

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

წიგნი № IHM-11-01-GTU-2418

**ვამთკიცებ**  
ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს  
თავჯდომარის მოადგილე,  
გეოგრაფიის მეცნიერებათა  
დოქტორი ბ. ბერიტაშვილი

-25 დეკემბერი 2011 წ

**საქართველოს ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების  
მარაბის და მისი ცვლილების შემასება კლიმატის  
გლობალური დატბობისა და მზარდი  
ანთროპოგენური დატვირთვის ბათვალისწინებით  
(დასკვნითი ანგარიში)**

თემის სამეცნიერო ხელმძღვანელი  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის  
სამეცნიერო საბჭოს თავჯდომარე, წყლის  
რესურსებისა და ჰიდროლოგიური  
პროგნოზების განყოფილების გამგე

ნ. ბეგალიშვილი

პასუხისმგებელი შემსრულებელი,  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის  
დირექტორი

თ. ცინცაძე

პასუხისმგებელი შემსრულებელი წყლის  
რესურსებისა და ჰიდროლოგიური  
პროგნოზების განყოფილების მთავარი  
მეცნიერ თანამშრომელი

ვ. ცომაია

თბილისი  
2011

## რეზიუმე

ანგარიში .... გვ, ...ნახაზი, ...ცხრილი, დანართი ..., ლიტერატურა ...

ანგარიშის I თავში განხილულია საქართველოს მდინარეთა ზედაპირული ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელები, რომელთა აგებისათვის გამოყენებულია 40-50 წლის ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემები. ამ მოდელების საფუძველზე შემოთავაზებულია ზედაპირული ჩამონადენის მგრძობიარობის (მოწყვლადობის) განსაზღვრისა და ჩამონადენის რეაქციის შეფასების მეთოდები კლიმატური ცვლილებების პირობებში. როგორც მაგალითი, შერჩეულია პრიორიტეტული რეგიონების მდინარეთა აუზები: დასავლეთ საქართველოში – მდ.ცხენისწყლის აუზის ზემო წელი, მდ.რიონის აუზი – სოფ. ალპანას და სოფ. საქოჩაქიძეს კვეთები; აღმოსავლეთ საქართველოში – მდინარეების ალაზნისა და იორის აუზები, მდ.მტკვრის აუზი – ქ.თბილისის კვეთი. შერჩეული აუზებისთვის შეფასებულია ზედაპირული ჩამონადენის მგრძობიარობა გასულ საუკუნეში გამოვლენილ კლიმატის ცვლილებათა მიმართ. მოცემულია, ასევე, მდინარეთა ზედაპირული ჩამონადენის ცვლილების კლიმატური პროგნოზი გლობალური დათბობის კონკრეტული სცენარების პირობებში.

ანგარიშის II თავში შესწავლილია საქართველოს მდინარეთა მიწისქვეშა ჩამონადენის ფორმირების საკითხები, ნიადაგ-გრუნტის წყლების მარაგის გენეზისი, მისი გაანგარიშების საფუძველები. შემოთავაზებულია გრუნტის წყლების განსაზღვრის ოპერატიული მეთოდი, რომელიც ემყარება ზამთრის პერიოდში მდინარეთა მინიმალურ საშუალო თვის ხარჯების გამოყენებას და შედეგები შედარებულია ჰიდროგრაფის დანაწევრებით მიღებულ მახასიათებლებთან. აღნიშნულია მათი შესაბამისობა და თანხვედრა მისაღები ცდომილების ფარგლებში.

მოცემულია მიწისქვეშა ჩამონადენის რეაქციის განსაზღვრის მეთოდი კლიმატური ცვლილებების მიმართ. წარმოდგენილია კვლევის შედეგები, რომლებიც ეხება: გრუნტის წყლების მარაგის ტერიტორიულ განაწილებას (ზონალობას) და მის ცვლილებებს ადგილის სიმაღლის მიხედვით; მათი შიდაწლიური განაწილების თავისებურებებს; მარაგის დინამიკას გასული საუკუნის 50 წლიანი პერიოდისთვის; მიწისქვეშა ჩამონადენის დასახასიათებლად მდინარეთა ჰიდროგრაფიული გრძივი პროფილების კომპლექსის აგებას. შემოთავაზებულია მდინარეების საშუალო წლიური ხარჯების საპროგნოზო გამოსახულებები გრუნტის წყლების მარაგის გამოყენებით მდინარეების რიონი (სოფ. ალპანა), მტკვარი (ქ.თბილისი) და ჟინვალის წყალსაცავში ჩამდინარე ფშავის, თეთრი და შავი არაგვის წყლების მაგალითზე. წარმოდგენილია მდ.რიონი – სოფ. ალპანა და მდ.მტკვარი – ქ.თბილისის კვეთებისთვის მიწისქვეშა ჩამონადენის შესაძლო ცვლილების კლიმატური პროგნოზი გლობალური დათბობის სცენარების პირობებში.

ანგარიშის III თავში მოცემულია დასკვნითი ცხრილები დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს 15 ტერიტორიული ზონისთვის ზედაპირული ჩამონადენის რესურსებისა და გრუნტის წყლების მარაგის თანამედროვე მდგომარეობის ამსახველი მონაცემებით, მათი მოსალოდნელი ცვლილების კლიმატური პროგნოზის შედეგები გლობალური დათბობის სცენარების მიხედვით. წარმოდგენილია, ასევე, საქართველოში ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენის ამსახველი რუკა, შესაბამისი ციფრული მასალით.

## შემსრულებელთა სია

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის  
სამეცნიერო საბჭოს თავჯდომარე, წყლის  
რესურსებისა და ჰიდროლოგიური  
პროგნოზების განყოფილების გამგე,  
ფიზ.მათ. მეცნიერებათა დოქტორი

ნ. ბეგალიშვილი

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის  
დირექტორი, ტექნიკის მეცნიერებათა  
აკადემიური დოქტორი

თ. ცინცაძე

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

ვ. ცომაია

ს ა რ ჩ ე ვ ი

საქართველოს ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლების მარაგის და მისი ცვლილების შეფასება კლიმატის გლობალური დატვირთვისა და მზარდი ანთროპოგენური დატვირთვის გათვალისწინებით

I.	საქართველოს ზედაპირული წყლის რესურსების საბაზისო მდგომარეობის შესწავლა კლიმატის ცვლილების გათვალისწინებით.....	6
	კლიმატის ცვლილების მიმართ წყლის რესურსების მგრძობიარობისა და მოწყვლადობის ინდიკატორების დადგენა და ყველაზე მოწყვლადი მდინარეთა აუზების შერჩევა.....	6
1.1.	ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელების აგება.....	13
1.2.	ჩამონადენის წყალბალანსური მოდელების აგება.....	14
1.3.	1.3.1. ლ.ტიურკის მოდელი.....	14
	1.3.2. მ.ბუდიკოს მოდელი.....	14
1.4.	პრიორიტეტული რეგიონების მდინარეთა აუზებში ჩამონადენის მოწყვლადობის შეფასება კლიმატის გამოვლენილ ცვლილებათა მიმართ და ჩამონადენის ცვლილების კლიმატური პროგნოზი.....	18
	1.4.1. მდინარეთა საზრდოობის პირობები.....	19
	1.4.2. ქვემო სვანეთი, ლენტეხის რაიონი, მდ.ცხენისწყლის აუზის ზემო წელი.....	20
	1.4.3. მდ.რიონის დელტა, მდ.რიონი-ს.ალპანას კვეთი.....	28
	1.4.4. დედოფლისწყაროს რაიონი, მოსახლვრე მდინარეების ალაზნისა და იორის აუზები.....	39
	1.4.4.1. მდ.იორის აუზი.....	39
	1.4.4.2. მდ.ალაზნის აუზი.....	48
	1.4.4.3. მდ.მტკვარის აუზი (ქ.თბილისის კვეთი).....	56
1.5	დასკვნები.....	62
	ლიტერატურა.....	64
II.	საქართველოში მდინარეთა მიწისქვეშა ჩამონადენის გამოკვლევა და გრუნტის წყლების მარაგის შეფასება კლიმატის ცვლილების გათვალისწინებით	67
	წინასიტყვაობა.....	67
2.1.	მიწისქვეშა წყლების წარმოშობის ზოგიერთი საკითხი.....	67
2.2.	მიწისქვეშა წყლების გაანგარიშების (პროგნოზის) საფუძვლები	67
2.3.	სხვადასხვა მეთოდით მიღებული გრუნტის წყლების მარაგის შედარების შედეგები.....	69
2.4.	მიწისქვეშა საზრდოობის კოეფიციენტის გამოთვლის შედეგები.....	71
2.5.	მიწისქვეშა ჩამონადენის ცვლილების თავისებურებანი ადგილის სიმაღლის მიხედვით.....	71
2.6.	მიწისქვეშა წყლების მარაგის ცვლილების ხასიათი წლიური ჩამონადენის ცვლილების ფონზე.....	74
2.7.	გრუნტის წყლის შიდაწლიური განაწილების თავისებურებანი.....	76
2.8.	მდინარეთა საშუალო წლიური ხარჯების გაანგარიშება (პროგნოზი) მიწისქვეშა წყლების საშუალო წლიური ხარჯების საფუძველზე..	77
	2.8.1. უინვალის წყალსაცავში ჩამდინარე წყლების წლიური პროგნოზი.....	77
	2.8.2. მდინარე რიონი-ალპანას ჰიდროლოგიურ კვეთში ჩამონადენის	78

	პროგნოზი.....	
	მდინარე მტკვარი-ქ.თბილისის ჰიდროლოგიურ კვეთში	
2.8.3	ჩამონადენის პროგნოზი.....	79
2.9.	მიწისქვეშა ჩამონადენის მგრძობიარობა კლიმატური ცვლილებების მიმართ და მისი რეაქციის შეფასება.....	81
2.10	დასკვნა	84
	ლიტერატურა	85

## 1.საქართველოს ზედაპირული წყლის რესურსების საბაზისო მდგომარეობის შესწავლა კლიმატის ცვლილების გათვალისწინებით

როგორც ცნობილია, საქართველოს მტკნარი წყლის რესურსები შედგება: (ა) მდინარეული ჩამონადენის ზედაპირული და მიწისქვეშა მდგენელებისაგან; (ბ) მიწისქვეშა წყლებიდან, რომლებიც არ მონაწილეობენ მდინარეულ საზრდოობაში და ჩაედინებიან უშუალოდ ზღვაში; (გ) მყინვარების, ტბების და ჭაობების წყლებიდან[39,51-53].

საქართველოს ზედაპირული წყლის ჯამური რესურსები 100 კმ<sup>3</sup>-ს აღემატება. აქედან, მდინარეების წილად მოდის დაახლოებით 65 კმ<sup>3</sup>, მყინვარების - 30 კმ<sup>3</sup>, ტბების - 0.7 კმ<sup>3</sup>, წყალსაცავების - 3.3 კმ<sup>3</sup>, ჭაობების - 1.9 კმ<sup>3</sup> მოცულობის წყალი, მათ შორის დაახლოებით 36 კმ<sup>3</sup>, რომელიც თავმოყრილია მყინვარებში, ტბებში, წყალსაცავებსა და ჭაობებში, წყლის რესურსების საუკუნოვან მარაგს წარმოადგენს და წყლის წრებრუნვაში ნაკლებ მონაწილეობას იღებს. 65.2 კმ<sup>3</sup> მოცულობის მდინარის ჯამური წლიური ჩამონადენიდან 56.5 კმ<sup>3</sup> ფორმირდება საქართველოს ტერიტორიაზე, რაც მთელი ჩამონადენის 87%-ს შეადგენს. დანარჩენი 8.7 კმ<sup>3</sup> (13%) შემოდის მის გარეთ მდებარე სომხეთის და თურქეთის ტერიტორიებიდან. საქართველოში ეს რესურსები არათანაბრადაა განაწილებული. დასავლეთ საქართველოზე მოდის 50.4 კმ<sup>3</sup> ან 77% წლიური ჩამონადენისა (43.8 კმ<sup>3</sup> - ადგილობრივი და 6.6 - ტრანზიტული), ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოზე - 11.8 კმ<sup>3</sup> ან 23% (12.7 კმ<sup>3</sup> - ადგილობრივი და 2.1 კმ<sup>3</sup> -ტრანზიტული). რეგიონებში ჰიდროლოგიურ თავისებურებათა დიდ მრავალფეროვნებას განსაზღვრავს მთა-გორიანი ქვეყნისათვის დამახასიათებელი ფიზიკურ-გეოგრაფიული და კლიმატური პირობების მრავალსახეობა.

მონაცემები რეგიონში ზედაპირული ჩამონადენის რეჟიმის მრავალწლიურ მახასიათებლებზე და წყლის რესურსებზე შესულია მდინარეთა ჰიდროგრაფიული აღწერის მონოგრაფიული ხასიათის შრომებში [39,46-48,51-53]. გარდა მდინარეებისა, მათში წარმოდგენილია, აგრეთვე, მონაცემები არხებზე, ტბებზე და წყალსაცავებზე. ცალკე ტბებისა და წყალსაცავების ჰიდროგრაფიულ აღწერას ეძღვნება ნაშრომები [49,50]. ყველა ამ საცნობარო გამოცემებში გამოყენებულია ძირითადად გასული საუკუნის დაკვირვებათა მასალები - ინფორმაცია ჰიდროლოგიურ რიგებზე შემოსისაზღვრება 60-70-იანი წლების მონაცემებით. მოგვიანებით, 90-იანი წლების დასაწყისისთვის გამოცემულ მონოგრაფიებშიც კი წყლის რესურსების მდგომარეობის შეფასება ეყრდნობა დაკვირვებათა მასალებს 1980 წლის ჩათვლით [39,51]. მხოლოდ გაეროს კლიმატის ჩარჩო კონვენციაზე საქართველოს პირველი ეროვნული შეტყობინების ანგარიშის შედგენისას ნაწილობრივ გამოყენებულია 80-იანი წლების ჰიდროლოგიური მონაცემები [3,19,36]. ამრიგად, საქართველოში ზედაპირული წყლის რესურსების თანამედროვე საბაზისო მდგომარეობის დასაზუსტებლად აუცილებელია ბოლო თითქმის 25 წლიანი პერიოდის დაკვირვებათა რაც შეიძლება სრულად გათვალისწინება.

### 1.1. კლიმატის ცვლილების მიმართ წყლის რესურსების მგრძობიარობისა და მოწყვლადობის ინდიკატორების დადგენა და ყველაზე მოწყვლადი მდინარეთა აუზების შერჩევა

**პრობლემის მდგომარეობა** დედამიწაზე მიმდინარე გლობალური დათბობის ფონზე, რაც მსოფლიო მეტეოროლოგიური ქსელის მონაცემებით შეფასებულია დაახლოებით 0.6 °C-ით XX საუკუნის განმავლობაში, სამხრეთ კავკასიაში კლიმატური სისტემის რეაქცია ძალზე არაერთგვაროვანი აღმოჩნდა. კერძოდ, გამოვლენილი იყო საკმარისად მნიშვნელოვანი საუკუნოვანი დათბობა აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ცალკეულ შემთხვევაში საშუალო წლიური ტემპერატურის ზრდის მაქსიმალური შეფასებით 0.5-0.7 °C და ზომიერი აცივება დასავლეთ საქართველოში ტემპერატურის მაქსიმალური დაწვეით მის ზოგიერთ რაიონებში

0.3-0.5 °C–ით [1-3]. არაერთგვაროვანი აღმოჩნდა, აგრეთვე, ნალექთა ჯამების ცვლილება 1936-1995 წლების განმავლობაში დაკვირვებათა 60-წლიანი პერიოდისათვის [3-5]. საქართველოს ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე გამოვლენილ იქნა წლიური 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. ნალექთა წლიური რაოდენობის ზრდის მაქსიმუმი დაფიქსირდა აღმოსავლეთ საქართველოს დედოფლისწყაროს რაიონში, სადაც მატებამ შეადგინა 10-15%. ამასთან, ატმოსფეროს ტენშემცველობა საქართველოს ტერიტორიაზე მთლიანობაში არ შეცვლილა, თუმცა დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს ცალკეულ რაიონებში დაფიქსირებული იყო მათი საუკუნეობრივი სვლის ორივე ნიშნის ტენდენციები [6-8]. კავკასიაში კლიმატის არაერთგვაროვანი რეაქცია გლობალურ დათბობაზე შეიძლება აიხსნას ადგილობრივი ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობებით, შავი და კასპიის ზღვების გავლენით, მთიან რეგიონში მიმდინარე მეზო-და მიკროციკლაციური პროცესებით, ბუნებრივ გარემოზე მზარდი ანთროპოგენული ზემოქმედების სივრცით-დროითი განაწილების თავისებურებებით.

წყალბრუნვის ციკლი სისტემაში „ატმოსფერო-ქვეფენილი ზედაპირი“ შეიცავს წყლის ორთქლის გარდასახვებს შემდეგი სქემის მიხედვით: „ტენშემცველობა ან წყლის მარაგი ატმოსფეროში-ღრუბლიანობა-ნალექები-აორთქლება-ჩამონადენი“. რადგან ღრუბლიანობა, ნალექები და აორთქლება მნიშვნელოვნად დამოკიდებული არიან ატმოსფეროში ტემპერატურისა და სინოტივის რეჟიმზე, მისმა ცვალებადობამ შეიძლება გამოიწვიოს ტენბრუნვის კომპონენტების, კერძოდ კი ჩამონადენისა და წყლის რესურსების საგრძნობი ცვლილება [9-12].

ამრიგად, მოსალოდნელია ჩამონადენის განსხვავებული რეაქცია კლიმატური ცვლილებების ამ არაერთგვაროვნობის მიმართ საქართველოს დასავლეთ და აღმოსავლეთ რეგიონების მდინარეთა აუზებში. კლიმატური ცვლილებები, უპირველეს ყოვლისა ტემპერატურის და ნალექების ვარიაციები, მოქმედებენ რა ჰიდროლოგიური ციკლის კომპონენტებზე – აორთქლებაზე, ევაპოტრანსპირაციაზე, თოვლ-წვიმიან და მყინვარულ საზრდოობაზე, ფილტრაციაზე, გრუნტის წყლებზე, მდინარეთა ჩამონადენზე, იწვევენ მათი რეჟიმების ცვლილებას [13-15]. შეიძლება დავასკვნად, რომ კლიმატური ცვლილებების არაერთგვაროვნობის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან შედეგად გახდება მდინარეთა ჩამონადენის განსხვავებული რეაქცია, მათი ჰიდროლოგიური რეჟიმის და მთლიანად საქართველოს წყლის რესურსების ცვლილება. ამ ცვლილებათა ტენდენციებზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ეკონომიკის დარგების მდგრადი განვითარება, განსაკუთრებით სოფლის მეურნეობის და ჰიდროენერგეტიკის, მოსახლეობის წყალმომარაგების, წყალრესურსული და წყალსამეურნეო სისტემების ფუნქციონირება. ამიტომ, კლიმატური ვარიაციების მიმართ მდინარეთა ჩამონადენის რეაქციის, მდინარეთა ჰიდროლოგიური რეჟიმისა და წყლის რესურსების ცვლილების გამოკვლევა ძალზე აქტუალურია და გააჩნია როგორც სამეცნიერო, ასევე გამოყენებითი მნიშვნელობა. აღვნიშნავთ, რომ პირველად ამ მიმართულებით გამოკვლევები დაწყებული იყო საქართველოში კლიმატის ცვლილების პირველი ეროვნული შეტყობინების პროექტის შესრულებასთან დაკავშირებით [3,16].

**ამოცანის დასმა.** წყლის ბალანსზე და ჩამონადენის ფორმირებაზე კლიმატის ცვალებადობის გავლენის გამოკვლევაში შეიძლება გამოვეყნოთ ორი მიდგომა. თანახმად პირველი მიდგომისა, კლიმატის მაფორმირებელი ფაქტორების ცვლილებების გავლენას მდინარეთა ჩამონადენზე სწავლობენ ძირითადად ემპირული მონაცემების საფუძველზე [15,17-21]. მაგალითად, [17]-ში გამოყენებულია ყოფილ

საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე განლაგებული 640 ჰიდროლოგიური საგუშაგოს 1951-1980 წლების მონაცემები მდინარეთა საშუალო წლიური ჩამონადენის შესახებ, რომელთა რეჟიმი არ არის დამახინჯებული ადამიანის სამეურნეო ქმედებით. გამოყენებულია, აგრეთვე 44 მეტეოსადგურის მონაცემები ჰაერის საშუალო წლიურ ტემპერატურაზე და 52 სადგურისა – ნალექთა წლიურ ჯამებზე. ემპირიული რიგების დინამიკის შესასწავლად ჩატარებულია მათი წინასწარი გასწორება (გაგლუვება), წრფივი ტრენდების აგება უმცირეს კვადრატთა მეთოდის დახმარებით. მოცემულია საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე საშუალო წლიური ჩამონადენის, ნალექთა ჯამებისა და ჰაერის ტემპერატურის ცვლილებათა განაწილება განხილულ პერიოდში. კერძოდ, კავკასიაში არ არის დაფიქსირებული ტემპერატურისა და ნალექების ცვლილება, მაგრამ, აღნიშნულია საქართველოს ტერიტორიაზე მდინარეთა ჩამონადენის დადებითი ტრენდები. ეს წინააღმდეგობრივი შედეგი შეიძლება აიხსნას რეგიონის კვლევისათვის გამოყენებულ მცირერიცხოვან სადგურთა მონაცემებით და დაკვირვებათა შედარებით მოკლე რიგებით. აუცილებელია ამ საკითხის უფრო ღრმად შესწავლა.

[15]-ში წარმოდგენილია რუსეთის ფედერაციაში წყლის რესურსებისა და მდინარეებში წყლის რეჟიმის თანამედროვე და საპროგნოზო ცვლილებები, გამოწვეული კლიმატური ვარიაციებით. წყლიანობის თანამედროვე ცვლილების გამოსაკვლევად გამოყენებულია 300-ზე მეტი მდინარის ჩამონადენის მონაცემი, რომლებსაც ახასიათებთ ხანგრძლივი დაკვირვებების რიგები და გააჩნიათ ჰიდროლოგიური რეჟიმი, თავისუფალი სამეურნეო ზემოქმედებიდან. ბოლო ათწლეულებში უმეტეს მდინარეებისათვის გამოვლენილია წყლის რესურსების მატება. წყლიანობის მნიშვნელოვანი ზრდა დაიკვირვება მდ.ვოლგის აუზში, რომლის ჩრდილოეთ და ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილებში 1978-2000 წლების პერიოდში საშუალო წლიურმა ჩამონადენმა გადაამეტა ნორმას 20-30%-ით. აღნიშნულია, რომ ეს მატება იმყოფება წლიური ჩამონადენის ბუნებრივი ცვალებადობის საზღვრებში. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შესრულებულია რუსეთის ტერიტორიის დარაიონება მდინარეების წლიური და სეზონური ჩამონადენის თანამედროვე ცვლილებათა ხარისხის მიხედვით. უახლოეს ათწლეულებში წყლის რესურსების და ჰიდროლოგიური რეჟიმის მოსალოდნელ ცვლილებათა შესაფასებლად შემოთავაზებულია მეთოდოლოგია, დაფუძნებული „კლიმატი-წყლის რესურსები“ სისტემაში პროცესების მოდელირებაზე. ამისათვის გამოყენებულია კლიმატური სცენარები, მიღებული ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაციის მოდელებიდან. გაკეთებულია დასკვნა, რომლის მიხედვით XXI საუკუნის პირველ ნახევარში არ არის მოსალოდნელი მოსახლეობის წყალუზრუნველყოფისა და ეკონომიკის გაუარესება რუსეთის უმეტეს ტერიტორიაზე.

შრომაში [20], რომელიც ეხება კლიმატის ცვლილების გავლენას კავკასიის მდინარეთა ჩამონადენზე, აღნიშნულია ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა რაოდენობის მატება დიდ კავკასიონზე და მის მთისწინა რაიონებში. ზოგიერთ მდინარისათვის გამოვლენილია ჩამონადენის ზრდა – ტრენდი დადებითია და შეადგენს 0.015 – 0.120 მმ/(წმ•წელი) (მაგალითად მდინარეები სულაკი, ლაბა, მზიმთა და სხვ.), ხოლო სხვებზე დაფიქსირდა ჩამონადენის შემცირება – ტრენდი უარყოფითია და იგი ტოლია 0.015 – 0.700 მმ/(წმ•წელი) (მდინარეები მტკვარი, ენგური, თერგი, ყუბანი, კუმა და სხვ.). კლიმატურ სცენარს საფუძველად დაედო პალეოკლიმატური მონაცემები. აღნიშნულია, რომ XXI საუკუნის პირველ ნახევარში კავკასიაში მოსალოდნელია მატება ჰაერის ტემპერატურის 3-6 °C-ით, ხოლო ნალექთა წლიური რაოდენობის – 10-25%-ით. ამ სცენარის მიხედვით 2050 წლისათვის დიდი კავკასიონის ჩრდილოეთ კალთებზე ვარაუდობენ ჩამონადენის ზრდას 37%-ით, ხოლო სამხრეთ ფერდობებზე – 32%-ით. თანამედროვე გამყინვარების ფართობი დაიკლებს და 2000-2050 წწ პერიოდისათვის შემცირდება 30%-ით. ამან უნდა გამოიწვიოს მყინ-



ვარული ჩამონადენის კლება 37%-ით. ჩამონადენის მოცულობის გაზრდა გამოიწვევს ნეგატიურ შედეგებსაც – ეროზიული პროცესების ინტენსიურობისა და დვარცოფული აქტიურობის მატებას, კატასტროფული წყალდიდობების განმეორადობის ზრდას.

ემპირიულ-სტატისტიკური კავშირების გამოყენებაზე აგებულია გამოკვლევა სომხეთში მდინარული ჩამონადენის პროგნოზთან დაკავშირებით კლიმატის გლობალური ცვლილების სხვადასხვა სცენარების პირობებში [18]. შესწავლილია ჩამონადენის კავშირი ჰაერის ტემპერატურას და ატმოსფერულ ნალექებთან 10 აუზისათვის. დადგენილია, რომ მაღალმთიან პირობებში ჩამონადენი ძირითადად ან უცვლელია, ან გააჩნია ზრდის ტენდენცია. მთისწინეთისა და მთიანი აუზებისათვის რაიმე განსაზღვრული კანონზომიერება არ გამოვლინდა.

მდინარეთა ორი ტიპური აუზისათვის, რომლებიც მდებარეობენ აცივების (მდ. სუფსა, დასავლეთ საქართველო) და დათბობის (მდ. ხრამი, აღმოსავლეთ საქართველო) რეგიონებში, ჩატარებულია ჰაერის და ნიადაგის ტემპერატურების, წყლის ორთქლის პარციალური წნევის, შეფარდებითი სინოტივის, ნალექებისა და ჩამონადენის საუკუნოვან ცვლილებათა შეფასება [22]. მეტეოელემენტების და ჩამონადენის ცვლილების სიდიდეები განსაზღვრულია წრფივი ტრენდების აგებით, რომლებიც წარმოადგენენ ემპირიული რიგებში საშუალო თვიურ მახასიათებელთა მრავალწლიური რყევადობის აპროქსიმაციას 1906-1995წწ პერიოდისათვის. დადგენილია, რომ მდ.სუფსას აუზში ჰაერის და ნიადაგის ტემპერატურების საუკუნოვანი კლება მიმდინარეობს ატმოსფეროს ტენშემცველობის მცირე რყევადობისა და წყალშემკრებზე ნალექების მნიშვნელოვანი შემცირების ფონზე, რასაც თან არ ახლავს ჩამონადენის სიდიდის შესამჩნევი ცვლილება. აღნიშნული შეუსაბამობა ახსნილია თოვლის საფარში ატმოსფერული ტენის კონდენსაციის შედეგად დამატებითი წყლის მარაგის ფორმირებით.

მდ. ხრამის აუზში ჰაერის და ნიადაგის ტემპერატურების მატება აღინიშნება ატმოსფეროს ტენშემცველობის, ნალექებისა და ჩამონადენის პრაქტიკულად უცვლელი სიდიდეების პირობებში.

თითოეულ საკვლევ რაიონში ჩამონადენისა და ნალექების საშუალო თვიურ მნიშვნელობათა შორის კავშირის გამოხატვისათვის შემოთავაზებულია ემპირიულ-სტატისტიკური გამოსახულებანი.

მეორე მიდგომის თანახმად რიგ შრომებში [14,23-32] კლიმატწარმოქმნელ ფაქტორების ცვლილებაზე მდინარეთა ჩამონადენის რეაქციის რეგიონალურ თავისებურებათა შესწავლისათვის გამოყენებულია ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელები. მაგალითად, [30]-ში დამუშავებულია წყლის ბალანსის სტოქასტური მოდელი, რომელიც იძლევა საშუალებას გამოთვლილ იქნას ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილება თვეების მიხედვით. იგი აკმაყოფილებს შემდეგ ძირითად მოთხოვნებს: ა) შემომავალი პარამეტრები წარმოადგენენ მეტეოროლოგიურ და ჰიდროლოგიურ დაკვირვებათა სტანდარტულ მონაცემებს; ბ) იგულისხმება, რომ ცნობილია კლიმატური ელემენტებისა და ზედაპირული პროცესების რიგი გასაშუალებელი მახასიათებლები; გ) მოდელის საკალიბრო პარამეტრების რიცხვი მცირეა; დ) კლიმატის ცვლილებათა მიმართ წყლის ბალანსის მგრძობიარობის დადგენა შესაძლებელია ალტერნატიული კლიმატური სცენარების მიხედვით, რომლებსაც საფუძვლად უდევს “ისტორიული” მონაცემები. სხვადასხვა სცენარების გათვალისწინება ხდება მოდელის შემავალი პარამეტრების საშუალებით. მოდელის სტოქასტურობას განაპირობებს წყლის ბალანსის კომპონენტთა, აგრეთვე შემომავალი და გამომავალი პარამეტრების აღწერა ალბათობათა განაწილებებით. მოდელი გამოყენებულია ევროპისა და აფრიკის ზოგიერთი მდინარის ჩამონადენის მგრძობიარობის დასადგენად წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების კლიმატურ ცვლილებათა მიმართ.

[24,25,28]-ში ყაზახეთის პირობებისათვის გამოკვლეულია ჰავის ანთროპოგენულ ცვლილებათა შესაძლო გავლენა მდინარეების ჩამონადენზე, ზედაპირული წყლების რესურსებზე. ამისათვის გამოყენებულია მთის მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელი, დამუშავებული [40]-ში. იგი აღწერს თოვლდაგროვების პროცესებს, წვიმის მოსვლას წყალშემკრებზე, ჯამურ აორთქლებას, აქტიური ტენზონის ზონაში წყლის მარაგის ცვლილებებს, ნიადაგ-გრუნტის გაყინვას და გაღებობას, ატმოსფერული ნალექების დაკავებას მცენარეული საფარით, ზედაპირული, ნიადაგ-გრუნტოვანი და გრუნტოვანი ჩამონადენის ფორმირებას, მდინარის ქსელში წყლის მიდინებას, ჩამკეტ კვეთში ჩამონადენით მის ტრანსფორმაციას. მოდელის ძირითად შემავალ პარამეტრებს წარმოადგენენ ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების დედამური საშუალო მნიშვნელობები. მოდელირება წარმოებს 24-საათიანი დროითი ინტერვალებით. შესაძლებელია მოდელის პარამეტრების შეცვლა ზონალური სიმაღლეების, მთის ფერდობების დახრილობისა და ექსპოზიციის, ქვეფენილი ზედაპირის ხასიათის (ღია, ტყიანი, მყინვარული და სხვ.) მიხედვით. გამოყენებულია კლიმატური სცენარის სხვადასხვა ვარიანტი, რომელიც მიღებულია ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაციის მოდელირების შედეგად და ითვალისწინებს ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების ცვლილებას ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის გაორკეცებისას [33]. ყველაზე მისაღები კლიმატური სცენარის გათვალისწინებით აღნიშნულია ყაზახეთის ზედაპირული წყლის რესურსების საგრძნობი შემცირება, რომელიც ყველაზე მკვეთრად გამოხატულია უხვწყლიან წლებში. ეს კი იწვევს ასეთი წლების განმეორადობის შემცირებას.

[23]-ში განხილულია თვის წყლის ბალანსზე აგებული მოდელი, რომელიც იძლევა საშუალებას გამოთვლილი იქნას წყლიანობის დანაკარგები, წვიმის და თოვლის ნაღობი ჩამონადენი, აორთქლება, ნიადაგში ტენის ცვლილება, მისი ფილტრაცია და მიწისქვეშა წყლების მარაგი, აგრეთვე, საბაზისო ჩამონადენის მნიშვნელობა რეგულარული ბადის საკვანძო წერტილებში. მოდელის პარამეტრების იდენტიფიკაციისათვის შესაძლებელია გამოყენებული იყოს ოპტიმიზაციის მეთოდები. წარმოდგენილია თანამედროვე მდგომარეობის მიმართ წყლის ბალანსის ელემენტების ანომალიების შეფასების შედეგები მდ. ვოლგა – ვოლგოგრადის კვეთში.

ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაციის მოდელის საფუძველზე განხილულია სამხრეთ-აღმოსავლეთ აზიის ტერიტორიის დატენიანების სცენარი 2050 წლის დონისათვის [29]. აღინიშნება, რომ მოსალოდნელია ნალექების შემცირება, აორთქლების ზრდა, ჩამონადენის კლება. ზოგადად შემცირდება წყლის რესურსები და გაიზრდება საირიგაციო მოთხოვნები.

[31]-ში ჰიდრომეტეოროლოგიურ მონაცემთა გამოყენებით ჩატარებულია წყლის ბალანსის ტიპის მოდელის კალიბრება, რომელიც გამოყენებულია მდ. ალიაკმონის აუზისათვის ჩრდილოეთ საბერძნეთში. კლიმატის ცვლილების სხვადასხვა სცენარებისათვის შეფასებულია ჩამონადენის რყევა 2020, 2032, 2050 და 2100 წლების დონეებისათვის. ყველა რეალური კლიმატური სცენარისათვის მიღებულია წლის და ზამთრის საშუალო ჩამონადენის შემცირება. განხილული აუზებისათვის მოსალოდნელია მშრალი და ტენიანი პერიოდების ცვლილებები.

ზემოთ მოცემულ მიმოხილვაში განხილულ სამუშაოთა შედეგების გათვალისწინებით შემდგომ კვლევებში გამოყენებული იქნება ორივე მიდგომის ელემენტები. კერძოდ, კლიმატურ ცვლილებათა მიმართ საქართველოს მდინარეთა ჩამონადენის მგრძობიარობა (მოწვევადობა [34]) შესწავლილი იქნება ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური ტიპის მოდელის საფუძველზე. ჩამონადენის შესაძლო ცვლილებათა პროგნოზისათვის გამოყენებულ კლიმატურ სცენარებში კი შეტანილი იქნება ჰავის მაფორმირებელი ელემენტების

ცვლილებათა ტენდენციები, რომლებიც მიღებულია ემპირიული მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე [1-9].

როგორც ვიცით, ზედაპირული წყლის რესურსების მარაგს ცალსახად განსაზღვრავენ მდინარეთა წლიური ჩამონადენის ჯამური სიდიდით, მყინვარებში, ტბებში, წყალსაცავებში, ჭაობებში დაგროვილი წყლის მოცულობით. 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 [30,37] მოცემულია კლიმატური პარამეტრების ცვლილებათა მიმართ მდინარეული ჩამონადენის მგრძობიარობის შეფასების მეთოდიკა. კერძოდ, თუ წყალშემკრებს განვიხილავთ როგორც ფიზიკურ სისტემას, რომლის ინტეგრალური მახასიათებელი – ჩამონადენი

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \tag{1.1}$$

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

$$\left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_{x_1=x_{10}, \dots, x_n=x_{n0}}, i = 1, 2, \dots, n. \tag{1.2}$$

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

$$dy = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) dx_i. \tag{1.3}$$

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 [2,3,16,22,35,36]. ნაშრომში [37] წარმოდგენილი მეთოდიკა რეალიზებულია ჩამონადენის ფორმირების დ.ტიურკის მოდელის საშუა-

აღებით, რომელიც ემყარება წყლის ბალანსის განტოლებას და ფართოდ გამოიყენება წყლის რესურსების შეფასებისას [38]. შევნიშნავთ, რომ არავითარი შეზღუდვა მოდელის ტიპის მიმართ არ არსებობს. იგი შეიძლება იყოს, როგორც ემპირიულ-სტატისტიკური, ასევე დეტერმინისტური და იძლეოდეს საშუალებას (1.1) ფუნქციონალური კავშირის ცხადი (ანალიზური) სახით წარმოდგენისა.

მეთოდთა გამოყენებული იქნება საქართველოს ძირითადი მდინარეების თითოეული წყალშემკრებისათვის, რაც საშუალებას მოგვცემს არა მარტო რაოდენობრივად შევაფასოდ ჩამონადენის მგრძობიარობა ცალკეული აუზების მიხედვით, არამედ გავცეთ მისი ცვლილების პროგნოზი განსაზღვრული კლიმატური სცენარის მიხედვით.

კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებული IPCC-ის განმარტების თანახმად, ასევე ტერმინოლოგიის განმარტებით ლექსიკონში [34], ფიზიკური (მაგალითად, კლიმატური) სისტემის მოწვევადობა 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 თუ სასურველი ზემოქმედების ხარისხი (სიდიდე). შედეგი ამ ზემოქმედებისა შეიძლება იყოს უშუალო, მაგალითად, ჩამონადენის ცვლილება, ასევე შეიძლება იყოს მეორადი, მაგალითად, ზარალი, გამოწვეული წყალმოვარდნების/წყალდიდობების სიხშირის 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:

$$V=R-A \quad (1.4)$$

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

(1.4)-ში შემავალი კლიმატური რისკები განსაზღვრულია როგორც

$$R=HV, \quad (1.5)$$

სადაც  $H$  – ექსტრემალური მოვლენის რისკია (ხდომილება), ე.ი. მოვლენის მოხდენის ალბათობა, ხოლო  $V$  – მოწვევადობა. (1.5)-ის ჩასმით (1.4)-ში ვღებულობთ

$$V=HV-A, \quad (1.6)$$

საიდანაც ადაპტაციისათვის მიიღება შემდეგი გამოსახულება

$$A=HV-V=(H-1)V. \quad (1.7)$$

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

$$A=-(1-H)V, \quad (1.8)$$

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

## 1.2. 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 აპროქსიმაცია) გამოყოფით. ასევე, ჩატარდება კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზი (1.1) ტიპის მრავალცვლადიანი რეგრესიული განტოლებების მისაღებად, რომლებიც ჩამონადენს ჩამკეტ 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

$$t = f_1(H), P = f_2(H), R = f_3(H) \quad (1.9)$$

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 (1.9)-სა,  $P$  და  $R$  წარმოვადგინოთ, როგორც ტემპერატურის ფუნქციები:

$$P = f_2[f_1^{-1}(t)] = \varphi_1(t) \text{ და } R = f_3[f_1^{-1}(t)] = \varphi_2(t) \quad (1.10)$$

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

(გ) თუ ცნობილია (1.10)-ის ტიპის ანალიზური ფუნქციები, მაშინ მათი გამოკლებით შეიძლება მივიღოთ

$$R - P = \varphi_2(t) - \varphi_1(t), \quad (1.11)$$

და განვსაზღვროთ ჩამონადენი როგორც ნალექთა ჯამების და ტემპერატურის ფუნქცია:

$$R = P + \varphi_2(t) - \varphi_1(t) \equiv R(P, t) \quad (1.11)$$

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

$$R = f(P), \quad (1.13)$$

$$R = \varphi(t) \quad (1.14)$$

მაშინ (1.13)-ის და (1.14)-ის შეკრებით ვღებულობთ

$$2R = f(P) + \varphi(t), \quad (1.15)$$

საიდანაც

$$R = \frac{1}{2} [f(P) + \varphi(t)] \equiv R(P, t) \quad (1.16)$$

იგივე (1.16) დამოკიდებულების მიღება შესაძლებელია, ასევე, უშუალოდ მრავალცვლადიანი რეგრესიული კავშირის დადგენით.

### 1.3. ჩამონადენის წყალბალანსური მოდელების აგება

განვიხილოთ ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელი, რომელიც ემყარება წყლის ბალანსის განტოლებას და ფართოდ გამოიყენება რეგიონალური წყლის ბალანსის და რესურსების დადგენისას [40,39,41]:

$$R = P - E \quad (1.17)$$

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 [38] ან მ.ბუდიკოს [42] ფორმულებს, მაშინ (1.17) 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 (1.2) და (1.3) გამოსახულებათა მნიშვნელობები და საბოლოოდ დადგენილ იქნას ჩამონადენის მგრძნობიარობა კლიმატის მახასიათებლების ცვლილებათა მიმართ.

#### 1.3.1 ლ.ტიურკის მოდელი

ამ შემთხვევაში წყლის ბალანსის (1.17) განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$R = P \left[ 1 - \frac{L}{\sqrt{cL^2 + P^2}} \right] \quad (1.18)$$

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

$$c = \frac{P^2(L - P + R)(L + P - R)}{L^2(P - R)^2} \quad (1.19)$$

ლ.ტიურკის მოდელის შემთხვევაში (1.3) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$dR = \left( \frac{\partial R}{\partial P} \right)_0 dP + \left( \frac{\partial R}{\partial T_1} \right)_0 dT_1 \quad (1.20)$$

სადაც (1.2) და (1.18)-ის გათვალისწინებით ვღებულობთ:

$$\frac{\partial R}{\partial P} = 1 - \frac{L}{\sqrt{cL^2 + P^2}} + \frac{LP^2}{(cL^2 + P^2)\sqrt{cL^2 + P^2}} \quad (1.21)$$

$$\frac{\partial R}{\partial T_1} = - \frac{(cL^2 + P^2)^{1/2} - cL^2(cL^2 + P^2)^{-1/2}}{cL^2 + P^2} P(25 + 0.15T_1^2) \quad (1.22)$$

#### 1.3.2 მ.ბუდიკოს მოდელი

ამ შემთხვევაში წყლის ბალანსის (1.17) განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$R = P - \sqrt{crP[1 - \exp(-r/P)]} h(P/r) \quad (1.23)$$

სადაც  $r = 12.61[(1-A)Q - F]$  – აუზის ქვეფენილი ზედაპირის რადიაციული ბალანსია, რომელიც გადაყვანილი კოეფიციენტის საშუალებით მოიცემა მმ-ში.  $Q$  – მოკლევალდლოვანი (პირდაპირი და გაბნეული რადიაციული ნაკადების ჯამი) და  $F$  – გრძელვალდლოვანი (ეფექტური გამოსხივება) ბალანსის მდგენელებია გამოსახული  $g\text{ჯ}/\text{მ}^2\text{-ში}$ ,  $A$  – ქვეფენილი ზედაპირის ალბედოა,  $c$  – მოდელის

საკალიბრო მუდმივა. R, P და r-ის ცნობილ კლიმატურ მნიშვნელობებისათვის საკალიბრო მუდმივას გამოთვლა შეიძლება ფორმულით

$$c = \frac{(P - R)^2}{rP[1 - \exp(-r/P)]\text{th}(P/r)} \quad (1.24)$$

მ.ბუდიკოს მოდელის შემთხვევაში (1.3) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:  
 $dR = (\partial R / \partial P)_0 dR + (\partial R / \partial r)_0 dr$ , (1.25)

სადაც (1.2) და (1.23)-ის გათვალისწინებით ვღებულობთ:

$$\frac{\partial R}{\partial r} = 1 - \frac{cr}{2} \frac{[1 - \exp(-r/P)]\text{th}(P/r) - \frac{r}{P} \exp(-\frac{r}{P})\text{th}(\frac{P}{r}) + \frac{P}{r} \frac{1 - \exp(-r/P)}{\text{ch}^2(P/r)}}{\sqrt{crP[1 - \exp(-r/P)]\text{th}(P/r)}}, \quad (1.26)$$

$$\frac{\partial R}{\partial P} = -\frac{cP}{2} \frac{[1 - \exp(-r/P)]\text{th}(P/r) + \frac{r}{P} \exp(-r/P)\text{th}(\frac{P}{r}) - \frac{P}{r} \frac{1 - \exp(-r/P)}{\text{ch}^2(P/r)}}{\sqrt{crP[1 - \exp(-r/P)]\text{th}(P/r)}}. \quad (1.27)$$

მივიღოთ (1.25)-ში შემავალი dr-ის გამოსახულება ცხადი სახით. ამისათვის მივმართოთ r-ის მნიშვნელობას და მოვნახოთ მისი დიფერენციალი. ჩავთვალოთ, რომ ალბედოს ცვლილებას ადგილი არა აქვს, ე.ი. აუზის ქვეფენილი ზედაპირი დროთა განმავლობაში არ განიცდის საგრძნობ ტრანსფორმაციას. მაშინ გვექნება

$$dr = 12.61[(1 - A)dQ - dF] \quad (1.28)$$

შევნიშნოთ, რომ ალბედოს ცვლილების გათვალისწინება არ ქმნის დიდ გამოთვლით სიძნელეებს.

