

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

შიშრი № IHM-13-11- GTU-2428

ვამტიცებ  
დირექტორი მეცნ.აკად.დოქტორი  
----- თ.ცინცაძე  
25 დეკემბერი 2013 წ.

აღმოსავლეთ საქართველოში კლიმატის ცვლილების  
ბავლენა მდინარეთა ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენზე  
და გვალვიანობის დინამიკაზე

დასკვნითი სამეცნიერო ანგარიში (2012-2013 წწ)  
წყლის რესურსებისა და ჰიდროლოგიური პროგნოზების  
განყოფილება

პროექტის ხელმძღვანელი  
პასუხისმგებელი შემსრულებელი  
ფიზ.მათ.მეცნ.დოქტორი, პროფესორი

ნ.ბეგალიშვილი

თბილისი  
2013

**სამეცნიერო ანგარიშის შემსრულებელთა სია**  
**პასუხისმგებელი შემსრულებლები**

- |                       |                     |   |
|-----------------------|---------------------|---|
| 1.                    | ნოდარ ბეგალიშვილი   | - პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი, წყლის რესურსებისა და ჰიდროლოგიური პროგნოზირების განყოფილების გამგე, ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი |
| 2.                    | თენგიზ ცინცაძე      | - მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, ტექნიკურ მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი   |
| 3.                    | ვასილ ცომია         | - გეოგრაფიის მეცნ. დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, პროფესორი  |
| 4.                    | კუკური თავართქილაძე | - ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, პროფესორი   |
| <b>შემსრულებლები:</b> |                     |   |
| 5.                    | გიორგი გაჩეჩილაძე   | - გეოგრაფიის მეცნ. დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, პროფესორი  |
| 6.                    | ნინო ბეგალიშვილი    | - ტექნიკურ მეცნ. აკადემიური დოქტორი, უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი, ასოცირებული პროფესორი  |
| 7.                    | ნუნუ ცინცაძე        | - მეცნიერი თანამშრომელი   |
| 8.                    | ნესტან ხუფენია      | - მეცნიერი თანამშრომელი   |
| 9.                    | ლალი ჭარელი         | - გეოგრაფიის მეცნ. აკადემიური დოქტორი, უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი   |
| 10.                   | სოფო გორგიჯანიძე    | - გეოგრაფიის მეცნ. აკადემიური დოქტორი, უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი   |
| 11.                   | ნანა კობახიძე       | - მეცნიერი თანამშრომელი   |
| 12.                   | კ.ლაშაური           | - ი.გოგებაშვილის სახ. თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტის დოქტორანტი   |
| 13.                   | ნანა გოგიბერიძე     | - ინჟინერი  |

**რ ე ზ ე რ ა ტ ი**

ანგარიში 70 გვ. ცხრილი 17, ნახაზი 19, რუკა 1.

**ადმოსავლეთ საქართველოში კლიმატის ცვლილების  
გავლენა მდინარეთა ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენზე  
და გვალვიანობის დინამიკაზე**

ადმოსავლეთ საქართველოს ყველაზე გვალვიანი მეტეოსადგურების-თბილისი, გარდაბანი, საგარეჯო, შირაქი, დედოფლიწყარო- მონაცემების მიხედვით შესწავლილია საშუალო, ძლიერი და მკაცრი გვალვის დინამიკა 1951-2007 წლებში, აგებულია მათი კომპლექსური მახასიათებლების ტრენდები.

1941-2006 წლების ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემების გამოყენებით დამუშავებულია მდინარე ალაზნის წლიური, ცივი და თბილი სეზონების, სავეგეტაციო პერიოდისა და ყველაზე ცხელი თვის-ივლისის ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელები. ადმოსავლეთ საქართველოში გლობალური დათბობის ორი სცენარის მიხედვით (პროცესების ოპტიმალური და ექსტრემალური განვითარება) გამოკვლეულია წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების ცვლილების გავლენა მდინარე ალაზნის ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენზე.

მდინარე ალაზნის თბილი, სავეგეტაციო პერიოდის და ივლისის ჩამონადენის მოდელების გამოყენებით დადგენილია ანალიზური კავშირი ჩამონადენის და გვალვიანობის პარამეტრებს შორის. შემოთავაზებული მეთოდი იძლევა საშუალებას საშუალო, ძლიერი და მკაცრი გვალვის პირობებში შეფასებული იქნას ჩამონადენის მოსალოდნელი მნიშვნელობა. შესაძლებელია შებრუნებული ამოცანის გადაწყვეტა: ჩამონადენის საპროგნოზო მნიშვნელობის მიხედვით ვიწინასწარმეტყველოდ გვალვიანობის ინტენსივობა (კლასი).

აღმოსავლეთ საქართველოში კლიმატის ცვლილების გავლენა  
მდინარეთა ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენზე და  
ბვალვიანობის დინამიკაზე

**შ ი ნ ა ა რ ს ი**

შესავალი. პრობლემის აქტუალობა. ამოცანის დასმა.....	ბგ- 4
1. ბვალვიანობის დინამიკა ბლოკალური დამბობის ფონზე აღმოსავლეთ საქართველოში.....	11
1.1. კვლევის მეთოდოლოგია – გვალვის ინტენსივობის შეფასების კომპლექსური მეთოდი.....	12
1.2. კვლევის შედეგები.....	15
2. კლიმატის ცვლილების გავლენა ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენზე (მდ.ალაზნის მაბალითზე).....	21
2.1. კვლევის მეთოდოლოგია – ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელების აგება.....	24
2.2. კვლევის შედეგები – კლიმატის ცვლილების გავლენა ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენზე.....	30
ბვალვიანობის კავშირი მდინარეთა ჩამონადენთან.....	51
3.1. კვლევის მეთოდოლოგია.....	51
3.2. გამოთვლის შედეგები.....	52
დასკვნა,.....	58
ლიტერატურა.....	31

**შესავალი. პრობლემის აქტუალობა. ამოცანის დასმა**

გვალვა წარმოადგენს ერთ უდიდეს უბედურებას კაცობრიობის არსებობის ისტორიაში. ქვემოთ ცხრილში მოტანილია ზოგიერთი უარყოფითი შედეგი სხვადასხვა სტიქიური უბედურებებისა 1963–1992 წ. წ. პერიოდში ბამრო მონაცემების მიხედვით.

**სხვადასხვა სტიქიური უბედურების უარყოფითი შედეგი ბამრო–ს მონაცემების მიხედვით (1963–1992 წ.წ.), მოცემულია საერთო რაოდენობის %.**

სტიქიური უბედურება	ზარალი	დაზარალებულთა რაოდენობა	მსხვერპლთა რაოდენობა
გვალვა	22	23	3
ტროპიკული ციკლონები	30	20	19
მიწისძვრები	10	4	13
წყალდიდობები	32	32	26
სხვა მოვლენები	-	4	9
შიმშილი	-	-	-
ქარიშხალი	-	-	6
მეწყერი	-	-	7
ეპიდემია	-	-	17

როგორც ცხრილიდან ჩანს, უარყოფითი ზემოქმედების ძირითადი მაჩვენებლების მიხედვით, გვალვები ერთერთი პირველია. როგორც მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის (მმო) ყოფილი გენერალური მდივნის პროფ. ობასის მოხსენებაშია ნათქვამი, კაცობრიობაზე ყველა უარყოფითი ბუნებრივი ზემოქმედების დაახლოებით 85% პირდაპირ ან ირიბად დაკავშირებულია ამინდის ექსტრემალურ პირობებთან. ბამრო მონაცემებით 1967–1991 წლებში 1,3 მილიონზე მეტი ადამიანი დაიღუპა გვალვების შედეგად.

1988 წლის გვალვის აშშ–ის ეკონომიკაზე გავლენა 40 მლრდ დოლარითაა შეფასებული და ეს 2–3 ჯერ მეტია სანფრანცისკოს 1989 წლის მიწისძვრით გამოწვეულ დანაკარგებზე.

თუ გამოვრიცხავთ არასასოფლო–სამეურნეო ტერიტორიებს, ისეთებს, როგორცაა უდაბნოები, ტროპიკული ტყეები და რაიონები, სადაც განსხვავებულ ნალექების წლიურ რაოდენობასა და პოტენციალურ აორთქლებას შორის 200 მმ–ზე მეტია, დარჩენილი ფართობი, რომელზედაც გვალვა ვრცელდება, შეადგენს 50%–ზე მეტს. მთავარი ისაა, რომ ეს ძირითადი სასოფლო–სამეურნეო რეგიონებია.

კლიმატის შემსწავლელ ექსპერტთა სამთავრობათაშორისო ჯგუფის (IPCC) მიერ მომზადებულ ანგარიშებში [1-3], რომლებიც მიეძღვნა მე-20 საუკუნის 80-იან წლებიდან დაფიქსირებულ კლიმატის გლობალურ დათბობას, აღნიშნულია დედამიწაზე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში ჰაერის ტემპერატურის საშუალო საუკუნოვანი მატების სიდიდე  $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ . გასული საუკუნის 60-იანი წლების ბოლოდან

თოვლის გლობალური საფარის ფართობი შემცირდა დაახლოებით 10%-ით, მასობრივი ხასიათი მიიღო მყინვარების უკანდახევამ. მეტად არაერთგვაროვანი სურათი აღინიშნა ატმოსფერული ნალექების განაწილების ცვლილებაში. ჩრდილო ნახევარსფეროს საშუალო და მაღალი განედების უმეტეს რაიონებში ნალექთა საუკუნოვანმა მატებამ შეადგინა 5-10%, ხოლო სუბტროპიკულ და ტროპიკულ განედებში, პირიქით, დაფიქსირდა ნალექთა დაკლება დაახლოებით 3-5%-ით. ზოგიერთი კვლევის შედეგი გვიჩვენებს, რომ გასული საუკუნის მეორე ნახევარში შემცირდა ექსტრემალურად დაბალი ტემპერატურების განმეორადობა და ამავე დროს აღინიშნა მაღალი ტემპერატურების განმეორადობის ზრდა. აზიისა და აფრიკის ზოგიერთ რეგიონში გასული საუკუნის ბოლო ათწლეულში დაიკვირვებოდა გვალვების სიხშირისა და ინტენსივობის მომატება [4].

სათბური გაზების, განსაკუთრებით კო CO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაციის სხვადასხვა სიჩქარით მოსალოდნელი ზრდის პირობებში “ატმოსფერო-ოკეანე-დედამიწის ზედაპირი” ტიპის გლობალური ცირკულაციის მოდელების საპროგნოზო გამოთვლებმა აჩვენეს მიმდინარე საუკუნეში ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში ჰაერის გლობალური საშუალო ტემპერატურის მატება დაახლოებით 1-დან 6°C-მდე. ასევე ამ მოდელებმა იწინასწარმეტყველეს ანტარქტიკაში და მაღალ განედებში ნალექთა მოსალოდნელი მატება, ხოლო საშუალო და დაბალ განედებში ორივე ნიშნის ეფექტი – ზოგიერთ რაიონებში როგორც მომატება, ასევე დაკლება. ამის შედეგად, მაგალითად, ევროპის სამხრეთ ზონაში შეიძლება აღინიშნოს წყლის რესურსების მნიშვნელოვანი დეფიციტი. კერძოდ, XXI საუკუნის პირველ ნახევარში კავკასიის რეგიონებში და მათ შორის საქართველოში მოსალოდნელია მდინარეთა წლიური ჩამონადენის საკმაოდ დიდი კლება 50-დან 150 მმ-მდე [5,6].

საქართველოს პირველ ეროვნულ მოხსენებაში კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციის მიმართ [7], ასევე შემდგომ კვლევებში აღინიშნა საქართველოს ტერიტორიაზე გასულ საუკუნეში კლიმატური სისტემის მეტად არაერთგვაროვანი რეაქცია გლობალურ დათბობაზე [8-13]. სავარაუდოთ შავი ზღვის გამაგრებულმა გავლენამ გამოიწვია ზომიერი აცივება დასავლეთ საქართველოში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის კლებით მის ზოგიერთ რაიონში 0.3-0.5°C-ით მე-20 საუკუნის განმავლობაში. აღმოსავლეთ საქართველოში გამოვლენილი იყო საკმარისად მნიშვნელოვანი დათბობა ცალკეულ შემთხვევაში ტემპერატურის ზრდის მაქსიმალური შეფასებით 0.5-0.7°C საუკუნეში [7,8]. არაერთგვაროვანი აღმოჩნდა, აგრეთვე ატმოსფერულ ნალექთა ჯამების ცვლილება 1936-1995 წლების დაკვირვებათა 60 – წლიანი პერიოდისათვის [7,9,10]. საქართველოს ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე გამოვლენილ იქნა წლიუ-

რი ნალექების კლება 5-10%-მდე, ხოლო აღმოსავლეთ კავკასიონის მაღალმთიან ზონაში შემცირების მაქსიმალურმა სიდიდემ შეადგინა 10-15%. ნალექების ზრდა აღინიშნა კოლხეთის დაბლობზე, აჭარის მაღალმთიან რაიონებში და დასავლეთ კავკასიონის მაღალმთიან ზონაში, სადაც მათი მატება არ აღემატებოდა წლიური ჯამების 5-10%-ს.

ამასთან, ატმოსფეროს ტენშემცველობა საქართველოს ტერიტორიაზე არ შეცვლილა, თუმცა მის ცალკეულ რაიონებში დაფიქსირდა ტენიანობის საუკუნოვანი სვლის ორივე ნიშნის ტენდენციები [11-13]. ასეთ პირობებში მოსალოდნელი იყო მდინარეთა ჩამონადენის განსხვავებული რეაქცია კლიმატური ცვლილების არაერთგვაროვნობის მიმართ საქართველოს დასავლეთ და აღმოსავლეთ რეგიონების მდინარეთა აუზებში. ზოგიერთი კვლევის შედეგად მიღებულია, რომ აღნიშნულ რეგიონებში ფიზიკურ-გეოგრაფიული, ლანდშაფტური, ჰიდროგეოლოგიური და განსაკუთრებით კლიმატური პირობები სხვადასხვაგვარად მოქმედებენ ჩამონადენის რეაქციაზე ჰავის ცვლილებათა მიმართ, განსაზღვრავენ ჩამონადენის მგრძნობიარობის განსხვავებულ სიდიდეს და ნიშანს. მაგალითად მდ.რიონის აუზისათვის – საგ.აღპანას კვეთისათვის (საშუალო სიმაღლე 1810 მ, წყალშემკრების ფართობი 2830 კმ) დამახასიათებელია ჩამონადენის კოეფიციენტის შედარებით მაღალი მნიშვნელობები  $k=0.80-0.90$ . ამიტომ, ემპირიულ-სტატისტიკური და ბალანსური მოდელებით ჩატარებულმა შეფასებამ აჩვენა, რომ ჩამონადენის მგრძნობიარობა თითქმის მთლიანად განისაზღვრება წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამების ცვლილებით. რაოდენობრივად ეს გამოიხატა იმაში, რომ ნალექების გაზრდა ან შემცირება 5-10%-ით, იწვევს იგივე ნიშნის და დაახლოებით იგივე შეფარდებითი სიდიდით ჩამონადენის რეაქციას დამოუკიდებლად ტემპერატურის ვარიაციებისაგან. მდ.მტკვრის აუზისათვის – საგ.თბილისის კვეთისათვის (საშუალო სიმაღლე 1710 მ, წყალშემკრები ფართობი 21 100 კმ) დამახასიათებელია ჩამონადენის კოეფიციენტის საკმარისად დაბალი მნიშვნელობები  $k=0.30-0.40$ . ამიტომ, ჩამონადენის მგრძნობიარობა ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების მიმართ გაცილებით აღემატება მგრძნობიარობას ნალექთა ჯამების ვარიაციებისას. მაგალითად, წყალშემკრებზე მოსალოდნელი ტემპერატურის  $2^{\circ}\text{C}$ -ით მატებისას და ნალექთა ჯამების 10%-ით კლების პირობებში, მდ.მტკვრის - საგ.თბილისის კვეთში ჩამონადენის შემცირება უნდა შეადგენდეს დაახლოებით ნორმის 50%-ს. ეს შეფასებები კარგ თანხვედრაშია უშუალოდ გაზომვებით მიღებულ შედეგებთან [14-16].

კლიმატის გლობალური ცვლილების IPCC კომისიის ბოლო შეფასების მიხედვით [17,18], ასევე საქართველოს პირველი და მეორე ეროვნული შეტყობინებათა გათვალისწინებით [7,19], უნდა ვივარაუდოთ შავი ზღვის წყლების გამაცივებელი

ეფექტის ინერციის დამთავრება [20] და მიმდინარე საუკუნეში დასავლეთ საქართველოში საშუალო წლიური ჰაერის ტემპერატურის მომატება 2-3°C-ით.

აღმოსავლეთ საქართველოში გლობალური დათბობის შედეგად ტემპერატურის საუკუნოებრივმა ზრდამ შეიძლება შეადგინოს 3-4°C და მეტიც. ამის ფონზე, ბუნებრივია, მოსალოდნელია გვაღვების ინტენსივობისა და სიხშირის გაზრდა აღმოსავლეთ საქართველოს რიგ რაიონებში. კერძოდ, ქვემო ქართლში, გარე კახეთში, შირაქის და ელდარის ვაკეებზე გვაღვიანობის მატებამ შეიძლება შექმნას ლოკალური გაუდაბნოების საშიშროება [4,21].

გარემოს გაუდაბნობასთან ბრძოლის კონვენციის მხარეთა მეოთხე სესიამ (2000 წ) პრიორიტეტად მიიჩნია გვაღვიან მოვლენებზე ადრეული გაფრთხილების ეროვნული სისტემების შექმნა მათგან გამოწვეული ნეგატიური შედეგების შერბილებისა ან ზარალის თავიდან აცილებისათვის. მმო-ს მაშინდელმა გენერალურმა მდივანმა პროფ. ობასიმ აღნიშნა, რომ „ასეთი სისტემების შექმნა უნდა იქცეს გვაღვასთან ბრძოლის ეროვნული პოლიტიკის ნაწილად“ [22].

აღმოსავლეთ საქართველოში 1999-2000 წლების ზაფხულის მშრალი ამინდებისა და უნაღვექო პერიოდების შემდეგ, განსაკუთრებით კი 2000 წლის მკაცრი გვაღვის შედეგად (ამ მოვლენებს ადგილი ჰქონდა შემდგომ წლებშიც) სოფლის მეურნეობისა და სურსათის სამინისტროს მონაცემებით ზარალმა სოფლის მეურნეობაში შეადგინა თითქმის 450 მილიონი ლარი. ამ პროცესების შედეგების და მიმდინარე საუკუნეში გვაღვიანობის მოსალოდნელი ზრდისა და გაუდაბნოების საშიშროების გათვალისწინებით საქართველოს მთავრობამ 2000 წელს დაავალა გარემოს დაცვის და ბუნებრივი რესურსების სამინისტროს გლობალური დათბობის ნეგატიური ზემოქმედების შერბილებისა და საადაპტაციო ღონისძიებათა სახელმწიფო პროგრამის შედგენა. პროგრამის პროექტის დამუშავებაში მონაწილეობდნენ სხვადასხვა უწყებების და სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტების წამყვანი სპეციალისტები. პროგრამის პრიორიტეტულ მიმართულებებად მიჩნეული იქნა სადამკვირებლო ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის აღდგენა – განვითარება, სამეცნიერო კვლევების გაფართოება გვაღვისა და გაუდაბნოების მონიტორინგისა და პროგნოზის დარგში, რამაც ხელი უნდა შეუწყოს ადრეული გაფრთხილების სისტემის შექმნას, ასევე წყლის რესურსების გამოყენების ეფექტურობის გაზრდა, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მორწყვის თანამედროვე ტექნოლოგიების დამუშავება – დანერგვა და სხვ.

მონაცემები ქვეყნის სხვადასხვა რეგიონში ზედაპირული ჩამონადენის რეჟიმის მრავალწლიურ მახასიათებლებზე და წყლის რესურსებზე შესულია მდინარეთა ჰიდროგრაფიული აღწერის მონოგრაფიული ხასიათის შრომებში [23-29]. ყველა ამ საცნობარო გამოცემაში გამოყენებულია გასული საუკუნის დაკვირვებათა მასალები-



ინფორმაცია ჰიდროლოგიურ რიგებზე შემოისაზღვრება 60-70-იანი წლების მონაცემებით. მოგვიანებით, 90-იანი წლების დასაწყისისთვის გამოცემულ მონოგრაფიებშიც კი მდინარეთა ზედაპირული ჩამონადენისა და წყლის რესურსების მდგომარეობის შეფასება ეყრდნობა დაკვირვებათა მასალებს 1980 წლის ჩათვლით [23,27]. მხოლოდ გაეროს კლიმატის ჩარჩო კონვენციაზე საქართველოს პირველი და მეორე ეროვნული შეტყობინებათა ანგარიშების შედგენისას ნაწილობრივ გამოყენებულია 80-90-იანი წლების მეტად შეზღუდული ჰიდრომეტეოროლოგიური მონაცემები [7,19,30,31]. მაგალითად, შრომებში [32,33] შესწავლილია ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენის დინამიკა საქართველოში 1941-1985 წლებში. მიღებულია მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელები. მათი დახმარებით გამოკვლეულია ჩამონადენის შესაძლო რეაქცია გლობალური დათბობის ორი კლიმატური სცენარის პირობებში. ამრიგად, ბოლო წლებში შესრულებული ყველა შრომაში კვლევის შედეგები:

- არ შეიცავენ ბოლო 20-30 წლიანი პერიოდის მონაცემებს, როდესაც აქტიურად იჩინა თავი გლობალურმა დათბობამ. ამიტომ, აუცილებელია გასული საუკუნის 80-იანი და 90-იანი წლების, ასევე მიმდინარე საუკუნის 10-იანი წლების ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემების გათვალისწინება და გლობალური დათბობის გავლენის შეფასება მდინარეთა ჩამონადენზე. ამის შედეგად შესაძლებელი იქნება რეალური სცენარების შედგენა საქართველოში კლიმატური სისტემის წარსული და მიმდინარე ცვლილების ასაღწერად.

- ასევე ყველა წინა კვლევებში განხილული იყო მდინარეთა წლიური ჩამონადენის რეჟიმი და დინამიკა. აუცილებელია გადასვლა შიდაწლიურ განაწილებებზე და მათი ცვლილებათა გამოკვლევა. მაგალითად, აქტუალურია ცივი და თბილი სეზონების, ასევე სავგებტაციო პერიოდის ჩამონადენის დინამიკისა და მისი ცვლილების შეფასება გლობალური დათბობის პირობებში. ამ ამოცანას აქვს დამოუკიდებელი მნიშვნელობა როგორც სამეცნიერო, ასევე გამოყენებითი თვალსაზრისით. როგორც ცნობილია, ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენის ფორმირებაში უდიდესი წვლილი შეაქვთ წყალშემკრებზე ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების რეჟიმს და დინამიკას. მეორეს მხრივ სწორედ ნალექებისა და ტემპერატურის სივრცით-დროით განაწილებაზე არის დამოკიდებული გვალვიანობის ფორმირება გარკვეულ ტერიტორიაზე. ამიტომ ორ ამ პროცესს შორის უნდა არსებობდეს გარკვეული კავშირი. გვალვიანობის განვითარება უნდა მოქმედებდეს მდინარეთა ჩამონადენზე: ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენის შემცირება-გამოფიტვას ხელს უნდა უწყობდეს გვალვიანობის ხანგრძლივობა და ინტენსივობა. სამეცნიერო ლიტერატურაში პრაქტიკულად არ არის წარმოდგენილი ამ პროცესებს და მოვლენებს შორის კავშირის რაოდენობრივი შეს-

წავლის შედეგები. რადგან გამოსაკვლევა გვაღვიანობისა და ჩამონადენის კავშირი ერთმანეთთან და ვცდილობთ ეს კავშირი დავამყაროთ ანალიზური სახით, მაშინ გასაგებია ჩვენი ინტერესი ჩამონადენის შიდაწლიურ განაწილების მიმართ. წყალდიდობისა და წყალმოვარდნის ჩამონადენთან ერთად მეტად მნიშვნელოვანია წყალმცირობის რეჟიმისა და დინამიკის შესწავლა. მითუმეტეს ეს ეხება ჩამონადენს, რომელიც ფორმირდება გვაღვიანობის პირობებში. ამიტომ, მნიშვნელოვანია თბილ სეზონში, მთლიანად სავეგეტაციო პერიოდში და მის ცალკეულ ცხელ თვეებში ჩამონადენის ფორმირების შესწავლა, რადგან სწორედ დროით ამ ინტერვალებში მოსალოდნელია გვაღვიანობის მაქსიმალური ზემოქმედება ჩამონადენზე. ამრიგად, აქტუალურია არამარტო წყალდიდობისა და წყალმოვარდნის ჩამონადენის კვლევა, არამედ წყალმცირობის პერიოდების და განსაკუთრებით გვაღვიანობის პირობებში ჩამონადენის რეჟიმისა და დინამიკის შესწავლა, კლიმატურ ცვლილებებზე მისი რეაგირების შეფასება. ამ საკითხების და ამოცანების კვლევის შედეგების გამოყენების სფერო მოიცავს ეკონომიკის სხვადასხვა დარგს: სოფლის მეურნეობა, ენერგეტიკა, ტრანსპორტი, მშენებლობა, ტურიზმი, წყლის რესურსების გამოყენება და მისი პროგნოზი მოსალოდნელი კლიმატური ცვლილების პირობებში და სხვა.

ზემონათქვამის გათვალისწინებით მოცემული ნაშრომი შეიცავს სამ დასმულ ამოცანასთან დაკავშირებით მიღებულ კვლევის შედეგებს.

პირველ თავში განხილულია გვაღვიანობის დინამიკა აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე 1951-2007 წლებში. გვაღვიანობის ინტენსივობის ასაღწერად გამოყენებულია მისი შეფასების ახალი კომპლექსური მეთოდი, რომელიც ოპერირებს ერთდროულად სამი ატმოსფერული და ორი ნიადაგური მახასიათებლით.

მეორე თავში წარმოდგენილია ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენზე კლიმატურ ცვლილებათა გავლენის შესწავლის შედეგები მდინარე ალაზნის მაგალითზე. შედგენილია წლიური, ცივი და თბილი სეზონების, სავეგეტაციო პერიოდის და ივლისის ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელები, რისთვისაც გამოყენებულია 1941-2006 წლების ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა რიგები. ამ მოდელების გამოყენებით გამოკვლეულია ჩამონადენის მგრძობიარობა წყალსემკრებზე მიწისპირა ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების ვარიაციების მიმართ, შეფასებულია ჩამონადენის შესაძლო ცვლილება მომავლის ორი კლიმატური სცენარის პირობებში.

მესამე თავში რაოდენობრივად დაკავშირებულია ერთმანეთთან ჩამონადენისა და გვაღვიანობის პარამეტრები, შესწავლილია ჩამონადენის ფორმირების თავისებურებანი გვაღვიანობის განვითარების პერიოდში.

დასკვნაში მოკლედ არის ჩამოყალიბებული შესრულებული კვლევის შედეგები.

# 1. გვალვიანობის დინამიკა გლობალური დათბობის ფონზე

## აღმოსავლეთ საქართველოში

კლიმატის ცვლილების კვლევის სამთავრობათაშორისო კომისიის (IPCC) ექსპერტთა მიერ მომზადებულ სამეცნიერო ანგარიშების თანახმად დედამიწის სხვადასხვა რეგიონებში ბოლო ათწლეულებში შესამჩნევად გაიზარდა დიდი კლიმატური ანომალიების განმეორადობა, რომლებიც დაკავშირებული არიან გლობალურ დათბობასთან [1-3,34]. კერძოდ, ჰავის არიდია, გვალების სიხშირისა და ინტენსივობის ზრდა, გაუდაბნობის პროცესების ინტენსიფიკაცია დაიკვირვებოდა აზიის, აფრიკის, ამერიკის და ავსტრალიის ბევრ რაიონებში. ეს და სხვა ბუნებრივი კატასტროფები, სასოფლო-სამეურნეო წარმოებაზე სწრაფი ნეგატიური ზემოქმედების გამო, საგანგაშო მდგომარეობაში აყენებენ ქვეყნების სოციალურ-ეკონომიკურ სფეროს, ქმნიან სახიფათო რისკებს მის მდგრად განვითარებაში.

გვალვიანობის პრობლემა, გვალების საკმაოდ ფართო გავრცელება და ხშირი განმეორადობა აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე, აქტუალურს ხდის მის კვლევას ამ რეგიონისათვის [35,36]. მეცნიერული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ არ დაიკვირვება მკაფიო პერიოდულობა გვალვიანობის განვითარებაში. ეს საგრძნობლად ართულებს მოვლენის საპროგნოზო მეთოდების დამუშავებას. ყველაზე დიდ გავლენას ქვეყნის ეკონომიკაზე ახდენენ ძლიერი და მკაცრი გვალები.

