



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

ხატია ჩოხელი

ჰესის გამომუშავების დაგეგმვა მდინარის
ჩამონადენის მრავალფაქტორიანი
ფორმირების კვლევის საფუძველზე

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 0160, საქართველო

2022 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი: ენერგეტიკის

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ხატია ჩოხელის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ჭესის გამომუშავების დაგეგმვა მდინარის ჩამონადენის მრავალფაქტორიანი ფორმირების კვლევის საფუძველზე“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2022 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი/ხელმძღვანელები: პროფესორი გ. ხელიძე

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022 წ.

ავტორი: ხატია ჩოხელი

დასახელება: „ჰესის გამომუშავების დაგეგმვა მდინარის ჩამონადენის მრავალფაქტორიანი ფორმირების კვლევის საფუძველზე“

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: ენერგეტიკის და ელექტროინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა _____

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

წყლის რესურსების ეფექტური მართვა, გლობალური დათბობის და გამკაცრებული გარემოსდაცვითი მოთხოვნების პირობებში წარმოადგენს თანამედროვეობის უმნიშვნელოვანეს გამოწვევას. მდინარის წყალშემკრები აუზის ფარგლებში სამდინარო ჩამონადენის ტერიტორიულ და დროით გადანაწილებას და რაციონალურ მართვას არსებითი მნიშვნელობა აქვს ჰიდროენერგეტიკული დანიშნულების ობიექტებისათვის.

საქართველოს ჰიდროგრაფიული ქსელის მაღალი სიმჭიდროვის, ტერიტორიის კლიმატური, ფიზიკურ-გეოგრაფიული და გეოლოგიური მრავალფეროვნებიდან გამომდინარე, წლის ცალკეულ პერიოდში წყლის ჩამონადენის ფორმირება ხდება განსხვავებულ, სპეციფიკურ, ჰიდრომეტეოროლოგიურ პირობებში. ამასთან, კლიმატის ცვლილება, როგორც დაკვირვებული, ასევე მოსალოდნელი იწვევს და გამოიწვევს სათანადო ცვლილებებს მდინარის ჩამონადენის ხასიათში. კვლევათა განსხვავებული შედეგების მიუხედავად, მაგალითად, მთის მდინარეთა აუზებისათვის, გლობალური დათბობის შემთხვევაში მოსალოდნელია არა იმდენად მდინარეთა წლიური ჩამონადენის სიდიდის ცვლილება, რამდენადაც ამ ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილების ცვლილება. ამიტომ თითოეული მდინარის წყლიანობის რეჟიმის სხვადასხვა ფაზის ჩამონადენისათვის უნდა მოხდეს ინდივიდუალური საპროგნოზო მეთოდის შემუშავება. ვიანიდან, წყლის რესურსების გონივრულად გამოყენება, მათ შორის, ჰესის გამომუშავების დაგეგმვის მეთოდი ითვალისწინებს მის განმაპირობებელ საპროგნოზო ჰიდროლოგიურ მახასიათებლებს, წარმოდგენილი ნაშრომი ასახავს: მდინარეთა ჩამონადენის არსებული ჰიდროლოგიური პროგნოზების მეთოდების განახლების აუცილებლობას, ინფორმაციული ქსელის შემცირების პირობებში (ფაქტობრივად ჰიდროლოგიური ინფორმაციის 35 წლიანი წყვეტის პირობებში) კლიმატის მაფორმირებელი ფაქტორების ცვლილების გათვალისწინებით, მათი პრაქტიკული გამოყენების მიზნით; ვიანიდან, ექსპლუატაციაში არსებული ჰესების გამომუშავების დაგეგმვის და მიმდინარე კონტროლისთვის აუცილებელია მოდინების ჰიდროლოგიური ინფორმაციის და წყლის რესურსების ყოველდღიური მონაცემების ანალიზი, წყალსამეურნეო ანგარიშების საშუალებით განხორციელებულია სეზონური და მარეგულირებელი ჰესების სათავე ნაგებობის კვებებში ფაქტიური და საპროგნოზო შემოდინებული წყლის ხარჯების დადგენა სხვადასხვა პერიოდებისათვის. ამასთან, ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავის წყალსამეურნეო ბალანსის დეტალურმა ანალიზმა ცხადყო, რომ წყალსაცავში არსებული და შემოდინებული ფაქტობრივი რესურსის აღრიცხვისათვის, გართულებული წყლის ბალანსისთვის ყველა საჭირო ელემენტის განსაზღვრის პირობებში, მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს წყალსამეურნეო ანგარიშები არსებული ოპერატიული მონაცემების საფუძველზე, კერძოდ, წყალსაცავის რეგულირების მაჩვენებლით განისაზღვროს წყლის ბალანსის უმნიშვნელოვანესი ელემენტი—ბუნებრივი შემოდინება. შედეგად გაანგარიშებული საპროგნოზო და ფაქტობრივი მონაცემებით შესაძლებელი იქნება წყლის რესურსების ეფექტური მართვა.

I თავში შესწავლილია გლობალური კლიმატის ევოლუციის ტენდენციები და მათზე დაყრდნობით გამოკვლეულია საქართველოს მდინარეების ჩამონადენის

მაფორმირებელი ფაქტორების ცვლილების მიზეზები, საქართველოს მდინარეთა ჰიდროგრაფიული ქსელის თავისებურების გათვალისწინებით. განხილულია მდინარეთა ჩამონადენის შიგაწლიური მსვლელობა, რომელსაც განსაზღვრავს, პირველ რიგში, კლიმატური ფაქტორები - ნალექები, ჰაერის ტემპერატურა და აორთქლება. საკმაოდ დიდია სხვა ფაქტორების გავლენაც, როგორცაა წყალშემკრები აუზის რელიეფი, გეოლოგიური აგებულება, ნიადაგისა და მცენარეული საფარის ხასიათი და სხვ.

II თავში განხილულია მდინარეების წყლის რესურსების საპროგნოზო მაჩვენებლები საქართველოს სხვადასხვა საზრდოობის ტიპის მდინარეებისათვის მათი მაფორმირებელი ბუნებრივი და ანთროპოგენული ფაქტორების გათვალისწინებით. წარმოდგენილია ჩამონადენის მაფორმირებელი სამომავლო და წინასწარი ფაქტორების განსაზღვრის მეთოდები. წინასწარ ფაქტორებს მიეკუთვნება გეომორფოლოგიური ფაქტორები: რელიეფი, წყალშემკრები აუზის ფართობი, მცენარეული საფარი წყალშემკრები აუზის ტერიტორიაზე, ფერდობების ორიენტაცია, წყალშემკრები აუზის დახრა, წყლის ბუნებრივი აკუმულაცია (ტბები, წყალსატევები, ქვაბულები წყლის დაგროვებით), ნიადაგების სახეობები წყალშემკრები აუზის ფარგლებში, წყალშემკრები აუზის გრუნტების (ნიადაგების) წინასწარი დატენიანება, წყალშემკრები აუზის მოხაზულობა (ფორმა), დამატებითი საზრდოობის ობიექტები (მაგ., დაგროვილი თოვლის კერები), ხოლო კლიმატური ფაქტორები: ნალექები, ტემპერატურა, აორთქლება, ფარდობითი ტენიანობა წარმოადგენენ სამომავლო ფაქტორებს, რომლებიც უშუალოდ საპროგნოზო ელემენტის განვითარების პერიოდში ფორმირდებიან და მოქმედებენ. აქვე განიხილება მთის მდინარეების ჩამონადენის ძირითადი მაფორმირებელი ფაქტორების: თოვლის ნაღობი წყლების, მყინვარული ნაღობი წყლების, წვიმის სახით მოსული ატმოსფერული ნალექების, გრუნტის წყლების თავისებურებანი საქართველოს პირობებისთვის. კერძოდ, წარმოდგენილია სამთო პირობებისთვის მდინარის ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების განსაზღვრის მეთოდები: ა) ტემპერატურის განსაზღვრა სხვადასხვა სიმაღლეზე; ბ) ატმოსფერული ნალექებით გამოწვეული ჩამონადენის განსაზღვრა; გ) ინფილტრაცია და ზედაპირული შეკავება; დ) მდინარის წყალშემკრებ აუზში თოვლის მარაგის შეფასება; ე) მყინვარული ჩამონადენის განსაზღვრა.

III თავში გააანალიზებულია მდინარის ჩამონადენის პროგნოზირების არსებული მეთოდები მთის მდინარეებისთვის შეზღუდული საწყისი ინფორმაციის პირობებში. დადგინდა, რომ კვლევებისათვის მიზანშეწონილია მულტიფაქტორული მეთოდის არჩევა, ამასთან, პრაქტიკული გამოყენების მიზნით, აუცილებელია მისი მისადაგება შეზღუდული ოპერატიული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის პირობებთან. აღსანიშნავია რომ, მრავალფაქტორული ოპერატიული პროგნოზის შედგენის დროს საანგარიშოდ შეირჩა ის განტოლება, რომლის მონაცემები არის სახეზე პროგნოზის გაცემის დროს.

ამავე თავში წარმოდგენილია ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავების ეფექტური ექსპლოატაციის საკითხები კლიმატის ცვლილების და შეზღუდული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის პირობებში. კერძოდ, მარეგულირებელი ჰესების მუშაობის რეჟიმების დაგეგმვის მეთოდი მდინარეში წყლის რესურსის განმსაზღვრელი ფაქტორების მოკლევადიანი პროგნოზის მიხედვით და შემოთავაზებულია ზედა საფეხურის წყალსაცავში მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენის იმგვარი რეგულირების საშუალება, რაც უზრუნველყოფს ქვედა ბიეფში

განლაგებული ჰიდროელექტროსადგურების მაღალი ენერგეტიკული მაჩვენებლებით მუშაობას.

IV თავში მოცემულია ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდის მიხედვით შედგენილი საანგარიშო პროგრამის ალგორითმი და ბლოკ-სქემა, ხოლო მისი პრაქტიკული რეალიზაციის შესაძლებლობების სადემონსტრაციოდ წარმოდგენილია საანგარიშო პროგრამით შესრულებული გაანგარიშებები საწყისი ჰიდროლოგიური მონაცემების დეფიციტის პირობებში:

ა) განსაზღვრულია მდ. მტკვრის ჩამონადენი ჩითახევჰესი-ორთაჭლჰესის უბანზე, რომლის მიხედვით შესაძლებელია ხსენებულ უბანზე არსებული და პერსპექტიული ჰესების საანგარიშო წყლის ხარჯების განსაზღვრა და საპროექტო ენერგეტიკული პარამეტრების დაზუსტება, რაც მნიშვნელოვანია ამ ჰესების ეფექტური და უსაფრთხო მუშაობის რეჟიმების დაგეგმვისათვის მდ.მტკვრის სხვადასხვა წყლიანობის პერიოდში.

ბ) განხილულია რიონის ჰესების კასკადის ზედა საფეხურის, არსებული ლაჯანურჰესის ან პერსპექტიული ნამახვანჰესის წყალსაცავების იმგვარი სამუშაო რეჟიმების შერჩევა, რაც უზრუნველყოფს კასკადის ქვედა საფეხურის ჰესების (გუმათჰესი და რიონჰესი) ეფექტურ ფუნქციონირებას. გაანგარიშებები შესრულებულია ლაჯანურის და ნამახვან ჰესების წყალსაცავების დღეღამური რეგულირების შემთხვევისთვის, ამასთან განხილულია რეგულირების ერთსაფეხურიანი (პიკური რეჟიმი) და ორსაფეხურიანი (პიკური და ბაზისური რეჟიმები) ვარიანტები.

გ) ჩატარებულია გაანგარიშებები შაორჰესის წყალსაცავისათვის, რასაც საფუძვლად დაედო ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მიდგომა - წინა დღის ფაქტობრივი შემოდინებისა და სინოპტიკური პროგნოზის (ატმოსფერული ნალექების) ერთობლივად გათვალისწინებით მოდინებული წყლის ხარჯის განსაზღვრა დროის სხვადასხვა ინტერვალში.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მდინარეთა ჩამონადენის შესახებ შეზღუდული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის პირობებში მდინარეთა ჩამონადენის და ჰიდროგენერაციის პროგნოზების ავტომატიზებული სისტემის შექმნა და გამოყენება ხელს შეუწყობს საქართველოს ჰესების ელ.ენერჯის გამომუშავების დაგეგმვას ქვეყნის ენერგეტიკულ ბაზარზე ელექტროენერჯით ვაჭრობის სქემაში.

Abstract

Effective management of water resources, under the conditions of global warming and tightened environmental requirements, represents the most important challenge in our days. Territorial and time redistribution and rational management of river runoff within river catchment area is very important for generating hydropower.

In view of high density of hydrographic network, climatic, and ect diversity of the territory, formation of water runoff during separate periods of a year takes place under different, specific hydrometeorological conditions. It is expected that global warming will effect not necessarily the amount of annual runoff of rivers, but rather its distribution during the year. For this reason, individual prognosis methodology should be developed. Our work presents the following: necessity for updating the methods of the existing hydrological prognosis of the river runoff in view of the changes of climate forming factors under the conditions of reduction of information (in fact under the conditions of 35-year interruption of hydrological information); as planning and current control of operating HPP generations require analyzing hydrological information of the runoffs and daily data of the water resources, establishment of actual and forecasted inlet water waste in the headwork of seasonal and regulatory HPPs is carried out through aquatic accounts for different periods.

Chapter I studies the trends of evolution of global climate and the reasons of changing the factors forming river runoffs of the rivers of Georgia. The particular hydrographic network of Georgian rivers are also taken into account. Progression of river runoffs over the year is considered, which is determined, in the first place, by climatic factors. The impact of other factors is also quite large, such as relief of catchment area, geological composition, the nature of ground and vegetation cover etc.

Chapter II considers forecast indicators of aquatic resources of rivers for the rivers of different types of nutrition for Georgia, in view of the natural and anthropogenic factors forming them. The methods determining future and preliminary factors forming the runoff are presented. Preliminary factors include geomorphological factors of watershed and climatic factors representing future factors, which are being formed and acting during the period of development of average forecasted element. Main forming factors of mountain river runoffs are discussed too. In particular, the methods of determining the factor forming river runoffs for mountainous conditions are presented: a) determination of temperature at different heights; b) determination of runoffs caused by atmospheric precipitations; c) infiltration and surface retention; d) evaluation of snow stock in the river reservoir; e) determination of glacial runoff.

Chapter III analyzes existing methods of forecasts of river runoffs, under the conditions of limited initial information for the mountain rivers. It was established that it is justified for the studies to select multifactorial method, and for the purpose of practical application, it shall be fitted to the conditions of limited operative hydrometeorological information. It shall be noted, that in course of conclusion of multi-factorial operative prognosis the equation was selected for reporting, data of which are in place when issuing forecasts.

The issues of effective operation of reservoirs of energetical importance are presented in the same chapter, in particular, the method of planning operation modes of

regulatory HPPs as per the short-termed forecast of the factors determining aquatic resource in the river and the means for regulation of the runoff of river in the reservoir of upstream are offered, providing operation of HPPs located in the downstream with high power indicators.

Chapter IV presents the algorithm and block-scheme of reporting program concluded as per the method offered by us. Calculations are presented under the lack of initial hydrological data:

- a) Runoff of the r. Mtkvari is determined on the areas of Chitakhevi HPP and Ortatchala HPP, according to which expenses of reporting water of the existing and prospective HPPs in the referred area may be determined and designing energy parameters specified, which is important for planning of the effective and safe working modes of such HPPs, during different hydrological periods of the River Mtkvari.
- b) Selection of working modes of upstream of cascade of HPPs of r. Rioni, Lajanuri HPP or prospective Namakhvani HPP reservoirs are considered, providing effective operation of the HPPs of downstream of cascade (Gumati HPP and Rioni HPP). Calculations are done for the events of daily regulation of Lajanuri and Namakhvani HPP reservoirs, and one-step and two-step modes options are considered.
- c) Calculations are made for Shaori HPP reservoir, based on the method of approach offered by us – by jointly foreseeing actual inflow and synoptic prognosis, determination of spend of running water in different time intervals.

Insummary, under the conditions of limited hydrometeorological information, creation and application of automated forecast system of river runoff and hydrogeneration will facilitate effective incorporation of HPPs of Georgia into the electric power trading system.

შინაარსი

83.

შესავალი.....	15
თავი 1. მდინარეების წყლის მარაგის განმსაზღვრელი ფაქტორები.....	20
1.1. გლობალური კლიმატის ცვლილების ტენდენციები და მათი გავლენა საქართველოზე.....	20
1.2. კლიმატური პარამეტრების მიმდინარე ცვლილებები და მომავლის პროგნოზი საქართველოსთვის.....	23
1.3. კლიმატის ცვლილების გავლენა მდინარეთა ჩამონადენის მაფორმირებელ ფაქტორებზე.....	26
1.4. საქართველოს მდინარეთა ჰიდროგრაფიული ქსელის თავისებურება, წყლიანობის რეჟიმი და ფაზები.....	28
1.5. მდინარეთა საზრდოობა, წყლიანობის რეჟიმი და ფაზები.....	30
1.6. საქართველოს მდინარეთა კლასიფიკაცია საზრდოობის წყაროების მიხედვით. მდინარეთა ჩამონადენის შიგაწლიური გადანაწილება.....	33
1.7. ტყეების როლი მდინარეთა ჩამონადენის ჩამოყალიბებაში.....	38
თავი 2. წყლის რესურსების საპროგნოზო მაჩვენებლების დადგენა სხვადასხვა საზრდოობის ტიპის მდინარეებისათვის.....	40
2.1. მდინარის ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების პროგნოზირების მეთოდები და მათი მნიშვნელობა.....	40
2.2. მთის მდინარეების ჩამონადენის განსაზღვრა.....	45
2.3. ტემპერატურის განსაზღვრა სხვადასხვა სიმაღლეზე.....	47
2.4. ატმოსფერული ნალექებით გამოწვეული ჩამონადენის განსაზღვრა.....	48
2.5. ინფილტრაცია და ზედაპირული შეკავება.....	51
2.6. მდინარის წყალშემკრებ აუზში თოვლის მარაგის შეფასება.....	55
2.7. მყინვარული ჩამონადენის განსაზღვრა.....	62
2.8. ჰიდროლოგიური პროგნოზირების ეფექტურობა და დასაშვები ცდომილება.....	65
თავი 3. ჰესების მუშაობის რეჟიმების დაგეგმვა მდინარეში წყლის რესურსის განმსაზღვრელი საპროგნოზო ფაქტორების მიხედვით.....	68
3.1. მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირების მნიშვნელობა და არსებული მეთოდების განახლების აუცილებლობა კლიმატის ცვლილების პროცესში.....	68
3.2. წყალდიდობები და წყალმოვარდნები საქართველოში.....	69
3.3. მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირება შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში.....	71
3.4. მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირება შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავისთვის.....	78

3.5. მოდინებული ხარჯის განსაზღვრა წყალსაცავიანი ჰესებისთვის შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში.....	82
3.6. კასკადური ჰესების წყალსაცავების სამუშაო რეჟიმების დაგეგმვა.....	87
3.7. ზედა საფეხურის წყალსაცავის სამუშაო რეჟიმების შერჩევა, ქვედა ბიევის ჰესების ეფექტური ფუნქციონირების გათვალისწინებით.....	89

თავი 4. ჰესების წყალსაცავების სამუშაო რეჟიმების განსაზღვრა ჰიდროლოგიური მონაცემების დეფიციტის პირობებში.....92

4.1. პროგრამის ალგორითმი და ბლოკ-სქემა.....	92
4.2. წყალსაცავიანი ჰესების წყლის ბალანსის განტოლების ელემენტების გაანგარიშება ჰიდროლოგიური მონაცემების დეფიციტის პირობებში შაორჰესის წყალსაცავის მაგალითზე.....	100
4.2.1. შაორის წყალსაცავის ბალანსი.....	102
4.3. ზედა საფეხურის წყალსაცავის სამუშაო რეჟიმების შერჩევა, ქვედა ბიევის ჰესების ეფექტური ფუნქციონირების გათვალისწინებით, რიონის ჰესებისათვის.....	108
4.3.1. ლაჯანურჰესის გავლენა გუმათჰეს I, გუმათჰესი II და რიონჰესის ექსპლოატაციაზე.....	108
4.3.2. ნამახვანჰესის გავლენა გუმათჰეს I, გუმათჰესი II და რიონჰესის ექსპლოატაციაზე.....	114
4.4. მდინარის ჩამონადენის განსაზღვრა ჰიდროლოგიური მონაცემების დეფიციტის პირობებში მდ. მტკვრის ჰესების კასკადის მაგალითზე.....	127

დასკვნა.....133

გამოყენებული ლიტერატურა.....135

ცხრილების ნუსხა

83.

ცხრილი №1. დიდი მყინვარების შესაძლო გაქრობის მახასიათებლები.....	28
ცხრილი №2. საქართველოს მდინარეების მცირე ჩამონათვალი საზრდოობის წყაროების მიხედვით.....	36
ცხრილი 3. მყინვარ ჭალაათზე დნობის დამოკიდებულება ჰაერის საშუალო დღეღამურ ტემპერატურაზე.....	65
ცხრილი №4. წყალსაცავის წყალსამეურნეო ბალანსის ანგარიშის ტიპური ფორმა.....	101
ცხრილი №5. შაორის წყალსაცავის ბუნებრივი მოდინების ანგარიში.....	106
ცხრილი №6. შაორის წყალსაცავის შემოდინების პროგნოზი.....	107
ცხრილი №7. ლაჯანურჰესის დღეღამური რეგულირების ერთი საფეხურით (პიკური რეჟიმით) მუშაობა.....	110
ცხრილი №8. ლაჯანურჰესის დღეღამური რეგულირების ერთი საფეხურით (პიკური რეჟიმით) მუშაობის გავლენა გუმათჰეს I, გუმათჰეს II, რიონჰესი) გამომუშავებაზე.....	111
ცხრილი №9. ლაჯანურჰესის დღეღამური რეგულირების ორი საფეხურით (პიკური და ბაზისური რეჟიმით) მუშაობა.....	112
ცხრილი №10. ლაჯანურჰესის დღეღამური რეგულირების ორი საფეხურით (პიკური და ბაზისური რეჟიმით) მუშაობის გავლენა გუმათჰეს I, გუმათჰეს II, რიონჰესი) გამომუშავებაზე.....	113
ცხრილი №11. გუმათჰეს I, გუმათჰეს II და რიონჰესის გამომუშავების დანაკარგები ქვემო ნამახვანჰესის დღეღამური რეგულირების ერთი საფეხურით მასივ-აგვისტოს თვეებში.....	115
ცხრილი №12. გუმათჰეს I, გუმათჰეს II და რიონჰესის გამომუშავების დანაკარგები ქვემო ნამახვანჰესის დღეღამური რეგულირების ერთი საფეხურით მთელი წლის განმავლობაში.....	116

ცხრილი №13. ქვემო ნამახვანჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკი საშუალოწყლიანი მოდინების დროს.....	122
ცხრილი №14. გუმათჰეს I-ის მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას საშუალოწყლიანი მოდინების დროს.....	123
ცხრილი №15. გუმათჰეს II-ის მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას საშუალოწყლიანი მოდინების დროს.....	123
ცხრილი №16. რიონჭესის მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას საშუალოწყლიანი მოდინების დროს.....	124
ცხრილი №17. ქვემო ნამახვანჭესის, გუმათჰეს I, გუმათ ჰეს II, რიონჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიანი რეჟიმების ანგარიშების შედეგები უხვწლიანი, მცირეწლიანი და საშუალოწყლიანი წლებისათვის.....	125
ცხრილი №18. ჰესების წყალაღების გასწორში მოდინებული წყლის ხარჯის განსაზღვრა (საშუალო თვიური წყლის ხარჯები, მ ³ /წმ)	131
ცხრილი №19. ჩითახევჭესი სხვადასხვა უზრუნველყოფის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები, მ ³ /წმ.....	132
ცხრილი №20. ზაჭესი სხვადასხვა უზრუნველყოფის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები, მ ³ /წმ.....	132
ცხრილი №21. ორთაჭალჭესის სხვადასხვა უზრუნველყოფის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები, მ ³ /წმ.....	132

ნახაზების ნუსხა

83.

ნახ. 1. მდინარის ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების სტრუქტურა.....	42
ნახ. 2. კლიმატური ფაქტორების სტრუქტურა.....	42
ნახ. 3. გეომორფოლოგიური ფაქტორების სტრუქტურა.....	43
ნახ. 4. მცენარეული საფარის სტრუქტურა.....	44
ნახ. 5. ანთროპოგენული ფაქტორების სტრუქტურა.....	44
ნახ.6. მრავალფაქტორული ჰიდროლოგიური პროგნოზის ბლოკ-სქემა.....	95
ნახ.7. ჰესის გენერაციის პროგნოზი შეზღუდული ჰიდროლოგიური ინფორმაციის პირობებში.....	96
ნახ.8. მდ. რიონის ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორები გუმათი I-სთვის საპროგნოზო დღეს.....	97
ნახ. 9. ჩამონადენის პროგნოზი გუმათი I-სთვის საპროგნოზო დღეს.....	98
ნახ. 10. გუმათი I-სთვის ტექნიკური მზადყოფნის განაცხადი საპროგნოზო დღეს.....	99
ნახ.11. გუმათი I-სთვის ელექტროენერჯის გამომუშავების საპროგნოზო განაცხადი.....	100
ნახ.12. შაორის წყალსაცავის ჰიდროგრაფიული რუკა.....	104
ნახ.13. შაორის წყალსაცავის ჰიდროგეოლოგიური რუკა.....	104
ნახ.14. შაორის წყალსაცავის საპროგნოზო დონეები.....	108
ნახ.15. ქვემო ნამახვანჰესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკი 250 მ ³ /წმ სასრგებლო მოდინების დროს.....	117
ნახ.16. გუმათჰესI-ის და გუმათჰესII-ის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჰესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 250მ ³ /წმ სასრგებლო მოდინების დროს.....	117
ნახ.17. რიონჰესის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჰესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 250მ ³ /წმ სასრგებლო მოდინების დროს.....	118

ნახ.18. ქვემო ნამახვანჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკი 150 მ ³ /წმ სასრგებლო მოდინების დროს.....	118
ნახ.19. გუმათჭესI-ის და გუმათჭესII-ის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 150 მ ³ /წმ სასრგებლო მოდინების დროს.....	119
ნახ.20. რიონჭესის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 150მ ³ /წმ სასრგებლო მოდინების დროს.....	119
ნახ.21. ქვემო ნამახვანჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკი 50 მ ³ /წმ სასრგებლო მოდინების დროს.....	120
ნახ.22. გუმათჭესI-ის და გუმათჭესII-ის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 50 მ ³ /წმ სასრგებლო მოდინების დროს.....	121
ნახ.23. რიონჭესის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჭესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 150მ ³ /წმ სასრგებლო მოდინების დროს.....	121

შესავალი

თემის აქტუალობა. ელექტროენერჯის გამომუშავების დაგეგმვისათვის მნიშვნელოვანია ჩამონადენის მაფორმირებელი ჰიდროლოგიური მახასიათებლების ცოდნა. საკითხის შესწავლას ართულებს ის, რომ დღევანდელ ეტაპზე ჰიდროლოგიური პარამეტრების გრძელვადიანი პროგნოზირების სიზუსტე არ არის მაღალი და შესაბამისად მისი გამოყენება პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის მიზანშეუწონელია. მეორე საკითხია ის, რომ ჰიდროლოგიური სიდიდეების პროგნოზები ეყრდნობა მონაცემებს წინა პერიოდში დაკვირვებული ამავე სიდიდეების შესახებ. ამ უკანასკნელთა ცვალებადობის ტენდენცია კი სულ უფრო ცხადად არის გამოკვეთილი.

მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის [1] მიერ გამოქვეყნებული მონაცემების მიხედვით გასული საუკუნის 80-იანი წლებიდან მოყოლებული, ყოველი მომდევნო ათწლეული უფრო თბილი იყო, ვიდრე წინამორბედი. ეს ტენდენცია, სავარაუდოდ, მომავალ წლებშიც შენარჩუნდება, განსაკუთრებით იმის გათვალისწინებით, რომ სათბური აირების ემისიების რაოდენობა ატმოსფეროში რეკორდულ მაჩვენებლებს აღწევს. ყველა ეს ფაქტორი უშუალო გავლენას ახდენს წყლის რესურსებზე და მის შიგაწლიურ განაწილებაზე. დიდია კლიმატის ცვლილების დესტრუქციული ზემოქმედება მყინვარებაზე, რომელიც აისახება მყინვარების მოცულობის თანდათანობით შემცირებაში. მეცნიერთა პროგნოზით, ამ მოვლენებთან დაკავშირებით წყალდიდობებისა და გვალვიანი დღეების რიცხვი შეიძლება გაიზარდოს. სწორი პროგნოზის გაკეთებისთვის აუცილებელია წყალშემკრებ აუზში თოვლის ფენის სისქის, ფერდობების გრუნტის, მცენარეული საფარის მიერ ნადნობი წყლის შეკავების უნარის და ჰესის წყალსაცავში წყლის მარაგის ცოდნა. ამრიგად, კლიმატის ცვლილების ფონზე მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირება და მის შესაბამისად წყლის რესურსების მართვა მეტად აქტუალურია.

ჰესების გამომუშავება განსაზღვრულია პროექტის მიხედვით, მათ შორის წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის და ჰესის ჰიდროენერგეტიკული მოწყობილობების სიმძლავრის გათვალისწინებით, რომლებიც ექსპლოატაციის

პროცესში შეიძლება მნიშვნელოვნად შეიცვალოს სხვადასხვა მიზეზით, რასაც ჩვეულებრივ აქვს ადგილი პრაქტიკაში. ამ მიზეზის გამო საპროგნოზო მაჩვენებლად საპროექტო გამომუშავების მიღება არ იქნება კორექტული.

კლიმატის ცვლილების ფონზე სერიოზული გამოწვევების წინაშე დგება ჰიდროგენერაცია, რომლისთვისაც არსებითად მნიშვნელოვანია მდინარის ჩამონადენის პროგნოზის ცოდნა როგორც, გენერაციის დასაგეგმად, ასევე ჰესების უსაფრთხო და ეფექტური ფუნქციონირებისათვის.

როგორც ზემოთ აღნიშნულიდან ჩანს, ჰესების გამომუშავების რაციონალურად დაგეგმვა განპირობებულია წყლის რესურსების ეფექტურად გამოყენებით, რაც გულისხმობს ენერჯის დანაკარგების შემცირებას მდინარის წყლიანობის რეჟიმის ცვლილების პირობებში.

გლობალური დათბობის პერიოდში მოსალოდნელია მდინარეთა არა იმდენად წლიური ჩამონადენის სიდიდის ცვლილება, რამდენადაც ამ ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილების ცვლილება. მკვეთრად შემცირდება მცირეწყლიანი პერიოდები, თუ ინტესიურად გაიზრდება უხვწყლიანი პერიოდები რთული სათქმელია საქართველოს ტერიტორიის კლიმატური, ფიზიკურ-გეოგრაფიული და გეოლოგიური მრავალფეროვნებიდან გამომდინარე, თუმცა ცხადია, რომ მდინარეთა ჩამონადენის დარეგულირების და ოპტიმალური გამოყენების საკითხების აქტუალობა იზრდება. შიგაწლიური განაწილების გაანგარიშებათა საფუძველზე დგინდება წყალსამეურნეო პარამეტრები (გარანტირებული წყლის ხარჯი, ელექტროენერჯის გამომუშავება, წყალსაცავის მარეგულირებელი მოცულობა და სხვ.). აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვანია თვეებისა და სეზონების მიხედვით ჩამონადენის წილის განსაზღვრა და რაოდენობრივი ცვლილებების დინამიკის გამოვლენა.

მიუხედავად იმისა, რომ არსებობს სამეცნიერო ნაშრომები და პრაქტიკული ხასიათის რეკომენდაციები მდინარეთა ჩამონადენის და ჰიდროგენერაციის პროგნოზირების განხრით, მაინც არ შეიძლება საკითხი სასურველ დონეზე გადაწყვეტილად ჩაითვალოს. კვლავ ძალზე აქტუალურია გლობალური დათბობით გამოწვეული, კლიმატის მაფორმირებელი ფაქტორების ცვლილების გათვალისწინებით წყლის რესურსების მართვა, კერძოდ, მდინარეთა ჩამონადენის

და ჰიდროგენერაციის პროგნოზების ავტომატიზებული სისტემის შექმნა, გავრცელება და გამოყენება.

სამეცნიერო სიახლე განპირობებულია იმით, რომ შემოთავაზებულია მეთოდიკა, რომელიც ეფუძნება ჰესის გამომუშავების დაგეგმვას მდინარის ჩამონადენის ჩამომყალიბებელი ფაქტორების - ნალექების, ტემპერატურის, თოვლის ფენის სისქის, მყინვარული ჩამონადენის, კალაპოტის ფერდობების გრუნტის წყალშედწევადობის, მდინარის საზრდოობის სახეობის, ჰესის ზედა ბიეფის მახასიათებლების (ზედა ბიეფის დონე, წყლის მარაგი წყალსაცავში) და ჰესის ფაქტორივი სიმძლავრის გათვალისწინებით. აღნიშნულის საფუძველზე შემუშავებულია წყალენერგეტიკული რესურსების მართვის მეთოდი, რომელიც რეალიზებულია ჰესების გამომუშავების პროგნოზირების კომპიუტერული პროგრამის სახით.

ნაშრომის მიზანია ჰესის გამომუშავების რაციონალური დაგეგმვის მეთოდის შექმნა მისი განმაპირობებელი საპროგნოზო ჰიდროლოგიური მახასიათებლების გათვალისწინებით საწყისი ჰიდროლოგიური ინფორმაციის დეფიციტის პირობებში ამასთან, მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირების მეთოდიკის შემუშავება შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში. **მიზნის მისაღწევად გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:** მდინარეების წყლის მარაგის განმსაზღვრელი ფაქტორების და მათი პროგნოზირების მეთოდების შესწავლა, წყლის რესურსების საპროგნოზო მაჩვენებლების დადგენა სხვადასხვა საზრდოობის ტიპის მდინარეებისათვის, მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირება ოპერატიული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის უკმარისობის პირობებში. ჰესების მუშაობის რეჟიმების დაგეგმვა მდინარეში წყლის რესურსის განმსაზღვრელი საპროგნოზო ფაქტორების მიხედვით, შემოთავაზებული მეთოდის მიხედვით გაანგარიშების ალგორითმის, ბლოკ-სქემის და საანგარიშო პროგრამის შედგენა. ამ უკანასკნელის საფუძველიანობის შემოწმება არსებული ჰესების ფაქტორივი მუშაობის რეჟიმებთან შედარებით.

სამუშაოს პრაქტიკულ ღირებულებას წარმოადგენს ოპერატიული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის უკმარისობის პირობებისთვის შემუშავებული მეთოდის საშუალებით ჰიდროგენერაციის ობიექტების მუშაობის

რეჟიმების შესაბამისი დაგეგმვა მათი ეფექტური და უსაფრთხო ექსპლოატაციის პირობებში.

ჰესებით წარმოებული ელექტროენერჯის ტექნიკურ-ეკონომიკურ ეფექტურობას ჰიდროელექტროსადგურების მუშაობის უხელსაყრელესი რეჟიმები და მათი მართვა განაპირობებს. მდინარეთა ჩამონადენის ცვალებადობით გამოწვეული ელექტროენერჯის დანაკარგების მინიმუმამდე დაყვანა ჰესის წინასწარ დაგეგმილი ელექტროგამომუშავების საფუძველზე განსაზღვრავს ენერგოსისტემის მდგრად მუშაობას და ხელს უწყობს ელექტროენერჯის ბაზრის ეფექტიან ოპერირებას არა მხოლოდ საქართველოს ბაზარზე ელექტროენერჯის მიწოდებით, არამედ უზრუნველყოს ე.წ. რეგიონულ ჰაზში შემაჯავლი ენერგეტიკული ბაზრის მონაწილეების ეფექტიან ტრანსსასაზღვრო ვაჭრობას. ამასთან, თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ საქართველოს მთავრობის ენერგეტიკული პოლიტიკის უმთავრესი მიმართულებაა: „ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოებისა და დამოუკიდებლობის ხარისხის ამაღლება და იმპორტირებულ ენერგორესურსებზე დამოკიდებულების ეტაპობრივი შემცირება ადგილობრივი განახლებადი ენერგეტიკული რესურსების ათვისების, მიწოდების წყაროებისა და მარშრუტების დივერსიფიკაციის გზით“ [2], რაც გულისხმობს ჰიდროენერჯის წილის გაზრდას მისი ეფექტურად მართვის პირობებში და შესაბამისად ზრდის შემოთავაზებული სამუშაოს პრაქტიკულ ღირებულებას.

კლიმატის ცვლილების პრობლემატიკის, მისი განვითარების სცენარების და „ელექტროენერჯის ბაზრის სტრუქტურიდან [3],[4],[5] გამომდინარე, ელექტროენერჯის ყიდვა-გაყიდვა ელექტროენერჯის ორგანიზებულ ბაზრებზე, დღით ადრე, დღიური და საბალანსო ბაზრების ჩათვლით, ასევე ორგანიზებულ ბაზრებზე საათობრივი ვაჭრობა და, შესაბამისად, ბაზრის მონაწილეთა პასუხისმგებლობა მათ მიერ თითოეულ საათში გამოწვეულ უბალანსობაზე ადასტურებს შემოთავაზებული ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას ელექტროენერჯის გამომუშავების მოკლევადიანი (საათობრივი) პროგნოზების შემუშავებისათვის, მით უფრო ქვეყანაში არსებული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის დეფიციტის პირობებში.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის,

ჰიდროენერგეტიკისა და მაგისტრალური სამილსადენო სისტემების დეპარტამენტში I, II და III კოლოკვიუმებზე და დისერტაციის წინასწარ განხილვაზე. ასევე, ტოკიოს (5th International Conference on Innovative Studies of Contemporary Sciences, January 14-16, 2022 /Tokyo, Japan) და ანკარის (Midde East International Conference On Contemporary Scientific Studies-V March 27-28, 2021 /Ankara,Turkey) საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე. დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 5 (ხუთი) სამეცნიერო სტატია: ორი სტუ-ს სამეცნიერო შრომების კრებულში და სამი საზღვარგარეთ, სადისერტაციო საბჭოს მიერ რეკომენდებულ გამოცემებში. კერძოდ, International Journal of Novel Research and Development (IJNRD); Proceedings Book of Tokio Summit-V; Proceedings Book Volume-III of Midde East International Conference On Contemporary Scientific Studies-V.

თავი 1. მდინარეების წყლის მარაგის განმსაზღვრელი ფაქტორები

1.1. გლობალური კლიმატის ცვლილების ტენდენციები და მათი გავლენა საქართველოზე

თანამედროვე მსოფლიოში ინტენსიურად მიმდინარეობს კლიმატის გლობალური ცვლილება. კლიმატის ცვლილების ტენდენცია განსაკუთრებით შეიმჩნევა გასული საუკუნის 70-იანი წლებიდან, როდესაც მსოფლიოში და მათ შორის საქართველოშიც, აღინიშნა ხშირი კლიმატური კატასტროფები. მეცნიერულად დადასტურდა, რომ კლიმატის ცვლილება პლანეტის მასშტაბით ფიქსირდება, მასთან დაკავშირებული ტემპერატურის მატებით, ნალექების ინტენსიურობის ზრდით და ექსტრემალური მოვლენების სიხშირით. კლიმატის თანამედროვე ცვლილება კლიმატურ ელემენტებზე სისტემატური ინსტრუმენტული დაკვირვების პერიოდს მოიცავს და მას მრავალი ფაქტორი განაპირობებს, რომელთაგან ყველაზე მნიშვნელოვანია: მზის აქტივობა, ატმოსფეროს ცირკულაცია, ვულკანური ამოფრქვევები და ანთროპოგენური გავლენა. პირველი სამი ფაქტორი ბუნებრივს მიეკუთვნება, ხოლო მეოთხე - ხელოვნურს. თითოეული მათგანი განსაკუთრებულ როლს თამაშობს და ამავე დროს თავისი კორექტივები შეაქვს კლიმატის თანამედროვე ცვლილების საერთო ტენდენციის ჩამოყალიბებაში. თუმცა, ბუნებრივ პროცესებთან ერთად, ბოლო ორასი წლის განმავლობაში კლიმატის ცვლილებაზე უდიდეს ზეგავლენას ახდენს ადამიანის სამეურნეო საქმიანობით წარმოქმნილი ფაქტორები. მათ შორის, ერთ-ერთი ყველაზე ხშირად ატმოსფეროში გამოფრქვეული ე.წ. „სათბურის აირების“ კონცენტრაციის ცვლილებაა, რაც გამოწვევეულია მათი რაოდენობის ზრდით წიაღისეული ნახშირწყალბადების (ნახშირი, გაზი, ნავთობი) წვის ხარჯზე. ამ მოვლენის შედეგად ძლიერდება სათბურის ეფექტი, რაც, თავის მხრივ, გავლენას ახდენს კლიმატზე.

მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის (WMO) ინფორმაციით, თანამედროვე მეტეოროლოგიური მონაცემების დაკვირვების პერიოდიდან (1850წელი), მიუხედავად დაფიქსირებული ატმოსფერული მოვლენების: ელ-ნინიო

(El Niño) ლა-ნინია-ს (La Nina,) გავლენებისა, ყოველი მომდევნო ათწლეული უფრო თბილი აღმოჩნდა წინასთან შედარებით, რაც შესაძლოა ნიღბავდეს კლიმატის გრძელვადიანი ცვლილების ზოგიერთი ეფექტს [6],[7], [8],[9]. 2015-2021წ.წ. კვლავ ფიქსირდება ტემპერატურის მკვეთრი მატება. ამჟამად, 1850-1900 პერიოდთან შედარებით, მსოფლიოს საშუალო გლობალური ტემპერატურის ზრდამ 1.11°C-ს მიაღწია. ამ მაჩვენებლის ცდომილება $\pm 0.13^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს [10].

კლიმატის ევროპული სააგენტო „კოპერნიკის“ შეფასებით, 2021 წელი დაკვირვების ისტორიაში მე-5 ყველაზე ცხელ წლად დასახელდა, ოდნავ ცხელი, ვიდრე 2015 და 2018 წლები [11], Berkeley Earth, NASA და HadCRUT-ის მონაცემებით 2021 წელი მე-6 ყველაზე ცხელი წელი იყო [12], [13], [14]. ხოლო იაპონიის მეტეოროლოგიური სააგენტოს (JMA) Reanalysis-ის მონაცემებით 2021 წელი მეშვიდე ყველაზე ცხელი წელია [15]. აღნიშნულ მონაცემთა შორის მცირე განსხვავება მიუთითებს საშუალო გლობალური ტემპერატურის გამომანგარიშებისას არსებულ მცირე სახის ცდომილებაზე.

მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის წლიური ანგარიშების მიხედვით კლიმატის ცვლილება, რომელიც მიღებული თვალსაზრისის მიხედვით გამოწვეულია გლობალური დათბობის ამჟამად მიმდინარე პროცესით, რასაც, თავის მხრივ, განაპირობებს „სათბურის გაზების“ კონცენტრაციის მომატება ატმოსფეროში, ვლინდება და კვლავაც გამოვლინდება სხვადასხვა ფორმით, როგორცაა საშუალო ტემპერატურის მატება, ნალექიანობის რეჟიმის შეცვლა, მყინვარების დნობა, ზღვების და ოკეანეების დონის აწევა, წყლის რესურსების შემცირება, ნიადაგის დეგრადაცია, ექსტრემალური მოვლენების ინტენსიფიკაცია, სეზონური ცვლილება (სეზონების „გადაწევა“ ან/და გაქრობა) და სხვა, რაც, თავის მხრივ, დაკავშირებულია ცოცხალი ორგანიზმების, მათ შორის, ადამიანის სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი პირობების ცვლილებებთან. საშუალო წლიური ტემპერატურის 1°C -ით ზრდა შეიძლება უმნიშვნელოდ მოგვეჩვენოს, თუმცა მსოფლიო მასშტაბით ეს ცვლილება იწვევს: ზღვის დონის მატებას მყინვარების ფართობების შემცირებას გრენლანდიაში, არქტიკასა და ანტარქტიკაში ყინულის საფარის დნობას ექსტრემალური მეტეოროლოგიური მოვლენების გახშირებით, რაც ბუნებრივი კატასტროფების- წყალდიდობების, წყალმოვარდნების, ღვარცოფების, მეწყერების, სეტყვის, გვალვის და სხვ. მიზეზია [16],[17].

კლიმატის ცვლილების გლობალური ხასიათის მიუხედავად მისი მრავალ-რიცხოვანი გამოვლინებების ინტენსიურობას და ზემოქმედების მასშტაბებს ახასიათებს ლოკალური სპეციფიკა სხვადასხვა რეგიონების და ქვეყნების გეოგრაფიული მდებარეობისა და სხვა ფიზიკური მახასიათებლების შესაბამისად [18],[19].

მსოფლიოს მრავალი სხვა ქვეყანა, მათ შორის საქართველოც, უკვე დგას კლიმატის მიმდინარე ცვლილების შედეგების წინაშე. საქართველოს გეოგრაფიული მდებარეობა და ბუნებრივი პირობები: რთული მთიანი ლანდშაფტი, შავი ზღვის სანაპირო ზონა და ქვეყნის სამხრეთ-აღმოსავლეთით მდებარე სემიარიდული ტერიტორიები მნიშვნელოვანად განაპირობებს ქვეყნის მოწყვლადობას კლიმატის ცვლილებასადმი. ნალექების შემცირებისა და გაზრდილი აორთქლების გამო გაუდაბნობის საფრთხე დაემუქრა აღმოსავლეთ საქართველოს ნახევრად არიდულ რეგიონებს; გახშირებულმა ინტენსიურმა სითბურმა ტალღებმა საფრთხე შეუქმნა ადამიანთა ჯანმრთელობას; გაზრდილმა ტემპერატურამ, ნალექების სტრუქტურის შეცვლამ, წყლის რესურსისადმი ხელმისაწვდომობის შემცირებამ, გახშირებულმა ტყის ხანძრებმა, პარაზიტებმა და დაავადებებმა გააუარესა ტყეების ზრდის უნარი. ფიქსირდება სხვადასხვა სახის სტიქიური ჰიდრომეტეოროლოგიური პროცესების ფორმირება. ამ მოვლენებს შორის, თავისი სიხშირითა და უარყოფითი შედეგების მასშტაბებით მეტად საყურადღებოა წყლისმიერი მოვლენები: წყალდიდობები, წყალმოვარდნები და ღვარცოფები, რასაც თავის მხრივ ხელს უწყობს მდინარეთა დიდი ქანობები, ხეობებისა და ჭალების ინტენსიური ურბანული განვითარება. ფაქტობრივად, კლიმატის ცვლილება საქართველოში მკვეთრად გამოხატულ მოვლენას წარმოადგენს და მასთან ადაპტაცია არის ქვეყნის უმნიშვნელოვანესი გამოწვევა. განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია ეროვნული შეტყობინებები კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციასთან მიმართებაში, გამოცემული პირველი (1999), მეორე (2009), მესამე (2015), და (მეოთხე) 2020 ეროვნული შეტყობინებები, რომელიც ეხება საქართველოს კლიმატის ცვლილების მოწყვლადობის შეფასებას, საადაპტაციო ღონისძიებებს და სხვ. [20], [21], [22], [23]. გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო-კონვენციის მიმართ საქართველოს პირველ ეროვნულ შეტყობინებაში [20] ზოგადად არის შეფასებული საქართველოს ძირითადი ბუნებრივი ეკოსისტემების

(ზღვისპირა ზოლის, ტყის საფარის, სათიბ-სამოვრების), სოფლის მეურნეობის, წყლის რესურსების და შავი ზღვის სანაპირო ზონის მოწყვლადობა კლიმატის მოსალოდნელ ცვლილებასთან კავშირში და განხილულ იქნა შესაბამისი საადაპტაციო ღონისძიებების მთავარი მიმართულებები. მეორე ეროვნულ შეტყობინებაში [21], ქვეყნის მთელი ტერიტორიის ზოგადი განხილვის ნაცვლად, წინასწარი გამოკვლევის საფუძველზე გამოყოფილ იქნა კლიმატის ცვლილების მიმართ ყველაზე მოწყვლადი რეგიონები - შავი ზღვის სანაპირო ზონა, ქვემო სვანეთი და დედოფლისწყაროს რაიონი, რომლებისთვისაც დეტალურად არის გამოკვლეული ბოლო ნახევარი საუკუნის მანძილზე კლიმატური ელემენტების ცვლილების ტრენდები. კლიმატის ცვლილებით გამოწვეულ მნიშვნელოვან საფრთხეებზე მიუთითებს საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინებაც, სადაც კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებით თითქმის ყველა სექტორი არის გამოკვლეული [22].

1.2. კლიმატური პარამეტრების მიმდინარე ცვლილებები და მომავლის პროგნოზი საქართველოსთვის

საქართველოს მეოთხე ეროვნული შეტყობინების კლიმატის ცვლილების შესახებ [23] და საქართველოს კლიმატის ცვლილების 2030 წლის სტრატეგიის თანახმად [24], კლიმატის მიმდინარე ცვლილების შესაფასებლად საქართველოს მეტეოროლოგიური ქსელის 39 სადგურის 60-წლიანი პერიოდის (1956-2015 წლები) მონაცემებზე დაყრდნობით შესწავლილ იქნა მეტეოროლოგიური ელემენტების საშუალო და ექსტრემალური მნიშვნელობების ინტენსიურობისა და განმეორებადობის ცვლილების ხასიათი. შეფასდა მეტეოროლოგიური ელემენტების ცვლილება 1956–1985 და 1986–2015 პერიოდებს შორის.

ჰაერის ტემპერატურა. 1986-2015 წლებში, 1956-1985 წლებთან შედარებით ქვეყნის ტერიტორიაზე მიწისპირა ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა მომატებულია 1°C -მდე, მხარეების შესაბამისად $0.25\text{--}0.58^{\circ}\text{C}$ ფარგლებში. საშუალოდ საქართველოს ტერიტორიაზე ტემპერატურის ნაზრდი 0.5°C შეადგენს. დათბობის პროცესი შედარებით ინტენსიურად მიმდინარეობს სამეგრელოში (ზუგდიდსა და

ფოთში თანაბრად, 0.63°C -ით). ყველაზე მეტად დათბობა გამოვლინდა დედოფლისწყაროს რაიონში (ორ პერიოდს შორის წლიური ნაზრდია 0.73°C) კლიმატის ცვლილების მიმართ მოწყვლადობა შეფასდა მცხეთა-მთიანეთის მხარეშიც. ფიქსირდება საშუალო წლიური ტემპერატურის მატება 0.53°C -ით. საშუალო მაქსიმუმების წლიური მნიშვნელობა საგრძნობლად იზრდება თითქმის მთელ ტერიტორიაზე. გამონაკლისია, ძირითადად, მთიანი რაიონები აჭარა-გურიასა და რაჭა-ლეჩხუმში, ასევე, აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორია, სადაც ჩამოყალიბებულია მშრალი სუბტროპიკული ჰავა. მაქსიმალური დათბობა გამოვლინდა კახეთში. დასავლეთ საქართველოში აღმავალი ტრენდები აღინიშნა შავი ზღვის სანაპირო ზოლში, კოლხეთის დაბლობზე და ლიხის ქედის მიმდებარე რაიონებში. საშუალო მინიმუმების წლიური მნიშვნელობები გაზრდილია ქვეყნის უმეტეს ტერიტორიაზე, ღამის ტემპერატურა ნაზრდი 1956-1985 წლების პერიოდთან მიმართებაში 1°C -მდე ფარგლებშია. გრძელვადიან პერსპექტივაში შეფასდა კლიმატის ცვლილების სამომავლო ტენდენციები საქართველოს მეტეოროლოგიური ქსელის 39 სადგურისთვის. პროგნოზის თანახმად, 2041-2070 წლების პერიოდში 1971-2000 წლებთან შედარებით მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე ტემპერატურა 1.6°C -დან 3.0°C -მდე ფარგლებში გაიზრდება. აღმოსავლეთ საქართველოში დათბობა 1.8°C - 3.0°C ფარგლებშია, დასავლეთ საქართველოში ოდნავ ნაკლებია, 1.6°C - 2.9°C [23], [25], [26].

