

ხელნაწერის უფლებით

ნინო ბეგალიშვილი

კლიმატის ცვლილების გავლენა მდინარეულ ჩამონადენზე საქართველოში

11.00.07. – ხმელეთის ჰიდროლოგია, წყლის რესურსები და ჰიდროქიმია

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო
ხარისხის მოსაპოვებლად

სამეცნიერო ხელმძღვანელები :

აკადემიკოსი გ.სვანიძე

ტექნ. მეცნ. დოქტორი,
პროფესორი გ.გრიგოლია (თსუ)

შ ი ნ ა ა რ ს ი

	შესავალი.....	3
თავი 1.	წყლის ბალანსის მდგენელების შეფასების ზოგიერთი მეთოდური საკითხი.....	7
თავი 2.	საქართველოს მდინარეთა ზოგიერთი აუზისათვის მიკროკლიმატის და ჩამონადენის საუკუნეობრივი ცვლილებების შეფასება ემპირიული მონაცემების ანალიზის საშუალებით	29
	21. აცივებისა და დათბობის ზონებში ტენდენციის მდგენელების კლიმატურ ცვლილებათა შეფასება.....	29
	22. ზოგიერთ მდინარეთა წყალშემკვებისათვის წყლის ბალანსის კომპონენტების კლიმატური ცვლილებებისა და მათი ურთიერთკავშირის გამოკვლევა.....	37
თავი 3.	საქართველოში კლიმატურ ცვლილებებზე მდინარეული ჩამონადენის რეაქციის გამოკვლევა.....	45
	31 აგროცანის დასმა.....	45
	32. კლიმატური ფაქტორების ცვლილებათა მიმართ მდინარეული ჩამონადენის მბრძნობიარობის შეფასების შედეგები.....	55
	33. მდინარეული ჩამონადენის მბრძნობიარობისა და მისი ცვლილების შედარება.....	76
	34. დასკვნა.....	83
თავი 4.	მთის წყალსატევების მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე გავლენის გამოკვლევა.....	90
	4.1. ენბურის (ჯვრის) წყალსაცავის მიკროკლიმატზე გავლენის შეფასება ემპირიული მონაცემების საშუალებით.....	91
	4.2. წყალსაცავის მიკროკლიმატზე გავლენის შეფასება მათემატიკური მოდელის გამოყენებით.	122
	დასკვნა.....	125

შ ი ნ ა ა რ ს ი

	შესავალი.....	3
თავი 1.	წყლის ბალანსის მდგენელების შეფასების ზოგიერთი მეთოდური საკითხი.....	7
თავი 2.	საქართველოს მდინარეთა ზოგიერთი აუზისათვის მიკროკლიმატის და ჩამონადენის საუკუნეობრივი ცვლილებების შეფასება ემპირიული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე	29
	2.1. აცივებისა და დათბობის ზონებში ტენდენციის მდგენელების კლიმატურ ცვლილებათა შეფასება.....	29
	2.2. ზოგიერთ მდინარეთა წყალშემკვებისათვის წყლის ბალანსის კომპონენტების კლიმატური ცვლილებებისა და მათი ურთიერთკავშირის გამოკვლევა.....	37
თავი 3.	საქართველოში კლიმატურ ცვლილებებზე მდინარეული ჩამონადენის რეაქციის გამოკვლევა.....	45
	3.1. ამოცანის დასმა.....	45
	3.2. კლიმატური ფაქტორების ცვლილებათა მიმართ მდინარეული ჩამონადენის მგრძობიარობის შეფასების შედეგები.....	55
	3.3. მდინარეული ჩამონადენის მგრძობიარობისა და მისი ცვლილების შეფასება.....	76
	3.4. დასკვნა.....	83
თავი 4.	მთის წყალსატევების მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე გავლენის გამოკვლევა.....	90
	4.1. ენბურის (ჯვრის) წყალსაცავის მიკროკლიმატზე გავლენის შეფასება ემპირიული მონაცემების საფუძველზე.....	91
	4.2. წყალსაცავის მიკროკლიმატზე გავლენის შეფასება მათემატიკური მოდელის გამოყენებით.....	122
	დასკვნა.....	125

თემის აქტუალობა და პრობლემის მდგომარეობა.

დედამიწაზე მიმდინარე გლობალური დათბობის ფონზე, რაც მსოფლიო მეტეოროლოგიური ქსელის მონაცემებით შეფასებულია დაახლოებით 06 °C 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 შეფასებებით 0.5-0.7 °C და სომიური აციკება დასავლეთ საქართველოში ტემპერატურის მაქსიმალური დაწვეით მის სოციერთ რაიონებში 0.3-0.5 °C-ით (კთავართქილაძე, ევლიზბარაშვილი, დ.მუშლაძე, ჯ ვანნაძე, 1999). არაერთგვაროვანი აღმოჩნდა, აგრეთვე, ნალექების ჯამების ცვლილება 1936-1995 წლების განმავლობაში დაკვირვებათა 60-წლიანი პერიოდისათვის (ლ.პაპინაშვილი, ევლიზბარაშვილი, 1999, 2001) სოციერთი მონაცემით ნალექების შემცირება აღინიშნა ყოფხეთის დაბლობზე, აჭარის მაღალმთიან რაიონებში და კავკასიონის მაღალმთიან ზონაში, ხადაც მაქსიმალურმა შემცირებამ შეადგინა 5-10 მმ ყოველი 10-წლიანი პერიოდისათვის. ამასთან, ატმოსფეროს ტენშემცველობა საქართველოს ტერიტორიაზე მთლიანობაში არ შემცვლილა, თუმცა დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს ცალკეულ რაიონებში დაფიქსირებული იყო მათი საუკუნეობრივი სვლის ორივე ნიშნის ტენდენციები (ნ.ბეგალიშვილი, კთავართქილაძე, ნ.ნებეიძე, მ.ბატიშვილი, 1998).

ბუნებრივია; მისალოდნელი იყო 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, ევაპორტრანსპირაციაზე, თოვლ- წვიმიან და მყინვარულ საზრდობაზე, ფილტრაციაზე, გრუნტის წყლებზე, მდინარეთა ჩამონადენზე, იწვევენ მათი რეჟიმების ცვლილებას.

ამრიგად, კლიმატური ცვლილებების არაერთგვაროვნობის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან შედეგად შეიძლება გახდეს 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, წყალრე- სურსული 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 (გ.სვანიძე, ნ.ბეგალიშვილი, ვ.ცომაია, გ.ხმალაძე, ნ.ნ.ბეგალიშვილი, 1998-1999).

კვლევის მიზანი და ამოცანები ხადისერტა(ციო ნაშრომის ძირითადი მიზანია მდინარეული ჩამონადენის მგრძობიარობის გამოკვლევა წყალშემკრებზე კლიმატურ ცვლილებათა მიმართ და საქართველოს მთიანი პირობებში ჩამონადენის რეაქციის შეფასება კლიმატის საუკუნოვან ცვლილებაზე. დამატებით, კვლევის მიზანია, აგრეთვე, მთის წყალსატევების მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე გავლენის შესწავლა.

აღნიშნული კვლევის მიზნების განხორციელებამ მოითხოვა შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა:

- წყლის ბალანსის კომპონენტების - ნალექების, აორთქლებისა და ჩამონადენის შეფასებასთან დაკავშირებით, საქართველოს მთიანი პირობებისათვის დამახასიათებელი ზოგიერთი მეთოდური საკითხის დამუშავება
- დაკვირვებათა . მიდრომეტეოროლოგიური რიგების სტატისტიკური და კორელაციური ანალიზის საფუძველზე დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს ძირითად მდინარეთა ტემპერატურის, სინოტივის, ნალექებისა და ჩამონადენის საუკუნოვან ცვლილებათა შეფასება
- მდინარის წლიურ/თეოური ჩამონადენის ფორმირების და წყალშემკრებზე კლიმატურ ცვლილებებზე მისი რეაქციის მათემატიკური მოდელის დამუშავება.
- ჩამონადენის მგრძობიარობის შესწავლა და მისი რეაქციის შეფასება, ჩამონადენის შესაძლო ცვლილების სკენარების შემუშავება რეგიონში საუკუნოვანი კლიმატური ცვლილებების გათვალისწინებით.
- მთის წყალსატევების (წყალსაცავების) მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე გავლენის შეფასება, შესაბამისი თერმოდინამიკური და ემპირიულ-სტატისტიკური მოდულების გამოყენებით.

საინფორმაციო ბაზა და კვლევის მეთოდები. საშუაოს შესრულების პროცესში გამოყენებული იყო სახელმწიფო მიდრომეტეოროლოგიური ქსელის დაკვირვებათა მონაცემების საინფორმაციო ბაზები საქართველოს 90 მეტეოროლოგიური სადგურისა და საგუშაგოსი 1905-1995წწ. პერიოდისათვის. მონაცემთა ბაზის ძირითადი ნაწილი შეიქმნა საქართველოში კლიმატის ცვლილების პირველი ეროვნული შეტყობინების პროექტის შესრულებისას (1997-1999). დამატებით, დასრული ამოცანების გადასაწყვეტად მიდრომეტეოროლოგიური მონაცემების სპეციფიკური ბაზები შედგენილი იყო დისერტანტის თანავეტორობით საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტისა და თბილისის ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიდროლოგიისა და მიდრომეტეოლოგიის კათედრის თანამშრომლებთან ერთად.

მიდრომეტეოროლოგიურ მონაცემთა რიგების ანალიზი შესრულებულია მათემატიკური სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის მეთოდების გამოყენებით. კლიმატის ცვლილებაზე ჩამონადენის რეაქციის გამოკვლევის ამოცანების გადასაწყვეტად და მთის წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე გავლენის შესასწავლად გამოყენებული იყო მათემატიკური მოდელირების მეთოდი წყლის ბალანსის განტოლების, აგრეთვე მოცემული ფონური ქარისა და ტურბულენტობის კოეფიციენტის პირობებში წყალსაცავზე და მის მახლობლად ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში სითბოს/ტენის გადატანის თერმოდინამიკური განტოლების ანალიზური ამოსხნების საფუძველზე.

კვლევის მეცნიერული სიახლე და დაცვაზე გასატანი დებულებები. ნაშრომი წარმოადგენს მიდრომეტეოროლოგი ურ მონაცემთა რიგების სტატისტიკური და

კორელაციური ანალიზის საფუძველზე შესაბამისად აცივების (დასავლეთ საქართველო) და დათბობის (აღმოსავლეთ საქართველო) რეგიონებში განლაგებულ მდინარეთა ცალკეული აუზებისათვის მიკროკლიმატისა და ჩამონადენის ურთიერთდაკავშირებული საუკუნოვანი ცვლილებების დადგენის პირველ ცდას.

წლიურ/თვიური ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელის გამოყენებით პირველად არის ნატარებული წყალშემკრებზე ცალ-ცალკე პაერის ტემპერატურის, ნალექების, სინოტივის, რადიააციისა და ღრუბლიანობის კლიმატური ცვლილებების მიმართ მდინარეების რიონისა და მტკერის ჩამონადენის მგრძობიარობის შეფასება და ურთიერთშედადება

პირველად არის შესწავლილი მდინარეების რიონის და მტკერის ჩამონადენის შესაძლო რეაქცია შესაბამისად დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონებში საუკუნოვანი კლიმატურ ცვლილებებზე.

მდ ენგურზე ჯერის წყალსაცავის მაგალითზე პირველად არის შესრულებული მთის წყალსატევის მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე გავლენის კომპლექსური შეფასება როგორც დაკვირვებათა ემპირიული რიგების სტატისტიკურ-ანალიზური ანალიზის, ასევე მათემატიკური მოდელირების მეთოდების გამოყენებით.

დაცვის საგანს წარმოადგენს:

- საქართველოს რიგი მაღალმთიანი სადგურებისათვის თვის ან თოვლდაგროვების პერიოდის განმავლობაში ნალექების რაოდენობაზე ჩამონადენის ფენის გადამტეების დაკვირვებული ფაქტის ფიზიკური ახსნა, რომლის მიხედვით თოვლში წყლის დამატებითი მარაგის წარმოქმნა ხდება თოვლის საფარში ატმოსფერული ტენის კონდენსაციით.
- კლიმატური მახასიათებლების და ჩამონადენის პარამეტრების საუკუნოვანი ცვლილებათა რაოდენობრივი შეფასების შედეგები, შესაბამისად აცივების და დათბობის რაიონებში განლაგებულ მდინარეთა აუზებისათვის, აგრეთვე მდინარის ჩამონადენისა და ნალექებს შორის ემპირიულ-სტატისტიკური დამოკიდებულებები.
- ტემპერატურისა და ნალექების კლიმატური ცვლილებების მნიშვნელობათა მიხედვით მდინარის თვიური ან წლიური ჩამონადენის რყევადობის გაანგარიშების მათემატიკური მოდელები
- წყალშემკრებზე კლიმატური ცვლილებების მიმართ საქართველოს მდინარეთა ჩამონადენის მგრძობიარობის რაოდენობრივი შეფასებები.
- კლიმატური და კიდროლოგიური პარამეტრების ურთიერთდაკავშირებულ ცვლილებათა სკენარები, რომლებიც მოსალოდნელია საუკუნოვანი დათბობის და აცივების რეგიონებში უახლოეს ათწლეულებში.
- მთის წყალსატევის მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე გავლენის სიერცობრივი მასშტაბების შეფასებები.

ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა. წყალშემკრებზე კლიმატური ვარაიციების მიმართ მდინარეული ჩამონადენის მგრძობიარობის კვლევის ძირითადი შედეგები, აგრეთვე კლიმატური ცვლილებების მიმართ ჩამონადენის რეაქციის გაანგარიშებები და ამ ცვლილებათა შემოთავაზებული სკენარები შევიდა საქართველოს კლიმატის ცვლილების პირველი ეროვნული შეტყობინების ანგარიშში. ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა განისაზღვრება, აგრეთვე, მიღებული შედეგების გამოყენების შესაძლებლობით როგორც სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებში, ასევე გამოყენებითი

ამოცანების გადაწყვეტაში კონსოლიდირებული მდგომარეობის განვითარების გრძელვადიანი დაგეგმარებისათვის, სასმელი და კონსერვაციული-სამეურნეო წყლებით მოსახლეობის უზრუნველყოფისათვის, წყლის რესურსების ეფექტური გამოყენებისა და მართვისათვის, პერსპექტივაში მტკნარი წყლის საექსპორტო ინდუსტრიის შექმნის მეცნიერული დასაბუთებისათვის, წყაროს და მინერალური წყლების ჩამოსხმის ბიზნესის განვითარების ნათელი, რასაც სტრატეგიული მნიშვნელობა ენიჭება ისეთი განვითარებადი ქვეყნისათვის, როგორც საქართველო.

ნაშრომის აბრუნება. კვლევის შედეგები მოხსენებული იყო XI საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე ჰიდროლოგიაში (პოლონეთი, ვროცლავი, 1996), ი.ე. ჯავახიშვილის დაბადების 120- და თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის დაარსების 80-წლისთავებისადმი მიძღვნილ შესაბამისად V და VI რესპუბლიკურ კონფერენციებზე გეოგრაფიის, ჰიდრომეტეოროლოგიის, გეოფიზიკის და გეოლოგიის დარგში (თბილისი, 1996, 1998), პალეოციტის ნაციონალური უნივერსიტეტის ჰიდროლოგიური სემინარის სხდომებზე (ირლანდია, 1996), აგრეთვე საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო სესიებზე და კონფერენციებზე, თბილისის ი.ე. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოგრაფიის ფაკულტეტის ჰიდროლოგიის და ჰიდროგეოლოგიის კათედრის სამეცნიერო სემინარებზე.

პუბლიკაციები, სადისერტაციო ნაშრომში შესული კვლევის შედეგები გამოქვეყნდა 8 სამეცნიერო სტატიაში, მათგან 5- რეფერირებულ სამეცნიერო გამოცემებში.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა სადისერტაციო ნაშრომში შედგება შესავლის, 4 თავისა და დასკვნისაგან (ძირითადი შედეგები). ის შეიცავს 127 გვერდს, მათ შორის 15 ნახაზს და 21 ცხრილს. გამოყენებული ლიტერატურის სია შედგება 87 დასახელების სამეცნიერო ნაშრომისაგან ქართულ, რუსულ და ინგლისურ ენებზე.

თავი I. წყლის გალანსის მდგენელების შეფასების ზოგიერთი მეთოდური საკითხი

აორთქლება (E) მდინარეთა აუზებში რთული პროცესია და მისი გაზომვა არ არის გათვალისწინებული სტანდარტულ ჰიდრომეტროლოგიურ დაკვირვებაში. ამიტომ მიმართავენ აორთქლების გამოთვლის მეთოდს შემდეგი მახასიათებლების გამოყენებით: ნალექების წლიური ჯამი (R მწ), ქაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა (t °C), სინოტივის დეფიციტი (D კკ), ფარდობითი სინოტივე (f %), წყლის აორთქლის დრეკადობა (e , მმ) და სხვ (ცნობილია საკმაოდ მრავალრიცხოვანი გამოთვლითი ფორმულები, რომლებიც ითვალისწინებს ამ მახასიათებლების სხვადასხვა ურთიერთანაფართობას. თუ ფორმულაში შედის მხოლოდ ერთი პარამეტრი, ამას მიეყვართ შეცდომამდე აორთქლების გაანგარიშებაში ეს შეცდომა შეიძლება დაყვანილ იქნას მინიმუმამდე, მრავალფაქტორიანი დამოკიდებულების გამოყენების შედეგად. გამოთვლებისა და შედარებისათვის საჭირო მასალები დასაყვეთ საქართველოს ზოგიერთი მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების მიხედვით წარმოდგენილია ცხრ 1-ში.

ამ მონაცემების საფუძველზე შედგენილია, მაგალითად, E -ს D -ზე დამოკიდებულების (ნახ. 1(ა)), E -ს D ნამრაველზე დამოკიდებულების (ნახ. 1(ბ)) გრაფიკები, რომლებიც წარმოადგენენ მრუდების ერთობლიობას ნალექების გრადაციების მიხედვით მათ გაანჩიათ, როგორც მრუდწირული, ასევე წრფივი ფორმები შეიძლება მათი გამარტივება ნამრავლების PD (ნახ 1(ბ)) და PDt (ნახ. 1(დ)) გამოყენებით როგორც ნახ 1-დან ჩანს ამ შემთხვევაში დამოკიდებულება წარმოგვიდგება წრფივი გრაფიკების სახით. ამრიგად, აორთქლების გამოსანგარიშებლად შეიძლება გამოვიყენოთ შემდეგი დამოკიდებულებები

$$E \text{ და } D \text{ შორის} \quad E = 350\sqrt{D}; \quad (1)$$

$$E, P \text{ და } D \text{ შორის} \quad E = 0.026PD + 600; \quad (2)$$

$$E, P, t \text{ და } D \text{ შორის} \quad E = 0.0017PDt + 600. \quad (3)$$

ფორმულებიდან (2) და (3) მიიღება

$$E = PD(0.013 + 0.00085t) + 600. \quad (4)$$

პრაქტიკული გამოთვლებისათვის საკმაოდ დამაკმაყოფილებელ შედეგს იძლევა ფორმულა (4), რაც კარგად ჩანს ცხრ. 1-დან: საშუალო ცდომილება შეადგენს 2.3%, მაქსიმალური არ აღემატება 4.2%. ასეთი შედეგი დამახასიათებელია ძლიერ დანესტიანებული რაიონებისათვის, რომლის ტიპურ მაგალითს წარმოადგენს კოლხეთის შავი ზღვის სანაპირო და მისი მიმდებარე რაიონები.

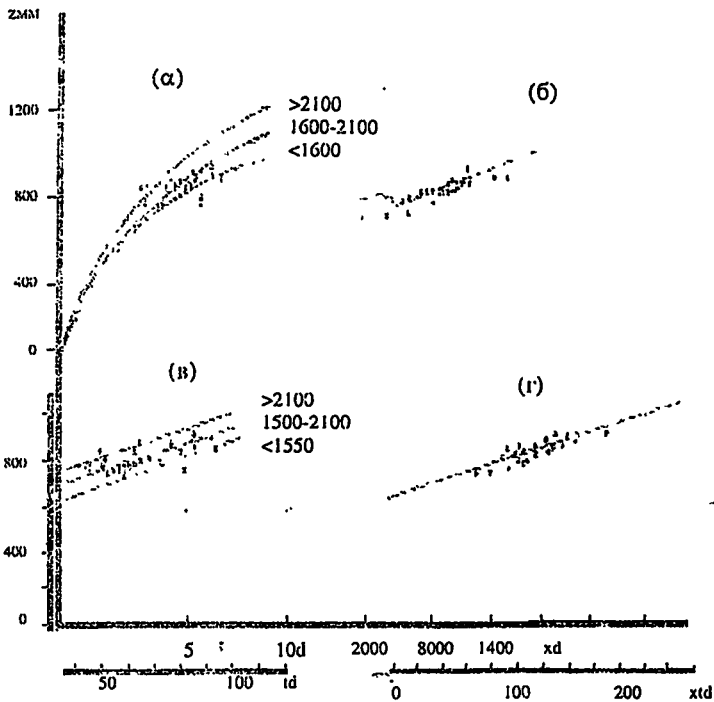
მაუდიის [1] ფორმულას, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას ნებისმიერი ტემპერატურისათვის აქვს შემდეგი სახე

$$E = \frac{r}{L} th \left(\frac{PL}{r} \right) = (3.5t + 39.5) th \left(\frac{P}{3.5 + 39.5} \right), \quad (5)$$

ცხრილი 1. მეტეოქსელის ზოგერთი მონაცემი დასაკლელ საქართველოსათვის და აორთქლების გაანგარიშების შედეგები

Пункт метеосети	Высота над ур. м. Нм	Температура °С	Скорость, м/сек	Давление вихристой, д.мм	Величина испарения	Произведение		Результат расчёта испарения	
						хd	td	Z, мм	ошибка, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сухуми	4	14.1	1366	5.6	768	7650	79.0	791	3.0
Гали	63	13.7	1569	4.3	780	6747	58.9	766	1.8
Анаклия	3	14.0	1458	3.9	721	5686	54.6	742	2.9
Зугдидი	117	13.8	1616	4.7	810	7595	64.9	788	2.7
Сенаки	40	14.5	1669	5.4	841	9013	78.3	828	1.6
Мухური	260	13.8	2097	6.0	903	12582	82.8	911	0.9
Цаленджихა	222	13.3	1825	4.9	824	8943	65.2	817	0.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ахути	172	14.1	1719	5.4	867	9283	76.1	832	4.0
Погн	3	14.1	1661	4.1	753	6810	57.8	770	2.3
Дабла-Духе	221	13.8	1818	5.6	875	10181	77.3	852	2.6
Самгредня	28	14.4	1375	5.2	866	7150	74.9	781	3.1
Кутаиси	114	14.5	1380	6.3	847	8694	91.4	820	3.2
Хонц	114	14.3	1646	5.5	852	9053	78.7	828	2.8
Цхалтубо	121	14.6	1692	6.0	856	10152	87.6	858	0.9
Орпири	300	12.8	1569	5.2	813	8159	66.6	795	2.2
Ланчхути	29	13.8	1824	4.4	822	8026	60.7	799	2.8
Ацапа	196	13.3	2084	4.3	811	8961	57.2	818	0.9
Супса	7	13.5	2192	3.5	812	7672	47.3	788	3.0
Шрома	150	14.0	2243	4.4	858	9869	61.6	846	1.4
Анасули	115	13.6	2115	4.4	838	9306	59.8	829	1.1
Кобулет	7	13.4	2320	3.5	766	8120	46.9	798	4.2



ახ. 1. აორთქლების (E მმ) დამოკიდებულება: ა) სინოტივის დეფიციტზე (D , მმ);
 ბ) დეფიციტის (D) და წალეკების (P) ნამრავლზე; გ) დეფიციტის (D) და ტემპერატურის
 დ) სიდიდით ნამრავლზე; დეფიციტის (D), ტემპერატურის და ნალექების (P)
 ამრავლზე.

სადაც r - სითბური რადიაციის ბალანსია; L - აორთქლების ფარული სითბო, P - ნალექები (მმ), t - ჰაერის ტემპერატურა; $th\left(\frac{PL}{r}\right)$ - ჰიპერბოლური ტანგენსი. საქართველოსათვის შეფარდება th ნიშნის ქვეშ მქცია, ვიდრე 2.0 - 2.2, ამიტომ $th\left(\frac{PL}{r}\right) = 0.97$ [7] კოეფიციენტის ამ მნიშვნელობისა და აგრეთვე გამოსვლის შედეგების სმ-დან მმ-ბში გადაყვანით მივიღებთ:

$$E = 34t + 383 \quad (\text{მმ/წელი}) \quad (6)$$

(6) ფორმულის შემოწმების შედეგად მეტეოსადგურ ყაზბეგი, მაღალმთიანის მონაცემების მაგალითზე, სადაც ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა - 6.1 °C მივიღებთ:

$$Z = 349 - 6 \cdot 10 + 383 = 176(186) \quad \text{მმ/წელი.}$$

მეტეოსადგურ ანასეველისათვის, რომლისათვისაც ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა ტოლია 13,6 °C გვექნება:

$$Z = 34 \cdot 13,6 + 383 = 845(838) \quad \text{მმ/წელი}$$

კარგ თანხვედრას აქვს აღგილი სხვა შემთხვევაშიც, რაც საშუალებას გვაძლევს ფორმულა გამოვიყენოთ პრაქტიკული მიზნებისათვის (ფრინხილებში მითითებულა აორთქლების მნიშვნელობები, აღებული ნაშრომებიდან [3, 4, 7]).

განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს მრავალფაქტორიანი ფორმულა, რომელიც შეიცავს ნალექების წლიურ ჯამს (P) და აორთქლების მაქსიმალურ მნიშვნელობას - აორთქლებადობას (E_0):

$$E = E_0 \left[1 + \left(\frac{E_0}{P} \right)^{2.3} \right]^{0.436}, \quad (7)$$

სადაც Z_0 - გამოითვლება მტიურკის, ემარტონის და სხვების [4, 7] განზოგადებული ფორმულებიდან

$$E_0 = 26.6t + 0.01t^2 + 0.95 \sum t + 203. \quad (8)$$

აქ $\sum t$ - ჰაერის საშუალო თვიური დადებით ტემპერატურათა ჯამია.

E_0 და E - ს შესახებ საჭირო მონაცემები წარმოადგენილია სხრ. 2-ში. (8) ფორმულით ნატარებული შეფასებები სავსებით მისაღებია.

კიდევ უფრო დამაკმაყოფილებელი შედეგები მოსალოდნელია (6) და (7) ფორმულების განზოგადოების შედეგად:

$$E = 17.0 + 0.5E_0 \left[1 + \left(\frac{E_0}{P} \right)^{2.3} \right]^{0.436} + 191.5. \quad (9)$$

(9) ფორმულით გამოთვლილი შედეგები წარმოდგენილია ცხრ.2-ში. საკმაოდ დიდი ცდომილებებია მეტეოროლოგიურ საღებურ სოხუმის, ანაკლიას და ფოთის მონაცემებისათვის, რომლებიც განლაგებულია შავი ზღვის სანაპიროზე. ისინი შეადგენენ 9-15% საერთოდ ძლიერ დანესტიანებულ რაიონებისათვის, თუ ჩავთვლით, რომ $E \approx E_0$, მივიღებთ, რომ ცდომილება არ აღემატება 3,5% (მათი მნიშვნელობები მოყვანილია ფრჩხილებში). უნდა აღინიშნოს, ნაღვეების მოყვანილი სიდიდეები მითითებს დასუსტებას, ამიტომ ძლიერ დანესტიანებულ რაიონებისათვის აორთქლების გამოსაწარმოებლად შეიძლება ვისარგებლოდ ფორმულებით (1) და (6).

შემაჯამებელ ცხრ.3-ში მოყვანილია ყველა განხილული ფორმულების მიხედვით გამოთვლის შედეგები, რომელთაგანაც გამომდინარეობს, რომ საუკეთესო შეფასებები მიღებულია სამპარამეტრიან ფორმულით (4). ამ შემთხვევაში მაქსიმალური ცდომილება შეადგენს 4%, საშუალო კი - 2,3%.

ცხრ. 4-ში წარმოდგენილია გამოთვლის შედეგები მდინარე სუფსის და ახლოსმდებარე სხვა აუზებისათვის. მათი შედარება ცხრ. 3-ში მოყვანილ აორთქლების მონაცემებთან საღებურებისათვის დაბა-ციხე, აკანა, სუფსა და შრომა, გვინებებს, რომ ცდომილებები მათთვის არ აღემატება 7-8%, ხოლო საშუალო შეადგენს 5,7%.

მდ.სუფსის აუზის ძირითადი ჰიდროლოგიური მახასიათებლები წარმოდგენილია ცხრ. 5-ში, რომელთა მიხედვით აგებულია ჩამონადენის აუზის სიმაღლეზე დამოკიდებულების გრაფიკები ნახ 2-ზე მოყვანილია სამი წრფე ცალ-ცალკე მდ. გუბაშეკლისათვის (1), მდ. სუფსისათვის (2) და მდ ბახვისწყლისათვის (3). ამ მხრივ შენარჩუნებულია ადრე დადგენილი რეგიონალური დამოკიდებულებები [2, 8] აქვე მოცემულია წყლის ხარჯის Q წყალშემკრების ფართობზე F დამოკიდებულების გრაფიკი აუზის საშუალო დახრილობის i გათვალისწინებით. ის ძირითადად ცალსახა აღმოჩნდა მხოლოდ წყალშემკრებისათვის, რომლის ფართობი ნაკლებია 10 კმ² და დახრილობით მეტი ან ნაკლები 290% მიღებულია შემდეგი სახის განტოლებები.

$$Q = 0.04F + 1.0, i \geq 290\% \quad (10)$$

$$Q = 0.04F + 0.5, i \geq 290\% \quad (11)$$

ყურადღებას იქცევს ასეთი წინააღმდეგობა - სადაც ბახმაროს სიმაღლეზე (1926 მ ზღვის დონიდან) ჩამონადენის ფენა, (6) მრუდის თანახმად, ტოლია 1670 მმ, რაც აღემატება ნაღვეების წლიურ რაოდენობას - 1602 მმ, ანუ ჩამონადენი გამოდის ნაღვეებზე მეტი.

ამ განსხვავებების მიზეზის გამოსაყვანად შეიძლება გავანალიზოთ თოვლის საფარში არსებული წყლის მარაგი დეკადური მონაცემების მიხედვით, იმ რაიონებისათვის, სადაც თოვლის საფარის სისქე აღემატება 1 მ-ს. ასეებია მეტეოროლოგიური საღებური ბახმარო (1926 მ), ჯერის ურელტეხილი (2395 მ), გარის ქედი (1644 მ) და სხვ.

ამ საღებურების მონაცემები - წყლის მარაგი თოვლის საფარში W , ნაღვეები P , თოვლის საფარის სიმაღლე h და პაერის ტემპერატურა t მოყვანილია ცხრ. 6-ში. აქვეა წარმოდგენილი მონაცემები იმ თვეებისათვის, რომელთათვისაც პაერის საშუალო თვიური ტემპერატურა არემატება -2°C , იმისათვის, რომ გამოვირიცხოთ თოვლის საფარში წყლის მარაგის დანაკარგების შემთხვევები. ასეთი ათბობების

ცხრილი 2. გერეოქსელის მონაცემი დასავლეთ საქართველოსათვის და აორთქლების გაანგარიშების შედეგები

Пункт მდგომარეობა	Высота над ур.м. მმ	Слажки х мм	Температура °С	Сумма положительных температур 2°C	Величина испарения со 100 г воды при Z, мм	Испаряемость % мм	Расчетные значения испарения	
							Z, мм	погрешность, % ±
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сухуми	4	1366	14.1	169	768	741	839	9.3 (3.5)
Гали	63	1569	13.7	164	780	725	813	4.2
Анаклия	3	1458	14.0	168	721	737	830	15.1 (2.2)
Зugdidi:	117	1616	13.8	166	810	730	816	0.7
Сенаки	40	1669	14.5	174	841	756	842	0.1
Мукури	260	2097	13.8	166	903	730	805	10.9
Цаленджиха	222	1825	13.3	160	824	711	790	4.1

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ахутн	172	1719	14.1	169	867	741	824	5.0
Потн	3	1661	14.1	169	753	741	826	9.7 (1.6)
Дабла-Циле	221	1818	13.8	166	875	730	810	7.4
Самтредия	28	1375	14.4	173	806	753	851	5.6
Кугансп	114	1380	14.5	174	847	756	855	1.0
Хонш	114	1646	14.3	172	852	749	835	2.0
Цхалтубо	121	1692	14.6	175	866	760	845	2.4
Орглртн	300	1569	12.8	154	813	691	777	4.4
Ланчхутн	20	1824	13.8	166	822	730	810	1.5
Ацана	196	2084	13.3	160	811	711	786	3.1
Сугса	7	2192	13.5	162	812	718	792	2.5
Щрома	150	2243	14.0	168	858	737	810	5.6
Анасеулн	115	2155	13.6	163	838	722	796	5.0
Кобулетн	7	2320	13.4	161	766	714	787	2.7

ცხრილი 3. სხვადასხვა ფორმულებით აორთქლების გამოთვლის შედეგების შედარება

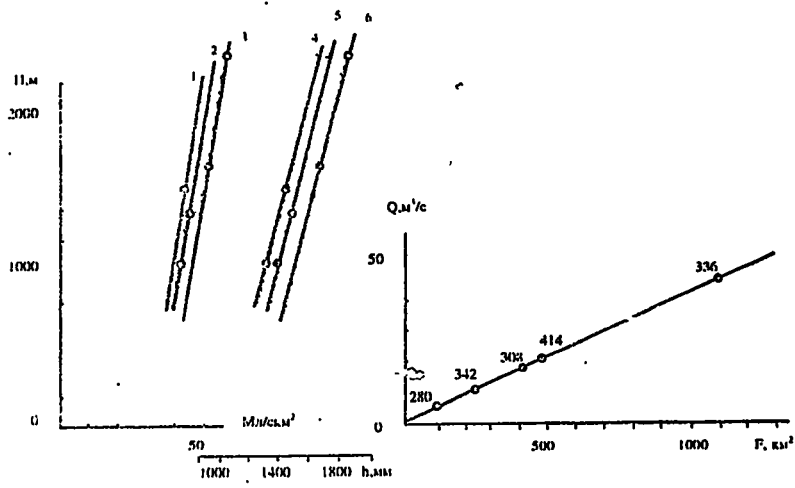
№	Пункт метеосети	Литератур. данные [3,4,7]	Результаты расчета испарения по формулам, мм (%)			
			(1)	(4)	(6)	(9)
1.	Сухуми	768	828(7,8)	791(3,0)	862(12,2)	839(9,3)
2.	Гали	780	726(6,9)	766(1,8)	849(8,9)	813(4,2)
3.	Анаклия	721	691(4,2)	742(2,9)	859(19,1)	830(15,1)
4.	Зугдиди	810	759(6,3)	788(2,7)	852(5,2)	816(0,7)
5.	Сенахи	841	813(3,3)	828(1,6)	876(4,2)	842(0,1)
6.	Мухური	903	857(5,1)	91(0,9)	852(5,7)	805(10,9)
7.	Цаленджихა	824	775(6,0)	817(0,9)	835(1,3)	790(4,1)
8.	Ахური	867	813(6,2)	832(4,0)	862(0,6)	824(5,0)
9.	Поти	753	709(5,8)	777(2,3)	862(14,5)	826(9,7)
10.	დასი-ციხე	875	828(5,4)	852(2,6)	852(2,6)	810(7,4)
11.	სამრედი	806	798(1,0)	781(3,1)	873(8,3)	851(5,6)
12.	კუთაისი	847	879(3,8)	820(3,2)	876(3,4)	855(1,1)
13.	ხონი	852	821(3,6)	828(2,8)	869(2,0)	835(2,0)
14.	ცხატუბო	866	857(1,0)	858(0,9)	879(1,5)	845(2,4)
15.	ორბრი	813	798(1,9)	795(2,2)	818(0,6)	777(4,4)
16.	ლანჯუთი	822	734(10,7)	799(2,8)	852(3,7)	810(1,5)
17.	აიანა	811	726(10,5)	818(0,9)	835(3,0)	786(3,1)
18.	სუპსა	812	655(19,3)	788(3,0)	842(3,7)	792(2,5)
19.	შროვა	858	734(14,5)	846(1,4)	859(0,1)	810(5,6)
20.	სანაბა	838	734(12,4)	829(1,1)	845(0,8)	796(5,0)
21.	კობულეტი	766	655(14,5)	798(4,2)	839(9,5)	787(2,7)

ცხრილი 4. მდ.სუფსისაოთის აორთქლების გაანგარიშების შედეგები (1) და (6) ფორმულებით

№	მეტეოსტანცია	Всего испаряется	Средняя температура воздуха	Температура воздуха		Расчет испарения по формулам, мм (%)		
				Средняя температура	Сумма полож. температур	(1)	(6)	полу сумма (по формуле $z=17t+175\sqrt{d}+191.5$)
		Дециметров	Средняя температура	Сумма полож. температур	(1)	(6)		
1.	Балмаро	1926	4.0	63.5	586	519	553	
2.	Дили-Вани	520	11.5	138	717	774	746	
3.	Набсღავი	475	12.1	145	----	794	----	
4.	ვაკიდჯვარი	400	13.0	156	----	825	----	
5.	დაბლა-ციხე	221	13.8	166	828	852	840 (4,0)	
6.	მაგალი-ეცერა	200	13.2	156	----	832	----	
7.	აიანა	196	13.3	160	726	835	781(3,8)	
8.	გულიანი	180	13.0	156	----	825	----	
9.	შრომა	150	14.0	168	734	859	797 (7,1)	
10.	ხიძნისთავი	142	13.4	161	----	839	----	
11.	ბახვი	120	13.4	161	----	839	----	
12.	ურეკი	30	14.3	172	717	869	793	
13.	სუღა	7	13.5	162	655	842	749(7,8)	

ცხრილი 5. მდ. სუფსის აუზის ჰიდროლოგიური მახასიათებლები

	Площадь водосбора F, км	Средняя высота Н, м	Средний уклон водосбора ‰	Лесистость %	Сток			
					Q м³/с	M л/с км²	h мм	млн м³
Река-Пулки								
Супса-Чохатаური	316	1250	308	68	13.7	43.4	1367	0.432
Супса-Хидмаგალი	1100	970	336	52	45.6	41.4	1304	1.440
Губაზეული-Хидистავი	337	1350	414	71	14.0	41.5	1307	0.441
Бахვისცალი-Бахმარო	33.4	2260	280	17	1.86	55.7	1754	0.056
Бахვისცალი-Квеდა-Бахვი	116	1480	342	43	5.76	49.6	1562	0.181



ახ. 2. ჩამონადენის მოდელის M და ფენის R დამოკიდებულება წყალშემკრების საშუალო სიმაღლეზე H , აგრეთვე წყლის ხარჯის Q დამოკიდებულება წყალშემკრების ართობზე F (წერტილებთან მოცემულია წყალშემკრების დახრილობის i საშუალო იშენელობები, ‰)

შემთხვევები, როდესაც ჰაერის საშუალო თერული ტემპერატურა მეტია - 2.0°C -ზე, საკმაოდ ხშირია.

ცხრ. 6-დან ხანს, რომ თოვლის საფარში წყლის მარაგის მომატება დეკემბერში სადგურ ბახმაროსათვის შეადგენს 200 მმ (366 - 166) 146 მმ ნალექების დროს იქვე, თოვლის საფარში წყლის მარაგის მატება იანვარში შეადგენს 206 მმ (572-366) 157 მმ ნალექების პირობებში ასეთი მდგომარეობა აღინიშნება სხვა შემთხვევებშიც, ანუ თოვლის საფარში წყლის მარაგის ნაზრდი მეტია, ვიდრე მოსული ნალექების რაოდენობა. როგორც ხანს, ეს შეიძლება აიხსნას თოვლის ქვეყნილ ზედაპირზე ატმოსფერულ ტენის კონდენსაციით ავლნიშნავთ, რომ ცნობები ნიადაგში ჰარბი წყლის მარაგის შესახებ მოსულ ნალექებთან შედარებით, რაც აიხსნება ნიადაგის საფარში ატმოსფერული ტენის დამატებითი კონდენსაციით, მოუკანაღია მრავალ სამოცნიერო წყაროში.

ამ ნაშრომებიდან გამოშინარეობს.

- წყლის ორთქლის კონდენსაცია ნიადაგის ფენაში დაიკვირვება რაიონებში, სადაც გაბატონებულია ნოტიო ზღვის ჰაერის მასების გავლენა;
- კონდენსაციის სინქრე ექრდება ქვეყნილი ზედაპირის სიღრმის (სისქის) ზრდის მიმართულებით, და აგრეთვე, ნიადაგის სიმკვრივის შემცირებით.