[44]-ში მოცემულ გამოსახულებათა საფუძველზე გვექნება:  
 $Q = Q^0[0.8 - 0.7\exp(-ax)],$

სადაც

$$\begin{aligned} a &= 1.0 - 0.255\sqrt{e}, \\ x &= (1.1 - n)D, \\ n &= \frac{n_1 + n_2}{2}. \end{aligned} \quad (1.29)$$

აქ e და D შესაბამისად ატმოსფეროში წყლის ორთქლის დრეკადობაა და სინოტივის დეფიციტი მბ-ში, n<sub>1</sub> და n<sub>2</sub> – საერთო მოდრუბლულობისა და ქვედა იარუსის დრუბლიანობის ბალებია (ერთის ნაწილებში). (1.29) ფორმულის გამოცდა თბილისის მონაცემებზე (e=10.5მმ, D=7.1მმ, n<sub>1</sub>=0.62, n<sub>2</sub>=0.40, Q<sup>0</sup>≈349 ვტ/მ<sup>2</sup>) გვაძლევს Q=161.2 ვტ/მ<sup>2</sup>, რაც ერთი პროცენტის ცდომილების ფარგლებშია Q-ს ნამდვილ მნიშვნელობასთან [43]. ამრიგად dQ დადგენა შეიძლება (1.29)-ის დიფერენცირებით, თუ მოცემული აუზისათვის ცნობილია წყლის ორთქლის დრეკადობის de, სინოტივის დეფიციტის dD და დრუბლიანობის dn საუკუნეობრივ ცვლილებათა სიდიდეები. ამ შემთხვევაში გვექნება :

$$dQ = \left(\frac{\partial Q}{\partial e}\right)_0 de + \left(\frac{\partial Q}{\partial D}\right)_0 dD + \left(\frac{\partial Q}{\partial n}\right)_0 dn, \quad (1.30)$$

სადაც

$$\begin{aligned}\frac{\partial Q}{\partial e} &= -0.089 \frac{Q^0 x \exp(-ax)}{\sqrt{e}}, \\ \frac{\partial Q}{\partial D} &= 0.7Q^0 a(1.1 - n) \exp(-ax), \\ \frac{\partial Q}{\partial n} &= -0.7Q^0 aD \exp(-ax), \\ dn &= \frac{dn_1 + dn_2}{2}.\end{aligned}$$

პირველ მიახლოებაში შეიძლება მივიღოთ  $dQ=0$ , რაც იმას ნიშნავს, რომ (1.28)-ში ძირითადი წვლილი შეაქვს რადიაციული ბალანსის გრძელტალღოვანი მდგენელის (ეფექტური გამოსხივების ნაკადის) ცვლილებას

$$dr = -12.61 dF. \quad (1.31)$$

ვისარგებლოთ [44]-ში მოცემული F-ის გამოსათვლელი ემპირიული ფორმულით

$$F = \delta \sigma (1 - c_1 n_1) [T_0^4 - T_1^4 (a_1 + b_1 \sqrt{e})], \quad (1.32)$$

სადაც  $\delta = 0.95 \div 0.99 \approx 0.97$  – შთანთქმის ფარდობითი კოეფიციენტი (ქვეფენილი ზედაპირის შთანთქმის უნარიანობა),  $r = 5.67 \times 10^{-8}$  ვტ/(მ<sup>2</sup>×K<sup>4</sup>) სტეფან–ბოლცმანის მუდმივა,  $c_1 = 0.70$ , – ემპირიული კოეფიციენტი (აღებული საქართველოს პირობებისათვის).  $n_1$  – ღრუბლიანობის საერთო ბალი (ერთის ნაწილებში).  $T_0$  და  $T_1$  – შესაბამისად ნიადაგის და ჰაერის ტემპერატურები (°K),  $a_1 = 0.526$  და  $b_1 = 0.065$  – ემპირიული კოეფიციენტებია, თუ წყლის ორთქლის დრეკადობა  $e$  აღებულია მბ-ში.

(1.32)-ში თბილისისათვის დამახასიათებელ მეტეოროლოგიურ ელემენტთა კლიმატურ მნიშვნელობების ჩასმით ( $T_0 = 288^\circ\text{K}$ ,  $T_1 = 285.8^\circ\text{K}$ ,  $n_1 = 0.62$ ,  $e = 10.5$  მბ), მივიღებთ  $F = 60.7$  ვტ/მ<sup>2</sup>, რაც კარგ თანხვედრაშია მის გაზომილ მნიშვნელობასთან ( $F = 61.3$  ვტ/მ<sup>2</sup>) – ცდომილება არ აღემატება 1%-ს [43].

(1.31)-ში შემავალი  $dF$ -სათვის, (1.32)-ის გათვალისწინებით, ვღებულობთ

$$dF = \left( \frac{\partial F}{\partial n_1} \right)_0 dn_1 + \left( \frac{\partial F}{\partial T_0} \right)_0 dT_0 + \left( \frac{\partial F}{\partial T_1} \right)_0 dT_1 + \left( \frac{\partial F}{\partial e} \right)_0 de, \quad (1.33)$$

სადაც

$$\begin{aligned}\frac{\partial F}{\partial n_1} &= -\delta \sigma c_1 [T_0^4 - T_1^4 (a_1 + b_1 \sqrt{e})], \\ \frac{\partial F}{\partial T_0} &= 4\delta \sigma (1 - c_1 n_1) T_0^3, \\ \frac{\partial F}{\partial T_1} &= -4\delta \sigma (1 - c_1 n_1) T_1^3 (a_1 + b_1 \sqrt{e}), \\ \frac{\partial F}{\partial e} &= -\delta \sigma (1 - c_1 n_1) T_1^4 \frac{b_1}{2\sqrt{e}}.\end{aligned}$$

თუ ცნობები ნიადაგის ტემპერატურაზე არ გავგანხნია, შეიძლება ვისარგებლოთ F-ის გამარტივებული ფორმულით [45]:

$$F = (a_2 - b_1 \sqrt{e}) \sigma T_1^4, \quad (1.34)$$

სადაც  $a_2 = 0.37$  და  $b_1 = 0.065$ , თუ  $e$  მოცემულია მბ-ში. მაშინ

$$dF = \left( \frac{\partial F}{\partial e} \right)_0 de + \left( \frac{\partial F}{\partial T_1} \right)_0 dT_1,$$

სადაც



$$\frac{\partial F}{\partial \epsilon} = -\frac{b_1 \sigma T_1^4}{2\sqrt{\epsilon}},$$

$$\frac{\partial F}{\partial T_1} = -4b_1 \sqrt{\epsilon} \sigma T_1^3. \quad (1.35)$$

(1.34) ფორმულის გამოცდა თბილისის მონაცემებზე ( $\epsilon=10.5$  მმ,  $T_1=286^{\circ}\text{K}$ ) გვაძლევს ეფექტური გამოსხივებისათვის  $F=60.7$  ვტ/მ<sup>2</sup>, რაც აგრეთვე ერთი პროცენტის სიზუსტის ფარგლებშია გაზომილ სიდიდესთან შედარებით ( $F=61.3$  ვტ/მ<sup>2</sup>).

ამრიგად, თუ ლ.ტიურკის მოდელის შემთხვევაში ჩამონადენის მგრძობიარობის ინდიკატორია ჩამონადენის ცვლილების სიჩქარე შესაბამისად ტემპერატურისა და ნალექების ვარიაციებისას, მბუდიკოს მოდელის მიხედვით ამ ინდიკატორებს კიდევ ემატება ჩამონადენის ცვლილების სიჩქარე ნიადაგის ტემპერატურის, წყლის ორთქლის დრეკადობის, სინოტივის დეფიციტის, საერთო მოღრუბლულობის და ქვედა იარუსის დრუბლიანობის ცვლილებათა მიხედვით. წყალბალანსური ორივე მოდელით მიღებული ჩამონადენის ცვლილების სიჩქარეთა ნიშნის მიხედვით ვღებულობთ, რომ ჩამონადენის მატება (კლება) ფიქსირდება ნიადაგის და ჰაერის ტემპერატურების, აგრეთვე ატმოსფეროში სინოტივის დეფიციტის კლების (მატების) პირობებში. ჩამონადენის მატებას (კლებას), აგრეთვე, ხელს უწყობს ნალექთა ჯამების, ატმოსფეროში წყლის ორთქლის დრეკადობის, საერთო დრუბლიანობისა და ქვედა იარუსის დრუბლიანობის ზრდა (შემცირება).

რადგან წლიური ჩამონადენის ფორმირების მოდელებს საფუძვლად დაედება ნალექთა ჯამების და ჰაერის ტემპერატურის ანალიზური ტიპის ფუნქციები

$$R = f(P, t), \quad (1.36)$$

ჩამონადენის ცვლილების დასადგენად შეიძლება ვისარგებლოთ (1.3) გამოსახულებით, რომლის თანახმად ვღებულობთ:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial P} dP + \frac{\partial R}{\partial t} dt. \quad (1.37)$$

აქ კერძო წარმოებულები  $\frac{\partial R}{\partial P}$  და  $\frac{\partial R}{\partial t}$  – განსაზღვრავენ ჩამონადენის მგრძობიარობას (მოწყვლადობას) შესაბამისად წყალშემკრებზე მოსული ნალექებისა და ტემპერატურის ცვლილებათა მიმართ. იმისათვის, რომ რაოდენობრივად შევაფასოთ მოწყვლადობის მნიშვნელობები და, რაც მეტად მნიშვნელოვანია, შევადაროთ ისინი ერთმანეთს, აუცილებელი ხდება მათი უგანზომილებო სიდიდეებად წარმოდგენა. ამისათვის შემოვიღოთ ჩამონადენის, ნალექებისა და ტემპერატურის ნორმირებული

მნიშვნელობები  $\frac{R}{R_0}$ ,  $\frac{P}{P_0}$ ,  $\frac{t}{t_0}$  და ჩამონადენის ფორმირების მოდელი წარმოვადგინოთ როგორც უგანზომილებო პარამეტრების დამოკიდებულება ერთმანეთთან:

$$\frac{R}{R_0} = \varphi\left(\frac{P}{P_0}, \frac{t}{t_0}\right) \quad (1.38)$$

აქედან, ჩამონადენის ცვლილებისათვის, მსგავსად (1.37)-ისა, მიიღება

$$d\left(\frac{R}{R_0}\right) = \frac{\partial\left(\frac{R}{R_0}\right)}{\partial\left(\frac{P}{P_0}\right)} d\left(\frac{P}{P_0}\right) + \frac{\partial\left(\frac{R}{R_0}\right)}{\partial\left(\frac{t}{t_0}\right)} d\left(\frac{t}{t_0}\right), \quad (1.39)$$

საიდანაც მოწყვლადობის სიდიდეების შესაფასებლად გვექნება შემდეგი უგანზომილებო გამოსახულებები:

$$n_1 = \frac{\partial \left( \frac{R}{R_0} \right)}{\partial \left( \frac{P}{P_0} \right)} = \frac{P_0}{R_0} \frac{\partial R}{\partial P}, \quad (1.40)$$

$$n_1 = \frac{\partial \left( \frac{R}{R_0} \right)}{\partial \left( \frac{t}{t_0} \right)} = \frac{t_0}{R_0} \frac{\partial R}{\partial t}.$$

მოწყვლადობის სიდიდეების შესადარებლად გამოვიყენებთ შეფარდებას

$$n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{P_0}{R_0} \frac{\partial R}{\partial P}}{\frac{t_0}{R_0} \frac{\partial R}{\partial t}} = \frac{P_0}{t_0} \frac{\partial P}{\partial R}, \quad (1.41)$$

სადაც  $n$  – უკვე განყენებული (უგანზომილებო) რიცხვია. იგი გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ მეტია (ან ნაკლებია) ჩამონადენის მოწყვლადობა ნალექთა ცვლილების მიმართ ჩამონადენის მოწყვლადობაზე ტემპერატურის ცვლილებისას.

#### 14. პრიორიტეტული რეგიონების მდინარეთა აუზებში ჩამონადენის მოწყვლადობის შეფასება კლიმატის გამოვლენილ ცვლილებათა მიმართ და ჩამონადენის ცვლილების კლიმატური პროგნოზი

მთიან რეგიონებში აუზების ჰიდროლოგიური რეჟიმის ერთმანეთისაგან განსხვავება გამოწვეულია მათი ფიზიკურ-გეოგრაფიული და კლიმატურ-მეტეოროლოგიური პირობებით, რელიეფის თავისებურებებით, გეოლოგიური აგებულებით, წყალშემკრებზე წვიმის ან თოვლის სახით მოსული ნალექების რაოდენობით, გაზაფხულზე თოვლის დნობის სიჩქარით და ზაფხულში ნიადაგის მოქმედი ფენის ტენშემცველობით. კლიმატის დათბობისას წლის თბილ პერიოდში აორთქლების გაზრდა ხელს უწყობს არასაკმარისად დანესტიანებულ რეგიონებში არიდული პირობების ჩამოყალიბებას, ხოლო ზედმეტად დანესტიანებულ რეგიონებში – ნიადაგის ტენიანობის შემცირებას. თუ ნალექთა მატება მოსალოდნელია უპირატესად წლის ცივ პერიოდში, ამა თუ იმ აუზში ჩამოყალიბებულ თერმულ რეჟიმზე დამოკიდებულებით, გაზაფხულის დაწყებისათვის შეიძლება მოხდეს თოვლის მარაგის დამატებითი დაგროვება, ან პირიქით, თოვლის მასის შემცირება მისი ადრეული დნობით და თხევადი ნალექების წვლილის გაზრდით. ამ პროცესების შესაბამისად მოსალოდნელია ჩამონადენის გაზაფხულის მაქსიმუმის შესუსტება და მისი ნაადრევი დადგომა, რაც შეამცირებს დიდი წყალდიდობების განმეორადობას. მთიან და მაღალმთიან პირობებში ზოგიერთ წყალშემკრებზე, უარყოფითი ტემპერატურების შენარჩუნებისას, ნალექების ზრდა გამოიწვევს თოვლის მარაგის დამატებით დაგროვებას. ამ შემთხვევაში გაზაფხულზე თოვლის სწრაფი დნობის შედეგად დიდი წყალდიდობების რისკი გაიზრდება.

ამრიგად, წლიური ჩამონადენის ფორმირების და ცვალებადობის პირობების შესწავლასთან ერთად, მეტად მნიშვნელოვანია ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილებისა და მისი ცვლილების გამოკვლევა.

პრიორიტეტული რეგიონებისა და მდინარეთა აუზების შერჩევისას გასათვალისწინებელია ჩამონადენის შედარებით ძლიერი მგრძობიარობა კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების მიმართ, აგრეთვე წყლის რესურსების მოწყვლადობა, დაკავშირებული მათ ინტენსიურ გამოყენებასთან ეკონომიკის სხვადასხვა დარგებში (განსაკუთრებით სოფლის მეურნეობასა და ჰიდროენერგეტიკაში), პერსპექტივაში რეგიონის მზარდი სოციალურ-ეკონომიკური განვითარებით

გამოწვეული წყლის რესურსების მოხმარების ინტენსიფიკაციასთან. ამიტომ, პრიორიტეტულ რეგიონებად და მდინარეთა აუზებად შერჩეულია:

- მდ.რიონის დელტა, სადაც დაიკვირვება ძირითადი კლიმატური რისკები, დაკავშირებული უხვ ნალექებთან, წყალდიდობებთან, ზღვის დონის აწევასთან.
- ქვემო სვანეთი (ლენტეხის რაიონი), მდ.ცხენისწყლის აუზი ძირითადი კლიმატური რისკებით, გამოწვეული უხვი ნალექებით, წყალდიდობებით, მეწყერებით, ღვარცოფებით.
- დედოფლისწყაროს რაიონი, მოსახლვრე მდინარეების ალაზნისა და იორის აუზები, ძირითადი კლიმატური რისკებით – გვალვა, სეტყვა, გაუდაბნობა.

#### 14.1. მდინარეთა საზრდოობის პირობები

მდინარეთა ჩამონადენი წლის განმავლობაში არათანაბრადაა განაწილებული. მის შიგაწლიურ მსვლელობას განსაზღვრავენ კლიმატური ფაქტორები, პირველ რიგში ნალექები, ჰაერის ტემპერატურა და აორთქლება. საკმაოდ დიდია სხვა ფაქტორების გავლენაც, მაგალითად წყალშემკრები აუზის რელიეფის, გეოლოგიური აგებულების, ნიადაგისა და მცენარეული საფარის ხასიათის და სხვ.

XX საუკუნის 50-ანი წლებიდან ჩამონადენის შიგაწლიურ განაწილებაზე სულ უფრო მეტ გავლენას ახდენს ადამიანის სამეურნეო საქმიანობა, რომელიც არღვევს წყლის ობიექტების ბუნებრივ მდგომარეობას და რეჟიმს.

ზემოთ აღნიშნული ფაქტორების ერთობლიობა განაპირობებს მდინარის ჩამონადენის ფორმებს, ე.წ. “საზრდოობის წყაროებს”, რომელნიც თავის მხრივ მდინარის ჩამონადენის შიგაწლიურ განაწილებას განსაზღვრავენ.

საქართველოს მდინარეების წყლის რეჟიმი, ანალოგიურად ბუნებრივი პირობებისა, მრავალფეროვნებით ხასიათდება. აქ ძირითადად შერეული საზრდოობის ტიპის მდინარეებია, რაშიც მონაწილეობენ წვიმის, თოვლის, მყინვარების და მიწისქვეშა წყლები. არ გვხვდება ისეთი მდინარეები, რომლებიც ერთი რომელიმე წყაროთი საზრდოობენ, გარდა დროებითი ნაკადებისა. ისინი მხოლოდ გაზაფხულზე თოვლის დნობისა და თავსხმა წვიმების დროს წარმოიშობიან. მდინარეთა საზრდოობაში ამა თუ იმ წყაროს მონაწილეობის წვლილი იცვლება აუზის სიმაღლის, კლიმატის თავისებურებისა და ტერიტორიის გეოლოგიურ აგებულების მიხედვით და მეტად სხვადასხვაგვარია.

შერჩეულ პრიორიტეტულ რეგიონების აუზები მდინარეთა წყლიანობის რეჟიმით მიეკუთვნებიან:

- **მდინარეები გაზაფხულ-ზაფხულის წყალდიდობით.** ისინი სათავეებს იღებენ მარადიული თოვლის და სეზონური თოვლის რეგიონებში, საზრდოობა აქვთ მყინვარული, თოვლის და წვიმის წყლებით. ამ ტიპის მდინარეების რიცხვს მიეკუთვნებიან: კოდორი, ენგური, ცხენისწყლის ზემო წელი, იორი, ალაზანი და მათი შენაკადები. წყალდიდობები აქ იწყება მარტის ბოლოს, აპრილის დასაწყისში, მაქსიმუმი დაიკვირვება ივნისში და მთავრდება აგვისტოს ბოლოს;
- **მდინარეები გაზაფხულ-ზაფხულის წყალდიდობით და წვიმის წყალმოვარდნებით.** ისინი წლის განმავლობაში შერეული საზრდოობით ხასიათდებიან (მყინვარული, თოვლის და წვიმის), მაგრამ მყინვარული წყლებით საზრდოობის წვლილი ძალზე მცირეა. ასეთი რეჟიმით ხასიათდებიან მდინარეები: ბზიფი, კოდორი, ენგური, რიონი, ცხენისწყლის შუა წელი და მათი შენაკადები. წყალდიდობა აქ იწყება მარტში–აპრილში და მთავრდება აგვისტოში, ჩამონადენის მაქსიმუმი დგება მაის–ივლისში.

ქვემოთ მოცემულია სამივე პრიორიტეტული რეგიონის მდინარეთა ჰიდროლოგიური რეჟიმის კვლევის შედეგები, მათ შორის: შესწავლილია წყალშემკ-

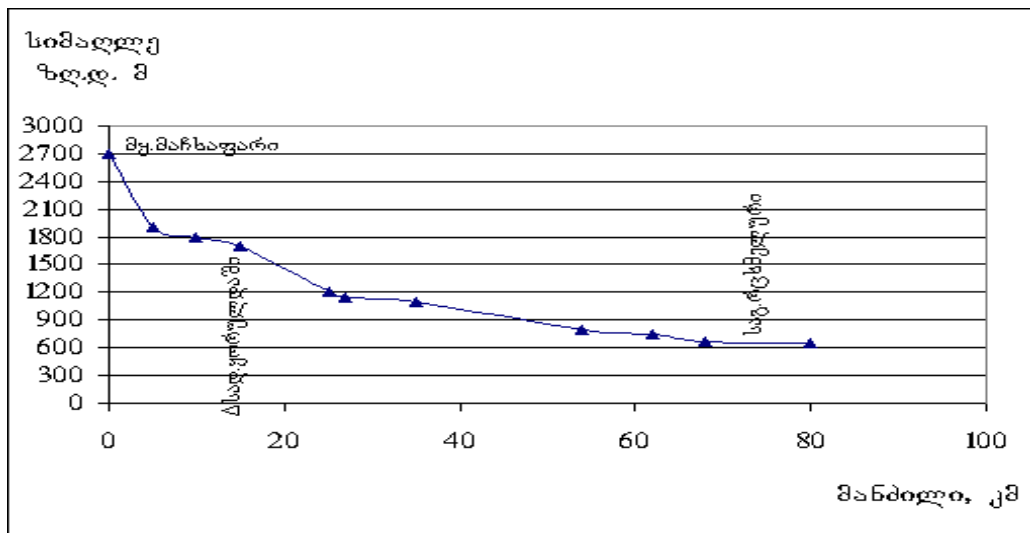
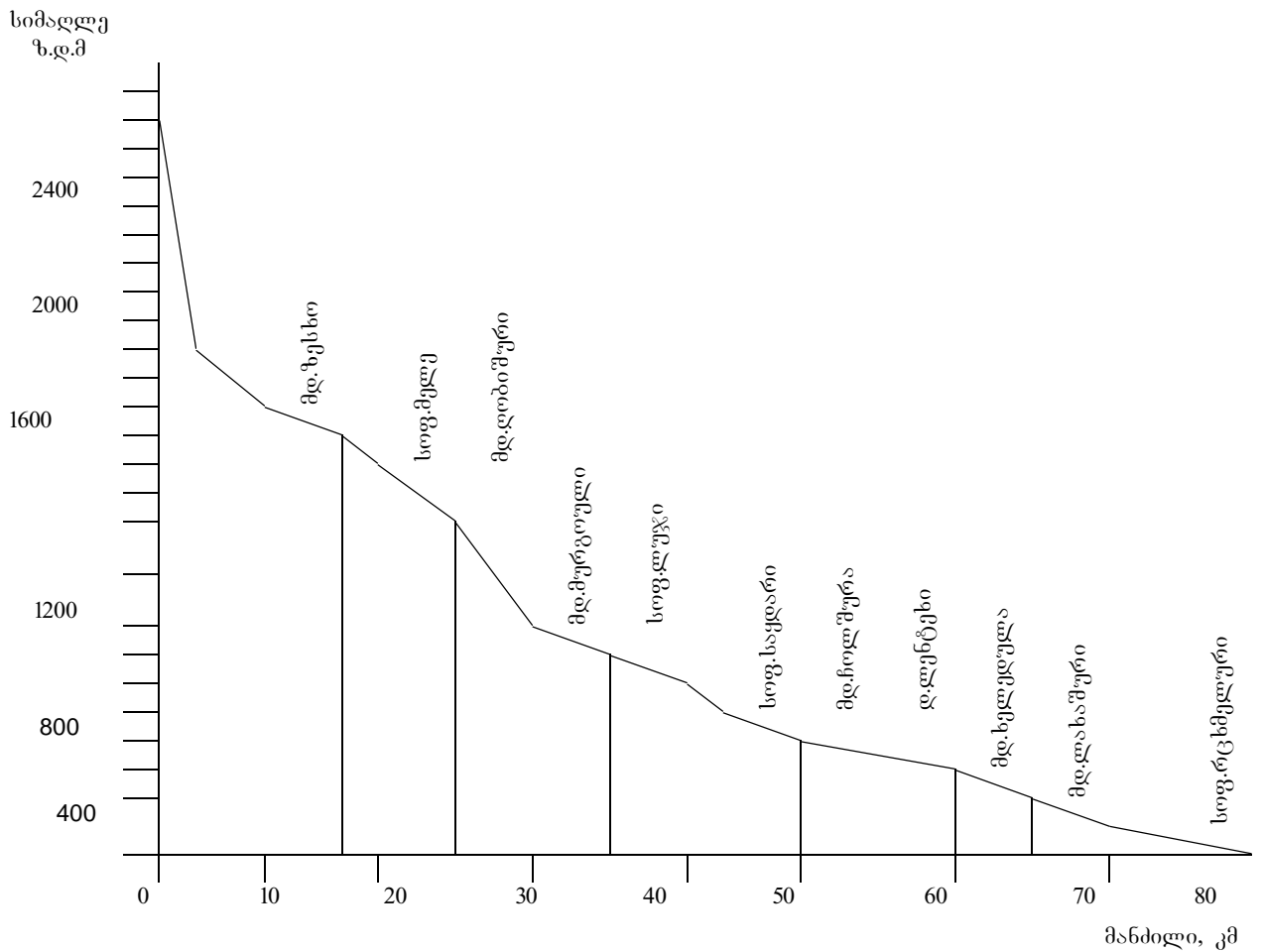
რებზე ჰაერის ტემპერატურის, ნალექთა ჯამების და ჩამონადენის დინამიკა, აგებულია შესაბამისი ტრენდები; განსახლებულია პარამეტრების ცვლილების საშუალო სიჩქარე განხილულ პერიოდში; მოცემულია აღნიშნული პარამეტრების ცვლილების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური ტიპის მოდელები; შეფასებულია და შედარებულია ერთმანეთთან ჩამონადენის მგრძობიარობა ნალექებისა და ტემპერატურის ცვლილებათა მიმართ; შედგენილია ჩამონადენის შესაძლო ცვლილების წინასწარი პროგნოზი, წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების ცვლილებათა ტენდენციების შენარჩუნების პირობებში.

#### 14.2. ქვემო სვანეთი, ლენტეხის რაიონი, მდ. ცხენისწყლის აუზის ზემო წელი

მდინარე ცხენისწყალი სათავეს იღებს კავკასიონის ცენტრალურ ნაწილში, შარივცეკის უღელტეხილის სამხრეთით 14 კილომეტრზე მდებარე მყინვარ მახხაფარიდან, ზღვის დონიდან 2700 მ სიმაღლეზე. მდინარის ძირითადი ჰიდროლოგიური მახასიათებლები მოცემულია ცხრ.1.1-ში. მდინარე ს.რცხმელურამდე მიედინება V-სებრ ხეობაში რომლის ფსკერის სიგანე მერყეობს 30-დან - 80 მ-მდე, ხოლო ხეობის ზედა სიგანე იცვლება 200-დან - 300 მ-მდე. მდინარე კვეთს კარსტულ-კირქვიან მასივს და წარმოშობს ღრმა კლდოვან ხეობას, რომელიც ალაგ-ალაგ დაფარულია მორენებით. მდინარის სიგრძე 76 კმ-ია, საშუალო დახრილობა შეადგენს 15‰ (იხ.ნახ.1.1). აუზის საშუალო სიმაღლეა 2040 მ. ხეობაში მცენარეული საფარი ზონალური განაწილებით ხასიათდება. 700–800 მ სიმაღლეზე გვხვდება ფოთლოვანი ტყე (მუხა, კაკალი, რცხილა და მურყანი), 800-დან – 2300 მ-მდე შერეული ტყე (მუხა, რცხილა, წიფელი, ნაძვი და სოჭი), 2300 მ-დან ზევით წყალშემკრების ტერიტორია დაფარულია მთაგორიანი პირობებისათვის დამახასიათებელი სხვადასხვა ბალახოვანი საფარით.

ცხრილი 1.1. მდ. ცხენისწყლის – საგ. რცხმელურთან ძირითადი ჰიდროლოგიური მახასიათებლები [47]

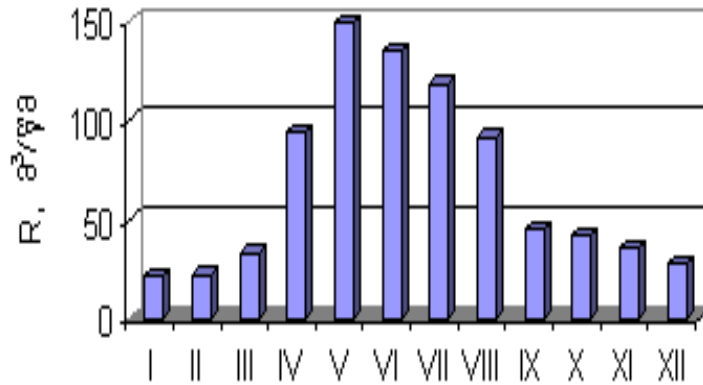
შენაკადი	სად ჩაედინება	აუზის საშუალო სიმაღლე, მ	წყალშემკრები აუზის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	შენაკადების რაოდენობა	მდინარის სიგრძე, კმ	ჰიდროგრაფიული ქსელის სისშირე	საშუალო მრავალწლიური ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ	წყალშემკრებზე მყინვარის ფართობი, კმ <sup>2</sup>
ცხენისწყალი – კვეთი საგ. რცხმელურთან	რიონი	2040	1450	219	76	0.47	62.8	12.9
ზესხო	ცხენისწყალი	2500	150	223	19	0.96	7.65	3.4
ეორულდაში	ზესხო	2557	77	226	11	0.62	1.16	2.8
ღობიშური	ცხენისწყალი	–	–	–	12	–	–	0.9
ლასკადურა	ცხენისწყალი	–	–	–	20	–	–	1.2
ხელედულა	ცხენისწყალი	2000	315	230	34	0.73	11.1	0.3
ლექთარეში	ცხენისწყალი	–	–	–	24	–	–	1.3
ჯანაულა	ცხენისწყალი	–	–	–	21	–	–	0.9
მუხრა	ცხენისწყალი	2351	53	228	13	0.83	2.46	0.6



ნახ.1.1.მდ.ცხენისწყლის გრძივი პროფილი

ლენტეხის რაიონის ფარგლებში მდ.ცხენისწყლისა და მისი ძირითადი შენაკადების ჰიდროლოგიური მახასიათებლები, ცნობარის მიხედვით [47], მოყვანილია ცხრ. 1.1-ში ამ ცხრილში განხილულია მხოლოდ მყინვარული კვების მდინარეები. გარდა ამისა, მდ.ცხენისწყალს გააჩნია კიდევ მრავალი არამყინვარული საზრდოობის შენაკადები (დევაში, ხოფური, ხეშკური, ტუხადი და სხვ.), რომელთა კვება განპირობებულია წვიმებითა და მიწისქვეშა წყლებით. ამის შედეგად მდ.ცხენისწყალი ხასიათდება ჩამონადენის მაქსიმუმით გაზაფხულ-ზაფხულში

და მინიმუმით – ზამთარში. მდ.ცხენისწყლის (საგ. რცხმელურთან) მრავალწლიური საშუალო თვიური ჩამონადენის განაწილება თვეების მიხედვით ნახ.1.2-ზე.

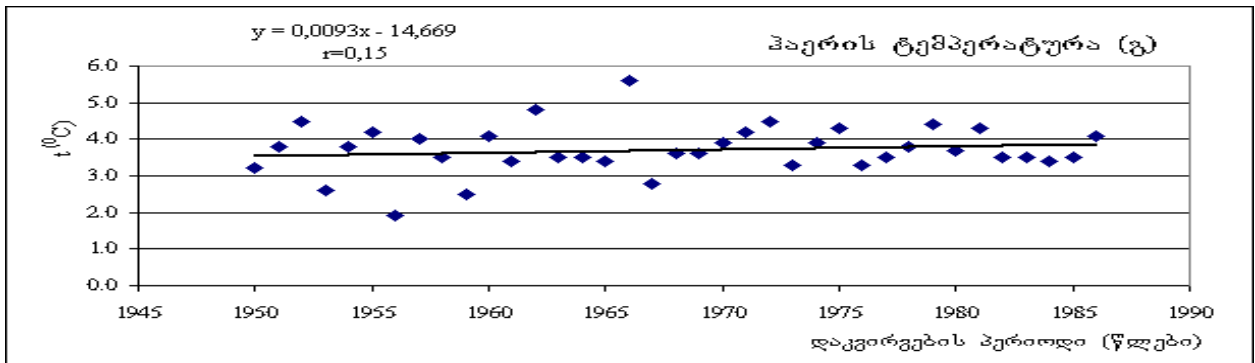
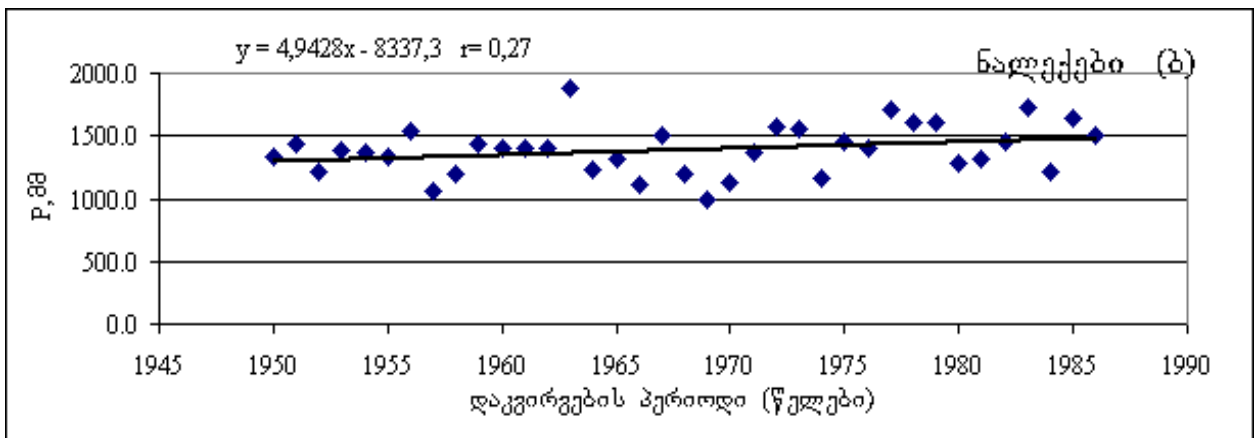
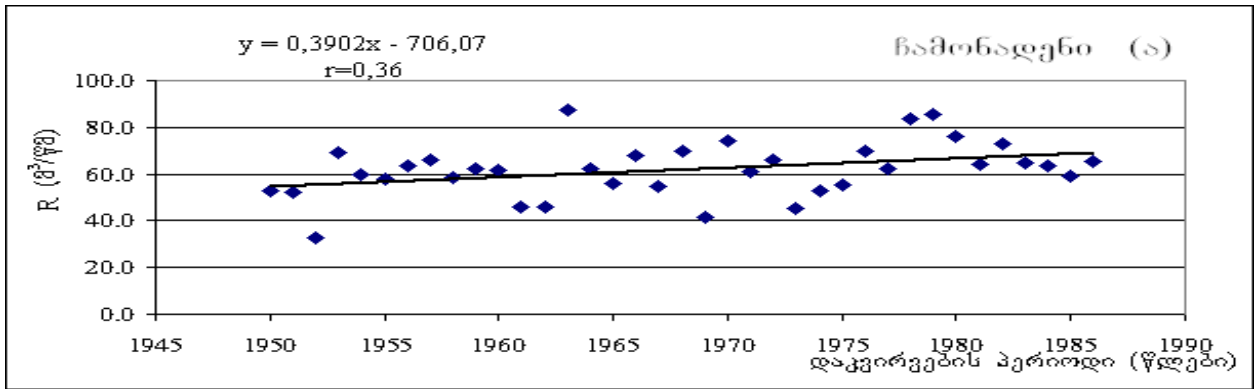


თვე

ნახ.1.2. მდ.ცხენისწყლის – საგ. რცხმელურთან მრავალწლიური საშუალო თვიური ჩამონადენის რყევის გრაფიკი (1950-1986 წ.წ.)

ლენტეხის რაიონის ტერიტორიაზე გასულ საუკუნეში დაფიქსირებულ კლიმატურ ცვლილებებთან მდ.ცხენისწყლის ჩამონადენის დასაკავშირებლად განალიზებულ იქნა საგ. რცხმელურის ჩამკეტ კვეთში 1950–1986 წლებში ჩატარებული ჰიდროლოგიური გაზომვებისა და ზემოთ ხსენებულ მეტეოსადგურ ყორულდაშხე ჰაერის ტემპერატურასა და ატმოსფერულ ნალექებზე დაკვირვების მონაცემები. ორივე სადგურისთვის განხილულ იქნა საშუალო წლიური მნიშვნელობები. სადგური ყორულდაში შერჩეული იქნა იმის გამო, რომ მისი სიმაღლე (1943 მ) ახლოსაა მდ.ცხენისწყლის აუზის საშუალო სიმაღლესთან (2040 მ). ნახ.1.3-ზე წარმოდგენილია მდ.ცხენისწყლის საშუალო წლიური ჩამონადენის, ნალექთა წლიური ჯამებისა და ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის დინამიკა 1950–1986 წლების პერიოდში, აგებულია აღნიშნული მახასიათებლების ცვლილების ტენდენციის დამახასიათებელი ტრენდები, მოცემულია შესაბამისი რეგრესიის განტოლებები და კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები.

როგორც ვხედავთ, სამივე პარამეტრისათვის მიღებულია ცვლილების დადებითი ტრენდი, რომლის მიხედვით დაიკვირვება ნალექთა ჯამების და ჩამონადენის საგრძნობი ზრდა, ხოლო ტემპერატურის – შედარებით მცირე მატება. ცხ.1.2-ში მოცემულია განხილულ პერიოდში პარამეტრების ცვლილების სიჩქარის გასაშუალოებული მნიშვნელობები სხვადასხვა დროითი ინტერვალისათვის. მაგალითად, 1950–1986 წლების პერიოდის ყოველ ათწლეულში ჩამონადენის ზრდა შეადგენდა დაახლოებით 4 მმ/წმ, რაც ნორმის 6%-ზე მეტია, ნალექთა ჯამების მატება ტოლია 48 მმ, ანუ შეადგენს ნორმის 3.5%, ხოლო ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება ხასიათდება 0.09 °C-ით ზრდის ტენდენციით, რაც ნორმის 2%-ს აღემატება.



ნახ.1.3. 1950–1986 წლებში (ა) მდ.ცხენისწყლის წლიური ჩამონადენის (R), (ბ) წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა წლიური ჯამების (P), (გ) აუზში ჰაერის ტემპერატურის (t) დინამიკა და შესაბამისი ტრენდები

ცხრილი 1.2. მდ.ცხენისწყლის აუზისათვის 1950–1986 წლებში ჩამონადენის, ნალექებისა და ტემპერატურის ცვლილების საშუალო სიჩქარის სიდიდეები, მიყვანილი 1–, 10–, 37–, 100 –წლიან პერიოდებამდე

ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობები R, მ <sup>3</sup> /წმ	R <sub>0</sub> მ <sup>3</sup> /წმ	ჩამონადენის ცვლილება ΔR=R <sub>1</sub> -R <sub>2</sub> მ <sup>3</sup> /წმ				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება, ΔR/R <sub>0</sub> %			
		1	10	37	100	1	10	37	100
R <sub>1</sub> =0,3902x1986-706,07=68.87	61.9	0.38	3.8	11.05	38	0.6	6.14	22.7	61.4
R <sub>2</sub> =0,3902x1950-706,07=51.82									
ნალექების გამოთვლილი მნიშვნელობები P, მმ	P <sub>0</sub> მმ	ნალექების ცვლილება ΔP=P <sub>1</sub> -P <sub>2</sub> მმ				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება, ΔP/P <sub>0</sub> %			
		1	10	37	100	1	10	37	100
P <sub>1</sub> =4,9428x1986-337,3=1479.10	1390.1	1.8	48.1	177.94	481	0.35	3.5	12.8	35
P <sub>2</sub> =4,9428x1950-337,3=1301.16									
ტემპერატურის გამოთვლილი მნიშვნელობები t, °C	t <sub>0</sub> °C	ტემპერატურის ცვლილება Δt=t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub> °C				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება, Δt/t <sub>0</sub> %			
		1	10	37	100	1	10	37	100
t <sub>1</sub> =0,0093x1986-14,669=3.80	3.7	0.009	0.09	0.33	0.9	0.24	2.4	9.0	24
t <sub>2</sub> =0,0093x1950-14,669=3.47									

თუ ზრდის ეს სიჩქარეები შენარჩუნებული იქნება XXI საუკუნის 50-იან წლებამდე, მაშინ საუკუნეობრივმა ცვლილებამ შეიძლება მიაღწიოს: ჩამონადენის ზრდის მაჩვენებელმა 40 მ<sup>3</sup>/წმ (ნორმის 60%), ნალექთა ჯამების ზრდამ შეადგინოს 480 მმ (35%) და ტემპერატურის მატებამ – 0.9 °C (დაახლოებით ნორმის 25%).

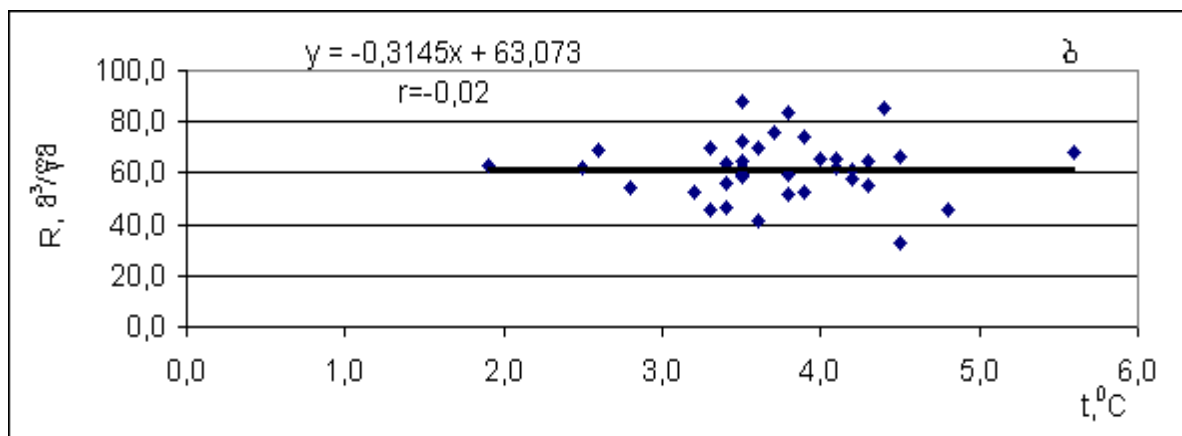
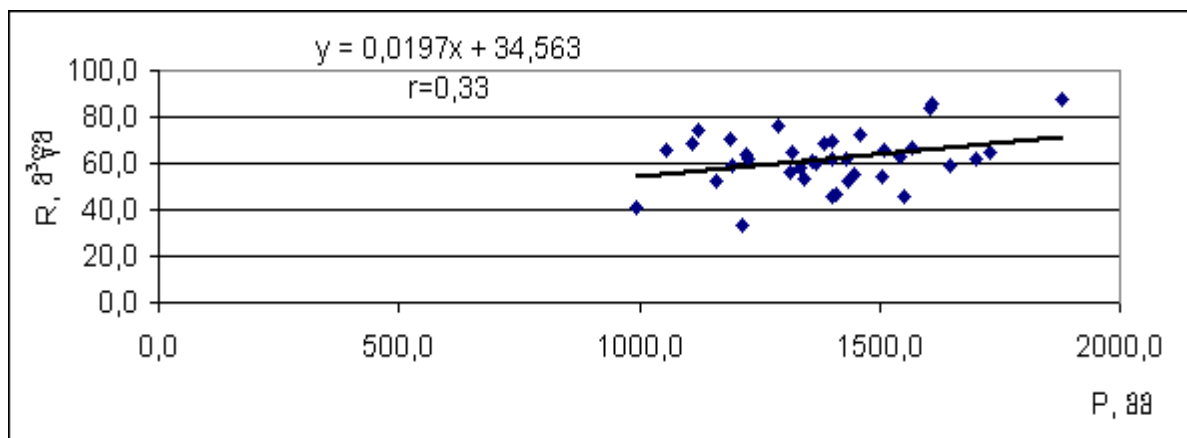
შემდეგ ეტაპზე გამოკვლეული იქნა მდ.ცხენისწყლის ჩამონადენის კავშირი ნალექთა ჯამებთან, აგრეთვე ჩამონადენისა და ნალექების სტატისტიკური დამოკიდებულებანი ჰაერის ტემპერატურაზე, რაც საფუძვლად დაედო ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ–სტატისტიკურ და წყალბალანსურ მოდელებს.

