ЗакНИИ, 1986, вып. 79 (86), с. 64 - 72.
16. Basilashvili Ts.Z. Forecasting of the river run-off under the lack of current hydrological information. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences. 2001, vol. 163, № 3, pp. 498 - 500.
17. ბასილაშვილი ც., ცომაია ვ. მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზების განახლება ინფორმაციული ქსელის შემცირების პირობებში. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები. თბილისი, 2001, ტ. 106, გვ. 40 - 51.
18. Басилашвили Ц.З. Анализ формирования и прогноз месячного, квартального и сезонного стока рек – Квирила и Ханисцкали. Труды ЗакНИГМИ, 1975, вып. 62 (68), с 33 - 41.
19. Басилашвили Ц.З. Анализ и прогноз стока рек Западной Грузии. Республиканская конференция, посвящённая 60 летию Октябрьской революции, Тбилиси, 1978, с 104 - 105.
20. Басилашвили Ц.З. Усовершенствование долгосрочных прогнозов стока р. Аджарисцкали. Труды ЗакНИИ, 1982, вып. 77 (83), с. 114 - 124.
21. ბასილაშვილი ც. მთის მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირება შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის მაისის 45-ე სამეცნიერო სესიის მასალები, თბილისი, 1998, გვ. 11 - 14.
22. Басилашвили Ц.З. Анализ и прогноз стока малых рек Западной Грузии. Труды ЗакНИГМИ, 1992, вып.84 (91), с. 108 - 119.
23. Рухадзе В.Н. Методика прогноза стока весеннего половодья р. Храми. Труды ТбилНИГМИ, 1959, вып. 4.
24. Сидорова Л.В., Суханская Э.В., Ахвледиани А.В. Прогноз квартального и месячного притока воды к Шамхорскому водохранилищу. Труды ЗакНИГМИ, М., 1990, вып. 87 (94), с. 11 - 26.
25. Важнов А.Н. Анализ и прогноз стока рек Кавказа. Л., Гидрометеоиздат, 1966, с. 274.