აღნიშნული კანონზომიერებები ანალოგიით შეიძლება გადაიტანოთ თოვლის საფარზე ამ დებულების დასამტკიცებლად მოვიყენოთ მაგალითი ცხრ 6-დან სადგურ ბახმაროსზე იანვარში, როგორც თუ აღნიშნული, თოვლის საფარში წყლის მარაგის ნაზრდი შეადგენს 206 მმ (572-366) 157 მმ ნალექებისა და 189 სმ თოვლის საფარის სიღრმის დროს, თებერვალში დაიკვირვებოდა შესაბამისად 235 მმ (807-572), 154 მმ და 242 სმ, ეი აღინიშნება თოვლის საფარის სისქის გაზრდა 53 სმ-ით (242-189). გაიზარდა კონდენსაციის შედეგად ტენის რაოდენობა - წყლის მარაგის მატება შეადგენს 29 მმ (235-206). რა თქმა უნდა გავლენის ახდენენ სხვა ფაქტორებიც, რაც კარგად ხანს ცხრ 6-ის მონაცემებიდან მაგარამ ასეთი მიახლოებითი შეფასებაც კი ადასტურებს ატმოსფერული ტენის კონდენსაციის არსებობს თოვლის საფარის ფენაში ის განსაკუთრებით შესამჩნევია თოვლის საფარისათვის, რომლის სიმაღლე არემატება 100 სმ

თოვლის საფარის ფენაში კონდენსირებული ატმოსფერული ტენის სიღრმის გაანგარიშებისათვის, აკებულია თოვლში წყლის მარაგის W დამოკიდებულება მის განმსაზღვრელ ფაქტორებზე სხვადასხვა ვარიანტებში, რომლებიც წარმოდგენილია ნახ.3-ზე ასეცებია:

- მკსიმალური თოვლდაროვების პერიოდში წყლის მარაგის დამოკიდებულება ნალექების ჯამზე ($\sum P_i$) იმ თვეებისათვის, როდესაც ჰაერის საშუალო ტემპერატურა ნაკლებია - 2.0°C , მოცემული W -სათვის შესაბამისი თოვლის საფარის სიმაღლის h -ის გათვალისწინებით (ნახ. 3(ა)).
- W დამოკიდებულება P და h -ის ჯამზე (ნახ. 3(ბ));
- W დამოკიდებულება შესაბამის ნალექებზე (P) თვეების მიხედვით, h -ის მნიშვნელობათა გათვალისწინებით (ნახ. 3(გ)).

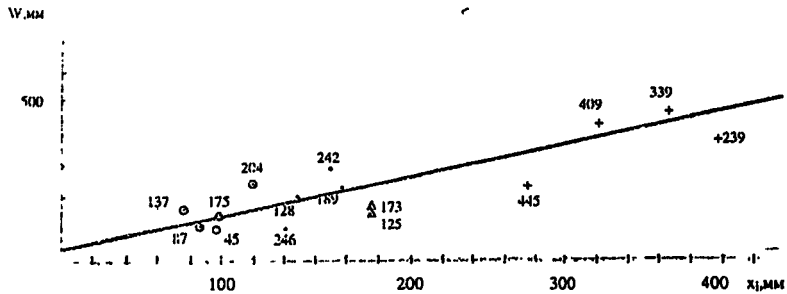
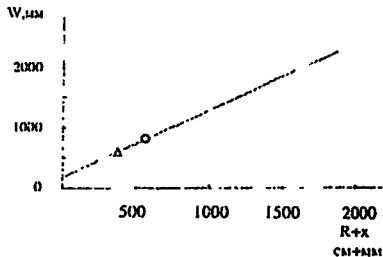
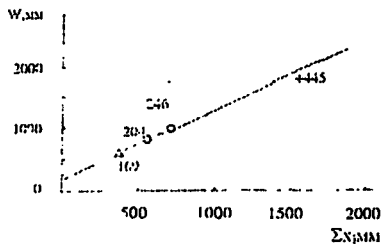
ყველა შემთხვევაში მიიღება, რომ W (საერთო და თვეების მიხედვით) იზრდება P და h -ის გაზრდით მათგან საუკეთესო აღმოჩნდა დამოკიდებულება $W = f(x+h)$, რაც გამოისახება ფორმულით:

$$W = 0.89(P+h) + 150.$$

ცხრილი 6. მონაცემები დეკალური თოვლაზომეტრის, შესაბამისი ნალექთა ჯამების, თოვლის საფარის სისქისა და ჰაერის ტემპერატურის შესახებ.

№	Местоания	Высота над ур.м.	Дата образования снежного покрова	Характеристика	Месяц:												конца периода
					X	XI	XII	I	II	III	IV						
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.					
				Запас воды W, мм	----	166	366	572	807	924	----	924					
				Осадки х, мм	----	172	146	157	154	136	----	593					
1.	Бахаро	1926	16/XI	Высота снега h, см	----	69	128	189	242	246	----	246					
				Температура воздуха, °С	----	1.2	-2.7	-5.2	-4.8	-2.3	----	-2.8					
				Запас воды W, мм	----	113	226	377	504	699	----	699					
				Осадки х, мм	----	102	92	81	104	119	----	498					
2.	Крестовый перевал	2395	8/XI	Высота снега h, см	----	45	87	137	175	204	----	204					
				Температура воздуха, °С	----	-4.6	-8.7	-11.4	-10.8	-7.2	----	-8.5					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	I агр. укл: хлебост	1644	I/ХII	Запас воды W, мм	---	65	169	314	571	558	---	558
				Осадки х, мм	---	151	164	174	156	---	348	
				Высота снега h, см	---	32	57	125	173	169	---	169
				Температура воздуха t° C	---	3.2	-0.8	-3.9	-3.6	-0.9	---	-1.2
4	Льбарте	1510	29/ХI	Запас воды W, мм	---	---	---	---	---	---	---	---
				Осадки х, мм	---	156	168	154	160	158	---	314
				Высота снега h, см	---	28	64	130	165	145	---	165
				Температура воздуха t° C	---	3.0	-1.1	-4.0	-3.8	0.8	---	-1.0
5	Ачинск	1880		Запас воды W, мм	---	234	685	1143	1578	1868	---	1868
				Осадки х, мм	---	344	406	390	358	322	---	1476
				Высота снега h, см	---	136	239	339	409	445	---	445
				Температура воздуха t° C	---	1.1	-2.7	-5.5	-5.5	-2.5	---	-3.0
6	Гулаурн	2194	22/ХI	Запас воды W, мм	---	---	---	---	---	---	---	---
				Осадки х, мм	105	99	90	79	95	116	---	380
				Высота снега h, см	11	21	57	85	117	189	---	189
				Температура воздуха t° C	4.0	-1.2	-5.3	-7.7	-7.7	-4.6	---	---
7	Арагац	3230	10/Х	Запас воды W, мм	75	176	232	35.3	487	574	673	673
				Осадки х, мм	74	92	70	80	88	102	138	(707)
				Высота снега h, см	17	48	66	87	104	134	152	577
				Температура воздуха t° C	-0.7	-6.2	-10.5	-12.3	-12.3	-10.2	-5.0	-8.2



ნახ. 3. თოვლის საფარში წყლის მარაგის (W) დამოკიდებულება შესაბამის ნალექისაგან (P) სხვადასხვა ვარიანტებში თოვლის საფარის სიმაღლის (h) გათვალისწინებით.

მიღებული აღნიშვნები: - მონაცემები სადგურ ბახმაროსათვის; ● - მონაცემები სადგურ ჯვრის უღელტეხილისათვის; Δ - მონაცემები სადგურ გაგრის ქედისათვის; + - მონაცემები სადგურ აჩიშოსათვის.

აქ P მთლიანად მშ-ში, ხოლო h - სმ-ში.

ნაღველების $\sum P_i$ გამოკლებით მივიღებთ ფორმულას მაქსიმალური თოვლდაგროვების პერიოდში თოვლის საფარის ფენაში კონდენსირებული ატმოსფერული ტენის ხიდიდის ΔW გამოსახანგარისშებლად

$$\Delta W = W - P = 0.89h - 0.11P + 150 \quad (13)$$

(13)-ის საფუძველზე ΔW გაანგარიშების ცდამიღების მნიშვნელობები, ცხრ.6-ის მონაცემებთან შედარებით, შეადგენს საშუალო - 10%, მინიმალური 2% (სადგურები ანიშხო, ჯერის უელსტეხილი).

კონდენსაციის გარდა თოვლის საფარში წყლის მარაგის მომატება შეიძლება გამოიწვიოს, აგრეთვე, ქარბუქის შედეგად გადმოტანილია თოვლი, მაგრამ ამის წვლილი ძალაზე მცირეა, რაც კარგად ჩანს ცხრ.7-დან [9].

კერძოდ, ქარბუქის შედეგად თოვლის გადატანის ხიდივე არ აღემატება 115 მ³/მ, რაც წყლის ფენაში გადაყვანით 10^4 მ³ თოვლაზომის ფართობზე და გატანილი თოვლის სიმკვრივის გათვალისწინებით - 0.45 გ/სმ³, შეადგენს 5.0-5.2 მმ. ეს ხიდივე არ არემატება თოვლის საფარში წყლის მარაგის საერთო ნაზრდის 15-30 %.

ნამონადენის ფორმირებისას თოვლის საფარის ფენაში ატმოსფერული ტენის კონდენსაციის უპირატესი როლი შეიძლება დადასტურდეს წყლის ბალანსის გაანგარიშებით მეტეოსადგურ ბახმაროსათვის. სადგურ ბახმაროს სიმაღლეზე (1926 მ), ნახ.2-ზე მოცემული მე-6 მრუდის თანახმად, ნამონადენი შეადგენს 1670 მმ; აორთქლება, გამოთვლილი (1) და (6) ფორმულებით, ტოლია 553 მმ (იხ ცხრ.4). მისასადაამე, ნაღველების რაოდენობა შეადგენს

$$P = h + E = 1670 + 553 = 2223 \text{ მმ.}$$

მეორეს მხრივ, ნაღველი შეიცავს თოვლის საფარის ფენაში კონდენსირებულ ტენს $\Delta W = 924 - 593 = 331$ მმ, ან (13) ფორმულის თანახმად - $\Delta W = 0.89 \cdot 246 - 0.11 \cdot 593 + 150 = 304$ მმ. სა იროა გაეითვალისწინოთ აგრეთვე, შესწორება ნაღველსომის წვენებაზე $\Delta P = P_g - P_e = 1869 - 1602 = 267$ მმ, სადაც P_g და P_e შესაბამისად ატმოსფერულ ნაღველების საშუალო წლიური ჯამების შესწორებული და დაკვირებული მნიშვნელობებია [6]- თანახმად. შედეგად ვღებულობდ:

$$P = P_e + \Delta W + \Delta P = 1602 + 304 + 267 = 2173 \text{ მმ.}$$

სხვაობა შეადგენ 50 მმ, ანუ 2.2%, რაც სავსებით მისაღებია პრაქტიკული გამოთვლებისათვის.

ანალოგიურად შეიძლება გამოვთვალოთ წყლის ბალანსი სადგურ ჯვარის უღელტეხილისათვის:

$$P_{\text{დ}} = 1603 \text{ მმ; } P_{\text{გ}} = 1733 \text{ მმ;}$$

სინოტივის დეფიციტი	$D = 1.4$ მმ.
ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა	$t = -0.2$ °C.
აორთქლება, ფორმულით (1),	$E_1 = 414$ მმ.
ფორმულით (2),	$E_2 = 376$ მმ.
აორთქლების საშუალო მნიშვნელობა	$E_{\text{საგ}} = 395$ მმ.

ცხრილი 7. ქარბუქის შედეგად გადატანილი თოვლის მოცულობა 'ხამორის განმეკულობაში' (18) თანახმად)

№	Характеристика	Метеостанция			
		Лесарა	Ашпხო	Гулаური	Араგაი ჩხოხოგორაი
1	2.	3.	4.	5.	6.
А. Исходные данные					
1.	Высота метеостанции Н, м	1610	1880	2199	3270
2.	Осадки:				
	наблюденные $\lambda_{наб}$, мм	1929	3242	1452	1065
	исправленные $\lambda_{исп}$, мм	2092	3682	1585	
3.	Температура воздуха среднегодов- ая $t^{\circ}\text{C}$.	5.8	3.7	2.1	-2.7
	Сумма положительных средне- месячных $\Sigma t^{\circ}\text{C}$	78.7	60.6	51.8	26.3
4.	Действие влажности воздуха ϕ , %	2.9			
5.	Высота снежного покрова h, см	165	438	189	152
Б. Расчетные характеристики					
6.	Испарение по				
	формуле (1) λ_{1} , мм	596	509	454	291
	формуле (6) λ_{2} , мм	580
	формуле (6) λ_{3} , мм	558	509	454	291
7.	Величина конденсации по форму- (13) ΔW , мм	262	384	276	221
8.	Осадки:				
	наблюденные $\lambda_{наб} + \Delta W$, мм	2191	3626	1728	1286
	исправленные $\lambda_{исп} + \Delta W$, мм	2354	4066	1861	
9.	Сток по валовому балансу Q, мм				
	$Q = \lambda_{наб} + \Delta W - z$	1603	3177	1274	1065
	$Q = \lambda_{исп} + \Delta W - z$	1766	3557	1407	
В. Проверка					
10.	Сток по методу				
	$h=f(H)$	1534/1716	2992	1186	777
	Ошибки: мм	69/50	125/565	38/221	288/..
	%	4.3/2.8	4.0/15.9	6.9/15.7	27.0/..

ნამონადენი სადგურის სიმაღლეზე (2400 მ ზღვის დონიდან), გასომეების და შესაბამისი გაანგარიშების მიხედვით, 1980 წლამდე, შეადგენს 47.0 ლ/წმ.კმ² ან 1481 მმ მაშხადამე წყლის ბალანსის მეთოდით გამოთვლილი ნალექების წლიური რაოდენობა ტოლია

$$P = h + E = 1481 + 395 = 1876 \text{ მმ}$$

მეორეს მხრივ, თოვლის საფარის ფენაში კონდენსირებული ატმოსფერული ტენის ხიდივე განხილული სადგურის პირობებში, ცხრ 6-ის და ფორმულა (13)-ის თანახმად, შეადგენს

$$\Delta W = 0.89 \times 204 + 0.11 \times 498 + 150 = 277 \text{ მმ,}$$

ხოლო წლიური ნალექების შესწორებული რაოდენობა $P_3 = 1733$ მმ მაშხადამე ნალექების საერთო რაოდენობა ტოლია $P = P_3 + \Delta W = 1733 + 277 = 2010$ მმ ამრიგად, სხვაობა შეადგენს 137 მმ, ანუ 7%, რაც აგრეთვე გასომეებისა და გამოთვლების სიზუსტის დასაშვებ ცდომილებათა ფარგლებშია. მაგრამ ცდომილება მეტია, ვიდრე სადგურ ბახმაროს შემთხვევაში ეს შეიძლება აიხსნას დასაველეთიდან ხმელეთის სიღრმეში გადაადგილების შედეგად კაერის მასებში ტენის შემცირებით ამაზე მოწმობენ მცირეთოვლიან რაიონებში შავი ზღვის სანაპიროდან სხვადასხვა მანძილებით დაშორებული, შესაბამისად მდინარეების ტეხურას, მზიმთას, არაგვისა და კასახის ზემო წელში განლაგებული მეტეოსადგურებისათვის - ლებარდე, ნიშხა, გუდაური და არაგაცი, ნამონადენის გამოთვლის შედეგები.

ყველა საჭირო საწყისი მონაცემი, აგრეთვე ნამონადენის გამოთვლისა და მის განსაზღვრაში დაშვებული ცდომილებათა შემოწმების შედეგები, მოყვანილია ცხრ 8-ში

ამ ცხრილის მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ ΔW გათვალისწინების გამო, ნამონადენის გამოთვლილი მახასიატებელი მიიღება უფრო მეტი, ვიდრე ფაქტიური მონაცემებიდან ნამონადენის ფენის წყალშემკრების საშუალო სიმაღლეზე დამოკიდებულების საფუძველზე განსაზღვრული სიდიდე. მათ შორის სხვაობა იზრდება შავი ზღვის სანაპიროდან პიდროლოგიური კვეთის დაშორებასთან ერთად. მაგალითად, სადგურისათვის არაგაცი, მაღალმთიანი, რომელიც მდებარეობს სწორ ხაზზე ზღვის სანაპიროდან 290 კმ-ის დაშორებით, ეს ცდომილება იზრდება 27%-მდე, ე.ი. ნამონადენის გამოთვლილი მნიშვნელობა მეტია ფაქტიურზემითითებული სიდიდით.

ამასთან ერთად, სადგურებისათვის, რომლებიც მდებარეობენ სანაპიროდან 60-70 კმ მანძილზე, ხოლო (კალკულ შემთხვევებში 200-240 კმ-ის დაშორებით (ჯერის უღელტეხილი, გუდაური), განსხვავება ნამონადენი გამოთვლილ და ფაქტიურ მონაცემებს შორის 7%-ზე ნაკლებია. ამრიგად, ჩატარებული შეფასებები მიუთითებენ, რომ წყალ-ბალანსურ გაანგარიშებებში კონდენსირებული ტენის გათვალისწინების მიზნით, საჭიროა ნალექმზომის ჩვენებებში შესწორებები შევიტანოთ.

მიღებული შედეგები ზოგადათ ხსნის თოვლის საფარში წყლის მარაგის დაკვირვებულ მატებას მოსულ ნალექებთან შედარებით უხვ თოვლიან რაიონებში თოვლის ფენაში ტენის კონდენსაციით. ამ მოკლების მრავალი მხარე უცნობი რჩება მაგალითად, დასადგენია როგორ იცვლება თოვლის საფარში ატმოსფერული

ტენის აკუმულაცია დღისით და ღამით, მოდრუბლულ და ნათელ დღეებში ი, წვიმაში და თოვანში, ნისლში და სხვა მეტეოპირობებში.

შენიშვნა ჩამონადენის გაანგარიშებისათვის შესაბამის სიმაღლეებზე:

- სადგურისათვის ღუბარდე - გამოყენებულია შემდეგი ქიდროკვეთების მონაცემები მდ. ღუბარდე - კურ. ღუბარდე და მდ. ტეხურა - ს. ნაქალაქევი, რომელთათვისაც ჩამონადენი შეადგენს შესაბამისად 1534 და 1830 მმ, ხოლო წყალშემკრებთა საშუალო სიმაღლეებია 2340 და 1160 მ.
- გუდაური - ქიდროკვეთების მონაცემები მდ თეთრი-არაგვი - ს მღვთა და მდ. თეთრი არაგვი - ს ფასანაური, რომელთათვისაც ჩამონადენი შეადგენს შესაბამისად 1572 და 1128 მმ, ხოლო წყალშემკრებთა საშუალო სიმაღლეებია 2620 და 2130 მ.
- არაგაცი მაღალმთიანი - ქიდროკვეთების მონაცემები მდ. მდ. კასახი - ს. აპარანი და მდ. გეხაროტის - ს. არაგაცი, რომელთათვისაც ჩამონადენი შეადგენს შესაბამისად 74 და 676 მმ, ხოლო მათი წყალშემკრებების საშუალო სიმაღლეებია 2330 და 3100 მ.
- აშინხო - ჩამონადენის რუკის თანახმად [5] სადგურის რაიონში გადის ჩამონადენის იზოხაზი 80-100 ლ/წმ.კმ², მაშასადამე ჩამონადენი შეიძლება მივიღოთ 95 ლ/წმ.კმ² რიგისა ანუ 2992 მმ.

ქიდრომეტეოროლოგიურ ქსელში დაკვირვებათა არსებული სისტემა არ იძლევა საშუალებას ამ პროცესების ზუსტი შეფასებისა. უფრო მეტად, გასული საუკუნის 90-იან წლებში შეწყვეტილი იყო დეკადური თოვლაზომებები. ამიტომ, დასმული ამოცანის საბოლოო გადაწყვეტისათვის საჭიროა აღდგეს რეგულარული დეკადური თოვლაზომებები და უნდა შესრულდეს სპეციალური ექსპერიმენტული გამოკვლევები

საზოგადოებრივი ლიტერატურა – REFERENCES

1. Будыко М.И. - Тепловой баланс земной поверхности Л., Гидрометеониздат, 1956.
2. Владимирова Л.В., Гигиенишвили Г.Н., Джавахишвили Л.М., Закарашвили Н.Н. - Водный баланс Кавказа и его географические закономерности. Тбилиси, "Мелницереба", 1991.
3. Константинов А.Р. - Испарение в природе. Л., Гидрометеониздат, 1968.
4. Прогноз гидрометеорологических условий Колхидской низменности после осушения. Л., Гидрометеониздат, 1983.
5. Сванидзе Г.Г., Цома В.Ш. и др. - Водные ресурсы Закавказья. Л., Гидрометеониздат, 1988.
6. Справочник по климату СССР. Вып. 14. Л., Гидрометеониздат, 1970.
7. Тюрк Л. Баланс почвенной влаги. Л., Гидрометеониздат, 1958.
8. Хмаладзе Г.Н. Нормы изменчивости годового стока. Ресурсы поверхностных вод СССР. Западное Закавказье. Том 9, вып. 1. Л., Гидрометеониздат, 1969.
9. Цома В.Ш. Снежные переносы, пульсация ледников в горах Кавказа и их последствия. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Л., Гидрометеониздат, 1983.

თავი 2. საქართველოს მდინარეთა ზოგიერთი აუზისათვის მიკროკლიმატის და ჩამონადენის საშუალოებრივი ცვლილებების შეფასება ემპირიული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე

2.1. აცივებისა და ღათობის ზონებში ტენზონის მდგენელების კლიმატურ ცვლილებათა შეფასება

ტენზონის (კაკლი სისტემა „ატმოსფერო-ქვეყნილი ზედაპირი“ მოიცავს წყლის ორთქლის გარდაქმნას შემდეგი სქემის მიხედვით ტენზონა-ღრუბლიანობა-ნალექები-აორთქლება-ჩამონადენი. რადგანაც ღრუბლიანობა, ნალექები და აორთქლება არსებითად დამოკიდებული არიან ატმოსფეროში ტემპერატურასა და სინოტივის რეჟიმზე, მათ ცვლილებას შეუძლია მნიშვნელოვანი გავლენა მოახდინოს ტენზონაზე ამიტომ, ინტერესს წარმოადგენს რეგიონალური კლიმატის ცვლილების გავლენის შეფასება წყლის ბალანსზე და მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირებაზე.

ქვემოთ განხილულია ტემპერატურისა და სინოტივის ველის საშუალოებრივი ცვლილების თავისებურებათა გავლენის გამოკვლევა ტენზონის პროცესებზე საქართველოს ორ ტიპურ წყალშემკრებ აუზში, რომლებიც განლაგებულია შესაბამისად აცივების (მთ.სუფსა, დასავლეთი საქართველო) და ღათობის (მდ. ხრამი, აღმოსავლეთ საქართველო) ზონებში.

ტენზონის მდგენელების ცვლილებების შესაფასებლად გამოყენებული იყო იმ სიდიდეების ძირითადი პერიოდული დაკვირვებათა ფაქტობრივი რიგები, რომლებიც განლაგებულია აღნიშნულ წყალშემკრებ ტერიტორიებზე დაკვირვებათა პუნქტების საერთო რაოდენობა თითოეულ აუზში დაახლოებით 10 რიგისა იყო. მაგარამ, მიკროკლიმატის ცვლილების შეფასება ნატარდა შედარებით გრძელრიგის დაკვირვებათა მეტეოსადუგურებისათვის - ანასუელი, აცანა, ბახმარო, დაბლა-ციხე და შრომა - მდინარე სუფსას აუზში. მეტეოლოგიკების ცვლილების სიდიდეები დადგენილი იყო დაკვირვებათა რიგების აპროქსიმაციის საფუძველზე. კერძოდ, ჰაერის ტემპერატურეს, პარციალური წნევის და შეფარდებითი სინოტივის ცვლილებების გასაანგარიშებლად გამოყენებული იყო საშუალოთვიური მონაცემები 90 წლიანი პერიოდისათვის (1906-1995), ხოლო ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურებისათვის - 56 წლიანი ემპირიული რიგები (1936 - 1991). აღმოჩნდა რომ ჰაერის ტემპერატურეს ყოველწლიურ საშუალო შემცირებამ მდ. სუფსას აუზში შეადგინა 0.0022 C/წ, ხოლო ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის ყოველწლიურ შემცირებამ 0.033 C/წ. მდ. ხრამის აუზში მდ. ხრამის აუზში ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება უფრო დიდი სიჩაქრით მიმდინარეობდა, საშუალოწლიურმა ნაზრდმა აქ შეადგინა 0.0058 C/წ, ხოლო ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის საშუალო ნაზრდმა შეადგინა 0.0034 C/წ. ატმოსფეროს ტენზონის ცვლილება ორივე აუზში თანაბარია და დაიკვირვება ჰაერის პარციალური წნევის გაზრდა საშუალოდ 0.0032-0.0034 კპა/წ., ხოლო შეფარდებითი სინოტივისა - 0.01-0.02 %/წ.

როგორც ზემოდ იყო აღნიშნული, ძირითადი მეტეოლოგიური ელემენტების ცვლილების შესაფასებლად, რომლებიც ახასიათებენ რეგიონული კლიმატის რეჟიმს და მის ცვლილებას, გამოყენებული იყო 90 და 56 წლიანი პერიოდები. ამიტომ, საჭირო იყო გაგვერკვია, თუ როგორ შეესაბამება კლიმატის ცვლილებას

შედარებით ხანმოკლე პერიოდები კლიმატის გრემქმეპერიოდთან ანომალები დაკორეგებთან ორი პუნქტისათვის - ანასეული და დმანისი, ხამი პერიოდისათვის 1906-1995, 1936-1991 და 1954-1991წ. ანომალთა შეფასებამ აჩვენა, რომ ტემპერატურეს ვეილს (ველილეებამ ეველა პერიოდში ორივე პუნქტისათვის მიმდინარეობს იდენტურად. აგრამ, ბოლო პერიოდში, ველილეების ხიდიუ მიტულეობს მდ. სუფსას აუზში - აცეების, მდ. ხრამის აუზში კ - დათბობის მიმართულეობთ.

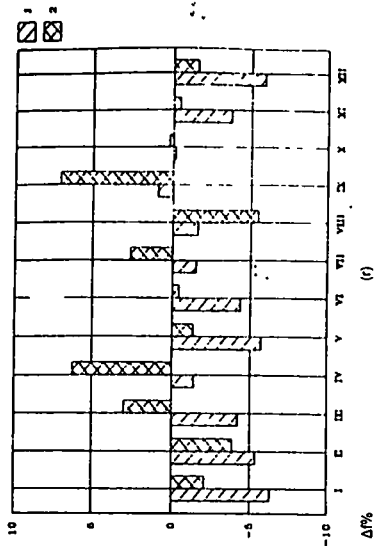
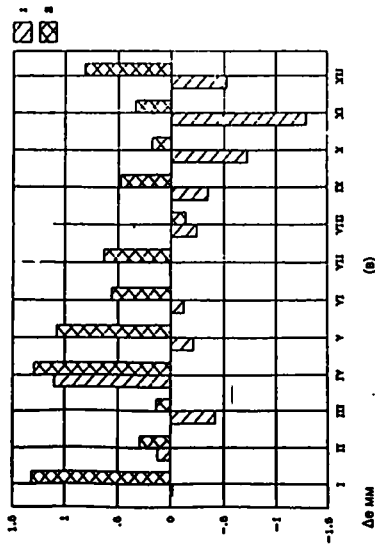
მეტად თავისებურად მიმდინარეობს განხილული მეტეოლოგიკური ველილეობა (კალკულ თეების განმავლობაში ნახ I წარმოდგენილია ამ ველილეობათა ქისტოგრაფები ნახ I (ა) მონაცემების თანახმად აცეების პროცესები მდ. სუფსის აუზის ტერიტორიაზე განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ნოემბერში და ხასიათდება სიდიდით - 0.013 C/წ. მდ. ხრამის აუზში დათბობა აღინიშნება ეველა თეეში, განსაკუთრებით იანვარში, აპრილისა და მაისში, როდესაც პავრის ტემპერატურის საშუალო წლოური ზრდა აღემატება სიდიდეს 0.01 C/წ განსაკუთრებით აღსანიშნავია დათბობის მოვლენა აპრილში, რომელიც დამახასიათებელია მოელი სუბტროპიკის ტერიტორიისათვის ამ თეეში ტემპერატურის საშუალო წლოური ზრდა, როგორც დასავლეთით, ისე აღმოსავლეთ სუბტროპიკის ალქვის მაქსიმუმს.

ქვევინილი ზედაპირის ტემპერატურის (ველილეების სურათი კარდინალურად განსხვავდება პავრის ტემპერატურის (ველილეების განწილეებისაგან (იხ ნახ I (ბ.)) მდ. სუფსას აუზში მოელი წლის განმავლობაში და, განსაკუთრებით ცივ პერიოდში, დიკორეგება ნიადაგის ზედაპირული ფენის ტემპერატურეს მვეთორი შემცირება სიდიდემდე 0.06 C/წ. (იანვარი, მაისი და დეკემბერი). მდ. ხრამის აუზში აგრეთვე აღინიშნება ნიადაგის გაცეობა, გარდა მარტისა, აპრილისა, იელისის და სექტემბრის თეეებისა. მაგრამ აღნიშნულ თეეებში დიდი დადებითი ანომალიები, განსაკუთრებით აპრილში (0.063 C/წ) და სექტემბერში (0.071 C/წ), განაპირობებენ ქვევინილი ზედაპირის ტემპერატურის ველში საერთო საშუალო წლოური დადებით ტენდენციეს

ნახ. I (გ) და I (დ) თანახმად, რომლებზედაც წარმოდგენილია წელის ორთქლის პარციალური წნევის და შეფარდებითი სინოტივის ველილეობები, საშუალოთეური ანომალიები დადებითა მოელი წლის განმავლობაში, მისის გარდა. ამ თეეში აღინიშნება წელის ორთქლის პარციალური წნევის შემცირება ორივე აუზში. სინოტივის ველის დადებითი ტენდენცია განსაკუთრებით გამოკვეთილია იელის-აცეების აუზში და მდ. ხრამის აუზში შეადგენს სიდიდეების 0.01 კპა და 0.06%/წ-მდე

ტენბრუნვის მახასიათებლების - ნალექებისა და ჩამონადენის ველილეობების შესწავლა ნატარდა: ა) მდ. სუფსას აუზში 4 მეტეოპუნქტის მონაცემებით - ბახმარო, ნოხატაური, ხიდისთავი, ანასეული და 4 პიდრომეტეოროლოგიური საგუშაგოსათვის - ბახმარო, ნოხატაური, ხიდისთავი, ქვედა-ბახვი; ბ) მდ. სრამის აუზში - ასევე 4 მეტეოპუნქტის - ბოლნისი, დმანისი, წალკა სამწვერისი და 4 პიდროლოგიური საგუშაგოს - ხაჩწვერისი, დაგეთხაჩინი, ედიკლისა და ბუქაჩის მონაცემებით.

ნალექებისა და ჩამონადენის დროითი რიგები შეესაბამება 4 წლიან პერიოდს 1941 - 1987 წ.წ. ამ რიგების გამოტოვებული ელემენტები აღდგენილი იყო ნალექების და ჩამონადენის კორელაციური ველილეით შემთხვევითი ფუნქციის ბუნებრივი ორთოგონალურ ვექტორებად დაშლის მეთოდის გამოყენებით [1,3,4]. კორელაციის კოეფიციენტი ნალექების წლოური ნორმებს შორის მდ. სუფსას აუზში განლაგებული სადგურებისათვის შეადგენს 0.55-0.86, ხოლო მდ. ხრამის აუზის

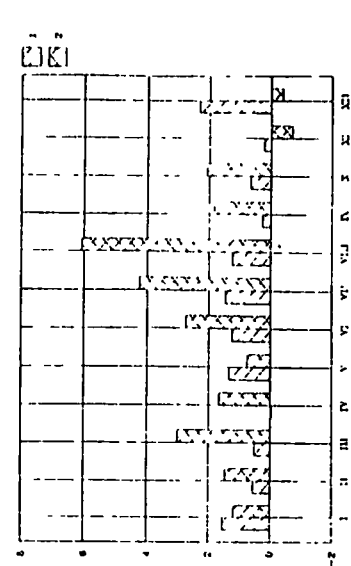
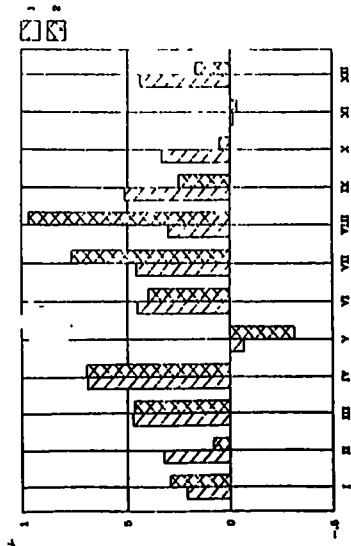


Δp mm

(ა)

Δp%

(ბ)



ნახ. 1. პეგრის ტემპერატურის (ა), ნადავის ზედაპირის ტემპერატურის (ბ), წყლის ოროქლის პარციალური წნევის (გ) და შუგარდებითი სინოტივის (დ) საშუალო თვიური ანომალიები მდ. სუქხას (1) და მდ. ხრამის (2) აუზებში

პუნქტებისათვის მერყეობს ინკერვალში 0.61-0.85 კორელაციის კოეფიციენტი ჩამონადენის საშუალოწლიურ ხიდილებს შორის მდ. სუფსას აუზისათვის მერყეობს საზღვრებში 0.31-0.53. მდ. ხრამის აუზისათვის 0.30-0.72 ფარგლებში. ნალექების რიგებში გამოტოვებული მნიშვნელობების აღდგენის სიზუსტემ შეადგინა 70-80%, ხოლო ჩამონადენის რიგებში 60-70%.

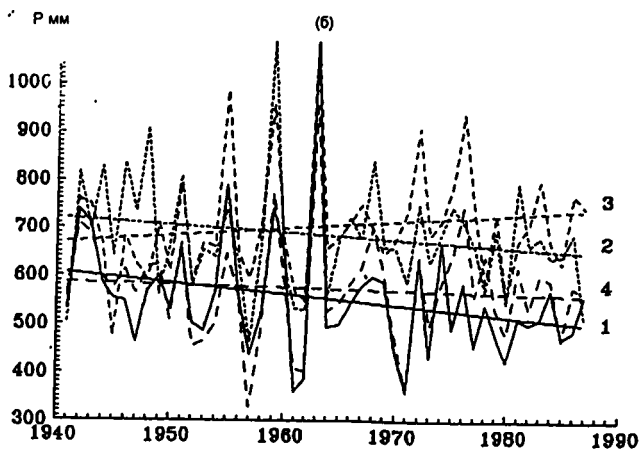
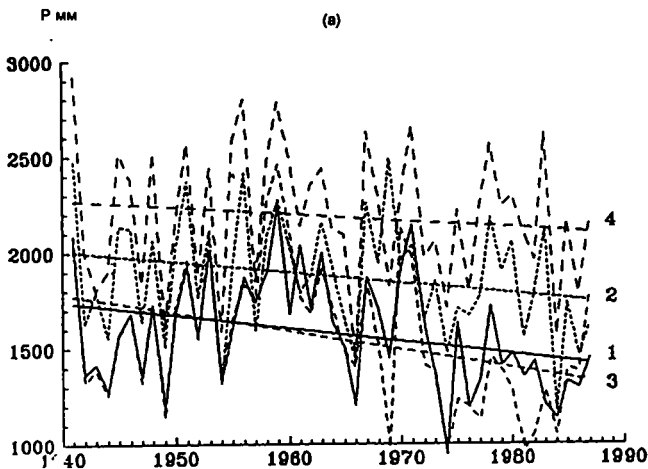
ნალექებისა და ჩამონადენის ცვლილება პერიოდში 1941-1987წწ. ისევე, როგორც ტემპერატურისა და სინოტივის ხიდილებებისათვის, აპროქსირებული იყო წრფივი კანონით, რომლის ემპირიული კოეფიციენტები განისაზღვრებოდა შემცირეს კვადრატთა მეთოდით ნახ. 2 და 3-ზე წარმოდგენილია, შესაბამისად, ნალექებისა და ჩამონადენის მრავალწლიური ცვლილებები და მათი წრფივი ტრენდები. მდ. სუფსას აუზში აღმოსაფერვლად ნალექები დაახლოებით თანაბრად მცირდება მთელ ტერიტორიაზე 4-10 მმ/წ ხიდილით. რაც შეადგენს ნალექების წლიურ ჯამს 0.2-0.6% წელიწადში. 47 წლის განმავლობაში ნალექების მაქსიმალური შემცირება აუზში აღინიშნებოდა სადგურ ხიდისათვის - 450მმ, ხოლო მინიმალური - ანასუელში - 170მმ ამრიგად, მდ. სუფსასში აცივებას თან ახლდა ნალექების მნიშვნელოვანი შემცირება წყალშემკრებზე

ნალექების ცვლილება მდ. ხრამის აუზში ატარებს არაერთგვაროვან ხასიათს და მიმდინარეობს ნაკლებად ინტენსიურად, ვიდრე მდ. სუფსის აუზში. უზის ქვედა და შუა ნაწილში არჩინსულა ნალექების შემცირება 0.5-0.2 მმ/წ (0.1-0.4% წლიური ნორმისა წელიწადში). აუზის ზემო წელში ნალექების ცვლილების ტენდენცია იცვლის ნიშანს და ამ 47 წლის განმავლობაში ნალექების ნაზრდი შეადგენს 70მმ და მეტს (0.2%/წ). ტერიტორიული ვასაშუალოების შემთხვევაში ნალექების ცვლილება წყალშემკრებზე უმნიშვნელოა (-0.68მმ/წ ან -0.1%/წ).

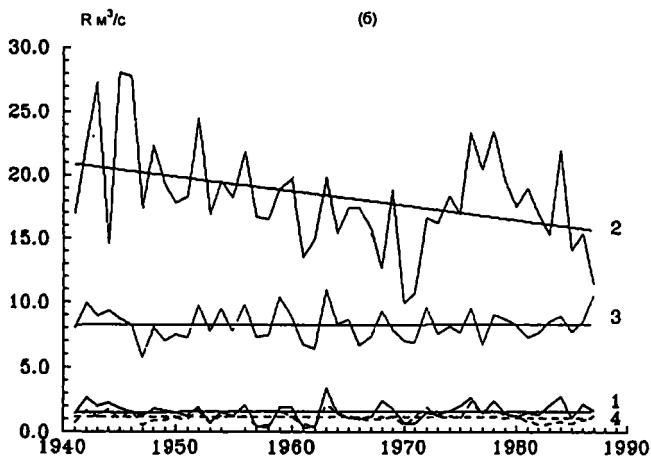
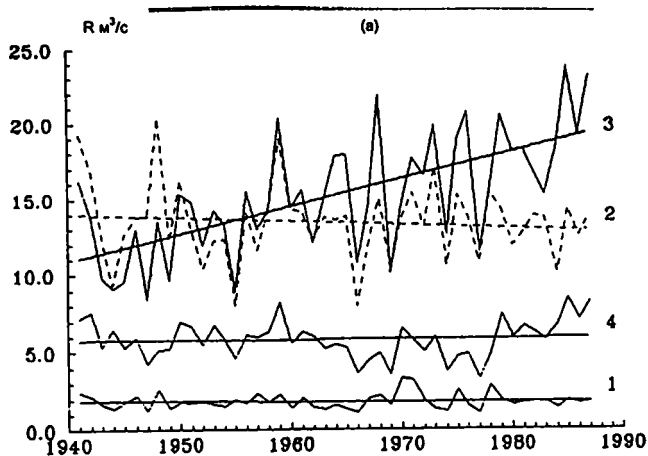
მდ. სუფსას აუზში უცვლელი რჩება ჩამონადენი მის ზედა (ბახმარო) და შუა (ქვედა ბახვი) ნაწილში, ასევე უმნიშვნელო შემცირება ქვედა ნაწილში (ჩოხატაური - 0.001 მმ/წ წელი ან -0.1% ნორმისგან წელიწადში) აბსოლუტურად არ შეესაბამება ხიდისთავში ჰიდროლოგიური კვების მონაცემებს, სადაც აღინიშნულია ჩამონადენის საკმაოდ მნიშვნელოვანი ზრდა 0.2 მმ/წ წელი ანუ დაახლოებით 1% ნორმისა წელიწადში (წელიწადში). ეს ფაქტი გასაკვირია მითუმეტეს, რომ პუნქტები ჩოხატაური, ხიდისთავი და ქვედა ბახვი, რომლებიც მდებარეობენ ვაკე ადგილზე, შედარებით ახლოს არიან ერთმანეთთან განლაგებულნი თუნდაც, რომ გამოვრიცხოთ ანალიზიდან ხიდისთავის მონაცემები, უცვლელი ჩამონადენი მდ.სუფსას აუზში მაინც შეუსაბამისობაშია ნალექების მნიშვნელოვან შემცირებასთან წყალშემკრებზე.

მდ. ხრამის აუზში ჩამონადენი აგრეთვე არ იცვლება, მისი რამდენადმე შემცირება აღინიშნება მხოლოდ საგუშაგო დაგუთხანინის მონაცემებით და შეადგენს -0.183/წ წელიწადში ანუ -0.6% ნორმისა წელიწადში. ამ შემთხვევაში მუდმივი ჩამონადენი აუზში ძირითადად შეესაბამება ნალექების უცვლელ ჯამს წყალშემკრებზე.