კვლევის შედეგების მიხედვით, რომლებიც მოცემულია ნახ.1.4-ზე, წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამების ზრდა იწვევს ჩამონადენის ზრდასაც (კორელაციის კოეფიციენტი r=0.33), რაც ფიზიკურად გამართლებულია. ამავე დროს, ჩამონადენი ფაქტიურად არ არის დამოკიდებული ტემპერატურის ცვლილებაზე (r=0.02), ხოლო ნალექთა ჯამებისათვის დაფიქსირებულია მათი შემცირება ტემპერატურის მატებისას (r=0.23). უკვე ამ შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ განხილული წყალშემკრებისათვის ჩამონადენი მეტად მგრძობიარეა ნალექთა ცვლილების მიმართ და პრაქტიკულად არ რეაგირებს ტემპერატურის ცვლილებაზე. ამ პროცესების რაოდენობრივი შეფასებისათვის გამოვიყენოთ ნალექებთან და ტემპერატურასთან ჩამონადენის კავშირის ამსახველი ორცვლადიანი რეგრესიის განტოლებები (იხ.ნახ.1.4-ის (ა) და (ბ)), რომელთა შეკრებით ვღებულობთ განტოლებას, წარმოდგენილს ცხრ.1.3-ში. აქვე მოცემულია კორელაციის კოეფიციენტის (r), ჩამონადენის გამოთვლილ მნიშვნელობათა რიგისათვის საშუალო კვადრატული გადახრისა (σ<sub>R</sub>) და რეგრესიის განტოლების აბსოლუტური ცდომილების (S<sub>R</sub>) სიდიდეები. როგორც ვხედავთ, განხილული პერიოდისათვის აგებული ჩამონადენის ემპირიულ–სტატისტიკური მოდელის გამოცდამ (იხ.ცხრ.1.3) მოგვცა დამაკმაყოფილებელი შედეგი: განტოლების აბსო-

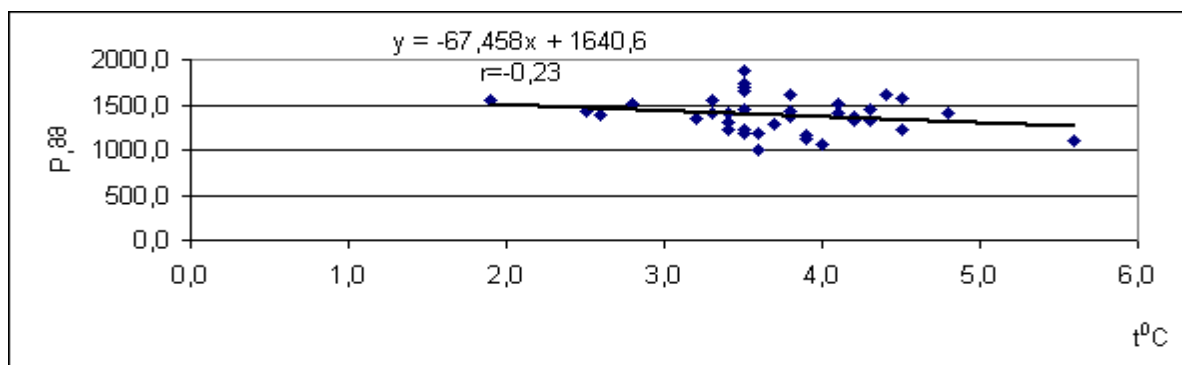


ღუტური ცდომილება შეადგენს 8.5 მ<sup>3</sup>/წმ, ფარდობითი ცდომილება კი - 15%, რაც თანხვედრაშია S<sub>R</sub>=11 მ<sup>3</sup>/წმ-ის მნიშვნელობასთან.

ა



ბ



ნახ.14. (ა) კავშირი მდ.ცხენისწყლის (ს.რცხმელურთან) ჩამონადენსა და ნალექებს (ს.ყორულდაში) შორის, (ბ) ჩამონადენსა და ჰაერის ტემპერატურას შორის, (გ) ნალექებსა და ჰაერის ტემპერატურას შორის

ცხრილი 1.3. მდ.ცხენისწყლის წლიური ჩამონადენის ფორმირების ემპირი-ულ-სტატისტიკური მოდელები

მიღებულია ორცვლადიანი რეგრესიის განტოლებათა შეკრებით $R=0,010 P - 0,157 t + 48,818$ $r=0,34; \sigma_R=11,23; S_R=10,56.$								მიღებულია სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით $R=0,021P+1,068t+28,75$ $r=0,34; \sigma_R=11,71; S_R=11,01.$		
№	წელი	ჩამონადენი – საგ.რცხმე- ლური, R მმ/წმ	ნალექები – საგ.ყოფილდაში, P მმ	ტემპერატურა – საგ.ყოფილდაში t, °C	ჩამონადენის გამოთ- ვლილი მნიშვნელობა, R მმ/წმ	აბსოლუტური ცდომილება,  ΔR	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R %	ჩამონადენის გამოთ- ვლილი მნიშვნელობა, R მმ/წმ	აბსოლუტური ცდომილება,  ΔR	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R %
1	1950	53.0	1341.6	3.2	61.6	8.6	16.2	60.3	7.3	13.9
2	1951	52.0	1436.4	3.8	62.4	10.4	20.1	63.0	11.0	21.1
3	1952	32.9	1215.6	1.5	60.1	27.2	82.8	59.1	26.2	79.6
4	1953	68.9	1383.6	2.6	62.1	6.8	9.9	60.6	8.3	12.0
5	1954	59.7	1366.8	3.8	61.8	2.1	3.4	61.5	1.8	3.0
6	1955	58.1	1331.4	1.2	61.4	3.3	5.6	61.3	3.2	5.4
7	1956	63.3	1542.0	1.9	63.8	0.5	0.8	63.2	0.1	0.2
8	1957	65.8	1056.0	1.0	58.6	7.2	10.9	55.2	10.6	16.1
9	1958	58.8	1191.6	3.5	60.1	1.3	2.2	57.5	1.3	2.2
10	1959	62.2	1430.4	2.5	62.6	0.4	0.6	61.5	0.7	1.1
11	1960	61.8	1402.8	1.1	62.1	0.3	0.4	62.6	0.8	1.3
12	1961	46.2	1407.6	3.4	62.2	16.0	31.7	61.9	15.7	31.1
13	1962	45.9	1401.6	1.8	61.9	16.0	31.9	63.3	17.4	37.9
14	1963	87.6	1880.4	3.5	66.9	20.7	23.6	72.0	15.6	17.8
15	1964	62.0	1227.6	3.5	60.4	1.6	2.6	58.3	3.7	6.0
16	1965	56.2	1312.8	3.4	61.3	5.1	9.0	60.0	3.8	6.7
17	1966	68.2	1110.0	5.6	58.9	9.3	13.6	58.0	10.2	15.0
18	1967	51.5	1501.8	2.8	63.3	8.8	16.1	63.3	8.8	16.2
19	1968	70.1	1189.2	3.6	60.0	10.1	11.4	57.6	12.5	17.8
20	1969	41.2	992.4	3.6	58.1	16.9	41.0	53.4	12.2	29.7
21	1970	71.3	1121.4	3.9	59.3	15.0	20.2	56.5	17.8	21.0
22	1971	60.8	1359.6	1.2	61.6	0.8	1.3	61.8	1.0	1.6
23	1972	66.3	1569.6	1.5	63.6	2.7	1.1	66.5	0.2	0.3
24	1973	45.3	1549.2	3.3	63.6	18.3	40.5	61.8	19.5	43.1
25	1974	52.6	1161.6	3.9	59.7	7.1	13.5	57.3	1.7	9.0
26	1975	55.3	1446.0	1.3	62.5	7.2	12.9	63.7	8.4	15.2
27	1976	69.8	1401.6	3.3	62.2	7.6	10.9	61.7	8.1	11.6
28	1977	62.2	1701.6	3.5	65.1	2.9	1.7	68.2	6.0	9.7
29	1978	83.8	1605.6	3.8	61.1	19.7	23.5	66.5	17.3	20.6
30	1979	85.6	1610.4	1.4	61.1	21.5	25.1	67.3	18.3	21.4
31	1980	76.1	1288.8	3.7	61.0	15.1	19.8	59.8	16.3	21.4
32	1981	61.3	1320.0	1.3	61.2	3.1	1.8	61.1	3.2	5.0
33	1982	72.8	1458.0	3.5	62.7	10.1	13.9	63.1	9.7	13.3
34	1983	61.5	1731.6	3.5	65.4	0.9	1.4	68.9	1.4	6.7
35	1984	63.7	1221.6	3.4	60.4	3.3	5.2	58.0	5.7	8.9
36	1985	59.1	1647.6	3.5	61.6	5.5	9.3	67.1	8.0	13.5
37	1986	65.6	1509.6	1.1	63.1	2.5	3.8	61.8	0.8	1.2
<b>საშ.</b>		<b>61.9</b>	<b>1390.1</b>	<b>3.7</b>	<b>62.0</b>	<b>8.5</b>	<b>15.1</b>	<b>61.9</b>	<b>8.7</b>	<b>15.2</b>

მიღებული შედეგების საიმედოობის დასადგენად იმავე ცხრ.13-ში მოცემულია წლიური ჩამონადენის ფორმირების მეორე ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი, რომელსაც საფუძვლად დაედო სამცხვლადიანი რეგრესიის განტოლება. მისი გამოცდის შედეგები პრაქტიკულად იდენტურია პირველი მოდელის შემოწმებასთან. ამ შემთხვევაში განტოლების საშუალო აბსოლუტური ცდომილება 8.7 მმ/წმ-ის ტოლია, ხოლო ფარდობითი ცდომილება 15%-ს შეადგენს.

ასეთივე შედეგი მიიღება ჩამონადენის ფორმირების წყალბალანსური ტიპის ლ.ტიურკის მოდელით, რომლის გამოცდის მონაცემები შესულია ცხრ.14-ში.

ცხრილი 14. მდ.ცხენისწყლის წლიური ჩამონადენის ფორმირების წყალბალანსური (ლ.ტიურკის) მოდელი

n	წელი	ჩამონადენის წლიური ფენის სიმაღლე საგ.რცხმელური, R მმ	ტემპერატურის ფუნქციის მნიშვნელობები, $L=300+25t+0,05t^3$	ჩამონადენის ფენის სიმაღლის გამოთვლილი მნიშვნელობები, R მმ	აბსოლუტური ცდომილება, $ \Delta R $ მმ	ფარდობითი ცდომილება, $ \Delta R /R$ %
1	1950	1153.6	381.6	1299.4	145.9	12.6
2	1951	1131.8	397.7	1391.3	259.5	22.9
3	1952	716.1	417.1	1177.4	461.3	61.4
4	1953	1499.6	365.9	1340.1	159.5	10.6
5	1954	1299.4	397.7	1323.8	21.4	1.9
6	1955	1261.6	408.7	1292.5	27.9	2.2
7	1956	1377.8	347.8	1493.5	115.8	8.4
8	1957	1432.2	403.2	1022.8	409.4	28.6
9	1958	1279.8	389.6	1151.2	125.7	9.8
10	1959	1353.8	363.3	1385.5	31.6	2.3
11	1960	1345.1	405.9	1358.7	13.6	1.0
12	1961	1005.6	387.0	1363.4	357.8	35.6
13	1962	999.0	425.5	1357.6	358.5	35.9
14	1963	1906.7	389.6	1821.3	85.4	1.5
15	1964	1349.5	389.6	1189.0	160.4	11.9
16	1965	1223.2	387.0	1271.5	48.3	1.0
17	1966	1481.4	448.8	1075.1	409.3	27.6
18	1967	1186.2	371.1	1457.5	271.3	22.9
19	1968	1525.8	392.3	1151.8	373.9	21.5
20	1969	896.7	392.3	961.2	61.5	7.2
21	1970	1617.2	400.5	1089.1	528.1	32.7
22	1971	1323.3	408.7	1316.9	6.5	0.5
23	1972	1443.1	417.1	1520.3	77.2	5.4
24	1973	986.0	381.3	1500.5	511.5	52.2
25	1974	1141.9	400.5	1125.1	19.8	1.7
26	1975	1203.6	411.5	1400.6	196.9	16.4
27	1976	1519.2	381.3	1357.6	161.7	10.6
28	1977	1353.8	389.6	1648.1	291.3	21.7
29	1978	1821.0	397.7	1555.1	268.8	11.7
30	1979	1863.1	411.3	1559.8	303.3	16.3
31	1980	1656.4	395.0	1248.3	408.1	21.6
32	1981	1399.5	411.5	1278.5	121.0	8.6
33	1982	1581.5	389.6	1412.2	172.4	10.9
34	1983	1403.9	389.6	1677.2	273.3	19.5
35	1984	1386.5	387.0	1183.2	203.3	11.7
36	1985	1286.3	389.6	1595.8	309.5	21.1
37	1986	1427.8	405.9	1462.2	31.3	2.4
<b>საშ.</b>		<b>1347.4</b>	<b>395.6</b>	<b>1346.4</b>	<b>210.7</b>	<b>16.6</b>

ლ.ტიურკის მოდელით განისაზღვრება ყოველწლიური ჩამონადენის ფენის სიმაღლე (მმ), რომლის შედარება გაზომილ მნიშვნელობასთან განხილული პერიოდისათვის გვაძლევს საშუალო აბსოლუტურ ცდომილებას 211 მმ და ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელობას დაახლოებით 17%-ის ტოლს. ამ შეფასების შედეგები უმნიშვნელოდ გაუარესებულია ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელების შემოწმებასთან შედარებით.

გამომდინარე გამოცდის შედეგებიდან, ჩამონადენის მოწვევადობის შეფასებისათვის ძირითადად გამოვიყენებთ პირველ ემპირიულ-სტატისტიკურ მოდელებს.

ჩამონადენის ფორმირების მოდელების გამოყენებით და (140) და (141) გამოსახულებათა გათვალისწინებით მდ.ცხენისწყლის აუზის ზემო წელისათვის (ჩამკეტი კვეთი – საგ.რცხმელური) ვღებულობთ:

- ჩამონადენის მოწვევადობის სიდიდე წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ცვლილების მიმართ ტოლია

$$n_1 = \frac{1390,1}{61,9} \times 0,010 = 0,2246;$$

- ჩამონადენის მოწვევადობის სიდიდე წყალშემკრებისათვის დამახასიათებელ ტემპერატურის ცვლილებისას ტოლია

$$n_2 = \frac{3,7}{61,9} \times 0,157 = 0,0094;$$

- მოწვევადობათა შეფარდება ტოლია

$$n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{0,2246}{0,0094} \approx 24.$$

ამრიგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ განხილული აუზისათვის წლიური ჩამონადენის მოწვევადობა ნალექთა წლიური ჯამების ცვლილების მიმართ დაახლოებით 24-ჯერ მეტია ჩამონადენის მოწვევადობაზე წყალშემკრებისათვის დამახასიათებელი საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილებისას. ეს შეფასება მიღებულია II ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელების საფუძველზე. თუ გამოვიყენებთ I მოდელებს, მაშინ მოწვევადობათა შეფარდებისათვის მივიღებთ  $n \approx 8$ .

განვსაზღვროთ ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილება გლობალური დათბობის პირობებში შემდეგი კლიმატური სცენარის მიხედვით: ტემპერატურის მატება შეადგენს 3°C, ხოლო ნალექების ჯამების შემცირება - ნორმის 5-10%.

გამოვდივართ მდ.ცხენისწყლის-კვეთი რცხმელურისათვის მიღებული ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელიდან

$$R=0.010P-0.157t+48.818.$$

გვექნება

$$dR=0.01dP-0.157dt,$$

$$(dR)_1=0.01x(-1390.1x0.05)-0.157x3=-1.166 \approx -1.2 \text{ მ}^3/\text{წმ}, \text{ რაც შეადგენს ნორმის } - 2\%;$$

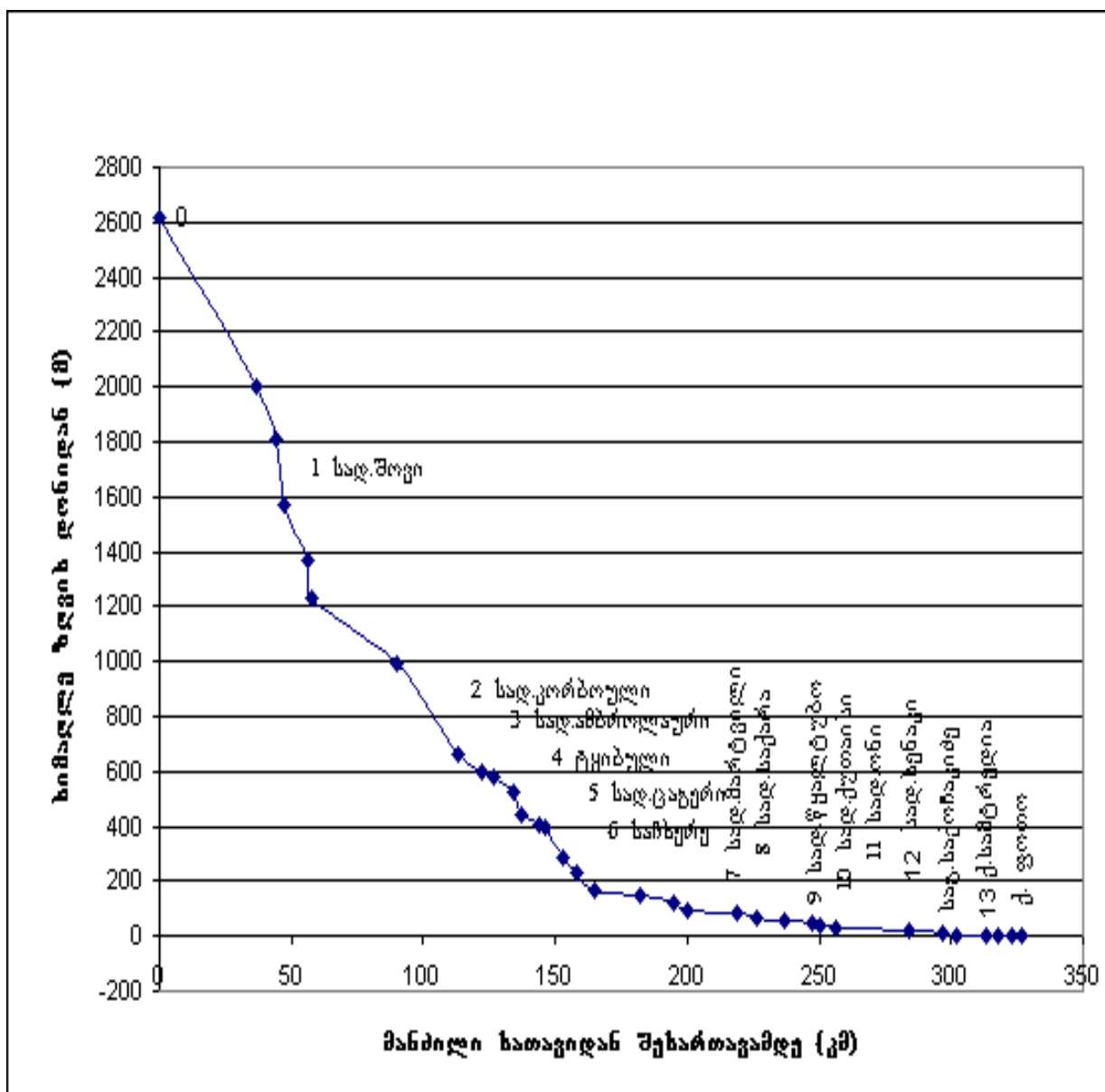
$$(dR)_2=0.01x(-1390.1x0.1)-0.157x3=-1.86 \approx -1.9 \text{ მ}^3/\text{წმ} \text{ (-3\%).}$$

ამრიგად, აღნიშნული კლიმატური სცენარის პირობებში მდ.ცხენისწყლის-ს.რცხმელური ჩამონადენი პრაქტიკულად არ განიცდის მნიშვნელოვან ცვლილებას - იგი მცირდება მხოლოდ 2-3%-ით.

### 14.3.მდ.რიონის დელტა, მდ.რიონი – სალპანას კვეთი

მდ.რიონი სათავეს იღებს კავკასიონის სამხრეთ ფერდობზე, ფასის მთის მახლობლად, ზღვის დონიდან 2620 მ. სიმაღლეზე და ქ.ფოთთან ერთვის შავ ზღვას. მდინარის სიგრძე 327 კმ-ია, წყალშემკრები აუზის ფართობი ტოლია 13400 კმ<sup>2</sup>, ზღვის დონიდან მისი საშუალო სიმაღლეა 1084 მ (იხ.ნახ.15). მდინარის აუზში

ჰიდრომეტეოროლოგიური დაკვირვებები სხვადასხვა დროს ტარდებოდა 11 წყალსაზომ საგუშავოზე და 21 მეტეოროლოგიურ სადგურზე, რომელთაგან დღეს ფუნქციონირებს 3 ჰიდროლოგიური და 13 მეტეოროლოგიური პუნქტი (იხ.ცხრ.1.5 და ნახ.1.5).

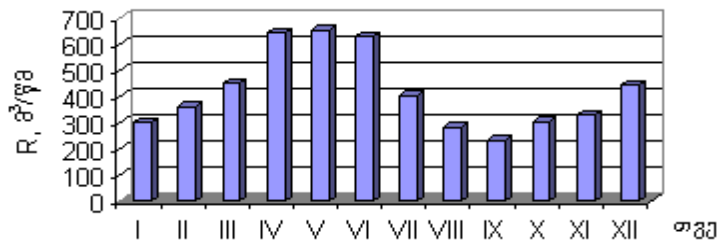


ნახ.1.5. მდ.რიონის გრძივი პროფილი

რიონი მთის მდინარეს წარმოადგენს. მისი აუზის 81% განლაგებულია კავკასიონის (68%) და აჭარაიშერეთის ქედის (13%) სამხრეთ ფერდობებზე, ხოლო 19% მდებარეობს კოლხეთის დაბლობზე. როგორც ცხრ.1.5-დან ვხედავთ მდ.რიონს 600-მდე შენაკადი ერთვის, რომელთაგან ყველაზე მნიშვნელოვანია მდ.ყვირილა, ხანისწყალი და ცხენისწყალი. მდინარის ჩამონადენი ხასიათდება გაზაფხულ-ზაფხულის მაქსიმუმით და შემოდგომა-ზამთრის მინიმუმით (იხ.ნახ.1.6)

ცხრილი 1.5. მდ.რიონის წყალშემკრებ აუზში განლაგებული მეტეოროლოგიური სადგურები

№	სადგური	სიმაღლე ზღვის დონიდან	საშუალო წლიური	
			ტემპერატურა, t °C	ნალექი, Pმმ
1	შოვი	1600	-2.4	1148
2	კორბოული	793	10.0	1205
3	ამბროლაური	544	11.2	983
4	ტყიბული	535	12.2	1890
5	ცაგერი	474	11.4	1235
6	სახხერე	441	11.7	830
7	მარტვილი	176	13.8	1879
8	საქარა	148	13.9	1190
9	წყალტუბო	121	11.6	1692
10	ქუთაისი	114	11.5	1380
11	ონი	114	10.0	790
12	სენაკი	40	11.3	1669
13	სამტრედია	25	11.4	1375



ნახ.1.6. მდ.რიონის – საგ.საქოჩაკიძესთან მრავალწლიური საშუალო თვიური ჩამონადენის რეგვის გრაფიკი (1940-1986 წ.)

ცხრილი 1.6. მდ.რიონის – სად.საქოჩაკიძესთან ძირითადი ჰიდროლოგიური მახასიათებლები [47]

მდინარე და მისი შენაკადები	სად ჩაედინება	აუზის საშუალო სიმაღლე, მ	წყალშემკრები აუზის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	შენაკადების რაოდენობა	მდინარის სიგრძე, კმ	ჰიდროგრაფიული ქსელის სისშირე	საშუალო მრავალწლიური ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ	წყალშემკრებზე მყინვარის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	წყალშემკრებზე ტყე-იანობის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	წყალშემკრებზე ჭაობების ფართობი, კმ <sup>2</sup>
რიონი	შავი ზღვა	1084	13400	600	327	1.04	407	1600	10050	100
ყვირილა	რიონი	1320	3630	167	140	1.45	87.4	-	1815	-
ცხენისწყალი	რიონი	2040	1450	219	76	0.47	62.8	12.9	1000	30
ხანისწყალი	რიონი	1180	914	202	57	0.94	22.8	-	807	-

ჰიდროგრაფიული ქსელი კარგად არის განვითარებული, რასაც ემატება წყალშემკრებ აუზში განლაგებული წყალსაცავები (იხ.ცხრ.1.7)

გეოლოგიური აგებულების მხრივ მაღლივ ზონაში ჭარბობს კრისტალური ქანები (გრანიტი, გნაისები და ფიქალები), რომლებსაც მდინარის მარჯვენა სანაპიროზე ენაცვლება ქვიშები.

ცხრილი 1.7. მდ.რიონის წყალშემკრებ აუზში განლაგებული წყალსაცავები

№	წყალსაცავი	სარკის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	წყლის მოცულობა, მლნ.მ <sup>3</sup>	სიღრმე, მ	
				საშ.	მაქ.
1	შაორი	9.2	90.6	9.8	11.5
2	ლაჯანური	1.6	50	30.0	70.0
3	გუმათი	2.4	39.0	–	24
4	ტყიბული	12.1	81.0	6.9	12.5

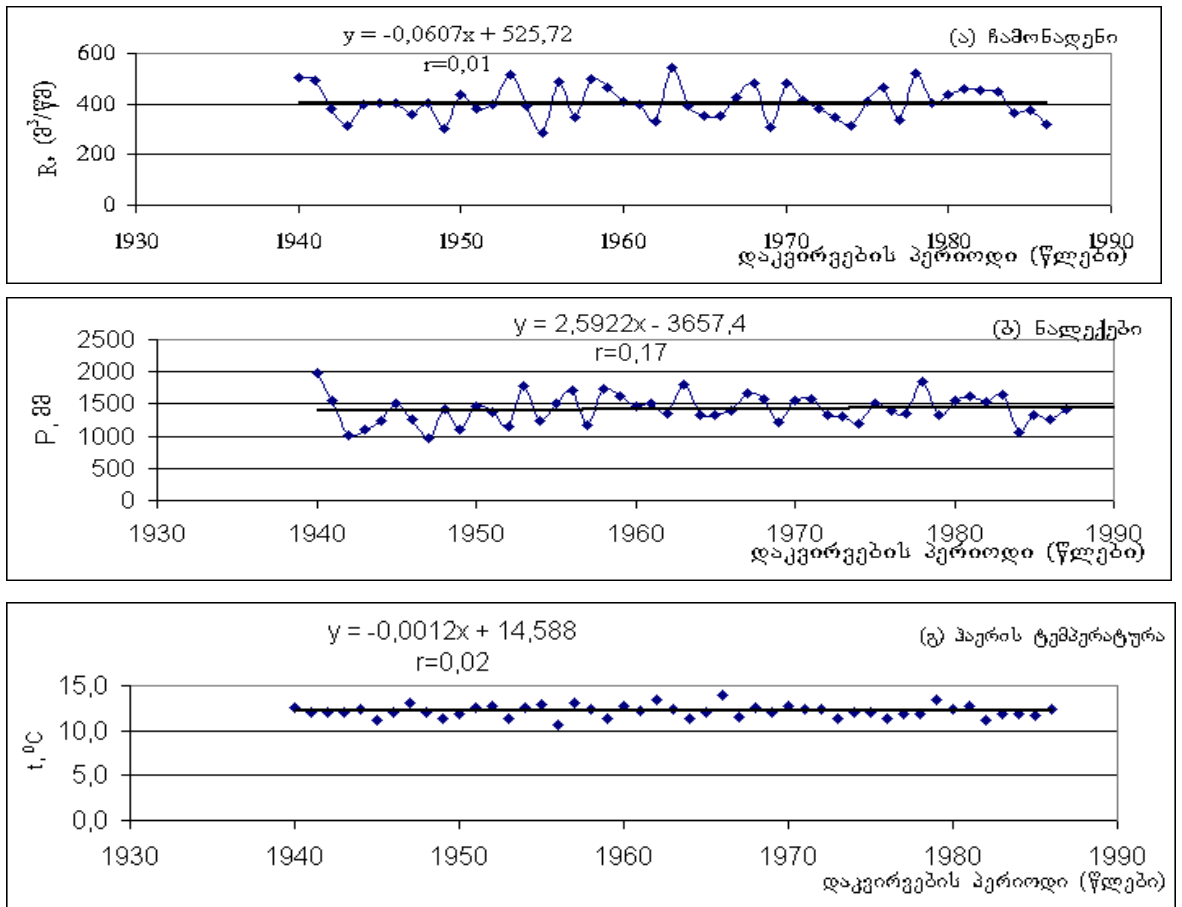
მდ.რიონის აუზში გამოიყოფა ალპური ზონის პრიმიტიული მცირე სისქის კორდიან–ტორფიანი მთა–მდელოთა ნიადაგები, კორდიანი და კორდიანი მთა–მდელოთა ნიადაგები (მაღალმთიან ზონაში). მთა–ტყეთა ზონაში განვითარებულია ტყის ზედა სარტყელის ღია და დაეწერებული ტყის ყომრალი ნიადაგები. მთისწინეთის ზონაში წითელმიწა და გაეწერებული ნიადაგები და ყვითელმიწა ნიადაგები. დაბლობის ზონაში, მდ.ყვირილას მარჯვენა მხარეს ძლიერი და საშუალო ეწერი ნიადაგები. ჭაობიან ზონაში განვითარებულია ჭაობის ლამიანი და ტორფიან–ჭაობიანი ნიადაგები.

ანალოგიური ზონალობა გააჩნია მცენარეულ საფარსაც. კერძოდ, მაღალმთიან ზონაში ალპური მცენარეულობაა განვითარებული. ალპური ზონის სამხრეთით ვრცელდება ჯერ წიწვოვანი და შემდგომ ფოთლოვანი ტყის ზოლი, რომელიც კოლხეთის დაბლობში იცვლება კოლხეთის ტიპის ტყეებით. ჭაობიან ნაწილში გავრცელებულია ჭაობის ტყე და ჭაობის მცენარეულობა. მთლიანად აუზში ტყიანობის ფართი დაახლოებით მთელი აუზის 70–75% შეადგენს (9380–10050 კმ<sup>2</sup>).

გასული საუკუნის მეორე ნახევარში კლიმატური ელემენტებისა და მდ.რიონის რიონის წყლიანობის რეჟიმის ცვალებადობას შორის კავშირების შესასწავლად ნახ.1.7-ზე წარმოდგენილია მდ.რიონის – საგ.საქოჩაკიძესთან საშუალო წლიური ჩამონადენის, წყალშემკრებზე ნალექთა წლიური ჯამებისა და ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის დინამიკა 1940–1986 წლებში (47 წლიანი პერიოდისთვის). აღნიშნული კლიმატური მახასიათებლები ჰაერის ტემპერატურა და ნალექთა ჯამები გამოთვლილი იყო ცხრ.1.8-ში შესული 13 მეტეოსადგურის მონაცემთა გასაშუალოებით. აქვე ნახაზზე მოცემულია აღნიშნული მახასიათებლების ცვლილების ტენდენციის დამახასიათებელი ტრენდები, შესაბამისი რეგრესიის განტოლებები და კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები. როგორც ვხედავთ წყალშემკრებზე პრაქტიკულად უცვლელი ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების მცირე მატების პირობებში დაფიქსირებულია ჩამონადენის უმნიშვნელო შემცირება. ამ პროცესების რაოდენობრივი მახასიათებლები მოცემულია ცხრ.1.8-ში. კერძოდ, 1940–1986 წლების ყოველ 10-წლიან ინტერვალში ჩამონადენის შემცირება შეადგენს სულ რაღაც 0.6 მმ/წმ, რაც ნორმის დაახლოებით 0.2%-ის ტოლია.

ამრიგად, ისევე როგორც აუზში ჰაერის ტემპერატურა, ჩამონადენიც ფაქტიურად არ შეცვლილა. რაც შეეხება ნალექთა ჯამებს, 10-წლიან ინტერვალში მათი ზრდა შეადგენდა 22 მმ-ზე ოდნავ მეტს, რაც ნორმის დაახლოებით 2%-ია. თუ ცვლილებათა ეს სიჩქარეები შენარჩუნდება XX საუკუნის ბოლოსათვის და XXI საუკუნეში, მაშინ 50-იანი წლების დონისათვის მოსალოდნელია ჩამონადენის უმნიშვნელო შემცირება 6 მმ/წმ-ით (ნორმის დაახლოებით 2%), აუზში ჰაერის პრაქტიკულად უცვლელი ტემპერატურისა (საუკუნეობრივი შემცირება შეადგენს მხოლოდ

0.1 °C) და ნალექთა ჯამების 253 მმ-ით (ნორმის დაახლოებით 20%-ით) შედარებით შესამჩნევი ზრდის პირობებში.



ნახ.1.7. მდ.რიონის აუზისათვის 1940 – 1986 წლებში (ა) ჩამონადენის (R), (ბ) ნალექების წლიური ჯამების (P), (გ) ჰაერის ტემპერატურის (t) დინამიკა და შესაბამისი ტრენდები

ცხრ.1.8. 1940–1986 წლებში მდ.რიონის ჩამონადენის, წყალშემკრებზე საშუალო წლიური ნალექებისა და ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარის სიდიდეები, მიყვანილი 1-, 10-, 47-, 100-წლიან პერიოდებამდე

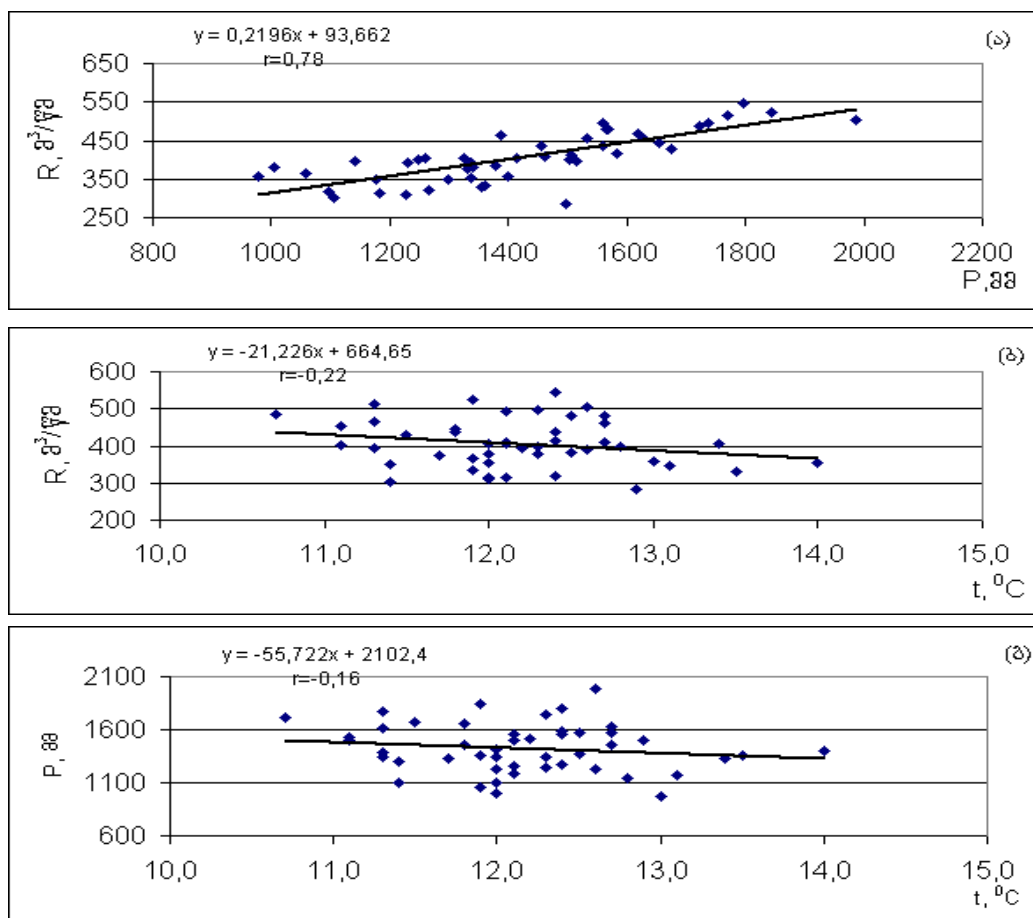
ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობები R, მმ/წმ	R <sub>0</sub> მმ/წმ	ჩამონადენის ცვლილება ΔR=R <sub>2</sub> -R <sub>1</sub> მმ/წმ				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება,  ΔR /R <sub>0</sub> %			
		1	10	47	100	1	10	47	100
R <sub>2</sub> = -0.0607 x 1986 + 525.72 = 405	407	-0.06	-0.64	-3.00	-6.38	0.016	0.16	0.74	1.57
R <sub>1</sub> = -0.0607 x 1940 + 525.72 = 408									
ნალექების გამოთვლილი მნიშვნელობები P, მმ	P <sub>0</sub> მმ	ნალექების ცვლილება ΔP=P <sub>2</sub> -P <sub>1</sub> მმ				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება,  ΔP /P <sub>0</sub> %			
			1	10	47	100	1	10	47
P <sub>2</sub> = 2.5922 x 1986 - 3657.4 = 1491	1425	2.53	25.3	119.0	253.0	0.18	1.80	8.36	17.75
P <sub>1</sub> = 2.5922 x 1940 - 3657.4 = 1372									
ტემპერატურის გამოთვლილი მნიშვნელობები t, °C	t <sub>0</sub> °C	ტემპერატურის ცვლილება Δt=t <sub>2</sub> -t <sub>1</sub> °C				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება,  Δt /t <sub>0</sub> %			
			1	10	47	100	1	10	47
t <sub>2</sub> = -0.0012 x 1986 + 14.588 = 12.21	12.2	-0.001	-0.01	-0.05	-0.11	0.008	0.08	0.41	0.90
t <sub>1</sub> = -0.0012 x 1940 + 14.588 = 12.26									

როგორ შეიძლება ავსხნათ ეს, პირველი შეხედვით, წინააღმდეგობრივი შედეგი. საკმე იმაშია, რომ ნალექთა ჯამების ზომიერი მატების პირობებში, მაღალ-



მთიან და მთიან ზონებში საკმაოდ დიდი გაცვიანება (მთელი ტერიტორიის 70–75%), ჰიდროგრაფიული და წყალსაცავთა განვითარებული ქსელი, ასევე კოლხეთის დაბლობზე ჭაობიანი ზონის არსებობა, ქმნიან პირობებს ერთის მხრივ, ჭაობებში და მიწისქვეშა ჰორიზონტებში წყლის მარაგის დაგროვებისათვის, მეორეს მხრივ, ტყის ნარგავები (ვარჯი) ხელს უწყობს ატმოსფერული ნალექების ძლიერ დაკავებას. ამიტომ, ყოველივე აღნიშნული განაპირობებს სუსტ გავლენას ზედაპირულ ჩამონადენზე.

ნახ.1.8-ზე გრაფიკულად წარმოდგენილია მდ.რიონის – ჩამკეტ კვეთში საგ.საქონაქიძესთან წლიური ჩამონადენის სტატისტიკური დამოკიდებულება წყალშემკრებზე მოსულ წლიურ ნალექთა ჯამებზე, ასევე ჩამონადენისა და ნალექთა ჯამების დამოკიდებულება აუზში საშუალო წლიურ ტემპერატურაზე. აქვე მოცემულია შესაბამისი ორცვლადიანი რეგრესიის განტოლებები და კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები. როგორც ვხედავთ, ნალექების ზრდა მდ.რიონის აუზში იწვევს ჩამონადენის მომატებას, ხოლო ტემპერატურის ზრდა – ნალექებისა და ჩამონადენის კლებას. კვლევის ეს შედეგები აისახა მდ. რიონის – საგ.საქონაქიძესთან წლიური ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ–სტატისტიკურ და წყალბალანსურ მოდელებში, რომლებიც წარმოდგენილი არიან ცხრილებში 1.9 და 1.10. მოდელების გამოცდის შედეგებიც მოცემულია ამ ცხრილებში. მათი გათვალისწინებით ვღებულობთ, რომ ორცვლადიანი რეგრესიის განტოლებათა შეკრებით მიღებული და წყალბალანსური მოდელების ფარდობითი ცდომილებები ემთხვევა ერთმანეთს და შეადგენს 10%.



ნახ.1.8. (ა) კავშირი მდ.რიონის (საგ.საქონაქიძესთან) ჩამონადენსა და წყალშემკრებზე მოსულ წლიურ ნალექებს შორის; (ბ) ჩამონადენსა და აუზში ჰაერის საშუალო წლიურ ტემპერატურას შორის; (გ) ნალექებსა და ჰაერის ტემპერატურას შორის

ცხრილი 19. მდ.რიონის წლიური ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელები

პიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემები					ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელები მიღებული					
					ორცვლადიანი რეგრესიის განტოლებათა შეკრებით <b>R=0,11 P - 10,6 t + 379,2</b> <b>r=0,78; σ<sub>R</sub>=27,33; S<sub>R</sub>=17,10</b>			სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით <b>R=0,22 P - 8,98 t + 208,3</b> <b>r=0,78; σ<sub>R</sub>=27,33; S<sub>R</sub>=17,10</b>		
n	დაკვირვების წლები	ჩამონადენი მდ.რიონი - საგ.საქიხაკიძე, R მპ/წმ	მდ.რიონის აუზში საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	მდ.რიონის აუზში პაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t, °C	მდ.რიონის ჩამონადენის გამომავალი მნიშვნელობა, R მპ/წმ	აბსოლუტური ცდომილება  ΔR  მპ/წმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R %	მდ.რიონის ჩამონადენის გამომავალი მნიშვნელობა, R მპ/წმ	აბსოლუტური ცდომილება  ΔR  მპ/წმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1940	503	1985	12,6	464	39	7,8	532	29	5,8
2	1941	494	1559	12,1	422	72	14,5	443	51	10,3
3	1942	380	1004	12,0	362	18	4,7	321	59	15,5
4	1943	316	1097	12,0	372	56	17,7	342	26	8,2
5	1944	400	1247	12,3	386	14	3,6	372	28	7,0
6	1945	401	1504	11,1	427	26	6,5	440	39	9,7
7	1946	406	1259	12,1	389	17	4,1	377	29	7,1
8	1947	357	977	13,0	349	8	2,3	307	50	14,0
9	1948	405	1413	12,0	407	2	0,5	411	6	1,5
10	1949	302	1105	11,4	380	78	25,8	349	47	15,6
11	1950	436	1455	11,8	414	22	5,1	422	14	3,2
12	1951	383	1377	12,5	398	15	3,9	399	16	4,2
13	1952	397	1141	12,8	369	28	7,1	344	53	13,4
14	1953	514	1771	11,3	454	60	11,7	496	18	3,5
15	1954	392	1230	12,6	381	11	2,9	366	26	6,6
16	1955	284	1498	12,9	407	123	43,3	422	138	48,6
17	1956	487	1721	10,7	455	32	6,6	491	4	0,8
18	1957	348	1177	13,1	370	22	6,3	350	2	0,6
19	1958	497	1736	12,3	440	57	11,6	480	17	3,4
20	1959	466	1619	11,3	437	29	6,2	463	3	0,6
21	1960	409	1461	12,7	405	4	1,0	416	7	1,7
22	1961	396	1515	12,2	416	20	5,1	432	36	9,1
23	1962	331	1356	13,5	385	54	16,3	385	54	16,3
24	1963	546	1797	12,4	445	101	18,5	492	54	9,9
25	1964	394	1338	11,3	406	12	3,0	401	7	1,8
26	1965	354	1337	12,0	399	45	12,7	395	41	11,6
27	1966	356	1399	14,0	384	28	7,9	390	34	9,6
28	1967	428	1676	11,5	441	13	3,0	474	46	10,7
29	1968	481	1568	12,5	419	62	12,9	441	40	8,3
30	1969	310	1227	12,0	387	77	24,8	370	60	19,4
31	1970	481	1565	12,7	417	64	13,4	439	42	8,7
32	1971	415	1582	12,4	422	7	1,7	445	30	7,2
33	1972	380	1339	12,3	396	16	4,2	392	12	3,2
34	1973	350	1298	11,4	401	51	14,6	391	41	11,7
35	1974	314	1183	12,1	381	67	21,3	360	46	14,6
36	1975	411	1507	12,1	417	6	1,5	431	20	4,9

ცხრილი 1.9-ს გაგრძელება										
37	1976	465	1387	11,3	412	53	11,4	412	53	11,4
38	1977	334	1361	11,9	403	69	20,7	401	67	20,1
39	1978	524	1845	11,9	456	68	13,0	507	17	3,2
40	1979	405	1324	13,4	383	22	5,5	379	26	6,4
41	1980	436	1558	12,4	419	17	3,9	440	4	0,9
42	1981	460	1625	12,7	423	37	8,0	452	8	1,7
43	1982	454	1534	11,1	430	24	5,3	446	8	1,8
44	1983	446	1655	11,8	436	10	2,2	466	20	4,5
45	1984	365	1059	11,9	369	4	1,1	334	31	8,5
46	1985	375	1331	11,7	401	26	6,9	396	21	5,6
47	1986	320	1267	12,4	387	67	20,9	376	56	17,5
საშ.		407,00	1424,87	12,16	406,84	37,33	9,64	412,58	32,68	8,72

ცხრილი 1.10. მდ.რიონის წლიური ჩამონადენის ფორმირების წყალბალანსური (ლ.ტიურკის) მოდელი (კალიბრების მუდმივა  $c=5,0885$ )

n	ლაკვირების წლები	ჩამონადენი მდ.რიონი - საგ.საკონაქობე, R მ <sup>3</sup> /წმ	მდ.რიონის აუზში საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	მდ.რიონის აუზში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t, °C	მდ.რიონის საგ.საკონაქობე ჩამონადენის წლიური ფენის სიმაღლე, R მმ	ტემპერატურის ფუნქციის მნიშვნელობები, $L=300+25t+0,05 t^3$	ჩამონადენის ფენის სიმაღლის გამოსვლილი მნიშვნელობები, R მმ	აბსოლუტური ცდომილება,  ΔR  მმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R %
1	1940	503	1985	12,6	1184,68	715,02	1430,08	245,40	20,71
2	1941	494	1559	12,1	1163,48	691,08	1070,32	93,16	8,01
3	1942	380	1004	12,0	894,99	686,40	630,56	264,43	29,55
4	1943	316	1097	12,0	744,25	686,40	700,19	44,06	5,92
5	1944	400	1247	12,3	942,09	700,54	813,04	129,05	13,70
6	1945	401	1504	11,1	944,44	645,88	1040,10	95,65	10,13
7	1946	406	1259	12,1	956,22	691,08	824,80	131,43	13,74
8	1947	357	977	13,0	840,81	734,85	603,87	236,94	28,18
9	1948	405	1413	12,0	953,87	686,40	950,31	3,56	0,37
10	1949	302	1105	11,4	711,28	659,08	711,85	0,57	0,08
11	1950	436	1455	11,8	1026,88	677,15	987,96	38,92	3,79
12	1951	383	1377	12,5	902,05	710,16	914,08	12,03	1,33
13	1952	397	1141	12,8	935,02	724,86	726,20	208,83	22,33
14	1953	514	1771	11,3	1210,59	654,64	1268,21	57,63	4,76
15	1954	392	1230	12,6	923,25	715,02	796,42	126,83	13,74
16	1955	284	1498	12,9	668,88	729,83	1006,82	337,94	50,52
17	1956	487	1721	10,7	1146,99	628,75	1235,79	88,80	7,74
18	1957	348	1177	13,1	819,62	739,90	750,59	69,03	8,42
19	1958	497	1736	12,3	1170,55	700,54	1217,95	47,40	4,05
20	1959	466	1619	11,3	1097,53	654,64	1135,33	37,80	3,44
21	1960	409	1461	12,7	963,29	719,92	979,50	16,22	1,68
22	1961	396	1515	12,2	932,67	695,79	1031,78	99,11	10,63
23	1962	331	1356	13,5	779,58	760,52	884,40	104,82	13,45
24	1963	546	1797	12,4	1285,95	705,33	1268,92	17,04	1,33
25	1964	394	1338	11,3	927,96	654,64	898,44	29,51	3,18
26	1965	354	1337	12,0	833,75	686,40	888,40	54,65	6,55
27	1966	356	1399	14,0	838,46	787,20	911,84	73,38	8,75
28	1967	428	1676	11,5	1008,04	663,54	1181,09	173,06	17,17

29	1968	481	1568	12,5	1132,86	710,16	1071,25	61,61	5,44
ცხრილი 1.10-ის გაგრძელება									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	1969	310	1227	12,0	730,12	686,40	800,69	70,57	9,67
31	1970	481	1565	12,7	1132,86	719,92	1065,44	67,42	5,95
32	1971	415	1582	12,4	977,42	705,33	1084,68	107,26	10,97
33	1972	380	1339	12,3	894,99	700,54	886,12	8,86	0,99
34	1973	350	1298	11,4	824,33	659,08	864,54	40,21	4,88
35	1974	314	1183	12,1	739,54	691,08	765,24	25,70	3,47
36	1975	411	1507	12,1	968,00	691,08	1026,68	58,68	6,06
37	1976	465	1387	11,3	1095,18	654,64	938,82	156,36	14,28
38	1977	334	1361	11,9	786,64	681,76	909,18	122,54	15,58
39	1978	524	1845	11,9	1234,14	681,76	1321,31	87,18	7,06
40	1979	405	1324	13,4	953,87	755,31	860,54	93,32	9,78
41	1980	436	1558	12,4	1026,88	705,33	1064,52	37,64	3,67
42	1981	460	1625	12,7	1083,40	719,92	1115,78	32,38	2,99
43	1982	454	1534	11,1	1069,27	645,88	1065,68	3,59	0,34
44	1983	446	1655	11,8	1050,43	677,15	1157,40	106,97	10,18
45	1984	365	1059	11,9	859,66	681,76	672,34	187,31	21,79
46	1985	375	1331	11,7	883,21	672,58	887,45	4,24	0,48
47	1986	320	1267	12,4	753,67	705,33	827,62	73,95	9,81
საშ.		407,00	1424,87	12,16	957,52	694,69	962,64	89,00	9,72

ოდნავ უკეთესი გამოცდის შედეგი ახასიათებს სამცხლადიან რეგრესიის მოდელს (კორელაციის კოეფიციენტი  $r=0.78$ ). ამ შემთხვევაში აბსოლუტური ცდომილება ტოლია 33 მ<sup>3</sup>/წმ (განხილულ პერიოდში ჩამონადენის ნორმა შეადგენს 407 მ<sup>3</sup>/წმ), ხოლო ფარდობითი ცდომილება დაახლოებით 9%-ია. ამიტომ მდ.რიონის ჩამონადენის მოწვევადობის შეფასებისათვის, ძირითადად, გამოვიყენებთ სამცხლადიანი რეგრესიის მოდელს.