2002 წელს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში ჩატარდა რესპუბლიკური კონფერენცია გვალების პრობლემასთან დაკავშირებით, ხოლო 2008 წელს – საერთაშორისო კონფერენცია მიძღვნილი სტიქიური უბედურებების გამოვლენებთან. კონფერენციების შრომათა კრებულებში შესულ რიგ პუბლიკაციაში, ასევე საქართველოში კლიმატის ცვლილების I და II ეროვნულ შეტყობინებებში აღნიშნულია გვალვიანობის აქტივიზირება გასული საუკუნის 80-იან და 90-იან წლებში [7,19,37,38]. ასევე აღნიშნულია გვალვიანობის გამოვლენა 2000, 2001, 2004 და 2006 წლებში, რომელიც სავარაუდოთ დაკავშირებული უნდა ყოფილიყო ჰაერის და ნიადაგის ტემპერატურების ზრდასთან და ნალექთა გარკვეულ შემცირებასთან აღმოსავლეთ საქართველოს პირობებში ბოლო 30-50 წლების განმავლობაში [39-42]. თანამედროვე არასახარბიელო კლიმატურ პროგნოზების თანახმად, გლობალურმა დათბობამ მიმდინარე საუკუნის ბოლოსთვის მოსალოდნელია გამოიწვიოს აღმოსავლეთ საქართველოს წლიური ტემპერატურის მატება 3-4°C-ით და წლიურ ნალექთა ჯამების შემცირება 10-20%-ით. ამას კი შეიძლება მოყვეს გვალვიანობის სიხშირისა და ინტენსივობის ზრდა, კახეთის და ქვედა ქართლის ზოგიერთ რაიონში ლოკალური გაუდაბნობის საშიშროების გაჩენა.

ამ პროცესების და მოვლენების უდიდესი უარყოფითი გავლენა ქვეყნის ბუნებრივ გარემოზე და სოციალურ-ეკონომიკურ სფეროზე, განსაკუთრებით კი

სოფლის მეურნეობაზე, წყლის რესურსებზე და მათ მოხმარებაზე, ენერგეტიკაზე, განსაზღვრავს გლობალური დათბობის პირობებში გვალვიანობის ფორმირებისა და განვითარების, ტერიტორიული განაწილებისა და განმეორადობის, ინტენსივობის შეფასების და დინამიკის კვლევების აქტუალობას აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონისათვის.

### 1.1. კვლევის მეთოდოლოგია - გვალვის ინტენსივობის შეფასების კომპლექსური მეთოდი

რუსეთის მეცნიერთა რიგ სამეცნიერო პუბლიკაციებში შემოთავაზებული იქნა გვალვის ინტენსივობის განსაზღვრის ახალი მეთოდი, რომელიც საფუძვლად დაედო რუსეთის ფედერაციის ტერიტორიაზე გვალვიანობის განვითარების შეფასების ოპერატიულ სისტემას [43]. მეთოდი გვთავაზობს გვალვის ინტენსივობის კლასიფიკაციას ხუთი კატეგორიის მიხედვით: მკაცრი გვალვა (I კლასი); ძლიერი გვალვა (II კლასი); საშუალო გვალვა (III კლასი); სუსტი გვალვა (IV კლასი) და უგვალვო მდგომარეობა (V კლასი). ინტენსივობის კლასიფიცირება წარმოებს კომპლექსურად ცალკეულ მაჩვენებლების სახით მიღებულ შეფასებათა მნიშვნელობების განზოგადებით.

კერძოდ, იყენებენ შემდეგ გამოსახულებებს (მაჩვენებლებს):

ა) სელიანინოვის ჰიდროთერმული კოეფიციენტი (ჰთკ)

$$H = \frac{\sum R_{[i+(i-1)+(i-2)]}}{0.1 \sum T_{\geq 10^{\circ} C_{[i+(i-1)+(i-2)]}}} \quad ; \quad (1.1)$$

ბ) შაშკოს ტენიანობის მახასიათებელი

$$M_d = \frac{\sum R_{[i+(i-1)+(i-2)]}}{\sum d_{[i+(i-1)+(i-2)]}} \quad ; \quad (1.2)$$

გ) დღეთა რაოდენობა, როცა ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა  $\leq 30\%(N)$ ;

დ) პროდუქტიული ტენის მარაგი ნიადაგის 0–20 სმ-იან ფენაში სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ფესვებს ქვეშ ( $W_{0-20}$ );

ე) პროდუქტიული ტენის მარაგი ნიადაგის 0–100 სმ-იან ფენაში კულტურების ფესვებს ქვეშ ( $W_{0-100}$ );

სადაც R – ნალექებია;  $T^{\circ}C$  – ჰაერის ტემპერატურა; d – ატმოსფერულ ჰაერში წყლის ორთქლის დრეკადობა (პარციალური წნევა); W – ნიადაგში პროდუქტიული ტენის მარაგი; i – შესაფასებელი დეკადის ან თვის ნომერი;

i-1 და i-2 წინა დეკადების ან თვეების ნომრები.

ქვემოთ ცხრ1.1-ში მოცემულია გვალვების შეფასების მაჩვენებლების მნიშვნელობები გვალვების კატეგორიების მიხედვით [43].

გვალვების შეფასებების განზოგადება ხდება სახეთა ამოცნობის თეორიის გამოყენებით [44-46]. კერძოდ, გამოითვლება კომპლექსური მახასიათებელი:

**ცხრილი 1.1. გვალვების შეფასების მაჩვენებლების ინტერვალები**

გვალვების შეფასებების მაჩვენებლები	გვალვების კატეგორიები ინტენსივობის მიხედვით				
	მკაცრი (კლასი 1)	ძლიერი (კლასი 2)	საშუალო (კლასი3)	სუსტი (კლასი 4)	უგვალვო (კლასი 5)
H	0-0,19	0,20-0,39	0,40-0,60	0,61-0,75	>0,75
M <sub>d</sub>	0-0,09	0,10-0,19	0,20-0,30	0,31-0,40	>0,40
N	7-11	5-6	3-4	1-2	0
W <sub>0-20,მმ</sub>	0-10	11-20	21-30	31-40	>40
W <sub>0-100,მმ</sub>	0-30	31-50	51-70	71-90	>90

$$\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \delta_j a_{ij} \quad , \quad (1.3)$$

სადაც  $\bar{P}_i$  – არის i-ურ პერიოდში კლასთან სიახლოვის საშუალო მნიშვნელობა; n- მაჩვენებლების რაოდენობა;  $\delta_j$  მაჩვენებლების საინფორმაციო წონები;  $a_{ij}$  – მეტრიკა, რომელიც ახასიათებს j – ური მაჩვენებლის i –ურ პერიოდში ფაქტიური მნიშვნელობის სიახლოვეს კლასებთან; j - მაჩვენებლის რიგითი ნომერი.

$a_{ij}$  - გამოსახულება ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$a_{ij} = 1 - \frac{|x_{ji} - \varphi_j^*|}{\varphi_{aj}^{**} - \varphi_{aj}^*}, \quad x_{ji} < \varphi_j^* \quad ,$$

$$a_{ij} = 1 - \frac{|x_{ji} - \varphi_j^{**}|}{\varphi_{aj}^{**} - \varphi_{aj}^*}, \quad x_{ji} > \varphi_j^{**} \quad ,$$

$$a_{ij} = 1, \quad \varphi_j^* \leq x_{ji} \leq \varphi_j^{**} \quad , \quad (1.4)$$

სადაც  $X_{ji}$ - j-ური მაჩვენებლის ფაქტიური მნიშვნელობაა i-ურ პერიოდში;  $\varphi_j^*$ ,  $\varphi_j^{**}$  – j-ური მაჩვენებლის ცვლილების დიაპაზონი (მინიმუმი, მაქსიმუმი);  $\varphi_{aj}^*$ ,  $\varphi_{aj}^{**}$  – j –ური მაჩვენებლის მნიშვნელობების აბსოლუტური დიაპაზონი.

გვალვა მიეკუთვნება იმ კლასს, რომელთანაც მისი სიახლოვის ზომა  $\bar{P}$  იქნება მაქსიმალური.

მაჩვენებლების აბსოლუტური მნიშვნელობებისათვის ( $\varphi_{aj}^*$ ,  $\varphi_{aj}^{**}$ ) ვიყენებთ მონაცემებს მეცნიერული ლიტერატურიდან [43,47-50]. ისინი წარმოდგენილი არიან ცხრ.1.2-ში.

**ცხრილი 1.2. მაჩვენებლების აბსოლუტური მნიშვნელობები**

მაჩვენებლები	მინიმუმი ( $\varphi_{aj}^*$ )	მაქსიმუმი ( $\varphi_{aj}^{**}$ )
H	0	5,0
M <sub>d</sub>	0	3,0
N	0	11
W <sub>0-20,მმ</sub>	0	60
W <sub>0-100,მმ</sub>	10	280

გვალვის განვითარების კომპლექსური შეფასების მეთოდი საქართველოს პირობებისათვის ნაწილობრივ შემოწმებული იქნა 1979 წლის აგვისტოს სამივე დეკადის საგარეჯოს მეტეოსადგურის დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე [51]. შემდეგი გამოცდა მეთოდმა გაიარა ქვეყნის ტერიტორიაზე 1961-1986 წლებში მოქმედი 15 მეტეოსადგურის ატმოსფერულ და ნიადაგურ მონაცემთა რიგების გამოყენებით [52]. ამ გამოცდებმა აჩვენეს მეთოდის მაღალი ეფექტურობა. მნიშვნელოვანია, რომ მეთოდით გათვალისწინებული მეტეოროლოგიური, აგრომეტეოროლოგიური და გვალვის ინტენსივობის შესახებ მონაცემთა სინქრონული რიგების ფორმირების შემდეგ შესაძლებელი ხდება კლასიკური კორელაციური თეორიის გამოყენება, ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელების აგება, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს გვალვის გამოკვლევისა და პროგნოზირების საქმეში. გამოცდებმა აჩვენეს, აგრეთვე, რომ გვალვების კომპლექსური შეფასების მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნას კლიმატურ ანუ საშუალო მრავალწლიურ მონაცემებზე დაყრდნობით. ეს საშუალებას იძლევა შევადგინოთ საქართველოს ტერიტორიის გვალვის ინტენსივობის მიხედვით დარაიონების რუკები. ნაშრომში [53], რომელიც შესრულდა რუსთაველის სახელობის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის საფუძველზე (პროექტი №GNSF/ST/07/5-201) წარმოდგენილია საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება გვალვიანობის ინტენსივობის კომპლექსური შეფასების მეთოდის საფუძველზე ადრე არსებულ და ამჟამად მოქმედ 49 მეტეოსადგურის მონაცემთა მიხედვით 1951-2007 წლების პერიოდისათვის. დაკვირვების რიგებში გაცდენილი ელემენტები, ასევე გამოტოვებული ფრაგმენტები და მათი მიყვანა ერთი და იგივე აღნიშნულ პერიოდამდე შესრულდა მრავალგანზომილებიან სივრცეში შემთხვევითი ფუნქციის ორთოგონალურ მდგენელებად (ვექტორებად) დაშლის მეთოდით [13,16]. რაიონირების შედეგად მიღებული იქნა ახალი 12 რუკა ატმოსფერული და ნიადაგური გვალვიანობის ცალ-ცალკე შეფასების საფუძველზე, ასევე მისი კომპლექსური შეფასების მეთოდით სავეგეტაციო პერიოდის 4 თვისთვის (მაისი-აგვისტო). რუკები წარმოადგენენ კლიმატური რაიონირების მაგალითს, რადგან კომპლექსური შეფასების ყველა მახასიათებელი გასაშუალოებული იქნა 1951-2007 წლების მთლიანი პერიოდისათვის. მაგრამ, გამოთვლების შედეგად მიღებულ მახასიათებელთა ყოველწლიური მნიშვნელობები თითოეული სავეგეტაციო თვისათვის შესაძლებელს ხდის გამოვიკვლიოთ გვალვიანობის დინამიკა ამ თვეებში, მაგალითად, აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე. რადგან აღნიშნული პერიოდი მოიცავს გლობალური დათბობის დასაწყისიდან (90-იანი წლები) დღემდე არსებული მისი მზარდი ტენდენციის დროით ინტერვალს, ამიტომ ტრენდების აგებით და გასაშუალოებული

მასხასიათებლების შედარებით გლობალური დათბობის დაწყებამდე და მის შემდეგ შეიძლება გამოვიკვლიოთ გვაღვის დინამიკა და მასზე გლობალური დათბობის შესაძლო გავლენა.

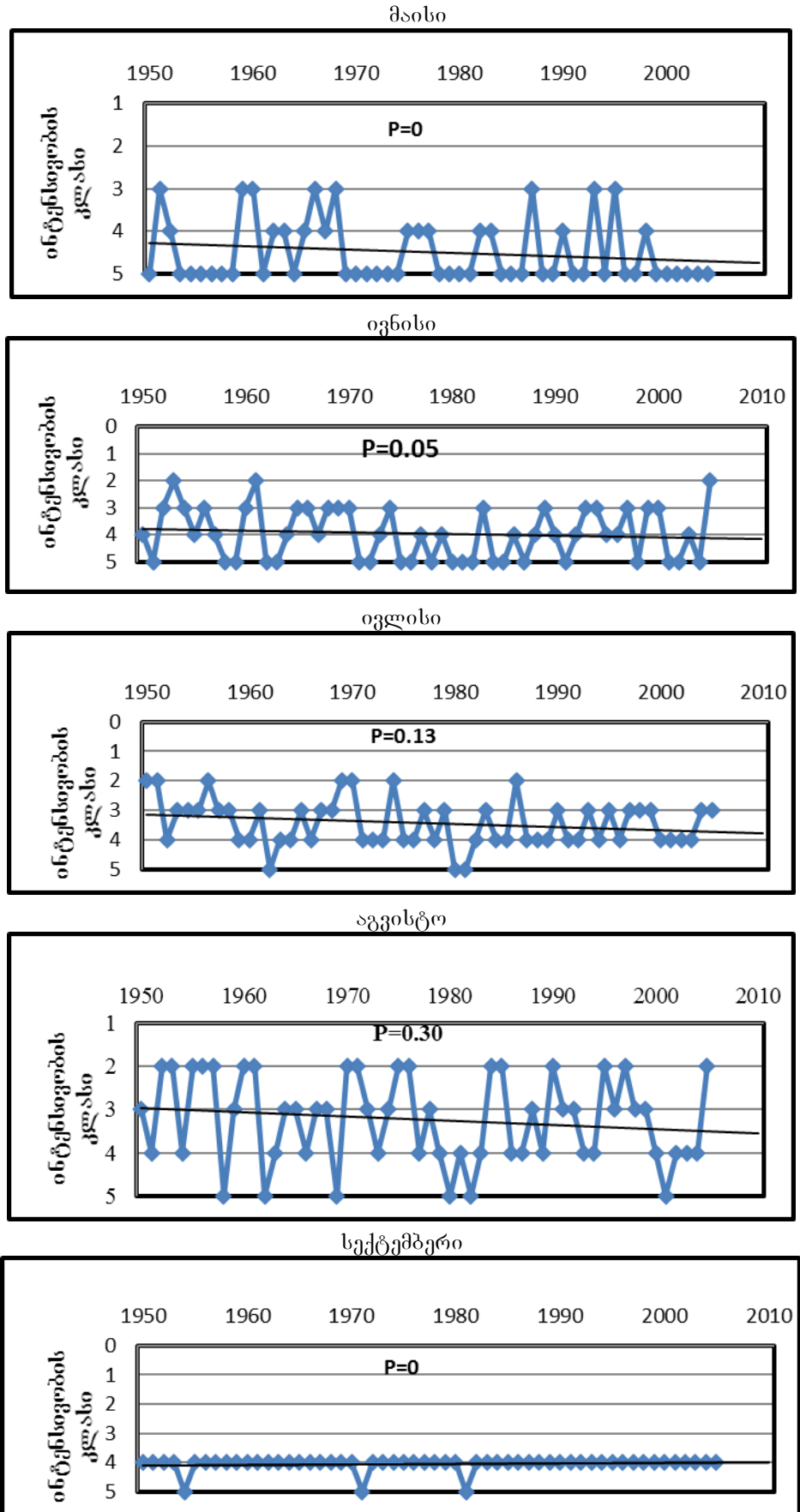
## 1.2. კვლევის შედეგები

გვაღვიანობის ინტენსივობის შეფასებები და რაიონირების შედეგები, მიღებული [52,53]-ში, დაედო საფუძვლად აღმოსავლეთ საქართველოში ადრე მომქმედი და ამჟამად არსებული მეტეოროლოგიური სადგურების შერჩევას, რომელთა მონაცემებით აღინიშნებოდა საშუალო, ძლიერი და მკაცრი გვაღვები. ასეთები აღმოჩნდა – ახმეტა, საგარეჯო, დედოფლისწყარო, შირაქი (კახეთი), თბილისი, მარნეული, გარდაბანი, ბოლნისი (ქვემო ქართლი). შერჩევის შემდეგ ფაზაში დატოვებული იქნა ის სადგურები, რომელთა მონაცემებით ძლიერი და მკაცრი გვაღვა დაიკვირებოდა ზედიზედ სავეგეტაციო პერიოდის სამი თვის განმავლობაში მაინც. ნახ. 1-5-ზე წარმოდგენილია გვაღვის დინამიკა 1951-2007 წლების პერიოდში აღმოსავლეთ საქართველოს შემდეგი სადგურების მონაცემებით: თბილისი, გარდაბანი, საგარეჯო, შირაქი, დედოფლისწყარო. ამ ნახაზებზე მოცემულია, ასევე, კომპლექსური შეფასების მასხასიათებელთა ტრენდები კატეგორიების (კლასების) მიხედვით და მითითებულია მოვლენის ალბათობა (სიხშირე) აღნიშნულ თვეებში-გვაღვის განვითარების რისკი.

მოვლენის უმაღლესი კლასი ყველა სადგურის მონაცემთა მიხედვით-ეს არის II კატეგორიის ძლიერი გვაღვა. კომპლექსური შეფასებების მიხედვით მკაცრი გვაღვა (I კლასი) არ დაფიქსირდა არცერთ შემთხვევაში. მაგრამ, თუ შეფასებას ჩავატარებთ ცალ-ცალკე ატმოსფერული და ნიადაგური გვაღვიანობისათვის, მაშინ თბილისის სადგურის მონაცემებისათვის ფიქსირდება მკაცრი გვაღვაც (I კლასი). მოვლენის რისკი იზრდება დაწყებული მაისიდან სექტემბრისაკენ. ის აღწევს მაქსიმუმს ივლის-აგვისტოში (თბილისი,  $p=0.30$ ) ან აგვისტო-სექტემბერში (გარდაბანი -  $p=0.46$ ; საგარეჯო -  $p=0.21$ ; შირაქი და დედოფლისწყარო -  $p=0.16$ ). თითქმის ყველა შემთხვევაში კლასების ცვლილების ტრენდები დადმავალია ანუ არ ფიქსირდება გვაღვის ინტენსივობის ზრდა. უმნიშვნელო ზრდის ტენდენცია აღინიშნება მხოლოდ სუსტი და საშუალო ინტენსივობის გვაღვიანობისათვის სადგურების გარდაბანი (ივნისი-ივლისი), საგარეჯო (ივლისი-აგვისტო) და დედოფლისწყაროს (აგვისტო-სექტემბერი) შემთხვევებში. ძლიერი გვაღვის დინამიკა ყველა განხილული სადგურისათვის, სავეგეტაციო ყველა თვეში ხასიათდება დადმავალი ტრენდებით, ე.ი. ფიქსირდება ასეთი კატეგორიის გვაღვის ინტენსივობის შემცირება.

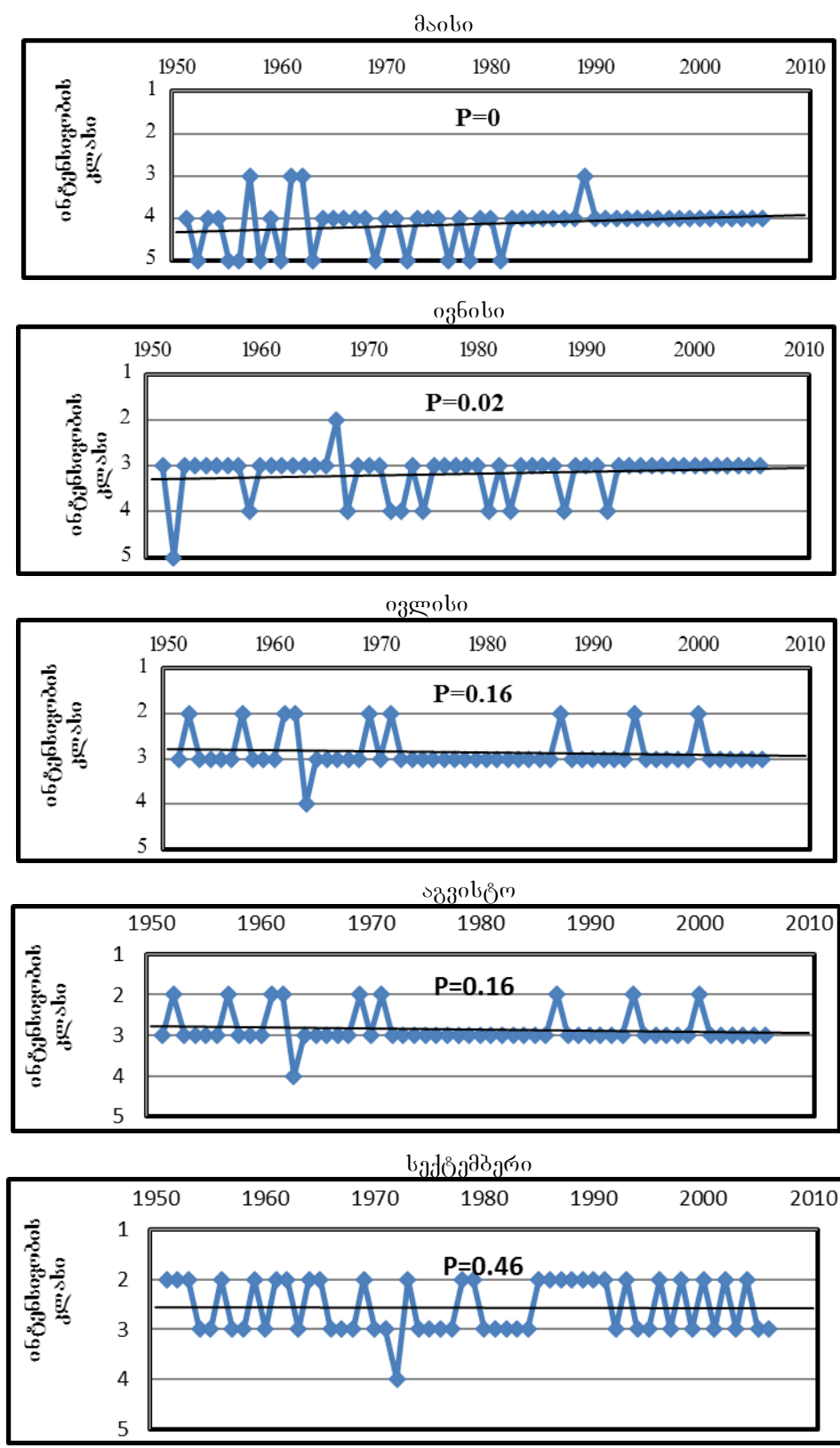
ამრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ გლობალური დათბობის გავლენა გვაღვის დინამიკაზე აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე არ აღინიშნება.

თითქმის ყველა შემთხვევაში გვალვის ინტენსივობა ან არ იცვლება, ან დაიკვირვება მისი შემცირების ტენდენცია.

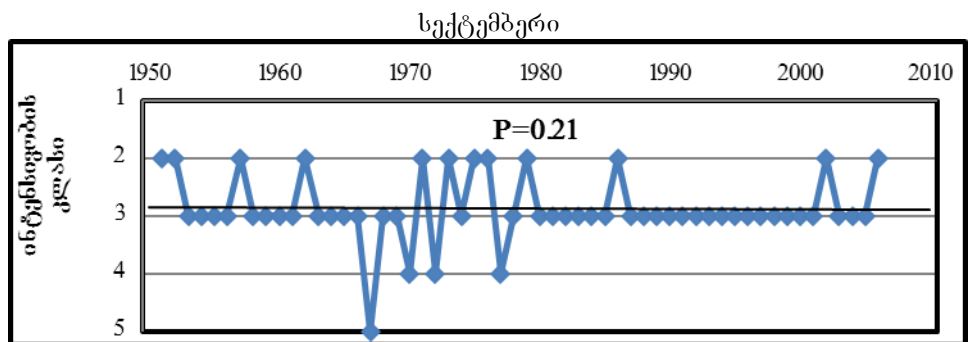
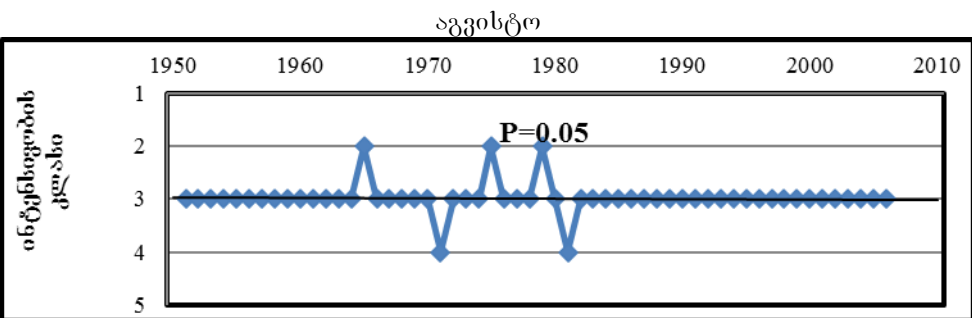
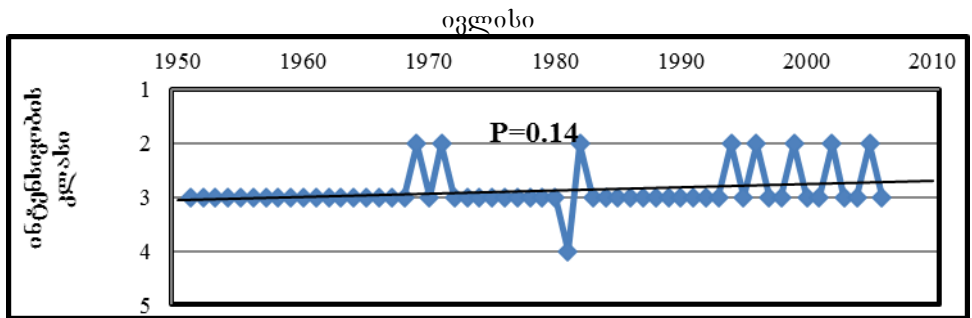
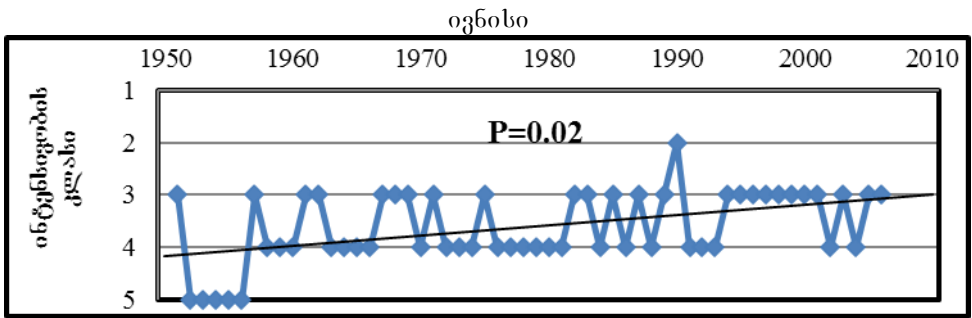
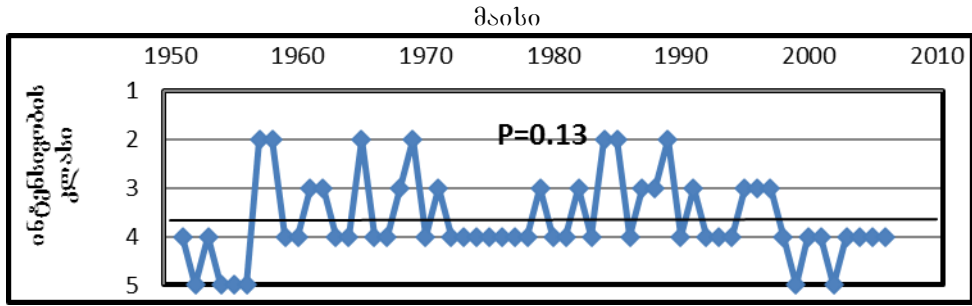