შესრულებული იყო მცდელობა განგვესაზღვრა კავშირები ნალექებსა და ჩამონადენს შორის თითოეულ საკვლევე აუზში. ამისათვის შერჩეული იყო პუნქტები ჩოხატაური (მდ. სუფსა) და საიწვერისი (მდ.ხრამი), რომლისთვისაც შეგროვებული იყო დაკვირვებათა შედარებით სრული მონაცემები ნალექებისა და ჩამონადენის შესახებ 1941-1987წ.წ. პერიოდისათვის. სტატისტიკური ანალიზი ჩატარდა ელემენტების ვასაშუალოებული მნიშვნელობისათვის 4 დროითი ინტერვალისათვის 1941-1952, 1953-1964, 1965-1976 და 1977-1987წ.წ. ხშირ შემთხვევებში აღინიშნულია სინქრონულობის დარღვევა მდ. სუფსას აუზისათვის. ორელაციის კოეფიციენტმა შეადგინა ჩოხატაურისათვის $r=0.1$ საიწვერისისათვის $r=0.6-0.7$.



ნახ. 2 ნალექების მრავალწლიური რევეალობა და წრფივი ტრენდები მდ.სუფსას აუზში (ა) - 1. ბახმარო, 2. ჩოხატაური, 3. ხიდისკარი, 4. ანასეული მდ. ხრამის აუზში (ბ) - 1. ბოლნისი, 2. დმანისი, 3. ვალკა, 4. სამწვერისი.



ნახ. 3 ჩამონადენის მრავალწლიური რყევადობა და წრფივი ტრენდები: მდ. სუფსას აუზში - 1. ბახმარო, 2. ჩობატაური, 3. ხიდისკარი, 4. ქვედაბაზვი მდ. სრამის აუზში - 1. სამწვერისი, 2. დავეთხანი, 3. უდიკლია, 4. ბეუკჩაი

ანალიტიკური კავშირის დახადგენად ნაღვექება და ჩამონადენს შორის შედგენილი იყო მრავალრიცხოვანი წვეილები ნაღვექების თვიური ჯამებისა და შესაბამისი საშუალო თვიური ჩამონადენის სიდიდეებს შორის. დაკვირვებათა თითოეული პუნქტისათვის წვეილოა საერთო რიცხემა შეადგინა 564, რომლეუთაგანაც შედგა 12 ქვესიმრავლე ნაღვექების ზრდის ნიშნის მიხედვით ნახ4-ზე მოცემულია გამოთვლების შედეგები გრაფიკულ დამოკიდებულებათა სახით ნაღვექების თვიურ მნიშვნელობათა და შესაბამის თვიურ ჩამონადენს შორის ს დამოკიდებულებები აპროკსიმირებული იყო შემდეგი ტიპის ანალიტიკური გამოსახულებებით

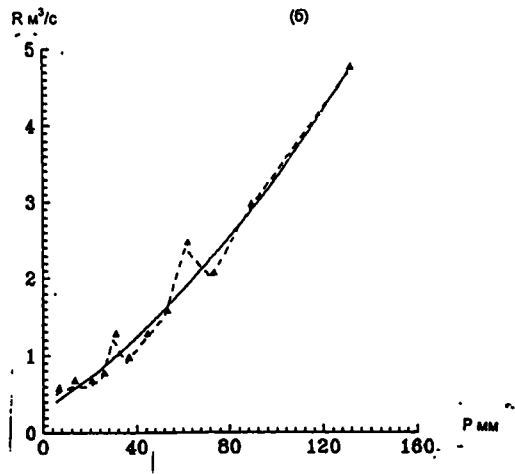
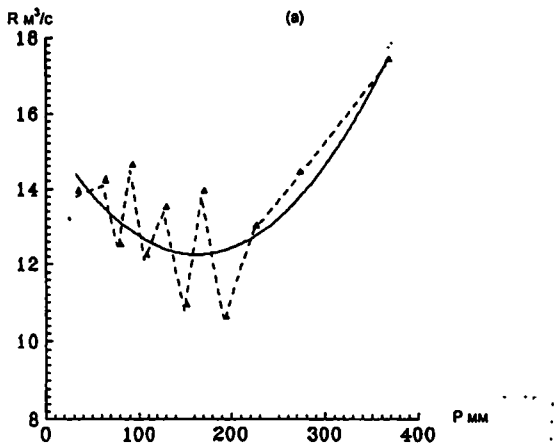
$$R=A+BP+CP^2,$$

სადაც, P და R შესაბამისად, ნაღვექები (მმ) და ჩამონადენია (მწ/წ), ხოლო A, B და C - ემპირული კოეფიციენტები, რისელთა რიცხობრივი მნიშვნელობები გამოთვლილი იყო უმცირეს კვადრატთა მეთოდით. აღნიშნული პუნქტებისათვის კოეფიციენტები უდრის:

დაკვირვებათა პუნქტები \ კოეფიციენტი	A	B	C
ნოხატაური	1557	-0.0406	0.00012
სამწვერისი	0.30	0.0190	0.00011

ამრიგად, ემპირული მონაცემების მიხედვით ძალზე გართულებულია მიკროკლიმატისა და წყალშემკრეზე ჩამონადენის განხილული მახასიათებლების საუკუნოვანი ცვლილებათა შორის ურთიერთკავშირების დადგენა. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს გაზომვათა ცდომილებები და შეცდომები, მიკროკლიმატის და ჩამონადენის საუკუნოვანი ცვლილებების მცირე სიდიდე, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში ელემენტის ბუნებრივ ცდომილებაზე ნაკლებია.

ამიტომ ეს ცვლილებების სტატისტიკურად უნდა იქნას შეფასებული ნიშნადობის მოცემულ დონეზე. ელემენტების საუკუნოვანი ცვლილებებს შორის კავშირების დადგენის ამოცანის გადაწყვეტისათვის კი უნდა გამოყენებულქნას წყალშემკრებზე ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელი.



ნახ. 4. საშუალო თვიური ჩამონადენის დამოკიდებულება ნალექების თვიურ ჯამზე ჩოხატაურში 9ა) და სამწვერისში (ბ).

2.2. ზოგიერთ მდინარეთა წყალშემკრებისათვის წყლის ბალანსის კომპონენტების კლიმატური ცვლილებებისა და მათი ურთიერთ კავშირის გამოკვევა

მდინარეების ჩამონადენზე კლიმატურ ცვლილებათა გავლენის შეფასებისათვის, განსაკუთრებით გავალკან რაიონებისათვის, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება წყალშემკრების ისეთ პიდრომეკოროლოგიურ მახასიათებლებს შორის კავშირის დადგენას, როგორცაა პაერის (კემპერატურა (t), ნალექები(x) და ჩამონადენი(Q) როგორც ცნობილია, ისინი მთიან რეგიონებში იკვლებიან ადგილის სიმაღლის მიხედვით (H) და მათ ცვალებადობას ხშირად გამოხატავენ ფორმულებით

$$t = f_1(H), \quad x = f_2(H) \quad \text{და} \quad Q = f_3(H) \quad (1)$$

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)-სა, x და Q წარმოვადგინოთ, როგორც ტემპერატურის ფუნქციები:

$$x = f_2[f_1^{-1}(t)] = \varphi_1(t) \quad \text{და} \quad Q = f_3[f_1^{-1}(t)] = \varphi_2(t) \quad (2)$$

ასეთი სახის დამოკიდებულებებს დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვთ, რადგან, როგორც წესი, უფრო მეტი ინფორმაცია გავაჩინია სწორედ ტემპერატურაზე. მისი რაოდენობრივი მახასიათებლები აღდგენილია დედამიწის გეოლოგიური განვითარების ბოლო 570 მლნ წლის პერიოდისათვის [1]. მათი ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ მზის რადიაციის 1%-ით გადიდება ან დედამიწის ზედაპირის ალბედოს შემცირება 0.01-ით იწვევს ატმოსფეროს ქვედა ფენებში პაერის ტემპერატურის მატებას შესაბამისად 1.5 და 2.0მ-ით. ასევე დადგენილია, მიმდინარე საუკუნის ბოლოსათვის პაერის ტემპერატურამ გლობალური მასშტაბით შეიძლება მოიმატოს 5-70მ-ით. ამ შემთხვევაში, ქართველ კლიმატოლოგების მტკიცებით, დათბობის შედეგად საქართველო მოქცეული იქნება ტემპერატურის 1.5 - 2.0მ-ით მატების ზონაში. ამიტომ, მეტად მნიშვნელოვანია საქართველოს ტერიტორიისათვის, ხ და ტ პარამეტრების ცვლილებისა და მათი ურთიერთდამოკიდებულების ანალიზის ჩატარება.

ამისათვის განვიხილავთ იქნა 18 მდინარის წყალშემკრები აუზი, რომლებიც მდებარეობენ სხვადასხვა ფისიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში. მათ შორის არიან მდინარეები, რომლებიც იმყოფებიან ჩამონადენის ძლიერი დეფიციტის (მდინარეები ბოლნისი, შულავერი) და ძლიერი სიჭარბის (დასავლეთ საქართველოს მდინარეები) ზონებში. ასევე, მათ შორის არის მდინარეები, რომელთა ჩამონადენი გაძლიერებულია მყინვარული წყლებით (მდინარეები ენგური, რიონი) და მდინარეები, რომელთა დიდი ნაწილი ტრანზიტულად გაედინება ჩამონადენის დეფიციტის ზონაში (მდ.მტკვარი). გარდა ამისა, მდინარეები ძლიერ განსხვავდებიან წყალშემკრები აუზის ფართობით, რომელიც მერყეობს 41 კმ²-დან 21100 კმ²-მდე (მდ.მტკვარი-ქ.თბილისი), ხოლო მათი საშუალო სიმაღლეები მერყეობენ 880 მ-დან

(მდინარეებში ჩაქვის\სკალი-ს.ხალა და ნატანების-ს.ნატანები) 2320 მ-დე (მდენგური-ს.ხაიში) მათი წყალშემკრები აუზების ფარგლებში მდებარე კიდრომეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემების ერთიერთშედარების მიზნით გამოთვლილი იქნა x , Q და t ნორმებიდან გადახრები.

$$K_x = x / x_n, K_Q = Q / Q_n \text{ და } K_t = (t, -t_n), \quad (3)$$

საშუალო გადახრების შეფასებისათვის

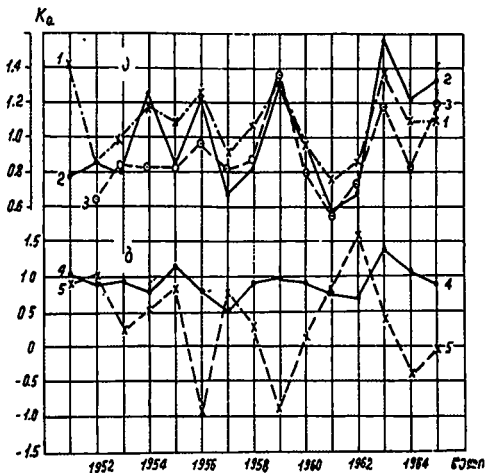
$$\bar{K}_x = \frac{\sum K_x}{n}, \bar{K}_Q = \frac{\sum K_Q}{n} \text{ და } \bar{K}_t = \frac{\sum t_i - \sum t_n}{n}, \quad (4)$$

სადაც K_x, K_t და K_Q შესაბამისად ნალექების, ტემპერატურისა და ჩამონადენის გადახრებია ნორმებიდან, x, Q და t - მოცემული წლის ნალექები, ჩამონადენი და ტემპერატურაა, ხოლო x_n, Q_n და t_n - ნალექების, ჩამონადენისა და პერის ტემპერატურის ნორმებია.

ანალიზის საფუძვლად დაედო 1951-1965 წლების კიდრომეტეოროლოგიური მონაცემები, რომლებიც გამოქვეყნებულია ცნობარებში. უფრო გვიანდელი 20-25 წლიანი პერიოდის შესაბამისი მასალების გამოყენების შედეგად ნატარდა გამოვლინებულ კანონზომიერებათა ობიექტურობის შეფასება.

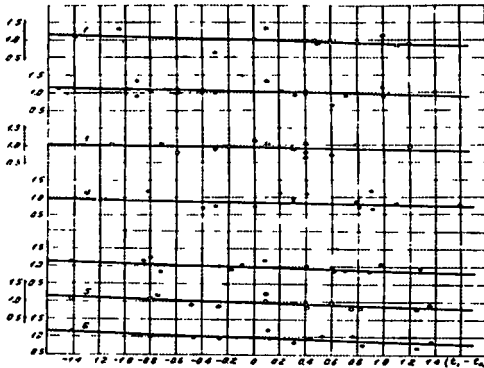
გამოთვლებმა გვიჩვენეს, რომ გადახრები სხვადასხვა სიდიდისა და განსხვავებული ხასიათისაა. ეს კარგად ჩანს მეზობლად მდებარე პატარა მდინარეების სტორი-ს.დენუსურის (ფართობი 2030 კმ²), ინწობა-ს.საბუეს (414 კმ²) და ჩელთი-ს.შილდას (72.2 კმ²) ჩამონადენის ნორმებიდან გადახრის დინამიკიდან, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.1(ა)-ზე. დინამიკა თითქმის ერთნაირია, მაგრამ გადახრები, როგორც წესი, დიდად განსხვავდებიან ერთიმეორისაგან. მაგალითად, 1963 წელს მდ. ჩელთი-ს.შილდაში ჩამონადენის გადახრა ნორმიდან შეადგენდა 1.56. მაშინ როდესაც მის გვერდით მდებარე მდ.ინწობა-ს.საბუესთან იგი ტოლი იყო 1.19, ან კიდევ 1964 წელს, როდესაც ჩამონადენის გადახრები შეადგენდნენ სიდიდეებს შესაბამისად ნორმაზე მეტს (1.24) ან ნორმაზე ნაკლებს (0.83). კიდევ უფრო რთულია x, t და Q -ს ნორმებიდან გადახრის დინამიკა, რაც კარგად ჩანს ნახ.1(ბ)-დან. ნალექებისა და ჩამონადენის ნორმიდან გადახრის ცვლილება თითქმის ერთიმეორეს ემთხვევა, ხოლო საპირისპირო ხასიათი აქვს ტემპერატურის ნორმიდან გადახრის დინამიკას. მაგალითად, 1964 წელს ტემპერატურის ნორმიდან გადახრა შეადგენდა -0.4°C , ნალექები და ჩამონადენი ნორმებზე მეტი იყო მდინარეებზე სტორზე და შილდაზე, სადაც ისინი შეადგენდნენ ნორმების 1.10 და 1.22. მაგრამ, ხშირია შემთხვევებიც, როდესაც გადახრების დინამიკა ერთიმეორეს ეთანხმება, როგორც ამას ჰქონდა ადგილი 1963-1965 წლებში. ამრიგად, ტემპერატურის მატებას შეიძლება მოჰყვეს ნალექებისა და ჩამონადენის ზრდა ან პირიქით. არის შემთხვევებიც, როცა ადგილი აქვს ტემპერატურისა და ნალექების მატებას, ჩამონადენი კი მცირდება (1955 წ.) შეიძლება შევინშნოთ სხვა განსხვავების მრავალი დეტალიც, რაც გამოწვეულია ჩამონადენზე მიკროფაქტორების სხვადასხვანაირი გავლენით, რომელთა გათვალისწინება დიდ სირთულეს წარმოადგენს. მაგრამ, არის შემთხვევები, როდესაც შესაძლებელი ხდება ნალექების, ჩამონა-

დენისა და ტემპერატურის ურთიერთდასოკიდებულების გამოვლენა მაგალითად, ნახ.2-ზე წარმოდგენილია ნალექების ნორმიდან გადახრის დამოკიდებულება ტემპერატურის ნორმიდან გადახრაზე ამბროლაურის (მრუდი 1), ონის (მრუდი 2), შოვის (მრუდი 3) და მამისინის უღელტეხილის (მრუდი 4) მეტეოროლოგიურ სადგურებისათვის. აშკარად ჩანს, რომ ტემპერატურის მატებისას მცირდება ნალექები და ჩამონადენი (მდ.რიონი - სანი, მრუდი 5 და 6). მაგრამ, წერტილთა გაფანტვა შედარებით დიდია (კორელაციის კოეფიციენტი შეადგენს 0.70-0.75) უკეთესი შედეგი ექნება გადახრების გასაშუალოებით, რაც კარგად ჩანს მრუდი 6-დან. ამას ადასტურებს, აგრეთვე, მდ.რიონი-საღაპანას ჰიდროლოგიური საგუშაგოს



ნახ.1 მდინარეების სტორი-ს.ღვწურის (მრუდი 1), ჩელთი-ს.შილდას (2) და ინწობა-ს.საბუეს (3) ჩამონადენის ნორმიდან გადახრის დინამიკა, ასევე ნალექებისა (4) და ტემპერატურის (5) ნორმიდან გადახრების ცვლილება.

წყალშემკრებ აუზისათვის წლიური ჩამონადენის ნორმიდან გადახრის (Q/Q_0) დამოკიდებულება პაერის ტემპერატურის ნორმიდან საშუალო გადახრაზე ($t_1 - t_0$) (მრუდი 7), დამაკმაყოფილებელი კორელაციური კავშირით. ასეთი კავშირის არსებობა შედარებით დიდი ფართობის მქონე წყალშემკრებისათვის აიხსნება იმით, რომ თვით ჩამონადენი წარმოადგენს აუზში მიმდინარე ყველა ფაქტორების ჩამონადენზე კომპლექსური მოქმედების შედეგს. ასევე მჭიდრო ხასიათის აღმოჩნდნენ კავშირები ანალიზისათვის აღებული სხვა მდინარეების მახასიათებლებისათვისაც.



ნახ.2. წლიური ატმოსფერული ნალექებისა (x_t/x_0) და ჩამოდენის (Q_t/Q_0) ნორმიდან გადახრების დამოკიდებულება ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურების ნორმიდან გადახრაზე ($t_1 - t_0$): 1-ამბროლაური, 2-ონი, 3-შოვი, 4-მამისონის უღელტეხილი, 5 და 6-მდ.რიონი-ს.ონი, 7-მდ.რიონი-ს.ალპანა.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე მიღებული წრფივი დამოკიდებულებები შეგვიძლია წარმოვადგინოდ შემდეგი სახით

$$Q_t / Q_0 = b_1 - a_1(t - t_0), \text{ ასევე } x_t / x_0 = b_2 - a_2(t - t_0) \quad (5)$$

$$Q_t = \dot{Q}_0 [b_1 - a_1(t - t_0)] \quad \text{აქედან} \quad x_t = x_0 [b_2 - a_2(t - t_0)] \quad (6)$$

$$K_Q = \psi_1(K_t), \quad K_x = \psi_2(K_t)$$

სადაც (a_1, a_2, b_1, b_2), K_Q და K_x შორის გამოვლენილ წრფივ დამოკიდებულებათა (7) რიცხვითი კოეფიციენტებია. მათი მნიშვნელობები 18 მდინარისათვის მოყვანილია ცხრ.1-ში.

ტემპერატურის, ნალექებისა და ჩამონადენის ნორმების, აგრეთვე ჩამონადენის გამოთვლისათვის საჭირო რიცხვითი კოეფიციენტების მნიშვნელობები

№	მდინარე-საგუნავო	წალშემკრები აუზის		ტემპერატურის, °C	ნორმა		პარამეტრები	
		ფართობი, კმ ²	საშუალო სიმაღლე, მ		ნალექების, მმ	ჩამონადენის, მ/წმ	a ₁	b ₁
1	კინტრიში - სკოხი	191	1120				0.06	1.00
2	ჩაქვისწყალი -	120	880				0.06	1.00
3	ს.ხალა	2830	1810	6.0		101	0.09	1.04
4	რიონი - ხალპანა	1060	2260			43.7	0.06	1.04
5	რიონი - სონი	924	2100	8.2	782	26.2	0.18	1.00
6	დიდი ლიახვი -	1100	970				0.16	1.10
7	ს.კეხვი	1189	880				0.16	1.10
8	სუფსა -	251	1590				0.07	1.07
9	ს.ხიდმაღალა	1360	1470				0.07	1.07
10	ნატანები -	2490	960	11.5	1072	59.4	0.15	1.05
11	ს.ნატანები	655	1250	11.4	1094	15.4	0.15	1.09
12	აჭარისწყალი -	2150	1720	5.9	689	19.2	0.11	0.95
13	ს.ხულო							
	აჭარისწყალი -							
	ს.ქვდა	394	1710	10.6	605	3.76	0.25	1.04
14	ყვირილა -	2780	2320	9.7	1119	111	0.04	1.07
15	ქ.ხესტაფონი	2970	2270	9.7	1119	133	0.04	1.07
16	ხანისწყალი -	3640	2020	10.5	1400	165	0.13	1.02
17	ს.ბაღდათი	292	1280	12.0	512	1.86	0.40	1.03
18	ქცია-ხრამი -	21100	1710	2.6	857	205	0.19	1.02
	ს.დაგუთხაჩინი							
	მდ.ალაზნის							
	შენაკადები (სტორი,							
	ინწობა, ჩელთი,							
	დიდხევი)							
	ენგური - ს.ხაიში							
	ენგური - ს.ხუბერი							
	ენგური - ს.დარჩელი							
	ბოლნისი -							
	ს.სამწყურისი							
	მტკვარი - ქ.თბილისი							

(6) ფორმულების თანახმად გამოთვლის შედეგები 1976-1980 წლების დამოუკიდებელი მასალების გამოყენების საფუძველზე, მდ.ალაზნის პატარა შენაკადების მაგალითზე, მოყვანილია ცხრ.2-ში. შედეგები სრულიად დამაკმაყოფილებელია: საშუალო ცდომილება შეადგენს 1,7%-ს. იგივე შედეგი იქნა მიღებული მდ.მტკვრის კვეთის მაგალითზე ქ.თბილისთან, (6)-ის თანახმად, შესაბამისი პარამეტრების ა1, ბ1, ტ1 და 0-ის ჩასმით ვლებულობთ:

ა6

$$Q_1 = 278 - 25,2t, \quad (8)$$

$$Q_2 = 290 - 35,0t, \quad (9)$$

გამოთვლის შედეგები მოცემულია ცხრ.3-ში

ცხრილი 2.

მდ.ალაზნის ზემო წელის შენაკადების წყლის ხარჯების გამოთვლის შედეგები 1976-1980 წლების დაკვირვებათა დამოუკიდებელი მასალების გამოყენებით

№	მახასიათებლები	მეტეოროლოგიური სადეკურები				საშ.		
		კომბორი	ახმეტა	თელავი	ჯოჯოფო			
1	სიმაღლე, მ	1085	567	568	666			
	ჰაერის ტემპერატურა (ნორმა), °C	8.1	11.6	11.8	10.8	10.6		
	წელი	1976	7.5	11.4	11.6	10.1	10.2	
		1977	8.2	12.1	11.9	10.7	10.7	
		1978	8.2	12.2	12.1	10.9	10.9	
		1979	9.1	13.1	13.3	11.7	11.8	
1980		8.5	12.5	12.3	11.2	11.1		
მახასიათებლები	მდინარე-საგუშავო					გამოთვლილი ხარჯი		
	სტირი სტაქური	ინწობა სსაბუე	ჩველი ს.შოდლა	დიღბევი ხარტანა	საშუალო	მ/წმ	სხეობა, %	
2	აუზის ფართობი, კმ ²	203	41.4	72.2	78.0			
	აუზის საშისმაღლე, მ	1850	1620	1780	1650			
	წყლის ხარჯი (ნორმა), მ ³ /წმ	7.71	1.45	2.12	3.17	3.61		
	წელი	1976	10.2	1.84	2.12	4.98	4.79	1.5
		1977	8.75	2.48	1.59	4.55	4.34	1.6
		1978	8.55	3.25	1.75	3.21	4.69	12.8
1979		6.05	1.28	2.54	3.60	3.37	2.7	
1980		7.34	1.28	2.68	3.87	3.74	4.5	
საშუალო						4.05	4.12	4.5

ტემპერატურის მნიშვნელობები ჩამონადენის ფორმირების მაღლივ ზონაში, წყლის ხარჯის ფაქტიური და გამოთვლილი სიდიდეები მდ.მტკვარი - ქობილისის კვეთისათვის.

წელი	1981	1982	1983	1984	1985	საშუალო
მეტეოროლოგიური საღებური (სიმაღლე,მ)	კაერის ტემპერატურა, °C					
ახალქალაქი (1717 მ)	6.1	4.0	4.9	5.0	5.0	
ეფრემოვკა (2120 მ)	2.6	1.5	2.0	1.8	2.2	
კარწახი (1863 მ)	5.3	3.2	4.0	4.2	4.2	
როდიონოვკა (2150 მ)	3.5	1.7	2.6	2.6	2.9	
გუდაური (2195 მ)	2.9	1.9	2.3	2.5	2.6	
ჯერის უღელტეხილი (2345 მ)	-0.1	-0.5	0.7	-0.7	0.2	
საშუალო (t,)	3.4	2.0	2.8	2.6	2.8	
ფაქტიური წყლის ხარჯი, მ ³ /წმ:	160	203	176	193	139	174
ხარჯი გამოთვლილი (8) ფორმულით	192	228	207	212	207	209
გამოთვლილი (9) ფორმულით	171	220	192	199	192	195
სხვაობა (8) ფორმულის შემთხვევაში	32	25	31	19	68	35
სხვაობა (9) ფორმულის შემთხვევაში	11	17	16	6	53	21

მიღებული შედეგები დასაშვებ ცდომილებაზე (იგი შეადგენს 35.3 მ³/წმ) ნაკლებია. საერთოდ, დასაშვებზე მაღალ ცდომილებას ვეღვულობთ ძლიერ წყალმცირების დროს, როდესაც ჩამონადენის გადახრა ნორმიდან 0.75-ზე ნაკლებია და დიდი წყალუხვიობის დროს, როდესაც მისი გადახრა ნორმიდან აღემატება 1.25-ს. ამ შემთხვევათა წილზე მოდის საერთო რიცხვის 15-20%; შედეგების 5 წლიანი პერიოდის მიხედვით გასაშუალოების შემთხვევაში კი გამართლება 100%-ის ტოლია.

თითქმის იგივე შედეგები იქნა მიღებული მნიშვნელოვანი მყინვარული საზრდოობის მდინარეებისათვის, მაგალითად, მდ.ენგური-ს.ხაიშთან (წყალშემკრები აუზის ფართობი 2780 კმ²), ს.ხუბერთან (2978 კმ²) და ს.დარჩელთან (3640 კმ²), რომელთა აუზების ფარგლებში მყინვარებს უკავიათ 283 კმ² ფართობი. ამის გამო, რაც უფრო მცირეა აუზის ფართობი და დიდია მყინვარის ფართობი, მით უფრო გაძლიერებულია მყინვარების გავლენა ჩამონადენზე. აქ ცალკეულ წლებში, ჩამონადენის ნორმიდან გადახრის სიდიდე, ტემპერატურის ნორმიდან გადახრის ზრდასთან დაკავშირებით, მცირდება და იცვლება ზრდის ტენდენციით ს.ხუბერთან და ს.ხაიშთან. ამრიგად, არამყინვარული ან სუსტი მყინვარული საზრდოობის მდინარეების აუზებში ტემპერატურის ზრდასთან ერთად აღვიღო აქვს ჩამონადენის შემცირებას, ხოლო ძლიერი მყინვარული საზრდოობის მდინარეებისათვის კი პირიქით - დაიკვირვება ჩამონადენის ზრდა მყინვარების ინტენსიური დნობის შედეგად.

მიღებული შედეგები საშუალებას გვაძლევს პირველ მიახლოებაში შევფასოთ მდინარეების წლიური წყლიანობა საპროგნოზო პერიოდისათვის კლიმატის დათბობის პირობებში. მაგალითად, რაგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, თუ კლიმატის გლობალური დათბობის შედეგად საქართველოს ტერიტორიაზე მიმდინარე საუკუნეში ტემპერატურა გაიზარდება 2°C -ით, მაშინ მდ.მტკვარზე კობილისთან წლიური ჩამონადენი შემცირდება 162 მმ/წმდე, რაც შეადგენს ნორმის 0.79-ს, ხოლო მდ.ენგურზე სხაიშთან წლიური ჩამონადენი იქნება 128 მმ/წმ, რაც ნორმაზე მეტია 115-ით $\pm 20\%$ -ის ფარგლებში.

ანალოგიური შედეგები გამოვლინდა ნალექებისა და ტემპერატურის მსვლელობათა ანალიზის საფუძველზე, რაც კარგად ჩანს ნახ.2-ზე მოყვანილი ნალექებისა და ტემპერატურის ნორმებიდან გადახრებს შორის დამოკიდებულებებიდან მამისინის უღელტეხილის, შოვის, ონისა და ამბროლაურის მეტეოროლოგიური სადგურების მაგალითებზე ასეთივე შედეგები მიიღება სხვა მეტეოროლოგიური სადგურებისთვისაც აღნიშნული მახასიათებლების გასაშუალოებით 25-30 კმ²-ის რადიუსის მქონე ზონების ფარგლებში მდებარე მეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემების გამოყენებით [3]. ნორმებიდან გადახრების საშუალო \bar{K}_x და \bar{K} , სიდიდეებს შორის დამოკიდებულება უკეთესი ხდება და ხასიათდება კორელაციური კოეფიციენტის უფრო მაღალი მნიშვნელობებით. თანახმად გამოყვანილი კავშირებისა, პაერის წლიური ტემპერატურის 1°C -ით მატებას შეესაბამება წლიური ნალექების 10-15% -ით შემცირება $\pm 20\%$ -ის ფარგლებში ამ კავშირების წილზე მოდის საერთო შემთხვევების 85-90%. აბსოლუტური მნიშვნელობით ნალექთა ჯამების დიდი შემცირება მოსალოდნელია უხვნალექიან ზონებში. მაგალითად, რაიონებში, ნალექთა წლიური ჯამებით 2000 მმ, მათი შემცირების სიდიდემ შეიძლება შეადგინოს 200-300 მმ. შედარებით მშრალ რაიონებში კი, წლიური ჯამებით 500 მმ, ნალექების შემცირების სიდიდე 50-75 მმ-ზე ნაკლები შეიძლება აღმოჩნდეს. თუ კლიმატის გლობალური დათბობის შედეგად პაერის ტემპერატურა საქართველოს პირობებში მოიმატებს 2°C -ით, მაშინ ნალექები შემცირდება 20-30%-ით, რაც შეადგენს ზემოთ განხილული მაგალითებისათვის შესაბამისად 400-600 და 100-150 მმ-ს. ასეთ შემთხვევაში განსაკუთრებით მძიმე მდგომარეობა მოსალოდნელია რაიონებში, სადაც წლიური ნალექები 1980 წლის დონეზე 450 მმ-ზე ნაკლებია. ასეთია ზღვის დონიდან თბილისის სიმაღლეზე დაბლა მდებარე აღმოსავლეთ საქართველოს რაიონები აზურბაიჯანთან სახელმწიფო საზღვრამდე. აქ 2°C -ით დათბობის შემთხვევაში ნალექები შეიძლება შემცირდეს 80-135%-ით, რაც კიდევ უფრო გააძლიერებს წყლის დეფიციტს

თავი 3. საქარტველოში კლიმატურ ცვლილებებზე გეო- ნაერული ჩამონადენის რეაქციის ბაზოკვლევა

1. ამოცანის დასმა

გლობალური კლიმატის ცვლილების თანამედროვე პროცესი, როგორც კარაულობენ, გამოწვეულია "ატმოსფერო - დითოსფერო, ჰიდროსფერო კრიოსფერო - ბიოსფერო" სისტემაში არსებული ენერგეტიკული ბადანსის წონასწორული მდგომარეობის დარღვევით. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს ატმოსფეროში ე.წ. "საბურის ეფექტის" გამომწვევი გაზებისა და აეროზოლების კონცენტრაციის ცვლილება. ქვეფენილი ზედაპირის თვისებების ტრანსფორმაცია, რაც იწვევს მისი ალბედოს შეცვლას და სხვ. კლიმატის ცვლილება პირველ ყოვლისა შედგება ატმოსფეროში ტემპერატურისა და სინოტივის ველების ცვლილებაში. გლობალური დათბობის ღონზე რეგიონალური კლიმატის ცვლილებას შეიძლება ახასიათებდეს არაერთგვაროვნობა. მაგალითად, კავკასიის რეგიონში ადგილობრივმა უჩიკურ-გეოგრაფიულმა. მეზო- და მიკროციკლადიური პროცესების თავისებურებამ ბუნებრივ გარემოზე ანთროპოგენურმა ზემოქმედებამ განაპირობეს უკანასკნელი საუკუნის განმავლობაში დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ზომიერი აყივება, რომელიც იყვლება საერთო დათბობით აღმოსავლეთ საქართველოში. ამასთანავე ტენშემცველობა ატმოსფეროში ან უცვლელია (დასავლეთ საქართველო), ან მცირედ იზრდება (აღმოსავლეთ საქართველო). წყლის ორთქლის დრეკალობისა და ფარდობითი სინოტივის საუკუნობრივი ტრენდის უარყოფითი დახრილობა შემჩნეულია მხოლოდ ყაღვურ შემთხვევაში - სადგურების სამტრედია და საგარეჯო-ჯაფარიძის რაიონებში.

წყადბრუნვის ციკლი სისტემაში "ატმოსფერო-ქვეფენილი ზედაპირი" შეიცავს წყლის ორთქლის გარდასახვების შემდეგი სქემის მიხედვით: "ტენ-შემცველობა ან წყლის მარაგი ატმოსფეროში-ღრუბლიანობა-ნადექები-აორთქლება-ჩამონადენი". რადგან ღრუბლიანობა, ნადექები და აორთქლება მნიშვნელოვანად დამოკიდებული არიან ატმოსფეროში ტემპერატურისა და სინოტივის რეჟიმზე, მისმა ცვალებადობამ შეიძლება გამოიწვიოს ტენბრუნვის კომპონენტების საგრძნობი ცვლილება. ამიტომ კლიმატის ცვალებადობის თავისებურებების წყლის ბადანსზე და ჩამონადენის ფორმირებაზე გავლენის გამოკვლევა წარმოადგენს მნიშვნელოვან ამოცანას რეგიონალური კლიმატის ცვლილების პრობლემაში. ამ მიმართულებით კვლევა დაახლოებით 10-15 წელია მიმდინარეობს [1-3]. მეოთხოლოგიურად, ამ შრომების მიხედვით, შეიძლება გამოვყოთ ამოცანის გადაწყვეტის ორი მიდგომა. თანახმად პირველი

მიდგომისა, კლიმატის მაფორმირებელი ფაქტორების ცვლილებების გავლენა მდინარეთა ჩამონადენზე სწავლობენ მხოლოდ ემპირიული მონაცემების საფუძველზე. მაგალითად [1]-ში გამოყენებულია ყოფილ საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე განლაგებული 640 ჰიდროლოგიური საგუშაგოს 1951-1980 წლების მონაცემები მდინარეთა საშუალო წლიურ 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 ხისხასი განსწორება (გაგდვება), 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 დაუიქსირებელი ტემპერატურისა და ნალექების ცვლილება. მაგრამ აღნიშნულია საქართველოს ტერიტორიაზე მდინარეთა ჩამონადენის დადებითი ტრენდები. ეს წინააღმდეგობრივი შედეგი შეიძლება აიხსნას რეგიონის კვლევისათვის გამოყენებულ მყიდრეიქსიზან საფურთა მონაცემებით და დაკვირვებათა შედარებით მოკლე რიგებით. აუცილებელია ამ საკითხის უფრო ღრმად შესწავლა.

მრავალწლიური ემპირიული მონაცემების გამოყენებით საქართველოს ორი ტიპური აუზის მაგალითზე, რომლებიც იმყოფებიან ზომიერ, აყვების (მდ. სუფსა) და დაბლობის (მდ. ხრამი) ზონებში, შეფასებულია კლიმატისა და წყალბრუნვის ძირითადი კომპონენტების ცვლილებათა ტენდენციები [3].

ტემპერატურისა და სინოტივის ველების კვლევისათვის განხილულია 1906-1995 წწ პერიოდის შესაბამისი მონაცემები სადგურებზე: -მდ. სუფსის აუზში - ანასუღი, აყანა, ზახმარო, დაბლა-ყიხე, შრომა; -მდ. ხრამის აუზში - ზონისი, დმანისი, თეთრი-წყარო, მარნეული. წაღკა. ჰაერის ტემპერატურის საშუალო წლიურმა შემცირებამ მდ. სუფსის წყალშემკრებ ტერიტორიაზე შეადგინა - 0,0022°C/წ. ნიადაგის ტემპერატურის შემცირება 1936-1991 წწ პერიოდში საშუალოდ ტოლია - 0,033°C/წ. მდ. ხრამის აუზში ჰაერის ტემპერატურის მომატება მიმდინარეობს. გაცდილებით ინტენსიურად - საშუალო წლიური მატება შეადგენს 0,0058°C/წ. ხოლო ნიადაგის ტემპერატურის ორდა ტოლია 0,0034°C/წ. ატმოსფეროს ტენშემყველობის მყიდრე ცვლილება ორივე აუზში დაახლოებით ერთნაირია - დაიკვირვება წყლის ორთქლის დრეკადობის მომატება საშუალოდ 0,0032-0,0034 მბ/წ. ფარდობითი. სინოტივისა - 0.01 - 0,02%/წ. მოცემულია ტემპერატურისა და სინოტივის ანომალიების საუკუნეობრივ ცვლილებათა განაწილება თვეების მიხედვით.

ნადეჟებისა და ჩამონადენის კვლევისათვის განხილულია 1941-1947 წწ პერიოდის შესაბამისი მონაცემები. მდ. სუფსის აუზისათვის ნადეჟების ცვლილება შეფასებულია სადგურების ბაჰმარო, ჩოხატაური, ხიდისთავისა და ანასკუდის მიხედვით, ხოლო ჩამონადენის - ჰიდროლოგიური საგუშაგოების ბახმარო, ჩოხატაური, ხიდისთავისა და ქვემო-ბახვის მონაცემებით. მდ. სრამის აუზში ნადეჟების რეჟიმული მახასიათებლების ცვლილება შესწავლილია აუნქტების ზოდნისი, დმანისი, წაღვა და სამწევრისის მიხედვით. ჩამონადენისა - სამწევრისის, დაგეტბაჩინის, ელიკილისისა და ბეიუკჩაის ჰიდრომეტრულ კვლევებში გამოშვების მონაცემებით. ნადეჟებისა და ჩამონადენის რიგების გამოტოვებული პერიოდების აღგენა განხორციელდა მრავალგანზომილებიან სივრცეში შემთხვევითი ფუნქციის ზუნებრივ მსგავსებად (ვექტორებად) დაშლის მეთოდის გამოყენებით. აღგენის სიზუსტე შეადგენდა: ნადეჟებისათვის - 70-80%, ჩამონადენისათვის - 60-70%.

მოცემულია ნადეჟებისა და ჩამონადენის საშუალო წლიურ და საწილურ თვიურ მნიშვნელობათა რიგების სტატისტიკური და კორელაციური ანალიზის შედეგები, მათი მრავალწლიური რეკლამების წრფივი აპროქსიმაციის (ტრენდების) მახასიათებლები. კერძოდ, მდ. სუფსის აუზში დაფიქსირებულია ნადეჟათა ჯამების დაახლოებით ერთნაირი შემცირება, რომლის სიდიდე იცვლება დიამაზონში 4-10მმ/წ. ეს შეადგენს წლიური ჯამების 0,2-0,6%/წ. ამრიგად, დაახლოებით 50 წლის განმავლობაში ნადეჟების შემცირებამ წყადშემკრებზე შეადგინა 250-დან (ანასკუდი)-450 მმ-მდე (ხიდისთავი). მდ. სრამის აუზში ნადეჟების ცვალებადობა არაერთგვაროვანია და ხდება ნაკლები ინტენსიურობით. აუზის ქვედა და შუა ნაწილში დაიკვირვება ნადეჟების შემცირება (მაქსიმუმით - 0,4%/წ), ხოლო მდინარის ხეობის ზედა წილში ცვლილების ტენდენცია იცვლის ნიშანს. აქ ნადეჟების მატება შეადგენს 60-70 მმ (წლიური ჯამების 0,2%/წ) განხილულ პერიოდისათვის.

შედარებით დაბალი კორელაციური კავშირები ჰიდროლოგიურ მონაცემებს შორის აძნელებენ ჩამონადენის ცვალებათა ანალიზის ჩატარებას. მდ. სუფსის აუზში ძირითადად ჩამონადენის სიდიდე ან უცვლელია (ჩოხატაური, ქვემო-ბახვი), ან შეიმჩნევა მისი შემცირება (ბახმარო), რაც შესაბამისობაშია ატმოსფეროში წყლის ორთქლის მყირე ცვლილებებთან და წყადშემკრებზე ნადეჟათა ჯამების შემცირებასთან.

მდ. სრამის აუზში ფაქტიური ჩამონადენი, აგრეთვე არ არის დიდად შეცვლილი. მისი შემცირება აღინიშნება დაგეტბაჩინის მონაცემების მიხედვით და დაახლოებით 50 წლის განმავლობაში შეადგენს 5,0-5,5 მ³/წ.