ამრიგად, ჩამონადენის ფორმირების მეორე სტატისტიკურ-ემპირიული მოდელის გამოყენებით და (140) და (141) გამოსახულებათა გათვალისწინებით მდ.რიონის აუზისათვის (ჩამკეტი კვეთი – საგ.საქონაკიძე) ვღებულობთ:

- ჩამონადენის მოწვევადობის სიდიდე წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ცვლილების მიმართ ტოლია

$$n_1 = \frac{1424.87}{407} \times 0.22 = 0.7702;$$

- ჩამონადენის მოწვევადობის სიდიდე წყალშემკრებისათვის დამახასიათებელ ტემპერატურის ცვლილებისას ტოლია

$$n_2 = \frac{12.16}{407} \times 8.98 = 0.2683;$$

- მოწვევადობათა შეფარდება ტოლია

$$n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{0.7702}{0.2683} \approx 3.$$

ამრიგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ განხილული აუზისათვის წლიური ჩამონადენის მოწვევადობა ნალექთა წლიური ჯამების ცვლილების მიმართ დაახლოებით 3-ჯერ მეტია ჩამონადენის მოწვევადობაზე წყალშემკრებისათვის დამახასიათებელი საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილებისას. აღსანიშნავია, რომ პირველი სტატისტიკურ-ემპირიული მოდელით ჩატარებული ჩამონადენის შეფასება უჩვენებს, რომ მოწვევადობები ცალცალკე ნალექთა ჯამების და ტემპერატურის ცვლილებათა მიმართ ფაქტიურად ერთმანეთს ( $n \approx 1$ ).

შევაფასოთ ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილება გლობალური დათბობის პირობებში, როდესაც ტემპერატურის მატება შეადგენს 3°C, ხოლო ნალექთა ჯამები მცირდება ნორმის 5-10%-ით.

გვაქვს

$$R=0.22P-8.98t+208.3,$$

საიდანაც ვღებულობთ

$$dR=0.22dP-8.98dt.$$

მაშინ

$$(dR)_1=0.22x(-1425x0.05)-8.98x3=-42.6 \text{ მ}^3/\text{წმ}, \text{ რაც შეადგენს ნორმის } -10\%;$$

$$(dR)_2=0.22x(-1425x0.1)-8.98x3=-58.3 \text{ მ}^3/\text{წმ} \text{ ანუ ნორმის } -14\%.$$

ამრიგად, აღნიშნული კლიმატური სცენარის პირობებში მდ.რიონის-ს.საქოჩაკიძესთან მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 10-14%-ით.

#### მდ.რიონი – სალპანას კვეთი

ცხრ.1.10(ა)-ში მოცემულია მდინარე რიონი – ჰიდროლოგიური საგუშაგო სალპანას ჩამკეტ კვეთისათვის წყალშემკრებ ტერიტორიაზე განთავსებული მეტეოსადგურების და საგუშაგოების მონაცემები, გამოყენებული გამოთვლებში. წყალშემკრების საერთო ფართობი შეადგენს  $S_1=2830 \text{ კმ}^2$ , აუზის საშუალო სიმაღლეა  $H_1=1740 \text{ მ}$ . ცხრილის ბოლოს მოყვანილია ჩამონადენის ფორმირების მაღლივი ზონისათვის დამახასიათებელი მეტეოელემენტების მნიშვნელობები, რომლებიც მიღებულია 700-2700 მ სიმაღლეებზე განლაგებული პუნქტების მონაცემთა გასაშუალოებით.

ცხრ.1.10(ა)-ში მოცემული მეტეოელემენტების მნიშვნელობათა ჩასმით ლ. ტიურკის მოდელის ფორმულებში, ვღებულობთ:

$$\text{კალიბრების მუდმივა } C=150.5; \quad \frac{\partial R}{\partial P} = 0.923; \quad \frac{\partial R}{\partial t} = 0.232 \frac{\text{მმ}}{\text{გრად}}.$$

ამრიგად, ტიურკის მოდელის საფუძველზე გვაქვს

$$dR=0.923dP-0.232dt$$

როგორც ვხედავთ ჩამონადენის მგრძობიარობები ნალექებისა და ტემპერატურის ცვლილებათა მიმართ საწინააღმდეგო ნიშნის არიან. მაგალითად, ორივე ელემენტის ერთდროული ზრდა იწვევს ჩამონადენის მომატებას ნალექთა ცვლილებების მხრივ და მის შემცირებას, გამოწვეულს ტემპერატურის ზრდით. მაგრამ შეფარდება

$$n = \frac{P_0}{t_0} \frac{\frac{\partial R}{\partial P}}{\frac{\partial R}{\partial t}} = \frac{1225}{7.9} \cdot \frac{0.923}{0.232} = 616.9 \approx 617.$$

ე.ი. ტიურკის მოდელის მიხედვით ჩამონადენის მგრძობიარობა ნალექთა ცვლილების მიმართ 617-ჯერ მეტია, ვიდრე მისი მგრძობიარობა ტემპერატურის ცვლილების მიმართ, ამიტომ ამ შემთხვევაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ჩამონადენის მოწვევადობაში შეაქვთ ნალექთა ვარიაციებს. ამას ადასტურებს შემდეგი კლიმატური სცენარების მიხედვით შესრულებული ჩამონადენის ცვლილების შეფასება.

**სცენარი I:** დაუშვათ, რომ მოსალოდნელია ნალექთა ჯამების მომატება 10%-ით, ე.ი.  $dP=0.1xP_0=0.1x1224 \text{ მმ}=122.4 \text{ მმ}$ , ტემპერატურის ზრდა კი შეადგენს  $dt=1^\circ\text{C}$  (12.7%).

თანახმად (25)-ისა, გვაქვს

$$dR=0.923x122.4 \text{ მმ}-0.232 \text{ მმ/გრად} \times 1 \text{ გრად}=112.975-0.232=112.7 \text{ მმ}$$

ამრიგად, ჩამონადენის ცვლილება შეადგენს  $dR=113 \text{ მმ}$ , ან საწყისი მნიშვნელობის (ნორმის) 10%-ს.

**სცენარი II:**  $dR=122.4 \text{ მმ}$  (10%);  $dt=2^\circ\text{C}$  (25.3%)

$$dR=0.923x122.4 \text{ მმ}-0.232 \text{ მმ/გრად} \times 2 \text{ გრად}=112.975-0.464=112.5 \text{ მმ}$$

ჩამონადენის ცვლილება შეადგენს  $dR=112.5$  მმ (10%).

**სცენარი III:**  $dP=0.05 \times 1224=61.2$  მმ (5%);  $dt=1^\circ\text{C}$  (12.7%)

$$dR=0.923 \times 61.2 - 0.232 \times 1 = 56.488 - 0.232 = 56.26 \text{ მმ}$$

ჩამონადენის ცვლილება შეადგენს  $dR=56.3$  მმ (5%).

ცხრილი 1.10(ა).მდ.რიონი-ს.აღპანას ჩამკეტი კვეთის წყალშემკრებ ტერიტორიაზე განლაგებული მეტეოპუნქტებისა და პიდროლოგიურ საგუშაგოთა მონაცემები

№	ჰიდრომეტეოროლოგიური პუნქტის დასახელება	სიმაღლე ზღვის დონიდან H მ	ნიადაგის ტემპერატურა $T_0$ °C	ჰაერის ტემპერატურა $T_1$ °C	ჰაერის ივლისის ტემპერატურა $T_2$ °C	ნალექთა ჯამები P მმ	წყლის ოროქლის დრეკადობა e მმ	სინოტივის დევიციტი D მმ	საერთო დრუბლიანობა $n$ (ერთის ნაწილებში)	ქვედა იარუსის დრუბლიანობა $n_2$ (ერთის ნაწილებში)	წყალშემკრების ფართი და საშუალო სიმაღლე $S_1$ კმ <sup>2</sup> /H <sub>1</sub> მ	ჩამონადენი R მმ
1	მამისონის უღ.	2854		-2.4	7.3	968*	4.6	1.4	0.63	0.53		
2	შქმერი	1750				1212						
3	შოვი	1507	7.0	5.2	15.6	1264	7.5	2.9	0.62	0.47		
4	ღები	1380				1332					216	11.1
5	საგლოლო – გლოლა	1265				1252					2430	1620
6	ურავი	1150				1335					627	28.0
7	ზედათლუგი	1150				1032					2430	1420
8	ხერგა	1131	8.0	6.7	17.6	1350	8.6	3.2	0.56	0.36		
9	უწერა	981				1495					707	30.6
10	პიპილეტი	960				1079					2370	1364
11	ლაგვანთა	853		9.5	19.2	1265						
12	ლაილაში	836				1093						
13	სორი	800				1120						
14	ონი	788	12.0	10.0	20.4	1048	9.4	5.1	0.59	0.42	1060	43.6
											2210	1295
15	ხიდიკარი	680				1106					2010	73.6
											1940	1153
16	ამბროლაური	544	13.0	11.2	21.9	1075	10.7	5.0	0.61	0.36		
17	ჭრებალო	525	13.0	11.4	22.1	1088	11.0	5.0	0.61	0.38		
18	აღპანა	336				1095					2830	101
											1740	1126
	მეტეოელემენტების საშუალო მნიშვნელობები ჩამონადენის ფორმირების მაღლივ ზონისათვის		9.0	7.9	18.2	1224	8.5	3.7	0.59	0.42	2830	101
											1740	1126

\*-ნალექთა ჯამების მნიშვნელობა მოცემულია შესწორების გარეშე.

**სცენარი IV:**  $dP=0.01 \times 1224=12.24$  მმ (1%)  $dt=1^\circ\text{C}$  (12.7%).

$$dR=0.923 \times 12.24 - 0.232 \times 1 = 11.298 - 0.232 = 11.1 \text{ მმ.}$$

ჩამონადენის მომატება შეადგენს  $dR=11.1$  მმ ან დაახლოებით 1%-ს.

**სცენარი V:**  $dP=0$ ;  $dt=-1^\circ\text{C}$  (-12.7%).

$$dR=0.923 \times 0 - 0.232 \times (-1) = 0.232 \text{ მმ}$$

ჩამონადენი თითქმის არ იცვლება.

**სცენარი VI:**  $dP = -122.4$  მმ (-10%);  $dt = -1^\circ\text{C}$  (-12.7%).

$$dR = 0.923x(-122.4) - 0.232x(-1) = -122.975 + 0.232 = -112.7 \text{ მმ.}$$

ჩამონადენის შემცირება შეადგენს  $dR = -113$  მმ (-10%).

**სცენარი VII:**  $dP = -122.4$  მმ (-10%);  $dt = 1^\circ\text{C}$  (12.7%).

$$dR = -122.975 - 0.232 = -113.2 \text{ მმ.}$$

ჩამონადენის შემცირება ამ შემთხვევაში შეადგენს  $dR = -113.2$  მმ (-10%).

შეგაფასოთ ჩამონადენის ცვლილება გლობალური დათბობის პირობებში შემდეგი კლიმატური სცენარის მიხედვით: დასავლეთ საქართველოს რეგიონში ტემპერატურის მატება შეადგენს  $3^\circ\text{C}$ , ხოლო ნალექთა ჯამები მცირდება ნორმის 5-10%-ით.

გვექნება

$$(dR)_1 = 0.923x(-61.2) - 0.232x3 = -57.2 \text{ მმ, რაც შეადგენს ნორმის 5%-ს.}$$

$$(dR)_2 = 0.923x(-122.4) - 0.232x3 = -113.7 \text{ მმ, (-10%).}$$

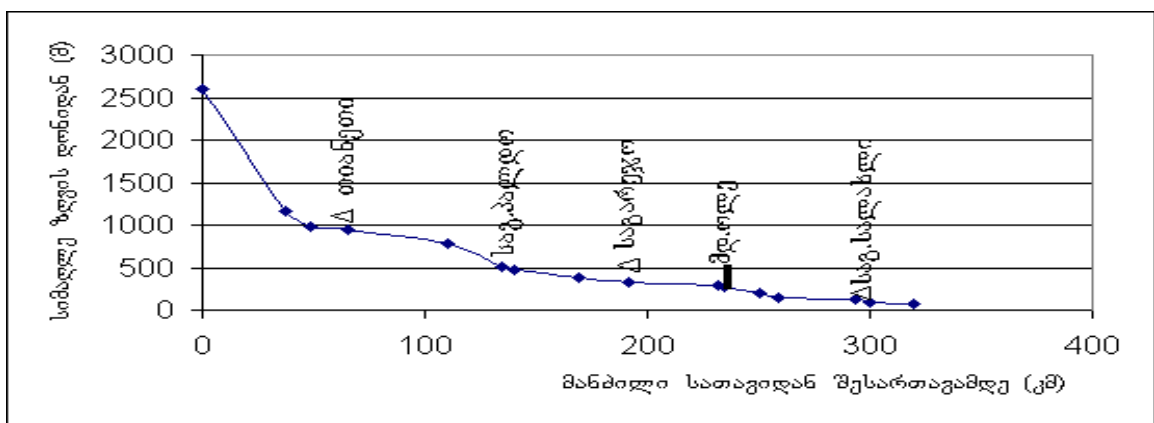
ამრიგად, გლობალური დათბობის აღნიშნული ძირითადი სცენარის მიხედვით მდ.რიონის-ს.აღკანას კვეთისთვის ჩამონადენის შემცირებამ შეიძლება შეადგინოს ნორმის 5-10%.

#### 14.4. დედოფლისწყაროს რაიონი, მოსაზღვრე მდინარეების ალაზნისა და იორის აუზები

მესამე პრიორიტეტულ რეგიონში ჩამონადენის მოწყვლადობის შეფასება კლიმატის გამოვლენილ ცვლილებათა მიმართ განხილულია აღმოსავლეთ საქართველოს ორი უმთავრესი მდინარის – იორის და ალაზნის აუზებისათვის. მათი წყალშემკრების რაიონი ჩრდილოეთით პირიქითა და თუშეთის ალაზნისაგან გამოყოფილია კახეთის კავკასიონით, სამხრეთით – ქვემო ქართლის ვაკისაგან საგურამო-იალნოს ქედით და მდინარე იორის და მტკვრის წყალგამყოფით, დასავლეთით – შიდა ქართლის ვაკისაგან ქართლის ქედით, ხოლო აღმოსავლეთით გაჰყვება საქართველო – აზერბაიჯანის საზღვარს.

##### 14.4.1. მდ.იორის აუზი

მდ.იორი სათავეს იღებს კავკასიონის ქედის სამხრეთ ფერდობიდან 2600 მ სიმაღლეზე ზღვის დონიდან (იხ.ნახ.1.9). ჩაედინება მინგეჩაურის წყალსაცავში. მდინარის სიგრძე 320 კმ-ია, წყალშემკრები აუზის ფართი შეადგენს 4650 კმ<sup>2</sup> (იხ.ცხრ.1.11). მდინარის აუზში ჰიდრომეტეოროლოგიური დაკვირვებები სხვადასხვა დროს ტარდებოდა 5 წყალსაზომ საგუმავოზე და 3 მეტეოროლოგიურ სადგურზე, რომელთაგან დღეს ფუნქციონირებს 3 წყალსაზომი და 2 მეტეოროლოგიური პუნქტი (იხ.ცხრ.1.12).



ნახ.1.9. მდ.იორის გრძივი პროფილი

ცხრილი 1.11. მდ.იორის – საგ.სალახლი ძირითადი ჰიდროლოგიური მახასიათებლები [47]

მდინარე და მისი შენაკადი	სად ჩაედინება	აუზის საშუალო სიმაღლე, მ	წყალშემკრები აუზის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	შენაკადების რაოდენობა	მდინარის სიგრძე, კმ	ჰიდროგრაფიული ქსელის სისიმრე	საშუალო მრავალწლიური მდ.საღვ. ხაზი, მ <sup>3</sup> /წმ
იორი – საგ.სალახლი	მინგეჩაურის წყალსაცავი	780	4190	509	320	0.38	17.4
ოლე	იორი	590	395	40	29	0.33	1.0

ცხრილი 1.12. მდ.იორის წყალშემკრებ აუზში განლაგებული მეტეოროლოგიური სადგურები

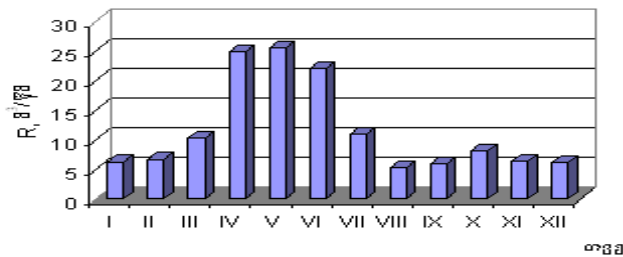
№	სადგური	სიმაღლე ზღვის დონიდან	საშუალო წლიური	
			ტემპერატურა, t °C	ნალექი, Pმმ
1	თიანეთი*	1099	7,5	795
2	საგარეჯო*	802	11,0	768
3	შირაქი	555	10,3	501

შენიშვნა \* – მოქმედი მეტეოროლოგიური სადგურები

მდინარის აუზი, მახასიათებლების და კალაპოტის შესაბამისად, იყოფა სამ მონაკვეთად: სათავე – სოფ. პაღდო; სოფ.პაღდო – მდ.ოლეს შესართავი და მდ.ოლეს შესართავიდან – მინგეჩაურის წყალსაცავამდე.

პირველ მონაკვეთში მდინარის ფერდობების უმეტესი ნაწილი დაფარულია ფოთლოვანი ტყით (მუხა, კაკალი, წიფელი და სხვ.) წყალგამყოფზე და მდინარის სათავეში (1800–2000 მ) გვხვდება ალპური მდელოები. მეორე მონაკვეთის დასაწყისში ფოთლოვანი მცენარეული საფარს მუხას, თელას და ტირიფს ცვლის ბუჩქოვანი და სტეპური ბალახები, რომლებიც მდინარის მესამე მონაკვეთისთვისაც დამახასიათებელია. მდინარის მთელ სიგრძეზე ფერდობების ქანები აგებულია თიხნარებით.

საზრდობის კლასიფიკაციის შესაბამისად მდ.იორი მიეკუთვნება მყინვარული, თოვლის და წვიმის წყლებით საზრდობის ტიპს. წყალდიდობები აქ იწყება მარტის ბოლოს, აპრილის დასაწყისში, მაქსიმუმი დაიკვირვება აპრილ – მაისში და მთავრდება ივლის–აგვისტოს ბოლოს (იხ.ნახ.1.10).



ნახ.1.10. მდ.იორის – საგ.სალახლი მრავალწლიური საშუალო თვიური ჩამონადენის რყევის გრაფიკი (1941-1985 წ.)



მდ.იორის აუზის წყლის რესურსების გამოყენება რეგულირდება სიონის და თბილისის წყალსაცავების ბაზაზე ზემო და ქვემო მაგისტრალური არხების საშუალებით (იხ.ცხრ.1.13, რომელნიც სრულად ჯერ კიდევ ვერ უზრუნველყოფენ იორის აუზის ქვემო წელში განლაგებულ ეკონომიკურ რაიონებს.

ცხრილი 1.13. მდ.იორის სათავე ნაგებობები

№	დასახელება	ექსპლუატაციაში შესვლის წელი	წყალმომარება მ <sup>3</sup> /წმ	სარწყავი ფართი, ათასი ჰა
1	ზემო მაგისტრალური სარწყავი სისტემა (სათავე ნაგებობა სოფ.პაღლოსთან)	1951-1952	13.0	15.0
2	ქვემო მაგისტრალური სარწყავი სისტემა მარჯვენა და მარცხენა ნაპირების მაგისტრალური არხებით	1956	31.0	58.4

საკვლევ ტერიტორიაზე ჰიდროლოგიური გაზომვები წარმოებდა წყალშემკრები აუზის ჩამკეტ კვეთში (საგ.სალახლი), რომლის დაკვირვების პერიოდი 1941–1952 წლები (12 წელი) ემპირიულ–სტატისტიკური და წყალბალანსური განგარიშებისათვის და მოწვევადობის შეფასებისათვის არასაკმარისია. აღნიშნულიდან გამომდინარე, საგ.სალახლის კვეთში ჩამონადენის რიგი 1953–1985 წლების პერიოდისათვის აღდგენილი იქნა:

ა) საგუშაგოების ორხევი–სალახლის 1941–1952 წლებში არსებული ურთიერთკავშირებით (კორელაციის კოეფიციენტი  $r=0,86$ );

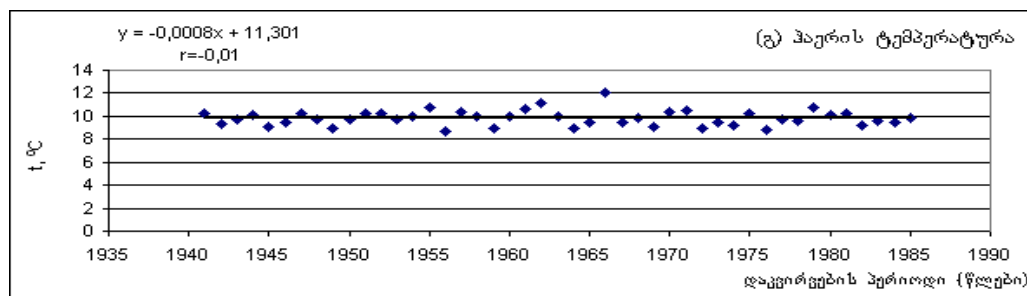
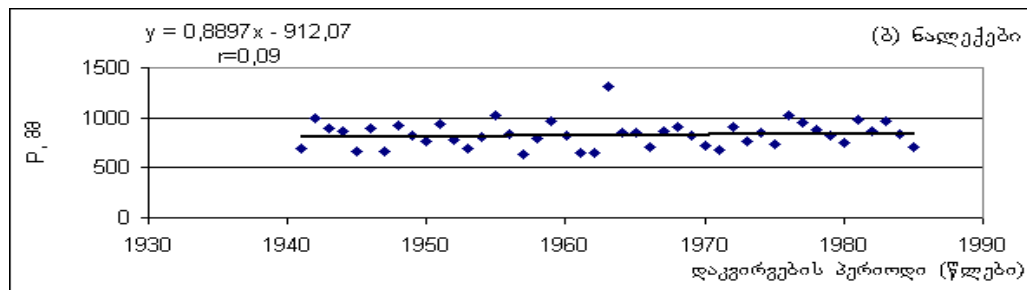
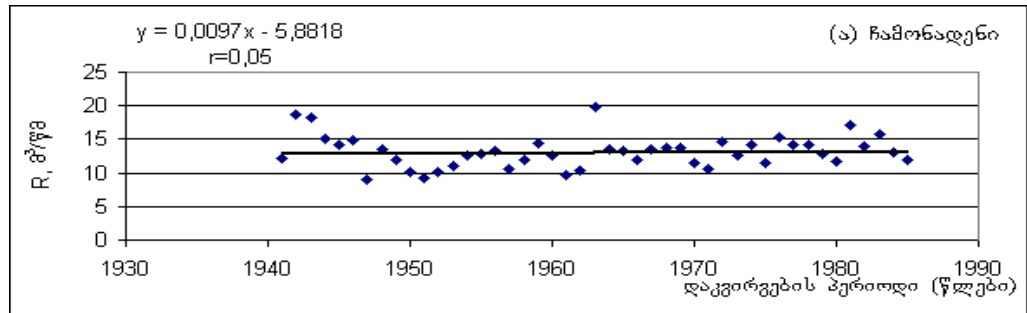
ბ) 1941–1952 წლებში საგუშაგო სალახლის კვეთში ჩამონადენის კავშირით მდ. იორის აუზში ნალექთა წლიურ ჯამებთან (კორელაციის კოეფიციენტი  $r=0,51$ ).

აღმოჩნდა, რომ ასეთი მიდგომით მიღებული ჩამონადენის ორივე რიგი დიდად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან – საშუალოები შესაბამისად ტოლია  $\bar{R}_1 = 11,0$  მ<sup>3</sup>/წმ და  $\bar{R}_2 = 13,1$  მ<sup>3</sup>/წმ, ხოლო საშუალო კვადრატული გადახრები –  $\sigma_{R_1} = 2,72$  მ<sup>3</sup>/წმ და  $\sigma_{R_2} = 2,39$  მ<sup>3</sup>/წმ, რაც მიუთითებს აღდგენის საიმედოობაზე. ბუნებრივია, რომ სიონის წყალსაცავის მშენებლობის შემდეგ 1953 წლიდან დაწყებულმა ჩამონადენის ყოველწლიურმა დარეგულირებამ გარკვეულწილად იმოქმედა საგ.ორხევის მონაცემებზე. ასევე, თბილისის წყალსაცავისა და სამგორის სარწყავი სისტემის ექსპლუატაციაში შესვლამ გავლენა მოახდინა საგ.სალახლის კვეთში გაზომილ წყლის ხარჯის მნიშვნელობებზე. ამიტომ, ბუნებრივი რიგის მიღების თვალსაზრისით, უპირატესობა მიენიჭა ჩამონადენის აღდგენას ნალექთა ჯამების მიხედვით, რამაც საშუალება მოგვცა საკვლევი აუზის საგ.სალახლის ჩამკეტ კვეთში დაკვირვებათა რიგი დაგვეგრძელებინა 1985 წლის ჩათვლით (45 წელი).

ამრიგად, 1941–1985 წლებში მდ.იორის აუზისათვის ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა გამოთვლილი იქნა მეტეოსადგურების თიანეთის, საგარეჯოს და შირაქის, ნალექთა წლიური ჯამების მნიშვნელობები კი მეტეოსადგურების თიანეთის და საგარეჯოს მონაცემების გასაშუალოებით (იხ.ცხრ.1.14), ხოლო საგ.სალახლის ჩამკეტ კვეთში შესაბამისი წლიური ჩამონადენის სიდიდე აღებული იქნა დაგრძელებული რიგიდან. ნახ.1.11-ზე წარმოდგენილია მათი დინამიკა, ცვლილების ტენდენციის ამსახველი ტრენდები, მოცემულია შესაბამისი რეგრესიის განტოლებები და კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები.

ცხრ.1.14. 1941–1985 წლებში მდ.იორის ჩამონადენის, წყალშემკრებზე საშუალო წლიური ნალექებისა და ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარის სიდიდეები, მიყვანილი 1-, 10-, 45-, 100-წლიან პერიოდებამდე

ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობები R, მ <sup>3</sup> /წმ	R <sub>0</sub> მ <sup>3</sup> /წმ	ჩამონადენის ცვლილება				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება,  ΔR /R <sub>0</sub> %			
		ΔR=R <sub>2</sub> -R <sub>1</sub> მ <sup>3</sup> /წმ				1	10	45	100
		1	10	45	100				
R <sub>2</sub> =0,0097 x 1985 -5,8818=13,37	13,1	0,009	0,09	0,42	0,93	0,07	0,69	3,21	7,10
R <sub>1</sub> =0,0097 x 1941 - ,8818=12,95									
ნალექების გამოთვლილი მნიშვნელობები P, მმ	P <sub>0</sub> , მმ	ნალექების ცვლილება				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება,  ΔP /P <sub>0</sub> %			
		ΔP=P <sub>2</sub> -P <sub>1</sub> მმ				1	10	45	100
		1	10	45	100				
P <sub>2</sub> =0,8897x1985 -912,07=853,99	834,5	0,87	8,70	39,15	87,00	0,10	1,04	4,69	10,43
P <sub>1</sub> =0,8897x1941 -912,07=814,84									
ტემპერატურის გამოთვლილი მნიშვნელობები t, °C	t <sub>0</sub> , °C	ტემპერატურის ცვლილება				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება,  Δt /t <sub>0</sub> %			
		Δt=t <sub>2</sub> -t <sub>1</sub> °C				1	10	45	100
		1	10	45	100				
t <sub>1</sub> =-0,0008x1985+11,301=9,713	9,8	0,0008	0,008	0,04	0,08	0,008	0,08	0,36	0,79
t <sub>2</sub> =-0,0008x1941+11,301=9,748									



ნახ.1.11. მდ.იორის აუზისათვის 1941 – 1985 წლებში (ა) ჩამონადენის (R), (ბ) ნალექების წლიური ჯამების (P), (გ) ჰაერის ტემპერატურის (t) დინამიკა და შესაბამისი ტრენდები

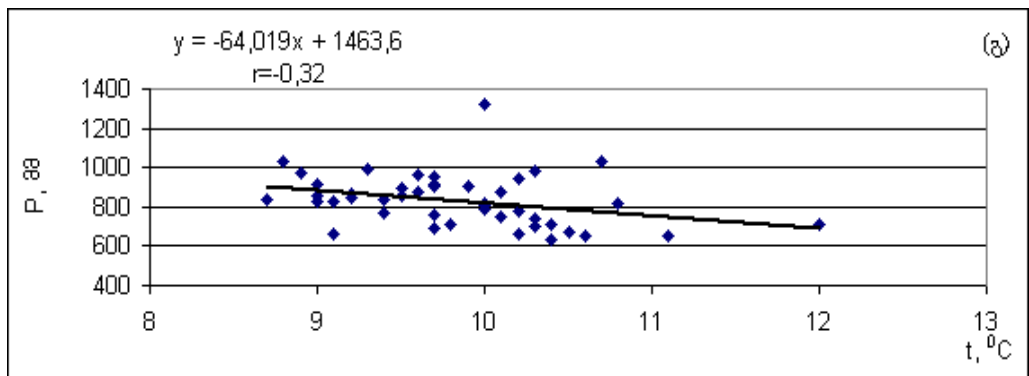
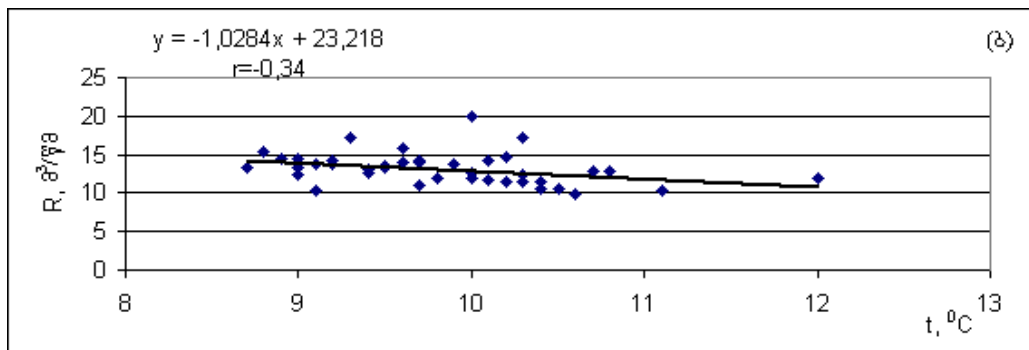
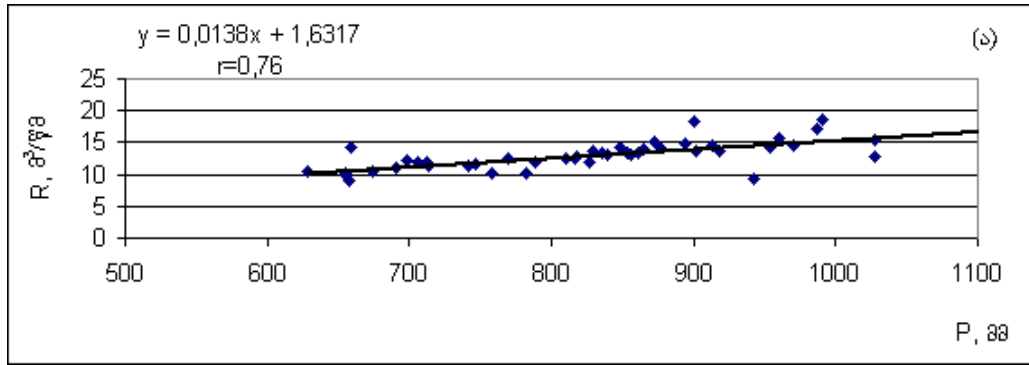
ამ მონაცემების საფუძველზე შეფასდა მდ.იორის წლიური ჩამონადენის, წყალშემკრებზე საშუალო წლიურ ნალექთა ჯამების და ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარეები (იხ.ცხრ.1.14), რომლის მიხედვით განხილულ 45 – წლიან პერიოდში დაიკვირვებოდა ჩამონადენის მატება 0.42 მ<sup>3</sup>/წმ-

ით, რაც ნორმის დაახლოებით 3%-ის ტოლია, წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამების ზრდამ შეადგინა 39 მმ (ნორმის 5%), ხოლო ჰაერის ტემპერატურა პრაქტიკულად უცვლელი დარჩა – მისი მატება ხდება სულ რაღაც 0,04 °C-ით. აღნიშნულ სინქრეთა სიდიდეები, მიყვანილი 10-წლიან პერიოდამდე, გვაძლევენ შემდეგ შეფასებას: აუზში უცვლელი ტემპერატურის ფონზე დაფიქსირებულია ნალექთა ჯამების ზრდა დაახლოებით 9 მმ-ით (ნორმის 1%) და ჩამონადენის მატება 0,09 მ<sup>3</sup>/წმ-ით (ნორმის 0,7%). თუ კლიმატური მახასიათებლებისა და ჩამონადენის ცვლილების ეს ტენდენციები შენარჩუნდა, მაშინ მიმდინარე საუკუნის 50-იანი წლებისთვის უნდა ვივარაუდოთ მდ.იორის აუზში ნალექთა ზრდა 87 მმ-ით (10%) და ჩამონადენის მატება დაახლოებით 1 მ<sup>3</sup>/წმ სიდიდით (7%) ფაქტიურად უცვლელი ჰაერის ტემპერატურის პირობებში (მომატება შეადგენს დაახლოებით 0,1 °C).

როგორც აღნიშნული იყო, საგ.სალახლის კვეთში ჩამონადენის რიგის აღდგენა მოხერხდა 1941–1952 წლების მონაცემებით, როცა არ არსებობდა სიონის და თბილისის წყალსაცავები და მათი მკვებავი სამგორის ზემო და ქვემო მაგისტრალური სარწყავი სისტემა. ამიტომ, ჩამონადენის აღდგენილი რიგი ბუნებრივს წარმოადგენს და იგი არ არის დამახინჯებული სამეურნეო წყალადებით და კომუნალური წყალმომარაგებით. ამ პირობებში ჩამონადენის დაფიქსირებული მცირე მატება უნდა გამოწვეული იყოს კლიმატური ფაქტორებით – წყალშემკრებზე ნალექების ზრდით ჰაერის ტემპერატურის მუდმივობის ფონზე. რადგან მიღებულ რეგრესიის განტოლებებს (ტრენდებს) ახასიათებთ მეტად დაბალი სტატისტიკური უზრუნველყოფა – ჩამონადენის შემთხვევაში კორელაციის კოეფიციენტი  $r=0.05$ , ხოლო ნალექებისა და ტემპერატურის რხევათა წრფივი აპროქსიმაციისათვის, შესაბამისად,  $r=0.09$  და  $r=0.02$ , ასეთ პირობებში ზემოთ მოცემული კლიმატური პროგნოზი არადაამაჯერებლად გამოიყურება.

მჭიდრო სტატისტიკური კავშირით აღინიშნა მდ.იორის (საგ.სალახლი) ჩამონადენის დამოკიდებულება წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამებზე ( $r=0,76$ ), შედარებით სუსტია ჩამონადენის კავშირი აუზში ჰაერის საშუალო წლიურ ტემპერატურასთან ( $r=-0,34$ ), აგრეთვე, ნალექების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე ( $r=-0,32$ ). ამ კავშირების ამსახველი გრაფიკები, რეგრესიის განტოლებები და კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები მოცემულია ნახ.1.12-ზე.

დაკვირვებათა რიგების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე მიღებული ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელები, ასევე მათი გამოცდის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში 1.15 – 1.16. აღსანიშნავია, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში – ცალკეულ წლებში, წყალბალანსური მოდელით გამოთვლილი ჩამონადენის მნიშვნელობები უარყოფითია, რაც ფიზიკურად მიუღებელია. ეტყობა ჩამონადენის წყალბალანსური მოდელი მეტად მგრძობიარე აღმოჩნდა კომპლექსის “ტემპერატურა – ნალექები” რეალურ მდგომარეობასთან შეუსაბამობის მიმართ. კერძოდ, შედარებით მცირე ნალექებისა და ტემპერატურის ფუნქციის მაღალი მნიშვნელობებისათვის მიიღება ჩამონადენის უარყოფითი სიდიდეები. აღნიშნული შეუსაბამობა შეიძლება გამოწვეული იყოს ჩამონადენის ფორმირების სიმაღლებრივ ზონაში განლაგებული არასაკმარისი რაოდენობის მეტეოსადგურების მონაცემებთან წყლის ხარჯების აღდგენილი რიგის შეუთავსებლობით.