.ნახ.1. გვალვიანობის დინამიკა მეტეოროლოგიური სადგურის თბილისის მონაცემებით

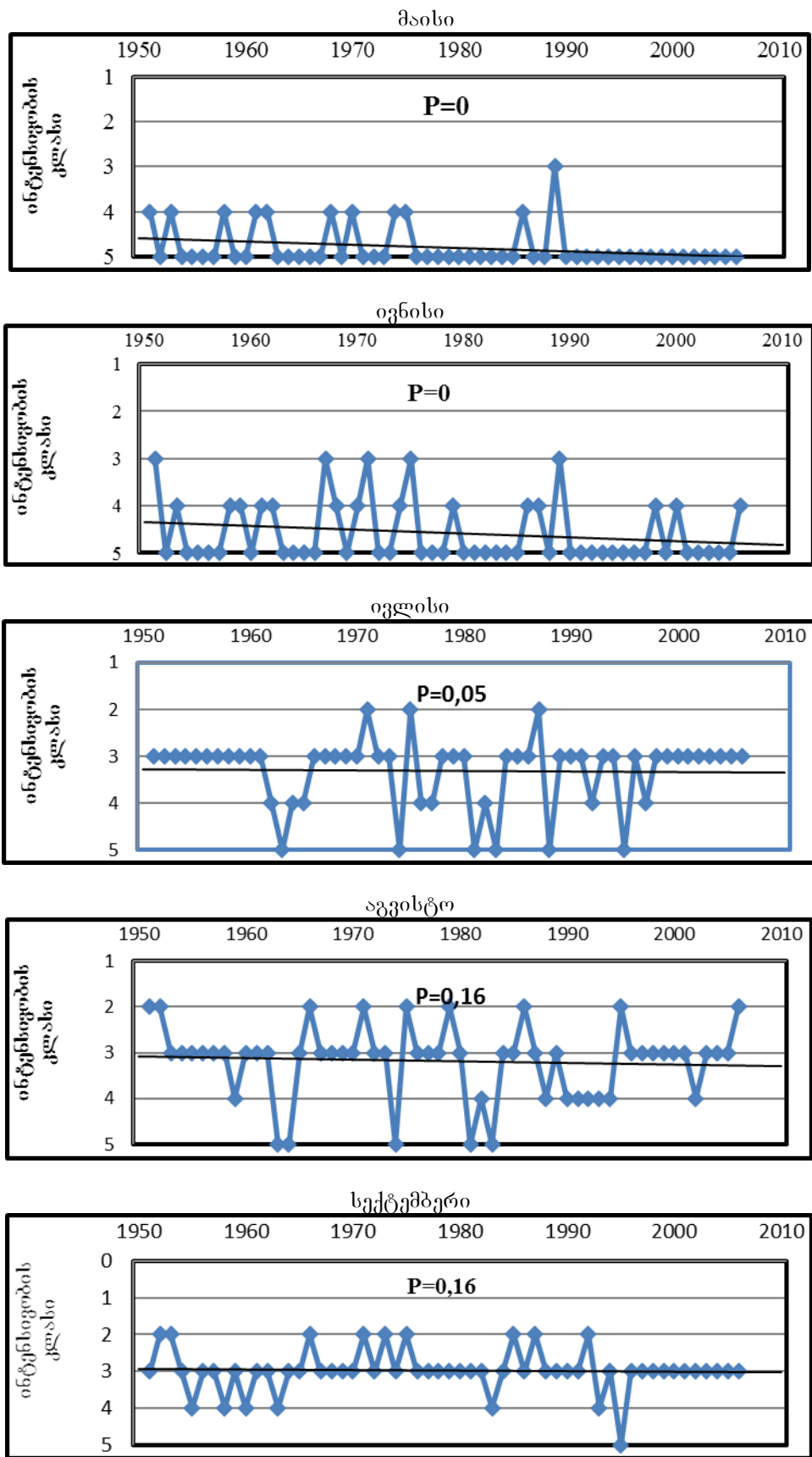




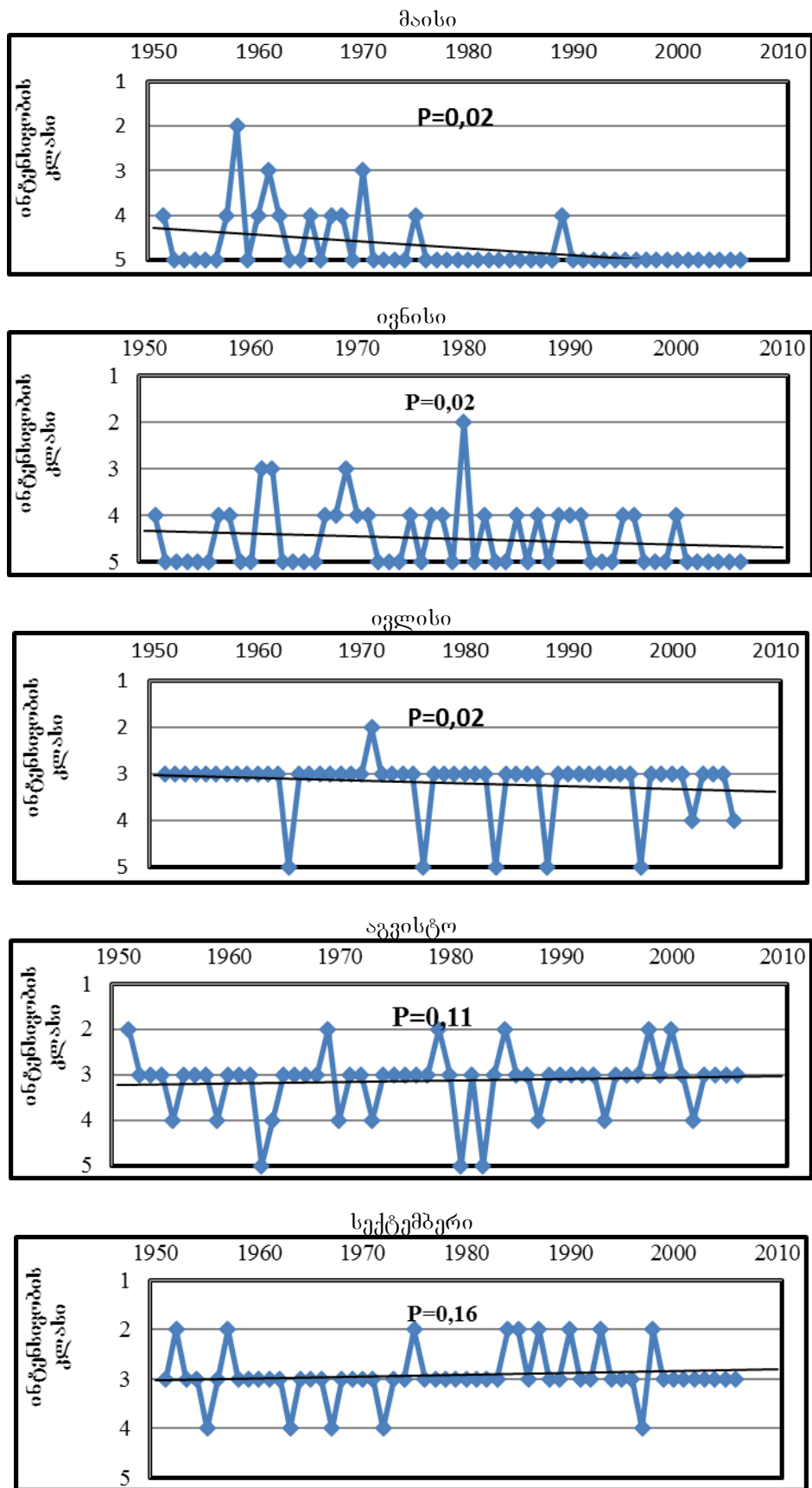
ნახ.2. გვალიანობის დინამიკა მეტეოროლოგიური სადგურის გარდაბანის მონაცემებით



ნახ.3. გვაღვიანობის დინამიკა მეტეოროლოგიური სადგურის საგარეჯოს მონაცემებით



ნახ.4. გვალიანობის დინამიკა მეტეოროლოგიური საღებურის შირაქის მონაცემებით

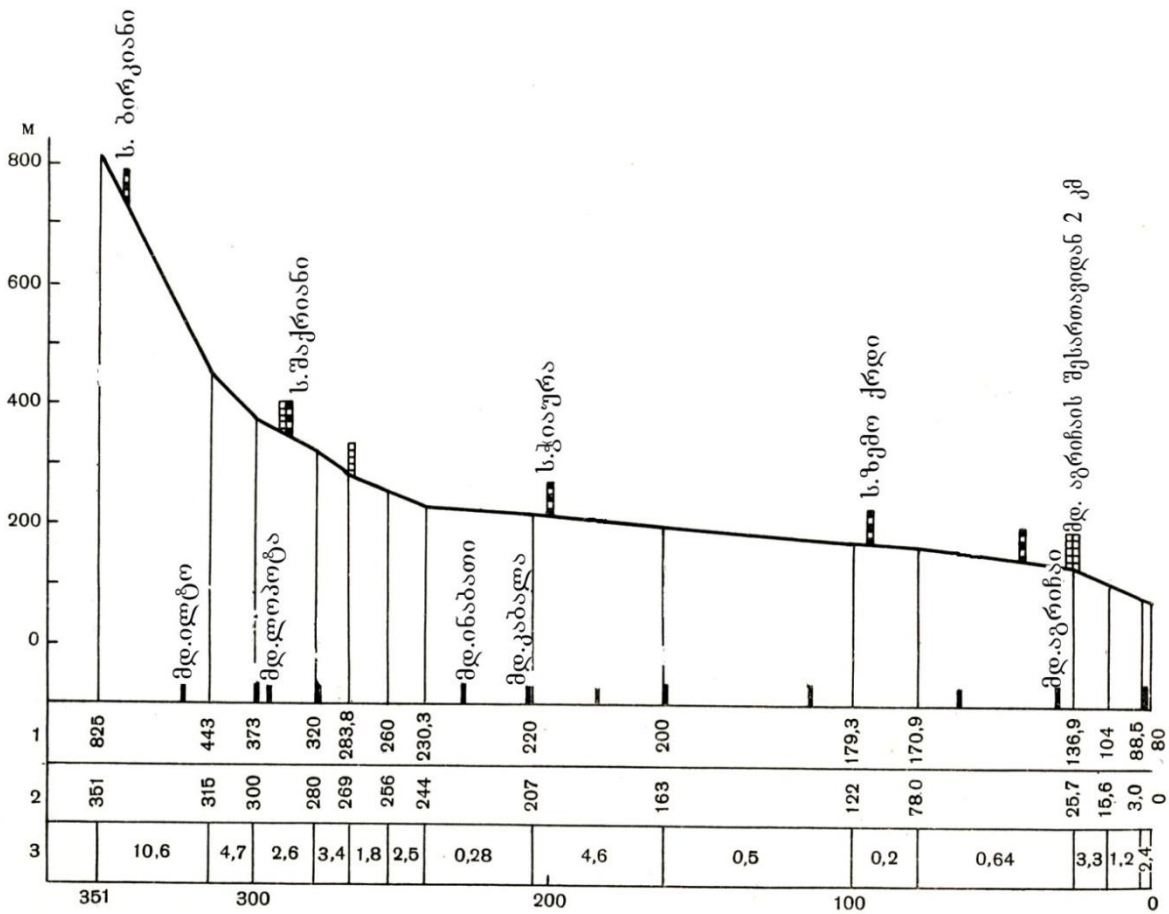


ნახ.5. გვაღვიანობის დინამიკა მეტეოროლოგიური სადგურის დედოფლისწყაროს მონაცემებით

**2. აღმოსავლეთ საქართველოში კლიმატის ცვლილების  
გავლენა ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენზე  
(მდ.ალაზნის მაბალოთზე)**

ნაშრომის მე-2 ნაწილში გლობალური დათბობის გავლენა აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა ჩამონადენზე შესწავლილია მდინარე ალაზნის შემთხვევაში.

მდ.ალაზანი სათავეს იღებს კავკასიონის სამხრეთ ფერდობიდან მთა ბორბალოს ძირის მახლობლად, ზღვის დონიდან 3000 მ სიმაღლეზე (იხ.ნახ. 2.1). ჩაედინება მინგეჩაურის წყალსაცავში. მდინარის სიგრძე 375 კმ-ია, წყალშემკრები აუზის ფართი შეადგენს 11800 (განსახილველ კვეთამდე 11600) კმ<sup>2</sup> (იხ.ცხრ.2.1). მდინარის აუზში ჰიდრომეტეოროლოგიური დაკვირვებები სხვადასხვა დროს ტარდებოდა 5 წყალსაზომ საგუშაგოზე და 6 მეტეოროლოგიურ სადგურზე, რომელთაგან დღეს ფუნქციონირებს 2 ჰიდროლოგიური და 3 მეტეოროლოგიური პუნქტი (იხ.ცხრ.2.2).



68

ხ.2.1. მდ.ალაზნის აუზის გრძივი პროფილი

ცხრილი 2.1 მდ.ალაზნის – საგ.მდ.აგრიჩაის შესართავიდან

2 კმ-ში ძირითადი ჰიდროლოგიური მახასიათებლები [25]

მდინარე და მისი შენაკადი	სად ჩაედინება	აუზის საშუალო სიმაღლე, მ	წყალშემკრები აუზის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	შენაკადების რაოდენობა	მდინარის სიგრძე, კმ	ჰიდროლოგიური ქსელის სისშორე	საშუალო მრავალწლიური ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ
მდ.ალაზნის – საგ.მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში	მინგეჩაურის წყალსაცავი	900	11600	1803	351	0.48	112
ილტო	ალაზანი	1250	337	115	43	0.79	6.50
სტორი	ალაზანი	1610	281	12	38	0.71	9.55
ჩელთა	ალაზანი	1420	144	10	28	0.82	3.74

დურუჯი	ალაზანი	1350	91	3	26	0.72	-
კაბალა	ალაზანი	850	391	100	48	0.87	-

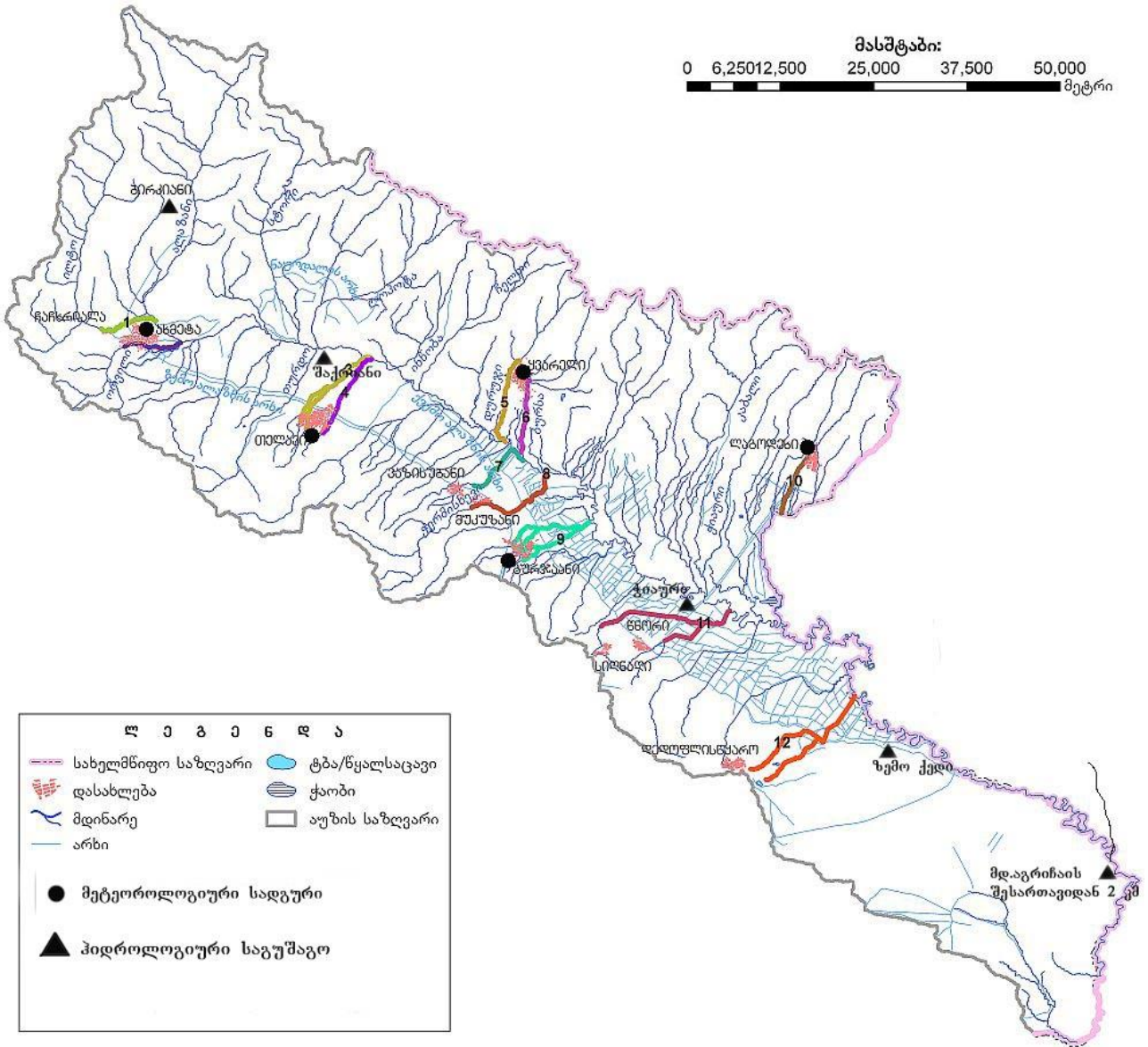
მდ.ალაზანი წყლიანობის რეჟიმი გაზაფხულ-ზაფხულის წყალდიდობით და წვიმის წყალმოვარდნებით ხასიათდება, მდინარის კვება წლის განმავლობაში შერეული საზრდოობისაა (თოვლის და წვიმის წყლებით). წყალდიდობები აქ იწყება მარტის ბოლოს, აპრილის დასაწყისში, მაქსიმუმი დაიკვირვება აპრილ – მაისში და მთავრდება ივლის–აგვისტოს ბოლოს. 1941-1985 წლებში მდ.ალაზნის საშუალო მრავალწლიური ჩამონადენის განაწილება თვეების მიხედვით მოცემულია ჩამკეტი კვეთისათვის, რომელიც განლაგებულია მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ით დაბლა (იხ.ნახ.2.3).

**ცხრილი2.2. მდ.ალაზნის წყალშემკრებზე განლაგებული მეტეოროლოგიური სადგურები**

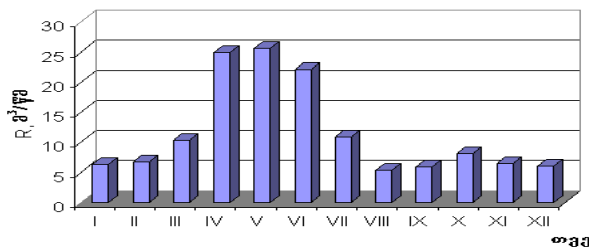
№	მეტეოროლო- გიური სადგური	სიმაღლე ზღვის დონიდან, მ	საშუალო წლიური	
			ჰაერის ტემპერატურა, t°C	ნალექები, P მმ
1	ახმეტა	567	11.6	788
2	თელავი*	568	11.8	770
3	ყვარელი	449	12.5	991
4	გურჯაანი	410	12.4	741
5	ლაგოდეხი*	362	12.6	1004

შენიშვნა \* - მომქმედი პუნქტები

ნახ. 2.2-ზე წარმოდგენილია მდ.ალაზნის აუზის სქემატური რუკა, ხოლო ნახ.2.3-ზე საშუალო მრავალწლიური ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილება.



ნახ.2.2. მდ.ალაზნის აუზის სქემატური რუკა



ნახ.2.3 მდ.ალაზნის – საგ. მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში საშუალო მრავალწლიური ჩამონადენის განაწილება თვეების მიხედვით (1941-1985 წ.წ.)

მდინარის წყალშემკრების მახასიათებლებისა და კალაპოტის თავისებურებათა გათვალისწინებით აუზი შეიძლება დაიყოს სამ მონაკვეთად: სათავე – მდ. ილტოს შესართავამდე; მდ.ილტოს შესართავიდან – მდ.ალაზნის სარწყავი სისტემის სათავე ნაგობობამდე და სათავე ნაგებობიდან - მდ.აგრიჩაის შესართავამდე.

პირველ მონაკვეთში მდინარის ფერდობების ნაწილი დაფარულია ალპური და სუბალპური მდელოებით, რომელსაც ცვლის ტყის ზონა. მას წყალშემკრები აუზის



46% უჭირავს და დაფარულია წიფლნარებით და მუხნარ-რცხილნარებით. მდინარის მეორე და მესამე მონაკვეთის მცენარეული საფარი ბუჩქოვანი და სტეპური ბალახებით ხასიათდება.

მდინარის მთელ სიგრძეზე ფერდობების ქანები აგებულია თიხნარებით.

მდ.ალაზნის წყლის რესურსები ძირითადად გამოიყენება შიდა კახეთის სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსარწყავად (იხ.ცხრ. 2.3)

### ცხრილი 2.3. შიდა კახეთის სარწყავი სისტემები

№	სარწყავი სისტემის და არხის დასახელება	საზრდობის წყარო	სარწყავი ფართი (ჰა)
1	ალაზნის ქვემო სარწყავი სისტემა	მდ.ალაზანი	22000
2	ალაზნის მარცხენა არხი	—”—	—
3	ალაზნის ზემო სარწყავი სისტემა	—”—	—
4	ალაზნის მარჯვენა არხი	ზემო ალაზნის სისტემა	—
5	ჯოყოლა-მატანის არხი	მდ.ალაზანი	—
6	ალვანის არხი	—”—	960
7	წნორ-მილარის მექანიკური სისტემა	—”—	6000
8	ილტოს არხი	მდ.ილტო	—
9	ახმეტის არხი	—”—	—
10	მატანის არხი	—”—	—
11	თურდოს არხი	მდ.თურდო	—
12	ნაურდლის არხი	მდ.სტორი	9910
13	ღაღისყურის არხი	—”—	1060
14	დიდხევის არხი	მდ.დიდხევი	—
15	სანიორეს არხი	—”—	-
16	ვედრების არხი	მდ.ლოპოტა	-
17	დურუჯის არხი	მდ.დურუჯი	—
18	კაბალის არხი	მდ.კაბალი	1000
19	ლაგოდების არხი	მდ.ლაგოდების წყალი	—
20	ჩელთის არხი	მდ.ჩელთა	3000
21	აფენის არხი	მდ.აფენისწყალი	530
22	თელავის, ლაგოდების, ყვარლის წვრილი არხები	წყაროები, ხეხვი და დელეები	—

შრომებში [32,33] ] მდ.ალაზნის აუზში წლიური ჩამონადენის, წყალშემკრებზე მოსული ნალექთა ჯამებისა და ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის დინამიკა 1941–1985 წლებში დადგენილ იქნა 5 მეტეოსადგურის – ახმეტა, თელავი, გურჯაანი, ყვარელი, ლაგოდები – მონაცემების გასაშუალოებით. აგრეთვე, მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში განლაგებული ჰიდროლოგიური საგუშაგოს ჩამკეტ კვეთში გაზომილი წყლის წლიური ხარჯის მნიშვნელობებით. ასევე, ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელების ასაგებად და მოწყვლადობის შესაფასებლად, განხილულ ჩამკეტ კვეთისათვის შესრულდა ჰიდროლოგიურ დაკვირვებათა რიგის დაგრძელება. კერძოდ, 1950–1975 წლებში მდ.ალაზნის ჩამკეტ კვეთში გაზომილი

წყლის წლიური ხარჯის არსებული მნიშვნელობები დაუკავშირდა აუზში მოსულ ნალექთა ჯამებს (კორელაციის კოეფიციენტი  $r=0,73$ ), რამაც საშუალება მოგვცა საკვლევი ტერიტორიის დამახასიათებელი ნალექებით აღგვედგინა 1941–1985 წლების (45 წელი) შესაბამისი ჩამონადენის რიგი.

## 2.1. კვლევის მეთოდოლოგია-ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელების აგება

კლიმატის ცვლილების პირობებში წყლის რესურსების, როგორც ბუნებრივი ეკოსისტემის ერთერთი კომპონენტის, მოწყვლადობის ინდიკატორია ჩამონადენის ცვლილების სიდიდე. სხვადასხვა აუზებისათვის ეს სიდიდე განსხვავდება ერთმანეთისაგან, რადგან ის გამოხატავს წყალშემკრების, როგორც ფიზიკური სისტემის განსხვავებულ რეაქციას მასზე მიმდინარე კლიმატურ ვარიაციებზე. ამრიგად ჩამონადენის მგრძობიარობა განისაზღვრება მისი ცვლილებით, რაც გამოწვეულია აუზის დამახასიათებელი ჰაერის და ნიადაგის ტემპერატურების, ნალექთა რაოდენობის, ატმოსფეროში და ნიადაგში არსებული ტენშემცველობის, რადიაციული ბალანსის და სხვა კლიმატური მახასიათებლების ცვლილებებით. ამიტომ, როგორც ეს ქვემოთ არის ნაჩვენები, ჩამონადენის მგრძობიარობის ინდიკატორია ჩამონადენის ცვლილების სიჩქარე შესაბამისი კლიმატური მახასიათებლის ვარიაციების პირობებში.

ცნობილია, რომ ჩამონადენი წარმოადგენს წყალშემკრებზე კლიმატური ფაქტორებისა და ბუნებრივი ლანდშაფტის ელემენტთა ერთობლივი მოქმედების ინტეგრალურ შედეგს. უცვლელი ლანდშაფტის პირობებში ჩამონადენის მნიშვნელობა მთლიანად განისაზღვრება კლიმატური მახასიათებლებით (ძირითადად ტემპერატურით და ნალექებით). ამიტომ, კლიმატის ცვლილება იწვევს ჩამონადენის ცვლილებას. ნაშრომებში [54,55] მოცემულია კლიმატური პარამეტრების ცვლილებათა მიმართ მდინარეული ჩამონადენის მგრძობიარობის შეფასების მეთოდოლოგია. კერძოდ, თუ წყალშემკრებს განვიხილავთ როგორც ფიზიკურ სისტემას, რომლის ინტეგრალური მახასიათებელი – ჩამონადენი

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.1)$$

რეაგირებს მასში შემავალი  $x_1, x_2, \dots, x_n$  პარამეტრების (ნალექები, ტემპერატურა, რადიაციული ბალანსი, სინოტივე ატმოსფეროში, დრუბლიანობა და სხვ.) ცვლილებაზე, მაშინ მგრძობიარობა ცალკეული პარამეტრის მიმართ შეიძლება რაოდენობრივად დავახასიათოდ კერძო წარმოებულთ

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)_{x_1=x_{10}, \dots, x_n=x_{n_0}}, i=1, 2, \dots, n. \quad (2.2)$$

აქ ნულოვანი ინდექსით აღნიშნულია სისტემის შემავალი პარამეტრების საბაზისო მნიშვნელობები, რომლებიც შეესაბამებიან კლიმატური ცვლილების დასაწყისს. ფიზიკური სისტემის ინტეგრალური მახასიათებლის ცვლილება განისაზღვრება მისი სრული დიფერენციალით

$$dy = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)_0 dx_i. \quad (2.3)$$

ამრიგად, თითოეული  $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)_0$  კერძო წარმოებულის მნიშვნელობა ახასიათებს სისტემის

მგრძობიარობას  $i$ -ური პარამეტრის ცვლილების მიმართ, ხოლო  $dx_i$  მოიცემა კლიმატის ცვლილების კონკრეტული სცენარით. კერძოდ, ეს სცენარი, მაგალითად, შეიძლება ითვალისწინებდეს მოცემულ რეგიონში (რაიონში) დაკვირვებათა მონაცემების ანალიზის შედეგს [7,8,16,30,31,57-59]. ნაშრომში [55] წარმოდგენილი მეთოდით რეალიზებულია ჩამონადენის ფორმირების დ.ტიურკის მოდელის საშუალებით, რომელიც ემყარება წყლის ბალანსის განტოლებას და ფართოდ გამოიყენება ჩამონადენის კვლევებისა და წყლის რესურსების შეფასებისას [56]. შევნიშნავთ, რომ არავითარი შეზღუდვა მოდელის ტიპის მიმართ არ არსებობს. იგი შეიძლება იყოს, როგორც ემპირიულ-სტატისტიკური, ასევე დეტერმინისტური და იძლეოდეს საშუალებას (2.1) ფუნქციონალური კავშირი წარმოდგენი იქნას ცხადი (ანალიზური) სახით.

მეთოდით გამოყენებული შეიძლება იყოს მდინარეების ცალკეული წყალშემკრებისათვის, რაც საშუალებას მოგვცემს არა მარტო რაოდენობრივად შევაფასოდ ჩამონადენის მგრძობიარობა ცალკეული აუზების მიხედვით, არამედ შევადგინოთ მისი ცვლილების პროგნოზი განსაზღვრული კლიმატური სცენარის მიხედვით.

კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებული IPCC-ის განმარტების თანახმად, ასევე ტერმინოლოგიის განმარტებით ლექსიკონში [60], ფიზიკური (მაგალითად, კლიმატური) სისტემის მოწყვლადობა განსაზღვრულია როგორც მისი მგრძობიარობისა და შეგუების უნარის ერთობლივი ფუნქცია. ამასთან დაკავშირებით შევნიშნავთ, რომ ჩამონადენის შემთხვევაში წყალშემკრების, როგორც ბუნებრივი სისტემის, ადაპტაცია გამოიხატება ჩამონადენის ცვლილების სიდიდეში, რომელიც წარმოადგენს რეაქციას კლიმატური პარამეტრების ვარირებაზე. ამიტომ,

ჩამონადენის მგრძობიარობას განსაზღვრავთ კერძო წარმოებულებით  $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)_i$ , ხოლო მის მოწვევადობას - სრული დიფერენციალით  $df$ .