ფაქტიურ მონაცემებზე დაყრდნობით პირველ მიახლოებაში მოცემულია სადგურების ჩოხატაურისა და სამწევრისისათვის ნადეჟებისა და ჩამონადენის

საშუალო თვიურ მნიშვნელობათა შორის დამოკიდებულების ანალიზური გამოსახელებები. გამოვლენილ კავშირებს გააჩნიათ არაწრფივი ხასიათი და მათი გამოყენებით დადასტურებულია მდინარეების სუფისისა და ხრამის აუტობიომონადენის შემცირება. გამოწვეული წყალშემკრებზე ნაღვეთა ჯამების შემცირებით ატმოსფეროში წყლის მარაგის მცირე ცვლილებათა ფონზე.

მეორე მიდგომის თანახმად რიგ შრომებში -- კლიმატწარმოქმნილ ფაქტორების ცვლილებაზე მდინარეთა ჩამონადენის რეაქციის რეგულირებასთან დაკავშირებულია შესწავლისათვის გამოყენებულია ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელები. მაგალითად -- ში დამუშავებულია წყლის ბაღანსის სტოქასტური მოდელი. რომელიც იძლევა საშუალებას გამოთვლილ იქნას ჩამონადენის შიდაწილური განაწილება თვეების მიხედვით. იგი აკმაყოფილებს შემდეგ ძირითად მოთხოვნებს: ა) შემავალი პარამეტრები წარმოადგენენ კლასიკურ და პირდაპირ დაკვირვებათა სტანდარტულ მოსაზრებებს; ბ) ცვლისხმება, რომ ცნობილი კლიმატური ელემენტებისა და ზედაპირული პროცესების რიგი გასაშუალებელი მახასიათებლები; გ) მოდელის საკალბრო პარამეტრების რიცხვი მცირეა, დ) კლიმატის ცვლილებათა მიმართ წყლის ბაღანსის მგრძობიარობის დაგენა შესაძლებელია აღტრნაბული კლიმატური სენარების მიხედვით, რომლებსაც საფუძვლად უდევს "ინტორიული" მონაცემები. სხვადასხვა სენარების გათვალისწინება ხდება მოდელის შემავალი პარამეტრების საშუალებით. მოდელის სტოქასტურობას განაპირობებს წყლის ბაღანსის კომპონენტთა, აგრეთვე შემავალი და გამომავალი პარამეტრების აღწერა აღბათობათა განაწილებებით. მოდელი გამოყენებულია ევროპის და აფრიკის ზოგიერთი მდინარის ჩამონადენის მგრძობიარობის დასადგენად წყალშემკრებზე ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების კლიმატურ ცვლილებათა მიმართ.

5-7-ში ყაზახეთის პირობებისათვის გამოკვლეულია ჰავის ანთროპოგენურ ცვლილებათა შესაძლო გავლენა მდინარეების ჩამონადენზე. ზედაპირული წყლების რესურსებზე. ამისათვის გამოყენებულია მთის მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელი, დამუშავებული -- ში. იგი აღწერს თოვდდაგროვების პროცესებს, წვიმის მოსვლას წყალშემკრებზე, ჯამურ აორთქლებას, აქტიური ტენზონების ზონაში წყლის მარაგის ცვლილებებს, ნიადაგ-გრუნტის გაყინვას და გადლობას. ატმოსფერული ნალექების დაკავებას მცენარეული საფარით, ზედაპირული, ნიადაგ-გრუნტოვანი და გრუნტოვანი ჩამონადენის ფორმირებას, მდინარის ქსელში წყლის მიღინებას, ჩამკეტ კვეთში ჩამონადენათ მის ტრანსფორმაციას. მოდელი ძირითად შემავალ პარამეტრებს წარმოადგენენ ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების დღელამური საშუალო მნიშვნელობები. მოდელირება წარმოებს 24-სა-

ათიანი დროითი ინტერვალებით. შესაძლებელია მოდელის პარამეტრების შეცვლა ზონადური სიმაღლეების; მთის ფერდობების დახრილობისა და ექსპოზიციის. ქვეფენიდი ზედაპირის ხასიათის (ღია, ტყიანი, მყინვარული და სხვ.) მიხედვით. გამოყენებულია კლიმატური სცენარის სხვადასხვა ვარიანტი. რომელიც მიღებულია ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაციის მოდელირების შედეგად და ითვადისწინებს ჰაერის ტემპერატურისა და ნალექთა ჯამების ცვლილებას ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის გაორკუნებისას. ყველაზე მისაღები კლიმატური სცენარის გათვადისწინებით აღნიშნულია ყაზბეთის ზედაპირული წყლის რესურსების საგრძნობი შეცვლილება. რომელიც ყველაზე მკვეთრად გამოხატულია უხვწყვიან ქედზე. ეს კი იწვევს ასეთი წლების განმეორადობის შემცირებას.

ამ მყიერ მიმობიღვაში განხილულ სამუშაოთა შედეგების გათვადისწინებით ჩვენს შემდგომ კვლევებში გამოყენებული იქნება ორივე მიდგომის ელემენტები. კერძოდ, კლიმატურ ცვლილებათა მიმართ საქართველოს მდინარეთა ჩამონადენის მგრძნობიარობა (მოწყვლადობა) შესწავლილი იქნება ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელის საფუძველზე. ჩამონადენის შესაძლო ცვლილებათა პროგნოზისათვის გამოყენებულ კლიმატურ სცენარებში კი შეტანილი იქნება ჰაერის მათეორმირებელი ელემენტების ცვლილებათა ტენდენციები, რომლებიც მიღებულია ემპირული მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე.

შემოვიტანოთ ფიზიკური სისტემის მგრძნობიარობის ანუ მოწყვლადობის ცნება, თუ სისტემის რაიმე ინტეგრადური მახასიათებელი $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ რეაგირებს მასში შემავად x_1, \dots, x_n პარამეტრების ცვლილებაზე. რაოდენობრივად მგრძნობიარობა შეიძლება დავახასიათოთ წარმოებულთ

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i - x_{i0}}{x_i - x_{i0}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

სადაც ნულოვანი ინდექსით აღნიშნულია სისტემაში შემავალი პარამეტრების საბაზისო მნიშვნელობები, რომლებიც შეესაბამებიან კლიმატურ ცვლილებათა საწყისს მომენტს.

ამრიგად ფიზიკური სისტემის ინტეგრადური მახასიათებლის ცვლილება შეიძლება განვსაზღვროთ მისი სრული დიფერენციალით

$$dy = \sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial x_i} dx_i, \quad (2)$$

სადაც $\frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2}$ წარმოებულის მნიშვნელობა განსაზღვრავს სისტემის

მგრძობიარობას \pm -ურ პარამეტრის ცვლილების მიმართ, ხოლო Δx მოიყენა კლიმატის ცვლილებათა სყენარის მიხედვით.

განვიხილოთ ჩამონადენის განსაზღვრისათვის მისი უმარტიველი მათემატიკური მოდელი, რომელიც ემყარება წყლის ბადანსის განტოლებას და უარყოფ გამოიყენება რეკონადური წყლის ბადანსის და რესურსების დაღვენისას [11-12]:

$$R - P - E \quad (3)$$

აქ R- მდინარის ჩამონადენია, P- წყადშემკრებზე მოსული ნალექა, E-აორთქლება. წყლის ბადანსის ყოველი კომპონენტი ამ შემოსვლებში განსაზღვრავს მის საშუალო წილში მნიშვნელობას და მოიყენა მმ-ში. აქ აორთქლების სიდიდის განსაზღვრისათვის გამოვიყენებთ ცნობილ დ.ტიურკის [14] ან მ.ბუდიკოს [15] ფორმულებს, მაშინ (3) განტოლების მარჯვნივ მხარე ვამოისახება კლიმატის ძირითადი მაფორმირებელი პარამეტრებით (პაერის და ნიადაგის ტემპერატურა, ნალექთა ჯამები, წყლის ოროქლი, ღრეკაღობა. რადიაციული ბადანსი და სხვ.). ეს კი საშუალებას იძლევა გამოთვლიდ იქნას (1) და (2) გამოსახულებათა მნიშვნელობები და საბოლოოდ დაღვენიდ იქნას ჩამონადენის მგრძობიარობა კლიმატის მახასიათებლების ცვლილებათა მიმართ.

შევნიშნოთ, რომ (3)-ის ნაცვლად შეიძლება განვიხილოთ ჩამონადენის ფორმირების ნებისმიერი სხვა სტოქასტური, ან დეტერმინისტური სისტემის მათემატიკური მოდელი, რომელიც, როგორც მინიმუმი, იძლევა საშუალებას გამოთვლიდ იქნას ჩამონადენის საშუალო წილური მნიშვნელობა. ხოლო უკეთეს შემთხვევაში მისი დახმარებით შესაძლებელია ჩამკეტ კვეთში ჰიდროგრაფის აღღვენა ნებისმიერ კაღენდარული პერიოდისათვის.

1.1 დ.ტიურკის მოდელი

ამ შემთხვევაში წყლის ბადანსის (3) განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$R = P \left[1 - \frac{\tau}{\sqrt{c\tau^2 + p^2}} \right] \quad (4)$$

სადაც $\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$, აქ τ_1 - პაერის ტემპერატურა ($^{\circ}C$), ხოლო მოდელის საკადიბრო მუღმივა. თუ კონკრეტული აუზისათვის გვეყოღინება

წყადშემკრებზე მოსული = ნადექთა : ამების, მისი დამახასიათებელი კაერიოტიპური და ჩამკებ კვეთში ჩამონადენის ფენის საშუალო წილური კლიმატური მნიშვნელობები, მაშინ მოდელის საკადიბრო მუდმივა შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებით:

$$c = \frac{P^2 (L^2 - P + R) (L^2 P - R)}{L^2 (P - R)^2} \quad (5)$$

დ. ტიურკის მოდელის შემთხვევაში (2) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial P} dP - \frac{\partial R}{\partial T_1} dT_1 \quad (6)$$

სადაც (1) და (4) - ის გათვალისწინებით ვლებულობთ

$$\frac{\partial R}{\partial P} = 1 - \frac{L^2}{\sqrt{cL^2 - P^2}} - \frac{LP^2}{(cL^2 + P^2) \sqrt{cL^2 - P^2}} \quad (7)$$

$$\frac{\partial R}{\partial T_1} = - \frac{(cL^2 - P^2)^{-1/2} - cL^2 (cL^2 + P^2)^{-1/2}}{cL^2 + P^2} \cdot P(25 - 0.15T_1^2) \quad (8)$$

1.2 მ.ზუდიკოს მოდელი

ამ შემთხვევაში წყლის ბადანსის (3) განტოლებას შემდეგი სახე აქვს

$$R = P - \sqrt{cR^2 [1 - \exp(-R/P)] \operatorname{th}(P/R)} \quad (9)$$

- სადაც $R = 12.61 [(1-A)Q - F]$ - აუზიკუ ქვეყენიდი ზედაპირის რადიაციული ბადანსია, რომელიც გადაწყვანი კოეფიციენტის საშუალებით მოიყვამა მმ-ში. Q - მოკლელადლოვანი (პირდაპირი და გაბნეული რადიაციული ნაკადების ჯამი) და F - გრძელადლოვანი (ფუქტური გამოსხივება) ბადანსის მდგენელებია გამოსახული ვტ/მ²-ში. A - ქვეყენიდი, ზედაპირის აღბულოა, C - მოდელის საკადიბრო მუდმივა. R , P და T_1 -ის ცნობილ კლიმატურ მნიშვნელობებისათვის საკადიბრო მუდმივას გამოთვლა შეიძლება ფორმულით

$$C = \frac{(P - R)^2}{rP [1 - \exp(-\frac{P}{r})] \operatorname{th}(P/r)} \quad (10)$$

ბუდიკოს მოდელის შემთხვევაში (2) განტოლება შემდეგ სახეს ღებულობს:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial P} dP + \frac{\partial R}{\partial r} dr \quad (11)$$

სადაც (1) და (9) თანახმად ვღებულობთ

$$\frac{dR}{R} = 1 - \frac{\alpha P}{2} \frac{[1 - \exp(-r/P)] \operatorname{th}(P/r) - \frac{r}{P} \exp(-\frac{r}{P}) \operatorname{th}(\frac{P}{r}) - \frac{P}{r} \frac{1 - \exp(-r/P)}{\operatorname{ch}^2(P/r)}}{\sqrt{\operatorname{cr}P [1 - \exp(-r/P)] \operatorname{th}(P/r)}} \quad (12)$$

$$\frac{dR}{R} = - \frac{\alpha P}{2} \frac{[1 - \exp(-r/P)] \operatorname{th}(P/r) + \frac{r}{P} \exp(-r/P) \operatorname{th}(P/r) - \frac{P}{r} \frac{1 - \exp(-r/P)}{\operatorname{ch}^2(P/r)}}{\sqrt{\operatorname{cr}P [1 - \exp(-r/P)] \operatorname{th}(P/r)}} \quad (13)$$

მივიღოთ (11)-ში შემავალი dr -ის გამოსახულება ცხადი სახით.

ამისათვის მივმართოთ r -ის მნიშვნელობას და მოვნახოთ მისი დიფერენციალი. ჩავთვალოთ, რომ აღბედოს ცვლილებას ადგილი არა აქვს, ე.ი. აუზის ქვეყნიერი ზედაპირი დროთა განმავლობაში არ განიცდის საგრძობ ტრანსფორმაციას. მაშინ გვექნება

$$dr = 12.61 [(1-A)dQ - dP] \quad (14)$$

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

სამეცნიერო ლიტერატურაში ცნობილია (14)-ში წარმოდგენილი რადიაციული ბადანსის Q და P -ის მდგენელების გამოთვლის ემპირიული ფორმულები. მაგალითად ბადანსის მოკლევადლოვანი მდგენელის დადგენა შეიძლება შემდეგი გამოსახულებით [17]:

$$Q = (0.20 + 0.48S)Q^0 \quad (15)$$

სადაც S - მზის ნათების ხანგრძლივობის დაკვირვებულ (გაზომილ) და შესაძლო მნიშვნელობათა შეფარდებაა (ერთ ნაწილებში). ხოლო Q^0 - რადიაციის ნაკადია ატმოსფეროს ზედა საზღვარზე. თუ გამოვიყენებთ [18]-ში მოცემულ მონაცემებს თბილისის პირობებისათვის ($S = 0.54$; $Q^0 = I_0/4 = 349 \text{ ვტ/მ}^2$).

სადაც I_0 - მზის მუდმივია). მაშინ (15) ფორმულა განსაზღვრავს კამერი რადიაციის საშუალო წლიურ მნიშვნელობას თბილისში $Q=161,336/მ^2$, რაც ერთი პროცენტის ცდომილების ფარგლებშია გაზომილ მნიშვნელობასთან შედარებით ($Q=161,436/მ^2$). (15)- დან გამომდინარეობს, რომ პირველ მიანხლოებაში შეიძლება ჩავთვალოთ $dQ=0$, რადგან CO_2 -ს გაორკეცება ამ ატმოსფეროში არ უნდა იმოქმედოს მზის ნათების ხანგრძლივობაზე. მაგრამ მ-ზე მოახდენს გავლენას ატმოსფეროში აეროზოლების, ტემპერატურისა და სინოტივის ვარიაციები, რომლებზეც ძლიერად არის დამოკიდებული ღრუბლიანობის რეჟიმი. ამიტომ მეორე მიანხლოებაში შეიძლება ამ გავლენის გათვალისწინება [19]-ში მოცემულ გამოსახულებათა საფუძველზე

$$Q=Q^0 [0.8-0.7 \exp(-ax)] \quad (16)$$

$$\text{სადაც } a=1.0-0.255\sqrt{e} \quad ,$$

$$x=(1.1-n)D \quad ,$$

$$n=\frac{n_1 + n_2}{2} \quad ,$$

აქ e და D შესაბამისად ატმოსფეროში წყლის ორთქლის დრეკადობაა და სინოტივის ეფუციტი მზ-ში, n_1 და n_2 - საერთო მოღრუბლელობისა და ქვედა იარუსის ღრუბლიანობის ბალებია (ერთის ნაწილებში). (16) ფორმულის გამოყვანა თბილისის მონაცემებზე ($e=10.5$ მმ, $D=7.1$ მმ, $n_1=0.62$, $n_2=0.4$, $Q^0=3496/მ^2$) გვაძლევს $Q=161,236/მ^2$, რაც ასევე ერთი პროცენტის ცდომილების ფარგლებშია Q -ს ნამდვიდ მნიშვნელობასთან [18]. ამოიგად $dQ=0$ და მისი მნიშვნელობის დადგენა შეიძლება (16)-ის დიფერენცირებით, თუ მოცემულ პარამეტრების ცნობილია წყლის ორთქლის დრეკადობის de , სინოტივის ეფუციტის dD და ღრუბლიანობის dn საუკუნე-წლობრივი ცვლილებათა სიდიდეები. ამ შემთხვევაში გვექნება:

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial e} de + \frac{\partial Q}{\partial D} dD + \frac{\partial Q}{\partial n} dn \quad (17)$$

$$\text{სადაც } \frac{\partial Q}{\partial e} = -0.089 \frac{Q^0 x \exp(-ax)}{\sqrt{e}} \quad ,$$

$$\frac{\partial Q}{\partial D} = 0.7 Q^0 a (1.1-n) \exp(-ax) \quad ,$$

$$\frac{\partial Q}{\partial n} = -0.7 Q^0 a D \exp(-ax) \quad ,$$

$$dn = \frac{dn_1 + dn_2}{2} \quad .$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ პირველ მიახლოებაში შეიძლება მივიღოთ $dn = 0$, რაც იმას ნიშნავს, რომ (14)-ში ძირითადი წვდილი შეაქვს რადიაციული ბალანსის გრძელბადლოვანი მდგენელის (ეფექტური გამოსხივების ნაკადის) ყვლილებას

$$dn = -12.61 dF \quad (18)$$

ეს სარგებლოთ [19]-ში მოყვებული F -ის გამოსათვლელი ემპირიული ფორმულით

$$F = \delta \sigma (1 - c_1 n_1) [T_0^4 - T_1^4 (a_1 + b_1 \sqrt{e})], \quad (19)$$

სადაც $\delta = 0.95 - 0.99 \approx 0.97$ - შთანთქმის ფარდობითი კოეფიციენტი (ქვეფენიდი ზედაპირის შთანთქმის უნარიანობა), $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ ვტ/მ²·კ⁴) სტეფან-ბოლცმანის მუდმივა, $c_1 = 0.70$ - ემპირიული კოეფიციენტი (აღებული საქართველოს პირობებისათვის), n_1 - დრუბლიანობის საერთო ბადი (ერთის ნაწილებში), T_0 და T_1 - შესაბამისად სივრცის და ჰაერის ტემპერატურები (°K), $a_1 = 0.526$ და $b_1 = 0.065$ - ემპირული კოეფიციენტებია. თუ წყლის ორო ქლის დრეკადობა e აღებულია მზ-ში.

(19)-ში თბილისის დამახასიათებელ მეტეოროლოგიურ ელემენტთა კლიმატურ მნიშვნელობების ჩასმით ($T_0 = 288^\circ\text{K}$, $T_1 = 285.8^\circ\text{K}$, $n_1 = 0.62$, $e = 0.65$ მზ). მივიღებთ $F = 60.73$ ვტ/მ², რაც კარგ თანხვედრას აქვს ციფრულ მნიშვნელობასთან ($F = 61.3$ ვტ/მ²) - ყდომილება არ აღემატება 1%-ს [18].

(18)-ში შემავედი dF -სათვის, (19)-ის გათვადისწინებით, ვღებულობთ

$$dF = \frac{\partial F}{\partial n_1} dn + \frac{\partial F}{\partial T_0} dT_0 + \frac{\partial F}{\partial T_1} dT_1 + \frac{\partial F}{\partial e} de, \quad (20)$$

$$\text{სადაც} \quad \frac{\partial F}{\partial n_1} = -\delta \sigma c_1 [T_0^4 - T_1^4 (a_1 + b_1 \sqrt{e})]$$

$$\frac{\partial F}{\partial T_0} = 4\delta \sigma (1 - c_1 n_1) T_0^3$$

$$\frac{\partial F}{\partial T_1} = -4\delta \sigma (1 - c_1 n_1) T_1^3 (a_1 + b_1 \sqrt{e})$$

$$\frac{\partial F}{\partial e} = -\delta \sigma (1 - c_1 n_1) T_1^4 \frac{b_1}{2\sqrt{e}}$$

თუ ცნობები ნიდაგის ტემპერატურაზე არ გავაჩნია, შეიძლება პრინციპულად F -ის გამოსათვლელი გამარტივებული ფორმულით [20]

$$F = (a_2 - b_1 \sqrt{e}) \sigma T_1^4, \quad (21)$$

სადაც $a_2 = 0.37$, $b_1 = 0.065$, თუ e მნიშვნეულია მბ-ში.

$$\text{მაშინ } dF = \frac{\partial F}{\partial e} de + \frac{\partial F}{\partial T_1} dT_1, \quad (22)$$

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

$$\frac{\partial F}{\partial T_1} = - 4b_1 \sqrt{e} \sigma T_1^3.$$

(21) ფორმულის გამოყენებით თბილისის მონაცემებზე ($e=10.5$ მმ, $T_1=293$ K) გვაძლევს უფექტური გამოსხივებისათვის $F=50.736$ ვტ/მ². რაც აგრეთვე უკლი პრინციპის სიზუსტის ფარგლებშია გაზომილ სიდიდესთან შედარებით ($F=51.3$ ვტ/მ²).

გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენს ფორმულა, რომლის საშუალებით პირდაპირ შეიძლება გამოთვლილ იქნას რადიაციული ბადანის წილური (ან თვეების მიხედვით) მნიშვნელობა საქართველოს პირობებში [25]:

$$r = 12.61B, \quad (23)$$

$$\text{სადაც } B = 2.53 T_2^{0.9} P^{0.1}, \text{ თუ } H < 1000 \text{ მ};$$

$$B = 9.91 T_2^{1.21} P^{-0.21}, \text{ თუ } H > 1000 \text{ მ};$$

აქ T_2 - ივლისის საშუალო თვიური ტემპერატურაა, P მმ - ნალექთა წილური ჭამები, H მ - პუნქტის სიმაღლე ზღვის დონიდან. B გამოისახება ვტ/მ². ხოლო r - მბ-ში. როგორც ვხედავთ ფორმულა საკმაოდ მარტივია გამოსათვლელისათვის და ადვილად შეიძლება მისი დიფერენცირება

$$dr = 28.71 T_2^{-0.1} P^{0.1} dT_2 + 3.19 T_2^{0.9} P^{-0.9} dP, \text{ თუ } H < 1000 \text{ მ};$$

$$dr = 151.21 T_2^{0.21} P^{-0.21} dT_2 - 26.24 T_2^{1.21} P^{-1.21} dP, \text{ თუ } H > 1000 \text{ მ}. \quad (24)$$

2. კლიმატური ფაქტორების ცვლილებათა მიმართ მდინარეთა ჩამონადენის, მგრძნობიარობის შეფასების შედეგები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული წლიური ჩამონადენის ფორმირება, გამსაზღვრელი გავლენა გააჩნია კლიმატურ ფაქტორებს, კერძოდ კი კავშირს, სითბურ და წყლის ბალანსებს შორის, რაც თავისი ასახვა ჰპოვა (4) და (6) განტოლებებში. ამავდროს მთიან რეგიონისათვის დამახასიათებელია წყლის ბალანსის ელემენტების მჭიდრო კავშირი აუზის მაღლივ ზონალობასთან. ზღვის დონიდან მის საშუალო სიმაღლესთან [11-13]. ამიტომ (4) და (9) განტოლებებში შექმავალი მეტეოროლოგიური ელემენტების (ნალექები, ტემპერატურა, სინოტივე, რადიაციული ბალანსი) მნიშვნელობები ინტეგრალურ ხასიათს უნდა ატარებდნენ მოცემულ აუზისათვის, ისევე, როგორც ჩამონადენის წარმოადგენს ინტეგრალურ შედეგს კლიმატური ფაქტორების და ბუნებრივი დანდშაფტის ელემენტთა წყადშეშვებებზე ერთობლივი მოქმედებისა. ამიტომ ბუნებრივია მეტეოროლოგიური ელემენტების დაკავშირება აუზის საშუალო სიმაღლესთან. მაგალითად, თანახმად [21]-სა, ჩამონადენის ფორმირებაში უდიდესი წვლილი შეაქვთ იმ მაღლივი ზონის ჯამურ ნალექებს (კერძოდ თოვლის მარაგს), რომელიც განდგებულია აუზის საშუალო სიმაღლეზე და მის მიმართ გააჩნია დაახლოებით 5სსმ შეფარდებითი სიგანე. ეს შედეგი მიღებულია ჩამონადენის მყარ ნალექზე დამოკიდებულების კორელაციური ფუნქციის ანალიზის საფუძველზე. რადგან ჩამონადენის ფორმირებაში სწორედ ნალექებს ენიჭებად გადაწყვეტი მნიშვნელობა, ვფიქრობთ, რომ სხვა მეტეოლოგიური მნიშვნელობათა განსაზღვრავ უნდა მოხდეს იმავე მაღლივ ზონაში, სადაც ჰაერის თუ ნივთიერების ტემპერატურები, წყლის ორთქლის შემცველობა ატმოსფეროში. ღრუბლიანობა და რადიაციული ბალანსი განაპირობებენ ნალექთა ჯამების გარდაქმნას ჩამონადენად. ამიტომ შემდეგში (4) და (9) განტოლებებში შესატან მეტეოლოგიური მნიშვნელობებს განსაზღვრავთ იმ დაკვირვების პუნქტების მონაცემთა გასაშუალებით, რომლებიც განდგებული არიან სწორედ ჩამონადენის ფორმირების მაღლივ ზონაში, აუზის საშუალო სიმაღლის მახლობლობაში. მოიიან რეგიონებისათვის დამახასიათებელ მყარ მნიშვნელობას მეტეოლოგიურთა მონაცემების მაქსიმალური გამოყენებისათვის ამ მაღლივი ზონის შეფარდებით სიგანეს ვღებულობთ 1000მ ტოლად.

2.1. მდ. რიონის ჩამონადენის მგრძნობიარობა კლიმატური ცვლილების მიმართ.

ცხრ. 1-ში მოყვებულია მდინარე რიონი - ჰიდროლოგიური საკუთარი აღპანას ჩამკეტ კვთისათვის წყალშემკრებ ტერიტორიაზე განთავსებული მეტეოსადგურების და საგუშაგოების მონაცემები [22-25], გამოყენებულია გამოთვლებში. წყალშემკრების საერთო ფართობი შეადგენს $S_1 = 2830 \text{ კმ}^2$. აუზის საშუალო სიმაღლეა $H_1 = 1740 \text{ მ}$ [25]. ცხრილის ბოლოს მოყვანილია ჩამონადენის ფორმირების მაღლივი ზონისათვის დამახასიათებელი მეტეოლოგიური მნიშვნელობები, რომლებიც მიღებულია 700-2700 მ სიმაღლეზე განლაგებული პუნქტების მონაცემთა გასაშუალოებით.

2.1.1. შეფასება დ.ტიურკის მოდელით

ცხრ. 1-ში მოყვებული მეტეოლოგიური მნიშვნელობათა ჩასმით (5), (7) და (8) ფორმულებში, ვლბაულობთ: კალიბრების მუდმივა $c = 15 \cdot 5$;

$$\frac{\delta R}{\delta P} = 0.923; \quad -\frac{\delta R}{\delta T_1} = -0.232 \text{ მმ/გრად.}$$

როგორც ვხედავთ ჩამონადენის მგრძნობიარობა ნაღველებისა და ტემპერატურის ცვლილებათა მიმართ საწინააღმდეგო ნიშნისაა. მაგალითად, ორივე ელემენტის ერთდროული ზრდა იწვევს ჩამონადენის მომატებას ნაღვეთა ცვლილებების მხრივ და მის შემცირებას, გამომწვეულს ტემპერატურის ზრდით. მაგრამ

$dR = 0.923 dP - 0.232 dT_1$ (25)

შეფარდება $\frac{\delta R}{\delta P} \sim \frac{\delta R}{\delta T_1} \sim 4$, ე.ი. ტიურკის მოდელის მიხედვით ჩამონადენის მგრძნობიარობა ნაღვეთა ცვლილების მიმართ 4-ჯერ მეტია. ვიდრე მისი მგრძნობიარობა ტემპერატურის ცვლილების მიმართ. ამიტომ ამ შემთხვევაში გადაამწყვეტი მნიშვნელობა ჩამონადენის მოწყვდალობაში შეაქვთ ნაღვეთა ვარიაციებს. ამას ადასტურებს შემდეგი კლიმატური სცენარების მიხედვით შესრულებული ჩამონადენის მგრძნობიარობის შეფასება.

სცენარი I: დავუშვათ, რომ მოსალოდნელია ნაღვეთა ჭამების მომატება 10%-ით, ე.ი. $dP = 0.1 \times P = 0.1 \times 122.4 \text{ მმ} = 12.24 \text{ მმ}$, ტემპერატურის ზრდა კი შეადგენს $dT_1 = 1^\circ \text{C}$ (12.7%).

თანახმად (6)-ისა, გვაქვს

$$dR = 0.923 \times 12.24 \text{ მმ} - 0.232 \text{ მმ/გრად} \times 1 \text{ გრად} = 11.2975 - 0.232 = 11.0655 \text{ მმ.}$$

ამრიგად ჩამონადენის სვლილება შეადგენს $dR=113$ მმ, ან სანწყისი მნიშვნელობის 10%-ს.

სცენარი II: $dP=122.4$ მმ (10%); $dT = 2^{\circ}C$ (25.3%)

$$dR=0.923 \times 122.4 \text{ მმ} - 0.232 \text{ მმ/გრად } \times 2 \text{ გრად} = 112.975 - 0.464 = 112.5 \text{ მმ}$$

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

სცენარი III: $dP=0.05 \times 1224 = 61.2$ მმ (5%). $dT = 1^{\circ}C$ (12.7%)

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

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

სცენარი IV: $dP=0.01 \times 1224 = 12.24$ მმ (1%); $dT = 1^{\circ}C$ (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: $dP=0$; $dT = -1^{\circ}C$ (-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%); $dT = -1^{\circ}C$ (-12.7%).

$$dR=0.923 \times (-122.4) - 0.232 \times (-1) = -112.975 + 0.232 = -112.7 \text{ მმ}$$

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

სცენარი VII: $dP=-122.4$ მმ (-10%), $dT_1 = 1^{\circ}C$ (12.7%).

$$dR=-112.975 - 0.232 = -113.2 \text{ მმ}$$

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

2.1.2. შეფასება მ.ბუდიკოს მონეტით

უპირველეს ყოვლისა ჩამონადენის ფორმირების ზონისათვის დაუდგინოთ რადიაციული ბალანსის მნიშვნელობა

$$r = 12.61 [(1-A)Q - F] \quad (26)$$

სადაც მისი მოკლე - და გრძელტალღოვანი კომპონენტის გამოსათვლელად გამოვიყენოვ ცხრ.1-ში მოყვანილი მეტეოლოგიკური მნიშვნელობები:

$T_0 = 282^{\circ}K$, $T_1 = 280.9^{\circ}K$, $T_2 = 18.2^{\circ}C$, $P = 1224$ მმ, $e = 8.5$ მმ, $D = 3.7$ მმ.

$n_1 = 0.59$, $n_2 = 0.42$, $n = 0.51$. აღზედის მნიშვნელობა მივიღოთ $A = 0.25$, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ ვატი/მ²·კ⁴.

ზონაში ძირითადად შერეული ტყის მასივებია.

თანახმად (16)-სა, გვაქვს

$$a = 1 - 0.255\sqrt{c} = 1 - 0.255\sqrt{8.5} = 0.26;$$

$$x = (1.1 - n)D = (1.1 - 0.51)3.7 = 2.18;$$

$$Q = Q^0 [0.8 - 0.7 \exp(-ax)] = 349 [0.8 - 0.7 \exp(-0.26 \times 2.18)] = 140.6 \text{ } 3\text{ } \text{მ}^2$$

თანახმად (19)-სა, გვაქვს

$$F = \delta c (1 - c_1 n_1) [T_0^4 - n_1^4 (a_1 + b_1 \sqrt{c})] =$$

$$= 0.97 \times 5.67 \times 10^{-8} (1 - 0.7 \times 0.59) [282^4 - 280.9^4 \times (0.526 + 0.065\sqrt{8.5})] = 60.04 \text{ } 3\text{ } \text{მ}^2$$

ამრიგად, თანახმად (25)-სა, რადიაციული ბალანსისათვის გვაქვს $r = 12.61 [(1 - 0.20) \times 140.60 - 60.04] = 12.61 (52.44 \text{ } 3\text{ } \text{მ}^2) = 658.65 \approx 659$ მ კალიბრების მუდმივა (10)-დან:

$$c = \frac{(1224 - 1126)^2}{659 \times 1224 [1 - \exp(-\frac{659}{1224})] \ln(\frac{1224}{659})} = 0.03$$

(12) და (13)-დან გვაქვს

$$\frac{\partial R}{\partial P} = 0.983; \quad \frac{\partial R}{\partial T} = -0.117$$

ამრიგად, აქაც, ჩამონადენის მგრძნობიარობას ნაღვეთა და რადიაციული ბალანსის ცვლილებათა მიმართ საწინააღმდეგო ნიშანი აქვს. მაგრამ, რადგან

$\frac{\partial R}{\partial P} - \frac{\partial R}{\partial T} = 8.4$, ვლუბულობთ, რომ ბუდიკოს მოდელი უკონვეკვაშიუ მოწყვდადობა ნაღვეთა ცვლილებებისას გადამწყვეტ როლს თამაშობს ჩამონადენის ვარიაციებში: $dr = 0.983 dP - 0.117 dT$. (27)

შევაჯასოდ (17) და (20)-ში შემაჯავალი ყველა კერძო წარმოებული.

$$\frac{\partial Q}{\partial c} = 0.089 \frac{349 \times 2.18 \times \exp(-0.26 \times 2.18)}{\sqrt{8.5}} = -13.176 \text{ } 3\text{ } \text{მ}^2 \text{ } \text{მმ};$$

$$\frac{\partial Q}{\partial D} = 0.7 \times 349 \times 0.26 (1.1 - 0.51) \exp(-0.26 \times 2.18) = 21.260 \text{ } 3\text{ } \text{მ}^2 \text{ } \text{მმ};$$

$$\frac{\partial Q}{\partial n} = -0.7 \times 349 \times 0.26 \times 3.7 \times \exp(-0.26 \times 2.18) = -133.325 \text{ } 3\text{ } \text{მ}^2;$$

$$\frac{\partial F}{\partial r_1} = -0.97 \times 5.67 \times 10^{-9} \times 0.7 \times [282^4 - 280.9^4 (0.526 + 0.065 \sqrt{8.5})] = -71.97036 / \text{მ}^2.$$

$$\frac{\partial F}{\partial r_0} = -4 \times 0.97 \times 5.67 \times 10^{-9} \times (1 - 0.7 \times 0.59) \times 282^3 = 2.896 \frac{36}{\text{მ}^2} \text{ გრაფ};$$

$$\frac{\partial F}{\partial T_1} = -4 \times 0.97 \times 5.67 \times 10^{-9} \times (1 - 0.7 \times 0.59) \times 280.9^3 \times (0.526 + 0.065 \sqrt{8.5}) = -2.048 \frac{36}{\text{მ}^2} \text{ გრაფ};$$

$$\frac{\partial F}{\partial e} = -0.97 \times 5.67 \times 10^{-9} \times (1 - 0.7 \times 0.59) \times 280.9^4 \times \frac{0.065}{2 \sqrt{8.5}} = -2.241 \frac{36}{\text{მ}^2} \text{ გრაფ}.$$

შემდგომი შეფასებებისათვის მივიღოთ ასეთი კლიმატური სცენარი. გამომდინარე [1, 2, 8]-ში მოცემული კვლევის შედეგებიდან:

$$dT_0 = -3^\circ; \quad dT_1 = -1^\circ; \quad de = 0.3 \text{ მმ}; \quad dD = 0.5 \text{ მმ};$$

$dn = dr_1 = 0.2$. შევნიშნოთ, რომ ღრნხილულია ჩამონადენის ფორმირების ზონისათვის დამახასიათებელი საპროგნოზო ექსტრემალური შემთხვევა.

(17)-დან ვღებულობთ

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial e} de + \frac{\partial Q}{\partial D} dD + \frac{\partial Q}{\partial r_1} dr_1 = -13.176 \times 0.3 + 21.260 \times 0.5 - 133.325 \times 0.2 \approx -20.00 \frac{36}{\text{მ}^2}.$$

(20)-დან ვღებულობთ:

$$dF = \frac{\partial F}{\partial r_1} dr_1 + \frac{\partial F}{\partial r_0} dr_0 + \frac{\partial F}{\partial T_1} dT_1 + \frac{\partial F}{\partial e} de = -71.970 \times 0.2 + 2.896 \times$$

$$\times (-3) - 2.048 \times (-1) - 2.241 \times 0.3 = -21.7136 / \text{მ}^2.$$

dQ და dF -ის მნიშვნელობათ ჩასმ.თ (14)-ში ვღებულობთ ჩამონადენის ფორმირების ზონისათვის რადიაციული ბადანის ცვლილების შედეგ შეფასებას:

$$dr = 12.61 [(1 - 0.20) \times (-20) - (-21.71)] = 12.61 \times (5.7136 / \text{მ}^2) \approx 72 \text{ მმ}, \text{ რაც შეადგენს არსებული ბადანის მნიშვნელობის } 10.9\%.$$

დავადგინოთ მდ.რიონის ს. ა. დავანას კვეთში მოსალოდნელი ჩამონადენის ცვლილება.

სცენარი I: ნაღვეთა ჭამების მომატება წყალშემკრებზე შეადგენს $dP = 0.4 \times 122.4 \text{ მმ} = 122.4 \text{ მმ} (10\%)$, ხოლო რადიაციული ბადანის ცვლილება კი - $dr = 72 \text{ მმ} (11\%)$.

ჩამონადენის ცვლილებისათვის (11)-დან ვღებულობთ:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial P} dP + \frac{\partial R}{\partial r} dr = 0.983 \times 122.4 - 0.117 \times 72 \approx 112 \text{ მმ} (10\%).$$

სყენარი II: $dP=61.2$ მმ(5%); $dr=72$ მმ(11%).

ჩამონადენის მომატება შეადგენს
 $dR=0.983 \times 61.2 - 0.117 \times 72 \approx 52$ მმ(4.6%).

სყენარი III: $dP=12.24$ მმ(1%); $dr=72$ მმ(11%).

ჩამონადენის მომატება შეადგენს
 $dR=0.983 \times 12.24 - 0.117 \times 72 = 3.6$ მმ(0.3%). ამ შემთხვევაში ჩამონადენს ფაქტიურად არ იცვლება.

სყენარი IV: $dP=-122.4$ მმ(-10%); $dr=72$ მმ(11%).

ჩამონადენის შემცირება შეადგენს
 $dR=0.983 \times (-122.4) - 0.117 \times 72 \approx -129$ მმ(-11.5%).

სყენარი V: $dP=-61.2$ (-5%); $dr=72$ მმ(11%).

ჩამონადენის შემცირება შეადგენს
 $dR=0.983 \times (-61.2) - 0.117 \times 72 \approx -69$ მმ(-6%).

სყენარი VI: $dP=-12.24$ მმ(-1%); $dr=72$ მმ(11%).

$dR=0.983 \times (-12.24) - 0.117 \times 72 \approx -21$ მმ(-1.9%).
ჩამონადენის შემცირება ამ შემთხვევაში შეადგენს 21 მმ ან დაახლოებით 2%-ს.

სყენარი VII: $dP=-122.4$ მმ(-10%); $dr=-72$ მმ(-11%).

$dR=0.983 \times (-122.4) - 0.117 \times (-72) \approx -112$ მმ(-10%).
ამრიგად, თუ წყადშემკრებზე მოსაღონებელია ნაღვეთა კამებისა და რადიაციული ზადანის ერთდროული შემცირება 10-11%-ით, მაშინ ჩამონადენიც უნდა შემცირდეს 10%-ით.

ვაჩვენოთ, რომ, თუ გამოვიყენებთ რადიაციული ზადანის და მისი ცვლილების გამოსათვლელად (23) და (24) ფორმულებს, მაშინ ჩამონადენის ცვლილების შეფასების შედეგები ემთხვევა ორივე მიხედვით მიღებულ შეფასებებს. მართლაც, (23)-დან ვღებულობთ
 $r=12.61 \times 9.91 \times (18.2)^{1.21} \times (1224)^{-0.21} = 12.61 \times (74.524 \text{ კგ/მ}^2) \approx 940$ მმ,
ხოლო (24)-დან

$$dr = 151.21 \times \frac{18.2}{1224}^{0.21} \quad dT_2 = 26.24 \times \frac{18.2}{1224}^{1.21} \quad dP = 62.483 \quad dT_2 = 0.161 \quad dP.$$

ამ გამოსახულების ჩასმით (11)-ში, საბოლოოდ ვღებულობთ ჩამონადენის ცვლილების შეფასებისათვის შემდეგ ფორმულას:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial P} dP + \frac{\partial R}{\partial T_2} [62.483 dT_2 - 0.161 dP] = 0.983 dP - 0.117 [62.483 dT_2 - 0.161 dP] = 1.002 dP - 7.311 dT_2 \quad (28)$$

მიღებული ფორმულა იმავე ტიპისაა, რაც 2.1.1. ქვეთავში გამოყენებული გამოსახულება. განსხვავდება მხოლოდ მეორე კოეფიციენტის სიდიდით. ეს განსაკუთრებით, რადგან (28)-ში შესულია ივლისის (და არა წლიური) პერიოდის ტემპერატურა. ამიტომ (28)-ით მიღებული ჩამონადენის ცვლილებათა შეფასებები ახლოსაა ორივე მოდელით მიღებულ შედეგებთან.