ატმოსფერული ნალექები. ნალექიანობის ცვლილებები გლობალურ დათბობასთან პირდაპირ კავშირშია, რაც გამოიხატება გახანგრძლივებული უხვი ნალექებისა და უნალექო პერიოდების მონაცვლეობაში. ნალექების წლიური ჯამი, უმეტესად, მატების ტენდენციებს ავლენს როგორც დასავლეთ, ისე აღმოსავლეთ საქართველოში, ზოგიერთი გამონაკლისის გარდა, რაც, სავარაუდოდ, განპირობებულია რეგიონის გეოგრაფიული თავისებურებებით. დასავლეთ საქართველოს მნიშვნელოვან ნაწილში დაფიქსირდა ნალექიანობის ზრდა 5-15%-ის ფარგლებში. აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე, ბოლო 30 წლის განმავლობაში, დაფიქსირდა ნალექების შემცირება 5-15% ფარგლებში. ქვეყნის სამხრეთსა და აღმოსავლეთში, განსაკუთრებით, კახეთსა და მცხეთა-

მთიანეთში უნაღვეო პერიოდების ხანგრძლივობის ზრდის გამო ფიქსირდება ნალექების შემცირება [23], [25] [26].

გრძელვადიან პერსპექტივაში, გლობალური დათბობის პირობებში ნალექებს აქვთ შემცირების ტენდენცია მთელს მსოფლიოში, წყლის რესურსების კლებისა და აორთქლების გაძლიერების გამო. 2041-2070 წლების პერიოდში ნალექების წლიური ჯამი აღმოსავლეთ საქართველოში საშუალოდ 9%-ით მცირდება. ყველაზე მეტად (12.3%) ფასანაურში, ყველაზე ნაკლებად კი საგარეჯოში (5.3%). ნალექის წლიური რაოდენობა ყველაზე მეტად იმერეთში დაიკლებს, მაქსიმალური კლება იქნება საჩხერეში (17.9%-ით). დასავლეთ საქართველოს სხვა რეგიონებში კლება 3.6–15.3%-ის ფარგლებშია. გამონაკლისს წარმოადგენს ზუგდიდი და ფოთი, სადაც ნალექი 8-10%-ით გაიზრდება. ამავე კლიმატის სცენარით მდინარეთა აუზებში, მათ შორის, მდ. ენგურის და მდ. რიონის წყალშემკრებ აუზებში, მოსალოდნელია ნალექების შემცირება, რაც ზეგავლენას მოახდენს მდინარეთა ჩამონადენზე. 2041-2070 წლებში მდ. რიონის ჩამონადენი ჰ/ს „ალპანას“ კვეთში დაახლოებით 8%-ით, ხოლო 2071-2100 წლებისთვის დაახლოებით 5%-ით შემცირდება [23].

ჰაერის ტენიანობა. საქართველოს სამეცნიერო-გამოყენებითი კლიმატური ცნობარის მიხედვით [27] ჰაერის ფარდობითი ტენიანობისთვის საშუალო მონაცემების ანგარიშების ცდომილება არ აღემატება 0.3-1.0%-ს. ფარდობითი ტენიანობა მთელ ტერიტორიაზე მომატებულია, ცვლილებები ფიქსირდება (1%)–(5%) ფარგლებში. გაზაფხულზე ფარდობითი ტენიანობის 2-3%-ით ზრდა აღინიშნება ქვეყნის უმეტეს ტერიტორიაზე. ტენიანობის შემცირების ტენდენციები გამოვლინდა რაჭა-ლეჩხუმსა და კახეთში (1-1.5%-ით). ტენიანობის ტენდენციების ზრდა აღინიშნება შავი ზღვის სანაპიროზე და მტკვრის ხეობაში, სადაც უდიდესია ტენიანობის ნაზრდები (3-4%). საპროგნოზო პერიოდში, ფარდობითი ტენიანობა 2041-2070 წლებისათვის სადგურების უმრავლესობაზე მატებას განაგრძობს 1-5%-ის ფარგლებში [23].

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ კლიმატური პარამეტრების ცვლილების შესწავლამ ბოლო პერიოდში საქართველოში დათბობის საკმაოდ გამოხატული სურათი გამოავლინა, რამაც მთელს ტერიტორიაზე განაპირობა ზაფხულისა და შემოდგომის ტემპერატურების მატება. შედეგად, საქართველოში

ზამთარი გახდა უფრო ტენიანი და ნაკლებად მკაცრი. დასავლეთში გახშირდა უხვნალექიანი დღეები, ხოლო აღმოსავლეთში უფრო ხანგრძლივი უნალექო პერიოდები ფიქსირდება, გაიზარდა ძლიერ ქარიანი დღეების რაოდენობაც. **გაზაფხული** - უფრო ტენიანი და თბილი, მარტი-აპრილში თბილი დღე-ღამის განმეორებადობის ზრდის ხარჯზე, გახშირებული უხვნალექიანი და ნოტიო დღეებით მაისში, რაც ზოგიერთ რაიონში (მაგ. მდ.მტკვრის ხეობა) იწვევს ძლიერი ქარიანი დღეების ზრდას. ზაფხული - ცხელი და შედარებით მშრალი, ცალკეულ რაიონებში გახშირებული უხვნალექიანი დღეებით. შემოდგომა - სეზონის დასაწყისი უფრო ხანგრძლივი მშრალი პერიოდებით თბილი დღე-ღამეების გახშირების ფონზე, ხოლო სეზონის ბოლო გახშირებული უხვნალექიანი დღეებით არის წარმოდგენილი [23].

1.3. კლიმატის ცვლილების გავლენა მდინარეთა ჩამონადენის მაფორმირებელ ფაქტორებზე

კლიმატის ცვლილების გავლენა ტყეზე. ცნობილია რომ, ტყის ეკოსისტემების სიჯანსაღეზეა დამოკიდებული სოფლის მეურნეობა, ჰიდროენერგეტიკა და სხვა დარგების წყლით მომარაგება. ტყე განსაზღვრავს წყლის ხარისხს და ამცირებს წყალმოვარდნებისა და წყალდიდობების საფრთხეს ნალექების ზედაპირული ჩამონადენის რეგულირებით. ის ხელს უშლის ნიადაგის ეროზიის განვითარებას, ამცირებს მეწყრის, ზვავისა და ღვარცოფის განვითარების რისკს და არბილებს მათ ზემოქმედებას. ტყის აღნიშნული მარეგულირებელი ფუნქციები მნიშვნელოვანია ჰიდროენერგეტიკის (ჯანსაღი ტყე ამცირებს მდინარეების ნატანს და წყალსაცავებს ამოვსებისაგან იცავს) განვითარებისათვის [28],[29]. ამჟამად, ტყეებიც განიცდის კლიმატის ცვლილების უარყოფით ზემოქმედებას. მესამე [22] და მეოთხე [23] ეროვნული შეტყობინების თანახმად, კლიმატის ცვლილების მიმართ მოწყვლადობით და კლიმატის ცვლილების უარყოფითი გავლენით გამოირჩევა ბორჯომ-ბაკურიანის ტყეები, სადაც ტემპერატურის ზრდამ, ნალექების კლებამ და ხანგრძლივმა გვალვებმა ხელი შეუწყო ტყის ხანძრების შემთხვევების ზრდას. კლიმატის ცვლილების მიმართ

მოწყვლადობით შეფასდა მცხეთა-მთიანეთის და კახეთის მხარეში არსებული ტყეებიც.

გლობალური დათბობა და მყინვარები. არსებითი მნიშვნელობისაა გლობალური დათბობის გავლენა მყინვარებზე. უამრავ ნაშრომში გლაციოლოგიური დაკვირვებების შესახებ საქართველოს მყინვარებზე [30] ხაზგასმულია რომ, მყინვარების დნობის პროცესი აღმოსავლეთ საქართველოში უფრო აქტიურია, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში, როგორც გამყინვარების აუზებისათვის, ასევე დიდი და მცირე მყინვარებისათვის, რაც განპირობებულია აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოს ჰავის სხვაობით [25], [26], [27]. კვლევის თანახმად, ცენტრალური კავკასიონის რეგიონში კლიმატის დათბობამ ატმოსფერული ნალექების სტრუქტურაში გამოიწვია თხევადი ნალექების წილის გაზრდა მყარი ნალექების შემცირების ხარჯზე. ამას თან მოჰყვა მთელი რიგი მყინვარების მდგრადობის დარღვევა, რაც გამოხატულია მყინვარების ნაადრევ პულსაციაში. კატალოგით საქართველოში აღრიცხულია სულ 541 მყინვარი საერთო ფართობით 543 კმ², ხოლო დღეის მდგომარეობით საქართველოს საზღვრებში მოქცეულია სულ 383 მყინვარი, საერთო ფართობით 337 კმ². აქედან დასავლეთ საქართველოში 323 მყინვარია, მყინვარებით დაფარული ფართობი შეადგენს 331,2 კმ² (კატალოგით 409 მყინვარი, მყინვარებით დაფარული ფართობი 456,1 კმ²) და აღმოსავლეთ საქართველოში 60 მყინვარია, მყინვარებით დაფარული ფართობი 45,8 კმ² (კატალოგით 132 მყინვარი, მყინვარებით დაფარული ფართობი 86,9 კმ²) [31], [32], [33]. რაც შეეხება კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების შესაძლო გავლენას საქართველოს მყინვარების სრულ დნობაზე მრავალი კვლევის საფუძველზე მიღებული შედეგები მეტყველებს, რომ დიდი მყინვარების უკანდახევა, როგორც აღმოსავლეთ, ისე დასავლეთ საქართველოში აჩქარებულია, ამასთან, მყინვარების დეგრადაციის პროცესი უფრო აქტიურია აღმოსავლეთ საქართველოში კონტინენტური ჰავის გამო, ხოლო დასავლეთ საქართველოს ზღვიური ნოტიო ჰავის წყალობით შედარებით ნელი ტემპებით მიმდინარეობს. ცხრილი №1-ში მოცემულია კლიმატის ცვლილების ერთ-ერთი სცენარით განსაზღვრული დიდი მყინვარების სრული დნობის სავარაუდო თარიღები [23].

ცხრილი №1. დიდი მცინვარების შესაძლო გაქრობის მახასიათებლები

მცინვარი	ათვის დაწყების წელი	სრული დნობის სიგრძე, მ	თდზ დაკვირვების ბოლო წელი	სიგრძე ბოლო წელი, მ	სრული დნობის წელი
გერგეტი	1977	7 856	2015	7 100	2140
ადიში	1987	7 537	2016	7 100	2146
ქვიში	1987	6 439	2016	5 800	2094
ბოყო	1977	4 839	2015	4 200	2175

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ცხადია, რომ კლიმატის ცვლილებით გამოწვეული ტემპერატურების მატება, ნალექების ხასიათის ცვლილება, მცინვარების დნობა და სხვა განხილული ფაქტორები მნიშვნელოვან გავლენას იქონიებს მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირებაზე [34].

1.4. საქართველოს მდინარეთა ჰიდროგრაფიული ქსელის თავისებურება, წყლიანობის რეჟიმი და ფაზები

საქართველოს ტერიტორიის მთიანი ხასიათი, ატმოსფერული ნალექების განსაკუთრებული სიუხვე შავი ზღვის აუზში, განაპირობებს იმას, რომ ქვეყნის ტერიტორიაზე ერთი წლის განმავლობაში ფორმირებული მტკნარი წყლის ფენის საშუალო სიმაღლით საქართველოს მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია მსოფლიოში. ქვეყნის ეკონომიკის განვითარება მჭიდროდ არის დაკავშირებული წყლის რესურსების რაციონალურ და ეფექტურ გამოყენებასთან. ამ რესურსების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი სახე მდინარეთა ჩამონადენია, რომელთა რეჟიმის შესწავლას და მართვას (რეგულირება) თანამედროვე პირობებში არსებითი მნიშვნელობა აქვს ჰიდროენერგეტიკის განვითარებისთვის. საქართველოს მდინარეთა ქსელის სიხშირე (ჯამური სიგრძის ფართობი ტერიტორიის საერთო ფართობიდან) 0,86 კმ/კმ²-ია. კერძოდ, დასავლეთ საქართველოში სიხშირის საშუალო სიდიდე 1,07 კმ/კმ²-ია, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში 0,68 კმ/კმ² აღნიშნული მაჩვენებლები უკავშირდება დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით ნალექების შემცირებას [35].

ქსელის სიხშირის ჩამოყალიბებას განსაზღვრავს [36]: ოროგრაფიული და ტემპერატურული პირობები, ადგილის გეოლოგიური აგებულება და მისი სიმაღლე ზღვის დონიდან.

ოროგრაფიული პირობების ცვლილებასთან ერთად იცვლება მდინარეთა ქსელის სიხშირე. მაგ., ჩაქვის ქედის დასავლეთ ფერდობზე, სადაც დასავლეთის ნოტიო ჰაერის მასების წლიურად 2500-4000 მმ ნალექი მოაქვთ, ქსელის სიხშირე 2,0-2,6 კმ/კმ²-ს შეადგენს. ქედის აღმოსავლეთით, ნალექების 1000- 2000 მმ-მდე შემცირებასთან ერთად, მცირდება ქსელის სიხშირე, რომელიც მდ. აჭარისწყლის ზედა ნაწილში 0,99 კმ/კმ²-ს შეადგენს.

ტემპერატურის გავლენა ქსელის სიხშირეზე. კავკასიონის მაღალმთიან ზონაში 2400-2600 მ-ზე მაღლა, მდინარეთა ქსელის სიხშირე მცირდება ჰაერის ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად. იმ რაიონების ქსელის სიხშირე, რომელთა ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა -2-3⁰-C-ია, 0,3-0,4 კმ/კმ²-ს შეადგენს, უფრო ცივ რაიონებში კი მცირდება 0,06-0,08 კმ/კმ-მდე. ხოლო ჰაერის -5-6⁰C საშუალო წლიური ტემპერატურის დროს ნალექები ვეღარ ქმნიან სამდინარო ჩამონადენს და აკუმულირდებიან ყინულის სახით.

გეოლოგიური აგებულების გავლენა ქსელის სიხშირეზე. ძლიერ დანაპრალეული მთის ქანები და კარსტული სიცარიელები ზრდის მიწისქვეშა წყლების მარაგს და ძლიერ ამცირებს მდინარის ქსელის სიხშირეს. მსგავსი სიტუაცია არის ძლიერ დატენიანებულ კარსტულ ზონებში, სადაც მდინარეთა ქსელის სიხშირე 2-2,5 ჯერ ნაკლებია, ვიდრე მეზობელ არაკარსტულ ზონებში და 0,05-0,6 კმ/კმ²-ს შეადგენს. კარსტულ სიცარიელებში ხდება მდინარეების გაუჩინარება, რის შემდეგ მდინარე კვლავ გამოდის ზედაპირზე, მაგ., მდ.რიონის აუზის მდინარეები: მდ.შარეულა, მდ.ტყიბულა.

ადგილის სიმაღლის გავლენა ქსელის სიხშირეზე. მდინარეთა ქსელის სიმჭიდროვე ხასიათდება ვერტიკალური განაწილების მიხედვით - იზრდება ზღვის დონიდან სიმაღლის ზრდასთან ერთად, მაქსიმუმს აღწევს მთების საშუალო სიმაღლეზე, შემდეგ კი სათავეებისაკენ ისევ მცირდება. ამ მხრივ გამოირჩევა შავი ზღვის სანაპირო, სადაც ტერიტორიის დაჭაობების შემცირების გამო, სიმაღლის მატებისას 100-200 მ ფარგლებში ინტენსიურად იზრდება მდინარეთა ქსელის სიხშირე - 0,3-დან 2,2 კმ/კმ² -ის დიაპაზონში. აღსანიშნავია

რომ, მდინარეთა ქსელის არსებობის ზედა ზღვარი საშუალოდ 3200-3300 მ-ზე გადის, რაც ფირნის ხაზის საშუალო სიმაღლეს შეესაბამება. ასეთივე ხასიათს ატარებს მდინარეების განაწილება კატეგორიების მიხედვით, რომელთა რაოდენობა იზრდება მდინარეების სიგრძისა და წყალშემკრები აუზის ფართობის ზრდასთან ერთად. მდინარეები განსხვავდებიან წყალშემკრები აუზის ფართობებითაც, რაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მდინარის წყლიანობაზე და ფართოდ გამოიყენება ჰიდროლოგიურ და ჰიდროგრაფიულ ანგარიშებში [36],[37].

1.5. მდინარეთა საზრდოობა, წყლიანობის რეჟიმი და ფაზები

ცნობილია მდინარეთა საზრდოობის ოთხი ტიპი: წვიმის, თოვლის, მყინვარის და მიწისქვეშა წყლების. განსხვავებულ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში ცალკეული საზრდოობის ხვედრითი წილი წლიურ ჩამონადენში სხვადასხვა რაოდენობით გვხვდება. თუმცა აღსანიშნავი ფაქტია, რომ მდინარეების საზრდოობის ჩამოთვლილი ტიპების წარმომქმნელი წყარო ატმოსფერული ნალექებია.

წვიმის წყლებით საზრდოობა. წვიმა ხასიათდება მოსული ნალექების ფენის სიმაღლით, ხანგრძლივობით, ინტენსიურობით და გავრცელების ფართობით. სწორედ ამ ფაქტორების გავლენით ფორმირდება მდინარის ჩამონადენის ზედაპირული ჩამონადენი და ამასთან ხანგრძლივი წვიმების დროს იზრდება მიწისქვეშა წყლების მოცულობაც. ჰაერის ტენიანობის სიმცირის და მშრალი ნიადაგის პირობებში ატმოსფერული ნალექების დანაკარგები ძირითადად, მოდის აორთქლებასა და ინფილტრაციაზე, რა დროსაც ზედაპირული ჩამონადენის სიდიდე უმნიშვნელოა. ხოლო როცა წვიმა მოდის ტენიან ნიადაგზე და ჰაერის ტემპერატურაც დაბალია, მაშინ ზედაპირული ჩამონადენის სიდიდე არსებითია. აქედან გამომდინარე, ჰაერის ტენიანობისა და ქვეფენილი ზედაპირის მდგომარეობის მიხედვით, ერთი და იგივე რაოდენობის წვიმა ერთ შემთხვევაში ქმნის მნიშვნელოვან ზედაპირულ ჩამონადენს, ხოლო მეორე შემთხვევაში - ვერა.

თოვლის ნადნობი წყლებით საზრდოობა. თოვლის საფარში დაგროვილი წყალი მდინარეთა საზრდოობის ძირითადი წყაროა. თოვლის საფარიდან

წყალგაცემის პროცესი წარმოშობს ზედაპირულ ჩამონადენს. თოვლი, დნობის დროს იძლევა სხვადასხვა მოცულობის წყალს, თოვლის საფარის სიმაღლის და თოვლის სიმკვრივის მიხედვით. თოვლის საფარში წყლის მარაგი დამოკიდებულია ზამთარში მოსულ ატმოსფერულ ნალექებზე, ადგილის სიმაღლეზე, ფერდობის ექსპოზიციაზე, რელიეფის ფორმაზე, მცენარეულ საფარზე და ა.შ. თოვლის დნობა იწყება, ჰაერის ტემპერატურის დადებით მნიშვნელობების მიღწევისთანავე, როცა თოვლის ზედაპირზე დადებითი სითბური ბალანსია დამყარებული. თოვლის საფარში გამოყოფენ დნობისა და წყალგაცემის პროცესებს.

თოვლის ფიზიკური თვისებიდან გამომდინარე თოვლის საფარიდან წყალგაცემა იწყება მოგვიანებით თოვლის დნობის შემდეგ. განასხვავებენ გაზაფხულის თოვლის დნობის სამ ეტაპს:

1. საწყისი პერიოდი როდესაც თოვლის საფარის დნობა შენელებულია, წყალგაცემა არ არის დაწყებული და შესაბამისად ზედაპირული ჩამონადენის ფორმირება არ ხორციელდება.
2. თოვლის ძირითადი მასის ინტენსიური დნობის პერიოდი, ეს პერიოდი ასახავს ინტენსიურ წყალგაცემას, რის შედეგადაც სწრაფად იმატებს ზედაპირული ჩამონადენის რაოდენობა;
3. თოვლის დნობის დასასრულის პერიოდი, მოიცავს ნარჩენი თოვლის მარაგის დნობის ფაზას. პირველ ეტაპზე დნება თოვლის მარაგის დაახლოებით 30%, მეორე ეტაპზე - 50%, ხოლო მესამეზე - 20%.

აღსანიშნავია რომ, გაზაფხულის წყალდიდობის წყლის მოცულობა განისაზღვრება თოვლის საფარში არსებული წყლის მთლიანი მოცულობით, ხოლო გაზაფხულის წყალდიდობის მაქსიმალური ხარჯები თოვლის დნობის ინტენსიურობით და ნიადაგის ფილტრაციული თვისებებით.

მდინარეთა საზრდოობა მიწისქვეშა წყლებით განისაზღვრება მიწისქვეშა (გრუნტის) და მდინარეთა წყლების ურთიერთმოქმედების ხასიათით. რომლებიც, თავის მხრივ, დამოკიდებულნი არიან მდინარეთა წყლიანობის რეჟიმზე და მდინარის მიმდებარე ტერიტორიის ჰიდროგეოლოგიურ პირობებზე. წყალდიდობის პიკის პერიოდის გარდა მდინარეები საზრდოობს მიწისქვეშა

წყლებით მთელი წლის განმავლობაში მდინარესა და მიწისქვეშა წყლებს შორის მუდმივი ჰიდრავლიკური კავშირის საშუალებით.

მეინვარული საზრდოობა. მეინვარული საზრდოობის წილი მდინარის ჩამონადენში მით მეტია, რაც უფრო მეტი ფართობი უჭირავს მეინვარებს წყალ-შემკრებაუზში. მეინვარების ნაღნობი წყლები მდინარის ჩამონადენს ზრდიან ზაფხულის პერიოდში. წყალდიდობის პერიოდი მეინვარული საზრდოობის ტიპის მდინარეებზე ნელა მიმდინარეობს და მაქსიმუმს ზაფხულის ცხელ თვეებში აღწევს [38].

მდინარეთა კლასიფიკაცია საზრდოობის წყაროების და ხასიათის მიხედვით მოყვანილია [39],[40]-ში, რომლის მიხედვით ამა თუ იმ საზრდოობის წყაროების წილი მდინარეთა ჩამონადენში განისაზღვრება სამი მახასიათებლიდან ერთ-ერთით. თუ საზრდოობის რომელიმე სახე იძლევა მდინარის წლიური ჩამონადენის 80%-ს, მაშინ ითვლება, რომ იგი განსაკუთრებული საზრდოობის წყაროა და სხვა სახის საზრდოობის წყაროები მხედველობაში არ მიიღება. თუ საზრდოობის წყაროზე მოდის მდინარის წლიური ჩამონადენის 50-80%, იგი ითვლება უპირატეს საზრდოობის წყაროდ (სხვა სახის საზრდოობის წყაროები მხედველობაში მიიღება თუ მათი წილი მდინარის წლიური ჩამონადენის 10%-ს შეადგენს). თუ მდინარეთა საზრდოობის არც ერთი წყარო არ იძლევა წლიური ჩამონადენის 50%-ზე მეტს, ითვლება რომ მდინარეთა საზრდოობა ასეთ შემთხვევაში შერეულია.

მდინარეთა წყლიანობის რეჟიმი მდინარეთა წყლიანობის რეჟიმი არის წყლის ხარჯის, ჩამონადენის, თოვლის დნობის სიჩქარის და წყლის ზედაპირის დახრილობის კანონზომიერი ცვალებადობა დროში მდინარის გასწვრივ. იგი დამოკიდებულია ფიზიკურ-გეოგრაფიულ ფაქტორებზე, რომელთა შორის უმნიშვნელოვანესია მეტეოროლოგიური ფაქტორები. აღნიშნული ფაქტორები დროის სხვადასხვა პერიოდში განიცდიან ცვლილებას, შესაბამისად, წყლის ობიექტებში წყლიანობის რეჟიმიც განიცდის სხვადასხვა ხანგრძლივობის ცვალებადობას.

1.6. საქართველოს მდინარეთა კლასიფიკაცია საზრდოობის წყაროების მიხედვით.

მდინარეთა ჩამონადენის შიგაწლიური გადანაწილება

საქართველოს მდინარეების ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილება, ანალოგიურად ბუნებრივი პირობებისა, მრავალფეროვნებით ხასიათდება. აქ ძირითადად შერეული საზრდოობის ტიპის მდინარეებია, რომელთა წყალდიდობასაც წლის თბილ ნახევარში აქვს ადგილი. ამ პროცესში მონაწილეობს, წვიმის, თოვლის, მყინვარის და მიწისქვეშა წყლები. ამა თუ იმ წყაროს მონაწილეობის წვლილი იცვლება აუზის სიმაღლის, კლიმატის თავისებურებისა და ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულების მიხედვით.

დასავლეთიდან აღმოსავლეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით კლიმატის კონტინენტურობის ზრდასთან ერთად მატულობს თოვლის წყლებით საზრდოობის წვლილი, ამასთან ერთად მცირდება წვიმის წყლების წვლილი საზრდოობაში და იზრდება გაზაფხულის ჩამონადენი. ეს ვრცელდება იმ აუზებზე, რომელშიც უფრო დაბალ სიმაღლებრივ სარტყელში არიან. მაღალმთიან სარტყელში, სადაც მდინარეები მყინვარისა და თოვლის ნადნობი წყლებით საზრდოობენ, უხვწყლიანობა დამახასიათებელია ზაფხულ - შემოდგომის სეზონისათვის. საშუალომთიან ზონაში მატულობს წვიმის წყლითა და სეზონური თოვლით საზრდოობის წვლილი. აქ ყველაზე უხვწყლიანია გაზაფხულ-ზაფხულის ან მხოლოდ გაზაფხულის სეზონი.