მეორეს მხრივ IPCC-ის მიერ მიღებული განსაზღვრის თანახმად მგრძობიარობა არის კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებული ბუნებრივ ან ანთროპოგენურ სისტემაზე არასასურველი ან სასურველი ზემოქმედების ხარისხი (სიდიდე). შედეგი ამ ზემოქმედებისა შეიძლება იყოს უშუალო, მაგალითად, ჩამონადენის ცვლილება, ასევე შეიძლება იყოს მეორადი, მაგალითად, ზარალი, გამოწვეული წყალმოვარდნების/წყალდიდობების სისშირის ზრდით. ეს განსაზღვრა სრულ თანხმობაშია ზევით მოყვანილ მგრძობიარობის შეფასების მათემატიკურ ფორმულირებასთან: ჩამონადენის მგრძობიარობა რაიმე კლიმატური მახასიათებლის მიმართ განსაზღვრულია როგორც ჩამონადენის ცვლილების სიჩქარე ამ მახასიათებლის ვარირებისას. მოწვევადობა კი განმარტებულია როგორც კლიმატის ცვლილების ნეგატიური შედეგების მიმართ (კლიმატის ცვლილებისა და ექსტრემალური მოვლენების ჩათვლით) ბუნებრივი ან ანთროპოგენური სისტემის მგრძობიარობის ან შეუგუებლობის ხარისხის საზომი. სხვანაირად, მოწვევადობა არის ფიზიკურ სისტემაზე მოქმედი კლიმატის ცვალებადობის ხასიათის, სიდიდისა და სიჩქარის, ამ სისტემის მგრძობიარობისა და ადაპტაციის უნარის ერთობლივი ფუნქცია:

$$V=R-A \quad . \quad (2.4)$$

აქ  $V$  – მოწვევადობა (მგრძობიარობა),  $R$  – კლიმატური რისკებია, ხოლო  $A$  – ადაპტაციის უნარი, ანუ სისტემის თვისება შეეგუოს კლიმატის ცვალებადობას.

(2.4)-ში შემავალი კლიმატური რისკები განსაზღვრულია როგორც

$$R=HV, \quad (2.5)$$

სადაც  $H$  – ექსტრემალური მოვლენის რისკია (ხდომილება), ე.ი. მოვლენის მოხდენის ალბათობა, ხოლო  $V$  – მოწვევადობა. (2.5)-ის ჩასმით (2.4)-ში ვღებულობთ

$$V=HV-A, \quad (2.6)$$

საიდანაც ადაპტაციისათვის მიიღება შემდეგი გამოსახულება

$$A=HV-V=(H-1)V \quad . \quad (2.7)$$

რადგან  $0 \leq H \leq 1$ , ამიტომ  $H-1 < 0$  და  $A < 0$ . გადავწეროთ ადაპტაციის გამოსახულება შემდეგი სახით

$$A=-(1-H)V, \quad (2.8)$$

აქ უკვე  $1-H > 0$  და წარმოადგენს ხდომილების ნიშნადობის დონეს, ე.ი. მოვლენის მოხდენის ნიშნადობას.

## ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელის აგება

(ა) ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელის ასაგებად პირველ და აუცილებელ ეტაპს წარმოადგენს წყალშემკრებზე არსებული მეტეოსადგურების, მეტეოპუნქტების და ჰიდროლოგიური საგუშაგოების დაკვირვებათა მონაცემების შეგროვება, მრავალწლიანი დროითი რიგების გრაფიკული წარმოდგენა ტრენდების (რყევების წრფივი ან არაწრფივი აპროქსიმაცია) გამოყოფით. ასევე, ჩატარდება კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზი (2.1) ტიპის მრავალცვლადიანი რეგრესიული განტოლებების მისაღებად, რომლებიც ჩამონადენს ჩამკეპტ კვეთში დააკავშირებენ წყალშემკრებისათვის დამახასიათებელ კლიმატურ პარამეტრებთან – მაგალითად, ჰაერის ტემპერატურასა და ნალექთა ჯამებთან.

(ბ) როგორც იყო აღნიშნული, მდინარეების ჩამონადენზე კლიმატურ ცვლილებათა გავლენის შეფასებისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება წყალშემკრების ისეთ ჰიდრომეტეოროლოგიურ მახასიათებლებს შორის კავშირის დადგენას, როგორცაა ჰაერის ტემპერატურა ( $t$ ), ნალექები ( $P$ ) და ჩამონადენი ( $R$ ). ცნობილია, რომ ისინი მთიან რეგიონებში იცვლებიან ადგილის სიმაღლის მიხედვით ( $H$ ) და მათ ცვალებადობას ხშირად გამოხატავენ ფორმულებით

$$t = f_1(H), P = f_2(H), R = f_3(H) \quad (2.9)$$

თუ პირველ ფუნქციონალურ კავშირს განვიხილავთ როგორც განტოლებას  $H$ -ის მიმართ და ამოვხსნით მას, მივიღებთ  $H = f_1^{-1}(t)$ , სადაც  $f_1^{-1}$  აღნიშნავს  $f_1$  -ის შებრუნებულ ფუნქციას. ეს გვაძლევს საშუალებას, თანახმად (2.9)-სა,  $P$  და  $R$  წარმოვადგინოთ, როგორც ტემპერატურის ფუნქციები:

$$P = f_2[f_1^{-1}(t)] = \varphi_1(t) \text{ და } R = f_3[f_1^{-1}(t)] = \varphi_2(t) \quad (2.10)$$

ასეთი სახის დამოკიდებულებებს დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვთ, რადგან, როგორც წესი, უფრო მეტი ინფორმაცია გაგვაჩნია სწორედ ტემპერატურაზე.

(გ) თუ ცნობილია (2.10)-ის ტიპის ანალიზური ფუნქციები, მაშინ მათი გამოკლებით შეიძლება მივიღოთ

$$R - P = \varphi_2(t) - \varphi_1(t), \quad (2.11)$$

და განვსაზღვროთ ჩამონადენი როგორც ნალექთა ჯამების და ტემპერატურის ფუნქცია:

$$R = P + \varphi_2(t) - \varphi_1(t) \equiv R(P, t) \quad (2.11)$$

(ა)-ს გათვალისწინებით იგივე დამოკიდებულების მიღება შეიძლება, თუ ცნობილია სტატისტიკური კავშირები ჩამონადენისა ცალ-ცალკე ნალექებთან და ტემპერატურასთან, ე.ი.

$$R=f(P), \tag{2.13}$$

$$R=\varphi(t). \tag{2.14}$$

მაშინ (2.13)-ის და (2.14)-ის შეკრებით ვღებულობთ

$$2R=f(P)+\varphi(t), \tag{2.15}$$

საიდანაც

$$R = \frac{1}{2} [f(P)+\varphi(t)] \equiv R(P,t). \tag{2.16}$$

იგივე (2.16) დამოკიდებულების მიღება შესაძლებელია, ასევე, უშუალოდ მრავალცვლადიანი რეგრესიული კავშირის დადგენით.

### ჩამონადენის წყალბალანსური მოდელების აგება

განვიხილოთ ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელი, რომელიც ემყარება წყლის ბალანსის განტოლებას და ფართოდ გამოიყენება რეგიონალური წყლის ბალანსის და რესურსების დადგენისას[23,61,62]:

$$R=P-E . \tag{2.17}$$

აქ  $R$  – მდინარის ჩამონადენია,  $P$  – წყალშემკრებზე მოსული ნალექების ჯამი,  $E$  – აორთქლება. წყლის ბალანსის ყველა კომპონენტი ამ შემთხვევაში განსაზღვრავს მის საშუალო წლიურ მნიშვნელობას და მოიცემა მმ-ში. თუ აორთქლების სიდიდის განსაზღვრისათვის გამოვიყენებთ ლ.ტიურკის [56] ფორმულას, მაშინ (2.17) განტოლების მარჯვენა მხარე გამოისახება კლიმატის ძირითადი მაფორმირებელი პარამეტრებით (ჰაერის და ნიადაგის ტემპერატურები, ნალექთა ჯამები, წყლის ორთქლის დრეკადობა, რადიაციული ბალანსი და სხვ.). ეს კი საშუალებას იძლევა გამოთვლილ იქნას (2.2) და (2.3) გამოსახულებათა მნიშვნელობები და საბოლოოდ დადგენილ იქნას ჩამონადენის მგრძნობიარობა კლიმატის მახასიათებლების ცვლილებათა მიმართ.

ლ.ტიურკის მოდელის შემთხვევაში წყლის ბალანსის (2.17) განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$R = P \left[ 1 - \frac{L}{\sqrt{cL^2 + P^2}} \right] , \tag{2.18}$$

სადაც  $L = 300 + 25T_1 + 0.05T_1^3$ . აქ  $T_1$  – ჰაერის ტემპერატურაა ( $^{\circ}C$ ), ხოლო  $c$  – მოდელის საკალიბრო მუდმივა. თუ კონკრეტული აუზისათვის გვეცოდინება წყალშემკრებზე მოსული ნალექთა ჯამების დამახასიათებელი  $T_1$  ჰაერის ტემპერატურისა და ჩამკვეტ

კვეთში ჩამონადენის ფენის საშუალო წლიური კლიმატური მნიშვნელობები, მაშინ მოდელის  $c$  საკალიბრო მუდმივა შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებით:

$$c = \frac{P^2(L - P + R)(L + P - R)}{L^2(P - R)^2}. \quad (2.19)$$

ღ.ტიურკის მოდელის შემთხვევაში (2.3) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$dR = (R/P)_0 dR + (R/T_1)_0 dT_1. \quad (2.20)$$

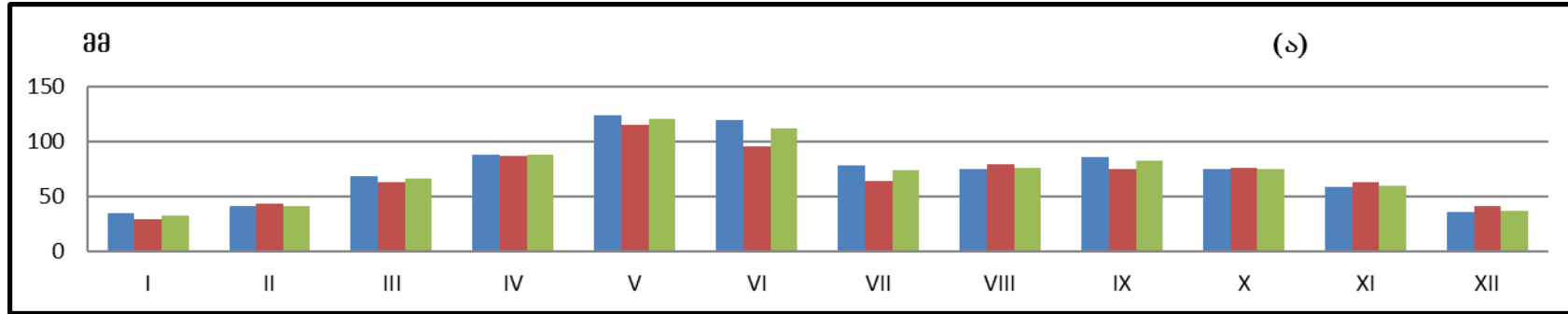
სადაც (2.2) და (2.18)-ის გათვალისწინებით ვღებულობთ:

$$\frac{R}{P} = 1 - \frac{L}{\sqrt{cL^2 + P^2}} + \frac{LP^2}{(cL^2 + P^2)\sqrt{cL^2 + P^2}}, \quad (2.21)$$

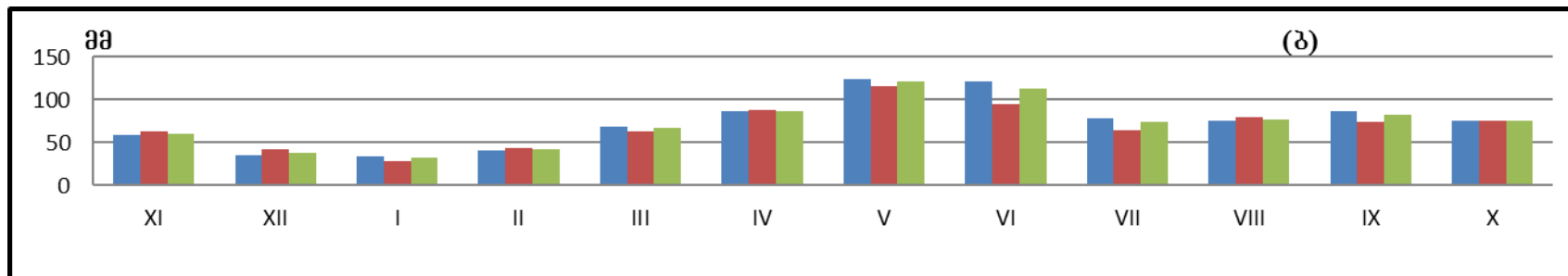
$$\frac{R}{T_1} = - \frac{(cL^2 + P^2)^{1/2} - cL^2(cL^2 + P^2)^{-1/2}}{cL^2 + P^2} P(25 + 0.15T_1^2). \quad (2.22)$$

## 2.2. კვლევის შედეგები – კლიმატის ცვლილების გავლენა ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენზე

მსგავსად ნახ.2.3-ისა, ნახაზებზე 2.4 და 2.5 მოცემულია მდ.ალაზნის წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამების და ჩამონადენის კლიმატური მახასიათებლები თვეების მიხედვით. წარმოდგენილი განაწილებები ახასიათებენ პერიოდებს: 1941-1985, 1986-2006 და 1941-2006 წწ. როგორც ამ ნახაზებიდან ჩანს, 45 წლიანი პერიოდიდან 65- წლიანზე გადასვლა ხასიათდება უმეტეს შემთხვევებში ნალექთა შემცირებით (თვეები I, III, V, VI, VII, IX) ან მცირე ცვლილებით (IV, X). ნალექთა უმნიშვნელო მატება დაიკვირვება II, VIII, XI და XII თვეებში. ჩამონადენის მცირე კლება აღინიშნება XII, I, II, IV, VII, VIII და IX თვეებში. ჩამონადენი ფაქტიურად არ იცვლება X და XI თვეებში, ხოლო მისი მატება დაიკვირვება III, V და VI.



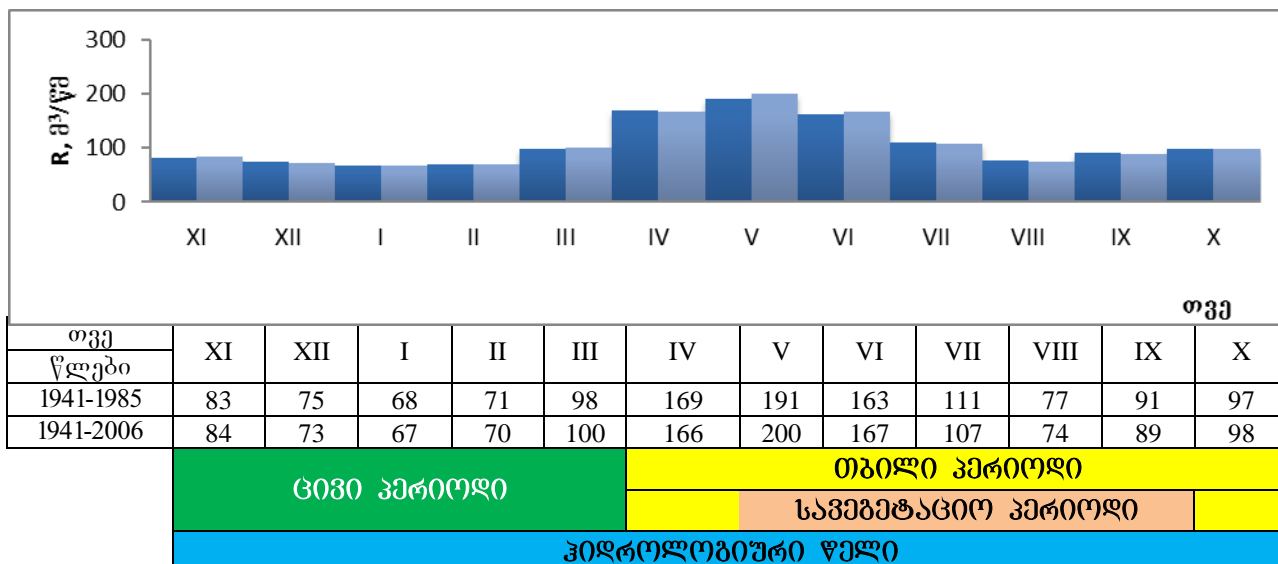
Tve wlebi	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1941-1985	35	41	68	88	123	120	78	75	86	75	59	36
1986-2006	29	44	63	87	116	96	64	80	75	76	63	41
1941-2006	33	42	67	88	121	112	74	76	83	75	60	37



Tve wlebi	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1941-42 1984-85	59	36	34	41	68	87	124	121	78	75	87	75
1985-86 2005-06	63	42	29	44	63	87	116	96	64	80	75	76
1941-42 2005-06	60	38	33	42	67	87	122	113	74	77	83	76

ნახ. 2.4. მდ. ალაზნის წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამების შიდაწლიური განაწილება (ა) – კალენდარული წლის მიხედვით; (ბ) – ჰიდროლოგიური წლის გათვალისწინებით





ნახ. 2.5. მდ.ალაზნის ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილება – საგ.მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში განლაგებული საგუშაგოს მონაცემებით

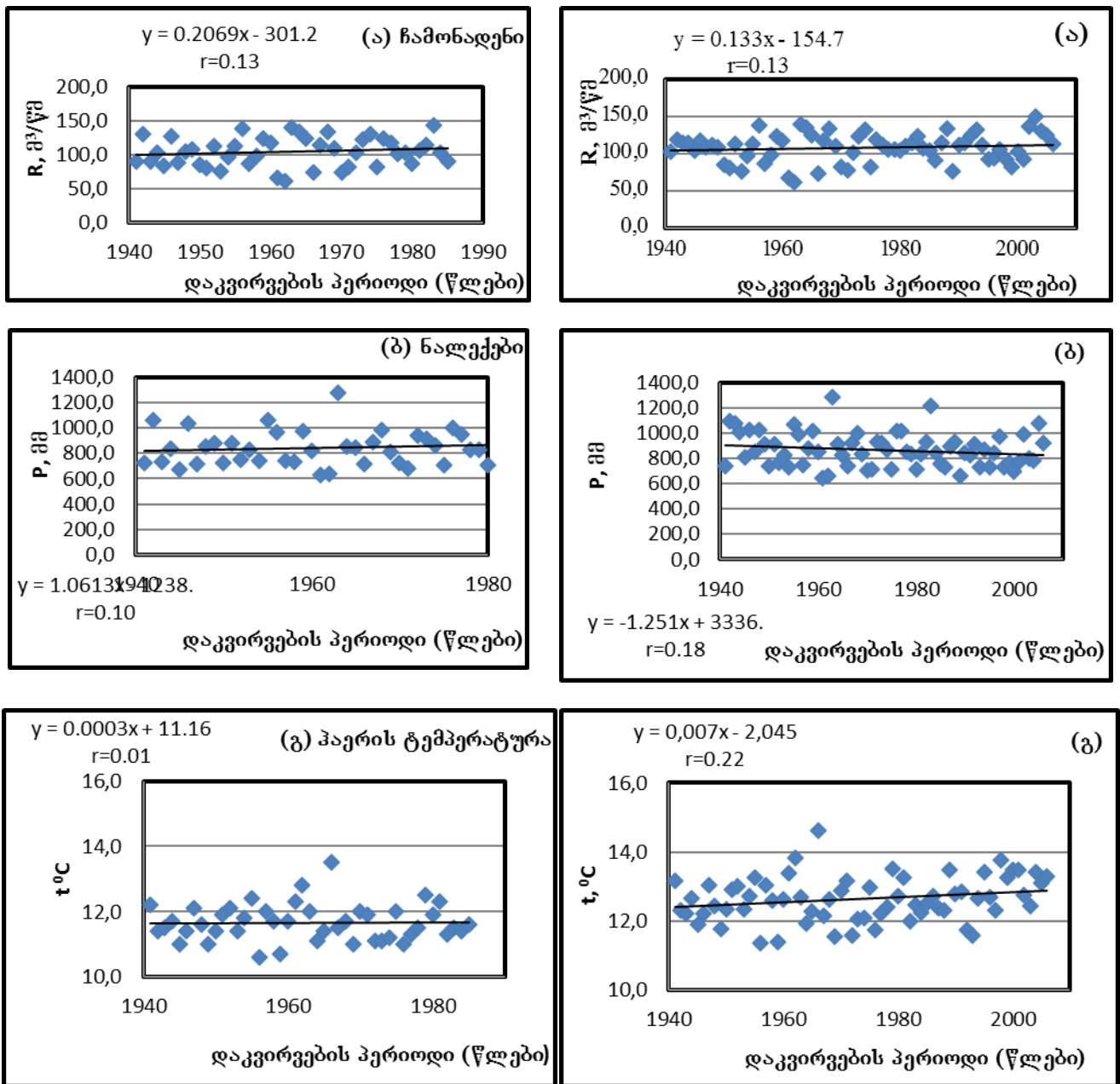
ცხრილ 2.4-ში მოცემულია მდ. ალაზნის ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილება დროით მონაკვეთებში 1941-1985 და 1941-2006 წლებში. პიველ შემთხვევაში ჩამონადენი წარმოდგენილია არალიმიტირებული და ლიმიტირებული პერიოდის მიხედვით, ხოლო მეორეში - არალიმიტირებული მოთხოვნების შესაბამისად ცივ და თბილ სეზონებში, ასევე სავეგეტაციო პერიოდში.

ცხრილი 2.4. მდ.ალაზნის შიდაწლიური განაწილება: ა) ლიმიტირებულ და არალიმიტირებულ პერიოდებში (1941-1985 წწ); ბ) აგრომეტეოროლოგიური სეზონების მიხედვით - ცივ, თბილ და სავეგეტაციო პერიოდებში (1941-2006 წწ).

R წლიური ჩამონადენი მ <sup>3</sup> /წმ												
(ა)	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
	98	169	191	163	111	77	91	97	83	75	68	71
	არალიმიტირებული პერიოდი					ლიმიტირებული პერიოდი (წყალმცირობა)						
						არალიმიტირებული სეზონი				ლიმიტირებული სეზონი		
	გაზაფხული-ზაფხული					ზაფხული-შემოდგომა				ზამთარი		
(ბ)	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
	R წლიური ჩამონადენი მ <sup>3</sup> /წმ											
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
	84	73	67	70	100	166	200	167	107	74	89	98
	1941-1985 წწ.											
							თბილი პერიოდი					
							სავეგეტაციო პერიოდი					

გადავიდეთ უფრო დეტალურ ანალიზზე და შევისწავლოთ წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამების, მიწისპირა ჰაერის ტემპერატურისა და ჩამონადენის შიდაწლიურ განაწილებათა დინამიკა.

უპირველეს ყოვლისა განვიხილოთ წლიური მახასიათებლების დინამიკა და მათ შორის არსებული კავშირები 1941-1995 (45-წლიანი პერიოდი) და 1941-2006 (65-წლიანი პერიოდი) დროით ინტერვალებში. როგორც ვხედავთ, პირველი პერიოდი (იხ. ნახ. 2.6) გლობალური დათბობის დაწყებამდე ხასიათდებოდა წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამებისა და ჩამონადენის მცირე ზრდით (ნორმის 5-10%) უცვლელი ტემპერატურის პირობებში, მეორე პერიოდში სურათი შესამჩნევად შეცვლილია.



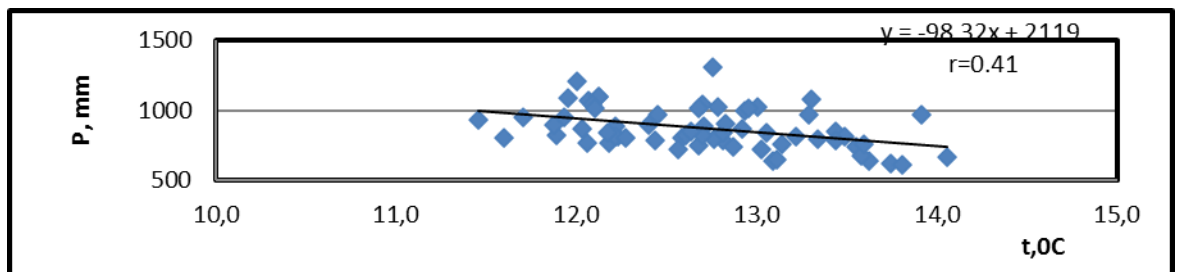
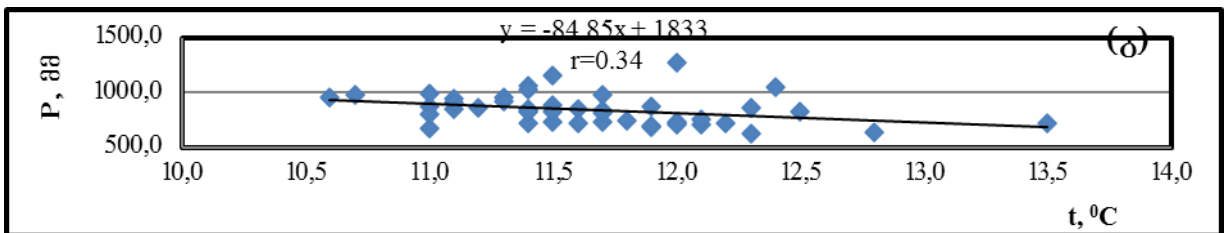
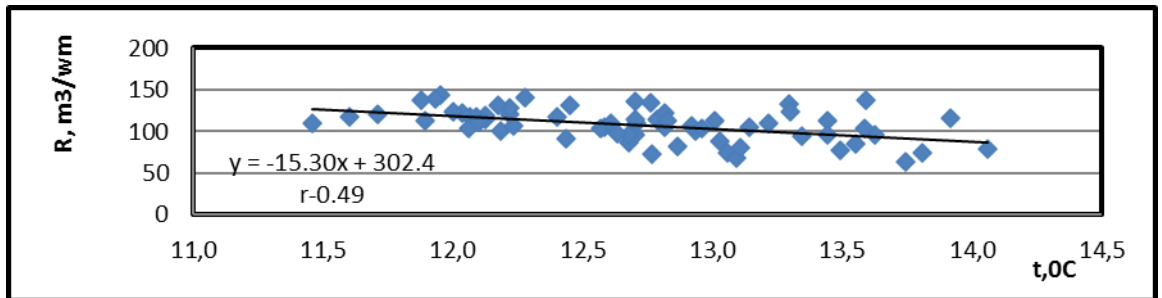
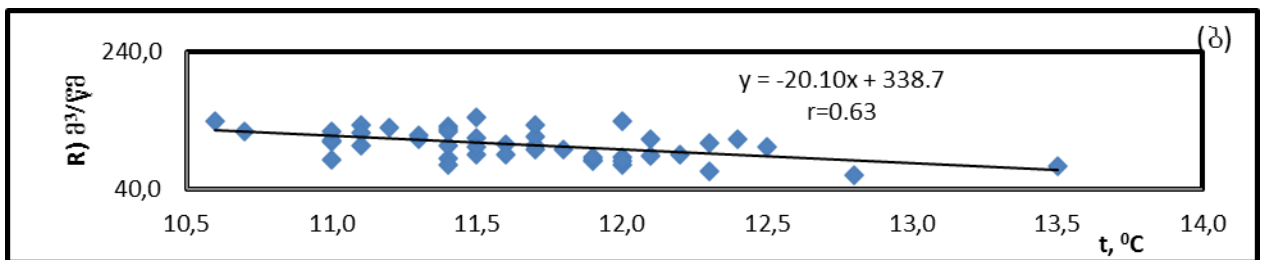
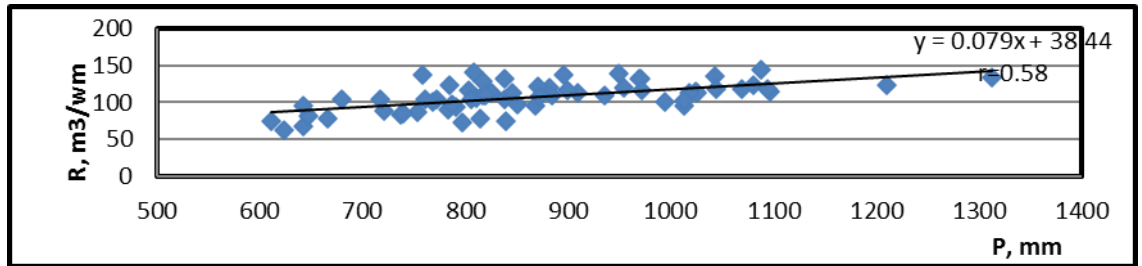
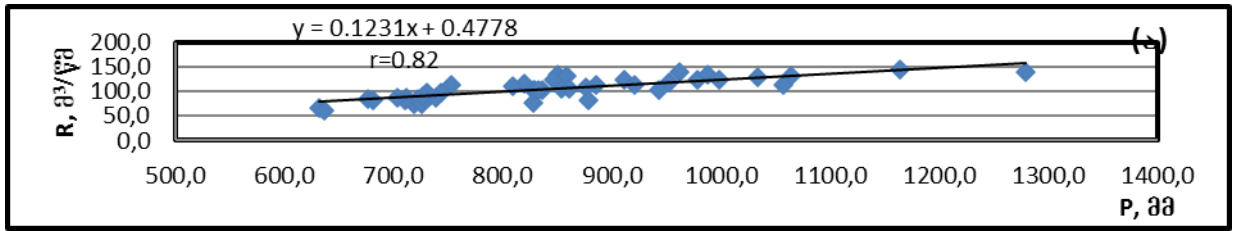
ნახ.2.6. მდ.ალაზნის აუზში 1941-1985 და 1941-2006 წლების პერიოდებში წლიური მახასიათებლების: (ა) ჩამონადენის (R მ³/წმ), (ბ) ნალექების წლიური ჯამების (P, მმ), (გ) ჰაერის ტემპერატურის (t °C) დინამიკა და შესაბამისი წრფივი ტრენდები

გლობალური დათბობის პირობებში შენარჩუნებულია ჩამონადენის ზრდა (ნორმის 8%), აღინიშნება ნალექთა ჯამების შემცირება დაახლოებით 10%-ით, ხოლო ჰაერის ტემპერატურა შესამჩნევად მომატებულია 0.9°C-ით 65 - წლიანი პერიოდის შესაბამისად (1941-2006 წწ). რითი შეიძლება ავხსნათ ნალექების შემცირებისა და ჩამონადენის ზრდის შეუსაბამობა. რადგან წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამებისა და ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელობების განსაზღვრა ხდება 5 მეტეოსადგურის მონაცემების გასაშუალოებით, მეტად მცირეა ალბათობა მათი და საშუალოს არარეპრეზენტატულობისა. შეუსაბამობის მიზეზი შეიძლება იყოს ჩამონადენზე დაკვირვებების მონაცემები. გასული საუკუნის 90-იანი წლების დასაწყისიდან შეწყდა დაკვირვებები ჩამონადენზე. ამიტომ, ამ წლების მონაცემები აღებული იქნა აზერბაიჯანელი კოლეგებისგან, რომლებიც ირწმუნებიან, რომ მათ ტერიტორიაზე განლაგებულ საგუშაგოზე ასეთი დაკვირვებები არ შეწყვეტილა. შემდგომ, მიმდინარე საუკუნის 2000-2006 წლებში გაზომვები ქართულ საგუშაგოზე კვლავ განახლდა, მაგრამ იზომებოდა მხოლოდ წყლის დონეები. არ არის გამორიცხული, რომ მათი გადაყვანა წყლის ხარჯებში ხდებოდა გარკვეული ხარვეზებით, რადგან საგუშაგოს ადგილზე კალაპოტის კვეთი განისაზღვრებოდა მიახლოებით ძველი მონაცემების მიხედვით. ამრიგად, აღნიშნული შეუსაბამობა დაკავშირებული შეიძლება იყოს ჩამონადენზე ინფორმაციის არასრულყოფით. ამ ხარვეზის გამოსასწორებლად 1986-2006 წლებში ჩამონადენის მნიშვნელობები შეიძლება აღდგენილ იქნას წინა პერიოდის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელის დახმარებით. არსებულ დაკვირვებათა მონაცემების თანაფარდობა საშუალო წლიურსა და ცალკეულ თვეებს შორის შეიძლება გამოყენებულ იქნას შიდაწლიურ განაწილებათა აღსადგენად, გამომდინარე წლების მიხედვით გამოთვლილ ჩამონადენის საშუალოწლიური მნიშვნელობებიდან. შესაძლებელია, ასევე, ასეთი ტიპის მოდელების აგება თითოეული თვისათვის. ეს საშუალებას მოგვცემს გამოვითვალოთ ჩამონადენის მნიშვნელობები თვეების მიხედვით და შემდგომ მათი შეკრებით მივიღოთ წლიური მნიშვნელობა. ამ შემთხვევაში წლიური ჩამონადენის მოდელი შეიძლება გამოვიყენოთ შიდაწლიური განაწილების დადგენის კონტროლისათვის. მეორე მოსაზრება ნალექების შემცირებისა და ჩამონადენის მატების შეუსაბამობის ასახსნელად შეიძლება დაუუკავშიროდ მდინარის მიწისქვეშა საზრდოობას.