სცენარი I: $dP=122.4$ მმ(10%); $dT_2=1^{\circ}\text{C}$ (5.5%).
 $dR=1.002 \times 122.4 - 7.311 \times 1 = 122.6 - 7.3 = 115.3$ მმ(10.2%).

სცენარი II: $dP=122.4$ მმ(10%); $dT_2=2^{\circ}\text{C}$ (11%).
 $dR=1.002 \times 122.4 - 7.311 \times 2 = 122.6 - 14.6 = 108.0$ მმ(9.6%).

სცენარი III: $dP=61.2$ მმ(5%); $dT_2=1^{\circ}\text{C}$ (5.5%).
 $dR=1.002 \times 61.2 - 7.311 \times 1 = 61.322 - 7.311 = 54$ მმ(4.8%).

სცენარი IV: $dP=12.24$ მმ(1%); $dT_2=1^{\circ}\text{C}$ (5.5%).
 $dR=1.002 \times 12.24 - 7.311 \times 1 = 12.26 - 7.31 = 4.96$ მმ(0.4%),
 ჩამონადენი ფაქტიურად არ იცვლება.

სცენარი V: $dP=-122.4$ (-10%); $dT_2=1^{\circ}\text{C}$ (5.5%).
 $dR=1.002 \times (-122.4) - 7.311 \times 1 = -122.6 - 7.311 = \approx -130$ მმ(-11.5%).

სცენარი VI: $dP=-61.2$ მმ(-5%); $dT_2=1^{\circ}\text{C}$ (5.5%).
 $dR=1.002 \times (-61.2) - 7.311 \times 1 = -61.322 - 7.311 = -69$ მმ(-6.1%).

სცენარი VII: $dP=-122.4$ (-10%); $dT_2=-1^{\circ}\text{C}$ (-5.5%).
 $dR=1.002 \times (-122.4) - 7.311 \times (-1) = -122.6 + 7.311 = -115$ მმ(-10%).

სცენარი VIII: $dP=-122.4$ (-10%); $dT_2=-2^{\circ}\text{C}$ (-11%).
 $dR=1.002 \times (-122.4) - 7.311 \times (-2) = -122.6 + 14.6 = -108$ მმ(-9.6%).

2.2. მდ. მტკვარის ჩამონადენის მგრძნობიარობა კლიმატური ცვლილებათა მიმართ.

ცხრ. 2-ში წარმოდგენილია მდინარე მტკვარი - საგუშაგო ობიექტის ჩამქეტი კვეთის წყალშემკრებ ტერიტორიაზე განდაგებული ზოგიერთი ჰიდრომეტეოროლოგიური პუნქტის მონაცემი [22-25], გამოყენებული ჩამონადენის ცვლილების შეფასებაში. წყალშემკრების ფართობი შეადგენს $S_1 = 21100 \text{ კმ}^2$, აუზის საშუალო სიმაღლეა $H_1 = 1710 \text{ მ}$ [27]. ამიტომ, ამ შემთხვევაშიც, ჩამონადენის ფორმირების ზონად მიღებულია ზღვის დონიდან 700-2700 მ სიმაღლეების შესაბამისი მალდივი ზოლი. განხილულია 6 ძირითადი შენაკადის (მდინარეები ფარავანი, ლოცხოვი ზორტომუდა, დიდი და პატარა დიხვი, ქსანი, არაგვი) და თვით მდ. მტკვარის აუზები. ყად-ყადკე ამ აუზების ჩამონადენის ფორმირების მალდივ ბოლებში განდაგებული პუნქტების მონაცემთა გასაშუალოებით, შემდეგ კი მიღებული სიდიდეების საბოლოო გასაშუალოებით 7 აუზის მიხედვით. განსარჩევრულია ჩამონადენის ფორმირებისა და მისი ცვლილების მთავარი შემავალი პარამეტრები. ეს პარამეტრები მოცემულია ცხრ. 2-ის ბოლო სტრიქონში.

2.2.1. შეფასება დ.ტიურკის მოდელით.

მდ. მტკვარის ჩამონადენის ფორმირების მალდივი ზონისატვის დამახასიათებელი მეტეოპარამეტრების ჩასმით (5), (7) და (8) ფორმულებში ვლებულობთ

$$c = -0.082; \frac{\partial R}{\partial P} = 1.019; \quad \frac{\partial R}{\partial T} = -33.228 \text{ მმ/გრად.}$$

ჩამონადენის მგრძნობიარობას შესაბამისად ნადექებისა და ტემპერატურის ცვლილებათა მიმართ ისევ ურთიერთი საწინააღმდეგო ნიშანი აქვთ. მაგრამ მდ. მტკვარის შემთხვევაში, პირიქით, მგრძნობიარობა ტემპერატურის ცვლილების მიმართ თითქმის 33-ჯერ უფრო მეტია, ვიდრე მგრძნობიარობა ნადექთა ვარიაციების მიმართ

$$\frac{\partial P}{\partial T_1} \cdot \frac{\partial R}{\partial P} = 32.6$$

ამის გამო ჩამონადენის მოწყვდადობაში დიდი წვლილი შეაქვს სწორედ ტემპერატურის ცვლილებას, რომლის ეფექტი იმავე რიგისა ხდება რაც ნადექთა ცვლილებისა. ამრიგად (6)-დან მდ. მტკვარის ჩამონადენის ცვლილებისათვის ვლებულობთ

$$dR = 1.019 dP - 33.228 dT_1 \quad (29)$$

სცენარი I: $dP = 0.1P = 79.5$ მმ (10%); $dT_1 = 1^\circ C$ (15%)

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

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

სცენარი II: $dP = 79.5$ მმ (10%); $dT_1 = 2^\circ C$ (30%)

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

სცენარი III: $dP = 39.75$ მმ (5%); $dT_1 = 1^\circ C$ (15%)

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

სცენარი IV: $dP = 39.75$ მმ (5%); $dT_1 = 2^\circ C$ (30%)

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

ამრიგად წყადშემკრებზე ჯამური ნალექი 5%-ით (39.75 მმ) გაზრდისას და ტემპერატურის $2^\circ C$ მომატების შემთხვევაში მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 26 მმ-ით, რაც შეადგენს არსებულის 8.5%-ს.

სცენარი V: $dP = 7.95$ მმ (1%); $dT_1 = 1^\circ C$ (15%)

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

სცენარი VI: $dP = 0$; $dT_1 = 2^\circ C$ (30%)

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

თუ წყადშემკრებზე ჯამური ნალექი არ შეიყვება ტემპერატურის $2^\circ C$ -ით მომატების პირობებში, მაშინ მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 66.5 მმ-ით, ე.ი. დაახლოებით 22%-ით.

სცენარი VII: $dP = 0$; $dT_1 = -2^\circ C$ (-30%)

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

VI სცენარით შეფასების საწინააღმდეგოდ, თუ მოსალოდნელია ტემპერატურის დაყვამა 2° -ით უკველ მალექთა ფონზე, მაშინ ჩამონადენი უნდა გაიზარდოს 66.5 მმ-ით, ე.ი. 22%-ით.

სცენარი VIII: $dP = -79.5$ მმ (-10%); $dT_1 = -1^\circ C$ (-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%); $dT_1 = 1^\circ C$ (15%)

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

მდ. რიონი - ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები

ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
...	72	...	46	12	0.3	0.52		
...	52	156	1264	75	29	0.2	0.47		
...			1252						216
...			1339						2430
...			1339						527
...			1339						2430
...	56		1042						
...	1131	67	175	1350	86	32	0.56	0.36	
...	291			1458					707
...									2370
...	860			1079					
...	113	95	182	1215					
...	156			1093					
...	1100			1120					
14	688	106	204	1048	94	5.1	0.9	0.42	1060
											2210
15	600			1106					2010
											1940
...	144	112	219	1075	107	5.0	0.4	0.36	
...	125	112	221	1088	110	5.0	0.4	0.36	
...	326			1095					7430
											1740
...	102	182	1224	85	3.7	0.9	0.42	2690
											1740

ს. ალპინის ჩამკვერ კვეთის წყალშემკვრებ ტერაქტორიაზე მტვერომიქრობულტექნიკისა და პილართლიცაურ ხაგუშვითთა მოსაკემები [23]

ამ შემთხვევაში მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება 114 მმ-ით. რაოდენს არსებული ჩამონადენის 37%-ს.

სცენარი X: $dP = -79.5$ მმ(-10%); $dT_1 = 2^{\circ}C$ (30%).

$$dR = 1.019x(-79.5) - 33.228x2 = -147.5 \text{ მმ } (-48.4\%).$$

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

2.2.2. შეფასება მ. ბუდიკოს მოდელით.

ჩამონადენის ფორმირების ზონისათვის გამოვითვალთ რადიაციული ბაღანისის მნიშვნელობა (26)-ის მიხედვით. ამისათვის ვისარგებლოთ მისი კომპონენტების (16) და (19) ფორმულებით და მოვედის შეძაქადი პარამეტრების მნიშვნელობებით (იხ. ცხრ.2).

$$T_0 = 281.6^{\circ}K, T_1 = 279.7^{\circ}K, T_2 = 17.3^{\circ}C, P = 795 \text{ მმ}, e = 8.0 \text{ მმ}, \\ D = 3.9 \text{ მმ}, n_1 = 0.58, n_2 = 0.43, \tau = 0.51, A = 0.30.$$

აღბედოს შესაფასებლად გამოყენებულია [28]-ში მოყვანილი მისი საშუალო წიღური მნიშვნელობის განაწილება კავკასიაში და სიმალდებუ დამოკიდებულობის ფორმულა $A = A_0 - 0.3H_1 + 3.1H_1^2$, სადაც A მოყვებულია %-ში. ხოლო H_1 - კმ-ში. შეფასება $A = 30\%$ მიღებულია $A_0 = 21$ და $H_1 = 1.71$ კმ მნიშვნელობებისათვის (ცხრ.2).

თანახმად (16)-სა, გვაქვს

$$a = 1 - 0.2557e = 1 - 0.2557 \cdot 8.0 = 0.279;$$

$$x = (1.1 - n)D = (1.1 - 0.51)3.9 = 2.301;$$

$$C = D^2 [0.8 - 0.7 \exp(-ax)] = 349 [0.8 - 0.7 \exp(-0.279 \cdot 2.301)] = 150.637 \text{ კმ}^2$$

თანახმად (19)-სა, გვაქვს

$$F = \rho c (1 - c_1 n_1) [T_0^4 - T_1^4 (a_1 + b_1 \sqrt{e})] =$$

$$= 0.97x5.67x10^{-8} (1 - 0.7x0.58) [281.6^4 - 279.7^4 (0.526 + 0.065\sqrt{8.0})] = \\ = 63.49436 \text{ კმ}^2.$$

თანახმად (26)-სა, რადიაციული ბაღანისისათვის გვაქვს

$$r = 12.61 [(1 - 0.30)x150.637 - 63.494] = 12.61x(41.95 \text{ კმ}^2) = 529 \text{ მმ}.$$

(10)-დან კადიბრების მუდმივა ტოლია:

$$c = \frac{(795 - 305)^2}{529x795 [1 - \exp(-\frac{529}{795})] + \text{th}(\frac{795}{529})} = 1.2973.$$

თანახმად (12) და (13), გვაქვს.

$$-\frac{\partial R}{\partial P} = 0.8168 ; \quad -\frac{\partial R}{\partial T} = -0.6510$$

ამრიგად, ჩამონადენის მგრძობიარობაში ნაღვეთა ჯამების და რადიოაქიუს ზადანის სვლილებებს შეაქვთ საწინააღმდეგო ნიშნის უფექტი. ხოლო სიდიდით მათი, წვლილი, დაახლოებით, ერთნაირია

$$-\frac{\partial R}{\partial P} - \frac{\partial R}{\partial T} = 1.26$$

(6)-დან მდ.მტკვარის ჩამონადენის სვლიებისათვის ვღებულობთ.

$$dR = 0.8168 dP - 0.6510 dT \quad (30)$$

რაოდენობრივად შევაჯასთ (30)-ში წარმოდგენილი dR -ის მნიშვნელობა ამისათვის გამოვიყვადოთ (17) და (20)-ში შემავალი ყველა კერძო წარმოებუდი:

$$\frac{\partial Q}{\partial e} = -0.089 \frac{249 \times 2.301 \exp(-0.279 \times 2.301)}{\sqrt{8}} = -13.2978 \frac{30}{\text{მ}^2}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial T} = 0.7 \times 349 \times 0.279 \times (1.1 - 0.51) \exp(-0.279 \times 2.301) = 21.1627 \frac{30}{\text{მ}^2}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial n} = -0.7 \times 349 \times 0.279 \times 3.9 \times \exp(-0.279 \times 2.301) = -139.8893 \frac{30}{\text{მ}^2}$$

$$\frac{\partial T}{\partial n_1} = -0.97 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 0.7 \times [281.6^4 - 279.7^4 (0.526 + 0.065\sqrt{8})] = -74.8352 \frac{30}{\text{მ}^2}$$

$$\frac{\partial T}{\partial T_0} = 4 \times 0.97 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (1 - 0.7 \times 0.58) \times 281.6^3 = 2.9181 \frac{30}{\text{მ}^2}$$

$$\frac{\partial T}{\partial T_1} = -4 \times 0.97 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (1 - 0.7 \times 0.58) \times 279.7^3 (0.526 + 0.065\sqrt{8}) = -2.0298 \frac{30}{\text{მ}^2}$$

$$\frac{\partial T}{\partial e} = -0.97 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (1 - 0.7 \times 0.58) \times 279.7^4 \times \frac{0.065}{2\sqrt{8}} = -2.2975 \frac{30}{\text{მ}^2}$$

მივიღოთ შემდეგი კლიმატური სუენარი, რომელიც უყრდნობა [1,2,8]-ში მოცემულ ემპირიული მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის შედეგებს.

$$dT_0 = 0.5^\circ\text{C}; \quad dT_1 = 1^\circ\text{C}; \quad de = 0.3 \text{ მმ}; \quad dD = 0.5 \text{ მმ};$$

$dn = dn_1 = 0.2$. მაშინ (17)-დან ვღებულობთ:

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial e} de + \frac{\partial Q}{\partial T_0} dT_0 + \frac{\partial Q}{\partial T_1} dT_1 + \frac{\partial Q}{\partial n} dn = -13.2978 \times 0.3 + 21.1627 \times 0.5 - 139.8893$$

$$\times 0.2 = -21.39 \frac{30}{\text{მ}^2}$$

(20)-დან გვაქვს:

$$dP = -\frac{\partial P}{\partial n_1} dn_1 - \frac{\partial P}{\partial n_2} dn_2 + \frac{\partial P}{\partial n_1} dn_1 + \frac{\partial P}{\partial n_2} dn_2 =$$

$$= -74.8352x0.2 + 2.9181x0.5 - 2.0298x1 - 2.2975x0.3 = -16.23 \text{ ვტ/მ}^2.$$

დღ და dP -ის მნიშვნელობათა ჩანძით (14)-ში ვლუბულობთ ჩამონადენის ფორმირების ზონისათვის რადიაციული ბადანსის ცვლილების შემდეგ შეფასებას:

$dr = 12.61[(1+0.30)x(-21.39) - (-16.23)] = 12.61x(1.26 \text{ ვტ/მ}^2) = 15.85$ მმ რაც ბადანსის საწყისის მნიშვნელობის 3% შეადგენს.

დავადგინოთ მდ. მტკვარის - ს. თბილისის კვთში ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილება (30)-ის მიხედვით.

სცენარი I: $dP = 0.2x79588 = 15988(20\%)$, $dr = 15.8588(3\%)$.

$$dR = 0.8168x159 - 0.6510x15.85 = 119.688(39.2\%).$$

ჩამონადენის მოშატუბა შეადგენს დაახლოებით 120მმ ანუ 39%.

სცენარი II: $dP = 0.1x79588 = 79.588(10\%)$; $dr = 15.8588(3\%)$.

$$dR = 0.8168x79.5 - 0.6510x15.85 = 54.6288(17.9\%).$$

სცენარი III: $dP = 0.05x79588 = 39.888(5\%)$; $dr = 15.8588(3\%)$.

$$dR = 0.8168x39.8 - 0.6510x15.85 = 22.288(7.3\%).$$

სცენარი IV: $dP = 0$; $dr = 15.8588(3\%)$.

$$dR = 0.8168x0 - 0.6510x15.85 = -10.388(-3.4\%).$$

სცენარი V: $dP = -79.588(-10\%)$, $dr = 15.8588(3\%)$.

$$dR = 0.8168x(-79.5) - 0.6510x15.85 = -75.2688(-24.7\%).$$

ჩამონადენის შემცირება შეადგენს დაახლოებით 25%-ს.

სცენარი VI: $dP = -39.888(-5\%)$; $dr = 15.8588(3\%)$

$$dR = 0.8168x(-39.8) - 0.6510x15.85 = -42.8388(-14\%).$$

სცენარი VII: $dP = -79.588(-10\%)$; $dr = 52.988(10\%)$.

$$dR = 0.8168x(-79.5) - 0.6510x52.9 = -99.3888(-32.6\%).$$

სცენარი VIII: $dP = -79.588(-10\%)$; $dr = -52.988(-10\%)$.

$$dR = 0.8168x(-79.5) - 0.6510x(-52.9) = -30.588(-10\%).$$

ამრიგად, ჩამონადენის ფორმირების ზონაში ნაღებების შემცირება და რადიაციული ბადანის მატება 10%-ით გამოიწვევს ჩამონადენის შემცირებას 33%-ით, ხოლო ნაღებებისა და ბადანის ერთდროული შემცირება 10%-ით გამოიწვევს ჩამონადენის შემცირებას ასევე 10%-ით.

შევაფასოთ ჩამონადენის ცვლილება (23) და (24) ფორმულების გამოყენებით და შევადაროთ ის ორივე მოდელით მიღებულ შედეგებს (23)-დან ვლუბულობთ

$$r = 12.61 \times 9.91 \times (17.3)^{1.21} \times (795)^{-0.21} = 12.61 \times (76.74236 / \text{მ}^2) = 967.78 \text{მ}$$

ხოლო (24)-დან

$$dr = 151.21 \times (17.3)^{0.21} \times (795)^{-0.21} \times (17.3)^{1.21} \times (795)^{-1.21} \times dr = 67.62 dR_2 - 0.26 dP$$

ჩავსვათ dr -ის გამოსახულება (11)-ში, მაშინ ჩამონადენის ცვლილების შეფასებისათვის ვლუბულობთ ფორმულას:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial P} dP + \frac{\partial R}{\partial P} \times [67.62 dR_2 - 0.26 dP] = 0.8168 dP - 0.651 \times [67.62 dR_2 - 0.26 dP] = 0.986 dP - 44.02 dR_2 \quad (31)$$

ფორმულა (31) ძალიან ახლოსაა ტიურკის მოდელით მიღებულ (29) გამოსახულებასთან. ამიტომ (31)-ით შესრულებული შეფასებები, ბუნებრივია, დიდად არ განსხვავდებიან 2.2.1 ქვეთავში მიღებულ შედეგებისგან.

2.2.3. შეფასება ემპირიულ - სტატისტიკური მოდელით

მდ. მტკვარის - ს.თბილისის კვეთისათვის საშუალო წლიური ჩამონადენის კლიმატურ პრედიქტორებზე დამოკიდებულების დასადგენად გამოთვლილ იქნა კორელაციური მატრიცა შემდეგს ელემენტებისათვის. ჩამონადენი R მ³/წმ, ჰამური ნაღებები P მმ, ჰაერის ტემპერატურა T °C, წყლის ორთქლის დრეკაქობა e მმ, ფარდობითი ტენიანობა f %, მ³ წნეების ხანგრძლივობა S სთ, ქარის სიჩქარე V მ/წმ, ნიადაგის ტემპერატურა T_s °C. გამოყენებული იყო თბილისის მეტეო სადგურისა და ჰიდროლოგიური საგუშაგოს 1936-1990 წწ უწყვეტ მონაცემთა რიგები - შემთხვევათა რიცხვი $N=55$. კორელაციური მატრიცა მოყვანილია ცხრ.3-ში.

კორელაციური მატრიცა (1936-1990 წწ მონაცემები, N=55). ცხრილი 3

	R	P	T_1	e	f	S	V
საშუალო	204.0	525.7	19.06	10.55	65.99	2038.0	1.88
საშუალო კვა დრატული ბა- დახრა	43.88	115.2	0.65	0.41	1.99	149.5	0.66
	R	P	T_1	e	f	S	V
R	1	0.306	-0.175	-0.115	0.256	-0.277	0.213
P		1	-0.365	0.168	0.535	-0.323	0.123
T_1			1	0.436	-0.324	0.180	-0.035
e				1	0.427	-0.183	-0.337
f					1	-0.326	0.109
S						1	0.266
V							1

კორელაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობათა მდგრადობის შესასწავლად ანალიტიური მატრიცა გამოთვლილ იქნა 1954-1990 წწ მონაცემების საფუძველზე - შემთხვევათა რიცხვი N=37. იგი მოყვანილია ცხრ. 4-ში.

კორელაციური მატრიცა (1954-1990 წწ მონაცემები, N=37). ცხრილი 4.

	R	P	\bar{m}_1	e	f	S	V	\bar{m}_0
საშუალო	197.5	513.0	13.09	10.67	65.98	2035.0	1.59	16.1
საშუალო კვადრატული დანბრა	41.74	119.3	0.73	0.38	2.07	148.8	0.57	0.1
	R	P	\bar{m}_1	e	f	S	V	\bar{m}_0
R	1	0.228	-0.347	-0.091	0.323	-0.141	-0.018	-0.363
P		1	-0.409	0.265	0.517	-0.371	-0.074	-0.446
\bar{m}_1			1	0.538	-0.346	0.250	-0.038	0.894
e				1	0.383	-0.103	-0.186	0.402
f					1	-0.279	0.157	-0.325
S						1	0.501	0.214
V							1	-0.075
\bar{m}_0								1

კორელაციური მატრიცების ანალიზის შედეგად, მათი ელემენტების მდგრადობის გათვალისწინებით პრედიქტორებად შერჩეულ იქნა ჯამური ნაღველები და ფარდობითი ტენიანობა - კორელაციის კერძო კოეფიციენტების მნიშვნელობები ამ შემთხვევაში ტოლია

$$r_{12} = 0.306 (0.228) \quad , \quad r_{15} = 0.323 (0.256) \quad .$$

[29]-ში დამუშავებული ორიგინალური მეთოდის გამოყენებით მიღებულია შემდეგი ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი, რომელიც ასახავს წლიური ჩამონადენის კავშირს ჯამურ ნაღველსა და ფარდობით ტენიანობას შორის

$$R = c_1 + c_2 f + c_3 f^2 + (d_1 + d_2 f + d_3 f^2) P \quad , \quad (32)$$

სადაც P მოცუპულია მმ-ში, f - %-ში, ხოლო R - მ³/წმ-ში. კოეფიციენტების რიყბვიით მნიშვნელობებია:

$$c_1 = 80012.9; c_2 = -2434.62; c_3 = 18.5369;$$

$$d_1 = -150.6; d_2 = 4.58423; d_3 = -0.0348276.$$

(32)-ში კორელაციური მატრიყის შემავალი პარამეტრების ჩასმით (იხ.ყბრ.3, $f=66\%$, $P=525.7$ მმ), ჩამონადენისათვის ვღებულობთ $R=206$ მ³/წმ, რაც 1%-ის სიზუსტით ემთხვევა მის ყბრიყრ მნიშვნელობას ($R=204$ მ³/წმ).

მღმტკვარის ჩამონადენის ყვღიღება ამ შემთხვევაში გამოსახეჩა შემღევი ფორმულით:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial P} dP + \frac{\partial R}{\partial f} df, \quad (33)$$

სადაც მგრძნობიარობა ნადეჩთა ყვღიღების მიმართ ტოღია

$$\frac{\partial R}{\partial P} = d_1 + d_2 f + d_3 f^2, \quad (34)$$

ხოლო მგრძნობიარობა ფარღობითი ტენიანობის ყვღიღების მიმართ ტოღია

$$\frac{\partial R}{\partial f} = c_2 + 2c_3 f + (d_2 + 2d_3 f)P. \quad (35)$$

(34) და (35)-ის ჩასმით (33)-ში, ჩამონადენის ყვღიღებისათვის ვღებულობთ:

$$dR = (d_1 + d_2 f + d_3 f^2) dP + [c_2 + 2c_3 f + (d_2 + 2d_3 f)P] df. \quad (36)$$

თუ გავითვადისწინებთ კორელაციური მატრიყის შემავალ პარამეტრებს $R=204$ მ³/წმ, $P=525.7$ მმ, $f=66\%$, საბოლოოდ გვეჩენება

$$dR = 0.25 dP + 5.41 df. \quad (37)$$

თანახმად [2]-სა, თბიღისში ფარღობითი ტენიანობის საუკუნეობრივი ყვღიღება შეადგენს $df=1-2\%$, იგი მაქსიმადეურია აღმოსავღეთ საქართვეღში.

(37)-დან გამომღინარე ჩამონადენის ყვღიღებისათვის გვეჩენება შემღევი შეფასებები:

სყენარი I: $dP=105.14$ მმ (20%); $df=2\%$ (3%).

$$dR = 0.25 \times 105.14 + 5.41 \times 2 = 37.105 \text{ მ}^3/\text{წმ} \text{ (18\%)}$$

სყენარი II: $dP=52.57$ მმ (10%); $df=2\%$ (3%).

$$dR = 0.25 \times 52.57 + 5.41 \times 2 = 23.963 \text{ მ}^3/\text{წმ} \text{ (12\%)}$$

სყენარი III: $dP=26.285$ მმ (5%); $dI=2\%$ (3%).

$$dR=0.25 \times 26.285 + 5.41 \times 2 = 17.391 \text{ მ}^3/\text{წმ} (8.5\%).$$

სყენარი IV: $dP=0$; $dI=2\%$ (3%).

$$dR=10.82 \text{ მ}^3/\text{წმ} (5.3\%).$$

სყენარი V: $dP=-26.285$ მმ (-5%); $dI=2\%$ (3%).

$$dR=-0.25 \times 26.285 + 5.41 \times 2 = 4.249 \text{ მ}^3/\text{წმ} (2\%).$$

სყენარი VI: $dP=-52.57$ მმ (-10%); $dI=2\%$ (3%).

$$dR=-0.25 \times 52.57 + 5.41 \times 2 = -2.323 \text{ მ}^3/\text{წმ} (-1\%).$$

სყენარი VII: $dP=-105.14$ მმ (-20%); $dI=2\%$ (3%).

$$dR=-0.25 \times 105.14 + 5.41 \times 2 = -15.465 \text{ მ}^3/\text{წმ} (-7.6\%).$$

სყენარი VIII: $dP=-105.14$ მმ (-20%); $dI=1\%$ (1.5%).

$$dR=-0.25 \times 105.14 + 5.41 \times 1 = -20.875 \text{ მ}^3/\text{წმ} (-10\%).$$

სყენარი IX: $dP=-105.14$ მმ (-20%); $dI=-2\%$ (-3%).

$$dR=-0.25 \times 105.14 - 5.41 \times 2 = -37.105 \text{ მ}^3/\text{წმ} (-18\%).$$

სყენარი X: $dP=-105.14$ მმ (-20%); $dI=2\%$ (3%).

$$dR=-0.25 \times 105.14 + 5.41 \times 2 = -15.465 \text{ მ}^3/\text{წმ} (-7.6\%).$$

სყენარი XI: $dP=-52.57$ მმ (-10%); $dI=2\%$ (3%).

$$dR=-0.25 \times 52.57 + 5.41 \times 2 = -2.323 \text{ მ}^3/\text{წმ} (-1\%).$$

ამრიგად, ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელის გამოყენების შემთხვევაში, მისი მგრძნობიარობა ორივე პრედიქტორის ცვლილებისას დადებითია

$$\frac{\partial R}{\partial P} = 0.25 \frac{\text{მ}^3/\text{წმ}}{\text{მმ}}; \quad \frac{\partial R}{\partial I} = 5.41 \frac{\text{მ}^3/\text{წმ}}{\%} \quad (38)$$

ყველაზე ადბათური კლიმატური სყენარის მიხედვით თუ მივიღებთ, რომ $dI=2\%$ მაშინ ჩამონადენის ცვლილებისათვის ვლუბდობთ ფაქტიურად წრფივ დამოკიდებულების ჯამური ნადაქების ცვლილებაზე

$$dR=0.25dP+10.82 \quad (39)$$

3. მდინარული ჩამონადენის მგრძნობიარობის და მისი ცვლილებების შედარება

ერთი და იგივე, აგრეთვე, სხვადასხვა აუზისათვის მდინარული ჩამონადენის მგრძნობიარობისა და მისი ცვლილების შედარებისათვის ყველა გამოთვლილი პარამეტრის მნიშვნელობა თავმოყრილია ცხრ.5-ში. როგორც ვხედავთ მდ. რიონი - ს.ადჰანას კუთისათვის დამახასიათებელია წილური ჩამონადენის კოეფიციენტის შედარებით მაღალი სიდიდე $k=0.92$. ეს მიგვანიშნებს იმაზე, რომ ამ შემთხვევაში წყადშემკრებზე მოსული ნადაქები

მიზნარული გამოწვანის მგრძობიარობის და მისი ცვლილების
შეფასების შედეგები

- 2 -

№	აუქსი კონტაქტის პარამეტრი	მგრძობიარობის საფასო	შედეგების ჩანაწერი
1	ნიმუშის სიღრმის კოეფიციენტი $k = R/P$	0.92	0.38
შეფასება ტიურკის მონტაჟით			
2	ნიმუშის ცვლილების განსაკუთრება	$dR = 0.92 \cdot dP - 0.232 \cdot dT_1$	$dR = 1.019 \cdot dP - 33.228 \cdot dT_1$
3	კალიბრების შედეგი c	150.5	-0.087
4	$\left(\frac{\partial R}{\partial P}\right)_c$	0.923	1.019
5	$\left(\frac{\partial R}{\partial T}\right)_c$ გრადუსი	-0.232	-33.228
6	კალიბრების ხარისხის პარამეტრი $dP\%$, $dT_1\%$	ნიმუშის ცვლილება $dR\%$	
7	10, 25/30	10	4.8
8	10, 12 5/15	10	15.7
9	5, 12 5/15	5	2.4
10	1, 12 5/15	1	4.2
11	0, 12 5/30	0	-21.8
12	0, -12 5/30	0	21.8
13	-10, 12 5/15	-10	-15.7
14	-10, 12 5/15	-10	-37.4
15	-10, 25/30	-10	-48.4

შეფასება ბუღალჯის მოდელით

1	2	3	4
16	ჩამონახვის (ცვლილების) აპრიორულია	$dR=0.003dP-0.117dI$	$dR=0.817dP-0.651dI$
17	კლასიკური მუდგა	0.03	1.30
18	$\frac{\partial R}{\partial P}$	0.817	0.817
19	$\frac{\partial R}{\partial I}$	-0.651	-0.651
20	$\frac{\partial R}{\partial \sigma}$	60.0	63.5
21	A	0.20	0.30
22	$\left(\frac{\partial R}{\partial P}\right)_A$	0.983	0.817
23	$\left(\frac{\partial R}{\partial I}\right)_A$	0.117	-0.651
24	$\left(\frac{\partial Q}{\partial \sigma}\right)_{\frac{\partial I}{\partial \sigma}}$	-13.176	13.298
25	$\left(\frac{\partial Q}{\partial D}\right)_{\frac{\partial I}{\partial D}}$	21.260	21.163
26	$\left(\frac{\partial Q}{\partial \pi}\right)_{\frac{\partial I}{\partial \pi}}$	-133.325	-139.889
27	$\left(\frac{\partial F}{\partial \sigma}\right)_{\frac{\partial I}{\partial \sigma}}$	-71.970	74.835
28	$\left(\frac{\partial F}{\partial T_1}\right)_{\frac{\partial I}{\partial T_1}}$	2.896	2.918
29	$\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_{\frac{\partial I}{\partial T}}$	-2.048	-2.030
30	$\left(\frac{\partial F}{\partial \sigma}\right)_{\frac{\partial I}{\partial \sigma}}$	-2.241	-2.298
31	$\left(\frac{\partial R}{\partial T_1}\right)_{\frac{\partial I}{\partial T_1}}$	4.273	23.951
32	$\left(\frac{\partial R}{\partial T_1}\right)_{\frac{\partial I}{\partial T_1}}$	-3.022	16.665

1	2	3	4
35	$\left(\frac{\delta R}{\delta c}\right)_{\text{მე}}$	12 246	57.531
36	$\left(\frac{\delta R}{\delta D}\right)_{\text{მე}}$	26 400	121.611
37	$\left(\frac{\delta R}{\delta n}\right)_{\text{მე}}$	207 383	803.855
38	$\left(\frac{\delta R}{\delta n_1}\right)_{\text{მე}}$	100 182	614.329
39	$\frac{dR}{d\alpha} \frac{\alpha}{R} \%$	-20 00/-14	21.11
40	$\frac{dR}{d\beta} \frac{\beta}{R} \%$	-21 77/-36	-16.23/ 25.6
41	$\frac{dR}{d\gamma} \frac{\gamma}{R} \%$	$\frac{5.71}{72} / 11$	$\frac{1.26}{15.85} / 3$
42		0.3	0.5
43		-1	1
44	დონა	0.3	0.3
45	დნა	0.6	0.5
46	დნ-დნ ₁	0.2	0.2
47	კლიბიტური სველირის პარამეტრები $d\alpha \%, d\beta \%$	ჩამონაღმის ცვლილება $dR \%$	
48	20, 11/3	20	39.2
49	10, 11/3	10	17.9
50	5, 11/3	4.6	7.3
51	0, 11/3	0	-3.4
52	-1, 11/3	-1.9	
53	5, 11/3	-6	-14
54	-10, 11/3	-11.5	-24.7
55	-10, -11/-10	-10	-10
56	-10, 11/10	-10	-32.6

საკმაოდ დიდი ეფექტურობით ტრანსფორმირდება ჩამონადენად. ამიტომ, ორივე მოდელით შესრულებულმა შეუასება ამ აჩვენა, რომ ამ აუზის მოწყვლადობა თითქმის მთლიანად განპირობებულია ჯამური ნადექების ცვლილებით - მგრძნობიარობა ნადექთა ცვლილების მიმართ ტიურკის მოდელის მსაღვროთ 4-კერ აღქმატება მგრძნობიარობას ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების, ხოლო ბუდიკოს მოდელით - 6-კერ მეტია მგრძნობიარობაზე რადიაციული ბადასის ცვლილების შემთხვევაში (იხ. ცხრ. 5-ის მონაცემები). ამრიგად (26) და (27) განტოლებებში მეორე შესაკრების სიმცირის გამო, ფაქტიურად ვლბულობთ წრფივდამოკიდებულებას dR და dT -ს შორის. ამას დასტურებს კლიმატურის სყენარების მიხედვით ჩატარებული dR -ის შეუასება, მოყვანილი ცხრ. 5-ში. საინტერესოა, რომ ორივე მოდელთა გამოთვლილი მდ. რიონის ჩამონადენის მგრძნობიარობა ნადექთა ცვლილების მიმართ რაოდენობრივად თითქმის (აუპ-თხვა ერთმანეთს - $dR = f(dT)$ წრფეს გააჩნია დაახლოებით ერთნაირი დასრ-ღობა (ტოლი საკუთხო კოეფიციენტი).

მდ. მტკვარი - ს. თბილისის კვეთისათვის დამახასიათებელია. პირიქით, წიღური ჩამონადენის კოეფიციენტის შედარებით დაბალი მნიშვნელობა $k=0.33$. ამ შემთხვევაში ჩამონადენის მგრძნობიარობა ტემპერატურის ცვლილების მიმართ ორი რიგით მეტია, ხოლო რადიაციული ბადასის ცვლილების მიმართ - 6-კერ მეტია მდ. რიონისათვის მიღებულ იგივე პარამეტრების მნიშვნელობაზე. თუ შევადარებთ ამ პარამეტრებს მდ. მტკვარის ჩამონადენის მგრძნობიარობას ნადექთა ცვლილების მიმართ, მაშინ ბუდიკოს მოდელის მიხედვით მოწყვლადობა განპირობებული ტემპერატურის ცვლილებით ბევრად აღქმატება მას ($\frac{\partial R}{\partial T_1} - \frac{\partial R}{\partial T} \approx 33$), ხოლო ბუდიკოს მოდელით მიიღება

$\frac{\partial R}{\partial T_1}$ -და $\frac{\partial R}{\partial T}$ -ის მნიშვნელობათა დაახლოებით ერთი და იგივე შეუასება

($\frac{\partial R}{\partial T_1} - \frac{\partial R}{\partial T} \approx 1.3$, იხ. (29) და (30) განტოლებებში შემავალ წევრთა რიცხვითი კოეფიციენტები, ცხრ. 3-ის მონაცემები). ამის გამო კლიმატის მაფორმირებელ პარამეტრების ცვლილებაზე მდ. მტკვარის ჩამონადენის ცვლილების დამოკიდებულებას რთული (არაწრფივი) ხასიათი გააჩნია. რაზეც მიგვითითებს ცხრ. 5-ში მოყვანილი აღქმატური სყენარების მიხედვით dR -ის შეუასება.

ჩამონადენის მგრძნობიარობის შემდგომი ანალიზისათვის შევიტანოთ რადიაციული ბადასის ცვლილების $d\alpha$ -ის მნიშვნელობა (27) და (30) განტოლებებში, რაც გვაძლევს საშუალებას მივიღოთ მათი დეტალიზებული ანალოგები. ამისათვის გამოვიყენოთ (14), (17) და (20) განტოლებები.

ბვაქვს

$$dR = \frac{\partial R}{\partial P} dP + \frac{\partial R}{\partial T} dT = \frac{\partial R}{\partial P} dP + \frac{\partial R}{\partial T} \times 12.61x$$

$$x \{ (1-A) [\frac{\partial Q}{\partial e} de + \frac{\partial Q}{\partial D} dD + \frac{\partial Q}{\partial n} dn] - [\frac{\partial F}{\partial n_1} dn_1 +$$

$$+ \frac{\partial F}{\partial n_2} dn_2 + \frac{\partial F}{\partial n_3} dn_3 + \frac{\partial F}{\partial e} de] \} = \frac{\partial R}{\partial P} dP +$$

$$12.61 \frac{\partial R}{\partial T} x \{ (1-A) [\frac{\partial Q}{\partial e} - \frac{\partial F}{\partial e}] de + (1-A) \frac{\partial Q}{\partial D} dD +$$

$$- (1-A) \frac{\partial Q}{\partial n} dn - \frac{\partial F}{\partial n_1} dn_1 - \frac{\partial F}{\partial n_2} dn_2 - \frac{\partial F}{\partial n_3} dn_3 \} . \quad (1)$$

(40)-დან ვღებულობთ კლიმატური პარამეტრების T_0, T_1, e, D, n, n_1 ცვლილებათა მიმართ ჩამონადენის მგრძობიარობის შეფასებისათვის შემდეგ ფორმულებს

$$\frac{\partial R}{\partial e} = 12.61 \frac{\partial R}{\partial T} [(1-A) \frac{\partial Q}{\partial e} - \frac{\partial F}{\partial e}] , \quad (41)$$

$$\frac{\partial R}{\partial D} = 12.61 \frac{\partial R}{\partial T} (1-A) \frac{\partial Q}{\partial D} , \quad (42)$$

$$\frac{\partial R}{\partial n} = -12.61 \frac{\partial R}{\partial T} \frac{\partial F}{\partial n} , \quad (43)$$

$$\frac{\partial R}{\partial n_1} = -12.61 \frac{\partial R}{\partial T} \frac{\partial F}{\partial n_1} , \quad (44)$$

$$\frac{\partial R}{\partial n_2} = -12.61 \frac{\partial R}{\partial T} \frac{\partial F}{\partial n_2} , \quad (45)$$

$$\frac{\partial R}{\partial n_3} = -12.61 \frac{\partial R}{\partial T} \frac{\partial F}{\partial n_3} . \quad (46)$$

(41)-(46) გამოსახულებათა საფუძველზე გამოთვლილი ჩამონადენის მგრძობიარობის მნიშვნელობები შეტანილია ცხრ.5-ში. მათი გათვალისწინებით (27) და (30) განტოლებების ეტაღიზებულ ანალოგებს შემდეგი სახე აქვს:

ა) მდ. რონისათვის

$$dR = 0.983dP + 4.273dT_0 - 3.022dT_1 + 12.245de - 25.093dD + 157.363dn - 106.182dn_1 ; \quad (47)$$

ბ) მდ. მტკვარისათვის

$$dR = 0.817dP + 23.954dT_0 - 16.665dT_1 + 57.551de - 121.611dD + 803.855dn - 614.329dn_1 . \quad (48)$$

როგორც ვხედავთ კლიმატური პარამეტრების კლასიფიკაციაზე ჩამოსადგენი სხვადასხვანაირად რეაგირებს. ნადეჟების, ნიადაგის ტემპერატურის, წყლის ორთქლის დრეკადობისა და საერთო მოღრუბლედობის ცვლილებაში მიმართ ჩამოსადგენის ცვლილებას იგივე სიშის ტენდენცია გააჩნია. ასევე ტემპერატურის, სინოტივის დეფიციტისა და ქვედა იარუსის ღრუბლიანობა ს ცვლილება კი იწვევს ჩამოსადგენის საწინააღმდეგო რეაქციას. ჩამოსადგენის მგრძნობიარობის სიდიდის ზრდადობის მიხედვით დადავებული კლიმატური პარამეტრების რიგი შემდეგია. $P, \bar{t}_1, \bar{t}_2, e, D, n, n$.