ბევრი მდინარისათვის, საზრდოობის წყაროს წვლილი იცვლება მდინარის სიგრძის და წელიწადის დროის მიხედვით. გაზაფხულზე ძლიერდება წვიმის და თოვლის ნადნობი წყლების როლი. ზაფხულ-შემოდგომის პერიოდში მცირდება წვიმით საზრდოობა. ზამთარში, მიწისქვეშა წყლები წარმოადგენენ მდინარის საზრდოობის ძირითად წყაროს, რის შედეგადაც მათი მარაგი საკმაოდ მცირდება. ნაპრალოვანი ქანები კავკასიის ქედზე, ჯავახეთის ზეგანზე და კარსტულ ზონებში განაპირობებენ, მთელი წლის განმავლობაში, მდინარეთა უხვ და მდგრად მიწისქვეშა კვებას, რაც ამცირებს განსხვავებას გაზაფხულისა და ზაფხულის ჩამონადენებს შორის.

მცინვარული საზრდოობა აქვთ მდინარეებს, რომლებიც კავკასიონის მაღლმთიან ზონაში იღებენ სათავეს. მცინვარულ წყლებს ყველაზე დიდი წვლილი აქვთ შემდეგი მდინარეების საზრდოობაში: მდ. ენგური, მდ. რიონი, მდ. კოდორი.

თოვლის წყლით საზრდოობის წვლილი დამოკიდებულია ტემპერატურულ რეჟიმზე, ნალექების განაწილებასა და აუზების ჰიდროგრაფიულ პირობებზე. საქართველოს ტერიტორიაზე სიმაღლის ზრდასთან ერთად იზრდება თოვლის ნაღნობი წყლების წვლილი საზრდოობაში. გამონაკლისს მდ. თეთრი არაგვის აუზი წარმოადგენს, სადაც ნაღნობი წყლების მოცულობა მკვეთრად მცირდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად მიწისქვეშა ჩამონადენის წვლილის გაზრდის გამო, რაც დაკავშირებულია აუზის გეოლოგიური აგებულების თავისებურებასთან.

წვიმის წყლებით საზრდოობას მეტნაკლებად სტაბილური ხასიათი აქვს და დამახასიათებელია საშუალომთიანი და დაბალმთიანი აუზებისათვის.

შავი ზღვის სანაპიროს მდინარეთათვის, მთელი წლის განმავლობაში განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა აქვს წვიმით საზრდოობას (სუფსა, ნატანები, ბახვისწყალი და სხვ.). მათთვის დამახასიათებელია წელიწადის მკვეთრი ცვლილებები მთელი წლის განმავლობაში.

მიწისქვეშა საზრდოობა ითვლება მრავალწლიურ მდგრად საზრდოობად, რომელიც განპირობებულია წვიმის და ნაღნობი წყლების ინფილტრაციით. საქართველოს ზოგიერთი მდინარისათვის, სეზონური მიწისქვეშა ჩამონადენი საზრდოობის მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს. მიწისქვეშა საზრდოობის დიდი წვლილით ხასიათდება მდინარე მტკვრის მარცხენა შენაკადები: ქსანი, არაგვი, იორი. ამ მდინარეთა ჩამონადენში მიწისქვეშა წყლების მონაწილეობის წილი 30%-ს აღწევს, ხოლო თეთრი არაგვის ზემო წელში, სადაც გავრცელებულია ნაპრალოვანი ვულკანური ქანები - 50%-ს. მდინარე ალაზნის მარცხენა შენაკადების აუზებში მიწისქვეშა საზრდოობის პირობები შემცირებულია და კავკასიონის მთიან ნაწილში მიწისქვეშა ჩამონადენი მდინარის წლიური ჩამონადენის 20-40%-ს შეადგენს. საყურადღებოა რომ, მიწისქვეშა საზრდოობის უმნიშვნელო წვლილი ახასიათებს მდინარეებს, რომლებიც სრულად ვერ ახდენენ თავიანთი აუზის მიწისქვეშა წყლების დრენირებას (მდ.გუბისწყალი). ასევე მიწისქვეშა წყლებით საზრდოობის წვლილის ძირითად განმსაზღვრელ ფაქტორს აუზის გეოლოგიური აგებულება წარმოადგენს, ხოლო მიწისქვეშა საზრდოობის

წვლილის სიდიდე თავის მხრივ განსაზღვრავს ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილების სახეს. მაგალიტად, დაახლოებით ერთნაირი წყალშემკრები აუზის ფართობის მქონე, დაახლოებით ანალოგიურ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ რაიონებში მდებარე, მაგრამ სხვადასხვა გეოლოგიური აგებულების მქონე მდინარეების (კორხი, ალგეთი) შიგაწლიური განაწილების შედარებიდან ჩანს, რომ პირველი მდინარის ჩამონადენი ბევრად უფრო დარეგულირებულია, რაც გამოწვეულია მდ. ალგეთის აუზში წყალგაუმტარი და ნაკლებად გამტარი მთის ქანების არსებობით. მდინარე კორხის ჩამონადენის ჩამოყალიბებაში მიწისქვეშა საზრდოობის წვლილი მეტია მდ. ალგეთთან შედარებით [41].

ცხრილში №2 მოყვანილია საქართველოს მდინარეების მცირე ჯგუფის საზრდოობის დამახასიათებელი წყაროები ლ. ა. ვლადიმროვის [42], მიხედვით საქართველოს მდინარეების 90 დაკვირვების პუნქტის მონაცემებიდან. ამ მონაცემებიდან გამოყოფილია ორი შერეული ტიპი: მდინარეები, რომლებიც საზრდოობენ მიწისქვეშა, თოვლის და წვიმის წყლებით და ამავე დროს თოვლის და წვიმის წყლების საზრდოობის წილი ჯამურად 50%-ზე მეტია და მდინარეები, რომლებიც საზრდოობენ მიწისქვეშა, მყინვარის, თოვლის და წვიმის წყლებით.

ზემოაღნიშნული მდინარეების საზრდოობის წყაროები, თავის მხრივ, მდინარის ჩამონადენის შიგაწლიურ განაწილებას განსაზღვრავს.

საქართველოს მდინარეები თავისი სიგრძისა და წყალშემკრები აუზების მიხედვით სიდიდით არ გამოირჩევიან, თუმცა წარმოადგენენ უხვწყლიან მდინარეებს, განსაკუთრებით, შავი ზღვის აუზის მდინარეები, რომლებიც ხასიათდებიან დიდ ვარდნით, ჩქარი დინებით და პოტენციური ენერჯის დიდი მარაგით. საქართველოს ფარგლებში ყველაზე წყალუხვი მდინარე არის რიონი, საშუალო წლიური ჩამონადენით - 12,66 კმ³. შემდეგ წყლიანობით მოდის მდ. მტკვარი საქართველოს ფარგლებში - 9,39 კმ³; ასევე უხვწყლიან მდინარეებს მიეკუთვნება: კოდორი - 3,94 კმ³, ენგური 6,04 კმ³, ჭოროხი - 8,73 კმ³ და სხვ. მდინარეთა ჩამონადენის მოცულობასთან მჭიდროდა არის დაკავშირებული მდინარეების კალაპოტის წყლების მყისიერი ჯამური მარაგი. საქართველოს მდინარეების კალაპოტებში საშუალოდ დაახლოებით 187 მლნ მ³ წყლის მარაგია, რაც მდინარეთა წყლების საერთო ჯამური წლიური ჩამონადენის 0,30%-ს შეადგენს [35],[41].

ცხრილი №2. საქართველოს მდინარეების მცირე ჩამონათვალი საზრდოობის წყაროების მიხედვით

მდინარე	ჰ/კვეთი	წყალშემკრ- ები აუზის ფართობი	აუზის საშუალო სიმაღლე	%ში წლიდან				წლის ჩამონადენი მლნ. მ ³
				მიწისქვე შა	თოვ ლი	მყინვა რი	წვი მა	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ენგური	ლატალი	1000	2570	23.7	28.7	39.5	8.10	1415
ენგური	ჯვარი	3170	2220	30.0	32.0	21.0	17.0	4670
ხობი	ლეგახარე	308	1650	30.2	26.4	–	43.4	703
ხობი	ხორგა	1070	760	19.7	14.2	–	66.1	1360
ოჩხამური	ოჩხამური	33.4	140	13.0	3.00	–	84.0	52.5
ტეხური	სალხინო	309	1490	28.9	28.4	–	42.7	612
ტეხური	ნოქალაქევი	565	1140	28.9	18.1	–	52.9	1030
ცხენის- წყალი	ლუჯი	544	2250	35.0	41.0	–	24.0	710
ცხენის- წყალი	ხიდი	1700	1900	33.6	39.3	–	27.1	2390
რიონი	გლოლა	627	2430	33.3	26.3	18.6	21.8	883
რიონი	ხიდიკარი	2002	1940	33.5	28.0	8.40	30.1	2350
რიონი	რიონჰესი	3520	1610	34.7	28.2	4.60	32.5	3970
ლაჯანური	ალპანა	284	1510	30.0	30.9	–	39.1	325
ყვირილა	ჭიათურა	899	1210	27.8	31.9	–	40.3	659
ყვირილა	ზესტაფონი	2410	950	23.2	31.8	–	45.0	1920
აჭარის- წყალი	ქედა	1375	1470	30.6	25.9	–	43.5	1422
თეთრი არაგვი	მლეთა	110	2620	72.4	13.5	–	14.1	164
შავი არაგვი	მდაროსკარი	736	2100	37.3	35.8	–	26.9	571
არაგვი	ჟინვალთან	1880	1910	47.1	27.7	–	25.2	1390
ქსანი	კორინთა	549	1810	27.5	38.4	–	34.1	340
დიდი ლიახვი	კეხვი	916	2080	36.0	43.3	–	20.7	804
ფარავანი	ხერთვისი	2276	2140	63.2	23.8	–	12.9	587
ქცია ხრამი	თრიალეთი	1146	1910	51.6	24.4	–	24.0	397
თერგი	ყაზბეგი	769	2820	39.6	29.1	17.9	13.4	754
თუშეთის ალაზანი	ხახაბო	309	2580	42.0	47.0	–	11.0	282
პირიქითა ალაზანი	ომალო	369	2810	48.0	30.6	14.8	6.60	331
იორი	უკუდმართი	506	1690	38.7	28.0	–	33.3	341

კავკასიონის ქედის დასავლეთი ნაწილის სამხრეთ ფერდობის მდინარეები გამოირჩევიან უხვწყლიანობით: ბზიფი, კოდორი, ენგური, ცხენისწყალი, რიონი, რომლებიც სათავეს მყინვარებიდან და მარადი თოვლიდან იღებენ. კავკასიონის სამხრეთ დასავლეთ მხარეზე, წყალუხვობით გამოირჩევიან ჩაქვის ქედის დასავლეთი ფერდობის მდინარეები: ჩაქვისწყალი, კინტრიში და სხვ. აღმოსავლეთ საქართველოს უხვწყლიანი მდინარეებს მიეკუთვნება მდ. მტკვარი და მისი შენაკადები, ასევე ფარავანი, ალაზანი, იორი, ქცია-ხრამი და სხვა. აღსანიშნავია რომ მტკვრის პირა დაბლობი, ივრის ზეგანი, ქვემო ქართლის ვაკე ხასიათდება მშრალი ხევებით, სადაც წყალი მიედინება მხოლოდ თოვლის დნობის და თავსხმა წვიმების დროს.

მდინარეთა ჩამონადენის შიგაწლიურ მსვლელობას განსაზღვრავენ, პირველ რიგში, კლიმატური ფაქტორები: ნალექები, ჰაერის ტემპერატურა და აორთქლება. საკმაოდ დიდია სხვა ფაქტორების გავლენაც, როგორცა არის წყალშემკრები აუზის რელიეფი, გეოლოგიური აგებულება, ნიადაგისა და მცენარეული საფარის ხასიათი და სხვ. ამ ფაქტორების გავლენა საერთოდ უფრო სუსტია ვიდრე კლიმატურის, მაგრამ ცალკეულ შემთხვევაში ისინი სჭარბობენ, მაგ., აუზის დიდი ტბიანობის ან მნიშვნელოვანი გამყინვარების დროს.

მდინარეთა საზრდოობის წყაროების და ჩამონადენის დროში განაწილების, ჩამონადენის სიდიდის და მასზე ბუნებრივი ფაქტორების გავლენის მიხედვით, საქართველოს ტერიტორიაზე შეიძლება პირობითად ოთხი ძირითადი რაიონი გამოიყოს: [35]

I – კოდორ-ენგურის ზემოწელის რაიონი, სადაც მდინარეები ძირითადად მყინვარული წყლებით საზრდოობენ. გაზაფხულის ჩამონადენი წლიური ჩამონადენის 25%-მდე აღწევს.

II - შავი ზღვისპირა - რაიონი, სადაც მდინარეებს შერეული საზრდოობა აქვთ. გაზაფხულის ჩამონადენი წლიური ჩამონადენის 25-50%-ს შეადგენს.

III - მტკვარ-რიონის რაიონი; მდინარეებს აქვთ შერეული საზრდოობა. გაზაფხულის ჩამონადენი წლიური ჩამონადენის 51-75%-ს შეადგენს.

IV - ტბიან-წყაროებიანი რაიონი; მდინარეებს აქვთ შერეული საზრდოობა; გაზაფხულის ჩამონადენი წლიური ჩამონადენის 26-50%-ს შეადგენს.

1.7. ტყეების როლი მდინარეთა ჩამონადენის ჩამოყალიბებაში

ჩამონადენის ფორმირებასა და შიდაწლიურ გადანაწილებაში ტყის გავლენა გამოიხატება წლის განმავლობაში ჩამონადენის ბალანსში. ტყეში თოვლის დნობის დაგვიანების ხარჯზე წყალდიდობის პერიოდი ხანგრძლივდება და ფიქსირდება წყალდიდობის ჩამონადენის შემცირება; ასევე ტყის ნიადაგების ინფილტრაციის უნარის შედეგად ხდება ჩამონადენის მნიშვნელოვანი ნაწილის გადასვლა ზედაპირულიდან მიწისქვეშაში, რაც კიდევ უფრო ამცირებს უხვწყლიან პერიოდს და ზრდის მცირეწყლიანი პერიოდის ჩამონადენს. თუმცა, ანთროპოგენული ფაქტორების შედეგად მდინარეთა ჩამონადენის რეჟიმის დარეგულირების და წყლის რესურსების მატების მიზნით აუცილებელია ტყეების ჰიდროლოგიური როლის ხელახალი შესწავლა. ამ პრობლემის საფუძვლიანი გადაწყვეტა კი მოითხოვს ზედაპირული ჩამონადენის ფორმირების კომპლექსურ შესწავლას ტყეების სიხშირეების, ხნოვანების, შემადგენლობის, ზღვის დონიდან სხვადასხვა სიმაღლეზე გაშენების და სხვ. გათვალისწინებით, რაც ჯერ კიდევ შეუსწავლელია საქართველოს სხვადასხვა რეგიონისათვის.

კვლევების [43],[44] თანახმად, საშუალო (0,5–0,6) სიხშირის ტყეებს გააჩნიათ მაღალი წყალმარეგულირებელი და ეროზიის საწინააღმდეგო ფუნქციები, 25–300-ის დაქანების ფერდობებზე ზედაპირული ჩამონადენი საშუალო სიხშირის ტყეებში 4-ჯერ ნაკლები აღმოჩნდა უტყეო ადგილებთან შედარებით. საშუალო სიხშირის (0,5–0,6) ტყეებში ზედაპირული ჩამონადენის კოეფიციენტი არ აღემატება 0,06–0,12-ს, მაშინ, როდესაც 0,4–0,5 სიხშირის ტყეებში 0,33-ს აღწევს. მისი ყველაზე მაღალი მაჩვენებლები აღნიშნულია უტყეო ბალახოვანი საფარით დაფარულ ველებზე, სადაც ჩამონადენის კოეფიციენტი მაქსიმალურია და 0,43-დან 0,47-მდე მერყეობს. შავი ზღვის ნაპირიდან ვაკეები და მთების წინა კალთები დაფარულია სუბტროპიკული ტყეებით, მაშინ, როცა აღმოსავლეთ საქართველოში ნახევარუდაბნოს ზონის შემდეგ ზღვის დონიდან 300–500 მ სიმაღლემდე ნათელი ტყეების სარტყელია წარმოდგენილი. ტყეების დიდი ნაწილი (78%) ციცაბო და ძლიერ ციცაბო ფერდობებზეა განლაგებული. ცნობილია, რომ ზღვის დონიდან ყოველი 100 მ-ის ზემოთ ჰაერის ტემპერატურა 0,5⁰–0,6⁰ -ით კლებულობს, ხოლო ნალექების მატებასთან ერთად გარკვეულწილად მატულობს ნიადაგის ტენიანობა,

რაც ცვლის ტყის ტიპების შედგენილობას, აღნაგობას და რაც მთავარია, ჰიდროლოგიური ფუნქციას.

მეტად საყურადღეოა საქართველოს მთის მდინარეების სათავეები, მაღალ მთიან ნაწილში, სუბალპურ ზონაში, სადაც ანთროპოგენული (ტყეების უსისტემო და გადაჭარბებული ჭრები) ზემოქმედებით ტყეების ზედა საზღვარმა საგრძნობლად დაბლა დაიწია, რამაც განაპირობა ნიადაგის წყალმმართველი თვისებების მკვეთრი გაუარესება, ზედაპირული ჩამონადენის მომატება, წყალდიდობების, ღვრაცოფული მოვლენების, თოვლის ზვავების და მეწყერების ჩამოყალიბება თანმდევი უარყოფითი შედეგებით.

ზემოაღნიშნულის გარდა, ტყეების წყალმარეგულირებელი და წყალდაცვითი ფუნქციების, მათი ჰიდროლოგიური როლის დაქვეითებას ხელს უწყობს ჰაერის მაქსიმალური ტენიანობა და ატმოსფერული ნალექების უჩვეულო სიდიდე. უხვნალექიან ზონაში აღინიშნება ტყეების ჰიდროლოგიური როლის, ტყის ნიადაგების ატმოსფერული ნალექებით მაქსიმალურად გადაჯირჯვება, რაც უარყოფითად აისახება ტყეებზე.

ცნობილია, რომ წყალსაცავების ეროზიული ნატანით მოლამგა ხდება წყალსაცავებში ჩამდინარე ძირითადი და მცირე მდინარეებით. მაგ. ლაჯანურის წყალსაცავის დალამგა ძირითადად ხდება მდ. ლაჯანურის და მდ. ცხენისწყლის მიერ. ასევე დიდი ოდენობით ეროზიული ნატანი შედის გვერდითი მცირე შენაკადებიდან; ლაჯანურის წყალსაცავის გარშემო არსებული ტყეები საგრძნობლად არის სახემეცვლილი ანთროპოგენული ზემოქმედების შედეგად [44].

ამრიგად, მთის ტყეების ფართობების მნიშვნელოვნად შემცირებამ საფუძველი ჩაუყარა ნიადაგის ფიზიკური თვისებების გაუარესებას, წყალგამტარობის შემცირებას, ზედაპირული ჩამონადენის მატებას და ეროზიული მოვლენების განვითარებას. აღსანიშნავია, რომ საქართველოს მთის წყალსაცავების რთულმა რელიეფმა, მათ წყალშემკრებ აუზებში შემცირებულმა ტყის საფარმა გამოიწვია ეროზიული, აბრაზული და დენუდაციური პროცესები, დახრამვები, ხრამები კი თავის მხრივ ხელს უწყობენ ნიადაგების წყალსაცავებში გადაადგილებას, რის შედეგადაც მცირდება წყალსაცავების მოცულობა, შესაბამისად, მათი საექსპლოატაციო ეფექტურობა.

თავი 2. წყლის რესურსების საპროგნოზო მაჩვენებლების დადგენა სხვადასხვა საზრდოობის ტიპის მდინარეებისათვის

2.1. მდინარის ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების პროგნოზირების მეთოდები და მათი მნიშვნელობა

ჰიდროლოგიური პროგნოზი განიხილავს ჰიდროლოგიური მოვლენების ძირითადი მახასიათებლების დადგენის მეთოდებს მომავალი პერიოდისათვის.

მდინარის ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების ცვალებადობის შემთხვევითი ხასიათი და მათი აუცილებელი სიზუსტით და კონკრეტული დროისათვის პროგნოზირების შეუძლებლობა განაპირობებს მდინარეთა ჩამონადენის წინასწარ განსაზღვრის უდიდეს სირთულეს. მდინარეთა ჩამონადენი შემთხვევითი პროცესია და ის აბსოლუტურად ზუსტი არასდროს არ იქნება, ამიტომ ჰიდროლოგიური პროგნოზი კონკრეტული დროისთვის დგინდება, რაც განასხვავებს მას სხვა ალბათური ხერხებისაგან, თუმცა ალბათური ელემენტები ჰიდროლოგიურ პროგნოზშიც ფიქსირდება, რადგან ჰიდროლოგიური პროგნოზი დაკავშირებულია დროის ფაქტორთან, შედეგად გვაქვს საპროგნოზო პერიოდი, რომელიც გულისხმობს დროის მონაკვეთს პროგნოზის გაცემიდან მის დადგომამდე. ჰიდროლოგიური პროგნოზი შეიძლება დაიყოს პროგნოზირების ვადების, საპროგნოზო მოვლენის, საპროგნოზო მეთოდის მიხედვით. განვიხილოთ თითოეული მათგანი.

ა) ჰიდროლოგიური პროგნოზი საპროგნოზო ვადების მიხედვით

დროის ფაქტორის აუცილებლობა განასხვავებს ჰიდროლოგიურ პროგნოზს სხვა ალბათური ხერხებისაგან, თუმცა ალბათური ელემენტები ჰიდროლოგიურ პროგნოზებშიც არის. დროის მიხედვით გამოყოფენ მოკლევადიან (დროითი მასშტაბი – რამდენიმე საათიდან რამდენიმე დღემდე), საშუალოვადიან (რამდენიმე დღიდან წლამდე) და გრძელვადიან (წლიდან რამდენიმე ასეულ ან ათას წლამდე) პროგნოზს. პროგნოზირების ვადის ქვეშ იგულისხმება დრო პროგნოზის გაცემიდან საპროგნოზო მოვლენის დადგომის, ან დამთავრების თარიღამდე.

ბ) ჰიდროლოგიური პროგნოზი საპროგნოზო მოვლენის მიხედვით იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად: წყლის რეჟიმის პროგნოზი და ცინულოვანი მოვლენების რეჟიმის პროგნოზი.

გ) ჰიდროლოგიური პროგნოზები მეთოდების მიხედვით ემყარება წყლის მოძრაობის კანონზომიერებას კალაპოტში. მათ მიეკუთვნება ჰიდროდინამიკური მეთოდი, წყალდიდობის ტრანსფორმაციის მიახლოებითი ხერხები. მდინარის ჩამონადენის ფორმირების კანონზომიერებაზე დამყარებული მეთოდი, ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს წყლის ბალანსის განტოლება. ჩამონადენსა და მის განმაპირობებელ ფაქტორებს შორის კორელაციურ ან სტოქასტურ კავშირზე დაფუძნებული მეთოდები.

დ) ჰიდროლოგიური პროგნოზების კლასიფიკაცია გამოყენების მიზნის მიხედვით არსებობს საერთო სარგებლობისა და სპეციალიზებული პროგნოზები მეურნეობის სხვადასხვა დარგებისათვის. პირველ მათგანს მიეკუთვნება წყალდიდობებისა და წყალმოვარდნების, ხოლო მეორეს ამა თუ იმ სამეურნეო დარგისათვის დამახასიათებელი მოთხოვნებით გასათვალისწინებელი პროგნოზები.

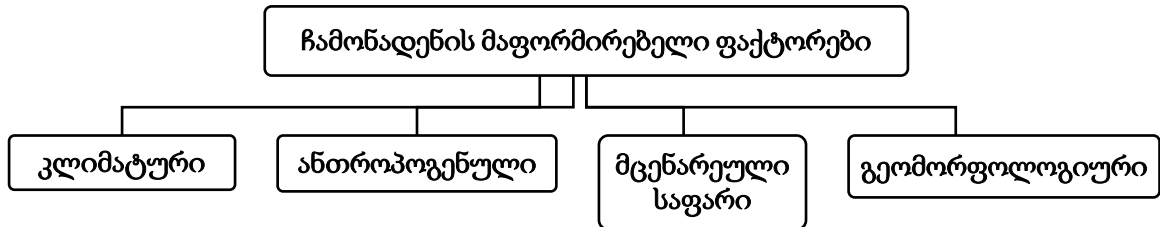
ცნობილია რომ, ჰიდროლოგიური პროცესები მჭიდროდ არის დაკავშირებული მეტეოროლოგიურთან და ჰიდროლოგიური მოვლენების ფორმირებაში მონაწილეობს წინასწარი და სამომავლო ფაქტორები. წინასწარი ფაქტორი გულისხმობს ისეთ ფაქტორს, რომელიც პროგნოზის გაცემის მომენტში არის ცნობილი და პრედიქტანტზე გავლენას მომავალში მოახდენს. მაგ., მდინარის წყალშემკრებ აუზში არსებული თოვლის მარაგი. მომავალი ფაქტორი კი არის ისეთი ფაქტორი, რომელიც უშუალოდ საპროგნოზო ელემენტის განვითარების პერიოდში ფორმირდება და მოქმედებს. ასეთია ატმოსფერული ნალექები, ან მყინვარული საზრდოობის მდინარისთვის წყალდიდობის პერიოდის ტემპერატურა [45], [46],[47].

ამრიგად, პროგნოზირებისათვის გამოიყენება მოვლენა, რომლის პროგნოზიც გაიცემა, ანუ საპროგნოზო ფაქტორი, რომელსაც ჰქვია პრედიქტანტი და განმაპირობებელი ფაქტორი, ანუ პრედიქტორი.