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში შესრულებულმა გამოკვლევებმა [32,63] აჩვენეს, რომ მდ.ალაზნის მიწისქვეშა საზრდოობა იცვლება ადგილის სიმაღლის ზრდასთან ერთად. კერძოდ, ალაზანი-ზემოქედის კვეთში (900 მზდ) მიწისქვეშა

საზრდობის კოეფიციენტი შეადგენს 53%-ს, ალაზანი-ჭიაურაში (980 მზდ)-49%-ს, ხოლო ალაზანი-შაქრიანი (1260 მზდ) ხასიათდება მიწისქვეშა საზრდობით, რომელიც ტოლია 46%-ის. ვახუშტი ბაგრატიონის სახ.გეოგრაფიის ინსტიტუტის თანამშრომლების კვლევის თანახმად (ლ.ვლადიმეროვი, გიგინეიშვილი და სხვ. [61,62]) მდ. ალაზნის-აგრიხაის შესართავთან კოეფიციენტი ტოლია  $K=Q/R=53\%$ , რაც ფაქტიურად ემთხვევა ზემოთ მოყვანილ შეფასებას. ამრიგად, სრულიად მისაღებია, რომ ჩამონადენის დაფიქსირებული ზრდა მდ.ალაზანი-აგრიხაის შესართავიდან 2 კმ-ზე ქვევით შეიძლება განპირობებული იყოს მიწისქვეშა საზრდობით, რომლის სიდიდე აქ აღემატება 50%-ს. მხედველობაში მისაღებია ის გარემოება, რომ მდინარის ეს მონაკვეთი ძალიან ახლოსაა მინგეჩაურის წყალსაცავთან, რომელიც იმყოფება ზღვის დონიდან 70მ სიმაღლეზე. მისი სიგრძეა 70კმ, სიგანე-18კმ, ზედაპირის ფართობი ტოლია 605კმ<sup>2</sup>, მოცულობა შეადგენს 16კმ<sup>3</sup>. მაქსიმალური სიღრმეა 75მ, ხოლო საშუალო სიღრმე-27მ. წყლის დონე წყალსაცავში მერყეობს 15მ-ის ფარგლებში. 50-იანი წლების ბოლოს შექმნილმა ამიერკავკასიაში ყველაზე დიდმა წყალსაცავმა უდიდესი გავლენა იქონია მის გარშემო არსებულ გეოლოგიურ სტრუქტურებზე და კარდინალურად შეცვალა ამ რაიონში გრუნტის წყლების რეჟიმი. მდ. ალაზანი წყალსაცავთან შეერთებამდე მიედინება ვაკე დაბლობში, რომლის სიმაღლე ზღვის დონიდან 100-200მ-ია. დაბლობის მაქსიმალური სიგანე 100-120მ-ია, ხოლო მინიმალური 20-30მ. მდინარის ფსკერი შედგება ქვიშა-თიხნარის ფენებისაგან, რომელთა სიმძლავრე ალაგ-ალაგ 7-10მ-ს შეადგენს. ჰიდროლოგიური საგუშაგო მდ.აგრიხაის ქვემოთ 2კმ-ზე განლაგებულია დაახლოებით 100-110 მზდ, ხოლო ის ადგილი, სადაც მდინარე უერთდება წყალსაცავს 90-100მ-ზეა ზღვის დონიდან. ამრიგად, სიმაღლეთა სხვაობა ამ მონაკვეთზე შეადგენს მინიმუმ 10-20მ, მაქსიმუმ 30-40მ. კალაპოტის გასწვრივ მანძილი წყალსაცავიდან საგუშაგომდე 50კმ-ის რიგისაა. ამის ყველაფრის მხედველობაში მიღების შემდეგ შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მდ.ალაზნის ქვედა დინებაში მძლავრი გავლენა უნდა ჰქონდეს მინგეჩაურის წყალსაცავის მხრიდან მიწისქვეშა საზრდობას. ყოველ შემთხვევაში ამ მიმართულებით საჭიროა დამატებითი კვლევების ჩატარება.

შედარებით მაღალი კორელაციური კავშირებით ხასიათდება მდ.ალაზნის წლიური ჩამონადენის დამოკიდებულება წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამებზე ( $r=0.82$  და  $0.58$ ) და ჰაერის ტემპერატურაზე ( $r=0.53$  და  $-0.49$ ), ასევე ნალექების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე ( $r=0.34$  და  $0.41$ ). ამ კავშირების ამსახველი გრაფიკები, შესაბამისი რეგრესიის განტოლებები და კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები განხილულ ორ დროით ინტერვალში წარმოდგენილია ნახ.2.7-ზე.



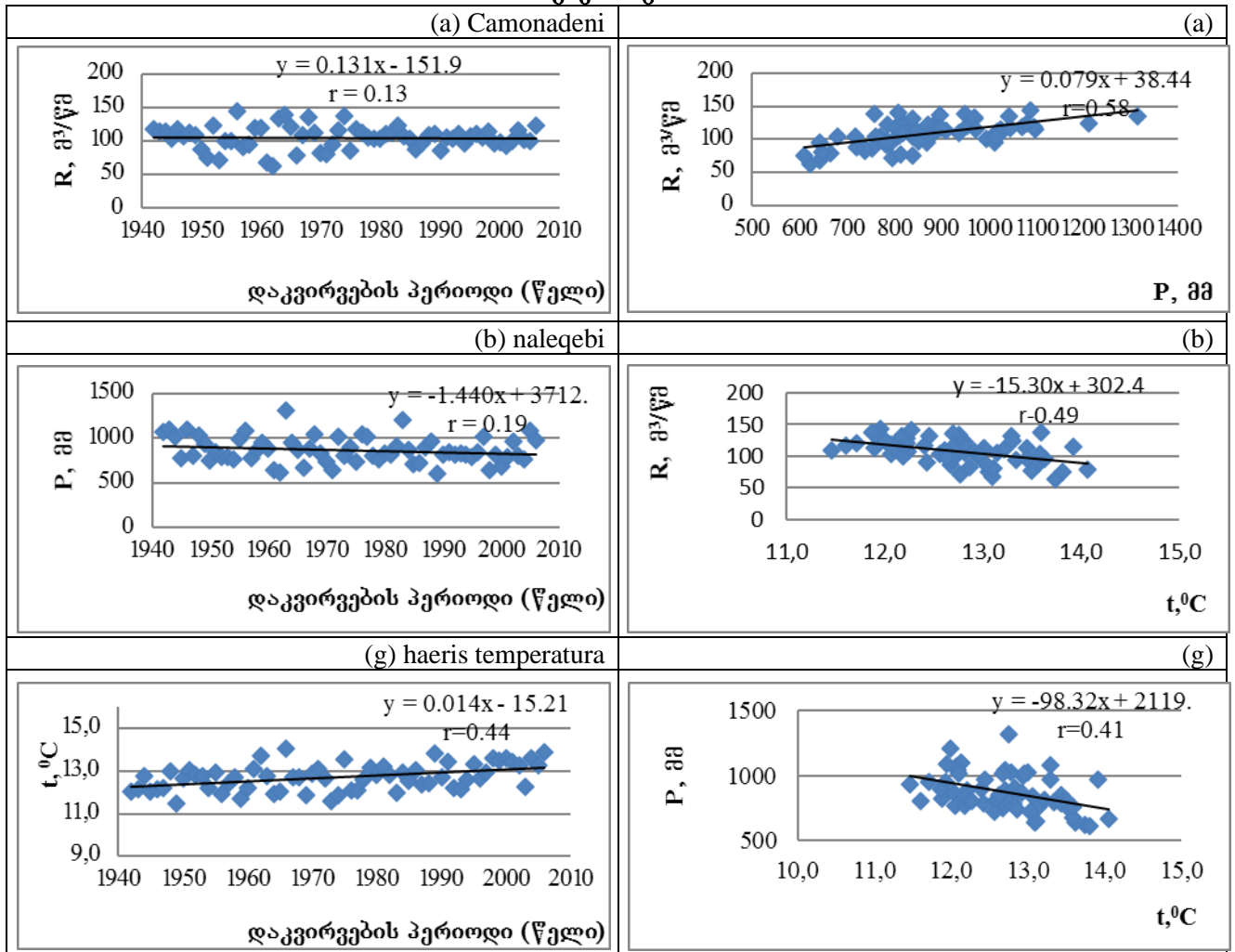
ნახ.2.7. (ა) კავშირი მდ.ალაზნის (საგუშავო მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში) წლიურ ჩამონადენსა და წყალშემკრებზე მოსულ წლიურ ნალექთა ჯამებს შორის; ჩამონადენსა და აუზში ჰაერის საშუალო წლიურ ტემპერატურას შორის; (ბ) ნალექებსა და ჰაერის ტემპერატურას შორის 1941-1985 და 1941-2006 წლების პერიოდებში (ბ)

როგორც ვხედავთ, აღნიშნულ პერიოდში შენარჩუნებულია ამ დამოკიდებულებათა ხასიათი. კერძოდ, ტემპერატურის ზრდას წყალშემკრებზე შეესაბამება ნალექთა ჯამებისა და ჩამონადენის შემცირება, თანაც შემცირების სიჩქარე ორივე შემთხვევაში ნაკლებია 1941-2006 წლებში, 1941-1985 პერიოდთან შედარებით. ორივე პერიოდის ჩამონადენის ნალექთა ჯამებზე დამოკიდებულების ხასიათი ასევე შენარჩუნებულია – უფრო დიდ ნალექთა ჯამებს შეესაბამება მომატებული ჩამონადენი. ფიზიკურად ეს ყველაფერი გასაგებია: წყალშემკრებზე ტემპერატურის ზრდა იწვევს აორთქლებისა და ევაპოტრანსპირაციის ინტენსიურობის მატებას. ამ დროს სულ უფრო დიდი რაოდენობით წყლის ორთქლი გადადის ატმოსფეროში. მაგრამ, ადგილობრივი რელიეფით გამოწვეული ჰაერის დინებები და მიკროციკულაციები არ უწყობენ ხელს წყლის ორთქლის დაგროვებას მდინარის აუზში. პირიქით, ფონური გადატანით ეს ორთქლის ნამატი გადის აუზიდან. ამიტომ, ადგილობრივი ნაკადების დინამიკა არ იწვევს ღრუბლების ფორმირებისა და ნალექწარმოქმნის პროცესების ინტენსიფიცირებას. ამასთან გლობალური დათბობით გამოწვეული ტემპერატურის მატება წყალშემკრებზე ამუხრუჭებს ამ პროცესებს და იწვევს ნალექთა ჯამებისა და ჩამონადენის შემცირებას სიჩქარეთა ნაკლებობის ფონზე მეორე პერიოდში, პირველთან შედარებით. აღვნიშნოთ, რომ პროცესების ასეთი ურთიერთდამოკიდებულება შეიძლება არ ახასიათებდეს სხვა მდინარეთა აუზებს. ზოგიერთ წყალშემკრებზე ტემპერატურის მატება არ იწვევს ნალექთა შემცირებას და, როგორც ამის შედეგი ჩამონადენის კლებას. ეს ეხება, მაგალითად, მყინვარულ მდინარეებს, რომლებისთვისაც ნალექთა ჯამების შემცირება კომპენსირდება მყინვარული საზრდოობის ზრდით ტემპერატურის მატების პირობებში. ასევე, როგორც აღნიშნული იყო, ზოგიერთი აუზისათვის მნიშვნელოვანია მიწისქვეშა საზრდოობის წვლილი ჩამონადენის ფორმირებაში, რომელმაც შეიძლება მძლავრად შეასუსტოს ნალექთა ჯამების შემცირების გავლენა ჩამონადენზე.

კვლევის შედეგების შემდგომი ანალიზი ეხება ჩამონადენის, ნალექთა ჯამებისა და ტემპერატურის დინამიკას, მათი შიდაწლიური განაწილების თავისებურებებს გლობალური დათბობის პირობებში, რადგან მიღებულია 1941-2006 წლების ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე.

ნახაზებზე 2.8-2.12 და შესაბამის ცხრილებში 2.5-2.9 მოცემულია მახასიათებლების დინამიკა და მათ შორის არსებული კავშირები, ასევე ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელების გამოცდის შედეგები წლიური, ცივი და თბილი პერიოდებისათვის, სავეგეტაციო სეზონისა და ყველაზე ცხელი თვის-ივლისისათვის.

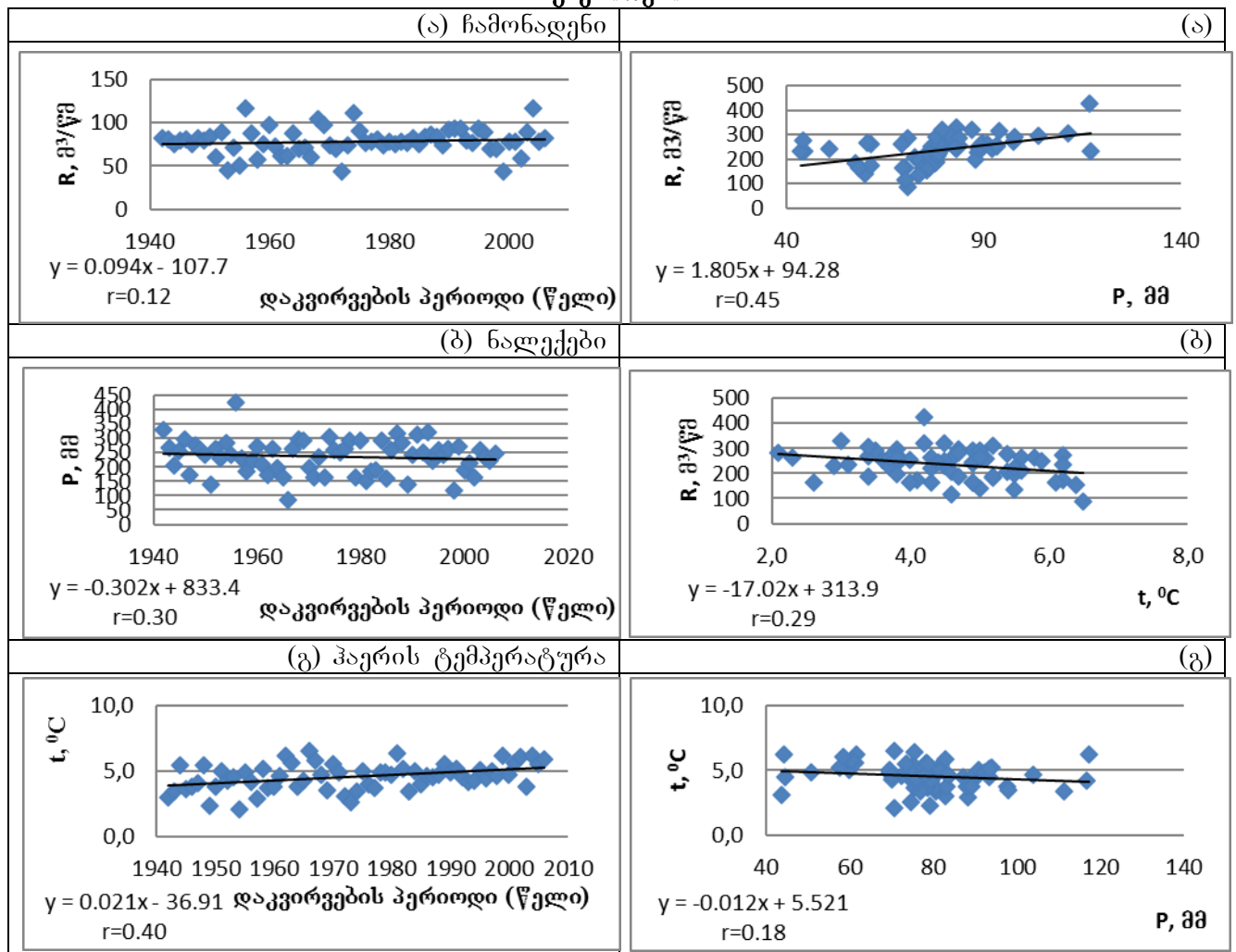
ნახ.2.8. მდ.ალაზნის წლიური მახასიათებლების დინამიკა და მათ შორის არსებული კავშირები



ცხრილი 2.5. მდ. ალაზნის წლიური ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი

პარამეტრები			სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით მიღებული მოდელი					
			$R = 0.0638P - 9.6266t + 174.9416$ $r = 0.89; \sigma_R = 19.21; S_R = 8.89$					
მდ.ალაზნის ჩამონადენი – საგ.მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში.								
n	დაკვირვების წლები		მდ.ალაზნის აუზში			ჩამონადენის გამომთვლილი მნიშვნელობა, R, მმ/წმ	აბსოლუტური ცდომილება  [ΔR], მმ/წმ	ფარდობითი ცდომილება, [ΔR]/R
			ჩამონადენი, R, მმ/წმ	საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა $t, ^\circ\text{C}$			
1	1941	1942	118.00	1070.00	12.1	126.73	8.726	0.074
2	1942	1943	115.00	1097.00	12.1	128.45	13.448	0.117
3	1943	1944	114.00	1025.00	12.8	117.12	3.116	0.027
....	....	....	....	....	....	....	....	....
64	2004	2005	123.00	1080.00	13.3	115.81	7.188	0.058
65	2005	2006	116.00	972.00	13.9	103.15	12.855	0.111
საშუალო							11.30	0.11
მინიმუმი							0.02	0.00
მაქსიმუმი							45.56	0.42

ნახ.2.9. მდ.ალაზნის ცივი პერიოდის მახასიათებლების დინამიკა და მათ შორის არსებული კავშირები

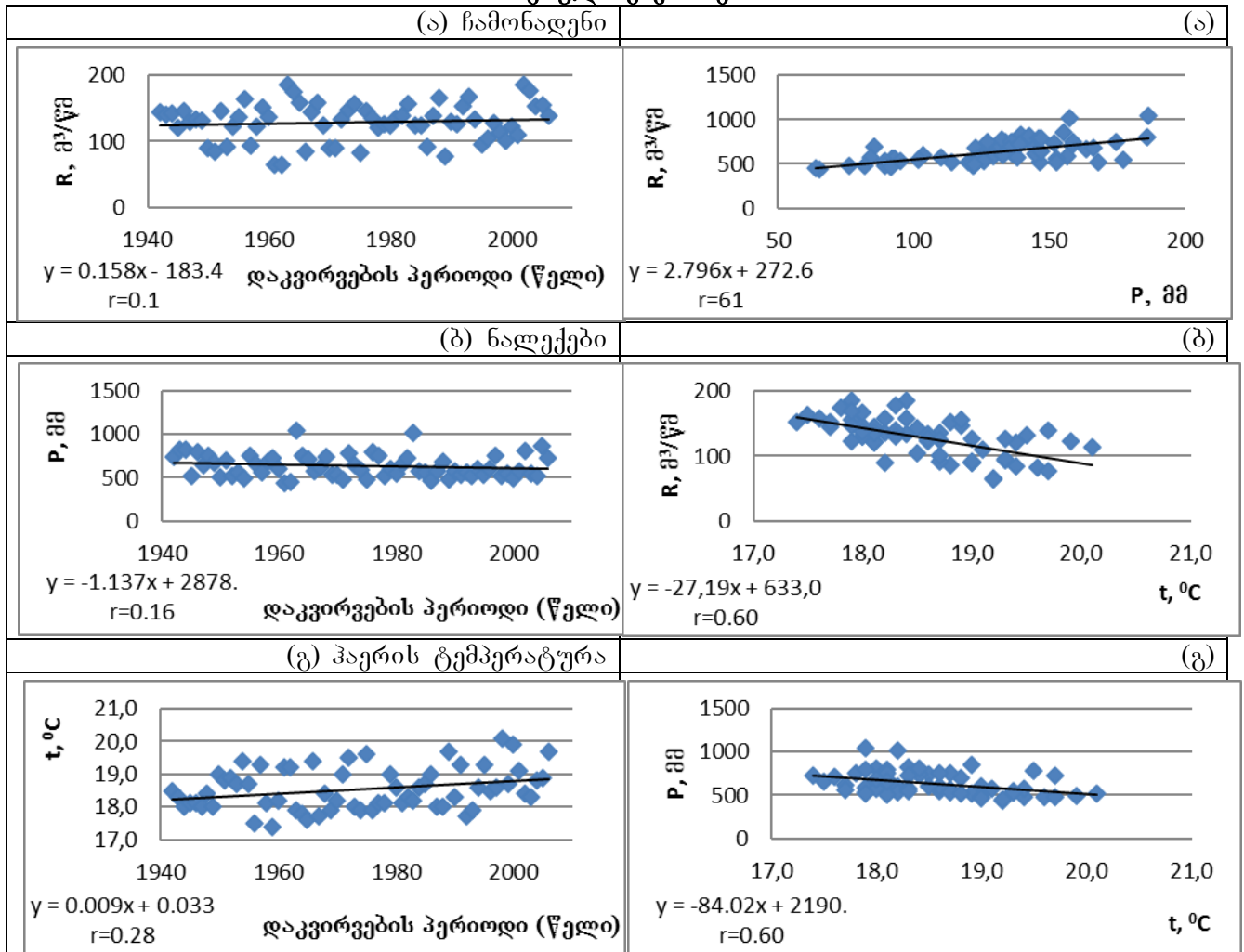


ცხრილი 2.6. მდ. ალაზნის ცივი პერიოდის ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი

პარამეტრები			სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით მიღებული მოდელი					
			$R = 0.1104P - 0.8366t + 53.13$ $r = 0.51; \sigma_R = 14.85; S_R = 12.76$					
მდ.ალაზნის ჩამონადენი – საგმდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში.								
n	დაკვირვების წლები		მდ.ალაზნის აუზში			ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა, R, მპ/წმ	აბსოლუტური ცდომილება  ΔR , მპ/წმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R
			ჩამონადენი, R, მპ/წმ	საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t, °C			
1	1941	1942	83.00	329.00	3.0	86.94	3.942	0.047
2	1942	1943	81.00	267.00	3.4	79.76	1.238	0.015
3	1943	1944	75.00	208.00	5.4	71.58	3.424	0.046
....	....	....	....	....	....	....	....	....
64	2004	2005	79.00	222.00	5.5	73.04	5.963	0.075
65	2005	2006	83.00	248.00	5.9	75.57	7.427	0.089
საშუალო							9.50	1.29
მინიმუმი							34.19	75.39
მაქსიმუმი							0.18	0.00



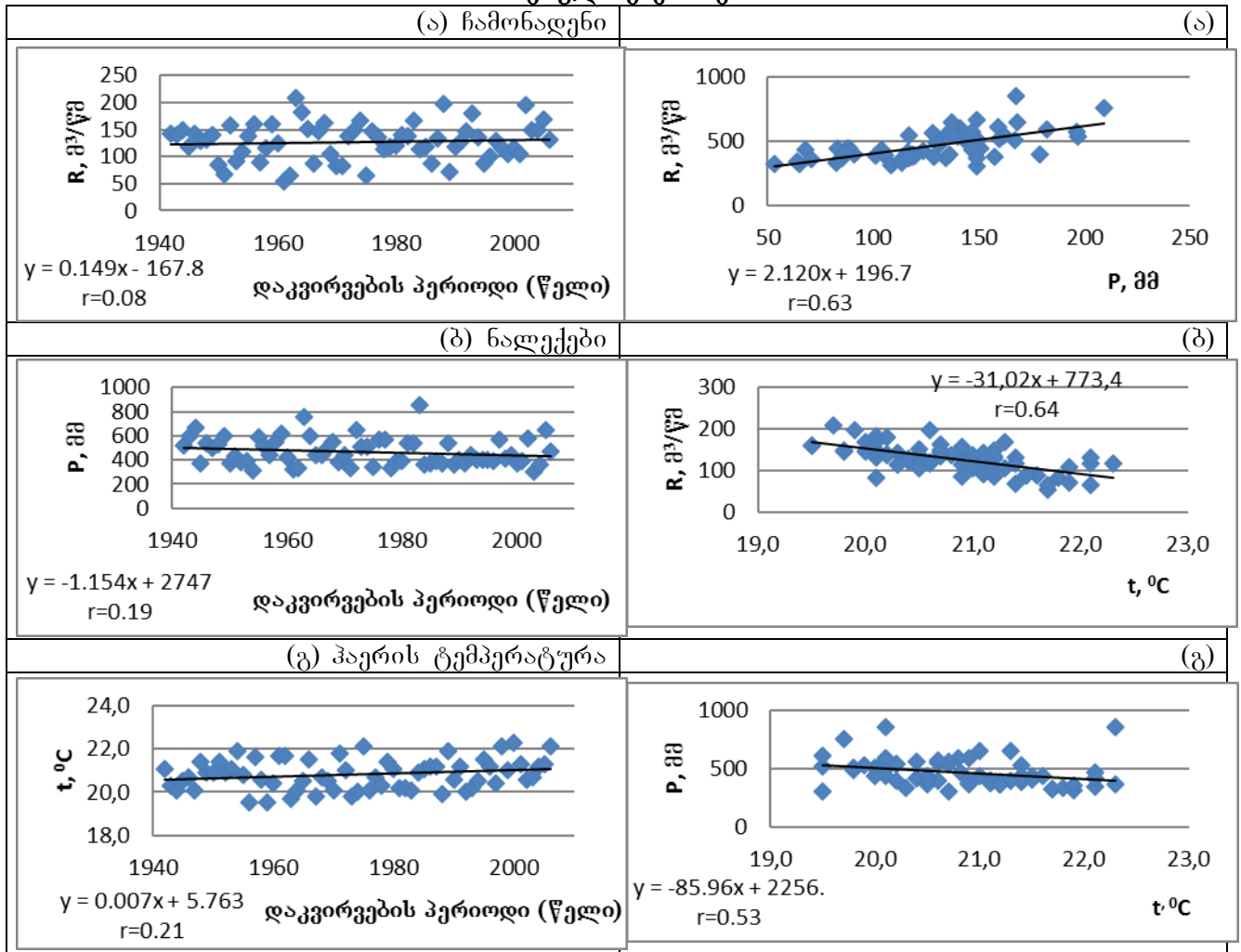
ნახ.2.10. მდ.ალაზნის თბილი პერიოდის მახასიათებლების დინამიკა და მათ შორის არსებული კავშირები