ჩამოსადგენის მგრძნობიარობა ნადეჟების ცვლილების მიმართ გასხილული აუზისათვის (ორივე მოდელის მიხედვით) სიდიდით დაახლოებით ერთნაირია $-\frac{\partial R}{\partial \bar{t}_1} = 0.8-1.0$. ამავე დროს $\bar{t}_0, \bar{t}_1, e, D, n$ და n პარამეტრების ცვლილებების

მიმართ მტკვრის ჩამოსადგენის მგრძნობიარობათა შეფარდება რიონის ჩამოსადგენის შესაბამის მოწყვდალობებთან მერყეობს ინტერვალში 4.7-5.8.

თვითუდი აუზისათვის ცად-ცადვე შედარებისას, ჩამოსადგენის მოწყვდალობა ნადეჟთა ცვლილების მიმართ ბევრად ნაკლებია მის რეაქციაზე დასაბრუნებელი კლიმატურ პარამეტრების ვარიაციებზე. მაგრამ (47) და (4c) განტოლებებში

$$-\frac{\partial R}{\partial \bar{t}_0}, -\frac{\partial R}{\partial \bar{t}_1}, -\frac{\partial R}{\partial e}, -\frac{\partial R}{\partial D}, -\frac{\partial R}{\partial n} \text{ და } -\frac{\partial R}{\partial n_1}$$

წევრები შედგან საწინააღმდეგო ნიშნით. მათი კომბინაცია კი, დამახასიათებელი კონკრეტული აუზისათვის, ისეა, რომ მდ. რიონის შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება მათი ჯამური მოქმედების

წინადადება

ნადეჟთა ცვლილებასთან შედარებით. ხოლო მდ. მტკვარის შემთხვევაში მათი ჯამური წვლილი ჩამოსადგენის რეაქციაში უთანაბრდება ნადეჟთა ცვლილებას.

დ ა ს კ ვ ნ ა

საქართველოს პირობებში შესწავლილია კლიმატური ცვლილების მიმართ მდინარული ჩამონადენის მგრძნობიარობა (მოწყვედალობა) ჩამონადენის უორნირების მათემატიკური მოდელის საფუძველზე. ჩამონადენის შესაძლო ცვლილებათა პროგნოზისათვის გამოყენებულ კლიმატურ სცენარებში გამოკალისწინებულია ჰავის მაფორმირებელი ელემენტების ცვლილებების ტენდენციები. მიღებული ემპირიული მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე.

განხილულია აუზის, როგორც ფიზიკური სისტემის. მგრძნობიარობა ასე მოწყვედალობა. დაკავშირებული მის რაიმე ინტეგრალურ მახასიათებელთან (მაგ. მდინარული ჩამონადენი). რომელიც რეაგირებს სისტემაში შექმნილ პარამეტრების ცვლილებაზე. რაოდენობრივად ფიზიკური სისტემის მგრძნობიარობა ცადკველი პარამეტრის ცვლილების მიმართ აღიწერება ინტეგრალური მახასიათებლის კერძო წარმოებულით, ხოლო თავად ინტეგრალური მახასიათებლის ცვლილება - მისი სრული დიფერენციალით.

ჩამონადენის განსაზღვრისათვის გამოყენებულია მისი უმარტივესი მატემატიკური მოდელი, რომელიც ემყარება წყლის ბალანსის განტოლებას. კერძოდ, განხილულია მისი ორი ვარიანტი - ე.ტიურკის (1958) და მ.ზუდიკოს (1984) მოდელები, რომლებიც იძლევიან საშუალებას მდინარული ჩამონადენი დაუკავშიროთ კლიმატის მაფორმირებელ ძირითად პარამეტრებს: ჰაერის და ნიადაგის ტემპერატურებს, ჰამურ ნალექებს, წყლის ორთქლის დრეკადობას, სინოტივის დეფიციტს, რადიაციულ ბალანსს და სხვ. ეს თავის მხრივ საშუალებას იძლევა დავადგინოთ ჩამონადენის მგრძნობიარობა კლიმატის მახასიათებლების ცვლილებათა მიმართ და გამოვითვალოთ მისი შესაძლო ცვლილების სიდიდე, თუ გავითვალისწინებთ ჰავის პარამეტრების ცვლილებების მოსალოდნელ მნიშვნელობებს.

განხილულია ორი კონკრეტული აუზი. პირველი - მდ.როინი-ს.ადჰანას ჩამკეტი კვეთით, რომელიც აღმოჩნდა ზომიერი აფიკვიის რეგიონში, (საქართველო), მეორე - მდ.მტკვარი-ს.თბილისის კვეთით, განლაგებული ზომიერი დათბობის ზონაში (აღმოსავლეთ საქართველო). კლიმატური ცვლილებათა სცენარებში გათვალისწინებულია მოდელის შემდეგი შედეგად პარამეტრები:

- ნიადაგის ტემპერატურის ცვლილება $dT_0 = -3^{\circ}\text{C} : +1^{\circ}\text{C}$;
- ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება $dT_1 = -2^{\circ}\text{C} : +1^{\circ}\text{C}$;
- ჰამური ნალექის ცვლილება $dP = -20\% : +20\%$;
- წყლის ორთქლის დრეკადობის ცვლილება $de = 0 : 0.3$ მმ;
- სინოტივის დეფიციტის ცვლილება $dD = 0 : 0.5$ მმ.

- საერთო და ქვედა იარუსის ღრუბლიანობის ცვლილება (ბადები) $dx = 0.2$; 2.5
- რადიაციული ბალანსის ცვლილება $dx = -1.0$; $+10.3$.

კვლევის შედეგად დაღწენილია, რომ აუზის აგებულება, მისი ფიზიკური-გეოგრაფიული პირობები, გაანაკეთების წყადშემკრების კლიმატური მახასიათებლები, განსაზღვრავენ აუზის სხვადასხვა სიღრმის და ნიშნის მოწყვდალობას აუზის პარამეტრების ცვლილებათა მიმართ. ნაღველების ნადაგის ტემპერატურის, წყლის ორთქლის ღრუბლიანობა და საერთო მორეზუბდენტობის ცვლილებათა მიმართ ჩამონადენის ცვლილებას იგივე ნიშნის ტენდენცია გააჩნია. პერის ტემპერატურის, სინოტივის დეფიციტისა და ქვედა იარუსის ღრუბლიანობის ცვლილება კი იწვევს ჩამონადენის საწინააღმდეგო რეაქციას. ჩამონადენის მოწყვდალობის სიღრმის ზრდალობის მიხედვით დადაგებული კლიმატური რიგი შემდეგია. 2, 2₁, 2₂, 2₃, 2₄, 2₅.

მდ. რიონის - ს.აღვანის კვეთისათვის დამახასიათებელია წლიური ჩამონადენის კოეფიციენტის საკმაოდ მაღალი მნიშვნელობები $k = 0.92-0.94$. ამიტომ, ორივე მოდელით ჩატარებულმა შეფასებამ აჩვენა, რომ ამ აუზის მოწყვდალობა თითქმის მთლიანად განპირობებულია წყადშემკრებზე მოსული ნაღვეების ცვლილებით. რადიაციული ეს იმაში გამოიხატა, რომ ჯამური ნაღვეების ან გაზრდა, ან შემცირება, მაგალითად, 10%-ით, იწვევს წლიური ჩამონადენის დაახლოებით იმავე სიღრმით და ნიშნით ცვლილებას, მიუხედავად იმისა, თუ როგორ ვარიაციებს განიცდის ტემპერატურა ან რადიაციული ბალანსი წყადშემკრებზე. ამრიგად ამ შემთხვევაში dR და dP -ს შორის ფაქტორად არსებობს წრფივი დამოკიდებულება.

მდ. მტკვარი - ს.თბილისის კვეთისათვის დამახასიათებელია წლიური ჩამონადენის კოეფიციენტის შედარებით დაბალი მნიშვნელობები $k = 0.30-0.40$. ამიტომ, ამ შემთხვევაში მოწყვდალობა ტემპერატურის (რადიაციული ბალანსის) ცვლილების მიმართ ბევრად მეტია (ან იმავე რაოდენობა, ვიდრე ჩამონადენის მგრძობიარობა ნაღვეთა ვარიაციების მიმართ. ამ ფაქტორმა კი გამოიწვია კლიმატურმოქმენდი პარამეტრების ცვლილებებზე ჩამონადენის ცვლილების დამოკიდებულების რთული (არაწრფივი) ხასიათი. მაგალითად, თუ წყადშემკრებზე მოსადღენელია წლიურ ნაღვეთა ჯამების გაზრდა 10%-ით, ხოლო ტემპერატურის მომატება შეადგენს $1-2^{\circ}C$, მაშინ ჩამონადენის საპროკნობო ცვლილება ტოლია 5-16%-ის. ნაღვეთა ჯამების 5%-ით და ტემპერატურის $1-2^{\circ}C$ -ით მომატებისას წლიური ჩამონადენის მნიშვნელობა მცირდება 2-9%-ით. წყადშემკრებზე უცვლელი ნაღვეების ფონზე ტემპერატურის მომატება (შემცირება) $2^{\circ}C$ -ით იწვევს ჩამონადენის შემცირებას (გაზრდას) 22%-ით. იმ ექსტრემალურ შემთხვევაში, როდესაც მოსადღენელია ტემპერატურის $2^{\circ}C$ -ით

მომატება და წყალშემკრებზე ნაღვეთა ჯამების შემცირება 10%-ით, მდ.მტკვარის ჩამონადენის მისივე წილი ს.თბილისის კვეთში უნდა შემცირდეს დაახლოებით 50%-ით.

მოლდვის შემავალი პარამეტრების გათვალისწინებით მდ.მტკვარის წყალშემკრებზე რადიოაქტიური ბადანის ცვლილება შეფასებულია +3%-ით. ამ პირობებში, თუ წყალშემკრებზე ჯამური ნაღვეთი იზრდება 10-20%-ით, მაშინ ჩამონადენის მომატება შეადგენს 18-39%-ს. ჯამური ნაღვეთის შემცირება 5-10%-ით იწვევს ჩამონადენის შემცირებას 14-25%-ით.

თუ ჩამონადენის ფორმირების ზონაში მოხალოდნულია ნაღვეთის შემცირება და რადიოაქტიური ბადანის მომატება 10%-ით, მაშინ მდ. მტკვარის ჩამონადენის საპროგნოზო ცვლილება შეადგენს -33%-ს. ნაღვეთისა და ბადანის ერთდროული შემცირება 10%-ით გამოიწვევს ჩამონადენის შემცირებას ასევე 10%-ით.

მდ. მტკვარი - ს.თბილისის კვეთისათვის, შესაბამისი კორელაციური მატრიცების ანალიზის შედეგად, დაშვებით მიღებულია ჩამონადენის ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელი, რომლის მიხედვით ჩამონადენის საპროგნოზო მრავალწილიური მნიშვნელობა დაკავშირებულია ჯამურ ნაღვეთსა და ფარდობით ტენიანობასთან. ჩამონადენის მგრძობიარობას ამ პრედიქტორების ცვლილებათა მიმართ დადებითი ნიშანი გააჩნია. ყველაზე აღბათური კლიმატური სყენარის მიხედვით თუ მივიღებთ, რომ ფარდობითი ტენიანობის ცვლილება $df=2\%$, მაშინ, თანასმად ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელისა. dR და dP -ს ნორის არსებობს წრფივი დამოკიდებულება: ნაღვეთის მომატებამ $dP=10-20\%$ -ით უნდა გამოიწვიოს ჩამონადენის გაზრდა, $dR=12-18\%$ -ით ხოლო ნაღვეთის იმავე სიდიდით კლებამ - ჩამონადენის შემცირება $dR=1-2\%$ -ით.

კვლევის შემდგომი განვითარება დაკავშირებულია ჩამონადენის ფორმირების სტოქასტიკურ ან დეტერმინისტიკურ მათემატიკური მოდელი. გამოყენებასთან, რომელიც საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ პირობითი ჩამკეთ კვეთში ნებისმიერი კადენდარული პერიოდისათვის. ასეთი მოდელით შესაძლებელია ვიწინასწარმეტყველოთ, მაგალითად, ჩამონადენის შიდაწილიური გადანაწილება, გამოწვეული კლიმატის ცვლილებით.

დ ბ ე რ ა ტ უ რ ა

1. კ.თავართქიდაძე, თ.გზირიშვილი, ე.ველიშვილი, ვ.მუხრანაძე, ჯ.ვაჩხაძე. მიწისპირა ტემპერატურული ველის ცვლილების ემპირული მოდელი. სესიის "პაკის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში" ქასალები, თბილისი, "მეცნიერება", 1993, გვ.24-26.
2. ნ.ბეგალიშვილი, ნ.ნებიერიძე, დ.ყურაშვილი. ტენშემცველობა ატმოსფეროში და მისი ცვლილება საქართველოს ტერიტორიაზე. სამეცნიერო სესიის "პაკის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში" მასალები, თბილისი, "მეცნიერება", 1993, გვ.11-12.
3. Алексеева А.К., Семенов В.А. Региональные особенности режима стока рек на изменение климатоформирующих факторов. Физические аспекты теории климата. Труды III Всесоюз. симпозиума, Т.1. Гидрометеоиздат, 1990, с.204-209.
4. Kaszmarek Zd., Krasuski B. Sensitivity of Water Balance to Climate Change and Variability. WP-91-047, IIASA, Austria, 1991, 25p.
5. Скоцелас И.И., Голуцов В.В., Ли В.И. Использование, уязвимость и возможные пути адаптации ресурсов поверхностных вод Северного Казахстана в условиях антропогенных изменений климата. Гидрометеорология и экология, N3, Изд. Казгидромета, Алматы, 1996, с.91-101.
6. Голуцов В.В., Ли В.И., Скоцелас И.И. Об использовании модели формирования стока для оценки влияния антропогенных изменений климата на ресурсы поверхностных вод. Гидрометеорология и экология, N4, Изд. Казгидромета, Алматы, 1996, с.132-137.
7. Ли В.И., Попова В.П. Оценка влияния хозяйственной деятельности на сток рек с использованием математической модели его формирования. Гидрометеорология и экология, N4, Изд. Казгидромета, Алматы, 1996, с.138-143.

8. გ. სვანიძე, კ. თავართქილაძე. ნ. ზეგალიშვილი. კლიმ. ტის სვლილების გავლენა წყარბრუნვაზე. სამეცნიერო სესიის "კავის თანამეგრძვე სვლილება საქართველოში" მასალები. თბილისი, "მეცნიერება", 1998. გვ. 27-29.
9. Голубцов В. В., Ли В. Н., Строева Т. П. Математическое моделирование процессов формирования стока горных рек в условиях граничных информации. Труды 5-го Всесоюзного гидрологического съезда. Т. 6, 1989, с. 374-382.
10. Долгих С. А., Пилифосова О. В. О методах оценки отрицательных изменений глобального климата по сценарии изменения климата Казахстана. Гидрометеорология и экология, №4, Изд. Казгидроцентра, Алматы, 1996, с. 94-109.
11. Владимирова Л. А., Шакаршвили Д. И., Гасриадзе Т. И. Водный баланс Грузии. Изд. "Мецნიერება", Тбилиси, 1974, 182 с.
12. Водные ресурсы Закавказья. Под ред. Г. Г. Сванидзе и В. Ш. Чочия. Т. 1. Гидрометеоздат, 1988, 246 с.
13. Владимирова Л. А., Гигинейшвили Г. Н., Джавахишвили А. И., Шакаршвили Д. И. Водный баланс Кавказа и его географические закономерности. Изд. "Мецნიერება", Тбилиси, 1991, 142 с.
14. Тюрк Л. Баланс почвенной влаги. Л., Гидрометеоздат, 1968, 227 с.
15. Будыко М. И. Эволюция биосферы. Л., Гидрометеоздат, 1984, 488 с.
16. Singh V. P. Hydrologic systems. v. 1. Rainfall-Runoff Modeling. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1990.
17. Black J. N., Bonython C. W., Prescott J. A. Solar radiation and duration of sunshine. Proceedings. Royal Meteorological Society, №90, 1954, p. 231-235.

18. Климат Тбилиси. Под ред. Г.Г.Сванидзе и Л.К.Папиашвили. СПБ, Гидрометеиздат, 1992, 230 с.
19. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1976, 640с.
20. Крignan А.Х. Физика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1969, 641с.
21. Цомая В.Ш. Оценка снеговзасабоа для гидропрогнозов методом анализа пространственной и временной корреляционной функции. Труды ЗаКНИГМИ "Гидрология горных рек, селей и лавин", вып.48(54), Л., Гидрометесиздат 1977, с.71-79.
22. Справочник по климату СССР. Вып.14. Температура воздуха и почвы. Л., Гидрометеиздат, 1967, 374 с.
23. Справочник по климату СССР. Вып.14. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л., Гидрометесиздат, 1970, 126с.
24. Справочник по климату СССР. Вып.14. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Л., Гидрометеиздат, 1968, 72
25. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том VI. Грузинская ССР. Л., Гидрометеиздат, 1987, 416.
26. Туркадзе Н.Н., Мирианашвили М.А. О расчете радиационного баланса в бассейне р.Куры до Мингечаура. Труды ЗаКНИГМИ, вып.68(74), Л., Гидрометеиздат, 1979, с.117-123.
27. Потолашвили В.В., Цомая В.Ш. Водные ресурсы р.Куры от госграницы до Мингечаурского водохранилища. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 84(91), М., Гидрометеиздат, 1992, с.55-57.

или Р.Д. Высотные изменения многолетних сред
ледо в горных районах Кавказа. Труды БТИ, в
дат, 1984, с.123-126.

ქიდაძე, ნ.ბეგაღიშვილი, ნ.ნეზიერიძე.კავრის ტენ
ტემპერატურაზე საქართველოს პირობებში. სა:
მ.ბეჭედაში.

თავი 4. მთის წყალსატევების მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე ბავშვების ზამოკვლევა

ცნობილია, რომ წყალსაცავის შექმნა გარკვეულ წილად მოქმედებს წყლის ხელაპირისა და მიმდებარე ხმელეთის მეტეოროლოგიურ რეჟიმზე ამასთანავე ეს გავლენა მცირდება ხანაპირო ხაზის დასორებით მიმდებარე ტერიტორიის ხიდრმეში. გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ წყალსაცავზე და მის საიხლოვეს შეიძლება გამოიყოოს სამი განსხვავებული ზონა, რომლებშიც ფორმირდება თავისებური მიკროკლიმატი: ხელაპირური წყალსატევის მუდმივი, ცვალებადი და ეპიზოდური გავლენისა. ამ ზონების ზომები განისაზღვრება წყალსაცავის გეომეტრიული მახასიათებლებით (ხარკის ფართობი, ხიდრმე), მიმდებარე ტერიტორიის ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობებით, ატმოსფეროსთან სითბო - და ტენბრუნვისთვის თავისებურებებით და, როგორც წყალსაცავის, ისე მიმდებარე ხმელეთის სითბურს ბალანსით

უნდა აღინიშნოს, რომ მთის წყალსაცავების გავლენა მეტეოროლოგიურ რეჟიმზე შედარებით სუსტია, მათი მცირე ზომების გამო ამასთან ეს გავლენა ყველაზე მეტად ვრცელდება ხეობის გასწვრივ საერთო ზემოქმედების ზონაში, წყალსაცავის აშენებამდე პერიოდთან შედარებით, აღინიშნება კლიმატის კონტინენტურობის რამდენიმე შერბილება, ხოლო არიდულ ოლქში იქმნება მოსახლეობის განსახლებისათვის უფრო კომფორტული პირობები

საქართველოს გაანჩნა წყლის რესურსების დიდი მარაგი საქართველოს ტერიტორიაზე ნამოყალიბებული მდინარეთა საშუალოწლიური ნამონადენი, დაახლოებით 57 კუბ. კმ რიგისაა. წყლის ასეთი რაოდენობის ოპტიმალური გამოყენებისათვის ეკონომიკის რიგ დარგებში საჭიროა ისეთი კომპლექსების მშენებლობა, რომლებიც დაარეგულირებენ წყალსაცავებს ამიტომ ამაჟამად საქართველოში ექსპლუატაციაშია დაახლოებით 60 წყალსაცავი. რეგულირებული ნამონადენის საერთო სასარგებლო მოცულობა 2150 მლნ კუბ. მ აღსანიშნავია, რომ ყველა წყალსაცავი აშენებული იყო 80-იანი წლების დასასრულამდე საბჭოთა სახელმწიფოს არსებობის პირობებში ამასთან ყოველთვის არ ექცეოდა სათანადო ყურადღება ეკოლოგიურ პირობებს და კერძოდ, არასაკმარისად იყო გამოკვლეული წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე გავლენის საკითხები მთის პირობებში.

სსრკ-ის დაშლის შემდეგ საქართველოში შექმნილი მძიმე პოლიტიკური და ეკოლოგიური სიტუაციის გამო წყალსაცავების მშენებლობა საერთოდ შეწყდა. კერძოდ შეჩერებული იყო რამდენიმე წყალსაცავის მშენებლობა მათ შორის ხუდონის, მდინარე ენგურზე (სიმძლავრე 700 მგვტ) და ნამოხვანის, მდინარე რიონზე (სიმძლავრე 210 მგვტ). ყოველივე ამან უარყოფითად იმოქმედა საქართველოში ენერგეტიკული პრობლემების გადაწყვეტაზე და უმძიმეს პირობებში წააყენა რესპუბლიკის ჰიდროენერგეტიკა

მსხვილი და საშუალო ექსპლუატაციის პერსპექტივაში მშენებლობის შეჩერების ძირითად მიზეზად დასახლებული იყო გარემოს ეკოლოგიაზე მათი მნიშვნელოვანი უარყოფითი გავლენა და, კერძოდ წყალსაცავების მნიშვნელოვანი გავლენა მიმდებარე ტერიტორიების ჰიდრომეტეოროლოგიურ პროცესებზე. ამასთან ეს არგუმენტები წამოწეული იყო ყოველგვარი სამეცნიერო დასაბუთების გარეშე. დღეისათვის, როდესაც რესპუბლიკაში დაიკვირვება პოლიტიკური და ეკონომიკური მდგომარეობის გამყარების ტენდენცია, მთიან პირობებში ხელოვნური წყალსაცავების მათ მიმდებარე ტერიტორიების ჰიდრომეტეოროლოგიურ რეჟიმზე

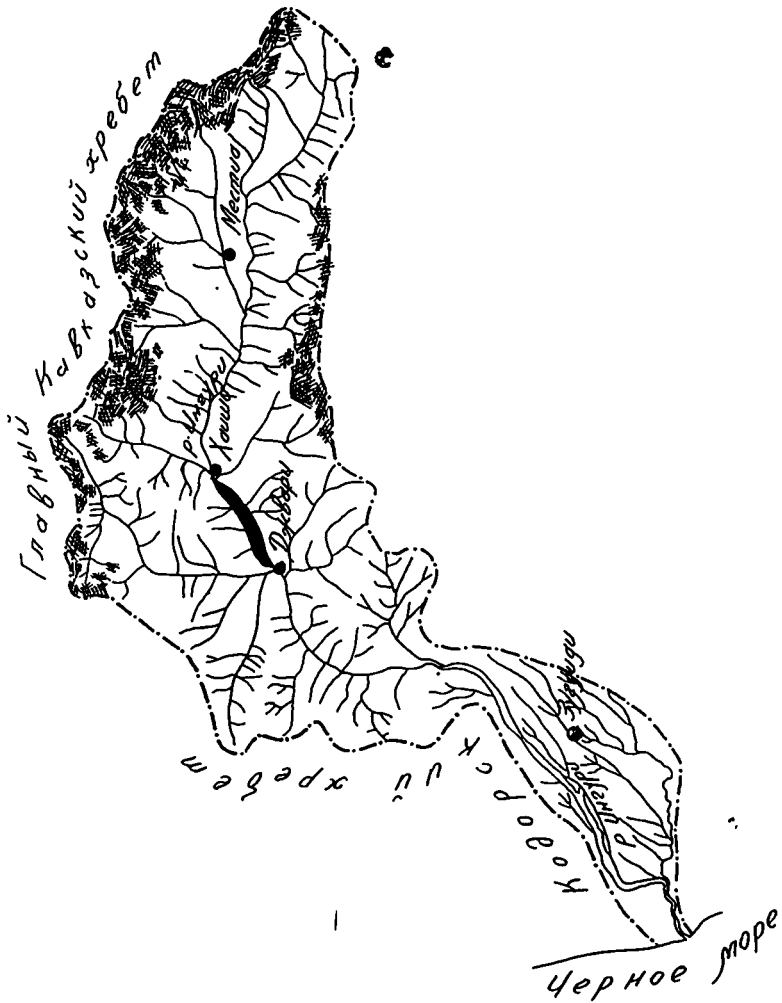
გაველენის გამოკვლევის და კვალიფიკაციური მეცნიერული შეფასების ამოცანები არსებით მნიშვნელობას ღებულობენ მშენებლობის განახლებისა და ახალი კვების შექმნის დასაბუთებისათვის, არსებული და დასამუშავებელი პროექტების ეკოლოგიური ექსპერტიზის ჩატარებისათვის

საქართველოს მთიან პირობებში ენგურის წყალსაცავის მიკროკლიმატზე გაველენის ამოცანა პირველად განხილული იყო ნაშრომში [1], რომელიც სადგურო ჯვრის მონაცემების საფუძველზე მოცემულია მეტეოლოგემენტების (კვლილებათა ხარისხობრივი და პირველ მიახლოებაში რაოდენობრივი) შეფასების შედეგები ანალოგიურ ამოცანათა მიმართებაში შესრულდა რიგი სამეცნიერო ანგარიშებისა [2-4], რომლებშიც ენგურის წყალსაცავის კასკადის მნიშვნელობასთან დაკავშირებით, შეფასებულია კასკადის შესაძლო ზემოქმედება მიმდებარე ტერიტორიის კლიმატურ პირობებზე მოკაიანებით, სამეცნიერო პუბლიკაციებში [5,6] წარმოდგენილი იყო ამ ამოცანის კვლევის მეთოდური საკითხები და ჯვრის წყალსაცავის რაიონში არსებული ქაერის სინოტივისა და ნალექთა ბუნებრივი რეჟიმების თავისებურებანი. მაგრამ, მიკროკლიმატზე გაველენის მასშტაბები ამ ნაშრომში არ არის მოცემული. მთის წყალსაცავის მეტეოროლოგიურ-კლიმატურ რეჟიმზე ზემოქმედების სივრცობრივი მასშტაბების კომპლექსური კვლევის შედეგები მოცემულია სტატიებში [7,8].

4.1. ენგურის (ჯვრის) წყალსაცავის მიკროკლიმატზე გაველენის შეფასება ემპირიული მონაცემების საფუძველზე

მოცემულ ქვეთავში წარმოდგენილია საქართველოში ზომებით უდიდესი ენგურის მთის წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე გაველენის შეფასება ემპირიული მონაცემების საფუძველზე ამისთვის განხილული იყო დაკვირვებათა რიგები 5 მეტეოროლოგიური სადგურისა და საგუშაგოებისათვის - ზუგდიდი, ჯავარი, ხაიში, ბენო და მესტია, რომლებიც განლაგებულნი არიან მცირე ენგურის ხეობის გასწვრივ, წყალსაცავიდან სხვადასხვა მანძილზე და ზღვის დონიდან განსხვავებულ სიმაღლეზე 100-დან 1500-მდე (პუნქტების ადგილის სიმაღლე იზრდება მითითებული რიგების შესაბამისად - იხ. ნახ.1). დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად ენგურის წყალსაცავის გაველენის შესახებ მიმდებარე ხმელეთზე ზოგიერთი მეტეოროლოგიური ელემენტის რეჟიმზე (ქაერის ტემპერატურა და სინოტივე, ნალექები) გამოყენებული იყო მითითებული ელემენტების მეტეოროლოგიური რიგების ერთგავროვნობის სტატისტიკური შემოწმების მეთოდები, აგრეთვე მითითებულ პუნქტებს შორის კორელაციური კავშირების გამოკვლევა, მათი დარღვევის შესაძლო შემთხვევათა შესწავლით. განხილული იყო ორი პერიოდი - წყალსაცავის აშენებამდე (1936 - 1976წ.წ.) დამ ის შევსების შემდეგ (1977-1990წ.წ.)

ერთგავროვნობის მრავალრიცხოვან კრიტერიუმებს, როგორც წესი, მიყვავართ ერთ და იგივე დასკვნამდე, რადგანაც ისინი ბევრ შემთხვევაში ერთგავროვნობაში არიან. ზოგიერთი კრიტერიომი უფრო ეფექტურია, საწყისი ინფორმაციის სრული გამოყენებისა და საწყის მონაცემებზე დამატებით პირობების დადების გამო (სტიუდენტის და ფიშერის პარამეტრული კრიტერიუმები და სხვ.), ზოგიერთი - ნაკლებად ეფექტურია, მაგრამ უფრო მარტივია და რაც, ყველაზე მთავარია, ნაკლებად მოთხოვნილია საწყის ინფორმაციაზე წაყენებული პირობების თვალსაზრისით (ვილკოქსონის, სიგელის და ტაჰაიას არაპარამეტრული კრიტერიუმები და სხვ.).



ემპირიულ მონაცემებზე დაყრდნობით განაწილება კერძობა ნორმალურ კანონს, რომელთა სტოქსტიკის კრიტერიუმით შეიძლება შეფასდეს ორი რიგის, (ან ერთი რიგის 2 მისი ნაწილის) ემპირიული საშუალოების ერთგვაროვნობა ამ კრიტერიუმით ერთგვაროვნობა დაკლებია იმ შემთხვევაში, თუ განსახილველი რიგების გენერალური ერთობლიობათა საშუალო კვადრატული გადახრები ტოლია $\sigma_x = \sigma_y = 6$ უზრუნველყოფის დათქმული დონისათვის

ორი რიგის საშუალო კვადრატულ გადახრათა ერთგვაროვნობის შესაფასებლად გამოიყენება ასევე ფიშერის F კრიტერიუმი, რომელიც აგრეთვე მოითხოვს საწყისი მონაცემების განაწილების ნორმალურ კანონთან შესაბამისობას რიგების ერთგვაროვნობის შეფასება იწყება შერჩეული დისპერსიების ერთგვაროვნობის შეფასებიდან (იმისთვის, რომ დაკრწმუნდეთ $\sigma_x = \sigma_y$). რადგან ფიშერის კრიტერიუმის ეფექტურობა მკირდება განაწილების ასიმეტრიის გაზრდით, ამ შემთხვევაში საჭიროა მოყახინოთ საწყისი ერთობლიობის ნორმალისება

კვლევის პროცესში შექმნილი იყო მეტეოელემენტების მონაცემთა ბაზა, გაანგარიშებული იქნა ემპირიული რიგების სტატისტიკური მაჩასიათებლები, სტოქსტიკისა და ფიშერის კრიტერიუმების გამოყენებით განისახლურა მათი ერთგვაროვნობის ხარისხი. გამოთვლის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 1-4.

ნატარებული გამოკვლევებიდან გამომდინარეობს, რომ სადგურ ზუგდიდისათვის რიგების ერთგვაროვნობის დარღვევა აღინიშნება: ტემპერატურული მონაცემებისათვის - ივნისში; აბსოლუტური სინოტივისათვის - თებერვალში; შეფარდებითი სინოტივისათვის - აპრილში, ნოემბერსა და დეკემბერში, ნალექებისათვის - მაისში, სადგურ ჯვარზე წყალსაცავის შეფასების შემდეგ ნალექების რიგების არაერთგვაროვნობა დაფიქსირებულია მარტში, ივლისში და ოქტომბერში პუნქტ ხაიშისათვის შეფარდებითი სინოტივის რიგის არაერთგვაროვნობა აღინიშნება ნოემბერში და დეკემბერში, ხოლო ნალექების - ნოემბერში. პუნქტ ბენოსა და სადგურ მესტიასათვის განსახლურულია დაკვირვებათა რიგების ერთგვაროვნობის განსაკუთრებით ხშირი დარღვევები კერძოდ, პუნქტ ბენოსათვის ნალექების რიგების არაერთგვაროვნობა დაიკვირვება თებერვალში, აპრილში, ივნისიდან დეკემბრამდე, სადგურ მესტიასათვის დაფიქსირებულია რიგების ერთგვაროვნობის დარღვევები. ტემპერატურისათვის - ივნისში და ოქტომბერში; აბსოლუტური სინოტივისათვის - იანვარში, აპრილში და მაისში; შეფარდებითი სინოტივისათვის - იანვარ-თებერვალში, მაის-ივნისში, ნოემბერ-დეკემბერში; ნალექებისათვის - მარტში.

ამრიგად, წყალსაცავებთან ახლოს განლაგებულ პუნქტებში (ჯვარი, ხაიში), ანუ, იქ სადაც მოსალოდნელი იყო მისი მაქსიმალური ზემომედება მიკროკლიმატზე, რიგების ერთგვაროვნობისაგან გადახრა აღინიშნულია მხოლოდ ცალკეულ შემთხვევებში.

მეტეოელემენტების რიგების აღმოჩენილ არაერთგვაროვნობათა უმრავლესობა გამოვლენილია წყალსაცავიდან ყველაზე დაშორებულ პუნქტებში - ზუგდიდი, ბენო და მესტია. შესაძლოა ეს გადახრები ატარებენ შემთხვევით ხასიათს. ამას მოწმობს, ჯერ ერთი, ის ფაქტი, რომ ორივე კრიტერიუმით ერთგვაროვნობის დარღვევა აღინიშნება მხოლოდ ერთ შემთხვევაში (მესტია - შეფარდებითი სინოტივი, თებერვალი). ყველა დანარჩენ შემთხვევაში არაერთგვაროვნობა დაფიქსირებულია ერთი კრიტერიუმის მიხედვით (უმეტეს შემთხვევაში სტოქსტიკით). მეორე, ადგილი აქვს დარღვევათა ასინქრონულობას ე.ი. არაერთგვაროვნება სხვადასხვა მეტეოელემენტებისათვის მუდგანდება სხვადასხვა თვეს. მესამე - დაკვირვებულ

(3ხრ.1

ტემპორალურის დაკვირვებათა რიგების ერთგვაროვნების შეფასების სიდადეგი

პუნქტები	კრიტერიუმები	გათვლითი მნიშვნელობები თვიური კრიტერიუმების											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ზუსდი	F	2.03	1.27	1.85	1.98	0.69	0.67	0.91	0.61	1.60	1.45	0.76	1.65
	t	2.39	0.23	-0.48	-1.52	0.74	0.99	0.60	0.53	-1.73	0.87	0.14	0.63
მესტა	F	2.12	1.71	1.69	0.89	0.85	-2.07	0.78	0.93	1.36	2.03	1.63	1.42
	t	2.40	0.28	-0.99	-0.81	0.96	0.90	-1.26	0.00	-1.12	-0.17	1.07	0.48

(3ხრ.2

აბსოლუტური ტენიანობის დაკვირვებათა რიგების ერთგვაროვნების შეფასების სიდადეგი

პუნქტები	კრიტერიუმები	გათვლითი მნიშვნელობები თვიური კრიტერიუმების											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ზუსდი	F	2.05	2.04	3.93	0.71	1.24	1.21	0.65	0.69	0.97	0.86	0.33	1.40
	t	2.39	-0.35	-0.23	-2.11	-1.70	0.61	-0.54	-0.49	-0.76	0.75	-1.83	-1.20
მესტა	F	2.14	2.29	1.23	1.73	4.30	1.35	0.78	1.56	0.77	1.96	0.48	0.13
	t	2.40	-0.43	-0.92	-1.92	-1.85	-1.14	-1.62	-0.86	-1.42	-0.19	-1.31	-1.37

შეფარდებითი სინოტივის დაკვირვებათა რიგების კრთავრეცხობის შეფასების ხიდდექე

პუნქტები	კრიტიერიუმები	გათვლითი მნიშვნელობები თვეური კრიტიერიუმების												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ზუღლიდი	F	2.05	0.51	1.03	1.18	4.37	0.69	0.68	0.87	1.08	1.78	0.71	1.98	1.46
	I	2.39	-1.26	0.74	-0.41	-1.08	-0.08	-0.89	-1.58	-1.23	0.75	0.23	-2.81	-2.44
ხაიში	F	2.05	0.67	0.77	1.21	1.63	0.65	1.40	1.09	0.54	1.63	0.65	1.49	0.90
	I	2.39	-1.85	-1.55	-0.84	-1.82	-0.81	-0.80	-1.08	-1.84	0.06	0.00	-3.73	-3.95
მესტია	F	2.14	0.97	4.74	1.62	0.87	4.00	0.71	0.75	0.79	2.40	1.87	1.31	0.44
	I	2.40	-3.51	-3.94	-1.85	-1.72	-0.85	-2.42	-0.81	-0.40	0.00	-0.08	-2.48	-2.58

ნაღმემების, ტემპერატურის და აბსოლუტური სინოტივის დაკვირვებათა რიგების კრთავრეცხობის შეფასების ხიდდექე

პუნქტები	კრიტიერიუმები	გათვლითი მნიშვნელობები თვეური კრიტიერიუმების												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ზუღლიდი	F	2.01	0.62	1.03	1.04	0.52	0.50	0.39	0.44	0.39	1.00	0.74	0.50	0.61
	I	2.38	-0.07	0.34	0.86	-1.87	-2.47	-0.52	-1.45	-2.37	-0.19	-0.50	-2.01	-0.87
ჯვარი	F	2.05	0.38	2.05	0.03	0.52	1.26	1.08	0.49	0.30	0.76	3.53	0.63	0.80
	I	2.39	-0.59	0.36	-4.74	-2.38	-0.07	0.77	-2.54	-1.73	0.41	0.86	-1.39	0.10
ხაიში	F	1.83	0.19	1.82	0.93	0.65	0.51	0.75	0.90	0.50	0.92	1.07	0.34	1.26
	I	2.36	-1.28	1.95	1.42	-1.87	-0.85	-1.70	-0.51	-0.98	-0.13	0.27	-3.27	-0.69
ბეწი	F	2.30	0.06	0.47	0.01	0.23	0.64	0.20	0.19	0.17	0.42	0.21	0.13	0.28
	I	2.41	-5.55	-2.39	-1.29	-7.04	-2.33	-5.59	-3.31	-2.60	-3.87	-3.09	-3.86	-5.35
მესტია	F	2.16	0.62	1.56	2.59	0.61	1.79	0.02	0.83	0.65	1.31	1.22	0.76	1.44
	I	2.40	0.05	0.06	2.19	-1.37	0.39	-2.02	-0.66	-1.54	-0.84	0.27	-0.60	0.32

გადახრებს აქვთ ერთიანი-საწინააღმდეგო სიმები (ის ტერიტორიების გამოთვლილი მნიშვნელობები). მხოლოდ აბსოლუტური და შეფარდებითი სინოტივისათვის (იხ. მესტია), ნალექებისათვის (უმეტეს შემთხვევაში პუნქტებისათვის ზუგდიდი, ჯვარი, ხაიში, მესტია და მთელი წლის განმავლობაში პუნქტ ბენოსათვის) შეიძლება ვილაპარაკოთ მათი სიდიდების ზრდის ტენდენციასზე. აღნიშნულ თვეებში გამოთვლილი ტერიტორიების ნიშნები უარყოფითია დარღვევათა არსებობა შეიძლება განპირობებული იყოს მაკროციკლაციური ფონის (კვალებადობით როგორც ხანს მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ დაკვირვებათა პერიოდის შემცირებით, როგორც წესი იზრდება ვარაიციის კოეფიციენტი.

ამიტომ წყალსაცავის აშენების შემდეგ მეტეოლოგიკური რიგების ერთგვაროვნობის დარღვევები შეიძლება გამოწვეული იყოს დაკვირვებათა შედარებით მოკლე რიგებით, რომელთა სიგრძეც არ აღემატება 10-15 წელს ანაშ შესაძლოა გავლენა მოახდინოს შეფასებათა მიღებულ ხელშეწყობზე.

წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორიის მაკროკლიმატზე გავლენის ხარისხის შეფასება შეიძლება ნატარდეს აგრეთვე კორელაციური ანალიზის საშუალებით ამ მიზნით განვიხილოთ ნალექების რიგები ორივე პერიოდისათვის და ავაგეთ კორელაციურ დამოკიდებულებათა გრაფიკები ქველა განხილული პუნქტების წყველთათვის მაგალითად წყვილებისათვის ზუგდიდი-ჯვარი, ჯვარი-ხაიში, ჯვარი-ბენო, ხაიში-ბენო, სოფიერთი მონაცემი წარმოდგენილია ნახ 2-5-ზე.