აღნიშნულ ქვეთავში წარმოდგენილია მდინარეების წყლის მარაგის განმსაზღვრელი ფაქტორებისა და მათი პროგნოზირების მეთოდები, წყლის რე-

სურსების საპროგნოზო მაჩვენებლების დადგენა სხვადასხვა საზრდოობის ტიპის მდინარეებისათვის.

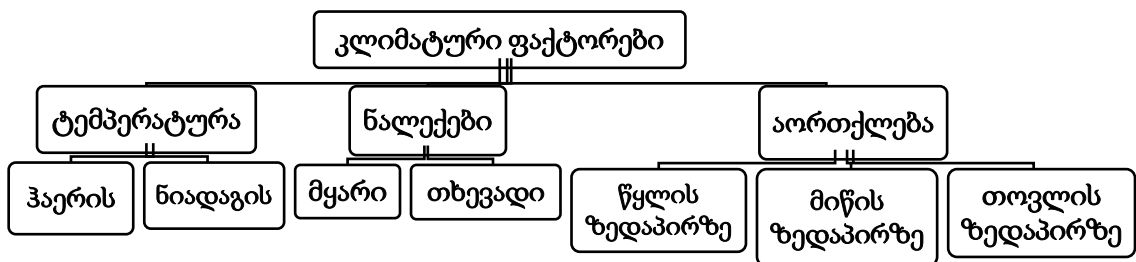
მდინარის ჩამონადენის ძირითად მაფორმირებელ ფაქტორებს წარმოადგენს: კლიმატური, გეომორფოლოგიური, მცენარეული საფარი, ანთროპოგენული (ნახ. 1).



ნახ.1. მდინარის ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების სტრუქტურა

პირველ რიგში დგინდება იმ მოვლენის ფიზიკური არსი, რომლის პროგნოზსაც გავცემთ, შესაბამისად აუცილებლად უნდა განისაზღვროს განმაპირობებელი ფაქტორები, რომლებიც ამ მოვლენის ფორმირებაში მონაწილეობს. თავის მხრივ, მაფორმირებელი ფაქტორები იყოფა: ა) სამომავლო და ბ) წინასწარ ფაქტორებად.

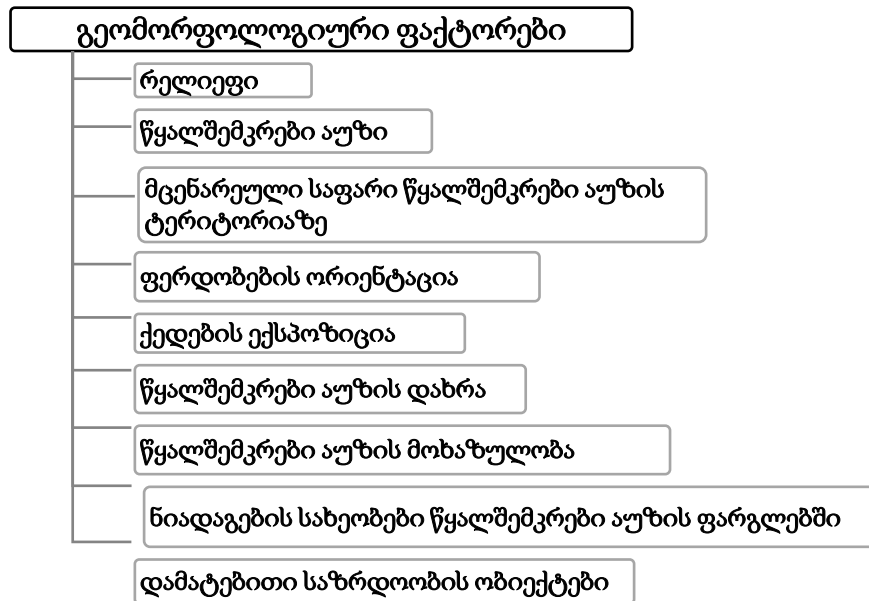
კლიმატური ფაქტორები: ნალექები, ტემპერატურა, აორთქლება, ფარდობითი ტენიანობა წარმოადგენენ სამომავლო ფაქტორებს (ნახ. 2).



ნახ. 2. კლიმატური ფაქტორების სტრუქტურა

წინასწარ ფაქტორებს მიეკუთვნება გეომორფოლოგიური ფაქტორები: რელიეფი, წყალშემკრები აუზის ფართობი, მცენარეული საფარი წყალშემკრები აუზის ტერიტორიაზე, ფერდობების ორიენტაცია, წყალშემკრები აუზის დახრა, წყლის ბუნებრივი აკუმულაცია (ტბები, წყალსატევები, წყლის შემაკავებელი

ქვაბულები), ნიადაგების სახეობები წყალშემკრები აუზის ფარგლებში, წყალშემკრები აუზის გრუნტების (ნიადაგების) წინასწარი დატენიანება, წყალშემკრები აუზის მოხაზულობა (ფორმა), დამატებითი საზრდოობის ობიექტები (მაგ., დაგროვილი თოვლის კერები, გრუნტის, წყაროს ან მდინარის მინაყინი) (ნახ. 3).

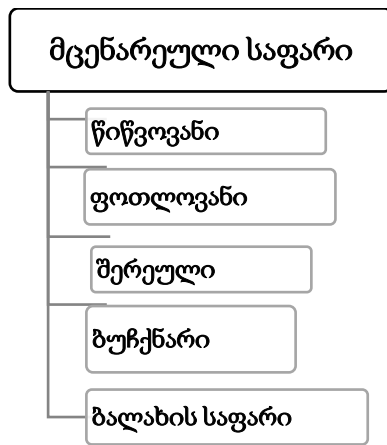


ნახ. 3. გეომორფოლოგიური ფაქტორების სტრუქტურა

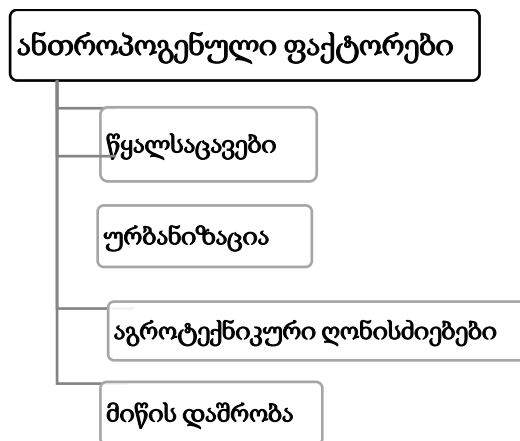
მცენარეული საფარი: ტყის ეკოსისტემა (წიწვოვანი, ფოთლოვანი, შერეული), ბუჩქნარი და ბალახის საფარი (ნახ. 4).

ანთროპოგენული ფაქტორებია: წყალსაცავები, მიწების დაშრობა, აგროტექნიკური, ურბანიზაცია. აღსანიშნავია, რომ თითოეულ კონკრეტულ შემთხვევაში უნდა გამოიყოს ძირითადი მაფორმირებელი ფაქტორები (ნახ. 5).

ცნობილია რომ, საქართველოს ტერიტორიის თითქმის 2/3 მთაგორიანია. ჩრდილოეთი საზღვრის გასწვრივ ქვეყნის ფართობის 1/3-ზე მეტი უჭირავს კავკასიონის მთიან სისტემას. საქართველოს რელიეფი წარმოდგენილია მაღალი, საშუალო და დაბალი მთების, ზეგანების და ვაკეების ერთობლიობით.



ნახ. 4 მცენარეული საფარის სტრუქტურა



ნახ. 5. ანთროპოგენული ფაქტორების სტრუქტურა

მთელი ზედაპირის 53,6% მთებზე, 33,49% - მთისწინებზე, ხოლო 13% დაბლობზე მოდის. მრავალფეროვანი ფიზიკურ - გეოგრაფიული თვისებურებანი ვლინდება როგორც ჰორიზონტალური, ისე ვერტიკალური მიმართულებით და ქმნის განსხვავებულ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ მხარეებს. ქვეყნის ტერიტორია ვერტიკალურად ვრცელდება შავი ზღვის დონიდან 5 068.8 მეტრამდე [48].

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე საქართველოში მდინარეთა ჩამონადენის განსასაზღვრად ძირითადად გამოიყენება მთის მდინარეების ჰიდროლოგიური პროგნოზები.

2.2. მთის მდინარეების ჩამონადენის განსაზღვრა

მთის მდინარეების ჩამონადენი, ძირითადად, ფორმირდება შემდეგი ფაქტორებით: თოვლის ნადნობი წყლები, მყინვარული ნადნობი წყლები, ატმოსფერული ნალექები მოსული წვიმის სახით, გრუნტის წყლები.

მთის მდინარეების ჩამონადენის ფორმირება ბარის მდინარეებთან შედარებით განსხვავებულია. ძირითადი განსხვავება გამოისახება შემდეგში: ბარის მდინარეებში ჩაჟონილი წყლების რაოდენობა მნიშვნელოვანი ფაქტორია და მისი გათვალისწინება ერთ-ერთ მთავარ სირთულეს წარმოადგენს. მთის მდინარეებში ჩაჟონილი წყლების რაოდენობა შედარებით მცირეა, ამავე დროს მისი ცვალებადობა წლიდან წლამდე ფაქტიურად არა გვაქვს. მთის მდინარეებისათვის ერთ-ერთი რთული ამოცანაა ძირითადი განმსაზღვრელი ფაქტორის - თოვლის მარაგის შეფასება. ეს სირთულე გამოწვეულია მთის მდინარეთა წყალშემკრებ აუზებში ნალექების, მყინვარებისა და თოვლის ძლიერ განსხვავებული განაწილებით დროსა და სივრცეში, ამიტომ შეუძლებელია დადგინდეს მათი ცვლილების ერთიანი გრადიენტები და მათი მნიშვნელობების განსაზღვრა ყველა სიმაღლით ზონაში, რაც აუცილებელია ჩამონადენის თანამედროვე საპროგნოზო მეთოდების გამოყენებისათვის. გარდა ამისა, მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირებისათვის მეტად არახელსაყრელია ამ აუზში მოსული თხევადი ნალექების დიდი წილი მყარ ნალექებთან შედარებით, რადგან მთებში მოსული თხევადი ნალექები მთის ფერდობების დახრილობის გამო არ აკუმულირდება და სწრაფად ჩაედინება მდინარის კალაპოტში. ამის გამო, რთულია მათი გამოყენებით მდინარის ჩამონადენის მომავალი ოდენობის პროგნოზირება.

დღეისათვის მთის მდინარის ჩამონადენის პროგნოზი განისაზღვრება ჩამონადენსა და მის განმსაზღვრელ ჰიდრომეტეოროლოგიურ ფაქტორებს შორის კორელაციური კავშირებით. კავშირები შეიძლება იყოს გრაფიკული ან ანალიტიკური. ჩამონადენის წარმოქმნის ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს წყალშემკრებ აუზში მოსული ნალექების რაოდენობა ცივ პერიოდში.

მთის მდინარეებისათვის არსებობს შემდეგი ტიპის ჰიდროლოგიური პროგნოზები: სავეგეტაციო პერიოდის, წყალდიდობის პერიოდის, წყალმცირობის პერიოდის, საშუალო თვიური ხარჯების, მაქსიმალური ხარჯების და

კვარტალური. თითოეული ჰიდროლოგიური საპროგნოზო მეთოდი ეფუძნება წყლის ბალანსის განტოლებას, რომელშიც მრავალი სხვადასხვა ელემენტი: ჩამონადენი, ნალექები, ტემპერატურა, აორთქლება, კონდენსაცია, ინფილტრაცია, ტრანსპირაცია და სხვ. შედის.

მთის მდინარეებისათვის ჩამონადენის განმსაზღვრელ ზოგადი სახის განტოლებას ასეთი სახე აქვს [49]:

$$Y_0 = \sum_{i=1}^{i=n} S_{t,i} f_i + \sum_{i=1}^{i=n} X_{1,i} f_i + \sum_{i=1}^{i=n} X_{2,i} f_i + \sum_{i=1}^{i=n} h_{o,i} f_{\theta y_i} - (\sum_{i=1}^{i=n} E_{o,i} f_i + \sum_{i=1}^{i=n} E_{\delta,i} f_i) \pm \Delta_{გრწ} + \Delta_{\theta\gamma} + \Delta_n \quad (1)$$

Y_0 - მდინარის ჩამონადენი საანგარიშო პერიოდისთვის;

$S_{t,i}$ - წყლის მარაგი თოვლის საფარში i სიმაღლის ზონაში თოვლის დნობის დაწყებამდე;

f_i - სიმაღლითი ზონის ფართობი;

X_1 - თოვლზე ნალექების რაოდენობა თოვლის დნობის დროს;

X_2 - ნალექების რაოდენობა ნიადაგზე;

$H_{o,i} f_{\theta y_i}$ - მყინვარების და მარადიული თოვლის გამდნარი წყლის რაოდენობა;

$E_{o,i} f_i$ - აორთქლება თოვლის საფარის ზედაპირიდან;

$E_{\delta,i} f_i$ - აორთქლება ნიადაგის ზედაპირიდან;

$\Delta_{გრწ}$ - გრუნტის წყლების მარაგის ცვლილება;

$\Delta_{\theta\gamma}$ - მიწისქვეშა(ბაზისური) წყლის ხარჯის ცვლილება;

Δ_n - ნიადაგგრუნტის ტენიანობის ცვლილება;

Δ_n - მიწისქვეშა წყლების ცვლილება.

ხშირად (1) დამოკიდებულებას გამოსახავენ შემდეგი სახით [49], [47]:

$$Y_0 = f[(S + X_1), X_2, W] \quad (2)$$

სადაც,

Y_0 - მდინარის ჩამონადენი საპროგნოზო პერიოდისთვის;

S - თოვლის საფარის მარაგი საპროგნოზო პერიოდში;

X_1 - ნალექების რაოდენობა თოვლის დნობის პერიოდში თოვლის ზედაპირზე,

X_2 - ნალექები თოვლის დნობის მომენტიდან საანგარიშო პერიოდის დასრულებამდე;

W - აუზის ტენიანობის მაჩვენებელი საპროგნოზო პერიოდის დასაწყისისთვის.

ასეთი საპროგნოზო მოდელების გამოყენება შეიძლება იქ, სადაც რეგულარულად მიიღება ოპერატიული ინფორმაცია სხვადასხვა სიმაღლითი ზონიდან ჰიდრომეტეოროლოგიურ ელემენტებზე. ასეთი შემთხვევისათვის მნიშვნელოვანია მთის მდინარეების ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების განსაზღვრის შემდეგი ხერხების გამოყენება: ტემპერატურის განსაზღვრა სხვადასხვა სიმაღლეზე, ატმოსფერული ნალექებით გამოწვეული ჩამონადენის განსაზღვრა ინფილტრაციის და ზედაპირული შეკავების გათვალისწინებით, მდინარის წყალშემკრებ აუზში თოვლის მარაგის შეფასება და მყინვარული ჩამონადენის განსაზღვრა.

2.3. ტემპერატურის განსაზღვრა სხვადასხვა სიმაღლეზე

ატმოსფერული ჰაერის ტემპერატურა და მისი მნიშვნელობები სხვადასხვა სიმაღლეზე მეტად მნიშვნელოვანი და გასათვალისწინებელი ფაქტორია გამომდინარე იქიდან რომ, ჩამონადენის შიგაწლიური მსვლელობის განმსაზღვრელი არსებითი ფაქტორები ე. წ. სამომავლო ანუ კლიმატური ფაქტორები (ტემპერატურა, ატმოსფერული ნალექები და აორთქლება), უშუალოდ საპროგნოზო ელემენტის განვითარების პერიოდში ფორმირდებიან და მოქმედებენ. ტემპერატურა განსაზღვრავს მდინარის წყალშემკრებ აუზში თოვლის დაგროვების პერიოდს, წყალდიდობის დაწყების თარიღს, წყალდიდობის პერიოდის ხანგრძლივობას, ამავე დროს აუზის სხვადასხვა სიმაღლიდან თოვლის დნობისა და მყინვარის დნობის ინტესიურობას. კავშირი ჰაერის ტემპერატურასა და ნადნობი წყლის ფენის სიმაღლეს შორის, მეტად საყურადღებო ფაქტორია მყინვარული საზრდოობის მდინარეებისთვის. მყინვარული საზრდოობის მდინარეების დონეები და ხარჯები დამოკიდებულია მყინვარის რეჟიმზე, რაც აისახება კიდევაც წყლის ხარჯების შიდაწლიურ გადანაწილებაზე.

ცნობილია რომ, მთის მდინარეებისთვის მეტეოსადგურების რიცხვი მცირეა, განსაკუთრებით მის ზედა ნიშნულებზე. ამიტომ საჭირო რაოდენობით დაკვირვებული მონაცემები არ არსებობს. შედეგად, შემუშავებულია ტემპერატურის განსაზღვრის მიახლოებითი ხერხები. ერთ-ერთი ასეთი მეთოდია ნებისმიერ

სიმაღლეზე ტემპერატურის განსაზღვრა მდინარეთა წყალშემკრები აუზების ტემპერატურების გრადიენტის მიხედვით. ეს მეთოდი ითვალისწინებს სიმაღლის ზრდასთან ერთად ტემპერატურის შემცირებას სიმაღლის ყოველ 100 მ-ზე (ტემპერატურის გრადიენტი). მდინარის სხვადასხვა კვეთების შესაბამის წყალშემკრებ აუზებში ტემპერატურის გრადიენტის მნიშვნელობა განსხვავებულია და იცვლება 0,5-0,7 ფარგლებში. ორი მეტეოსადგურის ფაქტობრივ მონაცემებს შორის დგინდება ემპირიული კავშირი: $t_2 = f(t_1)$.

ტემპერატურის გრადიენტი კი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით [45], [46]:

$$\gamma_1 = \frac{100 - (t_1 - t_2)}{\Delta H}, \quad (3)$$

სადაც, t_1 არის ქვედა სადგურის ტემპერატურა; ხოლო t_2 - ზედა სადგურის ტემპერატურის მნიშვნელობა; ΔH სადგურების სიმაღლეთა სხვაობა.

მდინარეთა წყალშემკრებ აუზში ტემპერატურის გრადიენტის გასაზღვრის შემთხვევაში, შეგვიძლია ნებისმიერ სიმაღლეზე განვსაზღვროთ t_H მნიშვნელობა:

$$t_H = t_{სად} - 0,01\Delta H\gamma_t, \quad (4)$$

სადაც, t_H არის საძიებელი ტემპერატურის მნიშვნელობა გარკვეულ სიმაღლეზე (H);

$t_{სად}$ - ტემპერატურის მონაცემები დასაყრდენი სადგურიდან, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება:

$$t_H \cdot \Delta H = H - H_{სად}. \quad (5)$$

ყოველივე ზემო თქმულიდან გამომდინარე, მცინვარული კვების და საზოგადოდ მთის მდინარეების ჩამონადენის პროგნოზირებისთვის აუცილებელია ტემპერატურის საპროგნოზო მაჩვენებლების განსაზღვრა და ტემპერატურის ფაქტობრივი მნიშვნელობების გათვალისწინება, ჰაერის ტემპერატურასა და ნადნობი წყლის ფენის სიმაღლეს შორის კავშირის დასამყარებლად.

2.4. ატმოსფერული ნალექებით გამოწვეული ჩამონადენის განსაზღვრა

კლიმატური ფაქტორებიდან არანაკლებ მნიშვნელოვანია ატმოსფერული ნალექების გავლენა მდინარის ჩამონადენის ფორმირებაში, განსაკუთრებით კი,

მთის რეგიონებისთვის და სამეურნეო-საინჟინრო ობიექტებისთვის, რადგან ყველაზე მაღალი საშიშროების ალბათობას შეიცავს ატმოსფერული ნალექების კლიმატური ნორმიდან სიჭარბისკენ გადახრა. ამიტომაც მეტად მნიშვნელოვანია მათი აღრიცხვა და ამავე დროს საპროგნოზო მაჩვენებლის დადგენა. ზემოთ აღინიშნა, რომ ყველა მდინარე საზრდოობს ატმოსფერული ნალექით, რომელიც დედამიწაზე ტრანსფორმირდება - ადგილის კლიმატური, გეოგრაფიული, გეოლოგიური და სხვა ბუნებრივი პირობების მიხედვით. ამა თუ იმ მეთოდის გამოყენება დამოკიდებულია აუზში ნალექების დაკვირვების პუნქტების რაოდენობასა და დაკვირვების წერტილების განთავსების ადგილის ბუნებაზე. საშუალო შეწონილი ნალექის ფენის გამოთვლის ძირითად მეთოდს წარმოადგენს იზოჰრონების მეთოდი, ანუ ჩამონადენის გენეტიკური ფორმულა. მისი არსი მდგომარეობს მდინარის აუზში ნალექების შესახებ მონაცემების გამოყენებით ჩამონადენის განსაზღვრაში, კერძოდ ნალექის განაწილების რუკის აგებაში, იზოჰიფსებს შორის ფართობებზე ნალექების საშუალო შეწონილი ფენის გამოთვლაში შემდეგი ფორმულის გამოყენებით: [47],[49],[50].

$$X = \sum_i^n X_i \varphi_i \quad (6)$$

სადაც, X_i არის ნალექების საშუალო ფენა მეზობელ იზოჰიფსებს შორის ფართობზე;

φ_i - ამ ფართობის ფარდობითი მნიშვნელობა აუზის მთლიანი ფართობიდან;

n - იზოჰიფსებს შორის ფართობების რაოდენობა.

მედიანების მეთოდის [49],[50] მიხედვით თითოეული სადგურისათვის გამოყოფილია მდინარის წყალშემკრები აუზის ფართობის ის ნაწილი, რომლის საზღვრებიც მეზობელ სადგურებამდე მანძილის ნახევარზე გადის:

$$\bar{x} = \frac{x_1 f_1 + x_2 f_2 + \dots + x_n f_n}{F} \quad (7)$$

სადაც, x_1, x_2 არის ატმოსფერული ნალექი თითოეული მეტეოსადგურიდან;

F - წყალშემკრები აუზის საერთო ფართობი;

f_1, f_2 - თითოეული სადგურის ფართობი.

ნალექების რაოდენობა მაღალმთიან რაიონში, სადაც არ არის დაკვირვების პუნქტები განისაზღვრება ნალექების ვერტიკალური გრადიენტის მიხედვით [47],[49],[50]:

$$\gamma_x = 100(X_1 - X_2)/(H_1 - H_2) \quad (8)$$

სადაც, γ_x არის ნალექის ვერტიკალური გრადიენტი, მმ/100მ;

X_1 და X_2 - ნალექების რაოდენობა მეტეოსადგურებზე;

H_1 და H_2 - მეტეოსადგურების სიმაღლე;

ნალექების გრადიენტის მუდმივობის შემთხვევაში აუზის სიმაღლეების მთელს დიაპაზონში, ნალექების რაოდენობა ნებისმიერ სიმაღლეზე განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით [47],[49],[50]:

$$X_1 = X_2 + 0,001\gamma_x (X_1 - X_2) \quad (9)$$

წვიმის წყლების ჩამონადენის გაანგარიშება და მათი პროგნოზირება, მდინარეთა ცალკეული აუზებისათვის, მრავალი ბუნებრივი ფაქტორის ზეგავლენით ფორმირდება. განსაკუთრებით ეს ეხება მთის ტიპის მდინარეებს, სადაც წვიმის ჩამონადენის ფორმირება კიდევ უფრო რთულდება, მდინარეთა კალაპოტებში კალთური ჩამონადენის გარბენის დროის სიმცირის და ატმოსფერული ნალექების შესახებ მონაცემების არ არსებობის გამო მდინარეთა სათავეებში. წვიმის წყლის ჩამონადენი განისაზღვრება შემდეგის სახის დამოკიდებულებით [51]:

$$Q_t = f_t h_1 + f_{t-1} h_2 + \dots + f_1 h_t = \sum_{k=1}^t f_k h_{t-k+1} = \sum_{k=1}^t f_{t-k+1} h_k \quad (10)$$

სადაც, Q_t არის ჩამონადენის შესაბამისი წყლის ხარჯი t დროში;

f_t - ერთდროული ჩამონადენის ფართობი, რომელიც ჩამკეტი კვეთისათვის წყლის გარბენის დროის და მდინარის დინების სიჩქარის ფუნქციას წარმოადგენს;

h - ჩამონადენის ფენის სისქე (X -წვიმის წყლის ფენის სიმაღლე);

P - ჩამონადენის ჯამური დანაკარგები დროში;

აღსანიშნავია რომ, ნალექის ფენის განსაზღვრის სიზუსტე დამოკიდებულია დაკვირვების პუნქტების სიხშირეზე და ნალექის განაწილებაზე აუზის

ტერიტორიაზე. რაც უფრო არათანაბრად არის განაწილებული ნალექი, მით უფრო მეტი გამზომი პუნქტის მოწყობა იქნება საჭირო.

2.5. ინფილტრაცია და ზედაპირული შეკავება

გასათვალისწინებელი ფაქტორია რომ წვიმის ჩამონადენის ფორმირების დროს დაიკვირვება ორი ძირითადი დანაკარგი: ნიადაგში ჩაჟონილი წყლის რაოდენობა და ზედაპირზე მის ჩალრმავეებში დაკავებული წყლის რაოდენობა. ნიადაგებში ჩაჟონილი წყლის რაოდენობა დამოკიდებულია ნიადაგის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე, ხოლო ერთნაირ პირობებში - მოსული ატმოსფერული ნალექების ინტენსიურობაზე და ნიადაგის წინასწარი დატენიანების ხარისხზე. ინფილტრაციის ინტენსიურობის სახეებია:

ა) მუდმივი მნიშვნელობა, რომელიც მთლიანად შთანთქმის ფაზაა გარკვეული დროის განმავლობაში მთლიანად იჟონება.

ბ) ინტენსიურობის კლებადი ფაზა.

გ) შედარებით მუდმივი ფაზა, სადაც ფილტრაციის მახასიათებელს უახლოვდება ინფილტრაციის ინტენსიურობა.