ცხრილი 2.7. მდ. ალაზნის თბილი პერიოდის ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი

პარამეტრები			სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით მიღებული მოდელი					
			$R=0.0948P-20.3206t+445.6126$ $r=0.98; \sigma_R=28.67; S_R=4.94$					
მდ.ალაზნის ჩამონადენი – საგ.მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში.								
n	დაკვირვების წლები		მდ.ალაზნის აუზში			ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა, R, მ <sup>3</sup> /წმ	აბსოლუტური ცდომილება  $\Delta R$  , მ <sup>3</sup> /წმ	ფარდობითი ცდომილება, $ \Delta R /R$
			ჩამონადენი, R, მ <sup>3</sup> /წმ	საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t, °C			
1	1941	1942	143.43	740.40	18.5	139.87	3.563	0.025
2	1942	1943	139.63	830.20	18.3	152.45	12.821	0.092
3	1943	1944	142.34	817.00	18.0	157.29	14.952	0.105
....	....	....	....	....	....	....	....	....
64	2004	2005	155.39	858.68	18.9	142.96	12.429	0.080
65	2005	2006	139.07	724.75	19.7	114.00	25.071	0.180
საშუალო							15.67	0.13
მინიმუმი							0.12	0.00
მაქსიმუმი							51.38	0.53

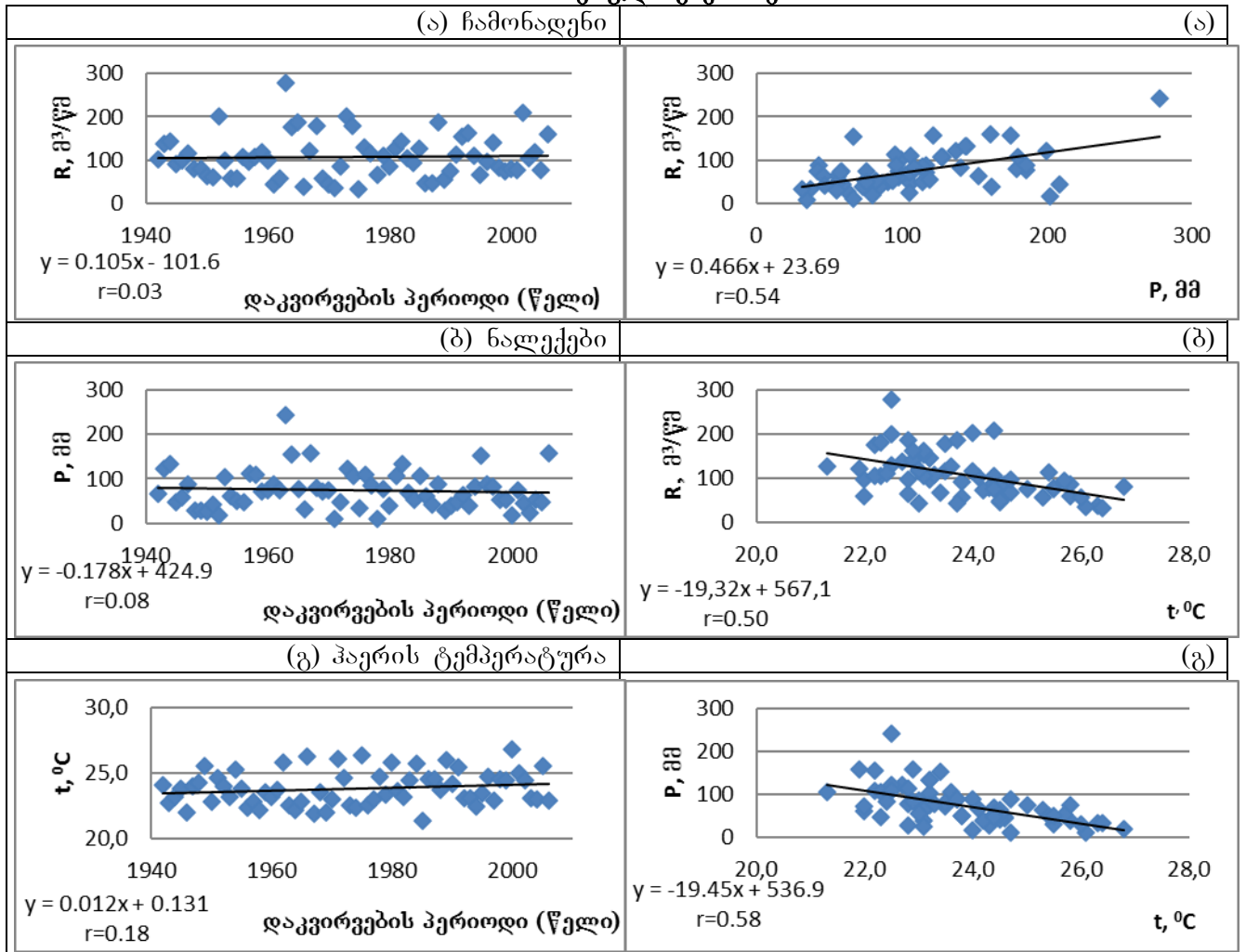
ნახ.2.11. მდ.ალაზნის სავეგეტაციო პერიოდის მახასიათებლების დინამიკა და მათ შორის არსებული კავშირები



ცხრილი 2.8. მდ. ალაზნის სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი

პარამეტრები			სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით მიღებული მოდელი					
			R=0.19P-1.3t+66.31 r=0.67; σ <sub>R</sub> =33.86; S <sub>R</sub> =25.27					
მდ.ალაზნის ჩამონადენი – საგ.მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში.								
n	დაკვირვების წლები		მდ.ალაზნის აუზში			ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა, R, მ <sup>3</sup> /წმ	აბსოლუტური ცდომილება  ΔR , მ <sup>3</sup> /წმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R
			ჩამონადენი, R, მ <sup>3</sup> /წმ	საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t, °C			
1	1941	1942	142.77	514.60	21.1	136.65	6.114	0.043
2	1942	1943	141.18	603.00	20.3	154.49	13.312	0.094
3	1943	1944	148.86	670.20	20.1	167.52	18.660	0.125
....	....	....	....	....	....	....	....	....
64	2004	2005	148.80	365.26	21.2	108.15	40.651	0.273
65	2005	2006	168.34	650.53	21.3	162.22	6.120	0.036
საშუალო							20.53	0.19
მინიმუმი							0.30	0.00
მაქსიმუმი							63.06	0.89

ნახ.2.12. მდ.ალაზნის ყველაზე თბილი თვის (VII) მახასიათებლების დინამიკა და მათ შორის არსებული კავშირები



ცხრილი 2.9. მდ. ალაზნის ყველაზე თბილი თვის (VII) ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი

პარამეტრები			სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით მიღებული მოდელი					
			$y = 0.4014P + 10.549t + 328.6$ $r = 0.95; \sigma_R = 8.70; S_R = 2.80$					
მდ.ალაზნის ჩამონადენი – საგ.მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში.								
n	დაკვირვების წლები		მდ.ალაზნის აუზში			ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა, R, მპ/წმ	აბსოლუტური ცდომილება  ΔR , მპ/წმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R
			ჩამონადენი, R, მპ/წმ	საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t, °C			
1	1941	1942	102.56	67.00	24.1	101.26	1.297	0.013
2	1942	1943	137.59	122.00	22.7	138.11	0.519	0.004
3	1943	1944	144.39	133.00	23.2	137.25	7.141	0.049
....	....	....	....	....	....	....	....	....
64	2004	2005	75.70	48.00	25.5	78.87	3.168	0.042
65	2005	2006	160.89	159.00	22.9	150.85	10.039	0.062
საშუალო							29.34	1.98
მინიმუმი							0.52	0.00
მაქსიმუმი							119.75	106.92

ცხრ.2.10-ში თავმოყრილია ყველა განხილული პერიოდებში ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელების ამსახველი რეგრესიის განტოლებები და მათი პარამეტრები- განტოლებათა კორელაციის კოეფიციენტები r, რეგრესიის წრფის მიმართ საშუალო კვადრატული გადახრები  $\sigma_R$ /წმ და განტოლებათა ცდომილებები  $S_R$ /წმ.

ცხრილი 2.10. მდ.ალაზნის ჩამონადენის (მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში მდებარე საგუშაგო) ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელები – სამცვლადიანი წრფივი რეგრესიის განტოლებები  $R=f(P,t)$ .

მდ.ალაზანი/პერიოდი	დაკვირვებული ჩამონადენი $R_0$ მ <sup>3</sup> /წმ (ნორმა)	წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამები $P_0$ , მმ (ნორმა)	წყალშემკრებზე ჰაერის საშუალო ტემპერატურა $t_0$ , °C (ნორმა)	მოდელით გამოთვლილი ჩამონადენის მნიშვნელობა $R_1$ მ <sup>3</sup> /წმ	აბსოლუტური ცდომილება $\Delta R=R-R_1$	ფარდობითი ცდომილება $\Delta R/R$
წლიური	$R=0.0638P-9.6266t+174.9416$					
	$r=0.89; \sigma_R=19.21; S_R=8.89$					
	107.97	869.22	12.72	107.99	0.022	0.000
ცივი სეზონი (XI-III)	$R=0.1104P-0.8366t+53.13$					
	$r=0.51; \sigma_R=14.85; S_R=12.76$					
	78.65	236.22	4.6	75.39	3.255	0.041
თბილი სეზონი (IV-X)	$R=0.0948P-20.3206t+445.6126$					
	$r=0.98; \sigma_R=28.67; S_R=4.94$					
	128.89	633.04	18.54	128.88	0.009	0.000
სავეგეტაციო პერიოდი (V-IX)	$R=0.19P-1.3t+66.31$					
	$r=0.67; \sigma_R=33.86; S_R=25.27$					
	127.58	467.18	20.82	128.01	0.431	0.003
ყველაზე თბილი თვე - ივლისი	$y=0.4014P-10.549t+328.6$					
	$r=0.95; \sigma_R=8.70; S_R=2.80$					
	106.98	73.58	23.81	106.92	0.052	0.000

ცხრ.2.11-ში მოცემულია განხილულ დროით ინტერვალებში-წელი, ცივი და თბილი სეზონები, სავეგეტაციო პერიოდი და ივლისი-მდ.ალაზნის წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურის, ნალექთა ჯამებისა და ჩამონადენის ცვლილების სიჩქარეები მიყვანილი 65- და 100-წლიან პერიოდებამდე.

**ცხრილი 2.11.სხვადასხვა დროით ინტერვალში კლიმატური ელემენტების ცვლილების სიჩქარეები (დაყვანილი 65- და 100-წლიან პერიოდებამდე**

პერიოდი,თვე	წელი	ცივი	თბილი	სავეგეტაციო	ივლისი
კლიმატური ელემენტი	მატება	მატება	მატება	მატება	მატება
	0.9°C/65წ.	1.4°C/65წ.	0.6°C/65წ.	0.5°C/65წ.	0.8°C/65წ.
ჰაერის თემპერატურა t°C	1.4°C/100წ.	2.1°C/100წ.	0.9°C/100წ.	0.7°C/100წ.	1.2°C/100წ.
ნალექთა ჯამები Pმმ	კლება 94მმ (11%)/65წ	კლება 20მმ (8%)/65წ	კლება 74მმ (12%)/65წ	კლება 75მმ (16%)/65წ	კლება 12მმ (16%)/65წ
	144მმ (17%)/100წ	30მმ (13%)/100წ	144მმ (18%)/100წ	115მმ (25%)/100წ	18მმ (24%)/100წ
ჩამონადენი Rმ³/წმ	მატება 9მ³/წმ (8%)/65წ	მატება 6მ³/წმ (8%)/65წ	მატება 10მ³/წმ (8%)/65წ	მატება 10მ³/წმ (8%)/65წ	მატება 7მ³/წმ (6%)/65წ
	13მ³/წმ (12%)/100წ	9მ³/წმ (12%)/100წ	16მ³/წმ (12%)/100წ	15მ³/წმ (12%)/100წ	11მ³/წმ (10%)/100წ

ამრიგად, კლიმატური ელემენტების შიდაწლიურ განაწილებათა დინამიკის შესწავლამ დაგვანახა, რომ ჰაერის ტემპერატურის მატების სიჩქარე ცივ სეზონში უფრო გამოხატულია (1.4°C/65წ.), ხოლო თბილ სეზონში ნაკლებია (0.6°C/65წ.) წლიურ სიჩქარესთან (0.9°C/65წ.) შედარებით. სავეგეტაციო პერიოდში და ივლისში მატების სიჩქარე (0.5-0.8°C/65წ.) ნაკლებია წლიურ სიჩქარეზე. ნალექთა ჯამების შემცირების სიჩქარე ნაკლებია ცივ სეზონში (8%) და პირიქით ოდნავ მომატებულია თბილ სეზონში (12%) წლიურთან შედარებით (11%). სავეგეტაციო და ივლისის პირობებში კლების სიჩქარე ერთნაირია (16%) და მომატებული წლიურთან შედარებით (11%).

ჩამონადენი ყველა დროით ინტერვალში იზრდება, რაც უკვე აღნიშნული იყო, წინააღმდეგობაშია ნალექთა ჯამების შემცირებასთან. საინტერესოა, რომ ჩამონადენის მატება ყველა დროით ინტერვალში შესაბამის ნორმასთან შეფარდებით, ხდება ერთნაირად (8%), რაც ასევე არ შეესაბამება ნალექთა ჯამების სხვადასხვა შეფარდებითი სიდიდით შემცირებას აღნიშნულ პერიოდებში.

კლიმატური ელემენტების შიდაწლიური განაწილებებიდან გამომდინარე შევაფასოთ მდ.ალაზნის ჩამონადენის მგრძობიარობა წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების ვარიაციების დროს [55].

გვაქვს

$$n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{P_0 \partial R}{R_0 \partial P}}{\frac{t_0 \partial R}{R_0 \partial t}} = \frac{P_0 a}{t_0 b}, \quad (2.23)$$

სადაც  $n = \frac{n_1}{n_2}$  წარმოადგენს ნალექთა ვარირების მიმართ ჩამონადენის მგრძობიარობის შეფარდებას ტემპერატურის ცვლილების მიმართ ჩამონადენის მგრძობიარობასთან.  $n$ - განყენებული (უგანზომილებო) რიცხვია.  $P_0$ ,  $t_0$  და  $R_0$  – შესაბამისად ნალექთა ჯამების, ტემპერატურისა და ჩამონადენის ნორმების მნიშვნელობები შესაბამის დროით ინტერვალისათვის.  $a$  და  $b$  წარმოადგენს  $R = aP - bt + c$  რეგრესიულ განტოლებაში შემავალ კოეფიციენტებს. შესაფასებლად ვისარგებლოთ ცხრ.2.10-ში წარმოდგენილი პარამეტრებით და განტოლებათა კოეფიციენტებით.

წელი:  $n = \frac{869 \times 0.06}{12.7 \times 9.46} = 0.43$  ან  $\frac{1}{n} = 2.33 \approx 2.$  (2.24)

ამრიგად, მდ.ალაზნის წლიური ჩამონადენის მგრძობიარობა აუზში საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილების მიმართ დაახლოებით 2-ჯერ აღემატება ჩამონადენის მგრძობიარობას წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამების ცვლილების მიმართ.

ცივი სეზონი:  $n = \frac{236 \times 0.11}{4.6 \times 0.81} = 7.$  (2.25)

ამ შემთხვევაში ცივი სეზონის ჩამონადენის მგრძობიარობა წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამების ცვლილებისას 7-ჯერ მეტია ჩამონადენის მგრძობიარობაზე ცივი სეზონის საშუალო ტემპერატურის ცვლილებისას.

თბილი სეზონი:  $n = \frac{633 \times 0.1}{18.5 \times 20.1} = 0.17$  ან  $\frac{1}{n} = 5.9 \approx 6.$  (2.26)

თბილ სეზონში ჩამონადენის მგრძობიარობა ტემპერატურის ცვლილების მიმართ 6-ჯერ აღემატება ჩამონადენის მგრძობიარობას ნალექთა ცვლილების დროს.

სავეგეტაციო პერიოდი:  $n = \frac{467 \times 0.19}{20.8 \times 1.3} = 3.3 \approx 3.$  (2.27)

სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენების მგრძობიარობა ნალექთა ცვლილების მიმართ 3-ჯერ მეტია ჩამონადენის მგრძობიარობაზე ტემპერატურის ცვლილებისას.

ივლისი:  $n = \frac{74 \times 0.45}{23.8 \times 10.17} = 0.14$  ან  $\frac{1}{n} = 7.1 \approx 7.$  (2.28)

ივლისის ჩამონადენის მგრძობიარობა ტემპერატურის ცვლილებისას 7-ჯერ აღემატება ჩამონადენის მგრძობიარობას ნალექთა ცვლილების დროს.

მდ.ალაზნის ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელების საფუძველზე (იხ.ცხრ.2.10) ორი კლიმატური სცენარის პირობებისათვის შევაფასოთ ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილება.

კლიმატური სცენარის პირველ, შედარებით უფრო რბილ (ოპტიმალურ) ვარიანტში წლიური ტემპერატურის მატება შეადგენს 3°C, ხოლო ნალექთა ჯამების შემცირება ხდება ნორმის 10%-ით.

მეორე, შედარებით მკაცრ (ექსტრემალურ) ვარიანტში წლიური ტემპერატურა იზრდება 4°C-ით, ხოლო წლიური ნალექთა ჯამი მცირდება 20%-ით.

წელი: გვაქვს წლიური ჩამონადენის ცვლილების შემდეგი განტოლება

$$dR=0.06dP=9.4dt. \quad (2.29)$$

აქ წლიური ნორმებია:  $t_0=12.7^\circ\text{C}$ ,  $P_0=869\text{მმ}$ ,  $R_0=108\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

I სცენარის მიხედვით:

$$(dR)_1=0.06(-0.1 \times 869)-9.46 \times 3=-33.6\text{მ}^3/\text{წმ}(31\%). \quad (2.30)$$

II სცენარის მიხედვით

$$(dR)_2=0.06(-0.2 \times 869)-9.46 \times 4=-48.3\text{მ}^3/\text{წმ}(45\%). \quad (2.31)$$

ამრიგად, განხილული კლიმატური სცენარების პირობებში მოსალოდნელია მდ.ალაზნის წლიური ჩამონადენის შემცირება 34-48მ<sup>3</sup>/წმ სიდიდით, რაც წლიური ნორმის 30-45%-ს შეადგენს.

ცივი სეზონი: გვაქვს ჩამონადენის ცვლილების შემდეგი განტოლება:

$$dR=0.11dP-0.81dt. \quad (2.32)$$

ცივი სეზონის ნორმებია:  $t_0=4.6^\circ\text{C}$ ,  $P_0=236\text{მმ}$ ,  $R_0=78.6\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

მაშინ

$$(dR)_1=0.11(-0.1 \times 236)-0.81 \times 3=-5\text{მ}^3/\text{წმ}(6\%). \quad (2.33)$$

$$(dR)_2=0.11(-0.2 \times 236)-0.81 \times 4=-8.4\text{მ}^3/\text{წმ}(11\%). \quad (2.34)$$

ამ შემთხვევაში მოსალოდნელია მდ.ალაზნის ცივი სეზონის ჩამონადენის შემცირება 5-8მ<sup>3</sup>/წმ სიდიდით, რაც ცივი სეზონის ნორმის 6-11%-ს შეადგენს.

თბილი სეზონი: ჩამონადენის ცვლილების განტოლება იქნება

$$dR=0.1dP-20.1dt. \quad (2.35)$$

თბილი სეზონის ნორმებია:  $t_0=18.5^\circ\text{C}$ ,  $P_0=633\text{მმ}$ ,  $R_0=129\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

$$(dR)_1=0.1(-0.1 \times 633)-20.1 \times 3=-66.6\text{მ}^3/\text{წმ}(52\%). \quad (2.36)$$

$$(dR)_2=0.1(-0.2 \times 633)-20.1 \times 4=-93.1\text{მ}^3/\text{წმ}(72\%). \quad (2.37)$$

მოსალოდნელია თბილი სეზონის ჩამონადენის ძლიერი შემცირება 67-93მ<sup>3</sup>/წმ სიდიდით, რაც თბილი სეზონის ნორმის 50-70%-ს შეადგენს.

სავეგეტაციო პერიოდ: ჩამონადენის ცვლილების განტოლებაა

$$dR=0.19dP-1.3dt. \quad (2.38)$$

სავეგეტაციო პერიოდის ნორმებია:  $t_0=20.8^{\circ}C$ ,  $P_0=467$ მმ,  $R_0=127$ მ<sup>3</sup>/წმ.

$$(dR)_1=0.19(-0.1 \times 467)-1.3 \times 3=-12.8\text{მ}^3/\text{წმ}(10\%). \quad (2.39)$$

$$(dR)_2=0.19(-0.2 \times 467)-1.3 \times 4=-23\text{მ}^3/\text{წმ}(16\%). \quad (2.40)$$

ამ შემთხვევაში მოსალოდნელია სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის შემცირება 13-23მ<sup>3</sup>/წმ სიდიდით, რაც ამ პერიოდის ნორმის 10-20%-ს შეადგენს.

ივლისი: ჩამონადენის ცვლილების განტოლებაა

$$dR=0.45dP-10.17dt. \quad (2.41)$$

ივლისის ნორმებია:  $t_0=23.8^{\circ}C$ ,  $P_0=74$ მმ,  $R_0=106$ მ<sup>3</sup>/წმ.

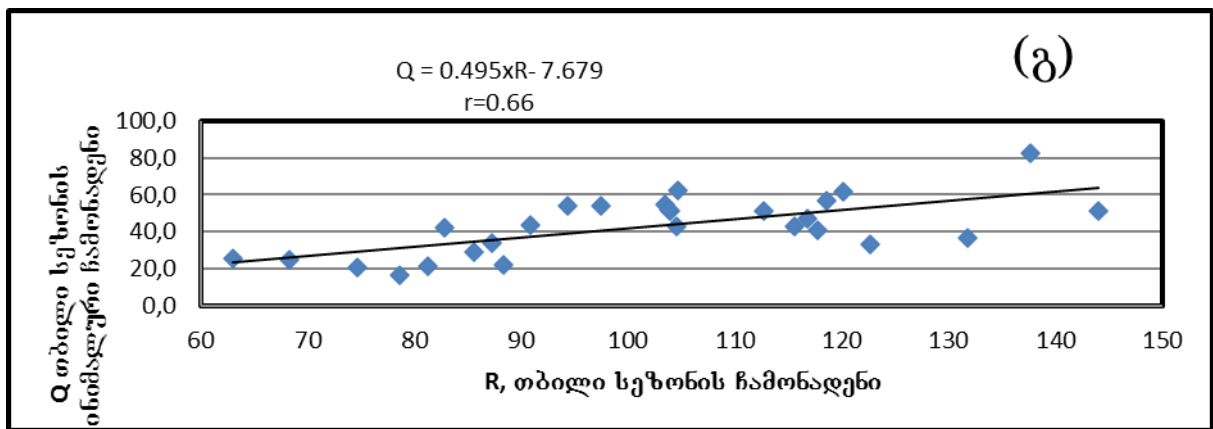
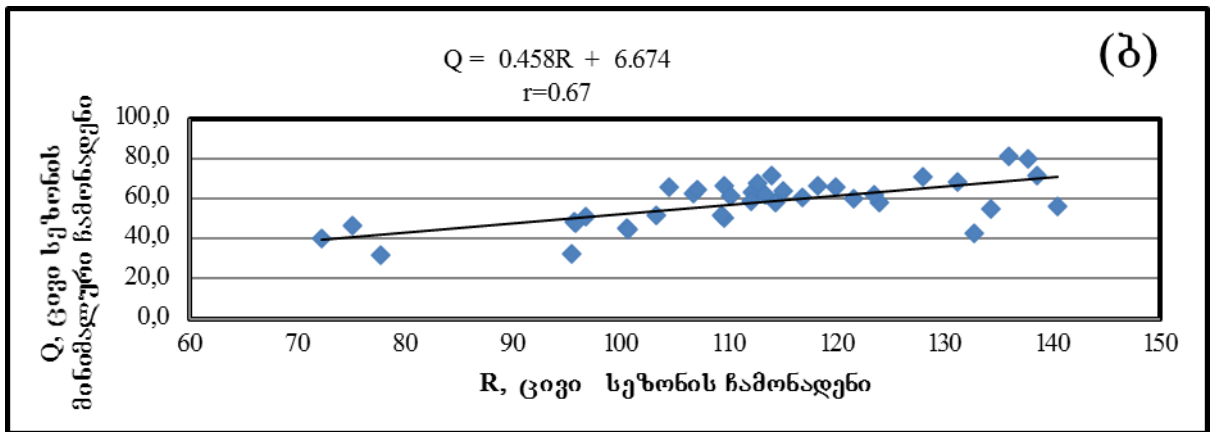
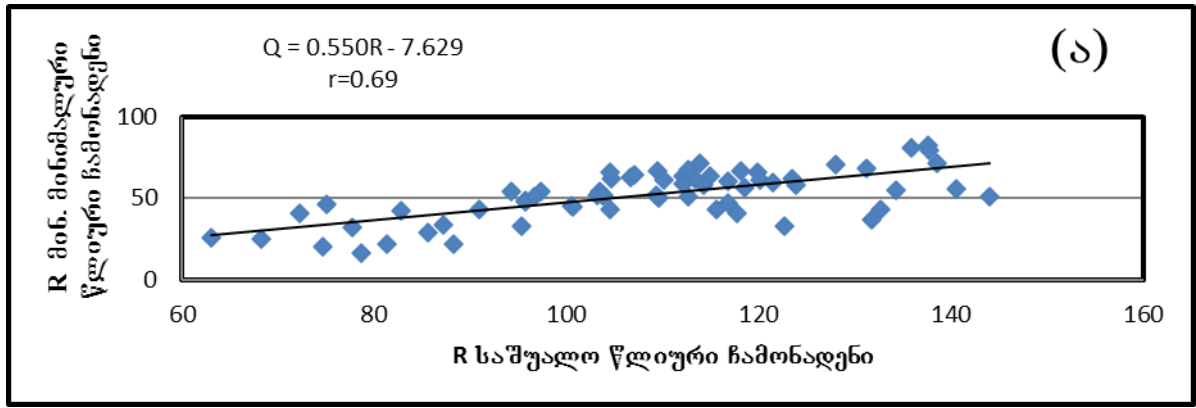
$$(dR)_1=0.45(-0.1 \times 74)-10.17 \times 3=-33.8\text{მ}^3/\text{წმ}(32\%). \quad (2.42)$$

$$(dR)_2=0.45(-0.2 \times 74)-10.17 \times 4=-47.4\text{მ}^3/\text{წმ}(45\%). \quad (2.43)$$

მოსალოდნელია ივლისის ჩამონადენის შესამჩნევი შემცირება, რომლის სიდიდეა 34-47მ<sup>3</sup>/წმ, რაც ამ თვის ნორმის 30-45%-ს შეადგენს.

[32,63]-ში ზამთრის მინიმალური ჩამონადენი გაიგივებული იყო მიწისქვეშა ჩამონადენთან. ამ მიდგომით მიღებული კვლევის შედეგები კარგ თანხვედრაში აღმოჩნდა კომპლექსური ჰიდროგრაფის დანაწევრებით მიღებულ შეფასებებთან. ამის გათვალისწინებით ნახ.2.13(ა)-ზე მოცემულია მდ.ალაზნის წლიური მინიმალური ჩამონადენის დამოკიდებულება საშუალო წლიურთან ანუ მიწისქვეშა ჩამონადენის კავშირი საშუალო წლიურ ზედაპირულ ჩამონადენთან. ამისათვის კვლავ გამოყენებულია 1941-2006 წლების დაკვირვების მონაცემები მდ.ალაზნის – მდ.აგრიხაის შესართავიდან 2კმ-ით ქვემოთ განლაგებულ ჰიდროლოგიურ საგუშაგოს შემთხვევაში. მაგრამ, რადგან ამ მდინარისათვის ხშირი იყო ზაფხულის მინიმუმის შემთხვევები, დამატებით გამოკვლეული იქნა მიწისქვეშა ჩამონადენის კავშირი ზედაპირულთან ცალ-ცალკე ცივ და თბილ სეზონებში. ამ კავშირების გრაფიკული წარმოდგენა ასევე მოცემულია ნახ.2.13-ის (ბ) და (გ) შემთხვევებში. სამივე პერიოდისათვის მიღებული დამოკიდებულებები ხასიათდებიან დაახლოებით ერთნაირი კორელაციური კოეფიციენტით  $r=0.66-0.69$ . ვისარგებლოთ ცხრ.2.10-ის და ნახ.2.13-ის მონაცემებით და მივიღოთ მიწისქვეშა ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელები.