ნალექებს შორის დამოკიდებულებათა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ წყვილებისათვის ზუგდიდი-ჯვარი, ჯვარი-ხაიში, ჯვარი-მესტია, ხაიში-მესტია საკმაოდ მაღალი კორელაციური კავშირები აღინიშნა I-IV და IX-XII თვეებისათვის. საფხულის პერიოდში (VI-VIII) დაიკვირვება წერტილების დიდი გაბნევა და კორელაციური კავშირების მნიშვნელოვანი გაუარესება და არ არსებობაც კი. ეს გამოწვეულია ნალექების საერთო ჯამში კონვექციური მდგენელის მნიშვნელოვანი გაზრდით, რომელთაც აქვთ ლოკალური ხასიათი და მათი წარმოშობა ხშირად დამოკიდებულია ადგილობრივ პირობებზე მაგალითად ნახ 2 და ნახ 3-ზე წარმოდგენილი დამოკიდებულებებიდან ჩანს, რომ მკიდრო კავშირების შემთხვევაში ორივე განხილული პერიოდისათვის წერტილთა სისტემა, მათი გაბნევის გათვალისწინებით, იმყოფება ერთ და იგივე კორელაციური წრფეების საზღვარში. ასეთივე სურათი დაიკვირვება წყვილების ჯვარი-მესტია, ხაიში-მესტია კავშირებისათვის ეს მოუთხოვს იმ წარმოდგენის (დაშვების) სასარგებლოდ, რომ პირველი მეთოდით აღმოსანილი დაკვირვებათა ერთგვაროვნების დარღვევები გამოწვეულია დაკვირვებათა შედარებით ხანმოკლე რიგებით, წყალსაცავის შევსების შედეგად. ჯვარი-ბენო და ხაიში-ბენო კორელაციური კავშირებისათვის მიღებული დასკვნების თანხედრა პირველი მიდგომით მიღებულ შედეგებთან ადასტურებს პუნქტ ბენოში ნალექების ზრდის ტენდენციეს არსებობას. ეს გამომდინარეობს ნახ 4 და ნახ 4-ზე წარმოდგენილი მონაცემებიდან. განსაკუთრებით კარგად ჩანს ნალექების ზრდა, მაგალითად, კავშირებისათვის აპრილში და ივნისში ამ შემთხვევაში მეორე პერიოდისათვის უმეტესი წერტილების განლაგებულია კორელაციური წრფის მაღლა.

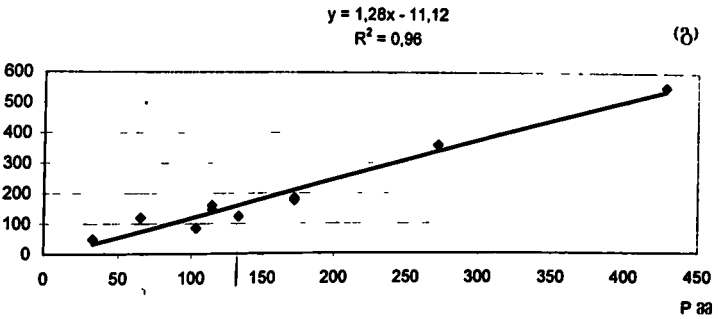
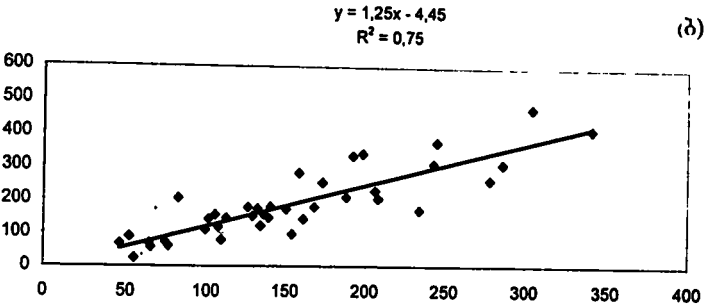
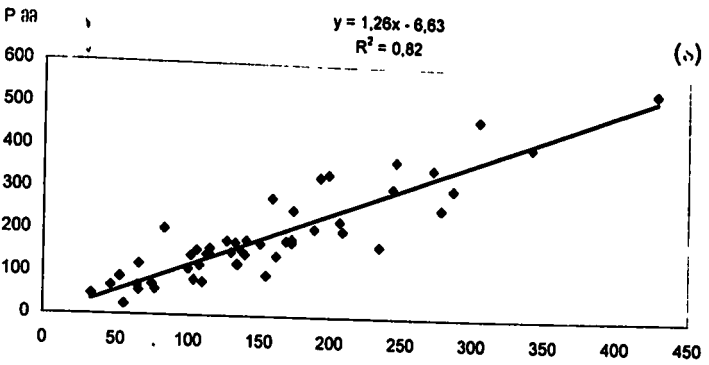
იმისათვის, რომ გამოვრიცხოთ პუნქტებში ბენო და მესტია ნალექთა მატების ტენდენციის მიზეზად წყალსაცავის ხემოქმედება, დამატებითად განხილულ იქნა ქარის სიჩქარის უპირატესი მიმართულებანი და სიდიდეები კორელაციური კავშირების დარღვევის აღნიშნულ თვეებში. უნქტების ხაიში და მესტიისათვის არსებულ დაკვირვებათა მონაცემების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ აპრილის უმეტეს

დღეებში ქარის მდგენელები თანაბრად არიან განაწილებული აღმოსავლეთითა და დასავლეთ მიმართულებებზე ამ დროს სინქარეთა საშუალო მნიშვნელობები შესაბამისად შეადგენენ და მ/წმ. იენისისათვის ქარის უპირატესი მიმართულებებია - აღმოსავლეთი, სრდილოეთი და დასავლეთი, ხოლო სინქარის სიდიდეებია და მ/წმ როგარც ვხედავთ, ნალექთა მარცხის თვეებში წყალსაცავის სუდაპირიდან ატმოსფეროში მოხვედრილი წყლის ორთქლის გადატანა ხვობის გასწვრივ გამოირიცხება ქარის აღნიშნული მიმართულებათა გამო. ეს თავის მხრივ ადასტურებს, რომ ნალექთა ზრდა ამ თვეებში გამოწვეულია არა ადგილობრივი ნალექწარმოქმნის მოვლენებით, არამედ მაკროციროკულაციური ფონის ცვლილებებით

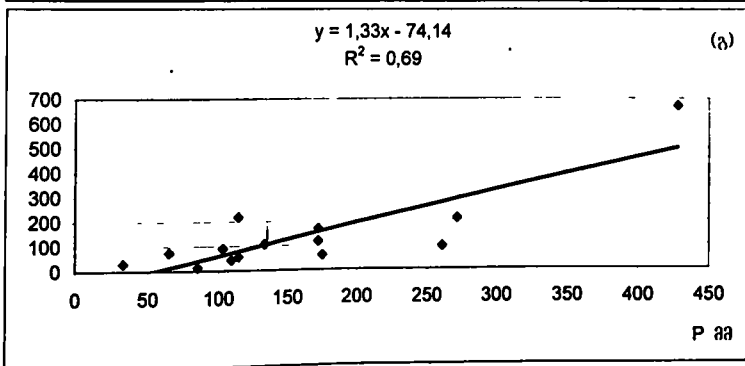
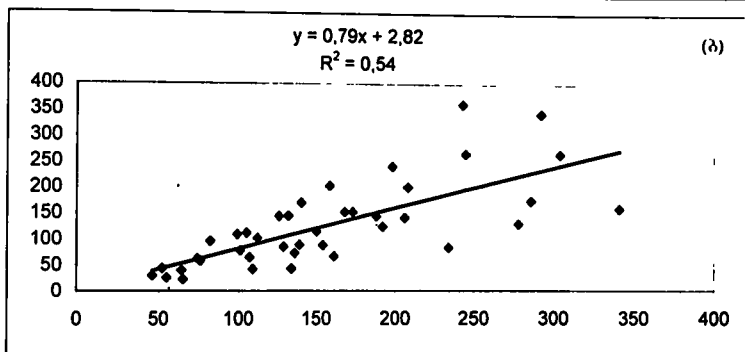
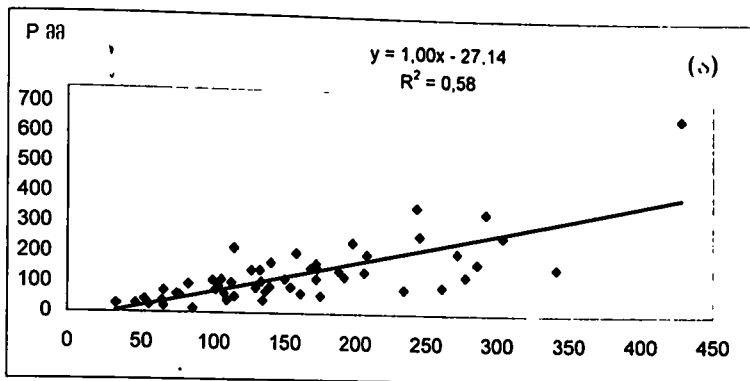
ნატარებულნი გამოკვლევებიდან გამომდინარეობს, რომ სადგურ ზუგდიდისათვის დაიკვირება ერთგვაროვნების დარღვევები აბსოლუტური სინოტივის რიგებში თებერვალში, სადგურ ჯვარში ნალექების რიგების არაერთგვაროვნობა წყალსაცავის შევსების შემდეგ ფიქსირდება მარტში, ივლისში და ოქტომბერში. პუნქტ ხაიშისათვის ნალექების რიგების არაერთგვაროვნება აღინიშნება ნოემბერში. სადგურ მესტიისათვის დაფიქსირებულია აბსოლუტური სინოტივის რიგების ერთგვაროვნების დარღვევა იანვარში, აპრილსა და მაისში, ნალექების რიგებისა-მარტში უნდა აღინიშნოს, რომ ერთგვაროვნების ყველა ეს დარღვევა ფიქსირდება მხოლოდ ერთ-ერთ კრიტერიუმით, ამავე დროს ეს დარღვევები დაიკვირება მხოლოდ რამდენიმე შემთხვევაში (ერთგვაროვნების დარღვევათა რიცხვი მტეოსადგურების მიხედვით მოყვანილია ცხრილში 2), ხოლო წლიური მნიშვნელობებისათვის, ადრე ნატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ამ მონაცემების ერთგვაროვნება არ არის დარღვეული.

ამრიგად, ჩვენმა გამოთვლებმა აჩვენეს, რომ ენგურის წყალსაცავის გაგეგმვა მიკროკლიმატზე უმნიშვნელოა, ხოლო იმ თვეებში, როდესაც დაიკვირება ერთგვაროვნების დარღვევა, შეიძლება აიხსნას დაკვირვებათა შედარებით ნაკლები რიგებით, რომელთა ხანგრძლივობაც არ აღემატება 10-15 წელი

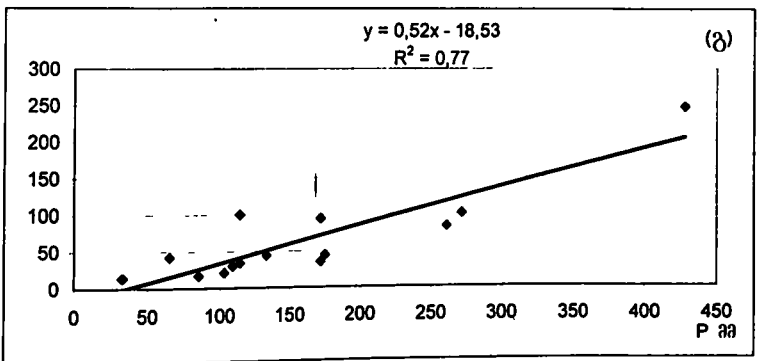
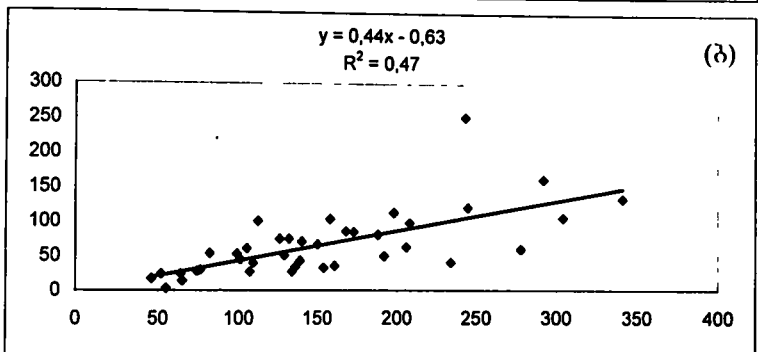
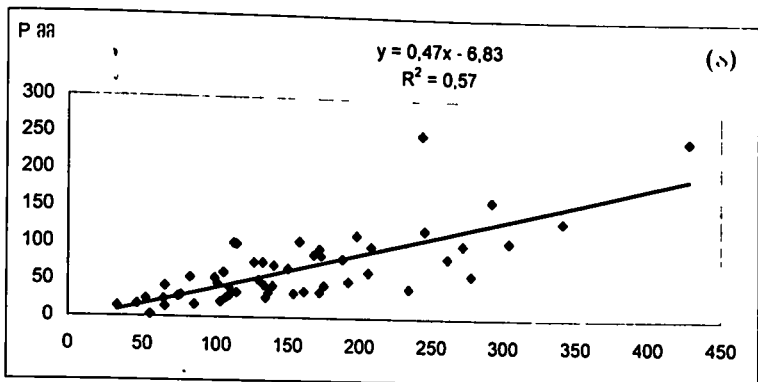
დასასრულს, დაბეჯითებით შეიძლება ითქვას, რომ წყალსაცავების მშენებლობის შენერება საქართველოში მათი მიმდებარე ტერიტორიების პიდრომეტეოროლოგიურ პროცესებზე უარყოფითი მოქმედების გამო იყო შეუძლოა



ნახ.4.2.1. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წველისათვის ზუგდიდი - ჯეარი, იანეარი.
(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი.

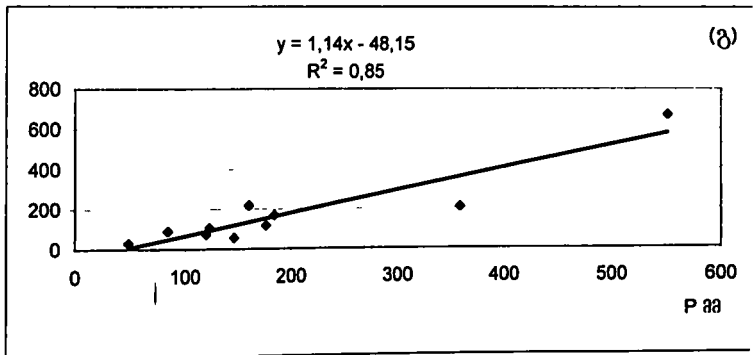
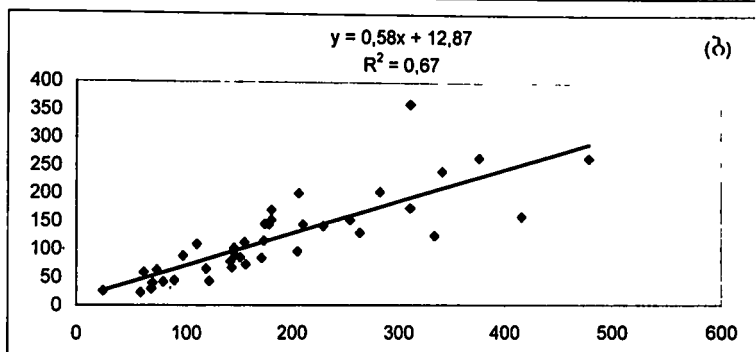
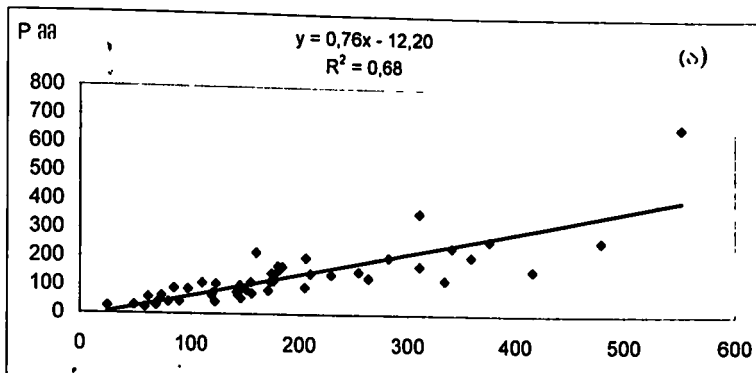


ნახ 4.2.2 ნალექებს შორის კორელაციური კავშირი წვეულისათვის ზუგდიდი - ხაიში, იანვარი
 (ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი

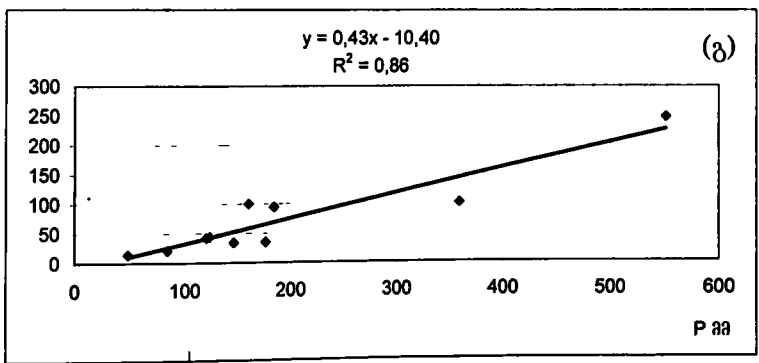
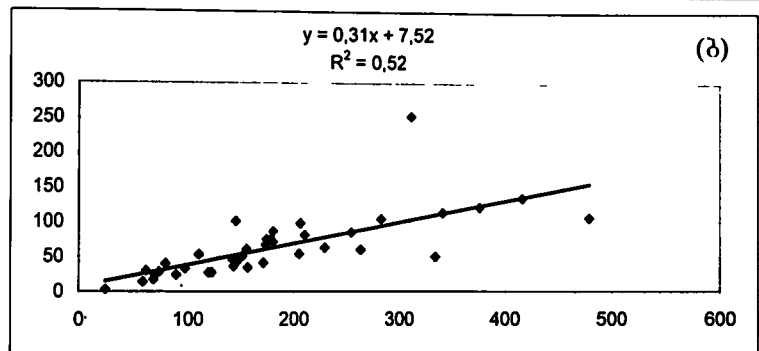
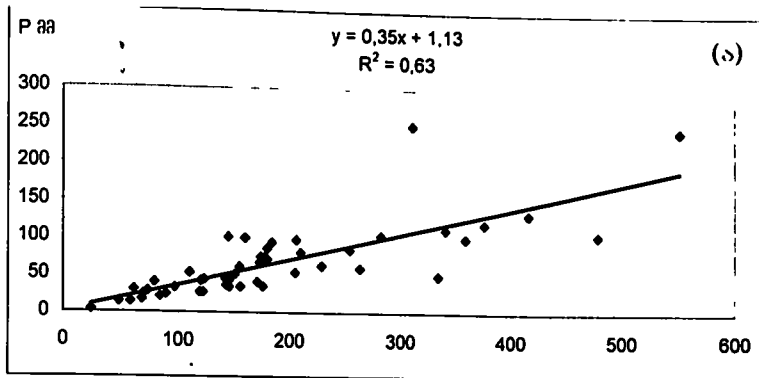


ნახ.4.2.3. ნალექებს შორის კორელაციური კავშირი წვეილისათვის ზუგდიდი - მესტია, იანვარი

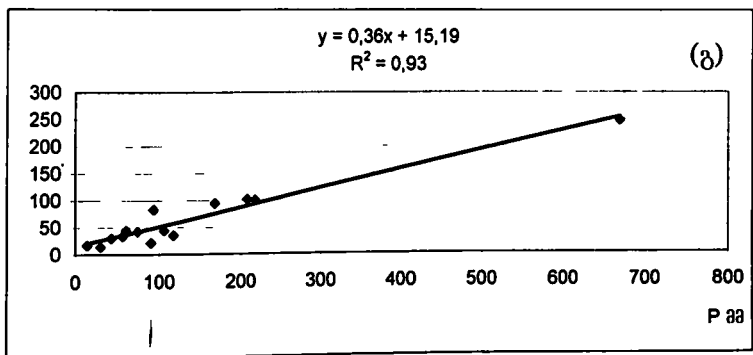
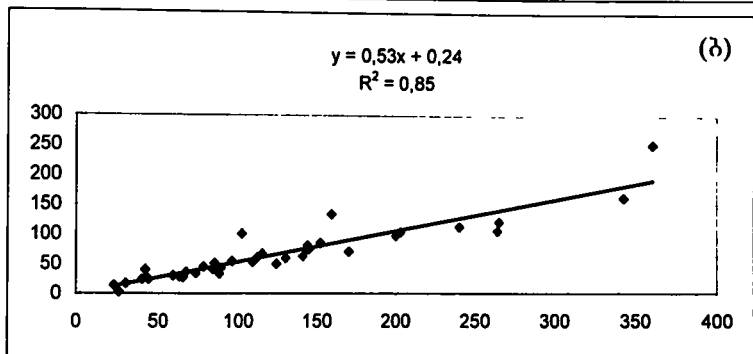
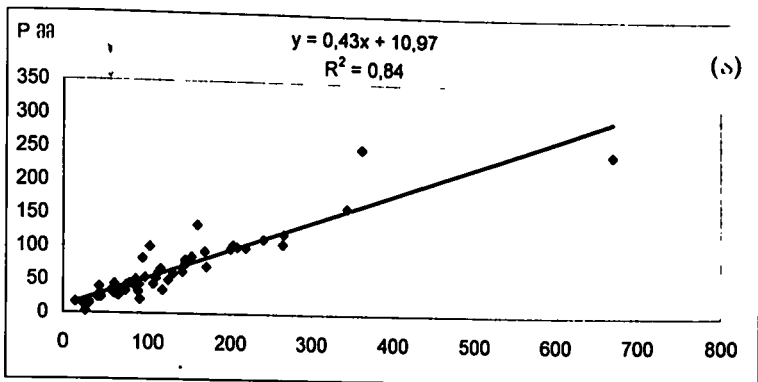
(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი



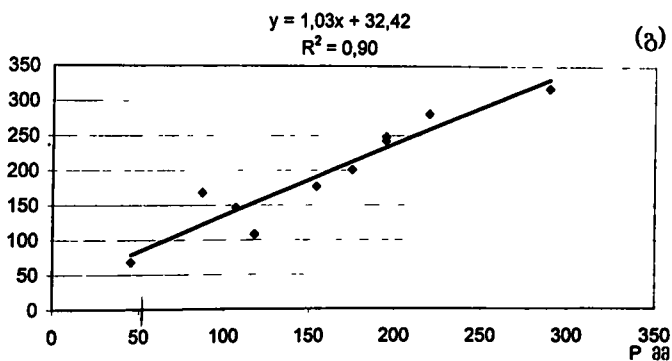
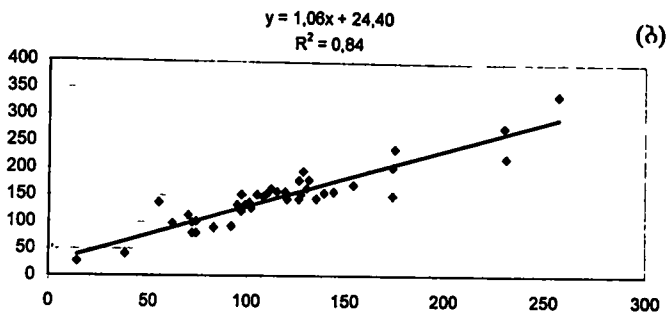
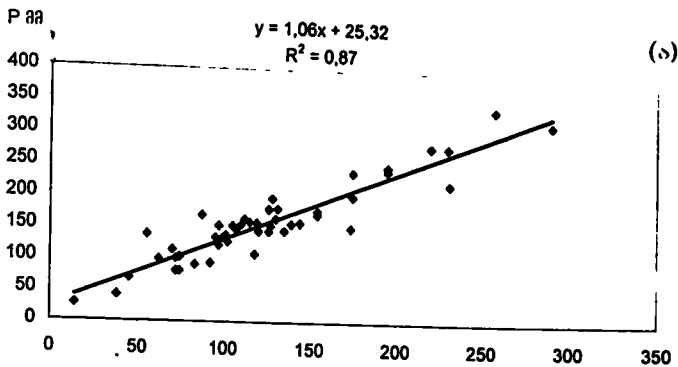
ნახ 4.2.4. ნაღვეებს შორის კორელაციური კავშირი წვეილისათვის ჯვარი - ხაიში, იანვარ
 (ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი



ნახ.4.2.5. ნალექებს შორის კორელაციური კავშირი წვეილისათვის ჯვარი - მესტია, იანვარი
(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი.

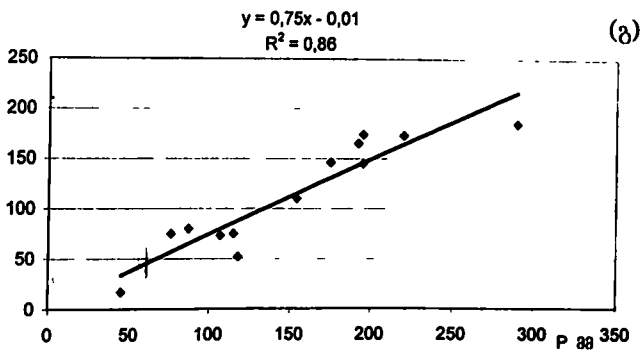
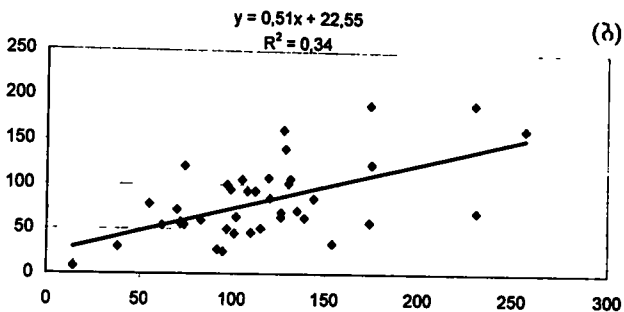
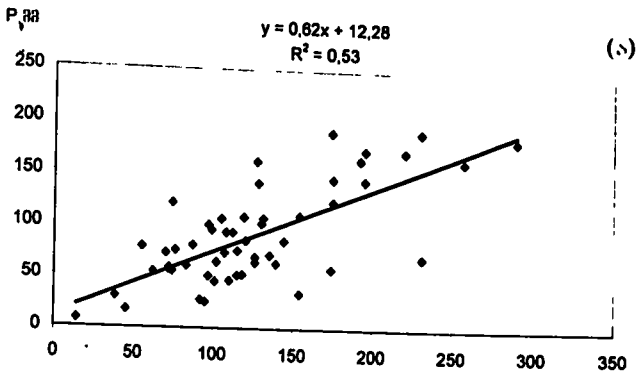


ნახ.4.2.6. ნალექებს შორის კორელაციური კავშირი წვევილისათვის ხაიში - მესტია, იანვარი
 (ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი



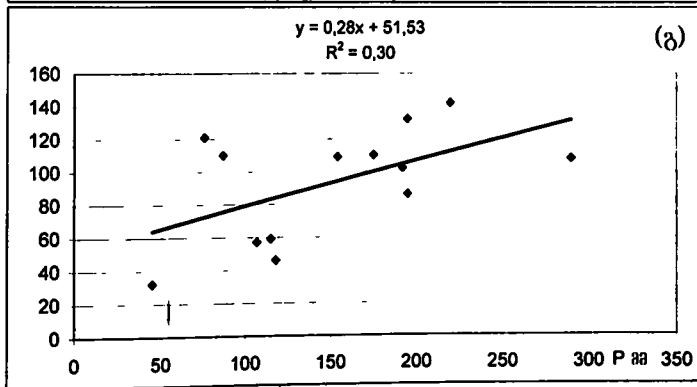
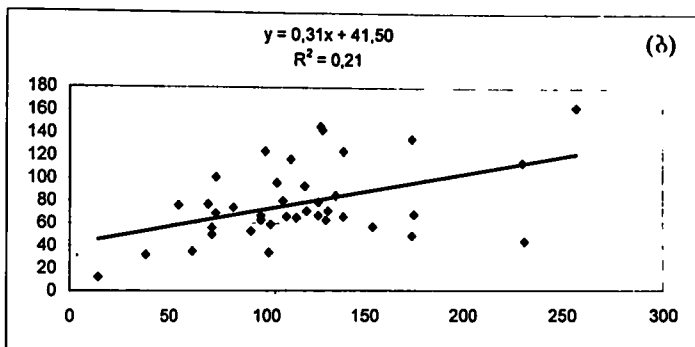
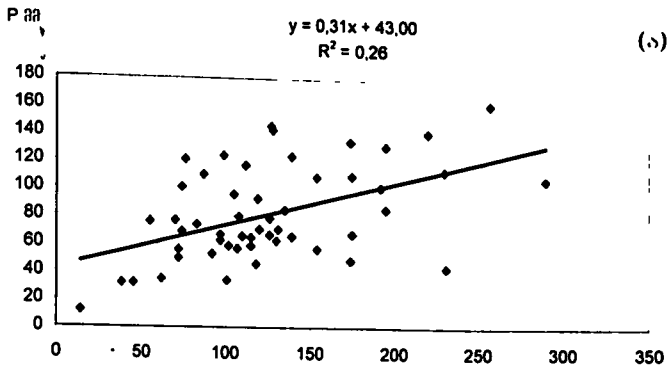
ნახ.4.3.1. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წვევილისათვის ზუგდიდი - ჯვარი, აბრილი.

(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი.



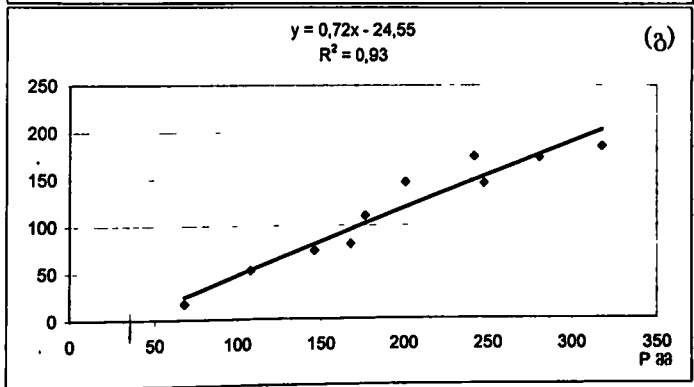
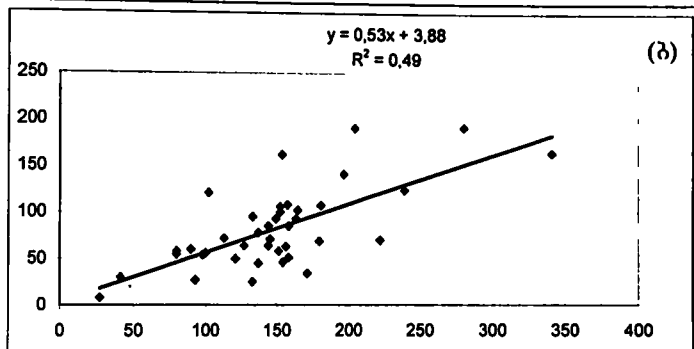
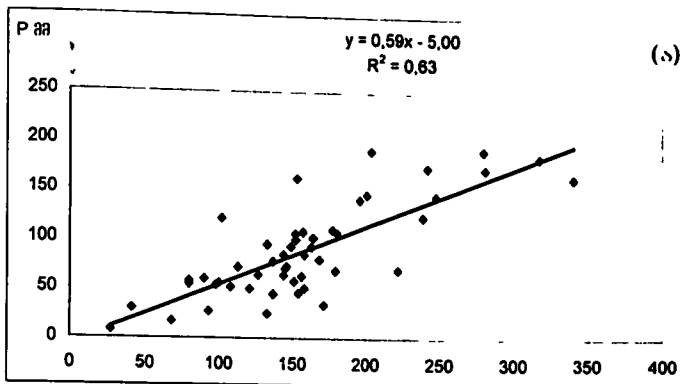
ნახ.4.3.2. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წვეილისათვის ზუგდიდი - ხაიში, აბრელი.

(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი.

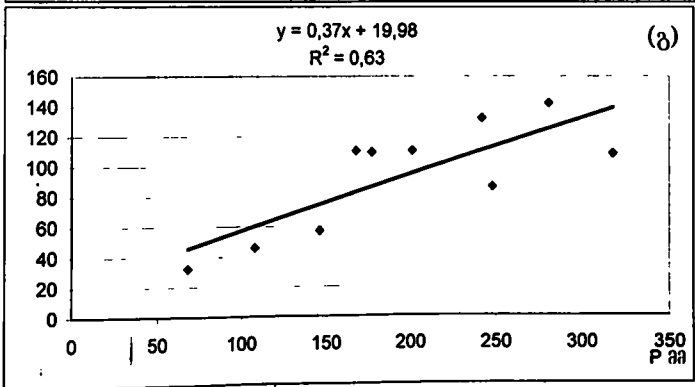
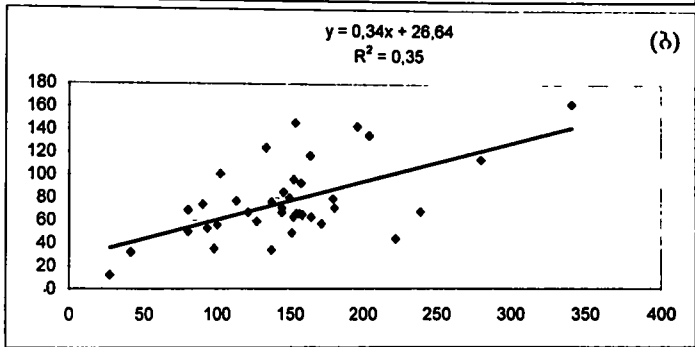
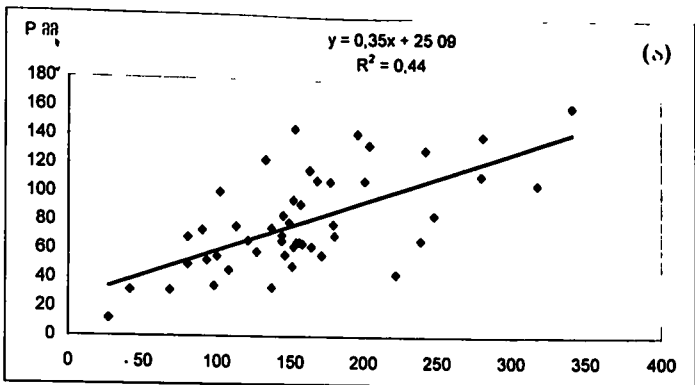


ნახ.4.3.3. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წყვილისათვის ზუგდიდი - მესტია, აპრილი.

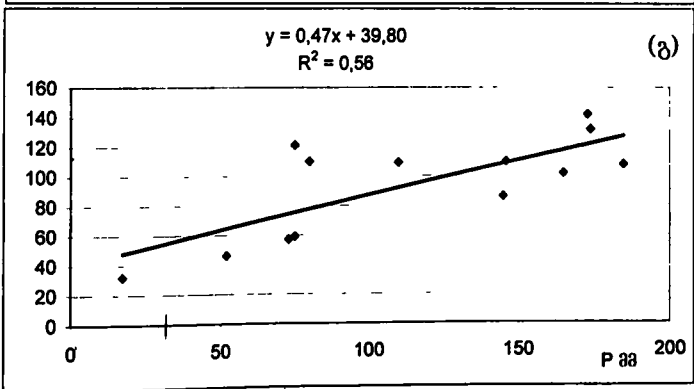
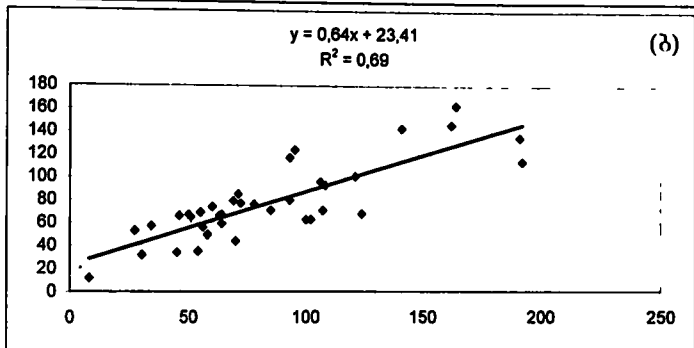
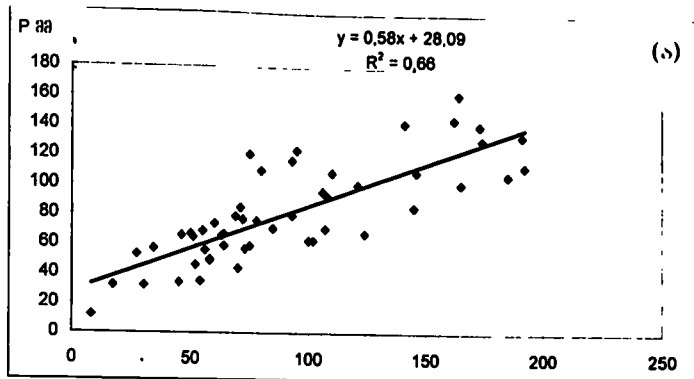
(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი



ნახ.4.34. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წველისათვის გვარი - ხაიში, აპრილი
(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი.

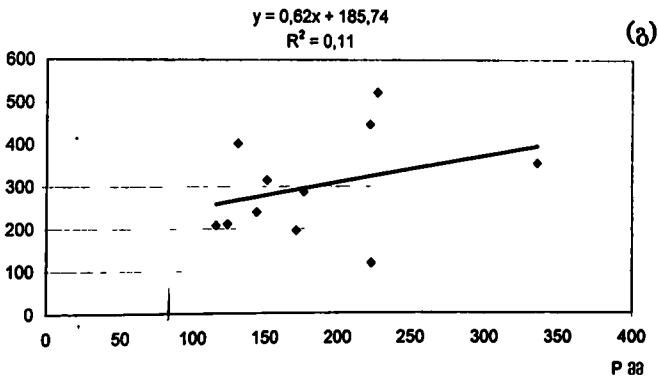
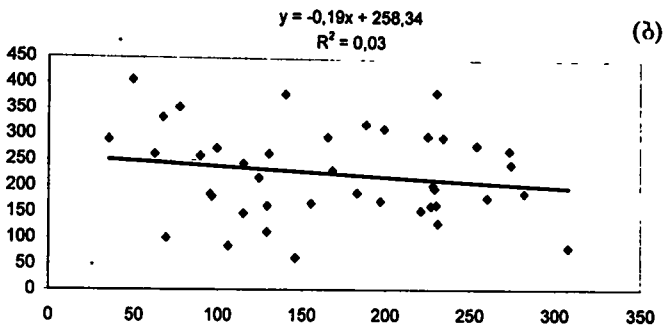
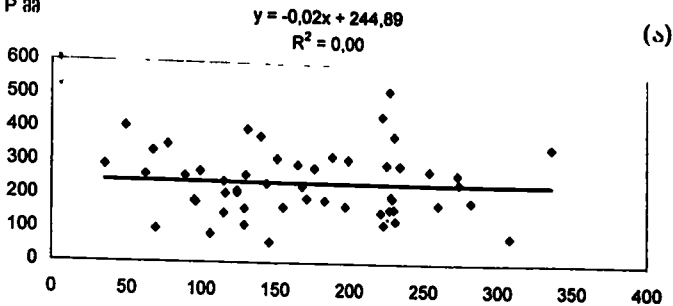


ნახ.4.3.5. ნალექებს შორის კორელაციური კავშირი წვეილისათვის ჯვარი - მესტია, აპრილი
(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი



ნახ.4.3.6. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წყვილისათვის ხაიში - მესტია, აპრილი
(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი

P მმ



ნახ.4.4.1. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წვეილისათვის ზუგდიდი - ჯვარი, იელისი.