ნახ.1.12. (ა) კავშირი მდ.იორის (საგ.სალახლი) ჩამონადენსა და წყალშემკრებზე მოსულ წლიურ ნალექებს შორის; (ბ) ჩამონადენსა და აუზში ჰაერის საშუალო წლიურ ტემპერატურას შორის; (გ) ნალექებსა და ჰაერის ტემპერატურას შორის

ცხრილი 1.15. მდ.იორის წლიური ჩამონადენის ფორმირების ემპირი-  
ულ-სტატისტიკური მოდელების გამოცდის შედეგები

პარამეტრები					ორცვლადიანი რეგრესიის განტოლებათა შეკრებით მიღებული მოდელი <b>R=0,007P-0,514t+12,425;</b> r=0,61; σ <sub>R</sub> =0,23; S <sub>R</sub> =0,18.			სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით მიღებული მოდელი <b>R=0,009P-0,749t+12,93;</b> r=0,61; σ <sub>R</sub> =0,23; S <sub>R</sub> =0,18.		
n	დაკვირვების წლები	ჩამონადენი მდ.იორი – სატ.სადასხლი (1953 წლიდან – აღდგენილი), R მ <sup>3</sup> /წმ	მდ. იორის აუზში საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	მდ.იორის აუზში პაკრის საშუალო წლიური ტემპერატურა t, °C	მდ.იორის ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა, R მ <sup>3</sup> /წმ	აბსოლუტური ცდომილება  ΔR  მ <sup>3</sup> /წმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R %	მდ.იორის ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა, R მ <sup>3</sup> /წმ	აბსოლუტური ცდომილება  ΔR  მ <sup>3</sup> /წმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1941	12,1	698,0	10,3	12,02	0,08	0,66	11,50	0,60	4,96
2	1942	18,7	990,5	9,3	14,58	4,12	22,03	14,88	3,82	20,43
3	1943	18,2	901,0	9,7	13,75	4,45	24,45	13,77	4,43	24,34
4	1944	15,1	872,0	10,1	13,34	1,76	11,66	13,21	1,89	12,52
5	1945	14,3	658,5	9,1	12,36	1,94	13,57	12,04	2,26	15,80
6	1946	14,8	894,5	9,5	13,80	1,00	6,76	13,87	0,94	6,35
7	1947	8,9	658,0	10,2	11,79	2,89	32,45	11,21	2,31	25,98
8	1948	13,6	918,0	9,7	13,87	0,27	1,95	13,93	0,33	2,40
9	1949	11,9	826,5	9,0	13,58	1,68	14,16	13,63	1,73	14,52
10	1950	10,2	757,5	9,7	12,74	2,54	24,92	12,48	2,28	22,37
11	1951	9,24	942,5	10,2	13,78	4,54	49,13	13,77	4,53	49,06
12	1952	10,2	782,0	10,2	12,66	2,46	24,08	12,33	2,13	20,86
13	1953	11,01	691,0	9,7	12,28	1,27	11,50	11,88	0,87	7,94
14	1954	12,54	810,5	10,0	12,96	0,42	3,34	12,73	0,19	1,55
15	1955	12,75	1028,0	10,7	14,12	1,37	10,75	14,17	1,42	11,12
16	1956	13,39	835,5	8,7	13,80	0,41	3,07	13,93	0,54	4,06
17	1957	10,59	629,0	10,4	11,48	0,89	8,43	10,80	0,21	2,00
18	1958	12,04	788,0	10,0	12,80	0,76	6,32	12,53	0,49	4,09
19	1959	14,49	970,5	8,9	14,64	0,15	1,06	15,00	0,51	3,51
20	1960	12,57	816,5	10,0	13,00	0,43	3,42	12,79	0,22	1,74
21	1961	9,76	654,5	10,6	11,56	1,80	18,42	10,88	1,12	11,49
22	1962	10,26	655,5	11,1	11,31	1,05	10,22	10,52	0,26	2,49
23	1963	19,85	1319,0	10,0	16,52	3,33	16,78	17,31	2,54	12,80
24	1964	13,41	853,5	9,0	13,77	0,36	2,71	13,87	0,46	3,43
25	1965	13,20	855,5	9,5	13,53	0,33	2,50	13,51	0,31	2,38
26	1966	11,90	706,0	12,0	11,20	0,70	5,88	10,30	1,60	13,45
27	1967	13,43	861,0	9,5	13,57	0,14	1,03	13,56	0,13	0,99
28	1968	13,65	902,0	9,9	13,65	0,00	0,00	13,63	0,02	0,15
29	1969	13,70	829,0	9,1	13,55	0,15	1,09	13,58	0,12	0,88
30	1970	11,39	714,0	10,4	12,08	0,69	6,04	11,57	0,18	1,58
31	1971	10,50	674,0	10,5	11,75	1,25	11,87	11,13	0,63	6,01
32	1972	14,55	913,5	9,0	14,19	0,36	2,47	14,41	0,14	0,96
33	1973	12,55	770,0	9,4	12,98	0,43	3,45	12,82	0,27	2,15
34	1974	14,27	848,5	9,2	13,64	0,63	4,41	13,68	0,59	4,13
35	1975	11,40	741,5	10,3	12,32	0,92	8,08	11,89	0,49	4,29
36	1976	15,39	1027,5	8,8	15,09	0,30	1,95	15,59	0,20	1,28
37	1977	14,23	953,5	9,7	14,11	0,12	0,84	14,25	0,02	0,11
38	1978	14,10	876,5	9,6	13,63	0,47	3,33	13,63	0,47	3,33

ცხრილი 1.15-ის გაგრძელება

39	1979	12,90	818,0	10,8	12,60	0,30	2,33	12,20	0,70	5,43
40	1980	11,62	746,0	10,1	12,46	0,84	7,19	12,08	0,46	3,95
41	1981	17,10	987,0	10,3	14,04	3,06	17,89	14,10	3,00	17,54
42	1982	13,87	864,5	9,2	13,75	0,12	0,87	13,82	0,05	0,36
43	1983	15,76	960,5	9,6	14,21	1,55	9,84	14,38	1,38	8,76
44	1984	12,99	839,5	9,4	13,47	0,48	3,69	13,44	0,45	3,50
45	1985	11,87	712,0	9,8	12,37	0,50	4,23	12,00	0,13	1,08
		13,1	834,46	9,83	13,2	1,2	9,4	13,1	1,1	8,2

ცხრილი 1.16. მდ.იორის წლიური ჩამონადენის ფორმირების წყალბალანსური (ლ.ტიურკის) მოდელის გამოცდის შედეგები (კალიბრების მუდმივა  $c = -0.78$ )

n	დაკვირვების წლები	ჩამონადენი მდ.იორის - საგ.საღახალი, R მ <sup>3</sup> /წმ	მდ.იორის აუზში საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	მდ.იორის აუზში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t, °C	მდ.იორის საგ.საღახალი ჩამონადენის წლიური ფენის სიმაღლე, R მმ	ტემპერატურის ფუნქციის მნიშვნელობები, L=300+25t+0,05 t <sup>3</sup>	ჩამონადენის ფენის სიმაღლის გამოთვლილი მნიშვნელობები, R მმ	აბსოლუტური ცდომილება,  ΔR  მმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1941	12,1	698,0	10,3	91,1	612,14	-	-	-
2	1942	18,7	990,5	9,3	140,9	572,72	324,38	183,53	130,30
3	1943	18,2	901,0	9,7	137,1	588,13	181,22	44,13	32,19
4	1944	15,1	872,0	10,1	113,7	604,02	108,44	-5,30	-4,66
5	1945	14,3	658,5	9,1	107,7	565,18	-	-	-
6	1946	14,8	894,5	9,5	111,5	580,37	186,34	74,86	67,15
7	1947	8,9	658,0	10,2	67,0	608,06	-	-	-
8	1948	13,6	918,0	9,7	102,4	588,13	204,70	102,26	99,83
9	1949	11,9	826,5	9,0	89,6	561,45	124,72	35,09	39,14
10	1950	10,2	757,5	9,7	76,8	588,13	-	-	-
11	1951	9,24	942,5	10,2	69,6	608,06	202,58	132,98	191,07
12	1952	10,2	782,0	10,2	76,8	608,06	-	-	-
13	1953	11,01	691,0	9,7	82,9	588,13	-	-	-
14	1954	12,54	810,5	10,0	94,5	600,00	17,55	-76,91	-81,42
15	1955	12,75	1028,0	10,7	96,0	628,75	280,87	184,83	192,46
16	1956	13,39	835,5	8,7	100,9	550,43	158,73	57,87	57,38
17	1957	10,59	629,0	10,4	79,8	616,24	-	-	-
18	1958	12,04	788,0	10,0	90,7	600,00	-	-	-
19	1959	14,49	970,5	8,9	109,1	557,75	323,17	214,03	196,10
20	1960	12,57	816,5	10,0	94,7	600,00	27,85	-66,83	-70,59
21	1961	9,76	654,5	10,6	73,5	624,55	-	-	-
22	1962	10,26	655,5	11,1	77,3	645,88	-	-	-
23	1963	19,85	1319,0	10,0	149,5	600,00	663,80	514,28	343,97
24	1964	13,41	853,5	9,0	101,0	561,45	163,69	62,69	62,06
25	1965	13,20	855,5	9,5	99,4	580,37	130,62	31,19	31,38
26	1966	11,90	706,0	12,0	89,6	686,40	-	-	-
27	1967	13,43	861,0	9,5	101,2	580,37	138,69	37,53	37,10
28	1968	13,65	902,0	9,9	102,8	596,01	168,04	65,23	63,44
29	1969	13,70	829,0	9,1	103,2	565,18	121,12	17,93	17,37

ცხრილი 1.16-ის გაგრძელება									
30	1970	11,39	714,0	10,4	85,8	616,24	—	—	—
31	1971	10,50	674,0	10,5	79,1	620,38	—	—	—
32	1972	14,55	913,5	9,0	109,6	561,45	244,99	135,40	123,54
33	1973	12,55	770,0	9,4	94,5	576,53	1,45	-93,08	-98,47
34	1974	14,27	848,5	9,2	107,5	568,93	142,45	34,97	32,53
35	1975	11,40	741,5	10,3	85,9	612,14	—	—	—
36	1976	15,39	1027,5	8,8	115,9	554,07	397,38	281,46	242,80
37	1977	14,23	953,5	9,7	107,2	588,13	252,17	144,98	135,27
38	1978	14,10	876,5	9,6	106,2	584,24	153,76	47,55	44,78
39	1979	12,90	818,0	10,8	97,2	632,99	—	—	—
40	1980	11,62	746,0	10,1	87,5	604,02	—	—	—
41	1981	17,10	987,0	10,3	128,8	612,14	255,34	126,54	98,25
42	1982	13,87	864,5	9,2	104,5	568,93	165,34	60,87	58,26
43	1983	15,76	960,5	9,6	118,7	584,24	267,83	149,12	125,62
44	1984	12,99	839,5	9,4	97,8	576,53	114,37	16,52	16,89
45	1985	11,87	712,0	9,8	89,4	592,06	—	—	—
საშუალო		13,1	834,46	9,83	98,80	593,76	197,20	297,51	77,99

მოდულების გამოცდის საფუძველზე შერჩეული იქნა ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი, აგებული სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებაზე. მას ახასიათებს კორელაციის კოეფიციენტი  $r=0,61$ , აბსოლუტური ცდომილების სიდიდე  $|\Delta R|=1.1$  მ<sup>3</sup>/წმ და ფარდობითი ცდომილება  $|\Delta R|/R \approx 8\%$ .

ამრიგად, მდ.იორის აუზისათვის – ჩამკეტი კვეთი საგ.სალახლი, ვლებულობთ:

- ჩამონადენის მოწყვლადობის სიდიდე წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამების ცვლილებისას ტოლია

$$n_1 = \frac{834.5}{13.1} \times 0,009 = 0,57;$$

- ჩამონადენის მოწყვლადობის სიდიდე წყალშემკრებისათვის დამახასიათებელ ტემპერატურის ცვლილებისას ტოლია

$$n_2 = \frac{9,8}{13,1} \times 0,749 = 0,56;$$

- მოწყვლადობათა შეფარდება ტოლია

$$n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{0,57}{0,56} \approx 1.$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ მდ.იორის აუზისათვის წლიური ჩამონადენის მოწყვლადობა მოსულ ნალექთა წლიური ჯამების ცვლილებისას ტოლია მოწყვლადობისა წყალშემკრებზე საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილების მიმართ. აღსანიშნავია, რომ პირველი ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელის მიხედვითაც აღნიშნული მოწყვლადობები ასევე ერთმანეთის ტოლია.

შევაფასოთ ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილება გლობალური დათბობის პირობებში, როდესაც აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონში ტემპერატურის მატება შეადგენს 4<sup>0</sup>C, ხოლო ნალექთა ჯამების შემცირება ხდება ნორმის 10%-ით.

გვაქვს შემდეგი სტატისტიკურ-ემპირიული მოდელი:

$$R=0.009P-0.749t+12.93,$$

საიდანაც

$$dR=0.009dP-0.749dt.$$

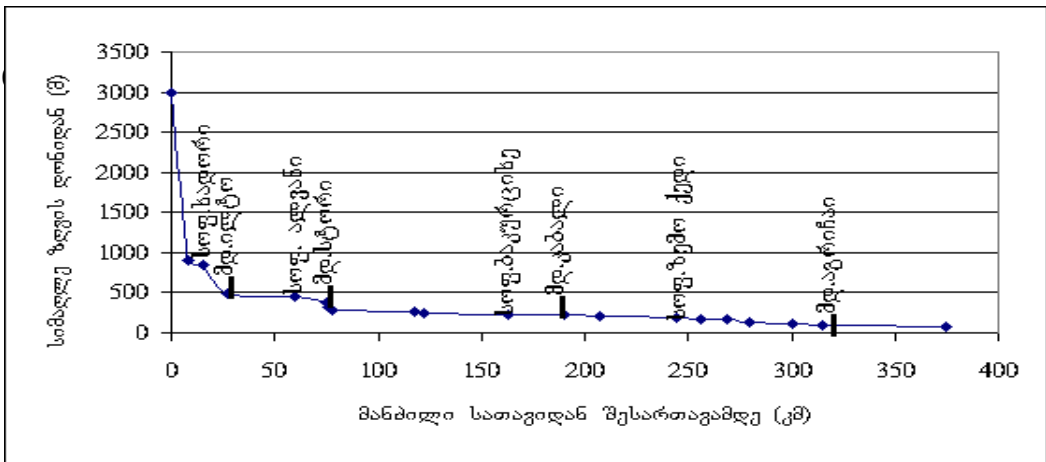
ამიტომ

$$dR=0.009x(-834.5x0.1)-0.749x4=-3.75 \approx -3.8 \text{ მ}^3/\text{წმ}, \text{ რაც შეადგენს ნორმის } - 29\%.$$

ამრიგად აღნიშნული კლიმატური სცენარის პირობებში მდ.იორის-ს.სადახლის კვეთისათვის ჩამონადენის შემცირებამ შეიძლება შეადგინოს 29%.

**1.4.4.2. მდ.ალაზნის აუზი**

მდ.ალაზანი სათავეს იღებს კავკასიონის სამხრეთ ფერდობიდან მთა ბორბალოს ძირის მახლობლად, ზღვის დონიდან 3000 მ სიმაღლეზე (იხ.ნახ. 1.13). ჩაედინება მინგეჩაურის წყალსაცავში. მდინარის სიგრძე 375 კმ-ია, წყალშემკრები აუზის ფართი შეადგენს 11800 (განსახილველ კვეთამდე 11600) კმ<sup>2</sup> (იხ.ცხრ.1.17). 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.1.18).



ნახ.1.13. მდ.ალაზნის გრძივი პროფილი

ცხრილი 1.17. მდ.ალაზნის – საგ.მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში ძირითადი ჰიდროლოგიური მახასიათებლები [47]

მდინარე და მისი შენაკადი	სად ჩაედინება	აუზის საშუალო სიმაღლე, მ	წყალშემკრები აუზის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	შენაკადების რაოდენობა	მდინარის სიგრძე, კმ	ჰიდროგრაფიული ქსელის სისშირე	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
იღტო	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 კეება წლის განმავლობაში შერეული საზრდობისაა (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

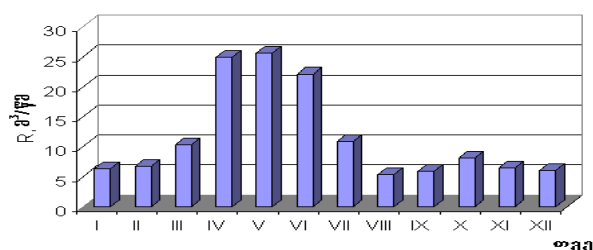


მოცემულია ჩამკეტი კვეთისათვის, რომელიც განლაგებულია მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ით დაბლა (იხ.ნახ.1.14).

ცხრილი 1.18. მდ.ალაზნის წყალშემკრებზე განლაგებული მეტეოროლოგიური სადგურები

№	მეტეოროლო- გიური სადგური	სიმაღლე ზღვის დონიდან, მ	საშუალო წლიური	
			ჰაერის ტემ- პერატურა, 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.1.14. 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. 1.19)

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, ლაგოდეხი – მონაცემების გასაშუალოებით (იხ.ცხრ.1.20), აგრეთვე, მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში განლაგებული ჰიდროლოგიური საგუშაგოს ჩამკეტი კვეთში გაზომილი წყლის წლიური ხარჯის მნიშვნელობებით. აღნიშნულ პრიორიტეტულ რე-

გიონში ზედაპირული წყლის რესურსების საბაზისო მდგომარეობის შესასწავლად, ასევე, ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელების ასაგებად და მოწვევადობის შესაფასებლად, განხილულ ჩამკეტ კვეთისათვის შესრულდა ჰიდროლოგიურ დაკვირვებათა რიგის დაგრძელება მდ.იორის ჩამონადენის სინქრონულად. 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.

ცხრილი 1.19. 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	ლალისყურის არხი	—	1060
14	დიდიხევის არხი	მდ.დიდიხევი	—
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, ხეხევი და დელეები	—

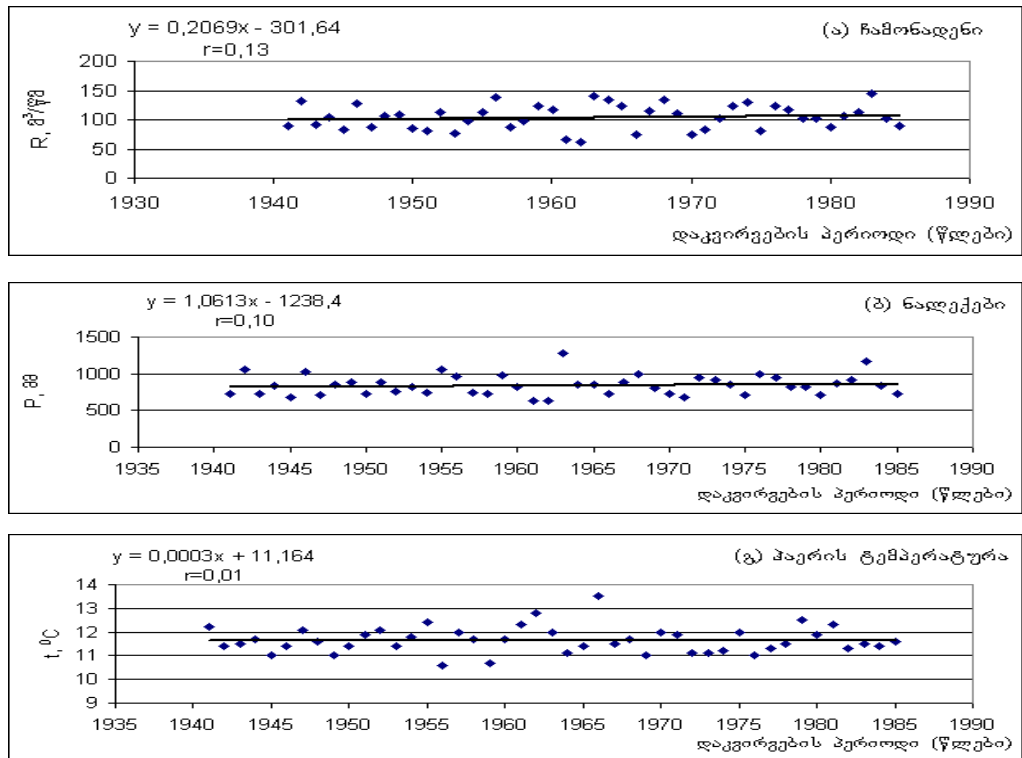
მდ.ალაზნის აუზში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის, ნალექთა წლიური ჯამებისა და წლიური ჩამონადენის დინამიკა 1941–1985 წლებში მოცემულია ნახ.1.15-ზე. აქვე წარმოდგენილია ცვლილების ტენდენციის ამსახველი ტრენდები, შესაბამისი რეგრესიის განტოლებები და კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები.

როგორც ვხედავთ, სტატისტიკურად არანიშნავი კავშირების პირობებში (კორელაციის კოეფიციენტი შეადგენს  $r=0,01-0,13$ ) განხილული 45 წლიანი პერიოდისათვის შეიძლება დავაფიქსიროთ წყალშემკრებზე უცვლელ ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების 47 მმ-ით (6%) სუსტი მატების ფონზე ჩამონადენის მცირე ზრდა 9 მმ/წმ სიდიდით, რაც ნორმის 9%-ია (იხ.ცხრ.1.21). ცვლილების ეს სიჩქარეები, დაყვანილი 10-წლიან პერიოდამდე, ექვივალენტურია მუდმივი ტემპერატურისა და ნალექების 10 მმ-ით (1%) სუსტი მატების პირობებში ჩამონადენის მცირე ზრდისა 2 მმ/წმ-ით (ნორმის 2%). თუ აღნიშნული სიჩქარეები შენარჩუნე-

ბული იქნება განხილული პერიოდის დამთავრების შემდეგ უახლოეს ათწლეულებში, მაშინ, მიმდინარე საუკუნის 50-იანი წლებისათვის საუკუნეობრივმა ცვლილებამ შეიძლება მიაღწიოს: ტემპერატურის დაახლოებით 0,02 °C-ით უმნიშვნელომატებისა და ნალექთა ჯამების 104 მმ-ით (ნორმის 12%) ზომიერი ზრდის ფონზე ჩამონადენის შესამჩნევ ზრდას 20 მმ/წმ სიდიდით, რაც ნორმის 19%-ს შეადგენს. ისევე როგორც მდ.იორის აუზის შემთხვევაში, სტატისტიკურად არანაშნავი ტრენდების გამო ასეთი პროგნოზი არადაამაჯერებელია.

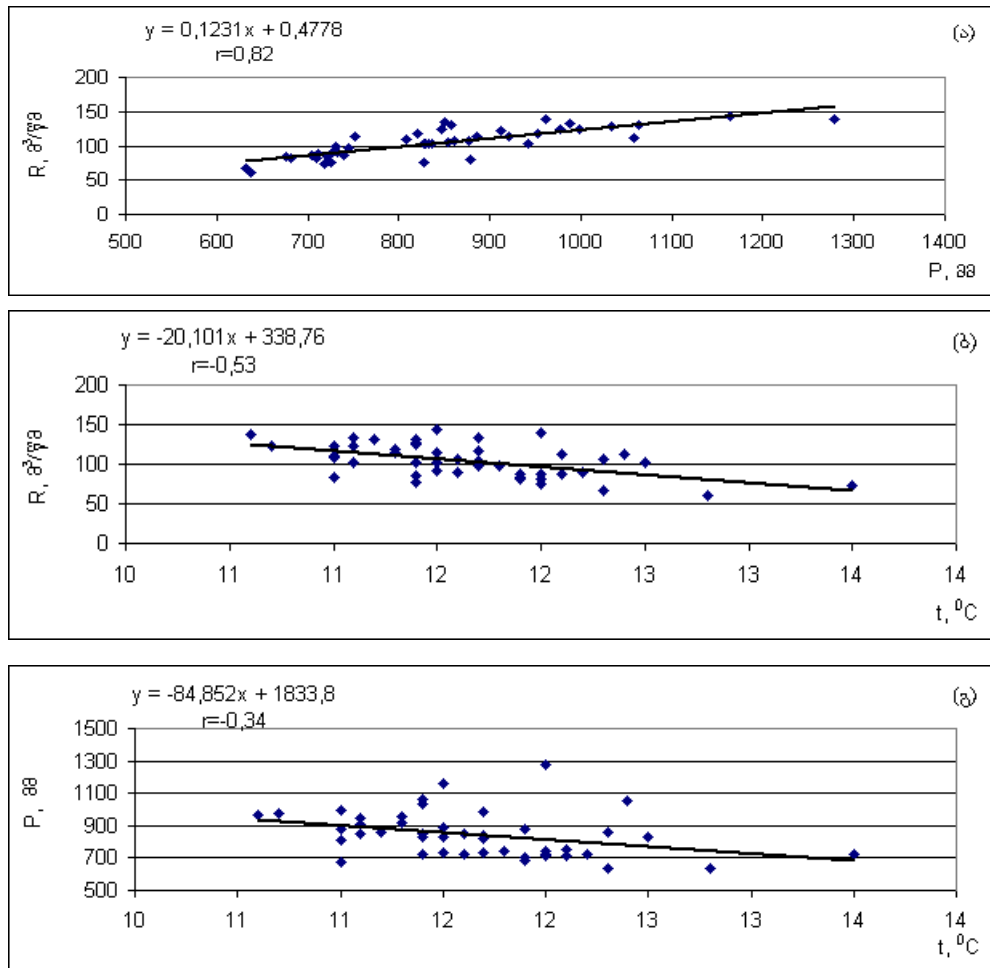
ცხრ.1.20. მდ.ალაზნის აუზში 1941–1985 წლებში ჩამონადენის, ნალექებისა და ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარის სიდიდეები, მიყვანილი 1-, 10-, 45-, 100-წლიან პერიოდებამდე

ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობები R, მმ/წმ	R <sub>0</sub> მმ/წმ	ჩამონადენის ცვლილება				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება,  ΔR /R <sub>0</sub> %			
		ΔR=R <sub>2</sub> -R <sub>1</sub> მმ/წმ							
		1	10	45	100	1	10	45	100
R <sub>2</sub> =0,2069x1985- 301,64=109,06 R <sub>1</sub> =0,2069 x 1941-301,64 =99,95	104,5	0,20	2,02	9,11	20,24	0,19	1,94	8,72	19,37
ნალექების გამოთვლილი მნიშვნელობები P, მმ	P <sub>0</sub> , მმ	ნალექების ცვლილება				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება,  ΔP /P <sub>0</sub> %			
		ΔP=P <sub>2</sub> -P <sub>1</sub> მმ							
		1	10	45	100	1	10	45	100
P <sub>2</sub> =1,0613x1985 -1238,4=868,28 P <sub>1</sub> =1,0613x1941-1238,4=821,58	844,8	1,04	10,38	46,70	103,78	0,12	1,23	5,53	12,28
ტემპერატურის გამოთვლილი მნიშვნელობები t, °C	t <sub>0</sub> , °C	ტემპერატურის ცვლილება				ნორმის მიმართ ფარდობითი ცვლილება,  Δt /t <sub>0</sub> %			
		Δt=t <sub>2</sub> -t <sub>1</sub> °C							
		1	10	45	100	1	10	45	100
t <sub>1</sub> =0,0003 x1985 +11,164=11,76 t <sub>2</sub> =0,0003x1941 +11,164=11,75	11,7	0,0002	0,002	0,01	0,02	0,002	0,017	0,085	0,170



ნახ.1.15. მდ.ალაზნის აუზში 1941 – 1985 წლებში (ა) ჩამონადენის (R), (ბ) ნალექების წლიური ჯამების (P), (გ) ჰაერის ტემპერატურის (t) დინამიკა და შესაბამისი ტრენდები

განსხვავებით აღნიშნული ტრენდებისა, შედარებით მაღალი კორელაციური კავშირებით ხასიათდება მდ. ალაზნის ჩამონადენის დამოკიდებულება წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამებზე ( $r=0,82$ ) და ჰაერის ტემპერატურაზე ( $r=-0,53$ ), ასევე ნალექების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე ( $r=-0,34$ ). ამ კავშირების ამსახველი გრაფიკები, შესაბამისი რეგრესიის განტოლებები და კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები წარმოდგენილია ნახ.1.16-ზე.



ნახ.1.16. (ა) კავშირი მდ.ალაზნის (საგ. მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში) ჩამონადენსა და წყალშემკრებზე მოსულ წლიურ ნალექებს შორის; (ბ) ჩამონადენსა და აუზში ჰაერის საშუალო წლიურ ტემპერატურას შორის; (გ) ნალექებსა და ჰაერის ტემპერატურას შორის

გამოვლენილი კავშირების მისაღები სტატისტიკური უზრუნველყოფა უფრო საიმედოს ხდის მათზე აგებული მდ.ალაზნის წლიური ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელების გამოყენებას. ამ მოდელების აღმწერი რეგრესიის განტოლებები, მათი ზოგიერთი სტატისტიკური მახასიათებლების მნიშვნელობები და გამოცდის შედეგები მოყვანილია ცხრილებში 1.21 და 1.22. თანახმად ამ შედეგებისა, მდ.ალაზნის ჩამონადენის მოწვევადობის შესაფასებლად შეიძლება გამოყენებული იქნას ორივე ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი. მოდელური გათვლების აბსოლუტური ცდომილება ტოლია  $|\Delta R|=8-10$  მმ/წმ, ხოლო ფარდობითი  $|\Delta R/R|=8-10\%$ -ს შეადგენს.

ცხრილი 1.21. მდ.ალაზნის წლიური ჩამონადენის ფორმირების ემპირი-  
ულ-სტატისტიკური მოდელების გამოცდის შედეგები

პარამეტრები					ორცვლადიანი რეგრესიის განტოლებათა შეკრებით მიღებული მოდელი <b>R=0,0616P-10,0505t+169,62;</b> r=0,86; σ <sub>R</sub> =0,69; S <sub>R</sub> =0,58.	სამცვლადიანი რეგრესიის განტოლებით მიღებული მოდელი <b>R=0,108P-10,834t+139,59;</b> r=0,86; σ <sub>R</sub> =0,69; S <sub>R</sub> =0,58.					
n	დაკვირვების წლები	მდ.ალაზნის ჩამონადენი – საგ.მდ.აგრონის შესართავიდან 2 კმ-ში, R მპ/წმ	მდ.ალაზნის აუზში საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	მდ.ალაზნის აუზში პაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t, °C	მდ.ალაზნის-საგ.მდ. აგრონის შესართავიდან 2 კმ-ში, ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა, R, მპ/წმ	აბსოლუტური ცდომილება  ΔR , მპ/წმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R, %	მდ.ალაზნის-საგ.მდ. აგრონის შესართავიდან 2 კმ-ში, ჩამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა, R, მპ/წმ	აბსოლუტური ცდომილება  ΔR , მპ/წმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	1941	90,0	727,2	12,2	91,80	1,80	2,00	85,95	4,05	4,50	
2	1942	131,4	1063,5	11,4	120,56	10,84	8,25	130,94	0,46	0,35	
3	1943	90,7	732,8	11,5	99,18	8,49	9,36	94,14	3,45	3,80	
4	1944	103,4	836,2	11,7	103,54	0,12	0,12	103,14	0,27	0,27	
5	1945	83,8	676,5	11,0	100,74	16,98	20,27	93,48	9,72	11,60	
6	1946	127,7	1033,3	11,4	118,70	8,98	7,03	127,68	0,00	0,00	
7	1947	88,1	711,7	12,1	91,85	3,76	4,27	85,36	2,73	3,10	
8	1948	105,6	854,2	11,6	105,65	0,02	0,02	106,17	-0,54	-0,51	
9	1949	108,4	876,7	11,0	113,07	4,67	4,31	115,10	6,70	6,18	
10	1950	84,9	722,0	11,4	99,52	14,62	17,22	94,06	9,16	10,79	
11	1951	80,9	878,0	11,9	104,10	23,20	28,68	105,49	24,59	30,40	
12	1952	113,1	752,3	12,1	94,35	18,75	16,58	89,75	23,35	20,65	
13	1953	76,2	827,7	11,4	106,03	29,83	39,15	105,47	29,27	38,41	
14	1954	97,4	744,0	11,8	96,85	0,55	0,56	92,10	5,30	5,44	
15	1955	112,4	1057,5	12,4	110,14	2,26	2,01	119,46	7,06	6,28	
16	1956	138,2	962,0	10,6	122,34	15,86	11,48	128,65	9,55	6,91	
17	1957	87,0	739,0	12,0	94,54	7,54	8,66	89,39	2,39	2,75	
18	1958	98,3	730,7	11,7	97,04	1,26	1,28	91,75	6,55	6,67	
19	1959	123,4	977,7	10,7	122,31	1,09	0,88	129,26	5,86	4,75	
20	1960	117,0	819,7	11,7	102,52	14,48	12,38	101,36	15,64	13,37	
21	1961	66,6	632,0	12,3	84,93	18,33	27,52	74,59	7,99	12,00	
22	1962	61,2	636,8	12,8	80,20	19,00	31,05	69,69	8,49	13,87	
23	1963	139,7	1278,5	12,0	127,77	11,93	8,54	147,66	7,96	5,70	
24	1964	134,3	850,7	11,1	110,46	23,84	17,75	111,21	23,09	17,19	
25	1965	124,3	847,0	11,4	107,22	17,08	13,74	107,56	16,74	13,47	
26	1966	73,8	719,2	13,5	78,24	4,44	6,02	71,00	2,80	3,79	
27	1967	114,1	886,0	11,5	108,62	5,48	4,80	110,69	3,41	2,99	
28	1968	133,3	987,5	11,7	112,86	20,44	15,33	119,48	13,82	10,37	
29	1969	110,5	809,0	11,0	108,90	1,60	1,45	107,79	2,71	2,45	
30	1970	74,8	725,7	12,0	93,72	18,92	25,29	87,96	13,16	17,59	
31	1971	82,5	681,7	11,9	92,01	9,51	11,53	84,29	1,79	2,17	
32	1972	102,7	942,8	11,1	116,14	13,44	13,08	121,16	18,46	17,97	
33	1973	123,0	911,3	11,1	114,20	8,80	7,15	117,75	5,25	4,27	
34	1974	130,5	858,2	11,2	109,92	20,58	15,77	110,93	19,57	14,99	
35	1975	81,8	710,3	12,0	92,77	10,97	13,41	86,29	4,49	5,49	
36	1976	123,4	998,5	11,0	120,57	2,82	2,29	128,25	4,86	3,94	
37	1977	117,8	953,0	11,3	114,75	3,04	2,58	120,09	2,29	1,94	
38	1978	102,4	828,3	11,5	105,06	2,62	2,56	104,46	2,01	1,96	
39	1979	102,5	828,7	12,5	95,04	7,46	7,28	93,66	8,83	8,61	
40	1980	87,1	703,7	11,9	93,37	6,26	7,19	86,67	0,44	0,51	

ცხრილი 1.21-ის გაგრძელება										
41	1981	106,5	861,3	12,3	99,05	7,45	6,99	99,35	7,15	6,72
42	1982	113,8	920,7	11,3	112,76	1,05	0,92	116,60	2,78	2,44
43	1983	143,8	1164,2	11,5	125,75	18,04	12,55	140,73	3,06	2,13
44	1984	103,0	832,8	11,4	106,34	3,35	3,25	106,02	3,03	2,94
45	1985	90,0	727,2	11,6	97,83	7,83	8,70	92,45	2,45	2,72
		104,5	844,8	11,7	104,5	10,0	10,3	104,6	7,8	7,9

ცხრილი 1.22. მდ.ალაზნის წლიური ჩამონადენის ფორმირების წყალბალანსური მოდელის გამოცდის შედეგები (კალიბრების მუდმივა  $c=0.727$ )

n	დაკვირვების წლები	მდ.ალაზნის ჩამონადენი – საგ.მდ.აგრიჩის (შესართავიდან 2 კმ-ით დაბლა), R მ <sup>3</sup> /წმ	მდ.ალაზნის აუზში საშუალო წლიური ნალექები P, მმ	მდ.ალაზნის აუზში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა t, °C	მდ.ალაზნის ჩამონადენის ფენის სიმაღლე – სად.მდ.აგრიჩის (შესართავიდან 2 კმ-ით დაბლა), მმ	$L=300+25t+0,05t^3$	ჩამონადენის ფენის სიმაღლის გამოთვლილი მნიშვნელობები, R მმ	აბსოლუტური ცდომილება,  ΔR  მმ	ფარდობითი ცდომილება,  ΔR /R %
1	1941	90,0	727,2	12,2	249,2	695,79	188,06	61,09	24,52
2	1942	131,4	1063,5	11,4	363,8	659,08	480,77	117,01	32,17
3	1943	90,7	732,8	11,5	251,1	663,54	207,58	43,48	17,32
4	1944	103,4	836,2	11,7	286,3	672,58	281,53	4,77	1,67
5	1945	83,8	676,5	11,0	231,9	641,55	177,63	54,24	23,39
6	1946	127,7	1033,3	11,4	353,5	659,08	454,31	100,84	28,53
7	1947	88,1	711,7	12,1	243,9	691,08	179,39	64,48	26,44
8	1948	105,6	854,2	11,6	292,4	668,04	298,39	5,96	2,04
9	1949	108,4	876,7	11,0	300,1	641,55	332,41	32,31	10,76
10	1950	84,9	722,0	11,4	235,0	659,08	201,90	33,14	14,10
11	1951	80,9	878,0	11,9	224,0	681,76	309,54	85,57	38,21
12	1952	113,1	752,3	12,1	313,1	691,08	208,24	104,87	33,49
13	1953	76,2	827,7	11,4	211,0	659,08	282,42	71,47	33,88
14	1954	97,4	744,0	11,8	269,6	677,15	209,04	60,61	22,48
15	1955	112,4	1057,5	12,4	311,2	705,33	444,38	133,21	42,81
16	1956	138,2	962,0	10,6	382,6	624,55	415,58	32,98	8,62
17	1957	87,0	739,0	12,0	240,9	686,40	200,91	39,95	16,59
18	1958	98,3	730,7	11,7	272,1	672,58	201,61	70,53	25,92
19	1959	123,4	977,7	10,7	341,6	628,75	426,39	84,77	24,81
20	1960	117,0	819,7	11,7	323,9	672,58	268,60	55,31	17,08
21	1961	66,6	632,0	12,3	184,4	700,54	122,87	61,51	33,36
22	1962	61,2	636,8	12,8	169,4	724,86	116,65	52,78	31,15
23	1963	139,7	1278,5	12,0	386,7	686,40	654,38	267,64	69,20
24	1964	134,3	850,7	11,1	371,8	645,88	308,51	63,29	17,02
25	1965	124,3	847,0	11,4	344,1	659,08	297,81	46,31	13,46
26	1966	73,8	719,2	13,5	204,3	760,52	154,37	49,94	24,44
27	1967	114,1	886,0	11,5	315,9	663,54	326,75	10,87	3,44
28	1968	133,3	987,5	11,7	369,0	672,58	405,88	36,85	9,99
29	1969	110,5	809,0	11,0	305,9	641,55	277,54	28,37	9,27
30	1970	74,8	725,7	12,0	207,1	686,40	191,40	15,68	7,57
31	1971	82,5	681,7	11,9	228,4	681,76	162,94	65,46	28,66
32	1972	102,7	942,8	11,1	284,3	645,88	385,09	100,77	35,44
33	1973	123,0	911,3	11,1	340,5	645,88	358,51	18,00	5,29

ცხრილი 1.22-ის გაგრძელება									
34	1974	130,5	858,2	11,2	361,3	650,25	312,02	49,26	13,63
35	1975	81,8	710,3	12,0	226,5	686,40	180,56	45,90	20,27
36	1976	123,4	998,5	11,0	341,6	641,55	435,85	94,24	27,59
37	1977	117,8	953,0	11,3	326,1	654,64	388,12	62,01	19,02
38	1978	102,4	828,3	11,5	283,6	663,54	280,37	3,23	1,14
39	1979	102,5	828,7	12,5	283,7	710,16	255,30	28,44	10,02
40	1980	87,1	703,7	11,9	241,1	681,76	178,08	63,06	26,15
41	1981	106,5	861,3	12,3	294,9	700,54	285,64	9,21	3,12
42	1982	113,8	920,7	11,3	315,1	654,64	360,90	45,80	14,53
43	1983	143,8	1164,2	11,5	398,1	663,54	567,40	169,32	42,53
44	1984	103,0	832,8	11,4	285,1	659,08	286,47	1,33	0,47
45	1985	90,0	727,2	11,6	249,2	668,04	201,28	47,87	19,21
		104,5	844,8	11,7	289,2	671,1	294,7	59,9	20,7

აღნიშნული მონაცემების გამოყენებით მდ.ალაზნის ჩამონადენის მოწყვლადობისათვის ვღებულობთ:

- ჩამონადენის მოწყვლადობის სიდიდე წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამების ცვლილებისას ტოლია

$$n_1 = \frac{844,8}{104,5} \times 0,108 = 0,873;$$

- ჩამონადენის მოწყვლადობის სიდიდე წყალშემკრებისათვის დამახასიათებელ ტემპერატურის ცვლილებისას ტოლია

$$n_2 = \frac{11,7}{104,5} \times 10,834 = 1,213;$$

- მოწყვლადობათა შეფარდება ტოლია

$$n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,213}{0,87} = 1,4 \approx 1 .$$

ამრიგად, მდ.ალაზნის (საგ.მდ.აგრიხაის შესართავიდან 2 კმ-ით ქვევით) ჩამონადენის მოწყვლადობის სიდიდე აუზში ტემპერატურის ცვლილებისას დაახლოებით იგივეა, რაც მოწყვლადობა წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა ჯამების ცვლილების მიმართ. რაც შეეხება პირველ ემპირიულ-სტატისტიკურ მოდელს, მისი გამოყენების შემთხვევაში აღნიშნული მოწყვლადობების შეფარდებისათვის მიიღება

$$n_1 = \frac{844,8}{104,5} \times 0,0616 = 0,498;$$

$$n_1 = \frac{11,7}{104,5} \times 10,0505 = 1,125;$$

$$n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,125}{0,498} = 2,3 \approx 2 ,$$

რაც ბევრად არ განსხვავდება წინა შეფასებიდან.

განვსაზღვროთ ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილება შემდეგი კლიმატური სცენარის მიხედვით: ტემპერატურის მატება შეადგენს 4°C, ხოლო ნალექთა ჯამების შემცირება – ნორმის 10%-ს.

გამოვდივართ ჩამონადენის შემდეგი ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელიდან

$$R=0.108P-10.834t+139.59,$$

საიდანაც ჩამონადენის ცვლილებისთვის გვექნება

$$dR=0.108dP-10.834t.$$

მაშინ

$$dR=0.108x(-845x0.1)-10.834x4=-52.47 \approx -52.5 \text{ მ}^3/\text{წმ}, \text{ რაც შეადგენს ნორმის } -50\%.$$

ამრიგად, გლობალური დათბობის სცენარის აღნიშნულ პირობებში მოსალოდნელია მდ.ალაზნის-მდ.აგრიჩაის შესართავთან 2 კმ-ის ქვევით ჩამონადენის შემცირება 50%-ით.

### 1.4.5. მდ. მტკვარის აუზი (ქ. თბილისის კვეთი)

ცხრ.1.23-ში წარმოდგენილია მდინარე მტკვარი – საგუშაგო თბილისის ჩამკეტი კვეთის წყალშემკრებ ტერიტორიაზე განლაგებული ზოგიერთი ჰიდრომეტეოროლოგიური პუნქტის მონაცემი, გამოყენებული ჩამონადენის ცვლილების შეფასებაში. წყალშემკრების ფართობი შეადგენს  $S_1=21200$  კმ<sup>2</sup>, აუზის საშუალო სიმაღლეა  $H_1=1710$  მ. ამიტომ, ამ შემთხვევაშიც, ჩამონადენის ფორმირების ზონად მიღებულია ზღვის დონიდან 700-2700 მ სიმაღლეების შესაბამისი მაღლივი ზოლი. განხილულია 6 ძირითადი შენაკადის (მდინარეები ფარავანი, ფოცხოვი, ბორჯომულა, დიდი და პატარა ლიახვი, ქსანი, არაგვი) და თვით მდ. მტკვარის აუზები. ცალ-ცალკე ამ აუზების ჩამონადენის ფორმირების მაღლივ ზონებში განლაგებული პუნქტების მონაცემთა გასაშუალოებით, შემდეგ კი მიღებული სიდიდეების საბოლოო გასაშუალოებით 7 აუზის მიხედვით, განსაზღვრულია ჩამონადენის ფორმირებისა და მისი ცვლილების მოდელის შემავალი პარამეტრები. ეს პარამეტრები მოცემულია ცხრ. 1.23-ის ბოლო სტრიქონში.

მდ. მტკვარის ჩამონადენის ფორმირების მაღლივი ზონისათვის დამახასიათებელი მეტეოპარამეტრების ჩასმით ლ.ტიურკის მოდელის ფორმულებში ვღებულობთ:

$$C = -0.082; \frac{\partial R}{\partial P} = 1.019; \frac{\partial R}{\partial t} = -33.228 \frac{\partial \theta}{\partial \text{გრად}}$$

ჩამონადენის მგრძობიარობებს, შესაბამისად ნალექებისა და ტემპერატურის ცვლილებათა მიმართ, ისევე ურთიერთ საწინააღმდეგო ნიშანი აქვთ, მაგრამ მდ. მტკვარის შემთხვევაში მგრძობიარობა ნალექთა ვარიაციების მიმართ თითქმის 4-ჯერ მეტია, ვიდრე მგრძობიარობა ტემპერატურის ცვლილების მიმართ

$$n = \frac{P_0}{t_0} \frac{\frac{\partial R}{\partial P}}{\frac{\partial R}{\partial t}} = \frac{795}{6.7} \cdot \frac{1.019}{33.228} = 3,64 \approx 4$$

ამის გამო ჩამონადენის მოწვევადობაში წვლილი შეაქვთ როგორც ნალექების, ასევე ტემპერატურის ცვლილებებს, თანაც, ტემპერატურის ვარიაციების ეფექტი იმავე რიგისა ხდება, რაც ნალექთა ცვლილებისა. ამრიგად, მდ. მტკვარის ჩამონადენის ცვლილებისათვის ვღებულობთ

$$dR = 1.019 dP - 33.228 dt$$

**სცენარი I:**  $dP = 0.1P_0 = 79.5$  მმ (10%);  $dt = 1^\circ\text{C}$  (15%).

$$dR = 1.019 \times 79.5 - 33.228 \times 1 = 47.8 \text{ მმ (15.7\%)}$$

ამრიგად, თუ წყალშემკრებზე მოსალოდნელია ჯამური ნალექის გაზრდა 10%-ით (79.5 მმ) და ტემპერატურის მომატება  $1^\circ\text{C}$  –ით, მაშინ მდ. მტკვარის ჩამონადენი გაიზრდება 15.7%-ით (47.8 მმ).

**სცენარი II:**  $dP = 79.5$  მმ (10%);  $dt = 2^\circ\text{C}$  (30%).

$$dR = 1.019 \times 79.5 - 33.228 \times 2 = 14.6 \text{ მმ (4.8\%)}$$

**სცენარი III:**  $dP = 39.75$  მმ (5%);  $dt = 1^\circ\text{C}$  (15%).

$$dR = 1.019 \times 39.75 - 33.228 \times 1 = 7.3 \text{ მმ (2.4\%)}$$

**სცენარი IV:**  $dP = 39.75$  მმ (5%);  $dt = 2^\circ\text{C}$  (30%).

$$dR = 1.019 \times 39.75 - 33.228 \times 2 = -26 \text{ მმ (-8.5\%)}$$

ამრიგად წყალშემკრებზე ჯამური ნალექის 5%-ით (39.75 მმ) გაზრდისას და ტემპერატურის  $2^\circ\text{C}$  მომატების შემთხვევაში მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 26 მმ-ით, რაც შეადგენს ნორმის 8.5%-ს.