ნახ.2.13. მიწისქვეშა ჩამონადენის (Q მ<sup>3</sup>/წმ) კავშირი ზედაპირულ ჩამონადენთან (R მ<sup>3</sup>/წმ):  
(ა) – წლიური პერიოდი; (ბ) – ცივი სეზონი; (გ) – თბილი სეზონი

**წლიური მიწისქვეშა ჩამონადენი და მისი ცვლილება.**

ჰიდრომეტეოროლოგიური ელემენტების წლიური მნიშვნელობებისათვის გვაქვს შემდეგი განტოლებები:

$$R = 0.064P - 9.627t + 174.942, \quad (2.24)$$

$$Q = 0.550R - 7.629. \quad (2.25)$$

ბოლო განტოლებიდან შეიძლება დავადგინოთ მიწისქვეშა წლიური ჩამონადენის ნორმის სიდიდე:  $Q_0 = 0.55R_0 - 7.629 = 0.55 \times 108 - 7.63 = 51.8 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ .

ამრიგად, ვლებულობთ  $Q_0 \approx 52 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ , რაც ემთხვევა [32,61,62]-ში მოცემულ შეფასებებს მდინარეების ალაზანი-აგრიხაის შერწყმის ადგილისათვის. ამრიგად, მიწისქვეშა საზრდოობის კოეფიციენტი ტოლია

$$K = Q_0/R_0 \approx \frac{52}{108} = 0.48(48\%).$$

(2.24) და (2.25) განტოლებების საფუძველზე გამოვსახოთ მიწისქვეშა ჩამონადენი  $Q$  როგორც ნალექთა ჯამების და ჰაერის ტემპერატურის ფუნქცია:

$$Q = 0.55(0.064P - 9.627t + 174.942) - 7.629,$$

საბოლოოდ

$$Q = 0.035P - 5.295t + 88.580. \quad (2.26)$$

მივიღეთ მიწისქვეშა წლიური ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი. მისი ცვლილების განტოლება იქნება

$$dQ = 0.035dP - 5.295dt. \quad (2.27)$$

შესაბამისად განხილული 2 კლიმატური სცენარისა, გვექნება:

$$(dQ)_1 = 0.035(-0.1 \times 869) - 5.295 \times 3 = -18.9 \text{ მ}^3/\text{წმ} \quad (37\%).$$

$$(dQ)_2 = 0.035(-0.2 \times 869) - 5.295 \times 4 = -27.3 \text{ მ}^3/\text{წმ} \quad (53\%).$$

ამრიგად, განხილული კლიმატური სცენარების პირობებისათვის მდ.ალაზანი-აგრიხაის შესართავის კვეთის ადგილზე მოსალოდნელია მიწისქვეშა წლიური ჩამონადენის მნიშვნელოვანი კლება დაახლოებით 20-30 მ<sup>3</sup>/წმ სიდიდით, რაც ნორმის 40-50%-ს შეადგენს.

### ცივი სეზონის მიწისქვეშა ჩამონადენი და მისი ცვლილება

ამ შემთხვევაში გვაქვს შემდეგი განტოლებები:

$$R = 0.110P - 0.837t + 53.13, \quad (2.28)$$

$$Q = 0.458R + 6.674. \quad (2.29)$$

განვსაზღვროთ ცივი სეზონის მიწისქვეშა ჩამონადენის ნორმის სიდიდე:

$$Q_0 = 0.458R_0 + 6.674 = 0.458 \times 78.65 + 6.674 = 42.7 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ამრიგად, მიწისქვეშა საზრდოობის კოეფიციენტი ცივ სეზონში ტოლია

$$K = \frac{42.7}{78.7} = 0.54(54\%).$$

(2.28) და (2.29) განტოლებებიდან ვლებულობთ ცივი სეზონის მიწისქვეშა ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკურ მოდელს:

$$Q = 0.05P - 0.38t + 31.01. \quad (2.30)$$

ცივ სეზონში მიწისქვეშა ჩამონადენის ცვლილების განტოლებას შემდეგისაზე აქვს:

$$dQ = 0.05dP - 0.38dt. \quad (2.31)$$

კლიმატური სცენარის შესაბამისად მივიღებთ მიწისქვეშა ჩამონადენის ცვლილების შემდეგ სიდიდეებს:

$$(dQ)_1=0.05(-0.1 \times 236)-0.38 \times 3=-2.3\text{მ}^3/\text{წმ}(5\%),$$

$$(dQ)_2=0.05(-0.2 \times 236)-0.38 \times 4=-3.9\text{მ}^3/\text{წმ}(9\%).$$

ამრიგად, ცივ სეზონში მიწისქვეშა ჩამონადენის კლება მცირეა, მისი სიდიდე მოსალოდნელია 2-4 მ<sup>3</sup>/წმ ფარგლებში, რაც ნორმის 5-9%-ს შეადგენს.

### თბილი სეზონის მიწისქვეშა ჩამონადენი და მისი ცვლილება

თბილი სეზონისათვის გვაქვს შემდეგი განტოლებები:

$$R=0.095P-20.321t=445.613, \tag{2.32}$$

$$Q=0.495R-7.679. \tag{2.33}$$

მეორე განტოლებიდან განვსაზღვროთ თბილი სეზონის მიწისქვეშა ჩამონადენის ნორმის სიდიდე:

$$Q_0=0.495 \times 129-7.679=56.2\text{მ}^3/\text{წმ}$$

მიწისქვეშა საზრდოობის კოეფიციენტი თბილ სეზონში ტოლია

$$K=\frac{56.2}{129} = 0.44(44\%).$$

(2.32) და (2.33) განტოლებებიდან ვღებულობთ თბილი სეზონის მიწისქვეშა ჩამონადენის შემდეგ ემპირიულ-სტატისტიკურ მოდელს

$$Q=0.047P-10.059t+212.899, \tag{2.34}$$

აქედან კი მიწისქვეშა ჩამონადენის ცვლილების განტოლებას

$$dQ=0.047dP=10.059t. \tag{2.35}$$

კლიმატური სცენარების პირობებისათვის გვექნება თბილ სეზონში მიწისქვეშა ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილების შემდეგი მნიშვნელობები:

$$(dQ)_1=0.047(-0.1 \times 633)-10.059 \times 3=-33.2\text{მ}^3/\text{წმ}(59\%),$$

$$(dQ)_2=0.047(-0.2 \times 633)-10.059 \times 4=-46.2\text{მ}^3/\text{წმ}(82\%).$$

როგორც ვხედავთ, გლობალური დათბობის მეტად მკაცრი კლიმატური სცენარის პირობებში მდ.ალაზნის მიწისქვეშა ჩამონადენის კლება განხილულ კვეთში შეიძლება შეადგინოს 35-50მ<sup>3</sup>/წმ, რაც ნორმის 60-80%-სის ტოლია. ეს ნიშნავს, რომ თუ პროცესები განვითარდა განხილული კლიმატური სცენარების მიხედვით, მაშინ თბილ სეზონში მოსალოდნელია მდ.ალაზნის მიწისქვეშა ჩამონადენის მნიშვნელოვანი გამოფიტვა, რაც მეტად დაახარალებს ამ რეგიონის და მთლიანად ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკურ სფეროს.

### 3.3 ვალვიანობის კავშირი მდინარეთა ჩამონადენთან

#### 3.1. კვლევის მეთოდიკა

წინა თავში მიღებული მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელები იძლევიან საშუალებას დავეუკავშიროდ ერთმანეთს გვალვიანობისა და ჩამონადენის პარამეტრები და გამოვსახოთ ეს კავშირი ანალიზური სახით. ამისათვის გვალვიანობის დასახასიათებლად შემოვიტანოთ განხილვაში სელიანინოვის ჰიდროთერმული კოეფიციენტი

$$h = \frac{10SP}{\Sigma t}, \quad (3.1)$$

სადაც  $\Sigma P$  -ნალექთა ჯამია, ხოლო  $\Sigma t$  - ტემპერატურათა ჯამი დროის იმ ინტერვალში (კვირა, დეკადა, თვე, კვარტალი, თბილი სეზონი, სავეგეტაციო პერიოდი), როცა ჰაერის ტემპერატურა მეტია  $10^{\circ}\text{C}$ -ზე. გვალვიანობის ინტენსივობის შესაფასებლად იხილავენ კოეფიციენტის შემდეგ გრადაციებს (იხ.ცხრ.1.1):

- უზგალო კატეგორია -  $0.75 < h$ ,
- სუსტი გვალვა -  $0.60 < h \leq 0.75$ ,
- საშუალო გვალვა -  $0.40 < h \leq 0.60$ ,
- ძლიერი გვალვა -  $0.20 < h \leq 0.40$ ,
- მკაცრი გვალვა -  $0 < h \leq 0.20$ .

ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელის შემთხვევაში გვაქვს შემდეგი ტიპის განტოლება:

$$R = aP - bt + c, \quad (3.2)$$

სადაც  $R$  მ<sup>3</sup>/წმ,  $P$  მმ და  $t^{\circ}\text{C}$  წარმოადგენენ შესაბამისად საშუალო ჩამონადენს, ნალექთა ჯამს და საშუალო ტემპერატურას განხილული პერიოდისათვის, ხოლო  $a, b, c$  - ამ შემთხვევაში წრფივი რეგრესიის კოეფიციენტებია. (3.2) განტოლებაში შემოვიტანოდ ჰიდროთერმული კოეფიციენტი შემდეგი სახით:

$$R = a \left( \frac{10P}{\Sigma t} \right) \frac{\Sigma t}{10} - bt + c,$$

ანუ

$$R = 0.1 ah\Sigma t - bt + c. \quad (3.3)$$

ამრიგად, მიღებული (3.3) განტოლება აკავშირებს ჩამონადენის მნიშვნელობას გვალვიანობის მახასიათებელთან – ჰიდროთერმულ კოეფიციენტთან.

ჩამონადენის ფორმირების წყალბალანსური (ტიურკის) მოდელის შემთხვევაში გვაქვს შემდეგი სახის განტოლება:

$$R = P \left[ 1 - \frac{L}{(cL^2 + P^2)^{\frac{1}{2}}} \right], \quad (3.4)$$

სადაც  $L = 300 + 25t + 0.05t^3$  – ტემპერატურის ფუნქციაა,  $R$  და  $P$ - ჩამონადენი (ამ შემთხვევაში გამოსახული მმ-ში) და ნალექთა ჯამი, ხოლო  $c$  – საკალიბრო მუდმივა. კვლავ შემოვიყვანოთ (3.4) განტოლებაში ჰიდროთერმული კოეფიციენტი. ვღებულობთ განტოლებას

$$R = 0.1h\Sigma t \left[ 1 - \frac{L}{(cL^2 + P^2)^{\frac{1}{2}}} \right], \quad (3.5)$$

რომელიც გამოსახავს ანალიზურ კავშირს ჩამონადენსა და გვალვიანობის ინტენსივობის დამახასიათებელ კოეფიციენტს შორის.

### 3.2. გამოთვლის შედეგები.

მაგალითისთვის განვიხილოთ მდ.ალაზნის ჩამონადენის კავშირი გვალვიანობასთან სამ შემთხვევაში – თბილი სეზონისათვის (აპრილი-ოქტომბერი), აქტიური სავეგეტაციო პერიოდისა (მაისი-სექტემბერი) და ყველაზე ცხელი თვისათვის (ივლისი). ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემების შიდაწლიური განაწილება შეესაბამება 1941-2006 წლების პერიოდს. (3.3) და (3.5) განტოლებებში შემავალი  $\Sigma t$ ,  $\Sigma P$  და  $t$  აღებული იქნა განხილული პერიოდის თვეების მიხედვით მაქსიმალური ტემპერატურებისა და მინიმალური ნალექთა ჯამების გათვალისწინებით.

თბილი პერიოდის გვალვის პირობებში მდ.ალაზნის ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი მოიცემა შემდეგი სახით:

$$R = 0.01h\Sigma t_{\max} - 20.1\bar{t}_{\max} + 437.45, \quad (3.6)$$

სადაც  $\Sigma t_{\max} = 4634.3^{\circ}\text{C}$ ;  $\bar{t}_{\max} = 21.6^{\circ}\text{C}$ ;  $\Sigma P_{\min} = 133$  მმ.

როგორც იყო აღნიშნული ამ განტოლებისათვის კორელაციის კოეფიციენტი  $r = 0.92$ ; საშუალო კვადრატული გადახრა  $\sigma_R = 28.7\text{მ}^3/\text{წმ}$ ; განტოლების ცდომილება  $S_R = 11.2\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

მკაცრი გვაღვის შემთხვევაში, თუ  $h=0.1$ , ჩამონადენის მნიშვნელობა შეადგენს  $R=10\text{მ}^3/\text{წმ}$ . თუ  $h=0.2$ , მაშინ  $R=15\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

ძლიერი გვაღვის შემთხვევაში, თუ  $h=0.3$ , მაშინ  $R=19\text{მ}^3/\text{წმ}$ . თუ  $h=0.4$ , მაშინ  $R=24\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

საშუალო ინტენსივობის გვაღვისათვის, როცა  $h=0.5$ , მაშინ  $R=28.5\text{მ}^3/\text{წმ}$ . ხოლო თუ  $h=0.6$ , მაშინ  $R=33\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

თუ პროცესები განვითარდა ზემოთ მოცემულ პირობებში, ჰიდროთერმული კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეადგენს

$$h = \frac{10 \cdot 133}{4634.3} = 0.29 \approx 0.3$$

მაშინ, გამოთვლის შედეგების გათვალისწინებით,  $R \approx 20\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

აქტიური სავეგეტაციო პერიოდში განვითარებული გვაღვის პირობებში მდ. ალაზნის ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკურ მოდელს შემდეგი სახე აქვს:

$$R = 0.019h\Sigma t_{\max} - 1.3\bar{t}_{\max} + 66.31, \quad (3.7)$$

სადაც  $\Sigma t_{\max} = 3664.4^\circ\text{C}$ ;  $\bar{t}_{\max} = 23.9^\circ\text{C}$ ;  $\Sigma P_{\min} = 117$  მმ.

განტოლების კორელაციის კოეფიციენტი შეადგენს  $r=0.67$ ;  $\sigma_R = 33.9\text{მ}^3/\text{წმ}$ ;  $S_R = 25.1\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

მკაცრი გვაღვის შემთხვევაში, თუ  $h=0.1$ , მაშინ  $R=42\text{მ}^3/\text{წმ}$ . თუ  $h=0.2$ , მაშინ  $R=49\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

ძლიერი გვაღვის შემთხვევაში, თუ  $h=0.3$ , მაშინ  $R=56\text{მ}^3/\text{წმ}$ . თუ  $h=0.4$ , მაშინ  $R=63\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

საშუალო ინტენსივობის გვაღვისათვის, როცა  $h=0.5$ , მაშინ  $R=70\text{მ}^3/\text{წმ}$ . თუ  $h=0.6$ , მაშინ  $R=77\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

ზემოთ მოცემული პირობებისათვის

$$h = \frac{10 \cdot 117}{3664.4} = 0.32 \text{ (ძლიერი გვაღვა),}$$

ხოლო  $R \approx 57.5\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

ყველაზე თბილი თვის – ივლისის გვაღვის დროს მდ. ალაზნის ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელია:

$$R = 0.045h\Sigma t_{\max} - 10.17\bar{t}_{\max} + 312.05, \quad (3.8)$$

სადაც  $\Sigma t_{\max} = 830.8^\circ\text{C}$ ;  $\bar{t}_{\max} = 26.8^\circ\text{C}$ ;  $\Sigma P_{\min} = 9$  მმ.

განტოლების მახასიათებლებია:  $r=0.86$ ;  $\sigma_R = 50.0\text{მ}^3/\text{წმ}$ ;  $S_R = 25.5\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

მკაცრი გვაღვის პირობებში, როცა  $h=0.1$ , მაშინ  $R=43\text{მ}^3/\text{წმ}$ . თუ  $h=0.2$ , მაშინ  $R=47\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

ძლიერი გვაღვის შემთხვევაში, როცა  $h=0.3$ , მაშინ  $R=51\text{მ}^3/\text{წმ}$ . თუ  $h=0.4$ , მაშინ  $R=54\text{მ}^3/\text{წმ}$

საშუალო გვაღვის პირობებში, როცა  $h=0.5$ , მაშინ  $R=58\text{მ}^3/\text{წმ}$ . თუ  $h=0.6$ , მაშინ  $R=62\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

ზემოთ მოცემული პირობებისათვის

$$h = \frac{10 \cdot 9}{830.8} = 0.11 \text{ (მკაცრი გვაღვა),}$$

ჩატარებული გამოთვლების გათვალისწინებით  $R=43\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

იგივე შეფასებები ჩატარდა ჩამონადენის წყალბალანსური მოდელის გამოყენებით. მაგალითად, აქტიური სავეგეტაციო პერიოდში განვითარებული გვაღვის პირობებში ჩამონადენის ფორმირების მოდელს შემდეგი სახე აქვს:

$$R = 366.44h \left[ 1 - \frac{L}{(cL^2 + P^2)^{\frac{1}{2}}} \right], \quad (3.9)$$

თუ ამ განტოლებაში ჩავსვამთ სავეგეტაციო პერიოდის დამახასიათებელ ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების პარამეტრებს მივიღებთ

$$R=106.27h \quad (3.10)$$

მკაცრი გვაღვის პირობებში, თუ  $h=0.1$ , მაშინ  $R=10.6\text{მმ}=9.3\text{მ}^3/\text{წმ}$ . თუ  $h=0.2$ , მაშინ  $R=21.3\text{მმ}=18.7\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

ამრიგად, მკაცრი გვაღვის პირობებში სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენი მერყეობს  $R=10-20\text{მ}^3/\text{წმ}$  ინტერვალში.

ძლიერი გვაღვის პირობებში, როცა  $h=0.4$ , მაშინ  $R=42.5\text{მმ}=37.3\text{მ}^3/\text{წმ}$ . საშუალო გვაღვის პირობებში, როცა  $h=0.6$ , მაშინ  $R=63.8\text{მმ}=56\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

თუ განვიხილავთ გვაღვიანი სავეგეტაციო პერიოდის დამახასიათებელ პარამეტრებს, მაშინ

$$h = \frac{10 \cdot 117}{3664.4} = 0.32$$

რაც შეესაბამება ძლიერი გვაღვის კატეგორიას და მაშინ  $R=34\text{მმ}=29.8\text{მ}^3/\text{წმ} \approx 30\text{მ}^3/\text{წმ}$ .

როგორც ვხედავთ, ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელით მიღებული ჩამონადენის მნიშვნელობები დაახლოებით 1.5-2-ჯერ მეტია წყალბალანსური

მოდელით გამოთვლილ სიდიდეებზე. სხვადასხვა პერიოდებისათვის ჩამონადენის მნიშვნელობათა თანაფარდობა დაცულია. კერძოდ, გვალვიანი პერიოდის ხანგრძლივობის ზრდასთან ერთად ჩამონადენის მნიშვნელობები მცირდება. ფიზიკურად ეს გასაგებია: რაც უფრო დიდხანს გრძელდება გვალვა, მით უფრო მეტი გავლენა აქვს მას ჩამონადენზე შემცირების თვალსაზრისით.

შესამოწმებლად გამოთვლებით მიღებული ჩამონადენის მნიშვნელობები შეიძლება შევადაროთ გვალვიან წლებში თბილი პერიოდის ცალკეულ თვეებში ჩამონადენის დაფიქსირებულ მინიმალურ მნიშვნელობებს:

- აპრილი – 46მ<sup>3</sup>/წმ (1951წ.),
- მაისი – 65მ<sup>3</sup>/წმ (1989წ.),
- ივნისი – 54მ<sup>3</sup>/წმ (1961წ.),
- ივლისი – 32მ<sup>3</sup>/წმ (1975წ.),
- აგვისტო – 17მ<sup>3</sup>/წმ (1966წ.),
- სექტემბერი – 22მ<sup>3</sup>/წმ (1996წ.),
- ოქტომბერი – 35მ<sup>3</sup>/წმ (1952წ.),

ამ მონაცემების გამოყენებით შეიძლება გამოვითვალოთ თბილი სეზონის საშუალო მინიმალური ჩამონადენი

$$\bar{R}_{min} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 R_i$$

$R_i=42$  მ<sup>3</sup>/წმ, სავეგეტაციო პერიოდის საშუალო მინიმალური ჩამონადენი

$$\bar{R}_{min} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_i$$

$R_i=38$  მ<sup>3</sup>/წმ, და ყველაზე ცხელი თვის – ივლისის საშუალო მინიმალური ჩამონადენი  $\bar{R}_{min}=32$  მ<sup>3</sup>/წმ.

როგორც ვხედავთ, გვალვიან წლებში მოდელით განსაზღვრული მდ.ალაზნის ჩამონადენის მნიშვნელობები კარგ თანხვედრაშია რეალურად დაკვირვებულ მინიმალური ჩამონადენის სიდიდეებთან. ამრიგად, სხვადასხვა მოდელით შესრულებული შეფასებების შედარება ერთმანეთთან და მათი თანხვედრა ბუნებრივი ჩამონადენის დაფიქსირებულ მნიშვნელობებთან მიუთითებს კვლევის შედეგების საიმედოობაზე.

აღსანიშნავია, რომ (3.1), (3.3) და (3.5) განტოლებების საფუძველზე შესაძლებელია შებრუნებული ამოცანის გადაწყვეტა: ცნობილი ჩამონადენის



მნიშვნელობისა და წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურის განაწილების დახმარებით განისაზღვრება გვალვიანობის ინდექსი  $h$  (ჰიდროთერმული კოეფიციენტი), ანუ გვალვის კატეგორია, ხოლო მისი დახმარებით წყალშემკრებზე მოსული ნალექთა ჯამები – (იხ. განტოლება 3.3).

გამოვიკვლიოთ გვალვიანობის კავშირი მიწისქვეშა ჩამონადენთან. ამისათვის ვისარგებლოთ მდ.ალაზნის მიწისქვეშა ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელით (იხ.(2.34)), რომელიც მიღებულია თბილი სეზონისათვის. გვაქვს

$$Q=0.047\left(\frac{10P}{\Sigma t}\right)\frac{\Sigma t}{10}-10.059t+112.899, \quad (3.11)$$

სადაც გასათვალისწინებელია თბილი სეზონის თვეების მაქსიმალურ ტემპერატურათა ჯამი, მაქსიმალური ტემპერატურა სეზონში და თვეების მინიმალურ ნალექთა ჯამი

$$\Sigma t_{\max}=4634.3^{\circ}\text{C}; \quad t_{\max}=21.6^{\circ}\text{C} \text{ (ივლისი)}; \quad \Sigma P_{\min}=133\text{მმ}.$$

ამ სიდიდეთა ჩასმით (3.11) განტოლებაში საბოლოოდ ვღებულობთ

$$Q=21.78h-4.38. \quad (3.12)$$

მკაცრი გვალვის პირობებში, როცა  $h=0.1$  ან  $h=0.2$  მიწისქვეშა ჩამონადენის მნიშვნელობა  $Q<0$ . ეს ნიშნავს, რომ ამ შემთხვევაში ჩამონადენი მთლიანად გამოფიტულია.

ძლიერი გვალვის შემთხვევაში:

$$\text{თუ } h=0.3, \text{ მაშინ } Q=2.2\text{მ}^3/\text{წმ} \text{ (4\%), ხოლო}$$

$$\text{თუ } h=0.4, \text{ მაშინ } Q=4.3\text{მ}^3/\text{წმ} \text{ (8\%).}$$

საშუალო გვალვის შემთხვევაში:

$$\text{თუ } h=0.5, \text{ მაშინ } Q=6.5\text{მ}^3/\text{წმ} \text{ (12\%);}$$

$$\text{თუ } h=0.6, \text{ მაშინ } Q=8.7\text{მ}^3/\text{წმ} \text{ (16\%).}$$

სუსტი გვალვის შემთხვევაში:

$$\text{თუ } h=0.75, \text{ მაშინ } Q=12\text{მ}^3/\text{წმ} \text{ (21\%).}$$

ზემოთ განხილულ პირობებში ჰიდროთერმული კოეფიციენტის მნიშვნელობა

$$h = \frac{10 \times 133}{4634.3} = 0.29, \quad \text{ამიტომ } Q=1.9\text{მ}^3/\text{წმ} \text{ (3\%).}$$

როგორც ვხედავთ, გვაღვა მეტად ძლიერად მოქმედებს მიწისქვეშა ჩამონადენზე. შერჩეული საწყისი პირობები მაქსიმალური ტემპერატურებისა და მინიმალურ ნალექთა ჯამების სახით მთელი თბილი სეზონის განმავლობაში იწვევენ მიწისქვეშა საზრდობის დონის მკვეთრ დაწევას. ძლიერი, საშუალო და სუსტი გვაღვის პირობებში მიწისქვეშა საზრდობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა დაახლოებით მერყეობს ინტერვალში  $K=2-9\%$ .

## დ ა ს კ ვ ნ ა

აღმოსავლეთ საქართველოს პერობებში გვაღვიანობისა და მდინარეთა ჩამონადენის დინამიკაზე გლობალური დათბობის შესწავლის შედეგები, ასევე ჩამონადენსა და გვაღვიანობას შორის კავშირის კვლევის მონაცემები შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვადგინოთ.

1. შესწავლილია გვაღვიანობის დინამიკა 1951-2007 წლებში ადრე მომქმედი და ამჟამად არსებული 25 მეტეოსადგურის მონაცემთა საფუძველზე სავეგეტაციო თევების მიხედვით (მაისი-სექტემბერი). გვაღვის ინტენსივობის განსაზღვრა განხორციელდა რუსეთის სასოფლო-სამეურნეო მეტეოროლოგიის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში დამუშავებული მეთოდის საშუალებით. იგი კომპლექსურად იყენებს 3 მეტეოროლოგიურ (ატმოსფერულ) და 2 აგრომეტეოროლოგიურ (ნიადაგურ) მაჩვენებლებს. გამოყოფილია ყველაზე გვაღვიანი სადგურები აღმოსავლეთ საქართველოში: თბილისი, გარდაბანი-ქვემო ქართლში; საგარეჯო, შირაქი და დედოფლისწყარო-კახეთში. ამ სადგურების მონაცემთა მიხედვით ძლიერი გვაღვა დაფიქსირებულია ზედიზედ არანაკლებ სამი სავეგეტაციო თვის განმავლობაში. მოვლენის რისკი (აღბათობა) იზრდება მაისიდან სექტემბრისაკენ. ის აღწევს მაქსიმუმს ივლის-აგვისტოში (თბილისი,  $P=30$ ) ან აგვისტო-სექტემბერში (გარდაბანი -  $P=0.46$ ; საგარეჯო-  $P=0.21$ ; შირაქი და დედოფლისწყარო -  $P=0.16$ ). ძლიერი გვაღვის ინტენსივობა ყველა სადგურისათვის, სავეგეტაციო ყველა თვეში ან არ იცვლება, ან დაიკვირვება მისი შემცირების ტენდენცია-დინამიკას ახასიათებს დაღმავალი ტრენდები. ამრიგად, გლობალური დათბობის გავლენა გვაღვის დინამიკაზე არ აღინიშნება.

2. აგებულია მდ. ალაზნის (მდ. აგრიჩაის შესართავიდან 2კმ-ით ქვემოთ არსებული ჰიდროლოგიური საგუშაგო) ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელები სხვადასხვა დროით ინტერვალებისათვის (წელი, ცივი და თბილი სეზონები, სავეგეტაციო პერიოდი, ყველაზე ცხელი თვე-ივლისი). გამოკვლეულია აუზში ჰაერის ტემპერატურის, ნალექთა ჯამებისა და ჩამონადენის წლიური და შიდაწლიური დინამიკა 1941-2006 წლების პერიოდისათვის სათანადო წრფივი ტრენდების აგებით.

მიღებულია, რომ გლობალური დათბობის გავლენა წყალშემკრების კლიმატურ ელემენტებზე გამოიხატა წლიური ტემპერატურის ზრდაში  $0.9^{\circ}\text{C}$ -ით, წლიურ ნალექთა ჯამების შემცირებაში 94 მმ-ით (ნორმის 11%) და წლიური

ჩამონადენის მატებაში  $8.5\text{მ}^3/\text{წმ}$ -ით (ნორმის 8%) 65 წლის განმავლობაში. შეუსაბამობა ნალექების შემცირებასა და ჩამონადენის მატებას შორის შეიძლება აიხსნას ძლიერი მიწისქვეშა საზრდოობით, რომელიც განხილულ კვეთისთვის 50%-ს აღემატება.