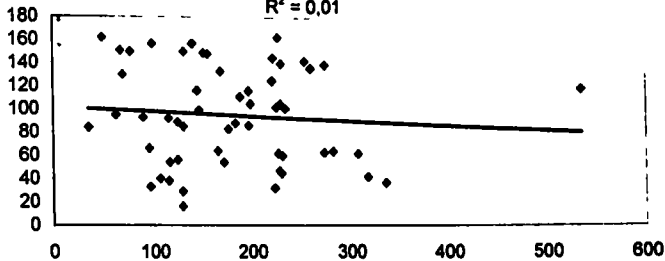
(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი

P 88

$$y = -0,04x + 101,52$$

$$R^2 = 0,01$$

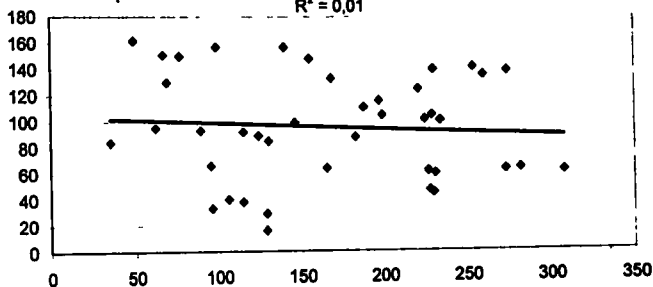
(ა)



$$y = -0,05x + 103,35$$

$$R^2 = 0,01$$

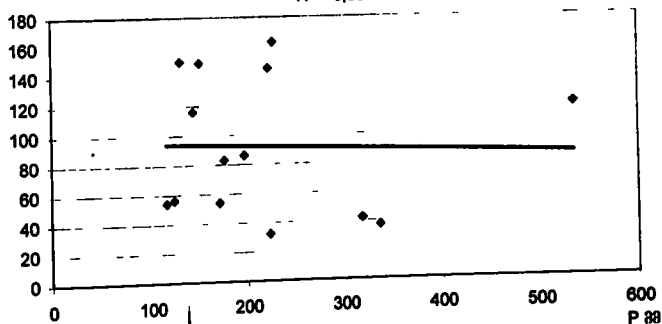
(ბ)



$$y = -0,02x + 96,45$$

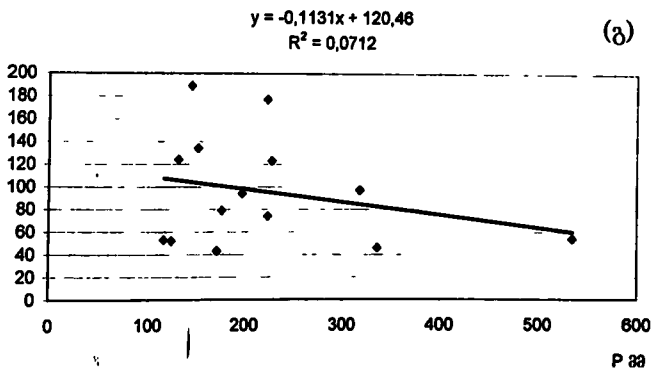
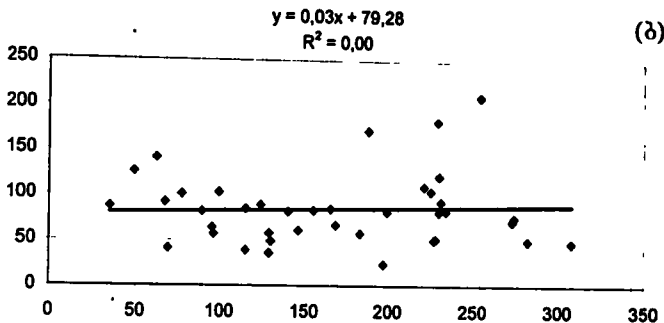
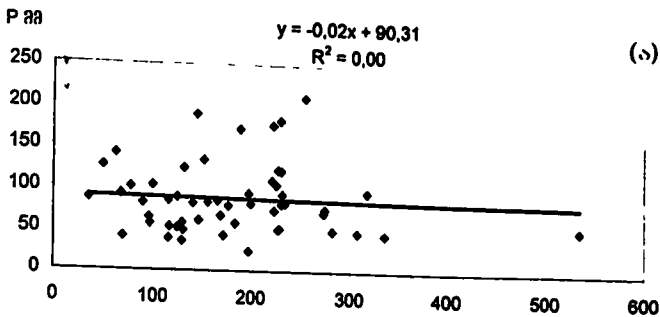
$$R^2 = 0,00$$

(გ)



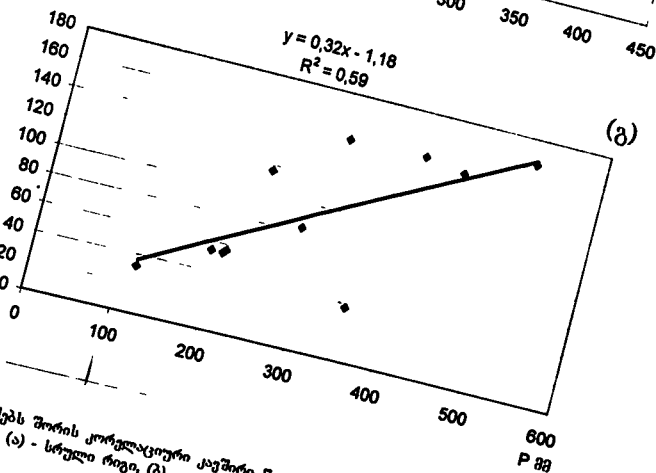
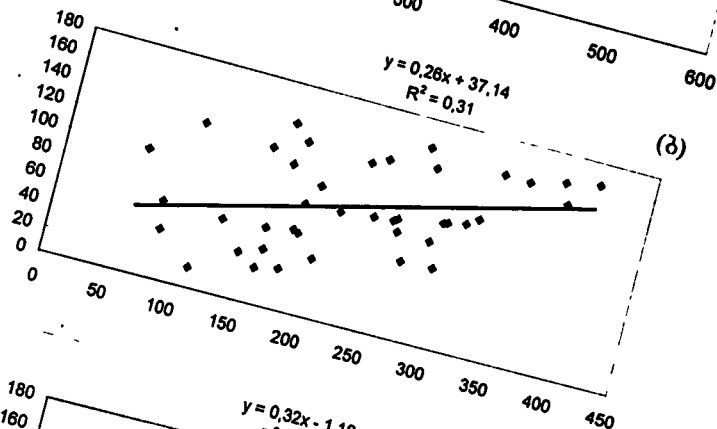
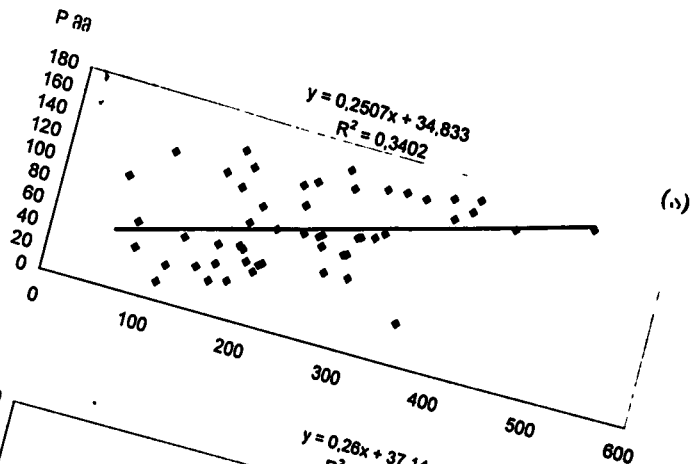
ნახ.4.4.2. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წყვილისათვის ზუგდიდი - ხაიში, ივლისი.

(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი.

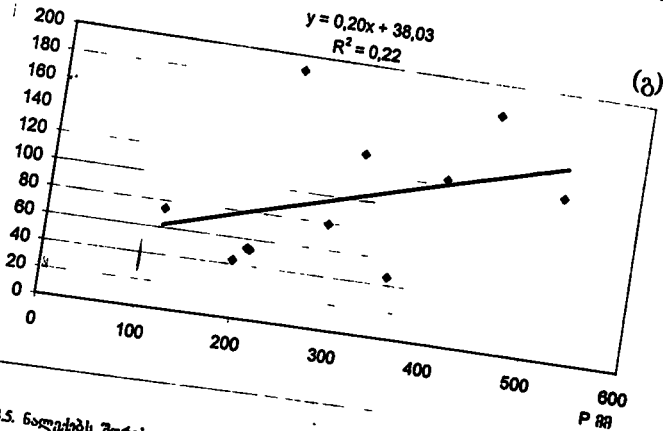
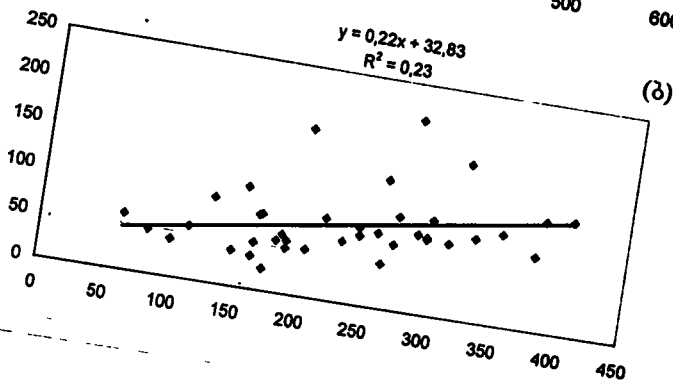
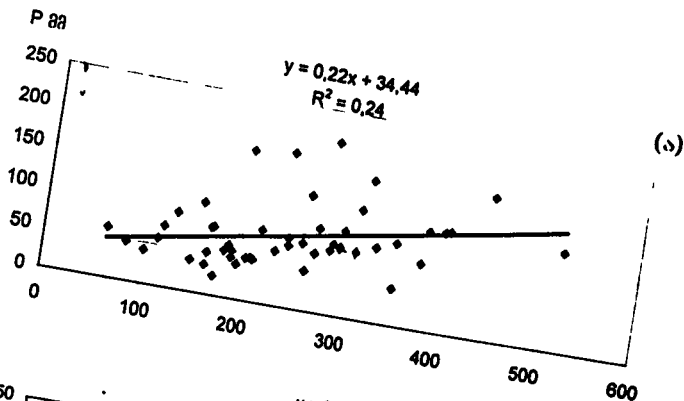


ნახ.4.4.3. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წყვილისათვის ზუგდიდი - მესტია, ივლისი.

(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი.



ნახ.4.4. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წვევილისთვის ჯვარი - ხაზში, ივლისი
 (ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი



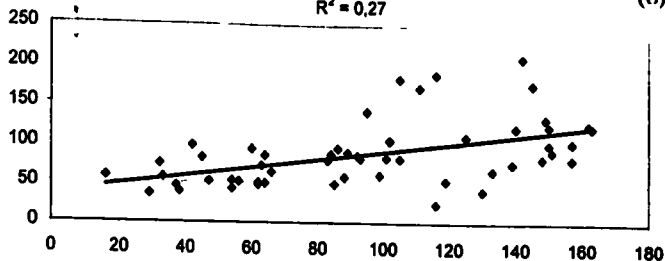
ნახ.4.4.5. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წვეთისათვის უკარი - მესტია, ივლისი.
(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი.

P 88

$$y = 0,52x + 37,75$$

$$R^2 = 0,27$$

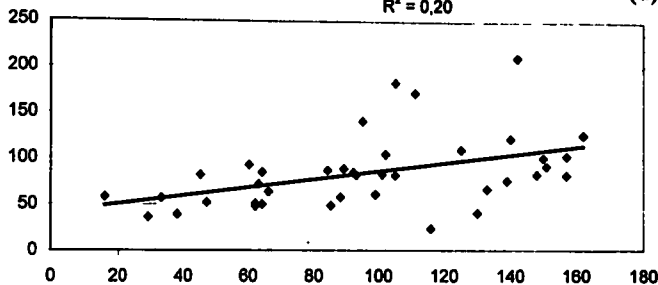
(ა)



$$y = 0,45x + 41,45$$

$$R^2 = 0,20$$

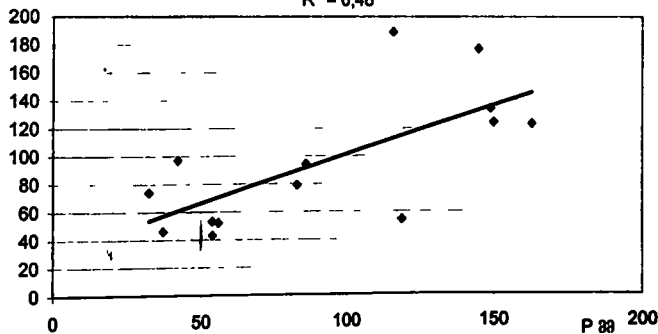
(ბ)



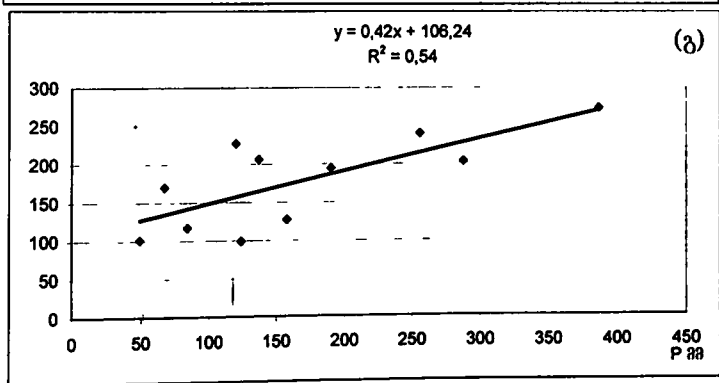
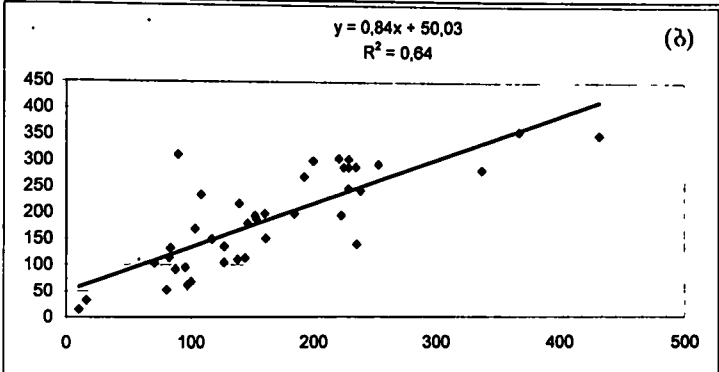
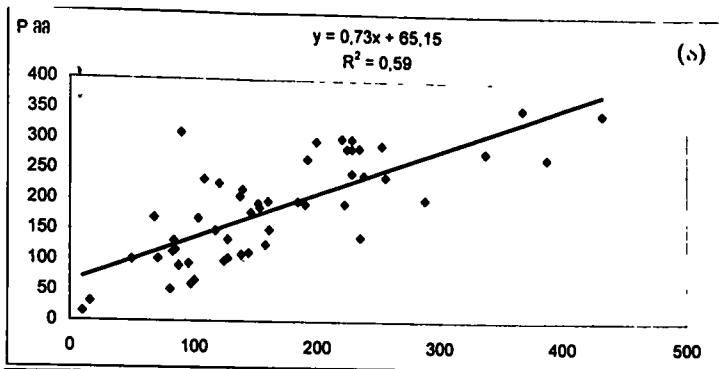
$$y = 0,70x + 31,10$$

$$R^2 = 0,48$$

(გ)

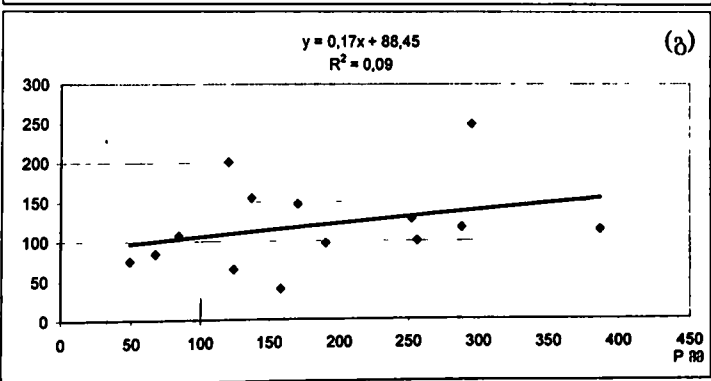
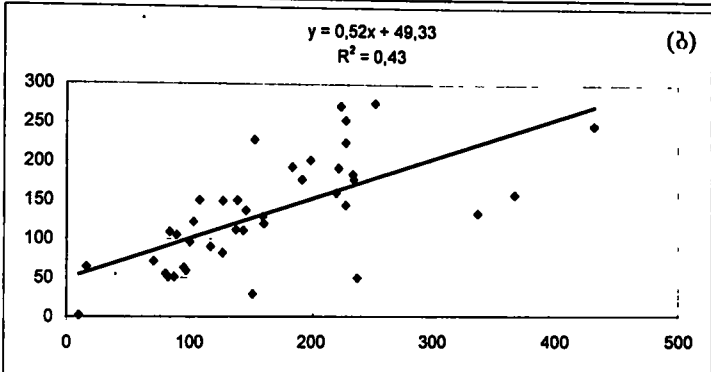
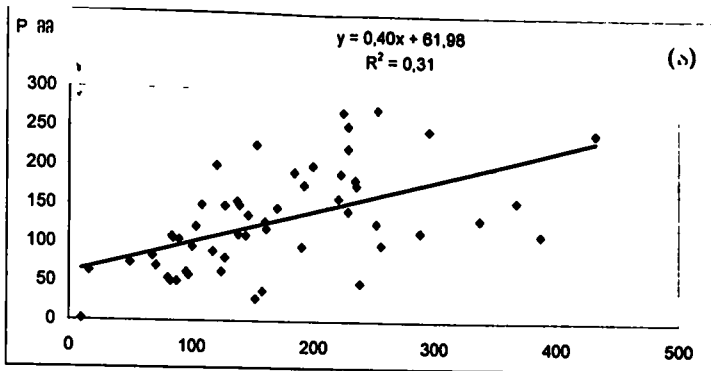


ნახ.4.4.6 ნაღვეებს შორის კორელაციური კავშირი წყვილისათვის ხაიში - მესტია, ივლისი
 (ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი.



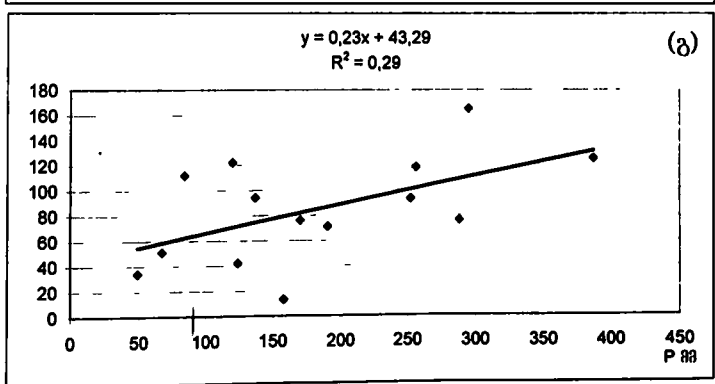
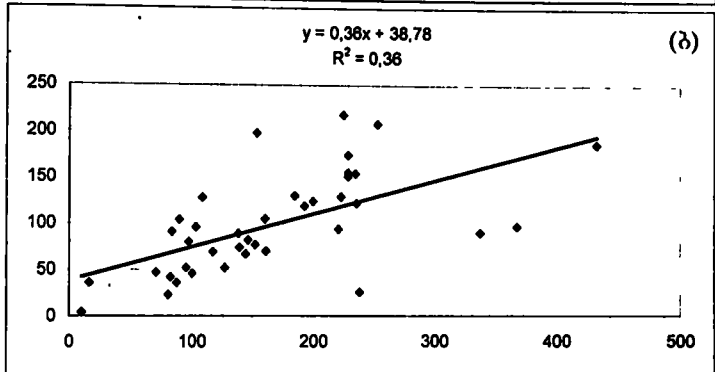
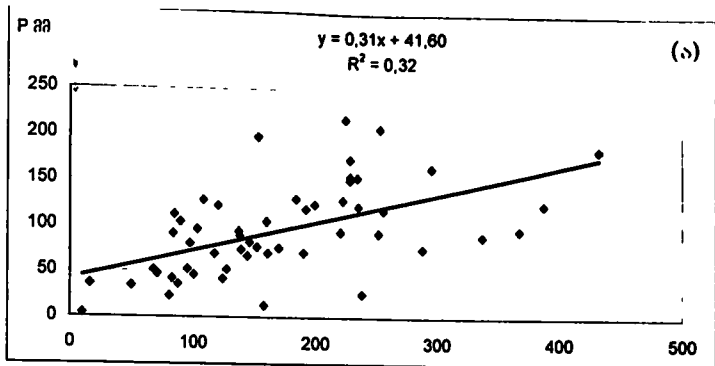
ნახ.4.5.1. ნაღვეებს შორის კორელაციური კავშირი წვეთილსათვის ზუგდიდი - ჯვარი, ოქტომბერი

(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი



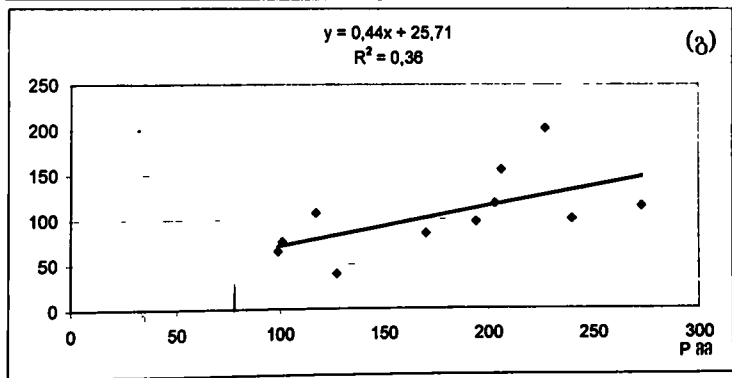
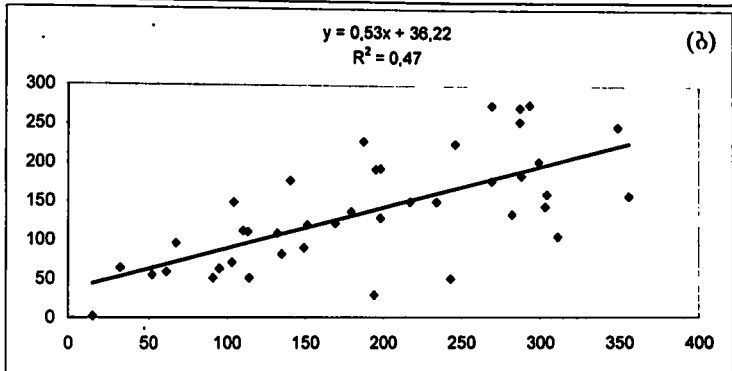
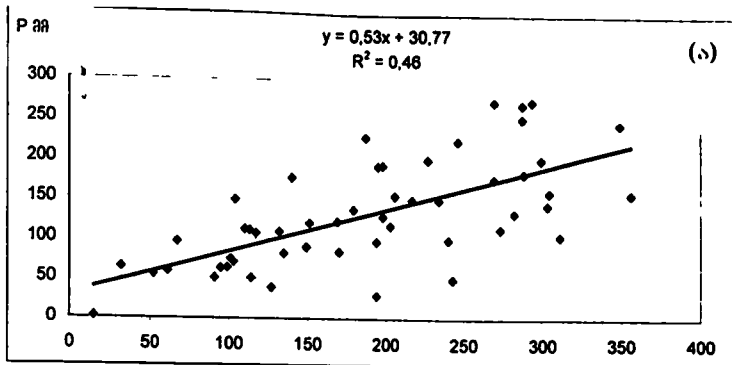
ნახ.4.5.2. ნალექებს შორის კორელაციური კავშირი წყვილისათვის ზუგდიდი - ხაიში, ოქტომბერი

(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი

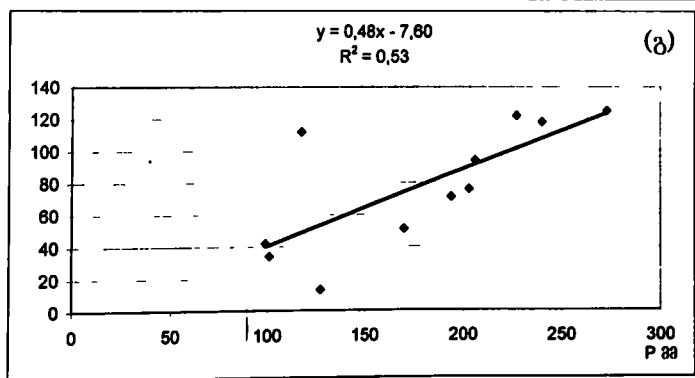
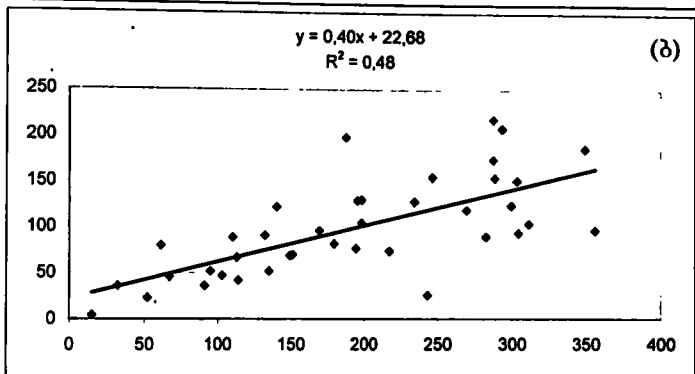
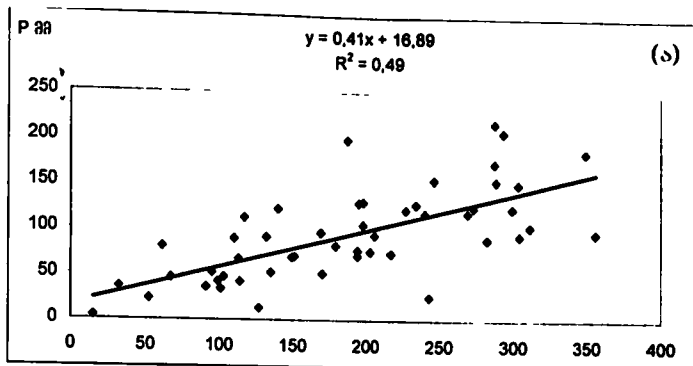


ნახ.4.5.3. ნაღებებს შორის კორელაციური კავშირი წყვილისათვის ზუგდიდი - მესტია, ოქტომბერი

(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი.

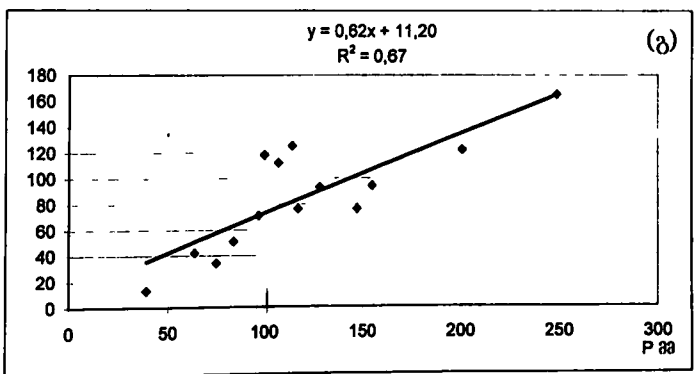
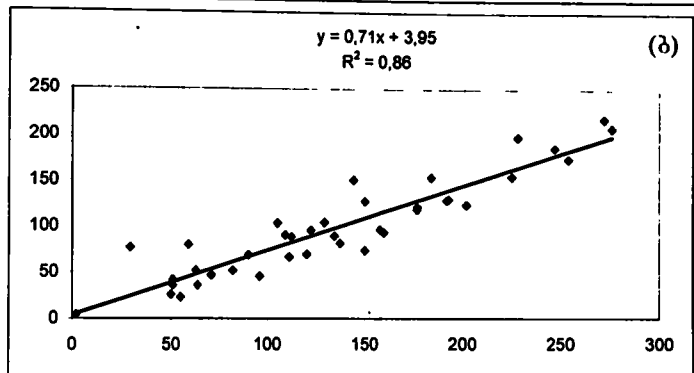
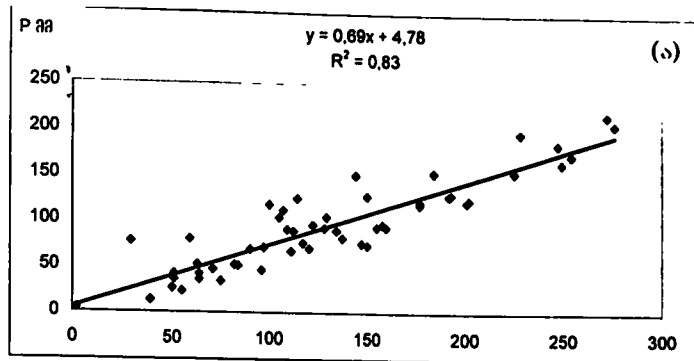


ნახ.4.54 ნალექებს შორის კორელაციური კავშირი წვეთილისათვის ჯგარი - მესტია, ოქტომბერი
(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი



ნახ.4.5.5. ნალექებს შორის კორელაციური კავშირი წვევილისათვის ჯვარი - ხაიში, ოქტომბერი.

(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი



ნახ.4.5.6. ნალექებს შორის კორელაციური კავშირი წყვილისათვის ხაიში - მესტია, ოქტომბერი

(ა) - სრული რიგი, (ბ) - გრძელი რიგი, (გ) - მოკლე რიგი

42. წყალსაცავის მიკროკლიმატზე ზაქალისის შემსახება
მათემატიკური მოდელის გაშრომნებით

წყალსაცავის მიკროკლიმატზე გაელენის გ. მოკლევა შეიძლება
ქაერის მიწისპირა ფენაში ტურბულენტური ტენბრუნვისა და სათბო-
ბრუნვის განტოლების საშუალებით. კოორდინატთა სათაკე მოვათავსოთ
ვიწრო ზოლის L სიგრძის წყალსაცავის საწყის წერტილში, OX ღერძი

მივმართოთ წყალსაცავის გასწერივ. OZ ღერძი - ვერტიკალურად ზევით.
სტაციონალური პროცესებისათვის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$u_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^p \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^{1-p} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right], \quad (1)$$

სადაც q ტემპერატურაა ან სინოტივე, x და z - შესაბამისად ჰორიზონტალური და ვერტიკალური კოორდინატები. u_1 - ქარის სინქარე OX ღერძის გასწერივ z_1 სიმაღლეზე, z_1 - დამახასიათებელი ვერტიკალური მასშტაბი, p - ემპირიული მუდმივა. k_1 - ტურბულენტობის კოეფიციენტი. ამოცანის ამოხსნა მოიძებნება არეში ($x=0$, $z=0$), სადაც $q(x,z)$ აკმაყოფილებს შემდეგ სასაზღვრო პირობებს:

$$[q(x,z)]_{x=0} = f(z), \quad [q(x,z)]_{z=0} = \varphi(x). \quad (2)$$

ასეთი სასაზღვრო პირობით (1) განტოლების ინტეგრალური ფორმით ნაწერილი ანალიზური ამოხსნა მოცემულია მ.ტიმოფეევის (წყალსატევების მეტეოროლოგიური რევიმი, 1963) და დ.ლაისტმანის ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის ფიზიკა, 1970) მონოგრაფიებში

განვიხილოთ მარტივი შემთხვევა. დავუშვათ, რომ

$$f(z) = \text{const}; \quad \varphi(x) - \varphi(0) = \begin{cases} \Delta, & \text{როცა } 0 < x \leq L \\ 0, & \text{როცა } x > L \end{cases} \quad (3)$$

ამრიგად, Δ წარმოადგენს ტემპერატურის ან სინოტივის ფონურ გადახრას (კონტრასტს), რომელიც მოცემულია სასაზღვრო პირობით. მაშინ (1) განტოლების ანალიზური ამოხსნა მოიცემა შემდეგი გამოსახულებით:

$$q(x,z) = \varphi(0) + \Delta \cdot n(x,z), \quad (4)$$

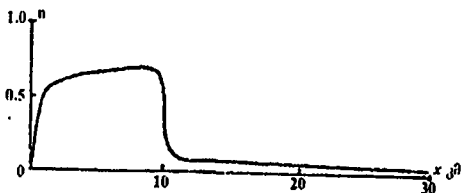
სადაც $n = 1 - \frac{\Gamma(m, s^2/4t)}{\Gamma(m)}$, როცა $0 < x \leq L$
 და $n = \frac{\Gamma(m, s^2/4t - 4tL) - \Gamma(m, s^2/4t)}{\Gamma(m)}$, როცა $x > L$ (5)

აქ $\Gamma(m)$ - გამა ფუნქცია, $\Gamma(m, s^2/4t) = \int_0^{s^2/4t} \sigma^{m-1} e^{-\sigma} d\sigma$ - არასრული გამა ფუნქცია,

$$m = \frac{p}{2p+1}, \quad s = \left(\frac{z}{z_1}\right)^{2p+1/2},$$

$$t = \frac{p^2}{4m^2} \cdot \frac{k_1 x}{u_1 z_1^2}, \quad tL = \frac{p^2}{4m^2} \cdot \frac{k_1 L}{u_1 z_1^2}.$$

(4) ამოხსნაში შემავალი კოეფიციენტი იცვლება ინტერვალში (0.1). მისი



ნახ. 1. გველენის კოეფიციენტის მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკი ($z=2\text{მ}$).

ფიზიკური არსი იმაში მდგომარეობს, რომ იგი გვიჩვენებს ფონური გადახრის რა ნაწილს შეადგენს მეტეოლოგების ნაზრდი სივრცის მოცე-

მულ წერტილში. იქ სადაც წყალსაცავის გავლენა მაქსიმალურია $n \rightarrow 1$, ხოლო ზედაპირიდან დიდ სიმაღლეებზე და ნაპირიდან შორეულ მანძილებზე $n \rightarrow 0$. ფიზიკური არსის მიხედვით, n კოეფიციენტს შეიძლება გავლენის კოეფიციენტი ვუწოდოთ.

გამოვითვალთ გავლენის კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა შემდეგი მონაცემებისათვის: $L=10$ კმ, $n_1=1$ მ/წმ, $k_1=10$ მ²/წმ, $z_1=1$ მ, $z=2$ მ, $p=1/8$. n კოეფიციენტის მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკი ($z=2$ მ სიმაღლეზე) მოცემულია ნახ. 1-ზე.

ამრიგად, წყალსაცავის ზედაპირიდან $z=2$ მ სიმაღლეზე მეტეოლოგებენტის ველის დეფორმაცია საკმაოდ დიდია და იგი იცვლება ქარის მიმართულებით 56 %-დან (წყალსაცავის დასაწყისი, $x=1$ კმ) 65%-მდე (წყალსაცავის ბოლო, $x=10$ კმ). შემდეგ დაიკვირვება გადახრის მკვეთრი დაცემა და უკვე $x=11$ კმ-ზე, ე.ი. ნაპირიდან 1 კმ მანძილზე, იგი შეადგეს მხოლოდ 9%-ს. წყალსაცავის კიდედან 20 კმ მანძილზე ქარის მიმართულებით გადახრა დადის 1%-მდე.

კვლევის ძირითადი შედეგებია

- საქართველოს უხვთოვლიან რაიონებში რიგი მაღალმთიანი სადგურებისათვის შესაბამისი გამოთვლების საფუძველზე დადგენილია, რომ ჩამონადენის ფენა (ვალკულ თევებში და თოვლდაკრებების მოელი პერიოდის განმავლობაში აღემატება ნალექების რაოდენობას წყალშემკრებზე ეს მოვლენა ახსნილია თოვლის საფარის სისრქეში არმოსფერული ტენის კონდენსაციის შედეგად წყლის დამატებითი მარაგის ფორმირებით შეფასებულია წყლის ბალანსის მდგენელები და შემოთავაზებულია თოვლში წყლის დამატებითი მარაგის გამოსახარისებელი ემპირიული ფორმულები
- მდინარეთა ორი ტიპური აუზისათვის, რომლებიც მდებარეობენ აკვიების (მდ. სუფხა, დახაკლეთ საქართველო) და დათბობის (მდ. ხრამი, აღმოსავლეთ საქართველო) რეგიონებში, ჩატარებულია ქაერის და ნიადაგის ტემპერატურების, წყლის ორთქლის პარციალური წნევის, შეფარდებითი სინოტივის, ნალექებისა და ჩამონადენის საექსპონოვან ცვლილებათა შეფასება მეტეოლოგმენტების და ჩამონადენის ცვლილების სიდიდეები განსაზღვრულია წრფივი ტრენდების აკვით, რომლებიც წარმოადგენენ ემპირიული რიგებში საშუალო თვიურ მახასიათებელთა მრავალწლიური რეკეალობის აპროსი-მაციას 1906-1995წწ პერიოდისათვის დადგენილია, რომ მდ.სუფხას აუზში ქაერის და ნიადაგის ტემპერატურების საექსპონოვანი კლება მიმდინარეობს არმოსფეროს ტენშემცველობის მცირე რეკეალობისა და წყალშემკრებზე ნალექების მნიშვნელოვანი შემცირების ფონზე, რასაც თან არ ახლავს ჩამონადენის სიდიდის შესამჩნევი ცვლილება აღნიშნული შესაბამისი შეიძლება აიხსნას თოვლის საფარში არმოსფერული ტენის კონდენსაციის შედეგად დამატებითი წყლის მარაგის ფორმირებით.
 მდ. ხრამის აუზში ქაერის და ნიადაგის ტემპერატურების მატება აღინიშნება არმოსფეროს ტენშემცველობის, ნალექებისა და ჩამონადენის პრაქტიკულად უცვლელი სიდიდეების პირობებში
 თითოეულ საკვლევი რაიონში ჩამონადენისა და ნალექების საშუალო თვიურ მნიშვნელობათა შორის კავშირის გამოხატვისათვის შემოთავაზებულია ემპირიულ-სტატისტიკური გამოსახულებანი
- მიღებული შედეგების ტერიტორიული განზოგადების მიზნით, საქართველოს 18 მდინარის აუზისათვის, 1951-1965 წლების პირომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა რიგების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე, ჩატარებულია წლიური ჩამონადენის რვევის რაოდენობრივი შეფასება წყალშემკრებზე ტემპერატურისა და ნალექების ცვლილების შესაბამის პირობებში თითოეული აუზისათვის მიღებული კორელაციური დამოკიდებულებები შემოწმებულია 1981-1985 წლების დამოუკიდებელ მასალებზე შეფასების ცდომილება (ვალკულ წლებში არ აღემატება 10%. დადგენილია, რომ უმეტეს შემთხვევებში ტემპერატურის ზრდას თან ახლავს წყალშემკრებებზე ნალექებისა და ჩამონადენის შემცირება მდინარეთათვის, რომლებიც ხასიათდებიან მნიშვნელოვანი მყინვარული საზრდობით, აუზის იმ ნაწილებში, სადაც მყინვარისა და წყალშემკრებების ფართობების თანაფარდობა აღემატება 10%-ს, ტემპერატურის მატებისას დაიკვირვება ჩამონადენის ზრდა, რაც გამოწვეულია მყინვარის აბლაციის გაძლიერებით. მიღებული ემპირიული-სტატისტიკური დამოკიდებულებების საფუძველზე ჩატარებულია მდინარეების

ენგურის (ს.ხაიში) და მტკვრის (სთბილისი) ნამონადენის რეკლამის შეფასება კლიმატის მოსალოდნელ ცვლილებათა პირობებში

- წარმოდგენილია კლიმატის პარამეტრების ცვლილებათა მიმართ მდინარის ნამონადენის მგრამობიარობის შეფასების მეთოდიკა, რომელიც ეფუძნება პიდროკვეთში ნამონადენის სიდიდის თვიური ან წლიური მნიშვნელობის გაანგარიშების წყალბალანსურ და ემპირიულ-სტატისტიკურ მოდელებს მდინარეების რიონისა და მტკვრის მაგალითზე განსაზღვრულია კლიმატურ ცვლილებებზე ნამონადენის მოსალოდნელი რეაქციის საპროგნოსო სცენარები.

მდ. რიონი-საღპანას შემთხვევაში (ნამონადენის კოეფიციენტი $k=0.80-0.90$) ნამონადენის მგრამობიარობა თითქმის მთლიანად განისაზღვრება წყალშემკრებზე ნალექთა ჯამების ცვლილებით ამიტომ, ნამონადენის ხიდი-დუხა და ნალექთა ჯამების ცვლილებებს შორის არსებობს წრფივი დამოკიდებულება

მდ. მტკვრის-სთბილისი შემთხვევაში (ნამონადენის კოეფიციენტი $k=0.30-0.40$) ნამონადენის მგრამობიარობა ასერის ტემპერატურის (რადიაციული ბალანსის) ცვლილების მიმართ აღემატება მგრამობიარობას ნალექთა ჯამების ვარიაციის მიმართ ამიტომ, კლიმატურ ცვლილებებზე ნამონადენის რეაქცია არაწრფივ ხასიათს ატარებს მაგალითად, წყალშემკრებზე ტემპერატურის 20°C -ით მომატებისა და ნალექთა ჯამების 10%-ით დაკლების ექსტრემალურ შემთხვევაში ნამონადენის რეაქცია გამოიხატება მის შემცირებაში დაახლოებით 50%-ით, რაც კარგ თანხვედრაშია ემპირიულ-სტატისტიკური მოდელის საფუძველზე მიღებულ შეფასებასთან

- მდინარე ენგურზე საქართველოში ეკვლაზე მსხვილი ჯვრის წყალხაკვის მაგალითზე ჩატარებულია მისი წყალხაკვის მიმდებარე ტერიტორიის კლიმატზე ზემოქმედების კომპლექსური შეფასება ამისათვის გამოყენებულია მეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა რიგების სტატისტიკურ-კორელაციური ანალიზი, აგრეთვე, ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში მოცემული ქარის ფონზე ტურბულენტური სითბოცვლის (ან ტენზონების) მათემატიკური მოდელი შეფასებამ გამოავლინა წყალხაკვის თავზე და მის ნაპირთან უშუალო მახლობლობაში მეტეოროლოგიური რეჟიმის მნიშვნელოვანი ცვლილებები. ამავე დროს, წყლის კიდედან უკვე 1-2კმ და მეტ მანძილებზე მთის წყალხაკვეი პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას მიმდებარე ტერიტორიის კლიმატზე.