ცხრილი 1.23.მდ.მტკვრის-ქობილისის ჩამკეტი  
კვეთის წყალშემკრებ ტერიტორიაზე განლაგებული ზოგიერთი ჰიდრომეტეოროლოგიური პუნქტების მონაცემები

№	ჰიდრომეტეოროლოგიური პუნქტის დასახელება	სიმაღლე ზღვის დონიდან H მ	ნიადაგის ტემპერატურა T <sub>0</sub> °C	ჰაერის ტემპერატურა T <sub>1</sub> °C	ჰაერის ივლისის ტემპერატურა T <sub>2</sub> °C	ნალექთა ჯამები P მმ	წელის ოროქლის დრეკადობა e მმ	სინოტივის დეფიციტი D მმ	საერთო დრუბლიანობა n <sub>1</sub> (ერთის ნაწილებში)	ქმედა იარუსის დრუბლიანობა n <sub>2</sub> (ერთის ნაწილებში)	მზის ნათების ხანგრძლივობის გაზომვით და ძმესადლო მნიშვნელობის შეფასდება S	ჯამური რადიაცია Q გტ/მ <sup>2</sup>	ეფექტური გამოსხივება F გტ/მ <sup>2</sup>	აღბედი A	რადიაციული ბალანსი r	გტ/მ <sup>2</sup> მმ	წყალშემკრების ფართი და საშუალო სიმაღლე S <sub>1</sub> კმ <sup>2</sup> /H <sub>1</sub> მ	ჩამონადენი R	მმ/წმ მმ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
							მდ.ფარავნის აუზი													
1	სუღდა	2124				731														
2	ეფრემოვკა	2112	4.0	1.8	12.9	722	6.3	2.4	0.62	0.45										
3	რადიონოვკა	2100	4.0	2.6	12.9	667	6.2	2.5	0.57	0.43	0.60				50.5					
4	ბოგდანოვკა	2077				733									636.7					
5	პოგა	2080		2.6	13.3	659			0.49	0.39						261	1.41			
																2390	172			
6	საღამო	1995				690										535	5.74			
																2370	338			
7	არაგიალი	1900				660										561	6.78			
																2360	380			
8	კარწახი	1863	7.0	4.2	14.7	547	6.7	3.4	0.56	0.31										
9	ოროჯოლარი	1847				607										1012	9.01			
																2310	280			
10	ახალქალაქი	1716	7.0	4.9	15.4	621	7.1	3.6	0.56	0.43					53.2					
															670.2					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
11	ხერთვისი	1124				498*										2276	18.6
																2140	258
მეტეოელემენტების საშუალო მნიშვნელობები მდ.ფარანის აუზისათვის			5.5	3.2	13.8	663.7	6.6	3.0	0.56	0.40	0.60				51.9	2276	18.6
															653.5	2140	258
მდ.ფოცხოვის აუზი																	
12	აბასთუმანი მდ.ოცხე	1265	9.0	6.4	17.2	688	8.0	3.5	0.61	0.40	0.59				57.1	100	1.21
															720.4	1860	385
13	ადიგენი მდ.ქობლიანი	1185	10.0	8.0	18.7	594	8.1	4.7	0.58	0.43						499	11.8
																1920	745
14	მლაშე მდ.ქობლიანი	1166				569										471	10.4
																1930	700
15	სხვილისი მდ.ფოცხოვი															1729	21.9
																1860	400
მეტეოელემენტების საშუალო მნიშვნელობები მდ.ფოცხოვის აუზისათვის			9.5	7.2	18.0	617	8.1	4.1	0.60	0.42	0.59				57.1	1729	21.9
															720.4	1860	400
მდ.ბორჯომულას აუზი																	
16	ბაკურიანი აგრო	1665	5.0	4.4	14.4	949	7.2	2.8	0.62	0.46	0.53						
17	ბაკურიანი ანდეზიტი	1538				712											
18	ცემი	1117	9.0	7.3	17.8	740	8.6	3.6	0.63	0.46							
19	ბორჯომი	789	10.0	9.1	19.8	653	9.7	3.9	0.63	0.46					65.1	165	2.44
															821.0	1800	465
მეტეოელემენტების საშუალო მნიშვნელობები მდ.ბორჯომულას აუზისათვის			8.0	6.9	17.3	763.5	8.5	3.4	0.63	0.46	0.53				65.1	165	2.44
															821.0	1800	465
მდ.დიდი და პატარა ლიახვის აუზი																	
20	ერმანი	2240	2.0	1.9	12.3	1208	5.5	2.7	0.58	0.43							
21	როკა	1795		3.6	13.8	1130	6.8	2.6	0.57	0.47							
22	ქვედა როკა	1400				1034											
23	ქვესლეთა	1750				1189											
24	ჯაგა	1109	10.0	7.8	18.1	1042	8.5	4.0	0.53	0.36	0.55					629	18.2
																2220	910

25	კეხვი	895				801											916	25.5	
																	2080	876	
26	ცხინვალი	862	12.0	9.5	20.3	696	9.1	5.0	0.61	0.42							65.1		
																	821.0		
27	ვანათი მდ.პატ.ლიახვი	1020				834											412	9.79	
																	1930	750	
28	გრომი-მდ.მეჯუღა	800				732											183	2.37	
																	1480	408	
მეტეოლოგემენტების საშუალო მნიშვნელობები მდ.დიდი და პატარა ლიახვის აუზისათვის			8.0	5.7	16.1	968.4	7.5	3.6	0.57	0.42	0.55						65.1		
																	821.0		
მდ.ქსანის აუზი																			
29	კორინთა	908				745											549	10.8	
																	1810	617	
30	ახალგორი	760	12.0	9.6	20.3	727	9.5	4.7	0.58	0.51									
მეტეოლოგემენტების საშუალო მნიშვნელობები მდ.ქსანის აუზისათვის			12.0	9.6	20.3	736	9.5	4.7	0.58	0.51									
მდ.არაგვის აუზი																			
31	ყაზბეგი მ/მ	3635		-6.1	3.0	1404 **	3.0	1.5	0.56	0.41	0.57	203.3			0.55				
32	ჯვრის უღ.	2395	0	-0.2	10.5	1733	5.7	1.4											
33	გუდაური	2194	3.0	2.1	12.3	1585	6.1	2.3			0.53								
34	წინხადუ	1910		4.6	14.7	1380													
35	ბურსანილი	1760	5.0	4.3	14.5	1400	6.8	3.0											
36	ქვეშეთი	1325		6.7	17.6	1292	8.1	3.6											
37	ბარისახო-მდ.ხევისურეთის არაგვი	1325	8.0	6.4	16.5	1136	8.2	3.3									238	7.91	
																	2280	1045	
38	ფასანაური-მდ.თეთრი არაგვი	1070	9.0	7.8	18.5	999	8.7	3.8									319	12.4	
																	2080	1225	
39	დუშეთი	922	11.0	9.7	20.2	739	9.4	4.6			0.56								
40	ჟინვალი	727				740											1870	44.1	
																	1900	743	
მეტეოლოგემენტების საშუალო მნიშვნელობები მდ.არაგვის აუზისათვის			6.0	5.2	15.6	1222.7	7.6	3.1			0.56								

მდ.მტკვრის აუზი																	
41	ხერთვისი	1124				498										4980	32.5
																2150	206
42	ასპინძა	1098	12.0	9.4	20.0	469	8.2	5.6	0.52	0.37							
43	ახალციხე	982	11.0	9.0	20.4	554	8.7	5.2	0.56	0.41					59.8		
															753.9		
44	მინაძე	970				465										8010	57.5
																2050	226
45	აწყური	970				529											
46	რკონი-მდ.თეძამი	760				612										183	1.72
																1720	296
47	სურამი-მდ.სურამულა	743		9.6	20.2	781										45.8	0.91
																1000	626
48	ახალდაბა	724				965											
49	ატენი-მდ.ტანა	716				475										267	1.73
																1520	204
50	ზგედერი-მდ.ძამა	623				656										310	3.23
																1490	328
51	სკრა	607	12.0	10.2	21.3	581	10.1	5.0	0.57	0.44	0.59	180.7	56.1	0.23	84.0		
															1058.9		
52	თბილისი	403	15.0	12.7	24.4	559	10.5	7.1	0.62	0.40	0.54	190.4	61.3	0.18	70.2	21100	204
															885.2	1710	305
მეტეოლოგემენტების საშუალო მნიშვნელობები მდ.მტკვრის აუზისათვის			11.6	9.3	20.2	593	8.5	5.4	0.54	0.39	0.57	170.6	58.2				
საშუალო მთლიანად წყალშემკრების მაღლივი ზონისათვის			8.6	6.7	17.3	795	8.0	3.9	0.58	0.43	0.57	181.5 ***	58.2 ***	0.21 ***	58.5	21100	204
															737.7 ***	1710	305

- \* - ხერთვისის ნალექთა ჯამები გათვალისწინებულია მდ.მტკვრის აუზის მონაცემებში;
- \*\* - ყაზბეგი მ/მ-ის ნალექთა ჯამები მოცემულია შესწორების გარეშე;
- \*\*\* - რადიაციული ბალანსის კომპონენტებისა და ალბედოს მნიშვნელობები მიღებულია ზონის გარეშე არისათვის, ხოლო ბალანსის სიდიდე – ჩამონადენის ფორმირების ზონისათვის.

**სცენარი V:**  $dP=7.95$  მმ (1%);  $dt=1^{\circ}\text{C}$  (30%).

$$dR=1.019 \times 7.95 - 33.228 \times 1 = -25.1 \text{ მმ } (-8.2\%).$$

**სცენარი VI:**  $dP=0$ ;  $dt=2^{\circ}\text{C}$  (30%).

$$dR = -33.228 \times 2 = -66.5 \text{ მმ } (-21.8\%).$$

თუ წყალშემკრებზე ჯამური ნალექი არ შეიცვლება ტემპერატურის  $2^{\circ}$ -ით მომატების პირობებში, მაშინ მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 66.5 მმ-ით, ე.ი. დაახლოებით 22%-ით.

**სცენარი VII:**  $dP=0$ ;  $dt=2^{\circ}\text{C}$  (-30%).

$$dR = -33.228 \times (-2) = 66.5 \text{ მმ } (21.8\%).$$

VI სცენარით შეფასების საწინააღმდეგოდ, თუ მოსალოდნელია ტემპერატურის დაცემა  $2^{\circ}$ -ით უცვლელ ნალექთა ფონზე, მაშინ ჩამონადენი უნდა გაიზარდოს 66.5 მმ-ით, ე.ი. 22%-ით.

**სცენარი VIII:**  $dP = -79.5$  მმ (-10%);  $dt = -1^{\circ}\text{C}$  (-15%).

$$dR = 1.019 \times (-79.5) - 33.228 \times (-1) = -47.8 \text{ მმ } (-15.7\%).$$

ამ შემთხვევაში მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 48 მმ-ით (-16%).

**სცენარი IX:**  $dP = -79.5$  მმ (-10%);  $dt = 1^{\circ}\text{C}$  (15%).

$$dR = 1.019 \times (-79.5) - 33.228 \times 1 = -114.2 \text{ მმ } (-37.4\%).$$

ამ შემთხვევაში მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 114 მმ-ით, რაც შეადგენს არსებული ჩამონადენის (ნორმის) 37%-ს.

**სცენარი X:**  $dP = -79.5$  მმ (-10%);  $dt = 2^{\circ}\text{C}$  (30%).

$$dR = 1.019 \times (-79.5) - 33.228 \times 2 = -147.5 \text{ მმ } (-48.4\%).$$

ამ შემთხვევაში, როდესაც მოსალოდნელია ტემპერატურის  $2^{\circ}$ -ით მომატების ფონზე წყალშემკრებზე ჯამური ნალექის შემცირება 10%-ით (-79.5 მმ), მდ. მტკვარის ჩამონადენი შემცირდება 48%-ით (-147.5 მმ).

შევაფასოთ ჩამონადენის ცვლილება გლობალური დათბობის პირობებში შემდეგი კლიმატური სცენარის მიხედვით: აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონში ტემპერატურის მატება შეადგენს  $4^{\circ}\text{C}$ , ხოლო ნალექთა ჯამები მცირდება ნორმის 10%-ით.

**გვექნება**

$$dR = 1.019 \times (-79.5) - 33.228 \times 4 = -81.0 - 132.9 = -213.9 \text{ მმ, რაც შეადგენს ნორმის } 70\% \text{-ს.}$$

ამრიგად, გლობალური დათბობის ამ ექსტრემალურ შემთხვევაში მდ.მტკვარი-ქობილისის კვეთში მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 70%-ით.

## 1.5. დასკვნები

აუზში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის, წყალშემკრებზე მოსულ ნალექთა წლიური ჯამებისა და მდინარის ჩამკეტ კვეთში საშუალო წლიური ჩამონადენის 37-47 – წლიანი (1940-1986 წ.წ.) სინქრონული რიგების სტატისტიკურ-კორელაციური ანალიზისა და წყალბალანსური გათვლების გამოყენებით მიღებულია წლიური ჩამონადენის ფორმირების ემპირიულ-სტატისტიკური და წყალბალანსური მოდელები. მოდელების საფუძველზე დადგენილია ჩამონადენის რეაქცია აუზში გამოვლენილ კლიმატურ ცვლილებებზე, შეფასებულია მდინარეთა ჩამონადენის მგრძობიარობა (მოწვევადობა) წყალშემკრებზე მიმდინარე კლიმატურ ცვლილებათა მიმართ. კვლევის ძირითადი შედეგები შეიძლება შემდეგი სახით ჩამოვყალიბოთ (აუზის ჰიდრომეტეოროლოგიური მახასიათებლების ცვლილების სიჩქარეები მიყვანილია 100 – წლიან პერიოდამდე).

- დასავლეთ საქართველოს ძირითადი მდინარის – რიონის აუზში პრაქტიკულად უცვლელი ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების 253 მმ-ით (ნორმის 18%) ზომიერი მატების პირობებში დაფიქსირებულია საგუშაგო საქონაკიდის ჩამკეტ კვეთში ჩამონადენის დაახლოებით 6 მ<sup>3</sup>/წმ სიდიდის (ნორმის 2%) უმნიშვნელო შემცირება. ერთის მხრივ ისეთმა ბუნებრივმა ფაქტორებმა, როგორცაა მდ.რიონის აუზის მთიანი ნაწილის დიდი გატყიანება (მთელი წყალშემკრები ტერიტორიის 70 – 75 %), კოლხეთის დაბლობზე ქვედა დინების, განსაკუთრებით კი დელტას რაიონში, ჭაობიანი ზონა, განვითარებული ჰიდროგრაფიული ქსელი, ხელი შეუწყვეს ტყით ატმოსფერული ნალექების შეკავებას, ჭაობებში და აუზის მიწისქვეშა პორიზონტებში წყლის მარაგის დაგროვებას. მეორეს მხრივ, ჩამონადენის ხელოვნურმა დარეგულირებამ აქ არსებული წყალსაცავების სისტემის მეშვეობით, განაპირობეს წყალშემკრებზე ნალექთა ზომიერი მატების მეტად სუსტი გავლენა დელტას რაიონში განლაგებულ საგუშაგო საქონაკიძეზე გაზომილი წყლის ხარჯის მნიშვნელობებზე.
- მდ.რიონის ზედა წელის ერთერთი შენაკადის მდ.ცხენისწყლის აუზში ჰაერის თითქმის 1<sup>0</sup>C-ით მატების ფონზე აღინიშნა ნალექთა ჯამების 481 მმ-ით (35%) და საგუშაგო რცხმელურთან ჩამონადენის დაახლოებით 40 მ<sup>3</sup>/წმ სიდიდით (60%) საუკუნეობრივი ზრდა. საგუშაგო რცხმელური განლაგებულია აუზის იმ ზონაში სადაც ფაქტიურად ხდება მდინარის ჩამონადენის ფორმირება. ჩამონადენის ასეთი საგრძნობი ნაზრდი შეიძლება აიხსნას, ერთის მხრივ, წყალშემკრებზე შესამჩნევი ნალექთა ჯამების მომატებით, მეორეს მხრივ, მდინარე ცხენისწყლისათვის დამახასიათებელი მყინვარული საზრდოობის მატებით, გამოწვეულს ჰაერის ტემპერატურის აღნიშნული ზრდის პირობებში მყინვარის დნობით.
- აღმოსავლეთ საქართველოს ორი ძირითადი მდინარის იორისა და ალაზნის აუზებისათვის დამახასიათებელი აღმოჩნდა ჰაერის ტემპერატურის ფაქტიურად უცვლელ ფონზე (მატება შეადგენს მხოლოდ 0,02 და 0,1 <sup>0</sup>C) ნალექების ზომიერი ზრდა შესაბამისად 87 მმ-ით (10%) და 104 მმ-ით (12%), რასაც მოჰყვა ჩამონადენის ზრდაც დაახლოებით 1 მ<sup>3</sup>/წმ-ით (7%) საგუშაგო სალახლის კვეთში და 20 მ<sup>3</sup>/წმ-ით (19%) – საგუშაგოზე მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში.
- განხილული ყველა პრიორიტეტული რეგიონის მდინარეთა აუზებისათვის, როგორც დასავლეთ, ასევე აღმოსავლეთ საქართველოში, გამოიხატა ჰიდრომეტეოროლოგიურ პარამეტრებს შორის სტატისტიკური კავშირების საერთო კანონზომიერება – ჩამონადენის ზრდა წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამების მატების პირობებში, ნალექებისა და ჩამონადენის შემცირება (ზოგჯერ სუსტი კლება, მაგალითად მდ.ცხენისწყლის ჩამონადენისათვის) აუზში ჰაერის ტემპერატურის მატებისას.
- დასავლეთ საქართველოში მდ.რიონის აუზი (საგ.საქონაკიძე) მოიცავს რეგიონის ტერიტორიის დიდ ნაწილს და წარმოდგენილია წყალშემკრების როგორც

მაღალმთიანი და მთიანი, ასევე მთისწინა და დაბლობი რაიონებით. ამიტომ, რეგიონის უხვნალექიან პირობებში საგ.საქოჩაკიძის ჩამკეპტ კვეთისთვის დამახასიათებელია წლიური ჩამონადენის კოეფიციენტის შედარებით მაღალი მნიშვნელობები  $K=0,60-0,90$ , (საშუალო  $\bar{K}=0,70$ ). ამან განაპირობა ის შედეგი, რომ წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამების ცვლილების მიმართ ჩამონადენის მოწყვლადობა აღმოჩნდა რამდენჯერმე მეტი ( $n=1-3$ ), ვიდრე ჩამონადენის მოწყვლადობა აუზში ჰაერის ტემპერატურის ცვლილებისას.

მდ.ცხენისწყლის (საგ.რცხმელური) შემთხვევაში წყალშემკრების აუზი ძირითადად განლაგებულია კავკასიონის მთიან მეტად უხვნალექიან რაიონში. წლიური ჩამონადენის კოეფიციენტის მნიშვნელობა აქ აღწევს სიდიდეს  $K=0,80-0,90$  და ზოგჯერ აღემატება მას, რაც მიუთითებს დიდი დახრილობის შედარებით მცირე აუზებისათვის დამახასიათებელ ნალექების ჩამონადენში გარდაქმნის მაღალ ეფექტურობაზე. ასეთ პირობებში ჩამონადენის მოწყვლადობა ნალექთა ცვლილების მიმართ აღმოჩნდა ერთი რიგით მეტი მოწყვლადობაზე ტემპერატურის ცვლილებისას ( $n=10-20$ ).

- აღმოსავლეთ საქართველოში ნახევრადარიდული და არიდული დედოფლისწყაროს რაიონის მოსაზღვრე მდინარეების წლიური ჩამონადენის კოეფიციენტის სიდიდე მნიშვნელოვნად კლებულობს დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა ჩამონადენთან შედარებით. მდ.იორის აუზისათვის (საგ. სადახლი) იგი შეადგენს  $K=0,07-0,15$  ( $\bar{K}=0,12$ ), ხოლო მდ.ალაზნის (საგ. მდ.აგრიჩაის შესართავიდან 2 კმ-ში) შემთხვევაში  $K=0,25-0,50$  ( $\bar{K}=0,35$ ). ასეთ პირობებში მდ.იორისათვის ჩამონადენის მოწყვლადობა წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამების ცვლილების მიმართ ფაქტიურად უტოლდება მოწყვლადობას აუზში ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების შემთხვევაში ( $n=1$ ), ხოლო მდ. ალაზნის ჩამონადენის მოწყვლადობის სიდიდე აუზის დამახასიათებელი ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების მიმართ 1,5-2-ჯერ მეტია მოწყვლადობაზე ნალექთა ჯამების ცვლილებისას. ეს შეიძლება აიხსნას მდინარეთა პიდროგრაფიული ქსელის და ჩამონადენის საგრძნობი განსხვავებით.
- თუ მივიღებთ გლობალური დათბობის შემდეგ ორ ძირითად სცენარს, რომელთა მიხედვით: (1) დასავლეთ საქართველოს რეგიონში ჰაერის ტემპერატურის მატება შეადგენს  $3^{\circ}\text{C}$ , ხოლო ნალექთა ჯამები მცირდება ნორმის 5-10%-ით; (2) აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონში ტემპერატურა მოიმატებს  $4^{\circ}\text{C}$ -ით, ხოლო ნალექები შემცირდება 10%-ით, მაშინ შეფასებამ გვიჩვენა მდინარეთა ჩამონადენის შემდეგი შემცირებები

მდ.ცხენისწყალი-ს.რცხმელური – 2-3%;  
 მდ.რიონი-ს.ალპანა – 5-10%;  
 მდ.რიონი-ს.საქოჩაკიძე – 10-15%;  
 მდ.იორი-ს.სადახლი – 30%-მდე;  
 მდ.ალაზანი-ს.მდ.აგრიჩაის შესართავთან – 50%;  
 მდ.მტკვარი-ქ.თბილისი – 70%.

როგორც ვხედავთ, მეტად მძიმე მდგომარეობა იქნება აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონში, სადაც გლობალური დათბობის გავლენით მოსალოდნელია მდინარეთა ჩამონადენის და შესაბამისად ზედაპირული წყლის რესურსების კატასტროფული შემცირება.

## ლიტერატურა

1. კთავართქილაძე, თ.გზირიშვილი, ე. ელიზბარაშვილი, დ.მუმლაძე, ჯ.ვაჩნაძე. მიწისპირა ტემპერატურული ველის ცვლილების ემპირიული მოდელი. სამეცნიერო სესიის “ჰავის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში” მასალები, თბილისი, “მეცნიერება”, 1998, გვ.24-26.
2. კთავართქილაძე, ე. ელიზბარაშვილი, დ.მუმლაძე, ჯ.ვაჩნაძე. საქართველოს მიწისპირა ტემპერატურის ცვლილების ემპირიული მოდელი. მონოგრაფია, გ.სვანიძის და ნ.ბეგალიშვილის რედაქციით. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი, 1999, 128 გვ.
3. საქართველოს პირველი ეროვნული შეტყობინება გარემოს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციაზე. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრი, თბილისი, 1999, 151 გვ.
4. ე. ელიზბარაშვილი, ლ.პაპინაშვილი. ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური ცვლილება საქართველოს ტერიტორიაზე. ჰმი-ს შრომები, ტ.102, 2001, გვ.112-116.
5. ე.ელიზბარაშვილი, ლ.პაპინაშვილი, თ.ხელაძე. საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექების მრავალწლიური ცვლილების გამოკვლევის წინასწარი შედეგები. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრის საინფორმაციო ბიულეტენი, №5, 1997, გვ. 35-41.
6. ნ.ბეგალიშვილი, კთავართქილაძე, ნ.ნებიერიძე, მ.ტატიშვილი, ლ.ყურაშვილი. საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში სინოტივის ველის კვლევის ზოგიერთი შედეგი. ჰმი-ს შრომები, “ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის პრობლემები”. ტ.101, თბილისი, 1998, გვ.150-160.
7. ნ.ბეგალიშვილი, ნ.ნებიერიძე, ლ.ყურაშვილი. ტენშემცველობა ატმოსფეროში და მისი ცვლილება საქართველოს ტერიტორიაზე. სამეცნიერო სესიის “ჰავის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში” მასალები, თბილისი, “მეცნიერება”, 1998, გვ.11-12.
8. ნ.ნებიერიძე. საქართველოს ტერიტორიაზე სინოტივის მიწისპირა ველის ძირითადი მახასიათებლების საუკუნეობრივი ცვლილება. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომების კრებული “კლიმატოლოგიის პრობლემები”, ტ.102, 2001, გვ.145-151.
9. გ.სვანიძე, კთავართქილაძე, ნ.ბეგალიშვილი. კლიმატის ცვლილების გავლენა წყალბრუნვაზე. სამეცნიერო სესიის “ჰავის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში” მასალები. თბილისი, “მეცნიერება”, 1998, გვ.27-29.
10. Болин Б. Климат и наука, знание и понимание, необходимые для действия в условиях неопределенности. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.9-13.
11. Манабе С., Везеролд Р. Изменение водных запасов в масштабах столетия вследствие глобального потепления. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.14-15.
12. Мата Л. Улучшение нашего понимания изменения климата и проблем, связанных с водой. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.37-38.
13. Мелешко В.П., Голицын Г.С., Говоркова В.А. и др. Возможные антропогенные изменения климата России в 21-м веке: оценки по ансамблю климатических моделей. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.51-52.
14. Хубларян М.Г., Добровольский С.Г., Найденов В.И. Оценка возможных изменений речного стока вследствие изменений глобального климата. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.251.
15. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Влияние климатических изменений на водные ресурсы и водный режим рек России. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.250.



16. 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.
17. **Алексеева А.К., Семенов В.А.** Региональные особенности реакции стока рек на изменение климатоформирующих факторов. Физические аспекты теории климата. Труды III Всесоюзного симпозиума. Л., Гидрометеиздат, 1990, с.204-209.
18. **Варданян Т.Г.** Прогнозирование речного стока при разных сценариях глобального изменения климата. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.589.
19. **Косовец А.А., Вишневский В.И.** Долговременные изменения климатических условий на территории Украины и их влияние на гидрологический режим рек. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.257.
20. **Лурье П.М., Панов В.Д.** Речной сток Кавказа в условиях современного изменения климата. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.256.
21. **Семенов В.А.** Климатически обусловленные изменения стока рек северной и центральной Евразии. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.593
22. **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.
23. **Георгиади А.Г., Милюкова И.П.** Гидрологические последствия глобальных изменений климата в бассейне р.Волги. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.581 .
24. **Голубцов В.В., Ли В.И., Скоцеляс И.И.** Об использовании модели формирования стока для оценки влияния антропогенных изменений климата на ресурсы поверхностных вод. Гидрометеорология и экология, №4, Изд. Казгидромета, Алматы, 1996, с.132-137.
25. **Ли В.И., Попова В.П.** Оценка влияния хозяйственной деятельности на сток рек с использованием математической модели его формирования. Гидрометеорология и экология, №4, Изд. Казгидромета, Алматы, 1996, с.138-143.
26. **Лю С., Ченг В.** Уязвимость системы водных ресурсов в северо-западном Китае. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.584-585.
27. **Мотовилов Ю.Г.** Моделирование влияния изменения климата на речной сток: определенности и неопределенности. Тезисы докладов Всемирной конфер. по изменению климата. М., 2003, с.622.
28. **Скоцеляс И.И., Голубцов В.В., Ли В.И.** Использование, уязвимость и возможные пути адаптации ресурсов поверхностных вод бассейна Ишима в условиях антропогенных изменений климата. Гидрометеорология и экология, №3, Изд. Казгидромета, Алматы, 1996, с.91-101.
29. **Binnie C.J.A.** Climate change and its potential effect on water resources in Asia. Aqua, v.46, N5, 1997, p.274-282.
30. **Kaczmarek Zd., Krasuski D.** Sensitivity of Water Balance to Climate Change and Variability. WP-91-047, IIASA, Austria, 1991, 25p.
31. **Mimikon M., Kamelloponlon S., Baltas E.** Human implication of changes in hydrological regime due to climate change in Northern Greece. Glob. Environ. Change, v.9, n2, 1999, p.136-156.
32. **Kaczmarek Zd.** Impact of Climatic Variations on Storage Reservoir Systems. WP-90-020, IIASA, Austria, 1990, 34 p.
33. **Долгих С.А., Пилифосова О.В.** О методах оценки ожидаемых изменений глобального климата и сценарии изменения климата Казахстана. Гидрометеорология и экология, №4, Изд. Казгидромета, Алматы, 1996, с.94-109.
34. **ბ.ბერიტაშვილი.** კლიმატის ცვლილების პრობლემებთან დაკავშირებული ტერმინოლოგიის მოკლე განმარტებითი ლექსიკონი. ჰმი გამომც., თბილისი, 2004, 74 გვ.

35. **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, გვ.122-132.
36. **გ.სვანიძე, ვ.ცომაია, რ.მესხია.** საქართველოს წყლის რესურსების მოწვევადობა და ადაპტაციის ღონისძიებანი. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტ. შრომები “ჰიდროლოგიის პრობლემები”, ტ.106, თბილისი, 2001, გვ.11-30.
37. **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, გვ.133-138.
38. **Тюрк Д.** Баланс почвенной влаги. Л., Гидрометеиздат, 1958, 227 с.
39. **Водные ресурсы Закавказья.** Под ред. Г.Г.Сванидзе, В.Ш.Цомая. Л., Гидрометеиздат, 1988, 264 с.
40. **Владимиров Л.А., Шакарашвили Д.И., Габриадзе Т.И.** Водный баланс Грузии. изд. «Мецниереба», Тбилиси, 1974, 182 с.
41. **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.
42. **Будыко М.И.** Эволюция биосферы. Л., Гидрометеиздат, 1984, 488 с.
43. **Климат Тбилиси.** Под ред. Г.Г Сванидзе и Л.К. Папинашвили.СПБ Гидрометеиздат, 1992, 230 с.
44. **Матвеев Л.Т.** Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1976, 640 с.
45. **Хргиан А.Х.** Физика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1964, 647 с.
46. **Ресурсы поверхностных вод СССР.** Т.9. Закавказье и Дагестан. Вып.1. Западное Закавказье. Под редакцией Г.Н.Хмаладзе, Л., Гидрометеиздат, 1969, 312 с.
47. **Ресурсы поверхностных вод СССР.** Т.9. Закавказье и Дагестан. Вып.1. Западное Закавказье. Под редакцией В.Ш.Цомая, Л., Гидрометеиздат, 1974, 578 с.
48. **Государственный водный кадастр.** Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Грузинская ССР. Л., Гидрометеиздат, 1987, 416 с.
49. **Апхазова И.С.** Озера Грузии. «Мецниереба», 1975.
50. **Метревели Г.С.** Водохранилища Закавказья (Армянская и Грузинская ССР). Л., Гидрометеиздат, 1985, 132 с.
51. **Сванидзе Г.Г., Гагуа В.П., Сухишвили Э.В.** Возобновляемые энергоресурсы Грузии. Л., Гидрометеиздат, 1987, 174 с.
52. **Колесников В.И.** Экология и водные отношения Грузии, Тбилиси, «Мецниереба», 1992, 192 с.
53. **გ.ხმალაძე.** საქართველოს წყლის რესურსები. საქართველოს სტრატეგიული კვლევისა და განვითარების ცენტრის ბიულეტენი, №1(2), თბილისი, 1997, გვ.2-56.

## II. საქართველოში გზინარმეთა მიწისქვეშა ჩამონადენის გამომთვლა და ბრუნვის წყლების მარაგის შეფასება კლიმატის ცვლილების ბათვალისწინებით

### წინასიტყვობა

მიწისქვეშა წყლებს უწოდებენ ყველა სახის წვეთობრივ თხევად წყლებს, რომლებიც ავსებენ ზედაპირის სიღრმეში არსებული ნიადაგების ან ქანების ფორებსა და სიცარიელეებს, ფლობენ მთლიანობასა და აქვთ გამოდენის უნარი ბუნებრივად ან ხელოვნურად გაჭრილი ადგილებიდან [7,8,11].

მიწისქვეშა წყლების შესწავლას აქვს არა მარტო თეორიული, არამედ პრაქტიკული მნიშვნელობა. ეს კარგათაა ცნობილი საქართველოს არსებობის მრავალი საუკუნოვანი ისტორიიდან. მიწისქვეშა წყლებს იყენებდნენ წყალმომარაგებისათვის და მორწყვისათვის. დღესაც მრავლად შეხვედებით საოჯახო საქმიანობისათვის განკუთვნილ ჭებს, სადაც გროვდება მიწისქვეშა წყლები; ბევრ ადგილას დაიკვირვება ჩამოქცეული, გაშიშვლებული ფერდობებიდან მიწისქვეშა წყლების ნაკადები, რომლებიც გამოყენებულია სასმელად.

საერთოდ მიწისქვეშა წყლებს დიდი გამოყენება აქვს სამეურნეო საქმიანობის ყველა დარგში. მაგალითად ჯანმრთელობის დაცვის სფეროში, სადაც სამკურნალო მიზნით იყენებენ თერმულ, თერმომარილიან და თერმოაირა წყლებს. გარდა ამისა მიწისქვეშა წყლებს იყენებენ სხვადასხვა სახის სამკურნალო მარილების მისაღებად. განსაკუთრებით დიდია მიწისქვეშა წყლების ზემოქმედების მასშტაბები ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობაში: მაგალითად, წყალსაცავების შექმნა ძირფესვიანად ცვლის მიმდებარე ტერიტორიის მიწისქვეშა წყლების რეჟიმს; იზრდება წყლის შეკავების უნარი, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს დასახლებული პუნქტებისა და სამეურნეო ტერიტორიის დატბორვა, დაჭაობება, ნიადაგის დამარილება, ნაგებობების ქვემოთ ნიადაგის დანესტიანება, სარდაფებში წყლის დაგროვება და სხვა.

ამიტომ საჭიროა მათი რეჟიმის და მარაგის შესწავლა. საჭირო საველე დაკვირვებების მისაღები მრავლადაა მოცემული მთელ რიგ შრომებში, რომელთა საფუძველზე შესაძლებელი მიწისქვეშა წყლების მარაგის, მათი დროში და სივრცეში ცვალებადობის, მაფორმირებელ ფაქტორთან (ჩამონადენთან, ატმოსფერულ ნალექებთან და სხვა) კავშირების გამოკვლევა.

### 2.1. მიწისქვეშა წყლების წარმოშობის ზოგიერთი საკითხი

მიწისქვეშა წყლები, რომლებიც დებულბენ მონაწილეობას წყლის ბრუნვაში, იყოფა დედამიწის ზედაპირულ და მაგმურ წყლებად. დღეისათვის მიღებულია მათი შემდეგი სახეები:

- უწნეო (ზედაპირული) წყლები, რომლებიც მოქცეული არიან ნიადაგის ზედაპირულ განლაგებაში და მათ ზედა წყლებს უწოდებენ;
- დაწნევითი წყლები, რომლებიც მოქცეული არიან ტექტონიკურ ნაპრალებში. ეს არის მინერალური და თერმული წყლები.

მიწისქვეშა წყლებს ყოფენ განლაგების მიხედვითაც, არჩევენ:

- ნიადაგის მიწისქვეშა წყლებს, რომლებიც ჰიდრავლიკურად არიან დაკავშირებული უფრო ღრმად განლაგებულ გრუნტის წყლებთან. ისინი ხასიათდებიან სეზონურობით და დამოკიდებული არიან მეტეოროლოგიურ პირობებზე. მათი გავრცელების არე ეთანხმება ზედაპირულ ჩამონადენის არეს და ისინი საზრდობენ, ძირითადად, ატმოსფერული ნალექებით და ორთქლის კონდენსაციით. ძლიერ განიცდიან ჰაერის ტემპერატურის გავლენასაც. მიწისქვეშა წყლების ეს კომპონენტი ზაფხულობით თბება და ხშირად ორთქლდება. ზამთარში შეიძლება გაიყინოს. ასევე ძლიერ იცვლის ხარისხს.

მშრალ რაიონებში ნიადაგი ხშირად შეიცავს მარილიან წყალს და გამოშრობის დროს ხშირად კრისტალდება და წარმოქმნის მლაშე ნიადაგებს და მლაშობ მცენარეულ საფარს;

- გრუნტის უწნეო მიწისქვეშა წყლებს, რომლებიც განიცდიან დრენაჟს მდინარის კალაპოტისაგან ანუ გამოჩნდებიან ეროზიულ ქსელში, ან კიდევ რელიეფის დაწვეით. მათი გავრცელება ხდება ქვემოთ განლაგებულ მკვრივ ქანობამდე, ისინი ფაქტობრივად აღწევენ წყალგაუმტარ ფენებს;
- ქანების წყებათა შორის განლაგებული უწნეო წყლებს, რომლებიც მოქცეული არიან წყალგამტარი ქანების ფენებში. ეს წყლები თითქმის იზოლირებულია ატმოსფერული ნალექებისაგან და მდინარის წყლებისაგან. მათთან დაკავშირებულია ევრეთწოდებული გვერდითი საზრდოობა იმ ადგილებში, სადაც ზედაპირზე გამოდიან წყალშემცვლელი ქანები. ისინი ასევე გამოდიან ზღვის ან მდინარის ნაპირებიდან.

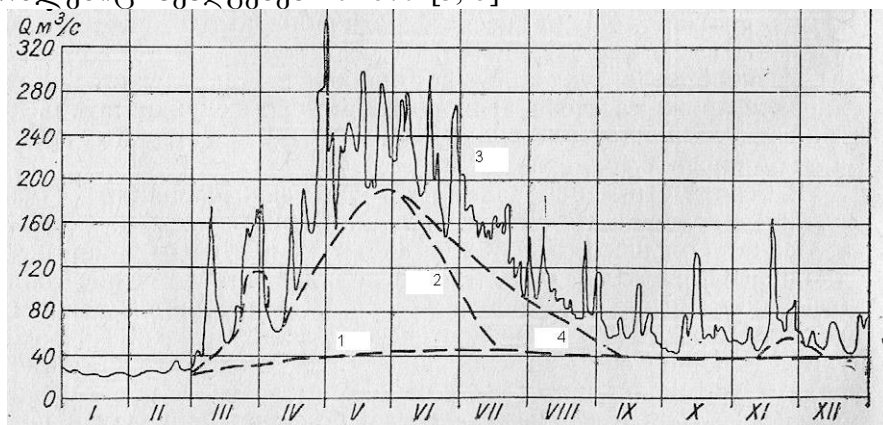
აღწერიდან ჩანს, რომ წინმდებარე ნაშრომში შესწავლის საგანს წარმოადგენს ნიადაგი-გრუნტის მიწისქვეშა წყლები, რომელთა მარაგი დამოკიდებულია მეტეოროლოგიურ პირობებზე.

## 2.2. მიწისქვეშა წყლების ბაზანბარიშების (პრობნოზის) საუშუალოები

მიწისქვეშა წყლები წარმოადგენენ მდინარეების საზრდოობის ერთ-ერთ წყაროს. მათ მარაგს განსაზღვრავენ მდინარის ჩამონადენის ჰიდროგრაფის დანაწევრებით. ასეთი სახის სამუშაოები ჩატარებულია მრავალი მკვლევარის მიერ და მათი განზოგადების საფუძველზე მიღებული შედეგები სისტემატიზებულია შრომებში [1,4,5,7,8,9], რომლებშიც მიწისქვეშა წყლების მარაგი შეფასებულია სხვადასხვა სიდიდით (მოცულობით). საერთო ჯამში მიწისქვეშა ჩამონადენი შეადგენს მთელი ჩამონადენის დაახლოებით 35%-ს რაც მიღებულია მდინარეთა ჩამონადენის განაწილების შესწავლისას დედამიწის ყველა კონტინენტისათვის [7]. ეს კი საიმედო არგუმენტია იმის დასტურად, რომ ამ მხრივ არსებული მასალა მიწისქვეშა წყლების შესახებ შეიძლება გამოყენებული იქნას მთელი რიგი თეორიული და პრაქტიკული საკითხების გადასაწყვეტად.

არსებული შრომებიდან მიწისქვეშა წყლების მარაგზე ინფორმაციის სიმრავლით გამოირჩევა პუბლიკაციებში [1,9], რომელთა შედარება მოცემულ ნაშრომში მიღებულ დასკვნებთან გვაძლევს საშუალებას გავაფართოვოთ ანალიზის შედეგები და მათი გამოყენების მასშტაბები.

საერთოდ უნდა აღინიშნოს, რომ ჰიდროგრაფების დანაწევრება მეტად შრომატევადი და რთული პროცესია. ეს კარგად ჩანს ნახ.2.1-ზე, სადაც გამოყოფილია გრუნტის (1), თოვლის დნობის (2), წვიმისა (3) და მყინვარების დნობის (4) წყლების საზრდოობა. ყველა გამოყოფი ხაზი პირობითია და ადგილი აქვს სუბიექტურ ცდომილებებს, რომლებიც შეადგენენ 10-15% [3,15].



ნახ.2.1. მდ.რიონის - ს. ალპანასთან 1965 წლის წლიური ჩამონადენის ჰიდროგრაფი. (1)გრუნტის, (2)თოვლის დნობის, (3)წვიმის, (4)მყინვარების დნობის წყლები.

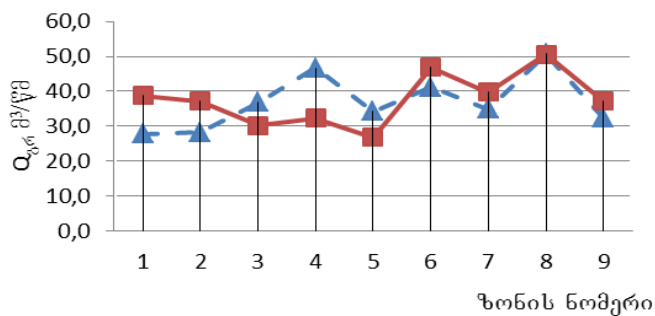
ჰიდროგრაფის დანაწევრების მეთოდის გამოყენება განსაკუთრებით რთულია წყალმოვარდნების ტიპის მდინარეებისათვის, სადაც ცდომილება მაღალია - 15-20% [1]. განხილულ ცდომილებებს ემატება სხვა ცდომილებებიც, რომლებიც დაკავშირებულია საშუალო წლის ჰიდროგრაფის შერჩევასთან. შერჩევა ხდება თვიური ჩამონადენის ნორმებთან შედარების გზით, მაგრამ აქაც ადგილი აქვს ცდომილებას 5-7%-ის ფარგლებში და საერთო ჯამში ცდომილებამ შეიძლება მიაღწიოს 25-30%-ს. ამიტომ მოცემულ ნაშრომში გამახვილდა ყურადღება სხვა უფრო საიმედო მახასიათებლების გამოყენებაზე, რომელიც აგვაცილებდა აღნიშნულ ცდომილებებს და ზემოთ აღნიშნულ სხვა ნაკლოვანებასაც. ასეთ პარამეტრად აღებული იქნა ზამთრის პერიოდის მინიმალური საშუალო თვიური წყლის ხარჯის ნორმა. ის ფიქსირდება უფრო მეტად იანვარში და თებერვალში. მაგრამ ზოგ შემთხვევაში (მაღალ მთიანი რაიონების მდინარეთა აუზებში) დაიკვირვება მარტში, ზოგ შემთხვევაში - სექტემბერშიც (დაბალი ზონის მდინარეებში) ან შეიძლება ორივე შემთხვევას ჰქონდეს ადგილი.

### 2.3.სხვადასხვა მეთოდით მიღებული გრუნტის წყლების მარაგის შედარების შედეგები

ზემოთ აღნიშნულიდან ცხადია, რომ თვის საშუალო მინიმალური ჩამონადენი, როგორც მიწისქვეშა წყლების მახასიათებელი, ყოველთვის ნაკლები უნდა იყოს ჰიდროგრაფის დანაწევრებით მიღებულ მიწისქვეშა წყლის მარაგზე. მაგრამ ასეთ შედეგს ყოველთვის ადგილი არა აქვს, ზოგ შემთხვევაში ჰიდროგრაფის დანაწევრებით მიღებული სიდიდე მეტია ზამთრის თვეების მინიმალური ჩამონადენზე (21,6%), ზოგ შემთხვევაში კი ნაკლებია (39,6%). ეს კარგად ჩანს ცხრ. 2.1-დან და ნახ.2.2-დან.

ცხრილი 2.1. ჰიდროგრაფის დანაწევრებით [5] და ზამთრის თვეების მინიმალური ჩამონადენით მიღებული გრუნტის წყლების მარაგის ( $Q_{გრ}$  მ<sup>3</sup>/წმ) შედარების შედეგები საქართველოს ტერიტორიის სხვადასხვა რაიონისათვის

№	მეთოდის დასახელება	ზონის რიგითი ნომერი საქართველოს ტერიტორიის დარაიონების სქემის მიხედვით [5]								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ჰიდროგრაფის დანაწევრებით [5]	27,8	28,3	36,8	46,7	34,2	41,1	34,8	50,8	32,2
2	ზამთრის თვეების მინიმალური ჩამონადენით	38,8	37,2	30,2	32,3	26,8	46,9	39,7	50,5	37,2
	სხვაობა	-11,0	-8,9	6,6	14,4	7,4	-5,8	-4,9	0,3	-5,0
	%	-39,6	-31,4	17,9	30,8	21,6	-14,1	-14,1	0,6	-15,5



ნახ.2.2. ჰიდროგრაფის დანაწევრებით [5] - ▲ და ზამთრის თვეების მინიმალური ჩამონადენით - ■ მიღებული გრუნტის წყლების მარაგის ( $Q_{გრ}$  მ<sup>3</sup>/წმ) შედარების შედეგები საქართველოს ტერიტორიის სხვადასხვა რაიონისათვის

როგორც გამოთვლის შედეგებიდან ჩანს, მიწისქვეშა ჩამონადენის სიდიდე, მიღებული ჰიდროგრაფის დანაწევრებით, ზოგჯერ 20-30%-ით აჭარბებს ზამთრის თვეების მინიმალურ ჩამონადენს. მაგრამ უმეტეს შემთხვევაში მოთხოვნილი პირობა დარღვეულია (ექვსი ზონა №1,2,6-9). მაგალითად პირველ ზონაში (დასავლეთ კავკასიონის სამხრეთი ფერდობი) მიწისქვეშა ჩამონადენის მნიშვნელობა ნაკლებია ზამთრის თვეების მინიმალურ მნიშვნელობაზე თითქმის 40%-ით. თუმცა თუ გავასაშუალებთ შეფასების შედეგებს საქართველოს მთელი ტერიტორიისათვის ვღებულობთ თითქმის ერთი და იგივე მნიშვნელობას – სხვაობა შეადგენს 2%-ს.