დათბობა ცივ სეზონში ( $1.4^\circ\text{C}/65^\circ\text{F}$ ) თბილი სავეგეტაციო სეზონებთან ( $0.5\text{--}0.6^\circ\text{C}/65^\circ\text{F}$ ) შედარებით უფრო მეტად არის გამოვლენილი ვიდრე წლიურ პერიოდში.

ნალექთა ჯამები ცივ სეზონში შედარებით ნაკლებად რეაგირებენ დათბობაზე-მათი შემცირება აღინიშნება მხოლოდ 20 მმ-ით (ნორმის 8%), ხოლო თბილი – სავეგეტაციო სეზონების ნალექთა ჯამების შემცირება ხდება უფრო დიდი სიდიდით 74-75 მმ-ით, რაც ნორმის 12-16%-ს შეადგენს.

ჩამონადენის მატება ცივ სეზონში აღინიშნება  $6\text{მ}^3/\text{წმ}$ -ით, ხოლო თბილ-სავეგეტაციო პერიოდებში  $10\text{მ}^3/\text{წმ}$ -ით, რაც დაახლოებით ნორმის 8%-ს შეადგენს ორივეს შემთხვევაში.

მიღებული მოდელების საფუძველზე შეფასებულია ჩამონადენის მგრძობიარობა წყალშემკრებზე ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების ცვლილებათა მიმართ.

აღმოსასვლეთ საქართველოში გლობალური დათბობის განვითარების ორი კლიმატური სცენარის მიხედვით გამოკვლეულია ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენის მოსალოდნელი ევოლუცია მიმდინარე საუკუნეში. კლიმატური პროგნოზი შესრულებულია როგორც წლიურ, ასევე შიდაწლიურ დროითი ინტერვალებისათვის. მიღებულია, რომ ყველაზე მკაცრი (ექსტრემალური) სცენარის პირობებში, როცა მოსალოდნელია აუზში ჰაერის ტემპერატურის  $4^\circ\text{C}$ -ით მატება, ხოლო ნალექთა ჯამების ნორმის 20%-ით დაკლება, ზედაპირული ჩამონადენის მნიშვნელობა შეიძლება შემცირდეს 10-45%-ით, ხოლო მიწისქვეშა ჩამონადენის – 10-50%-ით. ყველაზე მეტად რეაგირებს ამ შემთხვევაში თბილი სეზონის ჩამონადენი. ისი კლების სიდიდე აღწევს ზედაპირული ჩამონადენის შემთხვევაში  $93\text{მ}^3/\text{წმ}$ -ს, რაც ნორმის 70%-ზე მეტია, ხოლო მიწისქვეშა ჩამონადენისათვის  $46\text{მ}^3/\text{წმ}$ -ს, რაც 80%-ს აღემატება. ნაკლებად რეაგირებს ცივი სეზონის ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენი. მათი შემცირება შეიძლება მოხდეს შესაბამისად 8 და  $4\text{მ}^3/\text{წმ}$ -ით, რაც დაახლოებით ნორმების 10%-ს შეადგენს.

როგორც ვხედავთ, თუ პროცესები განვითარდა განხილული კლიმატური სცენარების მიხედვით, მაშინ თბილ სეზონში მოსალოდნელია მდ. ალაზნის

ჩამონადენის ძლიერი გამოფიტვა, რაც მეტად დააზარალებს ამ რეგიონის სოციალურ-ეკონომიკურ სფეროს.

3. მდ. ალაზნის თბილი, სავეგეტაციო პერიოდის და ივლისის ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელების გამოყენებით დადგენილია ანალიზური კავშირები ჩამონადენის და გვალვიანობის პარამეტრებს შორის.

ამ კავშირების საფუძველზე, თბილი სეზონის თვეების მაქსიმალურ ტემპერატურათა ჯამების და მინიმალურ ნალექთა ჯამების გათვალისწინებით მიღებულია, რომ თბილი სეზონის გვალვის პირობებში ზედაპირული ჩამონადენის მნიშვნელობამ შეიძლება შეადგინოს 10-30მ<sup>3</sup>/წმ (ნორმის 10-25%). სავეგეტაციო პერიოდის გვალვის დროს ჩამონადენი შეიძლება იყოს 40-75მ<sup>3</sup>/წმ (35-60%).

მიღებულია, ასევე, რომ სუსტი, საშუალო და ძლიერი გვალვების პირობებში თბილი სეზონის მიწისქვეშა ჩამონადენის სიდიდემ შეიძლება დაიკლოს 2-12მ<sup>3</sup>/წმ-მდე, რაც ნორმის 5-20%-ს შეადგენს. ამ დროს მიწისქვეშა საზრდოობის კოეფიციენტი შეიძლება შემცირდეს  $K=2-9\%$ -მდე. მკაცრი გვალვა იწვევს თბილი სეზონის მიწისქვეშა ჩამონადენის სრულ გამოფიტვას.

## ლიტერატურა

1. IPCC 1990, Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1990.
2. Climate Change 1995. Second Assessment Report of the IPCC. Volumes I, II and III. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1996.
3. Climate Change 2001. Synthesis Report. IPCC, 2001.
4. ნ.ჩხობაძე, ზ.ლომთაძე, ბ.ცატავა, თ.გზირიშვილი, ბ.ბერიტაშვილი. გლობალური დათბობის ფონზე გაუდაბნოების მოსალოდნელი პროცესი აღმოსავლეთ საქართველოში და მისი შეჩერების ღონისძიებები. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტომი 107, თბილისი, 2002.
5. კლიმატის გლობალური ცვლილების ტენდენციების უახლესი შეფასების შედეგები. კლიმატის ცვლილების ეროვნული სააგენტოს ბიულეტენი, №10, თბილისი, 2001.
6. რას უნდა ველოდოთ კლიმატის ცვლილებისაგან. კლიმატის ცვლილების ეროვნული სააგენტოს ბიულეტენი, №10, თბილისი, 2001.
7. საქართველოს პირველი ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციაზე. თბილისი, 1999.
8. კ.თავართქილაძე, ე. ელიზბარაშვილი, დ.მუმლაძე, ჯ.ვანჩაძე. საქართველოს მიწისპირა ტემპერატურის ცვლილების ემპირიული მოდელი. მონოგრაფია, გ.სვანიძის და ნ.ბეგალიშვილის რედაქციით. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი, 1999.
9. ე.ელიზბარაშვილი, დ.პაპინაშვილი, თ.ხელაძე. საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური ცვლილების გამოკვლევის წინასწარი შედეგები. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის საინფორმაციო ბიულეტენი, №5, თბილისი, 1997.
10. ე. ელიზბარაშვილი, დ.პაპინაშვილი. ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური ცვლილება საქართველოს ტერიტორიაზე. ჰმი-ს შრომები, ტ.102, თბილისი, 2001.
11. ნ.ბეგალიშვილი, კ.თავართქილაძე, ნ.ნებიერიძე, მ.ტატიშვილი, ლ.ყურაშვილი. საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში სინოტივის

- ველის კვლევის ზოგიერთი შედეგები. ჰმი-ს შრომები, “ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის პრობლემები”, ტ.101, თბილისი, 1998.
12. ნ.ნებიერიძე-საქართველოს ტერიტორიაზე სინოტივის მიწისპირა ველის ძირითადი მახასიათებლების საუკუნეობრივი ცვლილება. საქ. მეცნ. აკად. ჰმი-ის ინსტიტუტის შრომები ”კლიმატოლოგიის პრობლემები”, ტ.102, თბილისი, 2001.
  13. კ.თავართქილაძე, ნ.ბეგალიშვილი და სხვები. ჰავის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში. ჰავის განმსაზღვრელი ზოგიერთი პარამეტრის რეჟიმი და მათი ცვალებადობა. მონოგრაფია. ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტი, მიხეილ ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი, 2006.
  14. ნ.ნ.ბეგალიშვილი, ვ.ცომაია, ნ.ა.ბეგალიშვილი. კლიმატის ცვლილების პირობებში მდინარეული ჩამონადენის ცვლილების შეფასება მათემატიკური მოდელის საფუძველზე. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
  15. ნ.ნ.ბეგალიშვილი, ვ.ცომაია. საქართველოს გვალვიან რაიონებში მდინარეების ჩამონადენის მოსალოდნელ ცვლილებათა შეფასება. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
  16. Бегалишвили Н.А., Таварткиладзе К.А., Вачнадзе Дж.И. Современное изменение климата в Грузии. Вековое изменение влагосодержания атмосферы и его влияние на влагооборот. Монография. Институт Гидрометеорологии Грузии, Тбилиси, 2007.
  17. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. IPCC, 2007.
  18. Швангирадзе М.Я., Бериташвили Б.Ш., Куталадзе Н.Б. Выявленное и прогнозируемое изменение климата в Грузии, и его влияние на экономику и природные экосистемы. Труды Института Гидрометеорологии Грузии. «Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе», том 115, Тбилиси, 2008.
  19. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისთვის. საქართველოს გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტრო, გაეროს განვითარების პროგრამა, თბილისი, 2009.
  20. K.Tavartkiladze, N.Begalishvili, T.Tsintsadze, A.Kikava. Influence of Global Warming on the Near-Surface Air Temperature Field in Georgian. Bulletin of Georgian National Academy of Sciences, Vol.6, №3, 2012, p.55-60.

21. კლიმატის ცვლილების გავლენა დედოფლისწყაროს რაიონზე. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისთვის. თბილისი, 2008.
22. თ.თურმანიძე. გვაღვის შეფასების კრიტერიუმები ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემების მიხედვით. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “გვაღვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
23. Водные ресурсы Закавказья. Под ред. Г.Г.Сванидзе, В.Ш.Цомая. Л., Гидрометеоиздат, 1988, 264 с.
24. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.9. Закавказье и Дагестан. Вып.1. Западное Закавказье. Под редакцией Г.Н.Хмаладзе, Л., Гидрометеоиздат, 1969, 312 с.
25. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.9. Закавказье и Дагестан. Вып.1. Западное Закавказье. Под редакцией В.Ш.Цомая, Л., Гидрометеоиздат, 1974, 578 с.
26. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Грузинская ССР. Л., Гидрометеоиздат, 1987, 416 с.
27. Сванидзе Г.Г., Гагуа В.П., Сухишвили Э.В. Возобновляемые энергоресурсы Грузии. Л., Гидрометеоиздат, 1987, 174 с.
28. Колесников В.И. Экология и водные отношения Грузии, Тбилиси, «Мецნიერება», 1992, 192 с.
29. გ.ხმაღაძე. საქართველოს წყლის რესურსები. საქართველოს სტრატეგიული კვლევისა და განვითარების ცენტრის ბიულეტენი, №1(2), თბილისი, 1997, გვ.2-56.
30. გ.სვანიძე, ნ.ა.ბეგალიშვილი, ვ.ცომია, გ.ხმაღაძე, რ.მესხია, ნ.ნ.ბეგალიშვილი. კლიმატის ცვლილების მიმართ წყლის რესურსების მოწყვლადობის შეფასება საქართველოს ტერიტორიაზე. კლიმატის ცვლილების ეროვნული პროგრამის ანგარიში. თბილისი, კლიმატის ცვლილების ეროვნული ცენტრის და საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ფონდები, 1998, 311 გვ.
31. გ.სვანიძე, ვ.ცომია, რ.მესხია. საქართველოს წყლის რესურსების მოწყვლადობა და ადაპტაციის ღონისძიებები. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “ჰიდროლოგიის პრობლემები”, ტ.106, თბილისი, 2001, გვ.11-30
32. ნ.ბეგალიშვილი, თ.ცინცაძე, ვ.ცომია და სხვ. საქართველოს ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების მართვის და მისი ცვლილების შეფასება კლიმატის გლობალური დათბობის და მზარდი ანთროპოგენური დატვირთვის გათვალის-



- სწინებით. დასკვნითი სამეცნიერო ანგარიში, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ფონდები. თბილისი, 2011, 94გვ.
33. N.Begalishvili, T.Tsintsadze, N.N.Begalishvili, N.Tsintsadze. Impact of Climate Change of River Runoff in Georgia. *Annals of Agrarian Science*, Vol.9, №1, 2011, p.97-99 (in Russian)
  34. *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. IPCC, 2007.*
  35. ე.ელიზბარაშვილი, ზ.ჭავჭავანიძე. გვაღვები, უნალექო და ნალექიანი პერიოდები საქართველოში. “მეცნიერება”, თბილისი, 1992.
  36. ე.ელიზბარაშვილი, ნ.სულხანიშვილი, ზ.ჭავჭავანიძე. გვაღვა და გაუდაბნობა, მათი გამომწვევი მიზეზები და გეოგრაფია. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, “გვაღვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
  37. Проблемы засухи и борьбы с ней. Материалы конференции. Труды Института Гидрометеорологии АН Грузии. Еом 107, Тбилиси, 2002, (на груз.из).
  38. Материалы Международной конференции “Международный год планеты земля. Климат, природные ресурсы. Стихийные катастрофы на Южном Кавказе ”. Труды Института Гидрометеорологии Грузии, том 115, Тбилиси, 2008, (на груз.из).
  39. ლ.პაპინაშვილი. გვაღვა საქართველოში საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, „გვაღვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
  40. რ.კორძახია, ჯ.ვანჩაძე, თ.ალადაშვილი. გვაღვიანი (ცხელი) დღეების ანალიზი აღმოსავლეთ საქართველოში. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, “გვაღვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
  41. ჯ.ვანჩაძე, რ.კორძახია, ც. დიასამიძე აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება გვაღვიანობის ხარისხის მიხედვით. საქ. მეცნ. აკად. შპი-ის შრომები, “გვაღვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
  42. რ.კორძახია, ჯ.ვანჩაძე. გვაღვიანი თვეები აღმოსავლეთ საქართველოში ტემპერატურა–ნალექების კომპლექსის მიხედვით. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, “გვაღვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.

43. Зоидзе Е.К., Хомякова Т.В. Основы оперативной системы оценки развития засух и её опыт экспериментальной эксплуатации. Труды ВНИИСХМ «Проблемы агрометеорологии и агроклиматологии», вып. 34, С.-П., Гидрометеиздат, 2002.
44. Жуков В.А., Полевой А.Н., Витченко А.Н., Даниелов С.А., Математические методы оценки агроклиматических ресурсов. Л., Гидрометеиздат, 1989.
45. Даниелов С.А., Борисов О.А. К вопросу распознавания образов в задаче агроклиматической оценки декады. Труды ВНИИСХМ, вып. 4, Л., Гидрометеиздат, 1981.
46. Даниелов С.А., Жуков В.А. Типизация погодных условий вегетационного периода методами распознавания образов. Труды ВНИИСХМ, вып. 12, Л., Гидрометеиздат, 1984.
47. Зоидзе Е.К., Сухарева В.В. Методические указания по составлению „Научно-прикладного справочника по агроклиматическим ресурсам”, серия 2,4.4. “Засушливые явления на территории СССР”, Обнинск, 1991.
48. Зоидзе Е.К. О сравнительной оценке агрометеорологических условий перезимовки и формирования урожая сельскохозяйственных культур. Метеорология и гидрология, №7, 1992.
49. Жуков В.А., Святкина О.А. Агроклиматические оценки засух на территории России и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Труды ВНИИСХМ «Проблемы мониторинга засух», вып. 33, С.-П., Гидрометеиздат, 2000.
50. Зоидзе Е.К., Хомякова Т.В. Оценка засушливых явлений в Российской Федерации. Труды ВНИИСХМ «Проблемы мониторинга засух», вып. 33, С.-П., Гидрометеиздат, 2000.
51. ღარველაძე. გვალვების განვითარების კომპლექსური შეფასებისათვის. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
52. ნ.ბეგალიშვილი, თ.ცინცაძე, მ.გზირიშვილი, ნ.არუთინიანი, რ.მასხუდოვი. საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება გვალვის ინტენსივობის კომპლექსური შეფასების საფუძველზე. ჰმი-ს შრომები “კლიმატი, ბუნებრივი რესურსები, სტიქიური კატასტროფები სამხრეთ კავკასიაში”, ტომი 115, თბილისი, 2008.
53. ნ.ბეგალიშვილი, თ.ცინცაძე, ვ.შელია, მ.გზირიშვილი, რ.არველაძე. საქართველოს ტერიტორიის კომპლექსური დარაიონება გვალვების მიხედვით და ვაზის მორწყვის საჭიროების სტოქასტური პროგნოზი. სამეცნიერო

- ანგარიში, შესრულებული საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის საფუძველზე, პროექტი №GNSF/ST/07/5-201, თბილისი, 2009, 85გვ.
54. Kaczmarek Zd. Impact of Climatic Variations on Storage Reservoir Systems. WP-90-020, IIASA, Austria, 1990, 34 p.
  55. ნ.ნ.ბეგალიშვილი, ვ.ცომაია, ნ.ა.ბეგალიშვილი. კლიმატის ცვლილების პირობებში მდინარეული ჩამონადენის ცვლილების შეფასება მათემატიკური მოდელის საფუძველზე. საქ. მეცნ. აკად. ჰმი-ის შრომები “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002, გვ.133-138.
  56. Тюрк Д. Баланс почвенной влаги. Л., Гидрометеоиздат, 1958, 227 с.
  57. Бегалишвили Н.А., Таварткиладзе К.А., Бегалишвили Н.А. Оценка вековых изменений микроклимата и стока для некоторых водосборов рек Грузии. Труды Инст. гидрометеорологии АН Грузии «Проблемы гидрологии», т.№106, 2001, с.52-61.
  58. გ.სვანიძე, კ.თავართქილაძე, ნ.ბეგალიშვილი. კლიმატის ცვლილების გავლენა წყალბრუნვაზე. სამეცნიერო სესიის “ჰავის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში” მასალები. თბილისი, “მეცნიერება”, 1998, გვ.27-29.
  59. ნ.ნ.ბეგალიშვილი, ვ.ცომაია. საქართველოს გვალვიან რაიონებში მდინარეების ჩამონადენის მოსალოდნელ ცვლილებათა შეფასება. საქ. მეცნ. აკად. ჰმი-ის. შრომები “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002, გვ.122-132.
  60. ბ.ბერიტაშვილი. კლიმატის ცვლილების პრობლემებთან დაკავშირებული ტერმინოლოგიის მოკლე განმარტებითი ლექსიკონი. ჰმი გამომც., თბილისი, 2004, 74 გვ.
  61. Владимиров Л.А., Шакарашвили Д.И., Габриадзе Т.И. Водный баланс Грузии. изд. «Мецниереба», Тбилиси, 1974, 182 с.
  62. Владимиров Л.А., Гигинеишвили Г.Н., Джавахишвили А.И., Закареишвили Н.Н. Водный баланс Кавказа и его географические закономерности. Изд. «Мецниереба», Тбилиси, 1991, 142 с.
  63. Бегалишвили Н.А., Цинцадзе Т.Н., Цомая В.Ш., Лашаური К.А., Бегалишвили Н.Н., Цинцадзе Н.Т. Исследование подземного стока рек и оценка запасов грунтовых вод в Грузии. Тр.института гидрометеорологии Грузинского технического университета, Т.117, Тбилиси,2011,с.46-50.

64. K.Tavartkiladze, N.Begalishvili, T.Tsintsadze, A.Kikava. Influence of Global Warming on the Near-Surface Air Temperature Field in Georgian. Bulletin of Georgian National Academy of Sciences, Vol.6, №3, 2012, p.55-60.
65. კლიმატის ცვლილების გავლენა დედოფლისწყაროს რაიონზე. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისთვის. თბილისი, 2008.
66. თ.თურმანიძე. გვალვის შეფასების კრიტერიუმები ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემების მიხედვით. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
67. Водные ресурсы Закавказья. Под ред. Г.Г.Сванидзе, В.Ш.Цома. Л., Гидрометеиздат, 1988, 264 с.
68. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.9. Закавказье и Дагестан. Вып.1. Западное Закавказье. Под редакцией Г.Н.Хмаладзе, Л., Гидрометеиздат, 1969, 312 с.
69. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.9. Закавказье и Дагестан. Вып.1. Западное Закавказье. Под редакцией В.Ш.Цома, Л., Гидрометеиздат, 1974, 578 с.
70. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Грузинская ССР. Л., Гидрометеиздат, 1987, 416 с.
71. Сванидзе Г.Г., Гагуа В.П., Сухишвили Э.В. Возобновляемые энергоресурсы Грузии. Л., Гидрометеиздат, 1987, 174 с.
72. Колесников В.И. Экология и водные отношения Грузии, Тбилиси, «Мецნიერება», 1992, 192 с.
73. გ.ხმალაძე. საქართველოს წყლის რესურსები. საქართველოს სტრატეგიული კვლევისა და განვითარების ცენტრის ბიულეტენი, №1(2), თბილისი, 1997, გვ.2-56.
74. გ.სვანიძე, ნ.ა.ბეგალიშვილი, ვ.ცომაია, გ.ხმალაძე, რ.მესხია, ნ.ნ.ბეგალიშვილი. კლიმატის ცვლილების მიმართ წყლის რესურსების მოწყვლადობის შეფასება საქართველოს ტერიტორიაზე. კლიმატის ცვლილების ეროვნული პროგრამის ანგარიში. თბილისი, კლიმატის ცვლილების ეროვნული ცენტრის და საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ფონდები, 1998, 311 გვ.
75. გ.სვანიძე, ვ.ცომაია, რ.მესხია. საქართველოს წყლის რესურსების მოწყვლადობა და ადაპტაციის ღონისძიებები. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “ჰიდროლოგიის პრობლემები”, ტ.106, თბილისი, 2001, გვ.11-30

76. ნ.ბეგალიშვილი, თ.ცინცაძე, ვ.ცომაია და სხვ. საქართველოს ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების მართვის და მისი ცვლილების შეფასება კლიმატის გლობალური დათბობის და მზარდი ანთროპოგენური დატვირთვის გათვალისწინებით. დასკვნითი სამეცნიერო ანგარიში, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ფონდები. თბილისი, 2011, 94გვ.
77. N.Begalishvili, T.Tsintsadze, N.N.Begalishvili, N.Tsintsadze. Impact of Climate Change of River Runoff in Georgia. Annals of Agrarian Science, Vol.9, №1, 2011, p.97-99 (in Russian)
78. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. IPCC, 2007.
79. ე.ელიზბარაშვილი, ზ.ჭავჭავანიძე. გვალვები, უნალექო და ნალექიანი პერიოდები საქართველოში. “მეცნიერება”, თბილისი, 1992.
80. ე.ელიზბარაშვილი, ნ.სულხანიშვილი, ზ.ჭავჭავანიძე. გვალვა და გაუდაბნობა, მათი გამომწვევი მიზეზები და გეოგრაფია. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”,ტ.107, თბილისი, 2002.
81. Проблемы засухи и борьбы с ней. Материалы конференции. Труды Института Гидрометеорологии АН Грузии. Еом 107, Тбилиси, 2002, (на груз.из).
82. Материалы Международной конференции “Международный год планеты земля. Климат, природные ресурсы. Стихийные катастрофы на Южном Кавказе ”. Труды Института Гидрометеорологии Грузии, том 115, Тбилиси, 2008, (на груз.из).
83. ლ.პაპინაშვილი. გვალვა საქართველოში საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, „გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”,ტ.107, თბილისი, 2002.
84. რ.კორძახია, ჯ.ვაჩნაძე,თ.ალადაშვილი. გვალვიანი (ცხელი) დღეების ანალიზი აღმოსავლეთ საქართველოში. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
85. ჯ.ვაჩნაძე,რ.კორძახია, ც. დიასამიძე აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება გვალვიანობის ხარისხის მიხედვით. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
86. რ.კორძახია, ჯ.ვაჩნაძე. გვალვიანი თვეები აღმოსავლეთ საქართველოში ტემპერატურა–ნალექების კომპლექსის მიხედვით. საქ. მეცნ. აკად.

- ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
87. ზოიძე ე.კ., Хомякова Т.В. Основы оперативной системы оценки развития засух и её опыт экспериментальной эксплуатации. Труды ВНИИСХМ «Проблемы агрометеорологии и агроклиматологии», вып. 34, С.-П., Гидрометеиздат, 2002.
  88. Жуков В.А., Полевой А.Н., Витченко А.Н., Даниелов С.А., Математические методы оценки агроклиматических ресурсов. Л., Гидрометеиздат, 1989.
  89. Даниелов С.А., Борисов О.А. К вопросу распознавания образов в задаче агроклиматической оценки декады. Труды ВНИИСХМ, вып. 4, Л., Гидрометеиздат, 1981.
  90. Даниелов С.А., Жуков В.А. Типизация погодных условий вегетационного периода методами распознавания образов. Труды ВНИИСХМ, вып. 12, Л., Гидрометеиздат, 1984.
  91. ზოიძე ე.კ., Сухарева В.В. Методические указания по составлению „Научно-прикладного справочника по агроклиматическим ресурсам”, серия 2,4.4. “Засушливые явления на территории СССР”, Обнинск, 1991.
  92. ზოიძე ე.კ. О сравнительной оценке агрометеорологических условий перезимовки и формирования урожая сельскохозяйственных культур. Метеорология и гидрология , №7, 1992.
  93. Жуков В.А., Святкина О.А. Агроклиматические оценки засух на территории России и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Труды ВНИИСХМ «Проблемы мониторинга засух», вып. 33, С.-П., Гидрометеиздат, 2000.
  94. ზოიძე ე.კ., Хомякова Т.В. Оценка засушливых явлений в Российской Федерации. Труды ВНИИСХМ «Проблемы мониторинга засух», вып. 33, С.-П., Гидрометеиздат, 2000.
  95. ღარველაძე. გვალვების განვითარების კომპლექსური შეფასებისათვის. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002.
  96. ნ.ბეგალიშვილი, თ.ცინცაძე, მ.გზირიშვილი, ნ.არუთინიანი, რ.მახმუდოვი. საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება გვალვის ინტენსივობის კომპლექსური შეფასების საფუძველზე. ჰმი-ს შრომები “კლიმატი, ბუნებრივი რესურსები, სტიქიური კატასტროფები სამხრეთ კავკასიაში”, ტომი 115, თბილისი, 2008.

97. ნ.ბეგალიშვილი, თ.ცინცაძე, ვ.შელია, მ.გზირიშვილი, რ.არველაძე. საქართველოს ტერიტორიის კომპლექსური დარაიონება გვალვების მიხედვით და ვაზის მორწყვის საჭიროების სტოქასტური პროგნოზი. სამეცნიერო ანგარიში, შესრულებული საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის საფუძველზე, პროექტი №GNSF/ST/07/5-201, თბილისი, 2009, 85გვ.
98. Kaczmarek Zd. Impact of Climatic Variations on Storage Reservoir Sისტems. WP-90-020, IIASA, Austria, 1990, 34 p.
99. ნ.ბეგალიშვილი, ვ.ცომაია, ნ.ბეგალიშვილი. კლიმატის ცვლილების პირობებში მდინარეული ჩამონადენის ცვლილების შეფასება მათემატიკური მოდელის საფუძველზე. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002, გვ.133-138.
100. Тюрк Д. Баланс почвенной влаги. Л., Гидрометеоиздат, 1958, 227 с.
101. Бегалишвили Н.А., Таварткиладзе К.А., Бегалишвили Н.А. Оценка вековых изменений микроклимата и стока для некоторых водосборов рек Грузии. Труды Инст. гидрометеорологии АН Грузии «Проблемы гидрологии», т.№106, 2001, с.52-61.
102. გ.სვანიძე, კ.თავართქილაძე, ნ.ბეგალიშვილი. კლიმატის ცვლილების გავლენა წყალბრუნვაზე. სამეცნიერო სესიის “ჰავის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში” მასალები. თბილისი, “მეცნიერება”, 1998, გვ.27-29.
103. ნ.ბეგალიშვილი, ვ.ცომაია. საქართველოს გვალვიან რაიონებში მდინარეების ჩამონადენის მოსალოდნელ ცვლილებათა შეფასება. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “გვალვის და მასთან ბრძოლის პრობლემები”, ტ.107, თბილისი, 2002, გვ.122-132.
104. ბ.ბერიტაშვილი. კლიმატის ცვლილების პრობლემებთან დაკავშირებული ტერმინოლოგიის მოკლე განმარტებითი ლექსიკონი. ჰმი გამომც., თბილისი, 2004, 74 გვ.
105. Владимиров Л.А., Шакаршвили Д.И., Габриадзе Т.И. Водный баланс Грузии. изд. «Мецниереба», Тбилиси, 1974, 182 с.
106. Владимиров Л.А., Гигинеишвили Г.Н., Джавахишвили А.И., Закареишвили Н.Н. Водный баланс Кавказа и его географические закономерности. Изд. «Мецниереба», Тбилиси, 1991, 142 с.
107. Бегалишвили Н.А., Цинцадзе Т.Н., Цомая В.Ш., Лашаური К.А., Бегалишвили Н.Н., Цинцадзе Н.Т. Исследование подземного стока рек и оценка запасов грунтовых вод в

Грузии. Тр.института гидрометеорологии Грузинского технического университета,  
Т.117, Тбилиси,2011,с.46-50.