ინფილტრაციული წყლების უშუალო შეფასება ვერ ხერხდება, ცდების საშუალებით დადგენილია მისი ზოგიერთი კანონზომიერება. ინფილტრაციის ინტენსიურობა აღინიშნება I , მისი განზომილებაა მმ/სთ-ში ან მმ/წთ-ში ე. ი. დროის ერთეულში ჩაჟონილი წყლის რაოდენობა: $I=it$.

მიუხედავად იმისა, რომ ზოგადად ინფილტრაციის ინტენსიურობის კანონზომიერება შესწავლილია მისი ანალიზური გამოსახვა საკმარისად რთულია. სხვადასხვა მკვლევარის მიერ მიღებულია შემდეგი სახის ემპირიული ფორმულები: [47],[49],[50]:

$$i = k + \sqrt{\frac{0,5kHd}{t}} \quad (11)$$

სადაც, i არის ინფილტრაციის ინტენსიურობა, მმ/წმ;

K - ფილტრაციის კოეფიციენტი;

H - წყლის კაპილარული აწევის მაქსიმალური სიდიდე;

d - სინოტივის დეფიციტი;

t- წვიმის ხანგრძლივობა.

აღსანიშნავია ასევე ავსტრალიელი მეცნიერის ფილიპის მიერ შემოთავაზებული ფორმულა [47], [49],[50]:

$$i = \frac{S}{2t^{1/2}} + A \quad (12)$$

სადაც, S და A ახასიათებენ ნიადაგის შთანთქმის უნარს და წყალგამტარობას, რომლებიც დამოკიდებულია ნიადაგის თვისებებზე და ნიადაგის ტენიანობის დეფიციტზე.

ზემოაღნიშნული ფორმულების ნაკლს წარმოადგენს წვიმის ინტენსიურობის გაუთვალისწინებლობა. ამ უკანასკნელის გათვალისწინებით როდესაც ინფილტრაციის საწყისი ინტენსიურობა უდრის წვიმის ინტენსიურობას დროის გარკვეულ მონაკვეთში, თანაბარი ინტენსიურობის წვიმის და ერთგვაროვანი ნიადაგის ტიპის დროს გამოიყენება შემდეგი სახის ფორმულა [47], [49],[50]:

$$i = (h - k) e^{-\frac{ht}{d}} + k \quad (13)$$

სადაც, h არის ნალექის ინტენსიურობა მმ/წთ;

k - ფილტრაციის კოეფიციენტი,მმ/წთ;

d - ნიადაგის სინოტივის დეფიციტი, მმ;

t - წვიმის ხანგრძლივობა.

არათანაბარი ინტენსიურობის წვიმის დროს გამოიყენება შემდეგი სახის ფორმულა [47], [49],[50]:

$$i = (h_0 - k) e^{-\alpha(x-x_0)} + k \quad (14)$$

სადაც, i არის წვიმის ინტენსიურობა ნალექის სრულად შთანთქმის ფაზის ბოლოს მმ/წთ;

x - ნალექების რაოდენობა, რომელიც დაეცა მოცემულ დროში t, მმ;

α - არის პარამეტრი, რომელიც დამოკიდებულია ნიადაგის ტენიანობის დეფიციტზე და მის ბუნებაზე;

α_0 - ნალექის საწყისი შთანთქმა, მმ.

წვიმის დროს ნიადაგში ჩაჟონილი წყლის საერთო რაოდენობის განმსაზღვრელი ფორმულის ზოგადი სახე კი ასეთია [47], [49],[50]:

$$I = X_0 + I_t + X_i \quad (15)$$

სადაც, X_0 - არის ნალექის ფენა, რომელიც შეიწოვება საწყის ეტაპზე;

I_t - ნიადაგის მიერ შთანთქმული ნალექების ფენა იმ პერიოდში, როდესაც წვიმის ინტენსიურობა აღემატებოდა ინფილტრაციის ინტენსიურობას;

X_i - ნალექების ფენა იმ პერიოდებისთვის, როდესაც ინფილტრაციის ინტენსიურობა პოტენციურად მეტი იყო წვიმის ინტენსიურობაზე.

ნიადაგის ტენიანობის დეფიციტის მატებასთან ერთად იზრდება შთანთქმული წყლის რაოდენობა. ბრტყელი რელიეფის პირობებში წყალი გროვდება დეპრესიებში და იზრდება ნიადაგის მიერ წყლის შთანთქმის შესაძლებლობები. ნალექების რაოდენობის მატებასთან ერთად, მათი შთანთქმის ინტენსიურობა მცირდება და მიისწრაფვის ფილტრაციის კოეფიციენტის ტოლ ზღვრამდე. შემოთავაზებულია მრავალი ემპირიული ფორმულა ნიადაგში წყლის შეღწევის სიჩქარის გამოსათვლელად [50]:

$$V = k + \frac{A}{t^n} \quad (16)$$

სადაც, V - არის ინფილტრაციის ინტენსიურობა, მმ/წთ;

K - ფილტრაციის კოეფიციენტი მმ/წთ;

t - დრო წვიმის დაწყებიდან,

A და n არის ემპირიული პარამეტრები, რომლებიც დამოკიდებულია ნიადაგების მექანიკურ შემადგენლობაზე, მათ თავდაპირველ ტენიანობასა და წვიმის ინტენსიურობაზე. ფორმულა მიღებულია იმ პირობებისთვის, როდესაც ნიადაგის ზედაპირი დაფარულია წყლის ფენით.

გაუდინარ ჩაღრმავებებით შეკავებული წყლის ფენის სიღრმის განსაზღვრის მიზნით ფართოდ არის გამოყენებული ე. პოპოვის ფორმულა [49],[50] :

$$P = P_0 = 1 - e^{-\frac{x \sum k}{P_0}} \quad (17)$$

სადაც, P_0 - არის წყლის რაოდენობა, რომელიც რჩება აუზის ზედაპირზე, როდესაც ყველა ჩაღრმავება მთლიანად ივსება;

$\sum k$ - წყლის ფენის სისქე შთანთქმის დროს;

X - ნალექის ფენის სისქე.

თავის მხრივ P_0 დამოკიდებულია წყალშმკერბი აუზის ზედაპირის დახრილობაზე და გამოითვლება :

$$P_0 = P_{max} (1 - ai)^2 \quad (18)$$

სადაც, P_{max} არის მაქსიმალური შეკავების უნარი; i - წყალშემკრები აუზის დახრილობა; $\alpha = \frac{B}{2\Delta H}$, აქ B - დეპრესიებს შორის მანძილია, ხოლო ΔH - დისპერსიის საშუალო სიღრმე.

ნალექის დროს აორთქლება უმნიშვნელოა და არ არის გათვალისწინებული ანგარიშებში.

ნალექებით გამოწვეული ჩამონადენის განსაზღვრა შესაძლებელია ასევე ემპირიული კავშირით ჩამონადენსა და ნალექებს შორის $y=f(X)$. ასეთი კავშირები შედარებით შეზღუდულადაა გამოყენებული და წყალშემკრები აუზის მცირე ფართობისათვის იყენებენ, სადაც X თანაბრად განაწილებულად არის მიღებული. ასეთი კავშირის გამოყენების შემთხვევაში ხშირად მესამე ცვლადად გაითვალისწინება ნიადაგის წინასწარი დატენიანების ხარისხი, ან ტენიანობის დეფიციტი, ხოლო იქ სადაც მესამე ცვლადი ტენიანობის მახასიათებელია, ასეთ შემთხვევაში მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება სინოტივის დეფიციტის განსაზღვრას. მისი უშუალო გაზომვა რთულია, ამიტომ მიახლოებით ხდება სინოტივის დეფიციტის გაანგარიშება.

ნიადაგის ზედა ფენის დატენიანების ხარისხს მასში არსებული წყლის რაოდენობა განსაზღვრავს, რომლის მარაგის და მისი ცვლილების შეფასება რთულია შესაბამისი მონაცემების არარსებობის გამო. ხსენებულის გამო წვიმების ჩამონადენის განსაზღვრად გამოიყენება მდინარეების წყალშემკრები აუზების სინოტივის ირიბი მახასიათებლები. ნიადაგის ზედა ფენის სინოტივის ცვლილება ტემპერატურაზეა დამოკიდებული და მას, გვალვიანი წლისათვის, დროში კლებადი ფუნქციის სახე აქვს [47],[49],[50]:

$$W_t = (W_0 - \omega)e^{-kt} + \omega \quad (19)$$

სადაც, W_t - არის საანგარიშო სინოტივე, მმ;

t - დრო;

W_0 -საწყისი სინოტივე, მმ;

ω - გამოშრობის ზღვრული მნიშვნელობა, მმ;

k - დამოკიდებულია ჰაერის ტემპერატურაზე, ნიადაგის ტიპზე და თვისებებზე;

მე-(19) ფორმულით შესაძლებელია ტენიანობის რეზერვის გამოთვლა ნიადაგში დღიურ ჭრილში. თუმცა ნიადაგის ტენიანობაზე დაკვირვების არარსებობის

შემთხვევაში, აღნიშნული ფორმულა ვერ იქნება გამოყენებული. ამიტომ ტენიანობის შეფასებისათვის გამოიყენება ირიბი მახასიათებლები, როგორც არის [47],[49],[50]:

$$U = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (20)$$

სადაც, $x_2 \dots x_n$ არის ნალექების რაოდენობა,მმ;

$a_1, a_2 \dots a_n$ - აუზის ფიზგეოგრაფიული პირობების და დროის მიხედვით განსაზღვრული კოეფიციენტები.

ჰაერის 10°C-ზე მაღალი ტემპერატურისთვის, რეკომენდაციას უწევს შემდეგი ფორმულის გამოყენებას [47], [49],[50]:

$$U = x_1 + 0.7 \sum_2^4 x_i + 0.5 \sum_5^9 x_i + 0.3 \sum_{10}^{14} x_i + 0.2 \sum_{15}^{30} x_i + 0.1 \sum_{31}^{60} x_i, \quad (21)$$

სადაც, x_1 არის ნალექების რაოდენობა წინა დღისთვის;

$\sum_2^4 x_i$ –ნალექის რაოდენობა სავარაუდო თარიღამდე მეორე, მესამე და მეოთხე დღეებში და ა.შ, ხოლო შეერთებულ შტატებში ფართოდ გამოიყენება შემდეგი სახის ფორმულა [47], [49], [50]:

$$U_n = kU_{n-1} \quad (22)$$

სადაც, k რეგიონალურ ცვლილებებზე დამოკიდებული კოეფიციენტია და იცვლება 0,85-0,95 ფარგლებში.

ამრიგად, წვიმის ჩამონადენის ფორმირების ძირითადი განმაპირობებელი ფაქტორებია: მოსული ატმოსფერული ნალექები, აუზის წყალშთანთქმელობითი მახასიათებელი და აუზის კონფიგურაცია, აგრეთვე მცენარეული საფარი. ანგარიშგასაწევია მოსული ნალექების ხანგრძლივობა, ინტესიურობა და მისი განაწილება აუზში. ნალექების შეფასება შეგვიძლია უშუალო დაკვირვებით და ის მეტნაკლები სიზუსტით შესაძლებელია გამოვიყენოთ პროგნოსტული ამოცანებისათვის.

2.6. მდინარის წყალშემკრებ აუზში თოვლის მარაგის შეფასება

თოვლის მარაგი წინასწარი ფაქტორია, რომელიც პროგნოზის გაცემის მომენტში არის ცნობილი, ოღონდ გავლენას მოახდენს სამომავლოდ. თოვლის

მარაგების შეფასების სიზუსტეზეა დამოკიდებული პროგნოსტული მეთოდის სიზუსტე. თოვლის მარაგი აუზებში სიმაღლეების ფართო დიაპაზონით და სადამკვირვებლო პუნქტების მწირი ქსელით გამოითვლება თოვლის მარაგის მოდულის კოეფიციენტით [49]:

$$k = k_{1i} \frac{\bar{s}_1}{s} f_2 + k_{2i} \frac{\bar{s}_2}{s} f_2 + \dots + k_{ni} \frac{\bar{s}_n}{s} f_n \quad (23)$$

სადაც, თოვლის მარაგის მოდულის კოეფიციენტებია, 1,2,...,n სიმაღლითი ზონისთვის, i -წლებისთვის;

\bar{s} -საშუალო მრავალწლიური თოვლის მარაგი;

S_1, S_2, \dots, S_n -საშუალო მრავალწლიური თოვლის მარაგი თითოეული სიმაღლითი ზონისთვის;

$f_1, f_2 \dots f_n$ -შესაბამისი სიმაღლის ზონების ფართობების თანაფარდობა მთელი აუზის ფართობთან.

გარდა ზემო აღნიშნული ფაქტორებისა მთის მდინარეების ჩამონადენის ფორმირების ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტი თოვლის ნადნობი წყალია, რომელიც ყველაზე მარტივად გამოიხატება ჰაერის დადებითი ტემპერატურის ჯამზე დამოკიდებულებით დნობის კოეფიციენტის k-ს საშუალებით [49], [50]:

$$h_t = k \sum_{i=1}^{i=t} T_i^+ \quad (24)$$

სადაც, h_t - არის ნადნობი წყლის რაოდენობა პროგნოზის შედგენის t დროს;

i -დღეების რაოდენობა,ჰაერის ტემპერატურის 0 °C-ზე გადასვლის მომენტიდან;

T_i^+ - ჰაერის დადებითი ტემპერატურა.

თოვლის საფარის სისქესა და ადგილის სიმაღლეს შორის დამოკიდებულება მეტად საყურადღებო ფაქტორია, ამიტომ მეტად მნიშვნელოვანია თოვლის მარაგის შეფასებისას სხვადასხვა სიმაღლეებზე ჰიფსომეტრიული მრუდის გამოყენება, რაც გულისხმობს სიმაღლეების მიხედვით ფართობების განაწილებას. მთის მდინარეებისთვის მეტად მნიშვნელოვანია წყალშემკრებ აუზში სიმაღლის ცვალებადობით გამოწვეული არათანაბარად გადანაწილებული თოვლის მარაგის რაოდენობის შეფასება. თოვლის მარაგის საფუძველზე ჩამონადენის პროგნოზირებისთვის ზემოთ აღნიშნული გამოსახულებების გარდა გამოიყენება შემდეგი ტიპის უმარტივესი კორელაციური კავშირები [47], [49], [50]:

$$\bar{Q}_{t+5} = f(S_t, C) \quad (25)$$

სადაც, \bar{Q}_{t+5} არის საშუალო წყლის ხარჯი წინმსწრები პერიოდისათვის (1-5 დღე);

S_t - არის წყლის მარაგი თოვლის საფარში საპროგნოზო დღეს;

C- თავისუფალი წევრი.

სიმაღლეთა ცვალებადობა მდინარის აუზში გასაზღვრავს აგრეთვე ტემპერატურის მიხედვით იმ აუზის ფართობის წვლილს, საიდანაც გვაქვს ნაღობი წყლები. აუზის საშუალო სიმაღლეზეა დამოკიდებული აგრეთვე წყალდიდობის დაწყების პერიოდი. მთის მდინარეებისთვის ერთ-ერთი რთული ამოცანაა ძირითადი განმსაზღვრელი ფაქტორის - თოვლის მარაგის შეფასება. სირთულე გამოწვეულია აუზში თოვლის არათანაბარი განაწილებით და შემდეგ თვითონ უშუალოდ გაზომვის სირთულით. აკუმულირებული თოვლის რაოდენობა წყლის ექვივალენტში ზოგადი სახით განისაზღვრება თოვლის საფარის სისქის, სიმკვრივის და ადგილის სიმაღლის მიხედვით რეალური ფართობების განაწილების მონაცემების მიხედვით.

თოვლის მარაგი ზოგადად შეიძლება შეფასდეს შემდეგი დამოკიდებულებით [45],[47]:

$$X = \varphi_1 x_1 + \varphi_2 x_2 + \dots + \varphi_n x_n, \quad (26)$$

სადაც, x_1, x_2, \dots, x_n აუზის სხვადასხვა სიმაღლეზე თოვლის მარაგის მნიშვნელობებია;

$\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ ამ ნიშნულებზე ფარდობითი ფართობებია, $\sum \varphi_n = 1$.

ცნობილია რომ, თოვლის მარაგის ძირითადი ნაწილი ყველა მდინარის აუზისათვის სავეგეტაციო პერიოდში დნება და მთლიანად ჩამონადენის სახით ყალიბდება, მაგრამ არანაკლებ მნიშვნელოვანია ნარჩენი თოვლის შეფასება. საქართველოს პირობებში ძირითადად, თოვლის საფარის დნობა უმეტეს შემთხვევაში აპრილის თვეში იწყება და მომდევნო თვეებისთვის მნიშვნელოვანი ხდება არა თოვლის საწყისი მარაგი, არამედ ნარჩენი თოვლის მარაგი, რომელიც ძირითადად გავლენას ახდენს მაისის თვის ჩამონადენზე. ამავე დროს, აღსანიშნავია, რომ ამ პერიოდში ტემპერატურას ისეთი მნიშვნელოვანი გავლენა არა აქვს ჩამონადენის სიდიდეზე. აქ ძირითად კავშირად გამოიყენება კორელაციური კავშირი ჩამონადენისა და ნარჩენი თოვლის მარაგს შორის. ამ

შემთხვევაში რთული ხდება შევსებასთან თოვლის რა მარაგი დაგვრჩა, პრაქტიკულად ის შეიძლება განხორციელდეს მარშრუტული აგეგმვით, რომელიც სხვა მეთოდებთან უპირატესობს, რადგან თოვლის მარაგის შეფასება ხდება უშუალოდ თოვლის დნობის წინ. მაგრამ პრაქტიკული გამოყენება აქვს შეზღუდული, რადგან თოვლის საფარი ცვალებადია სიმაღლის ზრდასთან ერთად. ამასთან რაც უფრო იმატებს სიმაღლე მეტია თოვლის რაოდენობაც და შედეგად თოვლის საფარის შეფასება მაღალ ნიშნულებზე ფიზიკური პირობიდან გამომდინარე რთულდება.

თოვლის აგეგმვის მონაცემებით ჩამონადენის პროგნოზი განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$Q_{IV-VII} = f(W), \quad (27)$$

სადაც, Q_{IV-VII} არის წყალდიდობის პერიოდის საშუალო ხარჯი;

W -საკვლევ აუზში თოვლის წყლის მარაგის გასაშუალოებული მნიშვნელობაა წყალდიდობის დაწყებამდე.

პირველი შეფასება თოვლის მარაგის საორენტაციო პროგნოზისთვის ხდება თებერვალში, ხოლო საბოლოო დაზუსტებული მარტის მეორე ნახევარში. მარშრუტული აგეგმვა ხდება ყოველწლიურად ერთი და იგივე ფიქსირებული მარშრუტების მიხედვით, სიმაღლეთა სხვაობა მიიღება ყოველ 100 მ-ზე. ზოგიერთ შემთხვევაში კი გამოიყენება შემდეგი გამოსახულება:

$$Q_{IV-VII} = f(W_1, W_2, \dots, W_n), \quad (28)$$

სადაც, W_1, W_2, \dots, W_n არის სხვადასხვა სიმაღლეზე, კერძოდ ყოველ 100 მ-ში თოვლში წყლის მარაგის მნიშვნელობები.

აღნიშნული დამოკიდებულება არის მრავალ ცვლადს შორის კავშირი, რომელიც დიდი ხანია გამოიყენება კავკასიის და შუა აზიის მდინარებისთვის და გაცილებით ზუსტია წინა მეთოდთან შედარებით.

თოვლის მარაგის შეფასება ასევე ხდება ზამთარში მოსული ნალექების მიხედვით, მაგრამ ამ შეფასებას აქვს უარყოფითი მხარეები, კერძოდ მეტეოსადგურების სიმცირე საკვლევ აუზში, რის გამოც სრულ შეფასებას ვერ ვღებულობთ. მეორე სირთულეა ის, თუ რომელი პერიოდი ჩაითვლება საანგარიშოდ თოვლის სახით მოსული ნალექებისთვის. ყოველწლიურად ნალექი თოვლის სახით მოდის სხვადასხვა დროს და ცვალებადია თოვლის მოსვლის საწყისი სიმაღლეების

მიხედვითაც. ამიტომ ხშირად გამოიყენება გასაშუალოებული პერიოდი. საქართველოს მდინარეებისთვის XI-III თვეებში მოსული ნალექები განიხილება. რაც მეტ მონაცემს გამოვიყენებთ მით უფრო დაზუსტდება თოვლის მარაგის რაოდენობა. თუ მდინარის აუზში არსებობს რამდენიმე მეტეოსადგურის მონაცემები, ამ შემთხვევაში პროგნოზული მოდელისთვის გამოიყენება ცვლადებს შორის შემდეგი კავშირი, რაც იძლევა დამაკმაყოფილებელ შედეგს, კერძოდ ორ ცვლადს შორის კავშირით:

$$Q_{IV-III} = f(X_{XI-III}) \quad (29)$$

თოვლის მარაგი შეიძლება შეფასდეს მოქმედ სადგურებზე ზამთარში მოსული ნალექების საშუალო მნიშვნელობით, მრავალ ცვლადს შორის კავშირით [45],[47]:

$$X_{XI-III} = \frac{X_{XI-III}^{(1)} + X_{XI-III}^{(2)} + X_{XI-III}^{(3)} + \dots + X_{XI-III}^{(n)}}{n} \quad (30)$$

$$Q_{IV-III} = f(X_{XI-III}^1, X_{XI-III}^2, \dots, X_{XI-III}^n) \quad (31)$$

მრავალ ცვლადს შორის კავშირის შემთხვევაში დგება უკეთესი შედეგი, რადგან რეგრესიის განტოლებაში თითოეული წევრი ხასიათდება თავისი რეგრესიის კოეფიციენტით.

გარდა ზემო აღნიშნული ორი ხერხისა, არსებობს კორელაციური მეთოდი, რომელიც გულისხმობს კორელაციურ კავშირს წყალდიდობის პერიოდის ხარჯსა და თითოეული სადგურის ზამთრის ნალექს შორის. საანგარიშო მოდელები ლაგდება უდიდესი „r“ მქონე სადგურების მიხედვით:

$$Q_{IV-III} = f(X_{XI-III}^1, X_{XI-III}^2, X_{XI-III}^n); \quad (32)$$

$$Q_{IV-III} = f(\overline{X^{1-n}}) \quad (33)$$

ასევე გამოიყენება მრავალ ცვლადს შორის კორელაციური კავშირი-ანუ ფასდება თითოეული პრედიქტანტის წვლილი ჩამონადენის ფორმირებაში:

$$\sigma_i = \frac{|r_{oi}a_{oi}|}{|r_{o1}a_{o1}| + |r_{o2}a_{o2}| + |r_{on}a_{on}|} \quad (34)$$

სადაც, n არის მეტეოსადგურების რაოდენობა;

$\sum \sigma_i = 1$, ანუ წვლილის სიდიდეები ფიქსირდება 1-ის ნაწილში.

ხშირ შემთხვევაში ნალექებით თოვლის მარაგის შეფასების დროს დგინდება ნალექის გრადიენტი, ისევე როგორც ტემპერატურის, რაც გამოიყენება ნალექების მარაგის შესაფასებლად, იქ სადაც არ არის გაზომვების მონაცემები.

ვინაიდან, მყარი ნალექების წლიური რაოდენობა მჭიდრო კავშირშია ადგილის აბსოლუტურ სიმაღლესთან, გასათვალსიწინებელია რომელ რეგიონში ხდება თოვლის საფარის შეფასება, რადაც კვლევებით დადგენილია რომ ერთსა და იმავე აბსოლუტურ სიმაღლეზე ნალექების წლიური რაოდენობა არის სხვადასხვა [52].

ამრიგად, სიმაღლეთა ცვალებადობა მდინარის აუზში განსაზღვრავს აგრეთვე ტემპერატურის მიხედვით იმ აუზის ფართობის წვლილს, საიდანაც გვაქვს ნაღობი წყლები. აუზის საშუალო სიმაღლეზეა დამოკიდებული წყალდიდობის დაწყების პერიოდიც.

როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული ტერიტორიის თოვლიანობას განსაკუთრებით კარგად ახასიათებს მოსული თოვლის რაოდენობა და თოვლის საფარის სიმაღლე. ამასთან, გასათვალისწინებელი ფაქტორია თოვლიანობის მიხედვით საქართველოს ტერიტორიის დაყოფა, ოთხ რაიონად, ესენია: განსაკუთრებით უხვთოვლიანი, საშუალოთოვლიანი და მცირეთოვლიანი რაიონები [53]. თითოეული ამ რაიონისთვის ადგილი აქვს მყარი ნალექების ადგილის აბსოლუტური სიმაღლის მიხედვით ცვლილების თითქმის ერთნაირ კანონზომიერებას. ადგილის აბსოლუტურ სიმაღლესთან მყარი ნალექების დამოკიდებულების გატოლებებს ასეთი სახე აქვს [53],[54]:

$$\text{განსაკუთრებით უხვთოვლიანი} - X=0,69HH + 8; \quad (35)$$

სადაც, X არის მყარი ნალექების წლიური რაოდენობა მმ-ში, H- ადგილის აბსოლუტური სიმაღლე მ-ში.

$$\text{უხვთოვლიანი} - X=0,45HH - 113; \quad (36)$$

სადაც, X არის მყარი ნალექების წლიური რაოდენობა მმ-ში, H- ადგილის აბსოლუტური სიმაღლე მ-ში.

უხვთოვლიან რაიონში, შავი ზღვის გავლენის შესუსტების გამო მოსული მყარი ნალექების რაოდენობა კლებულობს. მისი რაოდენობა შედარებით ნაკლებია, მდ.ენგურის, მდ.რიონის, მდ.აჭარისწყლისა და მათი მთავარი შენაკადების სათავეების მიმდებარე ტერიტორიებზე, რაც განპირობებულია ოროგრაფიული პირობებით.

$$\text{საშუალოთოვლიანი} - X=0,45H - 113; \quad (37)$$

სადაც, X- არის მყარი ნალექების წლიური დაოდენობა მმ-ში, H- ადგილის აბოლუტური სიმაღლე მ-ში.