[5]-სგან განსხვავებულია გ.ხმალაძის შრომა გრუნტის წყლების სიდიდის შეფასების შესახებ [8], გაანგარიშებული იმ მეთოდოლოგიური მითითებების და მასალების საფუძველზე, რომელიც შესულია ლენინგრადის ჰიდროლოგიური ინსტიტუტის 1968 წლის შრომაში, მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტის, სსრკ მიწისქვეშა წყლების რუკების, სსრკ მდინარეების მიწისქვეშა საზრდოობის რეგიონული შეფასების პუბლიკაციებში. გ. ხმალაძეს მოყავს მაგალითი მდ. ბორჯომულა - ქ. ბორჯომთან 1950 წლის ჰიდროგრაფისა, რომლის დანაწევრებით განსაზღვრულია გრუნტის წყლის მოდულის სიდიდე 4 ლ/წმ. ზამთრის თვეების მინიმალური ხარჯით მიღებული მიწისქვეშა ჩამონადენისათვის ვღებულობთ:

1950 წლის საშუალო წლიური ხარჯი შეადგენს  $Q_1 = 2,15$  მ<sup>3</sup>/წმ

1950 წლის მინიმალური საშუალო თვიური წყლის ხარჯი შეადგენს  $Q_2 = 0,66$  მ<sup>3</sup>/წმ

1950 წლის მინიმალური საშუალო თვიური ჩამონადენის მოდული ტოლია

$$M = 0,66 \times 1000 / 165 = 4,0 \text{ ლ/წმ კმ}^2, \quad (1)$$

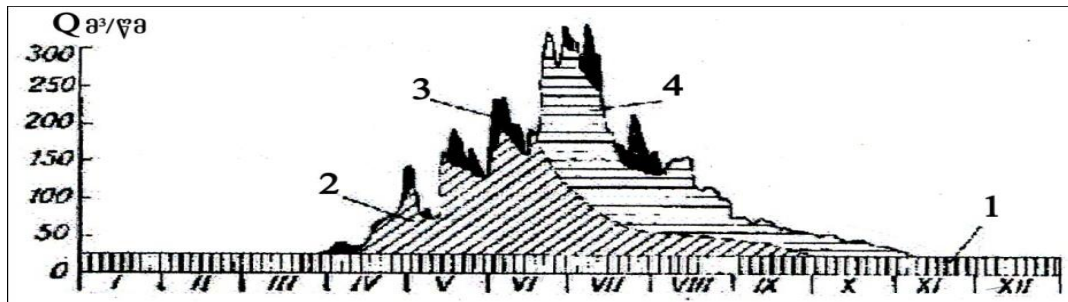
რაც მთლიანად დაემთხვა გ. ხმალაძის გამოთვლილ სიდიდეს, მოყვანილს მიწისქვეშა წყლების განაწილების რუკაზე [8]. კიდევ ერთ მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ვ. ფოთოლაშვილის მიერ დადგენილი მიწისქვეშა წყლების ჩამონადენი მდ. ალაზანზე, მოცემული ცხრ. 2.3-ში [15].

ცხრილი 2.3. მდ.ალაზნის მიწისქვეშა ჩამონადენის შეფასების შედეგები 1978 მონაცემების საფუძველზე [15]

საგუშაგო	საშუალო მრავალწლიური	მდ.ალაზნის ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ			
		გრუნტის წყლის	ზედაპირული 1978	გრუნტის წყლის	ზედაპირული 2010 წლის მონაცემებით
სოფ. ბირკიანი	14,5	6,15	42,4	5,87	43,5
სოფ. შაქრიანი	43,1	24,8	53,1	18,9	43,9
სოფ. ჭიაური	62,1	37,0	54,1	30,1	48,5
სოფ. ზემო - ქედი	95,1	55,7	60,6	50,0	52,8
მდ.აგრიჩაის ქვემოთ	103	76,1	73,9	66,0	64,8

როგორც ცხრილიდან ჩანს მიწისქვეშა წყლების წლიური ხარჯები მდ.ალაზანზე მდინარის დინების მიმართულებით თანდათან იზრდება და მაქსიმუმს აღწევს შესართავთან (76.1 და 66.0 მ<sup>3</sup>/წმ). სხვაობა ვ. ფოთოლაშვილის და წინამდებარე შრომის ავტორების მონაცემებს შორის გამოწვეულია სარწყავ სისტემებში წყალაღებით.

გამოყენებული მეთოდის ობიექტურობას და საიმედოობას ადასტურებს ჰიდროლოგიური ლექსიკონი [22], საიდანაც აღებულია ქვემოთ წარმოდგენილი ნახ.2.3, რომელშიც გრუნტის (მიწისქვეშა) წყლის გამყოფი ხაზი გატარებულია იანვრის, თებერვლის, მარტის, ნოემბრისა და დეკემბრის მინიმალურ საშუალო თვიურ წყლის ხარჯებზე.



ნახ.2.3. მთის მდინარის ჩამონადენის ჰიდროგრაფის დანაწევრების სქემა საზრდოობის წყაროების მიხედვით [22]. გრუნტის (მიწისქვეშა) (1), თოვლის დნობის (2), წვიმის (3) და მყინვარების დნობის (4) საზრდოობა

#### 2.4. მიწისქვეშა საზრდოობის კოეფიციენტის გამოთვლის შედეგები

1980 წლის მონაცემებით ჰიდროლოგიურ ცნობარში, დაკვირვებათა ხანგრძლივობით, გამოირჩევა 154 ჰიდროლოგიური საგუშაგო (კვეთი), აქედან 81 (52,6%) მოდის დასავლეთ საქართველოს, ხოლო 73 (47,4%) აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონებზე. შერჩეული საგუშაგოები დაჯგუფდა ოროგრაფიულ - ჰიდროგრაფიულ - ჰიდროლოგიური ნიშნების მიხედვით. რის საფუძველზეც, [5,8]-გან განსხვავებით, დადგინდა საქართველოს ტერიტორიისათვის მიწისქვეშა საზრდოობის მარაგის ახალი დარაიონების 15 ზონა. ზონირებისას გათვალისწინებულია: გრუნტის წყლის მაფორმირებელი ფაქტორები; ჰიდროგრაფიული ქსელის თავისებურებანი; ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობები; მდინარის საზრდოობის და ჩამონადენის ფორმირების ერთგაროვნობა; ზამთრის თვეების მრავალწლიური მინიმალური ჩამონადენის (მიწისქვეშა წყლების მარაგი  $Q_{გრ}$  თითოეული ზონისათვის) და საშუალო მრავალწლიური ჩამონადენის ( $Q$ ) მნიშვნელობები (იხ.ცხრ.2.4.).  $Q_{გრ}$  დადგინდა მიწისქვეშა საზრდოობის  $K = Q_{გრ} / Q$  კოეფიციენტი (გასაშუალოებული ზონის მდინარეების ყველა კვეთისათვის).

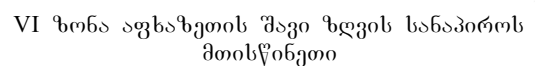
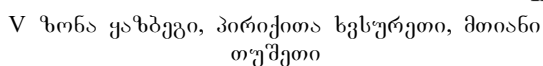
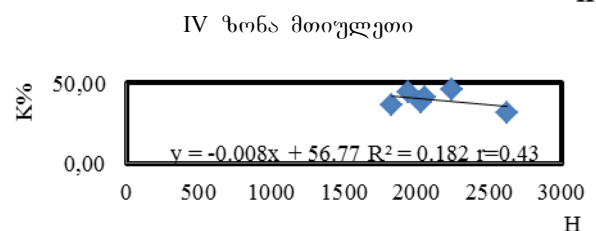
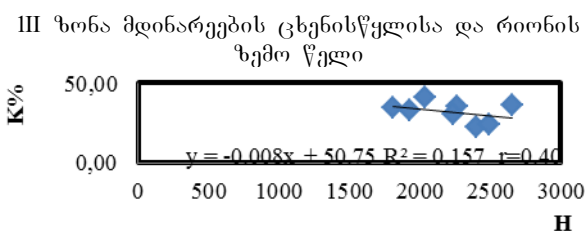
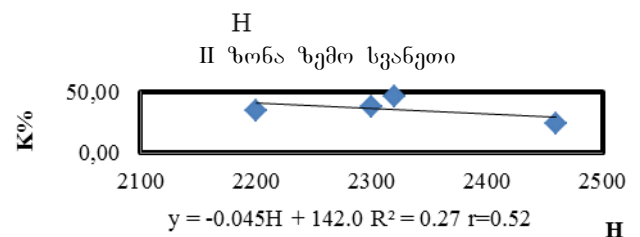
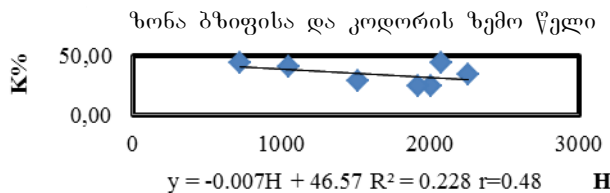
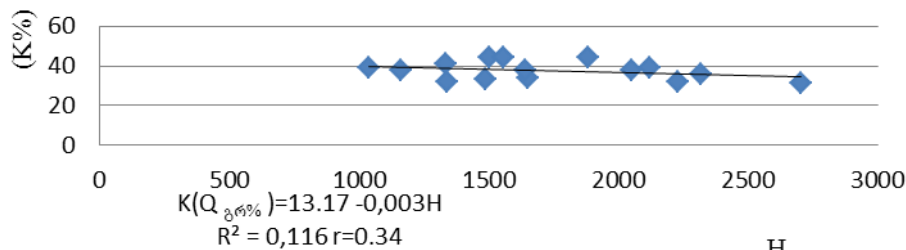
#### 2.5. მიწისქვეშა წყლების ჩამონადენის ცვლილების თავისებურებანი აღბილის სიმაღლის მიხედვით

გრუნტის წყლის პროცენტული სიდიდის დამოკიდებულება წყალშემკრები აუზის საშუალო სიმაღლესთან სრულიად ახალი ცნებაა, და თავისი შედეგებით გამოირჩევა, რაც ნათლად ჩანს ნახ.2.4-დან. ყველა რაიონისათვის დამოკიდებულება მჭიდროა; მათგან ყველა რაიონის დამოკიდებულება ხასიათდება გრუნტის წყლის შემცირების ტენდენციით წყალშემკრები აუზის საშუალო სიმაღლის ზრდასთან ერთად როგორც ზამთრის (იანვარი, თებერვალი), ასევე ზაფხულისა და შემოდგომის (აგვისტო, სექტემბერი) გრუნტის წყლის პროცენტული მახასიათებლები; წერტილების გადახრა საშუალო ხაზიდან აიხსნება წყალშემკრები აუზის საშუალო დახრილობის გავლენით, კერძოდ რაც მეტია ეს დახრილობა, მით ნაკლებია გრუნტის წყლის მარაგის პროცენტული სიდიდე. გაცილებით უკეთესი შედეგი გამოვლინდა მთლიანად მთელი საქართველოსათვის, წარმოდგენილი ნახ.2.5, რომლის საფუძველზე მიღებული იქნა რეგრესიის გამტოლება:

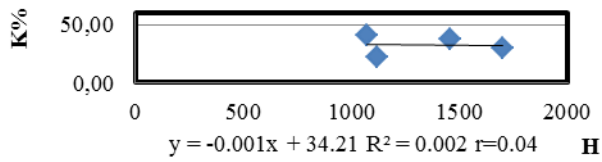
$$Q_{გრ, \%} = 13.17 - 0,003H \quad (2)$$

ცხრილი 2.4. საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება მიწისქვეშა წყლების მარაგის გათვალისწინებით

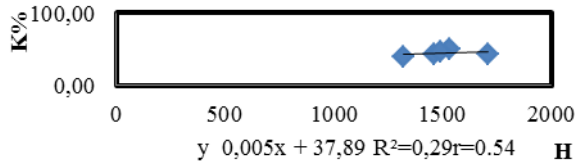
ზონის №	ზონის დასახელება	წყალშემკრები აუზების			გრუნტის წყლის საშ. ჩამონადენი, %
		ქვედა და ზედა საზღვრები (მ)	საშუალო სიმაღლე	დახრილობა ‰	
I	ბზიფისა და კოდორის ზემო წელი	720-2200	1651	447 -516	34
II	ზემო სვანეთი	2160-2460	2320	224 - 462	36
III	მდინარეების ცხენისწყლისა და რიონის ზემო წელი	1660-2500	2229	270 - 450	32
IV	მთიულეთი	1470-2129	2120	260 - 452	39
V	ყაზბეგი, პირიქითა ხევსურეთი, მთიანი თუშეთი	950-1700	2702	535 - 600	31
VI	აფხაზეთის შავი ზღვის სანაპიროს მთისწინეთი	720-1300	1338	300 - 391	32
VII	კოლხეთის დაბლობი და მიმდებარე მთისწინეთი	150-1630	1160	15 - 428	38
VIII	ყვირილა, ძირუღას აუზი	640-1000	1003 7	104 - 277	39
IX	ქართლის ვაკე და მიმდებარე მთისწინეთი	500-1470	1502	184 - 344	44
X	კახეთი (მდინარეების იორის და ალაზნის აუზი)	900-2590	1643	173 - 555	38
XI	შავი ზღვისპირეთი, მდინარეების სუფსა- ჩაქვისწყლის აუზების ქვედა წელი	830-2260	1333 2	240 - 561	41
XII	მდინარე აჭარისწყლის აუზი	1470-1700	1558	308 - 470	44
XIII	მდინარე მტკვრის ზედა წელი -ახალციხე- ბორჯომის ქვაბული	1680-1820	1882	132 - 380	44
XIV	სამცხე-ჯავახეთის პლატო	2100-2120	2051	91 - 132	38
XV	მდინარე ქცია-ხრამის აუზი	800-2050	1487	92 - 232	33



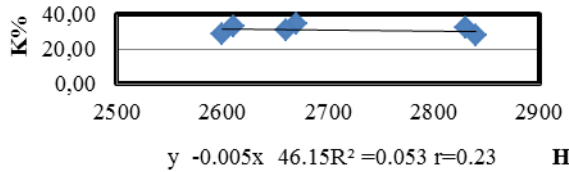




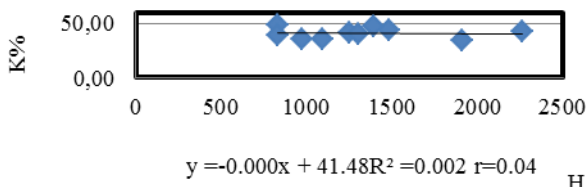
VII ზონა კოლხეთის დაბლობი და მიმდებარე მთისწინეთი



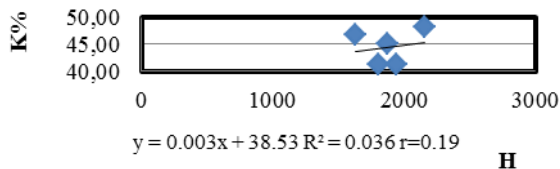
IX ზონა ქართლის ვაკე და მიმდებარე მთისწინეთი



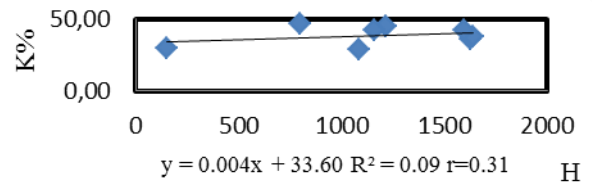
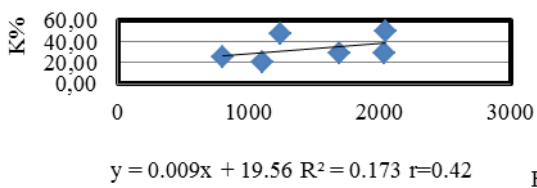
XI ზონა შავი ზღვისპირეთი, მდინარეების სუფსანაკვისწყლის აუზების ქვედა წელი



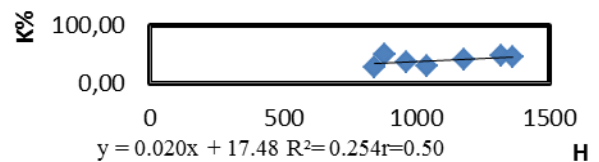
XIII ზონა მდინარე მტკვრის ზედა წელი -ახალციხე-ბორჯომის ქვაბული



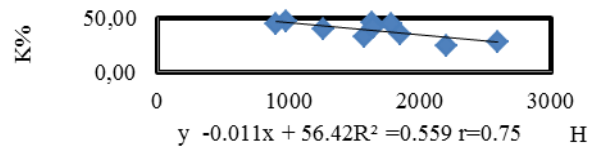
XV ზონა მდინარე კცია-ხრამის აუზი



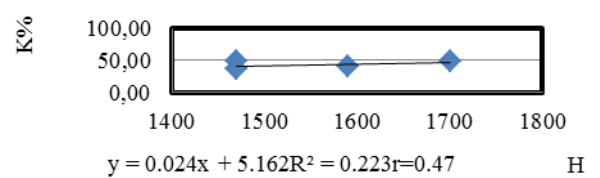
VIII ზონა ყვირილა, ძირულას აუზი



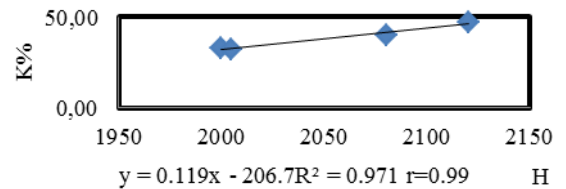
X ზონა კახეთი (მდინარეების იორის და ალაზნის აუზი)



XII ზონა მდინარე აჭარისწყლის აუზი

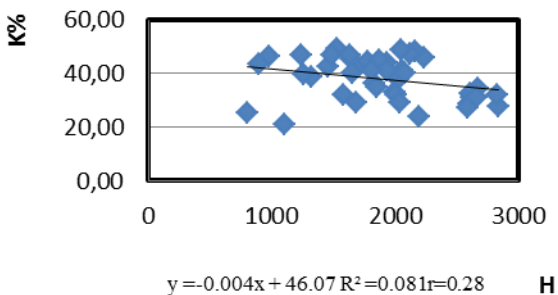


XIV ზონა სამცხე-ჯავახეთის პლატო



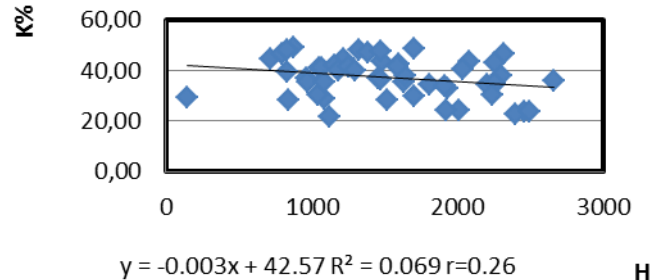
ნახ.24.ა. გრუნტის წელის პროცენტული სიდიდის დამოკიდებულება წყალშემკვრები აუზის საშუალო სიმაღლესთან

აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონი



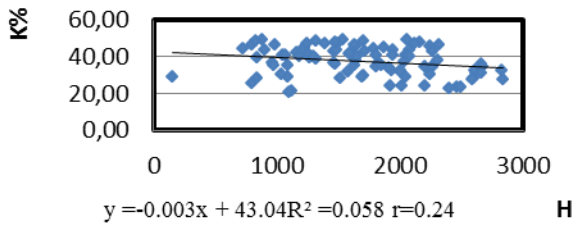
საქართველო მთლიანად

დასავლეთ საქართველოს რეგიონი



ნახ.24.ბ. გრუნტის წელის პროცენტული

სიდიდის დამოკიდებულება წყალშემკრები აუზის



ნახ.2.4.ბ და (2) ფორმულიდან ჩანს, რომ გრუნტის წყლის რაოდენობა მცირდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად და იგი ნულის ტოლია 3500 მ-ის სიმაღლეზე – ცივი ფენის კრიოსფეროს ქვედა საზღვარზე, სადაც წყალი ყინულოვან მდგომარეობაშია. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ გრუნტის წყლის მარაგის განაწილება კერძო შემთხვევა არ არის. მას ადგილი აქვს მთიანი მხარის ყველა რაიონში.

ნახაზებიდან ნათლად ჩანს, რომ გრუნტის წყლის მარაგი სიმაღლის ზრდასთან ერთად კლებულობს, როგორც საქართველოს აღმოსავლეთ ასევე დასავლეთ რეგიონებში. გამონაკლის წარმოადგენს XII, XIII, XIV და XV ზონები, კერძოდ აჭარის წყლის აუზში მდ.აჭარისწყლის ინტენსიური მოხმარების (თურქეთის მხარე) შეიმჩნევა მცირე ზრდა მიწისქვეშა წყების. XIII ზონაში მიწისქვეშა წყლების სიმაღლის ზრდასთან ერთად გამოწვეულია აუზს მდინარეთა განსხვავებული საზრდოობით და გეოლოგიური აგებულებით. ანალოგიური მდგომარეობაა XIV და V ზონებშიც.

**2.6. მიწისქვეშა წყლების მარაგის ცვლილების ხასიათი წლიური ჩამონადენის ცვლილების ფონზე**

ჰიდროლოგიური ცნობარების მასალების საფუძველზე ცხრ.7 სისტემატიზირებულია Q<sub>წ</sub> და Q<sub>წ</sub> საშუალო სიდიდეები დაკვირვების 1935 წლიდან 1960, 1970, 1975 და 1980 წლამდე სულ აღმოჩნდა 21 მდინარე, 26 ჰიდროლოგიური მონაცემებით. იქვე მოყვანილია ჯამური სიდიდეები რეგიონებისა და მთლიანი ტერიტორიის მიხედვით, მაგრამ უნდა შევნიშნოთ, რომ მდინარეების ჰიდროგრაფიული მახასიათებლები არ იყო მდგრადი; განსაკუთრებით დიდ გართულებებს ჰქონდა ადგილი 420 ათას ჰექტარ სარწყავ მიწებზე, სადაც გაყვანილ იქნა 58 მაგისტრალური სარწყავი არხები 15000 კმ საერთო სიგრძით და ბოლოს მდინარეების ჩამონადენის გაფანტვას აძლიერებდა მდინარეების წყლის გამოყენება კომუნალურ მეურნეობაში; მარტო მდ. არაგვის ფილტრების წყლის აუზების მჭიდრო ქსელიდან ქ. თბილისს აწვდიდა 13 - 15 მ<sup>3</sup>/წ წყალს ან 400 - 450 მლნ კუბურ მეტრ წყალს წელიწადში რაც 10-ჯერ მეტია ვიდრე 1952 წელს.

აღნიშნულ შედეგებს მდინარეების 26 ჰიდროლოგიური საგუშაგოების მრავალწლიურ ჩამონადენებს დიდი ცვლილებები არ გამოუწვევია: აღნიშნულ პერიოდთა რიგში მდინარეთა ჩამონადენი თითქმის არ შეცვლილა. მათი ჩამონადენები აღნიშნული პერიოდების მიხედვით ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან სულ მცირე ±0,5 - 3,0%, რაც 20 - 30% ნაკლებია საშუალო კვადრატულ ცდომილებაზე. მაგალითად, მდინარე კოდორის - ს. ლათაში ჩანადენი ზემოთ ჩამოთვლილი პერიოდებისათვის შეადგენს შესაბამისად 87.8, 87.2, 87.6 და 90.1 მ<sup>3</sup>/წ. საშუალო კვადრატული ცდომილების 11,7% დროს. შესაბამისი გრუნტის წყლების ჩამონადენი შეადგენდა 30.3, 31.1, 30.2 და 30.7 მ<sup>3</sup>/წმ. იმავე მდინარის აუზში – მდ. ჩხალთა – სოფ. ჩხალთას მაგალითზე გვაქვს შესაბამისად 40.7, 39.5, 38.5 და 38.8 მ<sup>3</sup>/წმ. საშუალო კვადრატული ცდომილების 4,82 მ<sup>3</sup>/წმ; ასეა სხვა შემთხვევებშიდაც, რაც ყველა შემთხვევაში ტრენდები უმნიშვნელო ზრდის ან შემცირების ტენდენციით ხასიათდებიან მთელი 45 - 50 წლის განმავლობაში; იგივე სურათი ისახება მათი ჯამური შედეგებიდან, რომელიც მოყვანილია ცხრ. 7 ბოლო სტრიქონებზე.

დასავლეთ საქართველოში ჯამური ჩამონადენი შეადგენს 587 - 600 მ<sup>3</sup>/წმ. გრუნტის წყლის ჯამური ჩამონადენი კი 211 - 221 მ<sup>3</sup>/წმ. აღმოსავლეთ საქართველოში

შესაბამისად მივიღეთ 315,6 - 318,4 მ<sup>3</sup>/წმ და 136,2 - 137,7 მ<sup>3</sup>/წმ. მთლიანი ჯამი კი შეადგენს 902,6 - 917,4 და 349,2 - 358,6 მ<sup>3</sup>/წმ შესაბამისად.

ასევე შეგვიძლია დავადგინოთ მიწისქვეშა წყლის მარაგი მთელი ჩამონადენის იმ მარაგიდან, რომელიც დადგინდა 2011 წლის 23 მარტის წყლის საერთაშორისო დღესასწაულის დღეს

$$Q_{მწ} = Q \cdot Q_{წლ} = 0,45 \cdot 62,5 = 28,1 \text{ კმ}^3 \quad (4)$$

ამრიგად მიწისქვეშა წყლის მარაგი საქართველოში შეადგენს 28,1 კმ<sup>3</sup>, რაც მთლიანად წყლის რესურსების მარაგის 28,1 %-ია, მას მარაგით მესამე ადგილი უკავია საქართველოში ზედაპირული წყლისა და მყინვარების მარაგის შემდეგ.

ცხრილი 7. საშუალო წლიური ჩამონადენი სხვადასხვა ხანგრძლივობის პერიოდისათვის

№№	მდინარე - პუნქტი	წყლის აუზი		დაკვირვების პერიოდი			
		ფართობი, კმ <sup>2</sup>	საშუალო სიმაღლე, მ	1935-1962	1935-1970	1935-1975	1935-1980
				საშუალო წლიური წყლის ხარჯები მ <sup>3</sup> /წმ	წლიური მიწისქვეშა წყალი	წლიური მიწისქვეშა წყალი	წლიური მიწისქვეშა წყალი
1	ბზიფი-სოფ.ჯირხვა	1410	1690	96,6 39,0	96,8 41,3	95,8 40,3	96,2
2	კოდორი-სოფ.ლათა	1420	1920	87,8 30,3	87,2 31,1	87,6 30,2	90,1 30,7
3	ჩხალთა-სოფ.ჩხალთა	465	2080	40,7 11,4	39,5 11,4	38,8 11,1	38,8 11,2
4	ენგური-სოფ.ხაიში	2790	2320	107 23,8	108 24,2	108 25,0	111 25,6
5	რიონი-ქონი	1060	2260	42,2 12,3	43,7 12,3	43,6 12,1	43,7 12,0
6	რიონი-სოფ.ხიდიკარი	2010	2040	6 23,5	74,5 23,5	73,6 22,8	73,6 22,4
7	რიონი-სოფ.ალპანა	2830	1810	102 32,4	102 34,4	101 34,4	101 34,6
8	ჯეჯორა-სოფ.პაპილეო	408	1930	12,5 4,51	13,0 5,00	12,6 4,72	12,8 4,61
9	ყვირილა-ზესტაფონი	2490	960	61,0 22,9	60,7 23,8	60,0 23,5	59,4 23,4
10	ძირულა-სოფ.წევა	1190	880	27,0 9,08	25,1 8,72	25,7 8,89	26,0 8,93
11	ცხენისწყალი-სოფ.ლუჯი	506	2240	23,3 6,61	22,8 6,68	22,7 6,80	23,4 6,98
12	ტეხური-სოფ.ნაქალაქევი	558	1160	30,4 19,6	31,2 19,7	31,4 19,3	32,4 20,2
13	ნატანები-სოფ.ნატანები	408	880	24,3 14,5	24,1 15,8	23,9 15,7	24,0 16,3
14	აჭარისწყალი-სოფ.ქელა	1360	1470	45,2 17,8	44,9 17,7	44,3 17,4	44,1 17,4
15	მტკვარი-სოფ.ხერთვისი	4980	2150	32,6 12,2	32,5 11,7	31,9 11,2	32,4 11,2
16	მტკვარი-სოფ.მინაძე	8010	2050	55,6 26,1	57,3 26,6	57,1 26,7	57,2 26,6
17	მტკვარი-სოფ.ლიკანი	10500	2000	84,1 36,6	83,6 37,1	83,2 36,9	83,6 36,5
18	მტკვარი-ქ.თბილისი	21100	1710	205 82,3	203 81,8	202 81,6	204 83,2
19	ფარავანი-სოფ.ხერთვისი	23,5	2120	18,5 12,1	18,9 12,2	19,7 12,0	17,7 12,1
20	ფოცხოვი-სოფ.სხვლისი	1730	1870	21,8 6,9	21,4 6,93	21,4 7,06	21,3 7,09
21	აბასთუმანი-ს.აბასთუმანი	99,0	1830	1,20 0,31	1,20 0,35	1,21 0,36	1,22 0,39
22	ბორჯომი-ქ.ბორჯომი	165	1310	2,41 0,62	2,41 0,68	2,39 0,68	2,48 0,69
23	არაგვი-სოფ.ფასანაური	335	2110	12,0 6,05	12,0 6,10	12,0 6,12	12,0 6,18
24	ქციახრამი-წითელიხიდი	8260	1510	51,1	52,8	51,9	51,7

				23,7	25,9	24,9	24,4
25	ალაზანი-სოფ.შაქრიანი	2190	1760	43,3	43,4	43,3	43,1
				19,5	19,5	19,1	18,9
26	ალაზანი სოფ.ჭიაური	4530	980	60,2	62,6	61,7	62,1
				30,8	30,3	29,7	30,1
Σ	1+2+4+7+8+9+11+12+13+14	14180	16380	591,3	591,2	587,0	599,6
				211,4	219,7	217,3	220,9
Σ	18+24+26	33890		316,3	318,4	315,6	317,8
				136,8	137,7	136,23	137,7
		48070		907,6	909,6	902,6	917,4
				348,2	357,4	353,5	358,6

## 2.7. გრუნტის წყლის შიდაწლიური განაწილების თავისეშრებანი

გრუნტის წყლის შიდაწლიური განაწილება ნაკლებად შესწავლილია, გამონაკლისს წარმოადგენს ც. ბასილაშვილის შრომა ორი მდინარის ენგურისა და რიონის მაგალითზე [2]. მიღებული შედეგების გამოთვლა ჩატარება ჰიდროგრაფის დანაწევრების მეთოდით მეტად რთული, შრომატევადი მეთოდის გამოყენების საფუძველზე. შედარებისათვის მოყვანილია შემოთავაზებული ახალი მეთოდით გამოთვლილი შედეგები წარმოდგენილია ცხრ.2.8 და ნახ.2.5 სახით.

როგორც ცხრილიდან და ნახაზიდან ჩანს, ორივე მეთოდით მიღებული შიდაწლიური განაწილება თითქმის ერთგვაროვანია. ცივ სეზონში (XI-II) გრუნტის წყლის წილი საერთო ჩამონადენში მაღალია 80-100%. თბილ სეზონში (IV-VIII) წყალდიდობის პერიოდში დაბალია 10% (მდ. ენგური) და 17-20% (მდ. რიონი). ცვლილებების საერთო შედეგებით მიწისქვეშა წყლების შიდაწლიური განაწილება თითქმის ერთიდაიგივეა. შენიშნული გადახრა გამოწვეულია ჰიდროგრაფის დანაწევრებისათვის შერჩეული წლის შერჩევაში დაშვებულ ცდომილებაში, რომელიც, როგორც ზემოთ ავლნიშნეთ საშუალოდ 5%-ია; ცხადია ცალკეულ შემთხვევაში შეიძლება მეტიც იყოს და ამ ცდომილებებს არ შეიცავს ავტორების მიერ შემოთავაზებული მეთოდი. ამასთან შემოთავაზებული მეთოდი გვაძლევს საშუალებას გამოვთვალოთ ზედაპირული წყლის წილი, კერძოდ

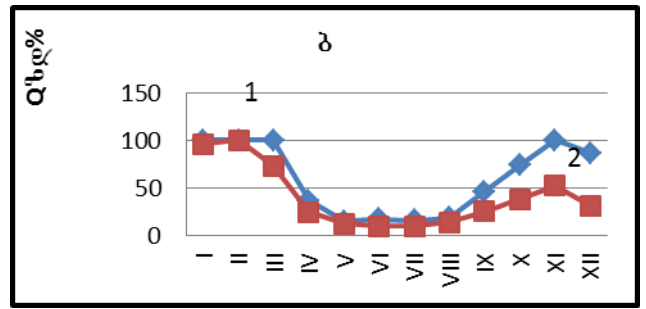
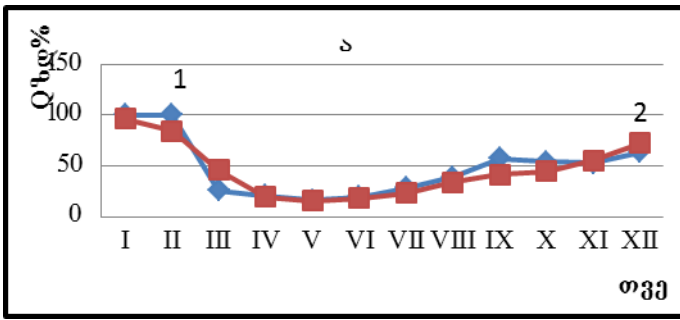
$$Q_{\text{ზდ}}\% = 100 - Q_{\text{გრ}}\% \quad (4)$$

და წარმოადგენს წარმოდგენილი მრუდების შებრუნებულ სიდიდეს, კერძოდ ზედაპირული წყლების წილი ცხელ თვეებში (V-VII) მაღალია 80-85% მდ. რიონისათვის, 80-90% მდ. ენგურისათვის; ცივ თვეებში (XI-III) კი დაბალია 0-10%.

ცხრილი 2.8. მდინარეების რიონის- ალპანასა და ენგური – ხაიშის გრუნტის წყლის (Q<sub>გრ</sub>) შიდა წლიური განაწილების შედარების შედეგები

													ავტორი
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	წლ.	
მდ. რიონი - ალპანა													
100	100	25,9	21,0	16,2	19,5	28,1	39,2	57,6	54,4	52,9	63,4	32,9	[ 2 ]
96,5	84,3	46,2	14,6	15,5	18,0	23,5	34,2	46,6	44,6	55,7	72,1	33,4	
მდ. ენგური – ხაიში													
100	100	100	37,1	15,1	17,4	16,2	18,3	46,1	74,0	100	86,7	30,1	[ 2 ]
96,4	100	73,6	24,8	12,7	10,2	10,0	13,7	25,6	38,4	57,7	31,5	23,1	

შენიშვნა: ც. ბასილაშვილის მონაცემებით საშუალო წლად შერჩეულია 1965 წ. (მდ.რიონი და 1967 წ. (მდ. ენგური)



ნახ.2.5. გრუნტის წყლის შიდაწლიური განაწილება: (ა) მდ.რიონი – სალპანა; (ბ) მდ.ენგური – ს.ხაიში.

1. Q<sub>გრ</sub>. გამოთვლილი ჰიდროგრაფის დანაწევრებით,

2. Q<sub>წლ</sub>. გამოთვლილი საშუალო მინიმალური თვიური წყლის ხარჯით.

**2.8 მდინარეთა საშუალო წლიური ხარჯების გაანგარიშება (პროგნოზი) მიწისქვეშა წყლების საშუალო წლიური ხარჯების საფუძველზე**

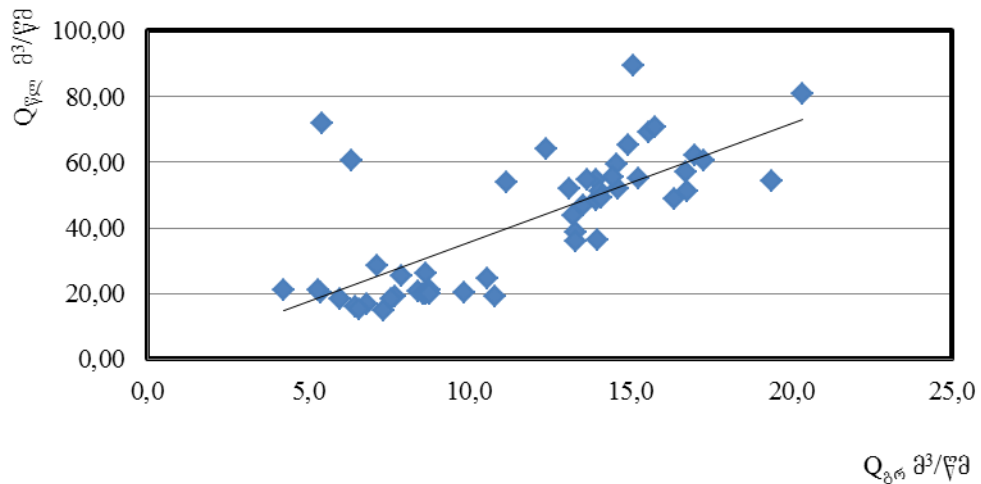
**2.8.1. ჟინვალის წყალსაცავში ჩამდინარე წყლების წლიური პროგნოზი**

ჟინვალის წყალსაცავი მდებარეობს სამი მთავარი ჩამდინარეების: თეთრი არაგვის, შავი არაგვისა და ფშავის არაგვის შესაყარში, რომელთა საერთო ფართობი შეადგენს 1306 კმ<sup>2</sup> და უჭირავს მთლიანი ფართობის (1400 კმ<sup>2</sup>) 68,7%. მათი ჯამური ჩამონადენი შეადგენს 38,3 მ<sup>3</sup>/წმ ანუ მთელი ჩამონადენის (43,8 მ<sup>3</sup>/წმ) 87,4%, გრუნტის წყლისა კი 80,2%.

ცხრილი 2.9.

ჟინვალის წყალსაცავი													
№	წელი	Q <sub>გრ</sub>	Q <sub>წლ</sub>	Q <sub>წლ</sub> =3.616Q <sub>გრ</sub> -0.574			№	წელი	Q <sub>გრ</sub>	Q <sub>წლ</sub>	Q <sub>წლ</sub> =3.616Q <sub>გრ</sub> -0.574		
				R <sup>2</sup> = 0.542;	r=0.74						R <sup>2</sup> = 0.542;	r=0.74	
1	1939	8.6	26.17	30.7	-4.5	-17.2	27	1965	13.2	43.80	47.3	-3.5	-7.9
2	1940	10.6	24.50	37.6	-13.1	-53.4	28	1966	13.3	38.55	47.6	-9.0	-23.4
3	1941	9.8	20.34	35.0	14.7	-72.1	29	1967	11.2	53.93	39.8	14.1	26.2
4	1942	10.8	18.93	38.4	19.5	-102.9	30	1968	16.4	48.87	58.6	-9.8	-20.0
5	1943	7.4	14.90	26.0	-11.1	-74.5	31	1969	13.3	35.72	47.5	-11.8	-32.9
6	1944	4.2	21.21	14.7	6.5	30.6	32	1970	13.1	52.07	46.8	5.3	10.2
7	1945	6.5	16.01	22.8	-6.8	-42.5	33	1971	13.9	54.76	49.8	4.9	9.0
8	1946	7.9	25.54	28.0	-2.4	-9.5	34	1972	13.5	46.94	48.4	-1.4	-3.1
9	1947	7.1	28.48	25.2	3.3	11.6	35	1973	16.8	51.21	60.1	-8.9	-17.3
10	1948	5.4	71.88	19.1	52.8	73.5	36	1974	13.9	48.40	49.8	-1.4	-3.0
11	1949	6.8	16.92	24.1	-7.2	-42.4	37	1975	13.7	54.78	48.9	5.9	10.7
12	1950	7.7	19.11	27.3	-8.2	-42.9	38	1976	15.6	69.11	55.8	13.3	19.3
13	1951	7.6	18.21	26.9	-8.7	-47.6	39	1977	15.1	89.37	54.0	35.4	39.6
14	1952	6.3	60.46	22.3	38.1	63.1	40	1978	15.3	55.14	54.6	0.5	0.9
15	1953	5.4	20.25	18.9	1.3	6.6	41	1979	19.4	54.39	69.5	-15.1	-27.9
16	1954	5.3	20.89	18.7	2.2	10.7	42	1980	14.9	65.39	53.4	12.0	18.4
17	1955	8.4	20.55	29.9	-9.3	-45.4	43	1981	14.1	51.23	50.2	1.0	2.0
18	1956	8.8	20.98	31.1	-10.1	-48.1	44	1982	20.3	80.72	73.0	7.7	9.6
19	1957	6.6	15.19	23.2	-8.0	-52.6	45	1983	14.5	55.46	51.7	3.8	6.8
20	1958	6.0	18.35	21.0	-2.7	-14.5	46	1984	15.8	70.75	56.4	14.3	20.3
21	1959	12.4	64.08	44.3	19.8	30.9	47	1985	14.1	49.03	50.4	-1.4	-2.8

22	1960	17.0	62.09	60.9	1.2	2.0	48	1986	16.7	56.88	59.9	-3.0	-5.4
23	1961	14.6	51.73	52.3	-0.6	-1.2	49	1987	8.6	19.69	30.4	10.7	-54.5
24	1962	14.0	36.40	50.0	-	-37.4	50	1988	8.7	19.74	30.7	11.0	-55.5
25	1963	17.3	60.45	61.9	-1.5	-2.4	51	1989	8.7	20.28	31.0	10.8	-53.0
26	1964	14.6	59.46	52.1	7.3	12.3	52	1990	8.8	19.71	31.2	-11.5	-58.2
ს									3.7	18.1	13.3	9.7	28.7
საშუალო									11.5	41.1	41.1	0.0	-12.6



ნახ.2.6. უინვალპესის წყალსაცავში ჩამდინარე მდინარეების წლიურ ჩამონადენის გაანგარიშება მიწისქვეშა წყლების ჯამური წლიური ხარჯების საფუძველზე

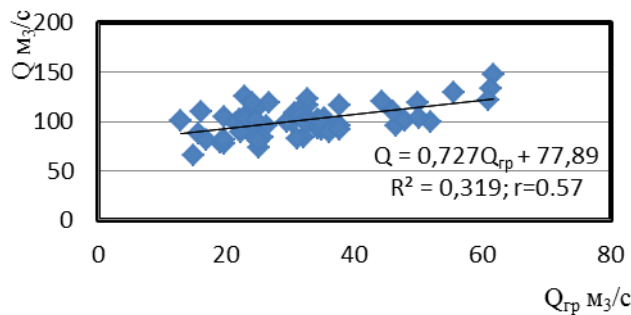
### 2.8.2. მდინარე რიონი-ალპანას ჰიდროლოგიურ კვეთში ჩამონადენის პროგნოზი

მდინარე რიონი საქართველოში ერთერთი დიდი მდინარეა სიგრძით, წყალშემკრები აუზით და ჩამონადენით, რაც შეადგენს შესაბამისად 327 კმ, 13400 კმ<sup>2</sup> და 409 მ<sup>3</sup>/წმ; კარგად განვითარებული მდინარეთა ქსელით და დაკვირვების პუნქტებით [14]. ყველაზე მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს ზემო წელი - საალპანამდე, რომლის წყალშემკრები აუზის ფართობი შეადგენს 2280 კმ<sup>2</sup>, საშუალო სიმაღლე 1810 მ, საშუალო დახრილობა 322 . 0/100, საშუალო წლიური ჩამონადენი 101 მ<sup>3</sup>/წმ (35,7 ლ/წმ კმ<sup>2</sup>, 1124 მ<sup>3</sup>, 3,18 კმ<sup>2</sup>); ასე, რომ მას უკავია ფართობით 16,6% მთელი ფართობიდან და 25% წყლის მთელი მარაგიდან, რაც წარმოადგენს მთავარ წყაროს მის ქვემოთ მდებარე აუზის წყლის რესურსებისა და სამეურნეო საქმიანობაში გამოყენების მთავარ წყაროს. ამიტომ წყლის მთლიანი ჩამონადენის პროგნოზს დიდი ყურადღება ექცეოდა და ექცევა დღესაც. წლიური ჩამონადენის პროგნოზი გრუნტის წყლის ჩამონადენის საფუძველზე დიდი სიახლეა და ჯერ კიდევ არაა შედგენილი.

საჭირო მასალები და შედეგები მოყვანილია ცხრ.11, სადაც გამოთვლები და შეფასება ჩატარდა ზემოთ (პუნქტი 9.1) აღწერილი სქემის მიხედვით.

ცხრილი 11. მდ.როინი-ს.ალპანა წლიური ჩამონადენის (Q<sub>წლ</sub>) პროგნოზი გრუნტის წყლის ხარჯის (Q<sub>გრ</sub>) საფუძველზე

№	წელი	Q <sub>გრ</sub>	Q	Q <sub>წლ</sub> =0,727Q <sub>გრ</sub> + 77,89 R <sup>2</sup> = 0,319; r=0.57			№	წელი	Q <sub>გრ</sub>	Q	Q <sub>წლ</sub> =0,727Q <sub>გრ</sub> + 77,89 R <sup>2</sup> = 0,319; r=0.57		
				Q	სხვაობა	%					Q	სხვაობა	%
1	1919	22.9	125	94.5	30.5	24.4	33	1960	47.9	101	112.7	-11.7	-11.6
2	1920	26.4	96	97.1	-1.1	-1.1	34	1961	16.8	81	90.1	-9.1	-11.2
3	1921	23.5	93	95.0	-2.0	-2.1	35	1962	31.1	83	100.5	-17.5	-21.1
4	1922	61.8	147	122.8	24.2	16.4	36	1963	60.9	121	122.2	-1.2	-1.0
5	1927	51.9	100	115.6	-15.6	-15.6	37	1964	34.9	92	103.3	-11.3	-12.2
6	1928	35.3	103	103.6	-0.6	-0.5	38	1965	12.9	101	87.3	13.7	13.6
7	1929	22.1	97	94.0	3.0	3.1	39	1966	24.8	101	95.9	5.1	5.0
8	1930	19.1	78	91.8	-13.8	-17.7	40	1967	22.3	89	94.1	-5.1	-5.7
9	1931	19.7	104	92.2	11.8	11.3	41	1968	49.9	119	114.2	4.8	4.1
10	1932	24.8	112	95.9	16.1	14.4	42	1969	25.7	84	96.6	-12.6	-15.0
11	1933	22.2	102	94.0	8.0	7.8	43	1970	32.7	123	101.7	21.3	17.3
12	1934	46.6	96	111.8	-15.8	-16.4	44	1971	35.5	102	103.7	-1.7	-1.7
13	1936	16	110	89.5	20.5	18.6	45	1972	30.3	100	99.9	0.1	0.1
14	1937	26.8	119	97.4	21.6	18.2	46	1973	24.8	83	95.9	-12.9	-15.6
15	1940	55.6	129	118.3	10.7	8.3	47	1974	36.1	89	104.1	-15.1	-17.0
16	1941	61.4	133	122.5	10.5	7.9	48	1975	31.7	104	100.9	3.1	2.9
17	1942	24	99	95.3	3.7	3.7	49	1976	30.7	109	100.2	8.8	8.1
18	1943	32.1	84	101.2	-17.2	-20.5	50	1977	19.6	77	92.1	-15.1	-19.7
19	1944	37.7	116	105.3	10.7	9.2	51	1978	31.5	111	100.8	10.2	9.2
20	1945	15.6	88	89.2	-1.2	-1.4	52	1979	50.2	103	114.4	-11.4	-11.1
21	1946	36.1	97	104.1	-7.1	-7.4	53	1980	29.5	100	99.3	0.7	0.7
22	1947	21.4	98	93.4	4.6	4.6	54	1981	44.4	120	110.2	9.8	8.2
23	1948	46.1	110	111.4	-1.4	-1.3	55	1982	31.7	104	100.9	3.1	2.9
24	1949	22.9	105	94.5	10.5	10.0	56	1983	24.1	119	95.4	23.6	19.8
25	1950	24.6	100	95.8	4.2	4.2	57	1984	37.7	92	105.3	-13.3	-14.5
26	1952	33.1	101	102.0	-1.0	-0.9	58	1985	19.7	81	92.2	-11.2	-13.8
27	1954	37.7	95	105.3	-10.3	-10.8	59	1986	25.1	80	96.1	-16.1	-20.2
28	1955	14.8	66	88.6	-22.6	-34.3	60	1987	32.4	100	101.4	-1.4	-1.4
29	1956	32.7	116	101.7	14.3	12.4	61	1988	34.4	102	102.9	-0.9	-0.9
30	1957	25.1	74	96.1	-22.1	-29.9	62	1989	34.4	101	102.9	-1.9	-1.9
31	1958	34.3	93	102.8	-9.8	-10.6	63	1990	34.6	101	103.0	-2.0	-2.0
32	1959	23.1	101	94.7	6.3	6.3							
							σ	31.34	101	99.4	-11.1	-1.5	
							საშუალო	8.581	10.91	7.1	21.3	10.2	



ნახ.2.7. მდ.რიონი-საღპანას კვეთში წლიურ ჩამონადენის გაანგარიშება მიწისქვეშა წყლების წლიური ხარჯების საფუძველზე

**2.8.3. მდინარე მტკვარი-ქ.თბილისის ჰიდროლოგიურ კვეთში ჩამონადენის პროგნოზი**

მდინარე მტკვარი ამიერკავკასიის ერთერთი დიდი მდინარეა: იწყება თურქეთში, გაივლის საქართველოსა და აზერბაიჯანის რესპუბლიკებს, სადაც მოქცეულია მისი სიგრძის 194 კმ, 350 კმ და 840 კმ შესაბამისად. ასევე წყალშემკრები აუზის ფართობის 4920, 22780 და დანარჩენი მდ არაქსთან ერთად. 1602200 კმ<sup>2</sup> თურქეთის, სომხეთისა და აზერბაიჯანის რესპუბლიკებში. მისი წყლის რესურსები დიდ როლს თამაშობს ჩამოთვლილი რესპუბლიკების ეკონომიკაში, როგორც ელექტროენერგეტიკაში, ამასთან მორწყვასა და საყოფაცხოვრებო საქმიანობაში, ამასთან მისი გამოყენების მასშტაბები იზრდება. დღესაც ვარძის სამონასტრო კომპლექსთან შენდება ახალი 3 მეტრიანი სიგანის და 70 მეტრიანი სიგრძის საავტომობილო ხიდი; ასევე დაიწყო 158,8 მილიონი ევროს ღირებულების ახალციხის ჰესის მშენებლობა. დიდი სამუშაოებია დასახული სარწყავი არხების წესრიგში მოყვანის საქმეში. ბევრია სხვა პროექტებიც, მაგრამ აღნიშნული საკმარისია, რომ სრულფასოვნად შევაფასოთ მდინარის ჰიდროლოგიური რესურსები მტკვრის რესურსების გამოყენების მასშტაბების გაფართოვების მიზნით. ამ მხრივ მრავალი კაპიტალური მონოგრაფიული შრომებია გამოქვეყნებული, რომლის შედეგები საფუძველად დაედო მოქმედი და სამომავლო პროექტებს, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ტექნიკურ-ეკონომიკურ დახასიათებას. ამ მხრივ მეტად საინტერესოა მდ. მტკვრის გრუნტის წყლის ჩამონადენის გამოთვლის შესაძლებლობა წლიური ჩამონადენის საფუძველზე. მდ.მტკვარი-ქ.თბილისის მაგალითზე გამოყენებულია 1924-1980 წლების ჰიდროლოგიური მასალა მდინარის წლიური და გრუნტის წყლის ჩამონადენის შესახებ, რომელიც სისტემატიზირებულია ცხრ.13. თვით ეს მასალა დაყოფილია სამ ჯგუფად (განყოფილებად)

პირველი განყოფილება – საავტორო ანალიზისათვის 1924 – 1953 წწ.

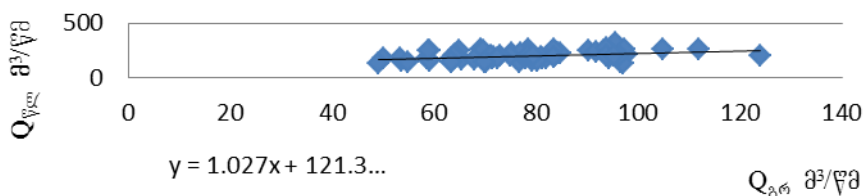
მეორე განყოფილება – საწარმოო ანალიზისათვის 1954 – 1961 წწ.

მესამე განყოფილება – ოპერატიული ანალიზისათვის 1976 – 1980 წწ.

შეიძლება დაჯგუფების სხვა ვარიანტიც შევარჩიოთ; მთავარი - პირველი განყოფილებაა, რადგან მისი სრული ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილი კანონზომიერებანი უნდა შემოწმდეს ანალიზის მომდევნო განყოფილებებში. გამოთვლის სქემა ანალოგიურია ჟინვალის წყალსაცავის მაგალითზე.

აგებული იქნა დამოკიდებულება გრუნტის წყლის ( $Q_{გრ}$ ) და წლიური ჩამონადენის ( $Q_{წლ}$ ) შორის (ნახ. 13), რომლის საფუძველზე მიღებული იქნა რეგრესიის განტოლება:

$$Q_{გრ} = 0,16 Q_{წლ} + 85 \quad (15)$$



ნახ.13. გრუნტის წყლის ჩამონადენის ( $Q_{გრ}$ ) დამოკიდებულება წლიურ ჩამონადენზე ( $Q_{წლ}$ ) მდ.მტკვარი - ქ.თბილისის მაგალითზე

ფორმულა (15) საფუძველზე გამოთვლები მოყვანილია გრაფა 5,6 და7, ხოლო დისპერსიის კორექციის კოეფიციენტის  $K_K = 1,08$  გათვალისწინებით გამოთვლილი შედეგები მოყვანილია გრაფა 8,9 და 10. მეთოდის უზრუნველყოფა შეადგენს 76,7 და 83,3% შესაბამისად.



ცხრილი 13. მდ.მტკვარი-ქობილისი კვეთაზე ყოველწლიური გრუნტის წყლის ჩ

ამონადენის (Q<sub>გრ</sub>) გამოთვლა წყლის საშუალო წლიური ხარჯების (Q<sub>წლ</sub>) საფუძველზე

№	წელი	Q <sub>გრ</sub>	Q	Q <sub>წლ</sub> =1.027Q <sub>გრ</sub> + 121.3 R <sup>2</sup> = 0,139; r=0.37			№	წელი	Q <sub>გრ</sub>	Q	Q <sub>წლ</sub> =1.027Q <sub>გრ</sub> + 121.3 R <sup>2</sup> = 0,139; r=0.37		
				Q	სხვაობა	%					Q	სხვაობა	%
1	1924	81.2	176	205	-28.69	16.30	35	1958	64	197	187	9.97	5.06
2	1925	69.6	197	193	4.22	2.14	36	1959	58.9	252	182	70.21	27.86
3	1926	83.8	205	207	-2.36	1.15	37	1960	76.9	231	200	30.72	13.30
4	1927	83.8	225	207	17.64	7.84	38	1961	67.9	164	191	-27.03	16.48
5	1928	90.2	244	214	30.06	12.32	39	1962	63.4	148	186	-38.41	25.95
6	1929	69.8	217	193	24.02	11.07	40	1963	83.5	262	207	54.95	20.97
7	1930	65.4	163	188	-25.47	15.62	41	1964	91.9	236	216	20.32	8.61
8	1931	69.2	265	192	72.63	27.41	42	1965	97.8	217	222	-4.74	2.18
9	1932	64.9	245	188	57.05	23.28	43	1966	96.7	140	221	-80.61	57.58
10	1933	58.6	182	181	0.52	0.28	44	1967	54.8	142	178	-35.58	25.06
11	1934	69.9	167	193	-26.09	15.62	45	1968	97.4	257	221	35.67	13.88
12	1935	53.7	153	176	-23.45	15.33	46	1969	49.2	133	172	-38.83	29.19
13	1936	59.1	254	182	72.00	28.35	47	1970	63.5	146	187	-40.51	27.75
14	1937	105	264	229	34.87	13.21	48	1971	78	179	201	-22.41	12.52
15	1938	83	227	207	20.46	9.01	49	1972	75	203	198	4.68	2.30
16	1939	78.6	261	202	58.98	22.60	50	1973	73	201	196	4.73	2.35
17	1940	95.5	325	219	105.62	32.50	51	1974	82	175	206	-30.51	17.44
18	1941	93.2	250	217	32.98	13.19	52	1975	79	206	202	3.57	1.73
19	1942	69.6	247	193	54.22	21.95	53	1976	93.8	276	218	58.37	21.15
20	1943	94.2	180	218	-38.04	21.14	54	1977	93.7	198	218	-19.53	9.86
21	1944	84.3	231	208	23.12	10.01	55	1978	112	256	236	19.68	7.69
22	1945	71.5	176	195	-18.73	10.64	56	1979	124	198	249	-50.65	25.58
23	1946	78.2	226	202	24.39	10.79	57	1980	80.9	194	204	-10.38	5.35
24	1947	76.8	139	200	-61.17	44.01	58	1981	79.3	160	203	-42.74	26.71
25	1948	71.6	192	195	-2.83	1.48	59	1982	78.5	197	202	-4.92	2.50
26	1949	59.2	157	182	-25.10	15.99	60	1983	72.5	176	196	-19.76	11.23
27	1950	50.1	178	173	5.25	2.95	61	1984	83.5	193	207	-14.05	7.28
28	1951	63.4	178	186	-8.41	4.73	62	1985	70	139	193	-54.19	38.99
29	1952	75.2	231	199	32.47	14.06	63	1986	80.2	154	204	-49.67	32.25
30	1953	71.1	197	194	2.68	1.36	64	1987	97.2	134	221	-87.12	65.02
31	1954	64.2	210	187	22.77	10.84	65	1988	79.5	203	203	0.05	0.03
32	1955	70.1	148	193	-45.29	30.60	66	1989	96.3	202	220	-18.20	9.01
33	1956	84.7	220	208	11.71	5.32	67	1990	95.3	204	219	-15.17	7.44
34	1957	53.3	175	176	-1.04	0.59							
				6					11.8	33.3	12	30.34	9.94
				საშუალო					77.6	201.2	201	0.13	15.73

2.9. მიწისქვეშა ჩამონადენის მბრძანებლობა კლიმატური ცვლილებების მიმართ და მისი რეაქციის შეფასება

ანგარიშის მე-2 თავში მიღებული იყო ზედაპირულ და მიწისქვეშა ჩამონადენებს შორის კავშირის გამომხატველი შემდეგი გამოსახულება, მაგალითად, მდ.რიონი-საღპანას კვეთისათვის:

$$R=0.727Q+77.89.$$

დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად საჭიროა, პირიქით, გამოვსახოთ მიწისქვეშა ჩამონადენი ზედაპირული ჩამონადენით, გვექნება:

$$Q=1.376R-107.14.$$

ამ განტოლებაში Q და R მოიცემა მ<sup>3</sup>/წმ-ში. რადგან მიწისქვეშა ჩამონადენის ცვლილებას შევავასებთ ტიურკის მოდელის საფუძველზე, Q და R გადავიყვანოთ მმ-ში. გვექნება:

$$Q=1.376R-1192.55.$$

ამრიგად, მდ.რიონი-ს.ალპანას კვეთში მიწისქვეშა ჩამონადენისათვის ვღებულობთ ტიურკის მოდელის ანალოგს:

$$Q = 1.376P \left[ 1 - \frac{L}{\sqrt{cL^2 + P^2}} \right] - 1192.55 ,$$

სადაც კვლავ  $c=150.5$ ;  $L=300+25t+0.05t^3$ ; ხოლო R, P და Q მოიცემა მმ-ში.

როგორც ვხედავთ, მიწისქვეშა ჩამონადენის ცვლილების დასადგენათ ვღებულობთ:

$$dQ=1.376dR,$$

სადაც, როგორც მანამდე,

$$dR = \frac{\partial R}{\partial P} dP + \frac{\partial R}{\partial t} dt ,$$

ხოლო

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

$$\frac{\partial R}{\partial t} = \frac{\sqrt{cL^2 + P^2} - cL^2(cL^2 + P^2)^{-\frac{1}{2}}}{cL^2 + P^2} \cdot P(25 + 0.15t^2) .$$

ამრიგად, ყველა ფორმულა და გამოთვლები მიღებული ზედაპირული ჩამონადენისათვის ძალაში რჩება იმ დამატებით, რომ მიწისქვეშა ჩამონადენის ცვლილებისათვის ყველა ეს შეფასებები უნდა გავამრავლოთ კოეფიციენტზე 1.376. ამიტომ, გვექნება:

$$\frac{\partial R}{\partial P} = 0.923; \quad \frac{\partial R}{\partial t} = -0.232 \text{ მმ/გრად};$$

და

$$dQ=1.376(0.923dP-0.232dt),$$

ე.ი. საბოლოოდ

$$dQ=1.27dP-0.32dt.$$

როგორც ზედაპირული ჩამონადენის შემთხვევაში, მიწისქვეშა საზრდოობისათვის ისევ მივიღეთ, რომ მისი მგრძნობიარობები ნალექებისა და ჰაერის ტემპერატურის ცვლილებათა მიმართ, საწინააღმდეგო ნიშნის არიან. ეს ნიშნავს, მაგალითად, რომ ნალექებისა და ტემპერატურის მატება შესაკრებზე, იწვევს მიწისქვეშა ჩამონადენის შესაბამისად მატებას და შემცირებას.

მიწისქვეშა ჩამონადენის მგრძნობიარობათა შეფარდებისათვის ვღებულობთ:

$$n = \frac{P_0}{t_0} \times \frac{\frac{\partial Q}{\partial P}}{\frac{\partial Q}{\partial t}} = \frac{1225}{7.9} \cdot \frac{1.27}{0.32} = 615.$$

ამრიგად, მიწისქვეშა ჩამონადენის მგრძნობიარობა ნალექთა ცვლილების მიმართ 615-ჯერ მეტია მგრძნობიარობაზე ტემპერატურის ცვლილებისას.

შეცავასოთ მიწისქვეშა ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილება, გამოწვეული გლობალური დათბობის გავლენით. კვლავ ვყვრდნობით დასავლეთ საქართველოს რეგიონისათვის შემდეგ კლიმატურ სცენარს: ჰაერის ტემპერატურა იზრდება 3°C-ით, ხოლო ნალექების ჯამები მცირდება ნორმის 5-10%-ით. მაშინ

$(dQ)_1=1.27 \times (-61.2) - 0.32 \times 3 = -77.72 - 0.96 = -78.68 \approx -78.7$  მმ = -7.1 მ<sup>3</sup>/წმ., რაც შეადგენს ნორმის დაახლოებით 22%-ს.

$(dQ)_2=1.27 \times (-122.4) - 0.32 \times 3 = -155.45 - 0.96 = -156.4$  მმ = -14.1 მ<sup>3</sup>/წმ ანუ ნორმის 44%-ია.

როგორც მოსალოდნელი იყო, ეს სიდიდეები შეიძლება მივიღოთ ზედაპირული ჩამონადენის შემცირების შეფასებიდან 1.376 კოეფიციენტზე გამრავლებით (იხ. მდ.რიონის-ს.აღპანას კვეთში ზედაპირული ჩამონადენის ცვლილების შეფასებები)

$$(dQ)_1 = -57.2 \times 1.376 = -78.7 \text{ მმ};$$

$$(dQ)_2 = -113.7 \times 1.376 = -156.5 \text{ მმ}.$$

ანალოგიური შეფასებები შეიძლება წარმოვადგინოთ მდ.მტკვრის-ქ.თბილისის კვეთის შემთხვევაში, რომლისთვისაც დამოკიდებულება მიწისქვეშა და ზედაპირულ ჩამონადენებს შორის ასევე მოცემულია ანგარიშის მე-2 თავში:

$$Q = 0.16R + 35,$$

აქ  $Q$  და  $R$ -ის განზომილებაა მ<sup>3</sup>/წმ. გამოვსახოთ ისინი მმ-ში, გვექნება

$$Q = 0.16R + 52.25.$$

ამრიგად, მიწისქვეშა ჩამონადენის ცვლილებისათვის გვექნება

$$dQ = 0.16dR$$

და, როგორც წინა შემთხვევაში იყო ნახვენები, ყველა ადრე მიღებული შეფასებათა შედეგები უნდა გავამრავლოთ 0.16 კოეფიციენტზე. აღმოსავლეთ საქართველოსთვის მიღებული გლობალური დათბობის სცენარის პირობებში, როდესაც მოსალოდნელია ჰაერის ტემპერატურის 4<sup>0</sup>C-ით მატება და ნალექთა ჯამების შემცირება ნორმის 10%-ით, შეფასება გვაძლევს

$dQ = -213.9 \times 0.16 = -34.2$  მმ, რაც ნორმის (116.9 მმ) დაახლოებით 30%-ს წარმოადგენს.

ამრიგად მდ.მტკვარი-ქ.თბილისის კვეთში აღნიშნული კლიმატური ცვლილების სცენარის პირობებში მოსალოდნელია მიწისქვეშა ჩამონადენის შემცირება 30%-ით.

## დასკვნა

1. მრავალმხრივი ანალიზის საფუძველზე შეიქმნა საიმედო მეცნიერული ბაზა მიწისქვეშა წყლების შესახებ.
2. ანალიზის საიმედო საფუძველს წარმოადგენს წყლის მრავალწლიური საშუალო თვიური ხარჯი, რომელსაც საფუძველად დაედო ჰიდროლოგიური ლექსიკონი.
3. დადგინდა, რომ საქართველოში გრუნტის წყლის მარაგი მერყეობს 17,4% -დან (მდ.ენგური-ს. დიზი, ჩრდილოეთ კავკასია – ყაზბეგის, პირიქითა ხევსურეთისა და მთათუშეთის რაიონები) 50,5%-მდე (მდინარეების ფარაენისა და ქცია-ხრამის ზემო წელი), საშუალოდ შეადგენს მთელი ჩამონადენის 37,7%-ს, ანუ 24,4 კმ<sup>3</sup>-ს და ამ მხრივ მას წყლის რესურსების მარაგში მესამე ადგილი უკავია ზედაპირული წყლების რესურსების (30,0 კმ<sup>3</sup>) შემდეგ.
4. მიწისქვეშა წყლების მარაგი იზრდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად, აღწევს მაქსიმუმს 1000-2000 მ-ის ზონაში, შემდეგ კი კლებულობს და ხდება ნულის ტოლი 3500-3600 მ-ის სიმაღლით ზონაში – ატმოსფეროს ცივი ფენის – კრიოსფეროს საზღვართან.
5. მიწისქვეშა წყლების მარაგი იცვლება ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ცვლილების მიმართ, ხასიათდება შემცირების ტენდენციით ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ზრდის მიმართულებით.
6. ჭარბობს მდინარეები, რომელთა გრუნტის წყლის ჩამონადენი მერყეობს 21-40%-მდე და 40,1 – 80%, რომელთა რაოდენობა შეადგენს შესაბამისად 41,0 და 36,8%, 20%-ზე ნაკლები და 80% მეტი შემთხვევათა რიცხვი 2,5 და 2,5%.
7. გრუნტის წყლების შიდაწლიურ განაწილებაში შენიშნულია, რომ ცივ პერიოდში (XI-II)
8. გრუნტის წყლის წილი საერთო ჩამონადენში მაღალია (80-100%), თბილ თვეებში (IV-VIII) წყალდიდობის პერიოდში დაბალია და შეადგენს 10 – 20%,
9. მნიშვნელოვნად გაიზარდა გრუნტის წყლის გამოყენების მასშტაბები. დამუშავდა ყოველ წლიური წყლის ხარჯების პროგნოზირების შესაძლებლობა გრუნტის წყლის ხარჯის ბაზაზე მთელ რიგ მდინარეებზე: მეთოდის უზრუნველყოფა მაღალია და შეადგენს 80-95% (მდინარეების მტკვარი-ქ.თბილისის, რიონი- ალპანასა და წყალსაცავ ჟინვალჰესის ჩამდინარე მდინარეთა ჯამური ჩამონადენის მაგალითზე.
10. მიწისქვეშა წყლების სტატუსია წიაღისეული სიმდიდრე, ამიტომ იგი, როგორც სხვა წიაღისეული სიმდიდრე, ეკუთვნის იმ ქვეყანას, სადაც იგი მდებარეობს და წარმოადგენს ოქროს ფონდს.
11. საიმედოდ დადგენილი მეცნიერული ბაზა გრუნტის წყლის მარაგის შესახებ ერთადერთი საფუძველია წყლის რესურსების ინდუსტრიის პრობლემებთან დაკავშირებული რეკომენდაციების ტექნიკური დასაბუთებისათვის.

## ბამოყენებული ლიტერატურა

1. ცომაია ვ.შ. კატასტროფული წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯები მდინარე რიონზე. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის ინსტიტუტის საერთაშორისო კონფერენციის სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი, 2001, გვ.224-228.
2. Аполов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов.Л.,Гидрометеиздат,1947,418 с.
3. Басилашвили Ц.З. Анализ формирования и прогноз месячного, квартального и сезонного стока рек Квирила и Ханисцкали. Труды ЗакНИГМИ, вып.62(68), Гидрометеиздат.Л.,1975,с.33-41
4. Бегалишвили Н.А., Цинцадзе Т.Н., Цомаია 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.
5. Владимиров В.Л., Гигинеишвили Г.Н. и др. Водный баланс Кавказа и его географические закономерности. Тб.,»Мецниереба», 1991,141 с.
6. Водные ресурсы Закавказья. Под редакцией Г.Г. Сванидзе, В.Ш. Цомаია. Гидрометеиздат. Л.,1988, 263 с.
7. Корчинский В.А. Взаимосвязь подземного и поверхностного питания малых рек Молдавии. Тр.института водных проблем АН СССР, М. 1986, с.409-415.
8. Лурье П.Н. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа. Гидрометеиздат. Санкт-Петербург.2002.506 с.
9. Мировой баланс и водные ресурсы. Гидрометеиздат.Л.,1974.638 с.
10. Методы изучения и расчета водного баланса. Гидрометеиздат.Л., 1981. 397 с.
11. Особенности и закономерности формирования вод суши. Поверхностные и подземные воды. Институт Водных проблем АН СССР. М., 1986. 471 с.
12. Особенности и перспекти водопользования Присамурье. Махачкала.2008. 85 с.
13. Природные ресурсы Грузии и проблемы их рационального использования. АН Грузии. Изд.»Мецниереба».Тб.,1991. 683 с.
14. Попов О.В. Подземное питание рек. Гидрометеиздат.Л., 1968. 291 с.
15. Потолашвили В.В. О методике расчленения подземного стока р. Алазани на составляющие. Труды ЗакНИГМИ, вып.68(74), Гидрометеиздат.Л.,1979,с.73 –76.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 9.Вып.3. Под редакцией Алушинской Н.М и др.,Гидрометеиздат.Л., 1966,299 с.
18. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 9.Вып.1. Под редакцией В.Ш. Цомаია.Гидрометеиздат.Л., 1974, 578 с.
19. Ресурсы береговых вод СССР. Том 9. Вып.1.Под редакцией Г.Н. Хмаладзе. Гидрометеиздат, Л., 1965. 275 с.
20. Роте А.А. Вопросы водного режима почв. Гидрометеиздат.Л., 1978.213 с.
21. Сисенко В.Н., Барбат Ю.П., Черкасов Л.Г. Бассейны правых притоков р. Нарина от устья р. Цекемерена до устья р. Малого Нарына. Каталог ледников СССР, т.14,вып.1,часть 4. Гидрометеиздат, Л.,1973, 59 с.
22. Цомаია В.Ш., Гобеджишвили Р.Г. Определения аккумуляции абляции и баланса ледников на основании процессов холода и тепла предзимие на примере ледников Кавказа. Сборник трудов географического института им.Вахушти Багратиони. Вып.ХVIII, Тбилиси, 2005.с.78 - 85.
23. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Гидрометеиздат. 1978. 307 с.
24. Формирование устьев рек Азербайджанского побережья Каспия и вопросы рационального использования их природных ресурсов.Под редакцией И.А.Алиева. Баку,1986, 278 с.

№	მდინარე-კვეთი	ვის ერთვის	საშუალო სიმაღლე	ზონის მდინარის ჩამონადენი, საშუალო წლიური ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ			ზონაში მდინარეული წყლის რესურსების მოცულობა W, კმ <sup>3</sup>			საქართველოს მდინარეული წყლის რესურსები W, კმ <sup>3</sup>			მიწისქვეშა საზრდოობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა (K%)
				მ <sup>3</sup> /წმ			კმ <sup>3</sup>			კმ <sup>3</sup>			
				მიწისქვეშა	ზედაპირული	ჯამური	მიწისქვეშა	ზედაპირული	ჯამური	მიწისქვეშა	ზედაპირული	ჯამური	
<b>I ზონა: ბზივისა და კოდორის ზემო წელი</b>													
1	ბზივი-რეშავის ზემოთ	შავი ზღვა	2010	5,90	18,50	24,40	0,19	0,58	0,77	0,19	0,58	0,77	24,18
2	ბზივი-ბიჭვინთა	შავი ზღვა	1517	31,40	78,60	110,00	0,99	2,48	3,47	0,99	2,48	3,47	28,55
3	ჩორნაოა-შესართავი	შავი ზღვა	720	3,88	4,90	8,75	0,12	0,15	0,28	0,12	0,15	0,28	44,34
4	გუმისთა-აჩაღარა	შავი ზღვა	1050	12,80	18,30	31,10	0,40	0,58	0,98	0,40	0,58	0,98	41,16
5	კოდორი-ღათა	შავი ზღვა	1920	21,80	68,30	90,10	0,69	2,15	2,84	0,69	2,15	2,84	24,20
7	ჩხალთა-ჩხალთა	კოდორი	2080	17,00	21,80	38,80	0,54	0,69	1,22	0,54	0,69	1,22	43,81
8	გვანდრა-გვანდრა	კოდორი	2260	6,90	13,00	19,90	0,22	0,41	0,63	0,22	0,41	0,63	34,67
საშუალო ზონის			1651	14,24	31,91	46,15	0,45	1,01	1,45	0,45	1,01	1,45	34,42
ჯამური ზონის							3,14	7,04	10,18	3,14	7,04	10,18	
<b>II ზონა: ზემო სვანეთი</b>													
4	ნენსკრა-ღახაში	შავი ზღვა	2300	11,50	18,90	30,40							37,83
6	ენგური-დიზი		2460	16,30	52,20	68,50							23,80
7	ენგური - ხაიში		2320	51,80	59,20	111,00	1,63	1,86	3,50	1,63	1,86	3,50	46,67
9	ენგური-ხუბერი		2200	14,60	27,60	42,20	0,46	0,87	1,33	0,46	0,87	1,33	34,60
საშუალო ზონის			2320	23,55	39,48	63,03	1,05	1,37	2,41	1,05	1,37	2,41	35,72
ჯამური ზონის							2,09	2,73	4,83	2,09	2,73	4,83	

III ზონა: ცხენისწყალი-რიონის ზემო წელი													
1	ჭანჭახი-შესართავი	რიონი	2400	1,70	5,82	7,52							22,61
2	ქუჯორა-პიპილეთი		1930	4,20	8,58	12,80							32,81
3	რიონი-უწერა		2490	7,50	24,00	31,50							23,81
4	რიონი-ონი		2260	15,30	28,38	43,70							35,01
5	რიონი-ხიდიკარი		2040	29,90	43,70	73,60							40,63
5	რიონი-ალპანა		1810	34,90	66,10	101,00	1,10	2,08	3,18	1,10	2,08	3,18	34,55
7	ზესხო-ზესხო	ცხენისწყალი	2660	1,40	2,52	3,90							35,90
8	ცხენისწყალი- ლუჯი	რიონი	2240	7,10	16,30	23,40	0,22	0,51	0,74	0,22	0,51	0,74	30,34
საშუალო ზონის			2229	12,75	24,43	37,18	0,66	1,30	1,96	0,66	1,30	1,96	31,96
ჯამური ზონის							1,32	2,60	3,92	1,32	2,60	3,92	
IV ზონა: ლიახვი-არაგვის ზემოწელი													
1	დიდი ლიახვი-ჯავა	მტკვარი	2240	8,18	9,62	17,80							45,96
2	დიდი ლიახვი-კეხვი	მტკვარი	2338	9,00	17,20	26,20	0,28	0,54	0,83	0,28	0,54	0,83	
3	პატარა ლიახვი-ვანათი	დიდ.ლიახვი	1940	4,07	5,19	9,26	0,13	0,16	0,29	0,13	0,16	0,29	43,95
4	ქსანი-კორინთა	მტკვარი	1830	2,53	6,92	9,45							36,56
5	თეთრი არაგვი-მლეთა	არაგვი	2620	1,67	3,67	5,34	0,05	0,12	0,17	0,05	0,12	0,17	31,27
6	შავი არაგვი-შესართავი	არაგვი	2030	2,89	4,80	7,69	0,09	0,15	0,24	0,09	0,15	0,24	37,58
7	ფშავის არაგვი-მადაროსკარი	არაგვი	2060	7,70	11,00	18,70	0,24	0,35	0,59	0,24	0,35	0,59	41,18
საშუალო ზონის			2151	5,15	8,34	13,49	0,16	0,26	0,42	0,16	0,26	0,42	39,42
ჯამური ზონის							0,51	0,78	1,29	0,51	0,78	1,29	
V ზონა: ყაზბეგი-მთათუშეთი													
1	თერგი-ყაზბეგი			7,50	15,90	23,40							32,05
2	თერგი-ლარსი			8,49	18,21	26,70	0,27	0,57	0,84	0,27	0,57	0,84	31,80
3	ჩხერი-ყაზბეგი			0,34	0,61	0,95							35,79
4	პირიქითა ალაზანი-დართლო		2840	2,02	5,24	7,26							27,82
5	— - ომალო		2830	3,18	6,67	9,85	0,10	0,21	0,31	0,10	0,21	0,31	32,28
6	თუშეთის ალაზანი-ჯვარბოსელი		2670	1,87	3,54	5,41	0,06	0,11	0,17	0,06	0,11	0,17	34,57

7	თუშეთის ალაზანი-ხახაბო		2610	2,86	5,87	8,73	0,09	0,18	0,27	0,09	0,18	0,27	32,76
8	ჭანჭახისწყალი-ხისო		2600	0,94	2,34	3,28							28,66
9	ჭანჭახისწყალი-შენაქო		2660	7,75	17,15	24,90	0,24	0,54	0,78	0,24	0,54	0,78	31,12
საშუალო ზონის			2702	3,88	8,39	12,28	0,15	0,32	0,48	0,15	0,32	0,48	31,87
ჯამური ზონის							0,76	1,62	2,38	0,76	1,62	2,38	
ზონა VI: აფხაზეთის შავიზღვისპირა მთისწინეთი													
1	შავი წყალი - საკალმახე	შავი ზღვა	1120	1,89	6,90	8,75	0,06	0,22	0,28	0,06	0,22	0,28	21,60
2	გუმისთა-აჩადარა		1070	12,80	18,30	31,10	0,40	0,58	0,98	0,40	0,58	0,98	41,16
3	აღმ. გუმისთა კესის ზემოთ		1700	2,40	5,60	8,04	0,08	0,18	0,25	0,08	0,18	0,25	29,85
4	ღალიძგა-ტყვარჩელი		1460	4,21	7,20	11,40	0,13	0,23	0,36	0,13	0,23	0,36	36,93
საშუალო ზონის			1338	5,33	9,50	14,82	0,17	0,30	0,47	0,17	0,30	0,47	32,38
ჯამური ზონის							0,67	1,20	1,87	0,67	1,20	1,87	
ზონა VII: კოლხეთისა და მიმდებარე მთების ზონა													
1	მაგანა-შესართავი	ენგური	1630	3,40	6,19	9,56							35,56
3	ჯუმი-ს.დარჩელი		150	2,60	6,30	8,86	0,08	0,20	0,28	0,08	0,20	0,28	29,35
4	სობი-ლევახარე	შავი ზღვა	1640	8,00	13,10	21,10	0,25	0,41	0,66	0,25	0,41	0,66	37,91
5	ხანისწყალი-ბაღდადი	რიონი	1220	6,90	8,49	15,40							44,81
6	წაბლარისწყალი-საირმე	ხანისწყალი	1600	1,20	1,61	2,82							42,55
7	სულორი-საღხინო	ტეხური	800	1,90	2,18	4,08							46,57
8	ტეხური-ნაქალაქევი	ტეხური	1160	13,70	18,70	32,40							42,28
9	რიონი-საქონაკიძე	რიონი	1084	115,00	284,00	399,00	3,62	8,95	12,57	3,62	8,95	12,57	28,82
საშუალო ზონის			1161	19,09	42,57	61,65	1,32	3,19	4,50	1,32	3,19	4,50	38,48
ჯამური ზონის							3,96	9,56	13,51	3,96	9,56	13,51	
ზონა VIII: მდინარე ყვირილას აუზი													
1	ყვირილა-სახხერე	რიონი	1320	8,40	9,05	17,40							48,28
2	ყვირილა-ზესტაფონი	რიონი	960	21,90	37,50	59,40	0,69	1,18	1,87	0,69	1,18	1,87	36,87
3	ჭიხურა-სხვიტორი		1360	1,04	1,24	2,28	0,03	0,04	0,07	0,03	0,04	0,07	45,64
4	ძირულა-წვევა	ყვირულა	880	12,80	13,20	26,00							49,23



5	ჩხერიმელა-ქვეები	ძირულა	1040	1,30	3,06	4,31							30,16
6	ჩხერიმელა-ხარაგაული	ძირულა	1180	4,60	6,92	11,50							40,00
7	ტყიბული-ტყიბული	ტყიბულის წყ.	840	1,70	4,39	6,04	0,05	0,14	0,19	0,05	0,14	0,19	28,15
საშუალო ზონის			1083	7,39	10,77	18,13	0,26	0,45	0,71	0,26	0,45	0,71	39,76
ჯამური ზონის							0,78	1,36	2,13	0,78	1,36	2,13	
IX ზონა: ქართლის ვაკე მიმდებარე ქედებით													
1	ძამა-ზგუდერი	მტკვარი	1460	1,35	1,81	3,16							42,72
2	მეჯუჯა-გრომი	დიდ.ღიახვი	1530	1,15	1,19	2,34							49,15
3	ტანა-ატენი	მტკვარი	1490	0,82	0,92	1,74							47,13
5	აღგეთი-ფარცხისი	მტკვარი	1320	1,08	1,71	2,79							38,71
6	მტკვარი-თბილისი	კასპიის ზღვა	1710	87,20	116,80	204,00	2,75	3,68	6,43	2,75	3,68	6,43	42,75
საშუალო ზონის			1502	18,32	24,49	42,81	2,75	3,68	6,43				44,09
ჯამური ზონის										2,75	3,68	6,43	
X ზონა: კახეთი (იორი-ალაზანი)													
1	იორი-ლელოვანი	მინგეჩაურის წყ.	1640	5,28	6,32	11,60							45,52
2	იორი-ორხევი	მინგეჩაურის წყ.	1580	3,66	7,84	11,50							31,83
3	ალაზანი-ბირკიანი	მინგეჩაურის წყ.	2200	3,50	11,00	14,50							24,14
4	ალაზანი-შაქრიანი	მინგეჩაურის წყ.	1260	17,10	26,00	43,10							39,68
5	ალაზანი-ჭიაური	მინგეჩაურის წყ.	980	28,70	33,40	62,10							46,22
6	ალაზანი-ზემო ქედი	მინგეჩაურის წყ.	900	41,40	53,70	95,10	1,30	1,69	3,00	1,30	1,69	3,00	43,53
7	სამყურისწყალი-ხადორი	ალაზანი	2590	1,52	4,03	5,55							27,39
8	სტორი-ღეჩური	ალაზანი	1850	2,71	5,00	7,71							35,15
9	დიდხევი-არტანა	ლოპოტა	1650	1,28	1,89	3,17							40,38
11	ჩელთი-შილდა	ალაზანი	1780	0,93	1,17	2,10	0,03	0,04	0,07	0,03	0,04	0,07	44,29
საშუალო ზონის			1643	10,61	15,04	25,64	0,67	0,86	1,53	0,67	0,86	1,53	37,81
ჯამური ზონის							1,33	1,73	3,06	1,33	1,73	3,06	

+XI ზონა: შავი ზღვის სანაპირო მდინარეები სუფსა და მისი სამხრეთი													
1	სუფსა-ჩოხატაური	შავი ზღვა	1250	5,70	7,96	13,70							41,61
2	სუფსა-ხიდმაღალა	შავი ზღვა	970	16,10	29,50	45,60	0,51	0,93	1,44	0,51	0,93	1,44	35,31
3	გუბაზეული-ხიდისთავი	სუფსა	1300	5,60	8,37	14,00							40,00
4	ბახვისწყალი-ბახმარო	სუფსა	2260	0,80	1,08	1,86							43,01
5	ბახვისწყალი-ქვედა ბახვი	სუფსა	1480	2,50	3,29	5,76							43,40
6	ნატანები - ნატანები	შავი ზღვა	830	11,60	12,40	24,00	0,37	0,39	0,76	0,37	0,39	0,76	48,33
7	ბუუუა - პესი	ნატანები	1910	1,20	2,37	3,54							33,90
8	ბუუუა-გომი	ნატანები	1090	2,50	4,55	7,08							35,31
9	კინტრიში - კოხი	შავი ზღვა	835	4,90	7,55	12,40	0,15	0,24	0,39	0,15	0,24	0,39	39,52
11	მაჭახელასწყალი-სინდიეთი	ჭოროხი	1390	9,72	10,90	20,60	0,31	0,34	0,65	0,31	0,34	0,65	47,18
საშუალო ზონის			1332	6,06	8,80	14,85	0,33	0,48	0,81	0,33	0,48	0,81	40,76
ჯამური ზონის							1,33	1,90	3,23	1,33	1,90	3,23	
XII ზონა: აჭარის მდინარეები													
1	აჭარისწყალი-ხულო	ჭოროხი	1590	3,50	4,90	8,41	0,11	0,15	0,26	0,11	0,15	0,26	41,62
2	აჭარისწყალი-ქელა	ჭოროხი	1470	21,10	23,00	44,10	0,66	0,72	1,39	0,66	0,72	1,39	47,85
3	აჭარისწყალი-აწვესი	ჭოროხი	1470	17,20	30,20	47,40	0,54	0,95	1,49	0,54	0,95	1,49	36,29
6	ჭირუხისწყალი-შუახევი	აჭარისწყალი	1700	4,90	5,21	10,10	0,15	0,16	0,32	0,15	0,16	0,32	48,51
საშუალო ზონის			1558	11,68	15,83	27,50	0,37	0,50	0,87	0,37	0,50	0,87	43,57
ჯამური ზონის							1,47	1,99	3,47	1,47	1,99	3,47	
XIII ზონა: მტკვრის ახალციხე-ბორჯომის ხეობა													
5	ურაგელი-ოხერა	მტკვარი	2160	1,78	1,92	3,70	0,06	0,06	0,12	0,06	0,06	0,12	48,11
6	ფოცხოვი-სხვილისი	მტკვარი	1870	9,60	11,70	21,30	0,30	0,37	0,67	0,30	0,37	0,67	45,07
7	ქობლიანი-მლაშე	ფოსხოვი	1940	4,49	6,41	10,90	0,14	0,20	0,34	0,14	0,20	0,34	41,19
11	ბორჯომულა-ბორჯომი	მტკვარი	1810	1,02	1,46	2,48	0,03	0,05	0,08	0,03	0,05	0,08	41,13
12	გუჯარეთისწყალი-წადვერი	მტკვარი	1630	1,46	1,66	3,12	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,10	46,79
საშუალო ზონის			1882	3,67	4,63	8,30	0,12	0,15	0,26	0,12	0,15	0,26	44,46
ჯამური ზონის							0,58	0,73	1,31	0,58	0,73	1,31	

XIV ზონა: სამცხე-ჯავახეთის ზეგანი													
1	ფარავანი-ფოკა	მტკვარი	2120	0,69	0,77	1,46	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,05	47,26
2	ფარავანი-არაგაილი	მტკვარი	2000	2,51	5,13	7,64	0,08	0,16	0,24	0,08	0,16	0,24	32,85
4	ფარავანი-ხერთვისი	მტკვარი	2005	6,00	12,70	18,70	0,19	0,40	0,59	0,19	0,40	0,59	32,09
5	კორხი-არაქვა	ფარავანი	2080	1,14	1,71	2,85	0,04	0,05	0,09	0,04	0,05	0,09	40,00
საშუალო ზონის			2051	2,59	5,08	7,66	0,08	0,16	0,24	0,08	0,16	0,24	38,05
ჯამური ზონის							0,33	0,64	0,97	0,33	0,64	0,97	
XV ზონა: ქცია-ხრამის აუზი													
1	ქცია-ხრამი-კუშხი	მტკვარი	2050	3,44	3,58	7,02	0,11	0,11	0,22	0,11	0,11	0,22	49,00
2	ქცია-ხრამი-ელიკილისა	მტკვარი	2040	2,39	5,75	8,14							29,36
4	ყარაბულახი-კიხილაჯალო	ქცია-ხრამი	1690	1,27	3,10	4,37	0,04	0,10	0,14	0,04	0,10	0,14	29,06
5	მაშავერა-დიდი დმანისი	ქცია-ხრამი	1240	2,42	2,74	5,16	0,08	0,09	0,16	0,08	0,09	0,16	46,90
6	ბოლნისი-სამწვერისი	მაშავერა	1100	0,33	1,25	1,58	0,01	0,04	0,05	0,01	0,04	0,05	20,89
7	შულავერჩაი-შაუმიანი	ქცია-ხრამი	800	0,12	0,35	0,47	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	25,53
საშუალო ზონის			1487	1,66	2,80	4,46	0,05	0,07	0,12	0,05	0,07	0,12	33,46
ჯამური ზონის							0,24	0,35	0,59	0,24	0,35	0,59	
დასავლეთ საქართველოს რეგიონისათვის										14,76	28,37	43,13	34
აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონისათვის										6,50	9,52	16,02	41
ჯამური საქართველოსთვის										21,26	37,90	59,15	35

მდინარე-კვეთი	გლობალურ დათბობაზე ჩამონადენის რეაქცია (ნორმის %)	მიწისქვეშა
ზედაპირული		
მდ.ცხენისწყალი-ს.რცხმელური	23	
მდ.რიონი-ს.ალპანა	5-10	22
მდ.რიონი-ს.საქონაკიძე	10-15	
მდ.იორი-ს.სადახლი	30	
მდ.ალაზანი-მდ.აგრიჩაის შესართავი	50	
მდ.მტკვარი-ქთბილისი	70	30