საშუალოთოვლიანი რაიონის ტერიტორიის დასავლეთ ნაწილზე დიდია ზღვის ნოტიო ჰაერის მასების გავლენა, ამიტომ მყარი ნალექებისა და თოვლის საფარის სიდიდე შენარჩუნებულია.

მცირეთოვლიანი - $X=0,21H-193$. (38)

სადაც, X არის მყარი ნალექების წლიური რაოდენობა მმ-ში, H- ადგილის აბოლუტურ სიმაღლე მ-ში.

მცირეთოვლიან რაიონში დასავლეთის ნოტიო ჰაერის მასების გავლენა შესუსტებულია და ამით არის განპირობებული მყარი ნალექების და თოვლის საფარის სიმცირე, ხოლო მყარი ნალექებისა და თოვლის საფარის სიდიდე შენარჩუნებულია. დადგენილია რომ, თითოეული განტოლებისათვის კორელაციის კოეფიციენტი ტოლია 0.85-0.90.

კვლევებით დაადგინეს [53],[54] რომ, მყარი ნალექების გამოთვლის მეთოდებიდან საქართველოს ტერიტორიისთვის კარგ შედეგებს იძლევა ე.წ ვ. ცომიას მეთოდი, რომელიც გულსხმობს ატმოსფერული ნალექებისა და ჰაერის ტემპერატურის მოანცემების არსებობის შემთხვევაში მყარი ნალექის დადგენის შესაძლებლობას.

მყარი ნალექების წილი პროცენტებში გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით [54]:

$$P_t = 100, \text{ როცა } t \leq t_T \quad (39)$$

$$P_t = \frac{t_d - t}{t_d - t_T}, \text{ როცა } t_T \leq t_d \quad (40)$$

$$P_t = 0, \text{ როცა } t \geq t_d$$

$$t_d = 8 + 0,2t_T; \quad (41)$$

$$t_T = t_d - \frac{256,4}{32,4 - t_d}; \quad (42)$$

$$t_T = 1 - 0,25(t_T - t_T). \quad (43)$$

სადაც, P- არის მყარი ნალექების წილი (%) ატმოსფერული ნალექების წლიურ ან თვიურ ჭრილში.

t_d - არის ჰაერის ტემპერატურა წვიმის დროს;

t_T - ჰაერის ტემპერატურა თოვის დროს

t_t - ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურა;

t_f - ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა;

t_r - წლის განმავლობაში მაქსიმალური ტემპერატურის მქონე თვის საშუალო ტემპერატურა.

2.7. მცინვარული ჩამონადენის განსაზღვრა

მცინვარული საზრდობის მდინარეების ჩამონადენის უმთავრეს წყაროს წარმოადგენს მცინვარის ზედაპირზე და მის შიგნით მიმდინარე აბლაციური პროცესები. აქედან გამომდინარე, მსგავსი ტიპის მდინარეების დონეები და ხარჯები დამოკიდებულია მცინვარის რეჟიმზე, რაც აისახება წყლის ხარჯების შიდაწლიურ გადანაწილებაზე. მცინვარული საზრდობის მდინარეებზე ხარჯების ძირითადი ნაწილი მოდის ზაფხულის თვეებზე. განსაკუთრებული წყალუხვობით ხასიათდებიან გაზაფხულის სეზონზე, როცა წყალშემკრებ აუზში დნობას იწყებს ზამთრის განმავლობაში დაგროვილი თოვლის საფარი. უფრო მოგვიანებით ივლისის თვიდან იწყება ყინულის დნობის პროცესი, რომელიც ოქტომბრის თვემდე გრძელდება.

მცინვარული ჩამონადენის განსაზღვრა, მოიცავს შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტას:

1. მცინვარული საზრდობის მქონე მდინარის ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელების შედგენას;
2. მდინარის საერთო ჩამონადენში მცინვარული წყლების წილის შეფასებას;
3. კლიმატის თანამედროვე ცვლილების პირობებში სრული და მცინვარული ჩამონადენის დინამიკის გამოკვლევას.

მცინვარული ჩამონადენის გამოკვლევა შეიძლება შესრულდეს მდინარის საერთო ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელის საფუძველზე. მოდელი შეიძლება ასახავდეს ჩამონადენის (R) ემპირიულ – სტატისტიკურ კავშირს ტემპერატურა – ნალექების (t, P) კომპლექსთან:

$$R = f(t, P) \quad (44)$$

ამისათვის გამოიყენება მეტეოსადგურის და ჰიდროლოგიური საგუშაგოს ისტორიული მონაცემები, ასევე წყალშემკრებ აუზში არსებული ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის სხვადასხვა პერიოდში არსებული პუნქტების ინფორმაცია. ხოლო ჰიდრომეტეოროლოგიური მახასიათებლების რიგებში გამოტოვებული ელემენტების განსაზღვრა და რიგების მიყვანა ერთი და იგივე პერიოდამდე (ინტერპოლაცია და ექსტრაპოლაცია) შესრულებულია ემპირიული ფუნქციის ვექტორებად დაშლის მეთოდით.

მეორე ამოცანა შეიძლება გადაწყდეს, წყალბალანსური ტიპის მოდელების აგებით, რომელთა ზოგადი სახე წარმოდგენილია შემდეგი სახის განტოლებით [55]:

$$R = R_{გრ} + R_{ნალ} + R_{მყ} \quad (45)$$

R არის მდინარის სრული ჩამონადენი, $R_{გრ}$ – მიწისქვეშა (გრუნტის წყლების) ჩამონადენი, $R_{ნალ}$ – ატმოსფერული ნალექებით ფორმირებული ჩამონადენი, ხოლო $R_{მყ}$ – მყინვარული ჩამონადენი. განტოლებაში შემავალი მყინვარული ჩამონადენის კომპონენტი.

$$R_{მყ} = R - R_{გრ} - R_{ნალ} , \quad (46)$$

შეიძლება შეფასდეს დანარჩენი წევრების განსაზღვრით ჰიდრომეტეოროლოგიურ მონაცემთა რიგების საფუძველზე. კერძოდ, R განსაზღვრება უშუალოდ გაზომვებით მიღებული მახასიათებლებით და რეგრესიული მოდელის $R = f(t, P)$ გამოყენებით, $R_{გრ}$ აიღება, როგორც ზამთრის თვეების მინიმალური ჩამონადენის სიდიდე, ხოლო $R_{ნალ} = (P - E)K$ გამოითვლება მყარი და თხევადი ნალექებისა და აორთქლების სიდიდეების სხვაობით, ასევე აუზის და ჰ/კვეთისთვის დამახასიათებელი K ჩამონადენის კოეფიციენტის მიხედვით.

მყინვარის აბლაციის პერიოდში წარმოქმნილი მოდნობის სიდიდის განსაზღვრა შეიძლება, შემდეგის სახის ემპირიული გამოსახულების საფუძველზე [55]:

$$Q = 0.038 F (1 + t_{გ}) \exp (1.37 k_1^2) \quad (47)$$

ან

$$Q = 0.051 F (1 + t_{გ}) (0.75 + 2.2 k_1^3) \quad (48)$$

სადაც, Q (მ³/წმ) – ნადნობი წყლების საშუალო დღეღამური ხარჯია აბლაციის პერიოდში (აპრილი – ოქტომბერი);

F (კმ²) მყინვარის ზედაპირის ფართობია;

$t_{გ}$ °C – ფირნის ხაზზე ჰაერის საშუალო ტემპერატურა აღნიშნულ პერიოდში;

k_1 – მცინვარის ენისა და მისი სრული ფართობების შეფარდება;

ეს საშუალებას იძლევა დადგინდეს ჩამკვეტ ჰ/კვეთისთვის მდინარის მცინვარული ჩამონადენის $R_{აყ}$ ($მ^3/წმ$) წილი მცინვარული აუზის R $მ^3/წმ$ სრულ ჩამონადენში [55]:

$$K_2 = R_{აყ} / R \times 100\% \quad (49)$$

მეორე ამოცანის გადასაწყვეტად გამოიყენება ჩამონადენის მათემატიკური მოდელები, რომელთა დახმარებით შეიძლება განვსაზღვროთ მცინვარული ჩამონადენის კოეფიციენტის ყოველწლიური მნიშვნელობები.

როცა $R_{აყ}=Q$ ანუ მცინვარული აუზიდან ჩამონადენი სრულად ქმნის ჩამკვეტ კვეთში მდინარის მცინვარულ ჩამონადენს, მაშინ კოეფიციენტის განსაზღვრა შეიძლება შემდეგი გამოსახულებით:

$$K_2 = 0.274 n Q / R = 0.01 n F (1 + t_{ფ}) \exp (1.37 k_1^2) / R, \quad (50)$$

სადაც, n აბლაციის პერიოდში დღეების რიცხვია, Q და R საშუალო წლიური ხარჯებია შესაბამისად მცინვარული აუზიდან და მდინარის ჩამკვეტ ჰ/კვეთში.

კლიმატის ცვლილების კონკრეტული სცენარებისათვის შეიძლება დავადგინოთ ჩამონადენის მოსალოდნელი ცვლილება შემდეგი გამოსახულებით:

$$dR = (\partial R / \partial t) dt + (\partial R / \partial P) dP \quad (51)$$

სადაც, $\partial R / \partial t$ და $\partial R / \partial P$ – წარმოადგენს ჩამონადენის კერძო წარმოებულებს ტემპერატურის და ნალექების მიმართ და ფიზიკური არსით გამოხატავენ ჩამონადენის მგრძობელობას ცალ–ცალკე ტემპერატურის და ნალექების ცვლილების პირობებში. ამ სიდიდეთა განსაზღვრა ხდება ჩამონადენის მათემატიკური მოდელის საფუძველზე, ხოლო dt და dP მოცემულია კლიმატური სცენარით. ანალოგიურად განისაზღვრება მცინვარული ჩამონადენის ცვლილება კლიმატური პარამეტრების ვარირების დროს [55],[56].

მცინვარული ჩამონადენის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების შესწავლისას მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს მცინვარის ზედაპირიდან მოდნობის კავშირის დადგენა ჰაერის ტემპერატურასთან. ამ პროცესს ჩვეულებრივ ახასიათებენ საშუალო დღეღამური ტემპერატურის $1^{\circ}C$ -ით მომატებისას მცინვარის ზედაპირის სიმაღლის ცვლილებით. კავკასიონის პირობებში ტემპერატურის $1^{\circ}C$ ნაზრდზე დნობის საშუალო სიჩქარე 6.5 მმ შეადგენს [57]. სხვადასხვა წლებში ჩატარებული გლაციოლოგიური დაკვირვებების საფუძველზე [58], კერძოდ, 1960

წელი (შენგელია რ. ჩიქავაძე მ.), 2000 წელი (ჯანელიძე პ.) 2011 წელი (გობეჯიშვილი რ, ტიელიძე ლ, ლომიძე ნ.) დადგენილია მყინვარის მოდნობის დამოკიდებულება ჰაერის საშუალო დღეღამურ ტემპერატურაზე მყინვარ ჭალათის მაგალითზე, რომელიც მოყვანილია ცხრილში №3.

ცხრილი 3. მყინვარ ჭალათზე დნობის დამოკიდებულება ჰაერის საშუალო დღეღამურ ტემპერატურაზე

ჰაერის საშუალო ტემპერატურა მყინვართან, °C	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
დნობა დღე-ღამეში, მმ	7	11	16	22	29	37	45	55	62	80

გამოვლენილია საშუალო დღე-ღამურ ჰაერის ტემპერატურის და ნადნობი წყლის ფენის სიმაღლეს შორის დამოკიდებულება. ცხრილი №3 თანახმად, ჰაერის საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურის 1 °C მომატება იწვევს 7 მმ დნობას დღე-ღამეში.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით საქართველოს მყინვარული ჩამონადენის ცვლილების კანონზომიერება ჰაერის ტემპერატურასთან და ნალექებთან დამოკიდებულებით, კლიმატის თანამედროვე ცვლილების პერიოდებში მნიშვნელოვანი არგუმენტია საპროგნოზო დამოკიდებულებებში მათი გათვალისწინებისათვის. გარდა ამისა ჰიდროლოგიურ პროგნოზში ჩამონადენის წინასწარი და სამომავლო მაფორმირებელი ფაქტორების გათვალისწინება და მათი საპროგნოზო მაჩვენებლების განსაზღვრა უპირობოდ მნიშვნელოვანია, რადგან თითოეული მაფორმირებელი ფაქტორის განსაზღვრის მეთოდის სწორად შერჩევა ჰიდროლოგიური პროგნოზის სიზუსტეს გაზრდის.

2.8. ჰიდროლოგიური პროგნოზირების ეფექტურობა და დასაშვები ცდომილება

ცნობილია რომ, ჰიდროლოგიური პროგნოზის მოდელის შესადგენად საჭიროა შემდეგი ეტაპების გავლა:

პირველი ეტაპი - დგინდება ფიზიკური არსი იმ მოვლენის, რომლის პროგნოზიც გაიცემა.

მეორე ეტაპი - დგინდება განმაპირობებელი ფაქტორები, რომლებიც ამ მოვლენის ჩამოყალიბებაში მონაწილეობს.

მესამე ეტაპი - დაკვირვებული ანუ საწყისი მონაცემების შეფასება, როგორც პრედიქტანტის, ასევე პრედიქტორის.

მეოთხე ეტაპი- მათემატიკური მოდელის შერჩევა.

ამრიგად, საწყისი მონაცემებით და მიღებული საპროგნოზო მეთოდის საშუალებით დგინდება შერჩეული მეთოდის პარამეტრები და მისი პრაქტიკული მნიშვნელობა.

ჰიდროლოგიური პროგნოზების პრაქტიკაში მოდელის შეფასებისათვის მიღებულია ე. წ. პროგნოზის ეფექტურობა. ეფექტურობა გვიჩვენებს თუ რამდენად უკეთესი იქნება შერჩეული მოდელი საშუალო სიდიდით გაცემულ საპროგნოზო მოდელთან შედარებით. პროგნოზის ეფექტურობის რიცხვითი შეფასება ეს არის ფარდობა: S/σ ან S/σ_{Δ} .

სადაც, საშუალო კვადრატული ცდომილება S გამოითვლება შემდეგი ფორმულით [47]:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (Q_{ფ} - Q_{პრ})^2}{n-m}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n \delta_i^2}{n-m}} \quad (52)$$

n -არის ეფექტურობის შესამოწმებლად მიღებული დაკვირვებული მნიშვნელობების რაოდენობა.

m -თავისუფლების ხარისხი, ანუ მოდელში შეფასებული პარამეტრების რაოდენობა. თუ პროგნოზისთვის გამოყენებულია $y=ax$ საშუალო მნიშვნელობით, $m = 1$. თუ პროგნოზისათვის გამოყენებულია $y=ax+b$ წრფივი კავშირი ორ ცვლადს შორის, მაშინ $m = 2$.

რაც შეეხება σ პრედიქტანტის ანუ საპროგნოზო ელემენტის საშუალო კვადრატულ გადახრას გამოითვლება შემდეგი ფორმულით [47]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (Q_{ფ} - Q_{პრ})^2}{n-1}} \quad (53)$$

სადაც, n არის დაკვირვებული წლების რაოდენობა.

როგორც ფორმულებიდან (52) და (53) ჩანს, თუ პროგნოზის მოდელად შერჩეულია საშუალო მნიშვნელობით პროგნოზირება, მაშინ $S/\sigma=1$. ხოლო, გრძელვადიანი პროგნოზების დროს გამოიყენება შემდეგი დამოკიდებულება [47]:

$$\text{როცა, } n < 15 \text{ მაშინ } \frac{S}{\sigma} \leq 0,70;$$

$$\text{როცა, } 15 < n < 25 \text{ მაშინ } \frac{S}{\sigma} \leq 0,75;$$

$$\text{როცა, } n \geq 25 \text{ მაშინ } \frac{S}{\sigma} \leq 0,80.$$

როდესაც $\frac{S}{\sigma} < 0,5$ მოდელი ფასდება კარგად, ხოლო თუ $\frac{S}{\sigma}$ მოქცეულია 0,5-0,8 დიაპაზონში ითვლება დამაკმაყოფილებლად [47].

აღსანიშნავია რომ, მოკლევადიანი პროგნოზების დროს გამოიყენება σ_{Δ} , რომელიც არის არსებული საშუალო კვადრატული გადახრა პროგნოზის გაცემიდან პროგნოზის დადგომამდე ისეთი მიმდევრობისა, რომელიც არსებობს.

ჩამონადენის სტოქასტური ბუნებიდან გამომდინარე ყოველთვის არსებობს სხვაობა ფაქტობრივ წყლის ხარჯებსა ($Q_{\text{ფ}}$) და საპროგნოზო წყლის ხარჯებს ($Q_{\text{პ}}$) შორის. აქედან გამომდინარე, ფუნქციონალური კავშირები ჩამონადენის შემთხვევაში არასოდეს გვექნება. ცვლადებს შორის, ძირითადად, გვაქვს შემთხვევითი ანუ სტოქასტური კავშირები. იმისათვის, რომ შეფასდეს რამდენად გამართლდა გაცემული პროგნოზი ჰიდროლოგიურ გაანგარიშებებში მიღებულია ცნება დასაშვები ცდომილების შესახებ. ეს დასაშვები ცდომილება დაკავშირებულია პრედიქტანტის გაბნევის სიდიდესთან. გაბნევის სიდიდეს განსაზღვრავს σ , ამიტომ მიღებულია $\Delta_{\text{დას}}=0.674\sigma$. ეს გრძელვადიანი პროგნოზისათვის, ხოლო მოკლევადიანისათვის $\Delta_{\text{დას}}=0.674\sigma_{\Delta}$. გაცემული პროგნოზი ჩაითვლება გამართლებულად თუ სხვაობა $Q_{\text{ფ}} - Q_{\text{პ}}$ შორის \leq დასაშვებ ცდომილებაზე, ანუ $\delta=0.674\sigma$. $\Delta_{\text{დას}}$ საშუალებით ფასდება გაცემული პროგნოზის გამართლების ხარისხი. დასაშვები ცდომილების მიხედვით შეიძლება ითქვას გამართლდა თუ არა პროგნოზი. ამას გარდა, შესაძლებელია წარსულში გაცემული პროგნოზის ხარისხის პროცენტულად შეფასებაც [47],[50].

თავი 3. ჰესების მუშაობის რეჟიმების დაგეგმვა მდინარეში წყლის რესურსის განმსაზღვრელი საპროგნოზო ფაქტორების მიხედვით

3.1. მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირების მნიშვნელობა და არსებული მეთოდების განახლების აუცილებლობა კლიმატის ცვლილების პროცესში

ცნობილია რომ, საქართველოს ჰიდროგრაფიული ქსელი მაღალი სიმჭიდროვით და წყალმოვარდნების მაღალი სიხშირით გამოირჩევა. მდინარეთა სიმრავლის გამო, საქართველოსთვის მეტად მნიშვნელოვანია შეფასდეს მდინარეთა წყლიანობა კლიმატის ცვლილების ფონზე და განხორციელდეს წყალდიდობების, წყალმოვარდნების პროგნოზირება და მისგან გამოწვეული რისკების შეფასება.

ჰიდროლოგიური სიტუაციის მონიტორინგისა და პროგნოზირების განვითარებისათვის მსოფლიოს თითქმის ყველა ქვეყანაში შექმნილია და ფუნქციონირებს ჰიდროლოგიური სადგურებისა და საგუმბაგოების ქსელი. ისინი წარმოადგენენ ძირითად ინფორმაციულ წყაროს წყლის ობიექტების მდგომარეობაზე და მათ ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე.

აღსანიშნავია რომ, საქართველოს მდინარეებზე ჩამონადენის აღრიცხვიანობა XX საუკუნის 90-იანი წლებიდან აღარ ხდება, ამიტომ მეტად მნიშვნელოვანია აქამდე არსებული დაკვირვებების მასალების საფუძველზე წყალდიდობების მაქსიმალური ხარჯების მახასიათებლების დაზუსტება. მაღალი წყალდიდობებისაგან თავდაცვის მიზნით განსაკუთრებით აუცილებელია მათი საპროგნოზო მეთოდის შემუშავება. მართალია, პროგნოზების შემუშავებით სტიქია ვერ აღიკვეთება, მაგრამ მათი საშუალებით შესაძლებელია სტიქიის ნეგატიური ზეგავლენის შესუსტება. პროგნოზებით განსაზღვრული, მოსალოდნელი საშიშროების დროული შეტყობინება, თუნდაც საორიენტაციოდ, კონსულტაციის სახით, საშუალებას იძლევა დროულად ჩატარდეს ყველა პრევენციული ღონისძიება, რათა მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი მსხვერპლის, მოსახლეობისა და სამეურნეო ობიექტებისათვის მიყენებული მატერიალური ზარალის რისკი.

3.2. წყალდიდობები და წყალმოვარდნები საქართველოში

მსოფლიოს სტიქიურ-კატასტროფულ მოვლენებს შორის წყალდიდობებსა და წყალმოვარდნებს ერთ-ერთი პირველი ადგილი უკავია. მათზე მოდის მსოფლიოში სტიქიურ უბედურებებისაგან მიყენებული ზარალის 40% [59;60].

კლიმატის ცვლილების ზემოქმედება საქართველოშიც ფიქსირდება, რაც ბუნებრივი საფრთხეების ექსტრემალური ხასიათით ვლინდება.[61;62] მაღალი მთები, სანაპირო, ასევე ნახევარუდაბნოები საქართველოს აღმოსავლეთ ნაწილში განსაკუთრებით მგრძობიარე არიან კლიმატის ცვლილების მიმართ.[63].

კლიმატის ცვლილებების მესამე ეროვნული შეტყობინების [22] დასკვნები მიუთითებენ ტემპერატურის მოსალოდნელ მატებას (1986-2010 წლებში წლიურ საშუალო ზრდასთან შედარებით).

საქართველოში მდინარეთა რეჟიმის ძირითად ფაზას გაზაფხულის წყალდიდობა წარმოადგენს, რომელსაც მყინვარებისა და თოვლის დნობა, ან თოვლის დნობის დროს ინტენსიური წვიმების თანხვედრა იწვევს, რაც საშიში წყალმოვარდნების ფორმირებასთან არის დაკავშირებული.

სახიფათო წყალმოვარდნები დასავლეთ საქართველოში, როგორც წესი, ფორმირდება შემოდგომის თავსხმა წვიმებით, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში ხდება მისი ზედდება წყალდიდობაზე აპრილ-ივნისში.

აღსანიშნავია, რომ წყალდიდობებისა და წყალმოვარდნების კატასტროფული შედეგების ჩამოყალიბებაში, ხშირ შემთხვევაში, უდიდეს როლს ანთროპოგენური ფაქტორი თამაშობს, რაც ძირითადად მდინარეთა აუზებში ტყის ინტენსიურ გაჩეხვაში და კალაპოტის მიმდებარე ტერიტორიების ურბანულ ათვისებაში გამოიხატება.

წყალდიდობებისა და წყალმოვარდნების რეჟიმით საქართველოში გამოიყოფიან მდინარეები:

- ზაფხულის წყალდიდობით (კავკასიონის ნივალურ ზონაში);
- გაზაფხულ-ზაფხულის წყალდიდობით (სამხრეთით მოსაზღვრე ზონა);
- გაზაფხულ-ზაფხულის წყალდიდობით და შემოდგომის წყალმოვარდნებით; გაზაფხულის წყალდიდობით, შემოდგომის და ზამთრის

წყალმოვარდნებით (დასავლეთ საქართველო);

- გაზაფხულის წყალდიდობით და წყალმოვარდნებით (აღმოსავლეთ საქართველო);
- გაზაფხულის წყალდიდობით და ყინულსვლასთან დაკავშირებული ზამთრის წყალმოვარდნებით (სამცხე-ჯავახეთის ზეგანი);
- წყალმოვარდნები მთელი წლის განმავლობაში (კოლხეთის დაბლობი).

ცალკე გამოიყოფა წყალდიდობები და წყალმოვარდნები, რომლებიც დაკავშირებულია ხეობების კლდეზვავებით, მეწყერებით, მყინვარული გამონატანით, თოვლის ზვავებისა და მდინარეების ზამთრის ყინულებით ჩახერგვით და გარღვევებით, რომლებსაც ადგილი აქვს საქართველოს მთიან რაიონებში და წლის ნებისმიერ დროს.

კატასტროფულ წყალმოვარდნებს [64;65;] ბევრჯერ ჰქონია ადგილი საქართველოს მდინარეებზე, რომლებმაც გამოიწვიეს დიდი ზარალი. ამ კატასტროფებმა ნათლად დაანახა ადამიანებს რამდენად მწვავე და მრავალმხრივია კლიმატის ცვლილებით გამოწვეული საფრთხეები, და რამდენად გადაუდებელია ქმედითი მექანიზმების მოძიება ამ საფრთხეებისგან დასაცავად. [66].

დღესდღეობით, კლიმატის ცვლილების ფონზე და შეზღუდული ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის პირობებში ქვეყანაში არ არსებობს მონაცემები მდინარეების მოდინებული წყლის ხარჯების შესახებ, რაც შეუძლებელს ხდის ჰიდროლოგიური პარამეტრების განსაზღვრას და მდინარეთა აუზებში წყალმოვარდნის რისკების შეფასებას. ამიტომ მეტად მნიშვნელოვანია მდინარეთა ჰიდრომეტრიული ქსელის აღდგენა, განვითარება, რაც ხელს შეუწყობს მდინარეთა ჩამონადენის არსებული ჰიდროლოგიური პროგნოზების და წყალდიდობის მაქსიმალური ხარჯების პროგნოზირების მეთოდების განახლებას ინფორმაციული ქსელის შემცირების პირობებში. მეტად მნიშვნელოვანია ადრე შედგენილი საპროგნოზო მეთოდების განახლება არსებულ პირობებთან შეთანხმებით მათი პრაქტიკული გამოყენების მიზნით. მიუხედავად იმისა, რომ მდინარეთა პროგნოზირების საკითხი ფართოდ არის გაშუქებული სამეცნიერო ლიტერატურაში, იგი ჯერ კიდევ არ არის შესწავლილი საკმარისი სისრულით. მეტად მნიშვნელოვანია ჰიდრომეტეოროლოგიური ფაქტორების განსაზღვრა

კლიმატის ცვლილების ფონზე, რომლებიც წარმოადგენენ მდინარის ჩამონადენის მაფორმირებელ ფაქტორებს [67;68].

აღსანიშნავია, რომ კლიმატური ცვლილება-როგორც დაკვირვებული, ასევე მოსალოდნელი იწვევს და გამოიწვევს სათანადო ცვლილებებს მდინარის ჩამონადენის ხასიათში. კვლევათა განსხვავებული შედეგების მიუხედავად, მაგ., მთის მდინარეთა აუზებისათვის, ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილება უფრო ინტენსიური გახდება- შემცირდება მცირეწლიანი პერიოდის და გაიზრდება უხვწლიანი პერიოდის ჩამონადენი. კლიმატის გლობალური დათბობის პერიოდში გაიზრდება ნალექების რაოდენობა და შემცირდება თოვლის საფარის რაოდენობა, ხოლო მყინვარების ფართობი გააგრძელებს კლებას. დათბობა უარყოფით გავლენას ახდენს მიწისქვეშა წყლების მარაგის ცვალებადობაზე, მიწისქვეშა წყლების დონეები ზოგიერთ წყალშემცველ ფენებში მნიშვნელოვნად შემცირდა, რამაც შეამცირა ბევრი მდინარის წყალმცრობის ჩამონადენი. რა თქმა უნდა, საქართველოს ტერიტორიის კლიმატური, ფიზიკურ-გეოგრაფიული და გეოლოგიური მრავალფეროვნებიდან გამომდინარე, პროგნოზირების ერთი კონკრეტული მეთოდის განვრცობა მთელს მის ტერიტორიაზე შეუძლებელია.

საყოველთაოდ ცნობილია [69], რომ მთის მდინარეთა წყლის ხარჯების პროგნოზირება ურთულესი პრობლემაა. აქ წლის ცალკეულ პერიოდში წყლის ჩამონადენის ფორმირება ხდება განსხვავებულ სპეციფიკურ ჰიდრომეტეოროლოგიურ პირობებში, ამიტომ თითოეული მდინარის წყლიანობის რეჟიმის სხვადასხვა ფაზის ჩამონადენისათვის უნდა მოხდეს ინდივიდუალური საპროგნოზო მეთოდის შემუშავება.

3.3. მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირება შეზღუდული

ინფორმაციის პირობებში

მდინარეები წარმოადგენენ განახლებადი ენერჯის წყაროს და ჰიდროენერგეტიკის განვითარების საფუძველს. ცნობილია, რომ მსოფლიოს რიგი ქვეყნების ენერჯო სისტემაში ჰიდროგენერაციას წამყვანი ადგილი უჭირავს [70;]. ასეთ ქვეყნების რიცხვშია საქართველოც [63; 71].

ჰიდროენერჯია არის განახლებადი, საიმედო, მოქნილი, ორგანულ სათბობით გამომუშავებულ ენერჯიასთან შედარებით ეკოლოგიურად სუფთა ენერგორესურსი, რომელსაც შეუძლია მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანოს ქვეყნის ენერგოუსაფრთხოებაში და მომხმარებელი მოამარაგოს იაფი ელექტროენერჯიით. აქვე უნდა ითქვას, რომ ჰიდროენერჯეტიკა რომელსაც მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს მსოფლიო ეკონომიკის ენერჯეტიკულ მომსახურებაში უდიდესი გამოწვევების წინაშე დგება გლობალური კლიმატის ცვლილების შედეგად და უფრო მეტად საჭირო ხდება ჰიდრომეტეოროლოგიური პროგნოზების შემუშავება [72].

ვინაიდან მდინარეთა ჩამონადენი, როგორც ხელმისაწვდომი და განახლების უნარის მქონე მტკნარი წყლის რესურსი, ფართოდ გამოიყენება მეურნეობის თითქმის ყველა დარგში, ჰესების გამომუშავების რაციონალურად დაგეგმვა განპირობებულია წყლის რესურსების ეფექტურად გამოყენებით, რაც გულისხმობს ენერჯიის დანაკარგების შემცირებას მდინარის წყლიანობის რეჟიმის ცვლილების პირობებში. წყლის რესურსების ტერიტორიული და დროითი გადანაწილებისა და მართვისათვის მდინარეებთან ერთად არანაკლებ მნიშვნელოვანია წყალსაცავების ეფექტური ექსპლოატაცია, ვინაიდან ისინი ემსახურება ტერიტორიისა და წლის პერიოდების მიხედვით არათანაბრად განაწილებული მდინარის ჩამონადენის იმგვარ გადანაწილებას, რომლის მიზანია წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენება სხვადასხვა სამეურნეო მიზნით. ენერჯეტიკული დანიშნულების წყალსაცავში აკუმულირებული წყლის მარაგი უზრუნველყოფს არა მარტო ენერჯო სისტემის პიკური დატვირთვების მოხსნას, არამედ წყალმცირობის პერიოდში ხელს უწყობს ქვეყნის ენერჯეტიკული სისტემის მდგრად ფუნქციონირებას. აუცილებელია წყალსამეურნეო სისტემების რაციონალური მართვა და ოპტიმალური დაგეგმვა მისი რაოდენობის გათვალისწინებით, რადგან საზოგადოების სოციალურ-ეკონომიკური განვითარება ბევრად არის დამოკიდებული წყლის რესურსების მართვის ეფექტურობაზე, რის გამოც მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირება ყოველთვის მეტად აქტუალურია [63;73].

ზემოთ აღვნიშნეთ რომ, გასული საუკუნის 90-იან წლებში აღარ მიმდინარეობდა მდინარეთა წყლის ხარჯების გაზომვა და ჩამონადენის სრულფასოვანი აღრიცხვა. მიუხედავად იმისა რომ დღეის მდგომარეობით ზოგან

აღდგა დაკვირვებები,საერთო მდგომარეობა ჯერ-ჯერობით მაინც მძიმეა. ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის შემცირების გამო ძალიან არის შემცირებული მონაცემები, რომლის საფუძველზეც დგება მდინარეთა ჩამონადენის ოპერატიული პროგნოზები. ამიტომ მეტად მწშივნელოვანია ისეთი საპროგნოზო მეთოდებით ხელმძღვანელობა, რომლებიც გამოიყენება ინფორმაციული მასალის შეზღუდვის პირობებში [74;75;76].

შემცირებული ინფორმაციული ქსელის პირობებში, პროგნოზირების საფუძველად გამოიყენება მდინარეთა წყალშემკრები აუზების გარეთ (მათ მახლობლად) მდებარე მოქმედი მეტეოსადგურების და ჰიდროლოგიური საგუშაგოების მონაცემები ატმოსფერული ნალექების, ჰაერის ტემპერატურის და თოვლის წყალშემცველობის შესახებ. რაც შეეხება მეზობელი წყალშემკრები აუზების მეტეოელემენტებს, ისინი სუსტად ახასიათებენ მდინარეების წყლიანობას.

ცალკეული სახის პროგნოზის შესადგენად მიღებულია საპროგნოზო დამოკიდებულებების სხვადასხვა ვარიანტი, რომლებიც შედგენილია სხვადასხვა სახის ინფორმაციის გათვალისწინებით. თითოეული მდინარისთვის აუცილებელია შემუშავდეს ინდივიდუალური საპროგნოზო მეთოდები, რაც გამოწვეულია ყველა ცალკეული მდინარის აუზში ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების დროსა და სივრცეში თავისებური ცვალებადობით და ასევე მდინარის წყალშემკრები აუზის მიკრორელიეფის მრავალფეროვნებით. როგორც წინა თავებში აღვნიშნეთ გაზაფხულის და ნაწილობრივ ზაფხულის თვეების ხარჯები ძირითადად ფორმირდება ზამთარში დაგროვილი თოვლის მარაგით. ასევე მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ჩამონადენის ფორმირებაში ატმოსფერული ჰაერის ტემპერატურა, თუმცა ჰაერის ტემპერატურის და წყლის ხარჯების კავშირები სუსტდება მაშინ, როცა ნიადაგი თავისუფალია თოვლისგან. მაღალი ტემპერატურის დროს იზრდება აორთქლება და ინფილტრაცია, შედეგად ვღებულობთ უარყოფითი ნიშნის კორელაციის კოეფიციენტს. მაგრამ ატმოსფერული ჰაერის ტემპერატურის გათვალისწინება სხვა ფაქტორებთან ერთობლიობაში აუცილებელია.

მთის მდინარეების აუზებში სადღეისოდ არსებული შეზღუდული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის პირობებში, ვერ ხერხდება თანამედროვე რთული გენეტიკური სახის საპროგნოზო მოდელების გამოყენება. ამიტომ

პროგნოზირების მიზნით ფართოდ გამოიყენება მრავალფაქტორიანი სტატისტიკური მოდელი [63; 76;77].

მრავალფაქტორიანი სტატისტიკური მოდელი შეიცავს ისეთ მონაცემებს, რომელთა ოპერატიული ინფორმაცია მიიღება პროგნოზების გაცემის წინ. კერძოდ: მდინარის ჩამონადენი ($Q, \text{მ}^3 / \text{წმ}$), ნალექები ($R, \text{მმ}$), ჰაერის ტემპერატურა ($\theta, \text{°C}$) და თოვლის წყალშემცველობა ($W, \text{მმ}$).

მრავალფაქტორიანი სტატისტიკური მოდელის გამოყენებით შემუშავებულია მთის მდინარეების არაერთი საპროგნოზო მეთოდის როგორც სავეგეტაციო პერიოდის, წყალდიდობის, კვარტალური, დეკადური, დღე-ღამური წყლის ხარჯების. მოკლედ განვიხილოთ თითოეული მათგანი:

საქართველოში კვარტალური წყლის ხარჯების მეთოდის შემუშავდა ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის მიერ მდინარე რიონისთვის ალპანასთან. [63;76;77] გრაფიკული დამოკიდებულების სახით წინა თვის მინიმალურ $Q_{\min(n-1)}$ ხარჯებსა და საპროგნოზო პერიოდის (n) ატმოსფერულ ნალექებთან კავშირის სახით: $Q_n = f(Q_{\min(n-1)}, h_n)$ (54)

საპროგნოზო გრაფიკებზე არგუმენტებად ასევე გამოიყენებოდა წინა თვის როგორც მინიმალური, ასევე საშუალო და საჭიროების შემთხვევაში დეკადის წყლის ხარჯებიც. დამატებით ცვლადის სახით გამოიყენებოდა ასევე ატმოსფერული ნალექების მონაცემები. ხოლო, ლ. ლოსკუტოვას მიერ არის შემუშავებული აღმოსავლეთ საქართველოს ყველა დიდი მდინარის საპროგნოზო გრაფიკები [76;77]:

$$Q_{VII-IX} = f(Q_{VI}), \quad Q_{VII-IX} = f\left(\sum_{XI}^{VI} X\right), \quad (55)$$

$$Q_{IV-VI} = f\left(\sum_{VIII}^{III} X\right), \quad Q_{IV-VI} = f\left(S, \sum_{XI}^{II} t_+\right), \quad (56)$$

სადაც, X- ნალექებია, S- თოვლის მარაგი; t- ჰაერის ტემპერატურა.

გარდა ამისა, მრავალფაქტორიანი სტატისტიკური მოდელით განისაზღვრება დეკადური ჩამონადენი, სადაც თვეები შეცვლილია დეკადებით:

$$Q_{t+T} = f(Q_{t_0}, P_{t_0}, \theta_{t_0}, Q_{t_0+1}, \theta_{t_0+1}, \dots, Q_{t-1}, P_{t-1}, \theta_{t-1}, Q_t, P_t, \theta_t, P_T, \theta_T) \quad (57)$$

სადაც, T- საპროგნოზო პერიოდია, t_0 - პრედიქტორის ათვლის საწყისი დეკადა. პროგნოზის შეფასება უმჯობესდება თუ საპროგნოზო დეკადა ერთამდე იქნება

შემცირებული. ამ მეთოდის გამოყენება ეფექტურია იმ შემთხვევაში (ზამთრის პერიოდი), როდესაც ზედაპირული ჩამონადენი ფაქტიურად შემცირებულია და მდინარის საზრდოობაში დიდი წილი მოდის მიწისქვეშა წყლებზე, ხოლო ამ უკანასკნელის საპროგნოზო მაჩვენებლად გამოიყენება წინა პერიოდის ჩამონადენი და პროგნოზის შეფასება მოქცეულია $s/\sigma = 0,70 \div 0,80$ დიაპაზონში. იხ ქვეთავი 2.8

დღე-ღამური წყლის ხარჯების პროგნოზები ფართოდ გამოიყენება სამეურნეო საქმიანობაში, რადგან ისინი წარმოადგენენ წყლის რესურსების ოპტიმალური გამოყენების საფუძველს სხვადასხვა დარგებში და რაც მთავარია წყალმომარაგებასთან ბრძოლის დროს [78]. დღე-ღამური ხარჯების პროგნოზების შესამუშავებლად გამოიყენებოდა შესატყვისი დონეების მეთოდი, რომლითაც პირველი პროგნოზები შედგა საფრანგეთში ბელგრანის მიერ 1850 წ მდ. სენაზე, ხოლო 1869 წელს გერმანიაში მდ. ლუარაზე. მაგრამ ამ მეთოდის გამოყენება ოპტიმალური იყო დიდ მდინარეებზე, სადაც წყლის გარბენის დრო ზედა და ქვედა ჰიდროკვეთებს შორის ფიქსირდებოდა ერთ დღე-ღამეზე მეტი. საქართველოს პირობებში ასეთი გარბენის დროის მქონე მდინარეების სიმცირის გამო აღნიშნული მეთოდის გამოყენება მიუღებელია.

საქართველოს პირობებისთვის ეფექტურია ტენდენციის მეთოდი, რომლის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ გარკვეული დროის განმავლობაში მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმი ინარჩუნებს სტაციონალურ კანონზომიერებას, რაც გვამღვს მდინარის ხარჯების ექსტრაპოლაციის საშუალებას წინა პერიოდის წყლის ხარჯების გამოყენებით. საპროგნოზო განტოლება საქართველოს მდინარეებისათვის წინა დღის ხარჯებით ასე გამოიყურება [63;76;77]:

$$Q_n = f(Q_{n-1}); \tag{58}$$

აღნიშნული მეთოდის საშუალებით გაითვალისწინება ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორები გამომდინარე იქედან, რომ ცალ-ცალკე არის შესაძლებელი საპროგნოზო განტოლების შედგენა ტემპერატურის ცვლილების, ნალექიან და უნალექო დღეებისთვის და ა.შ.

პროგნოზის შედგენის პროცესის ავტომატიზირების შემთხვევაში დღე-ღამური ხარჯების პროგნოზი შესაძლებელია განისაზღვროს უფრო მეტი მაფორმირებელი ფაქტორის გათვალისწინებით:

$$Q_{i+\tau} = f[(X_T + X) i, t_i, t_i, \sum t_i, Q_i, Q_i], \tag{59}$$

სადაც,

i - არის პროგნოზის გაცემის დღე;

τ - საპროგნოზო პერიოდი ($X_T + X$) მყარი და თხევადი ნალექების ჯამი თოვლის საფარის დადებიდან i - დღემდე;

t_i - ჰაერის საშ. ტემპერატურა i - დღემდე;

t_i - ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება;

$\sum t_i$ - დადებითი ტემპერატურის ჯამი თოვლი დნობის და წყებიდან i - დღემდე;

Q - მდინარის ხარჯების ცვლილება i - დღისათვის.

ინფორმაციის შეზღუდვის პირობებშიც გამოიყენება მრავალფაქტორიანი სტატისტიკური მოდელი ჩამონადენის იმ მაფორმირებელი ფაქტორების გამოყენებით, რომელთა განსაზღვრაც შესაძლებელია ხელთ არსებული წინასწარი და სამომავლო ფაქტორების საშუალებით.

მდინარის ჩამონადენი შეიძლება განისაზღვროს სინოპტიკური პროგნოზის გარეშეც. კერძოდ $Q_{\tau-2}$ ხარჯის გამოყენებით. რომელიც დაზუსტდება მეორე დღის დილას პირობითად n სთ-ზე, ავტომატიზებული პროგრამის შემთხვევაში კონკრეტული დროისთვის არსებული წყლის ხარჯის მონაცემების საშუალო მაჩვენებლით. წინა დღის ხარჯი $Q_{\tau-1}$ გამოთვლა ხდება მისი Q_{08} ხარჯთან კავშირით და საღამოს პირობითად n სთ-ის ფაქტიური წყლის ხარჯის მონაცემით უფრო დაზუსტდება:

$$Q_{\tau-1} = 0,5 (Q_{08} + Q_{20}) \quad (60)$$

ასეთი დეტალური Q_{τ} და $Q_{\tau-2}$ დაზუსტება საჭიროა გარდამავალ პერიოდებში წყალმცირობიდან წყალდიდობისკენ და პირიქით.

ამის შემდეგ აღნიშნული საპროგნოზო განტოლება ზუსტდება სინოპტიკური პროგნოზის საშუალებით ასეთის არსებობის შემთხვევაში.

საპროგნოზო დღის ჰაერის ტემპერატურის შემცველი მოდელი ასეთია:

$$Q_{\tau} = f (Q_{\tau-1}, T_{\tau-1}) \quad (61)$$

ნალექების დამატებით კი აღნიშნული მოდელი ფართოვდება და იღებს შემდეგ სახეს:

$$Q_{\tau} = f (Q_{\tau-1}, P_{\tau-1}) \quad (62)$$

აღნიშნული მოდელი შესაძლებელია გაფართოვდეს სხვა ფაქტორის დამატებით, მაგ., როგორცა საპროგნოზო დღის ჰაერის ტემპერატურა ან ნალექი,

სინოტივის დეფიციტი, ნიადაგის ინფილტრაციის კოეფიციენტი, მცინვარული ჩამონადენი, ნალექების (თოვლი, წვიმა) ჩამონადენი და სხვ.

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

სადაც, t_0 არის ფაქტორების ათვლის საწყისი დღე;

t - პროგნოზის გაცემის დღე;

T - საპროგნოზო დრო დღეებში.

აღსანიშნავია, რომ თუ r - კორელაციის კოეფიციენტი მაღალია, ხოლო s/σ_{Δ} შეფარდება არის ერთთან ახლოს, მაშინ ასეთი პროგნოზის მნიშვნელობა არის მისაღები ვარიანტი.

ამრიგად, შეზღუდული ჰიდრომეტეოროლოგიური საინფორმაციო ქსელის არსებობისას, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ჩამონადენის პროგნოზირებისთვის გამოიყენება მდინარეთა წყალშემკრები აუზების სიახლოვეს მდებარე მოქმედი მეტეოსადგურებისა და ჰიდრომეტრიულ საგუშაგოებზე აღრიცხული იმ ცვლადი ფაქტორების დაკვირვების მასალები, რომლებიც მოქმედებენ მისი საზრდოობის წყაროებზე და განსაზღვრავენ მის ოდენობას. რაც შეეხება მეზობელი წყალშემკრები აუზების მეტეოელემენტებს, ისინი სუსტად ახასიათებენ მდინარეების წყლიანობას და მათი გამოყენება არაეფექტურია. ამასთან, მეტეოროლოგიური ელემენტების შესახებ ინფორმაციის დამატებით, შესაძლებელია პროგნოზის სიზუსტის გაზრდა. ასეთ დროს მათი მნიშვნელობები აიღება ამინდის პროგნოზის მიხედვით. თუ არ იქნა მსაგავსი საშუალება, მაშინ გამოიყენება ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების საშუალო მრავწლიური ნორმები. ასევე საპროგნოზო მნიშვნელობა შედარებული უნდა იყოს მათ ნორმებთან და ექსტრემალურ სიდიდეებთან, რათა შეძლებისდაგვარად გამოირიცხოს შეცდომები.

შედეგად, მრავალფაქტორული ოპერატიული პროგნოზის შედგენის დროს საანგარიშოდ უნდა შეირჩეს ის განტოლება, რომლის მონაცემები არის სახეზე პროგნოზის გაცემის დროს, ე. ი. საპროგნოზო განტოლება მიიღება არსებული ინფორმაციისა და საპროგნოზო პერიოდის ხანგრძლივობის მიხედვით.

3.4. მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირება შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავისთვის

ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავები მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მრავალი ქვეყნის ენერგეტიკულ ბაზარზე, მათ შორის საქართველოში, რადგან ენერჯის მიღების მაღალმანევრული წყაროა. მიმდინარე კლიმატის ცვლილების და გამკაცრებული გარემოსდაცვითი მოთხოვნების ფონზე განახლებადი ენერჯის სახეობების მზარდი გამოყენების აუცილებლობა მოითხოვს ჰიდროენერგეტიკული რესურსების უფრო მოქნილ მართვას [79;80;81;82].

საქართველოში არსებული წყალსაცავები, ძირითადად, კომპლექსური დანიშნულების წყალსამეურნეო ობიექტებია, რომლებით ითავსებს ელექტროენერჯის გენერაციის, სასმელი და სამეურნეო წყალმომარაგების, წყალდიდობების და წყალმოვარდნებისგან დაცვის, რეკრიაციულ და თევზის აღწარმოების ფუნქციებს. წყალსაცავის ეფექტური მუშაობისათვის აუცილებელია არსებული წყლის რესურსების გამოყენების სწორი დაგეგმარება, რაც გულისხმობს მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენის დროში ხელოვნურად გადანაწილებას მისი გამოყენების პირობებთან მაქსიმალურად მისადაგების მიზნით. აღნიშნული მოიცავს მდინარის ჩამონადენის გაზრდას წყალმცირობის პერიოდში წყალმოსარგებლეთა და წყალმომხმარებელთა უზრუნველყოფისათვის, ხოლო წყალდიდობის და წყალმოვარდნისას - მაქსიმალური ხარჯების შემცირებას ჩამონადენის ნაწილის წყალსაცავში აკუმულირებით, რის შედეგაც უმჯობესდება ქვედა ბიეფში წყალდიდობის წყლების გატარების პირობები. ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავის რეგულირების ამოცანაა მდინარის ჩამონადენის დროში უთანაბრო განაწილების პირობებში წყლის იმ ხარჯისა და დაწნევის უზრუნველყოფა, რომელიც გარანტირებული იქნება ჰიდროკვანძის ექსპლოატაციის პერიოდის უმეტეს ნაწილში.

საქართველოს წყალსაცავებში აკუმულირებულია წყლის რესურსების მნიშვნელოვანი ნაწილი. დღეისათვის ექსპლუატაციაში არის 44 წყალსაცავი, თითოეული მოცულობით 0,5 მლნ.მ³ და მეტი. მათი საერთო მოცულობა 3,32კმ³-ს შეადგენს, ხოლო სასარგებლო მოცულობა-2,27 კმ³-ს. წყალსაცავების წყლის

ზედაპირის საერთო ფართობი 163 კმ²-ია, რაც საქართველოს ტერიტორიის 0,23%-ს შეადგენს [83;84;85]. ამ წყალსაცავებიდან რვა წყალსაცავი დასავლეთ საქართველოში მდებარეობს, რომელთაგან ერთი საირიგაციო, ხოლო დანარჩენი ენერგეტიკული დანიშნულებისაა. მათი საერთო სასარგებლო მოცულობა 0,85 კმ³-ია. აღმოსავლეთ საქართველოს ნაკლებ ტენიანი კლიმატის გამო აქ არსებული წყალსაცავები, ძირითადად, ირიგაციული ან კომპლექსური დანიშნულებისაა. [83;84;85].

ენერგეტიკული წყალსაცავის მუშაობის რეჟიმი განსაზღვრავს ჰესის გამომუშავებას, ამასთან იგი, არსებითად, დამოკიდებულია მდინარის ჩამონადენის მაფორმირებელ კლიმატურ, ჰიდროლოგიურ, გეოლოგიურ, ტოპოგრაფიულ და ანთროპოგენურ ფაქტორებზე. წყალსაცავის ნორმალური ფუნქციონირება და ექსპლოატაციის ეფექტურობა არსებითად არის დამოკიდებული სამდინარო ჩამონადენის რაოდენობაზე და მის განაწილებაზე წლიურ ჭრილში. წყალსაცავის მიერ საკუთარი ფუნქციის შესრულებას განსაზღვრავს არსებული წყლის მარაგის სწორი შეფასება რაც გულისხმობს წყლის რესურსების რაოდენობის განსაზღვრას დროის სხვადასხვა მონაკვეთებისათვის. ამ მიზნით მიზანშეწონილია წყლის ბალანსის განტოლების გამოყენება.

წყლის ბალანსი წარმოადგენს დედამიწაზე წყლის წრებრუნვის რაოდენობრივ გამოხატულებას. კონკრეტული სივრცისათვის წყლის ბალანსი წარმოადგენს მისი შემადგენელი ელემენტების-მოდინების, გადინების და ტენიანობის მარაგის ცვლილების რაოდენობრივი მახასიათებლების ერთობლივ განხილვას და შედარებას დროის გარკვეულ პერიოდში. ნებისმიერი მოცულობის სივრცისათვის, რომელიც შემოსაზღვრულია თავისუფალი ზედაპირით, შეიძლება დაიწროს ტოლობა :

$$\sum_1 - \sum_2 = \Delta S \tag{64}$$

სადაც, \sum_1 არის წყლის რაოდენობა, რომელიც დროის გარკვეულ მონაკვეთში შემოედინება განსახილველ მოცულობაში, ხოლო \sum_2 - წყლის ის რაოდენობა, რომელიც დროის ამავე მონაკვეთში გაედინება ამ სივრციდან. განსხვავება მათ შორის უნდა წარმოადგენდეს, ან ნამატს (აკუმულაცია/დაგროვება და სხვ.), ან დანაკლისს (ხარჯვა/გადინება და სხვ.). ცნობილია, წყლის ბალანსის სამი უმთავრესი კომპონენტი: ნალექები, ჩამონადენი და აორთქლება [86;87;88;89]:

$$P + C - Q_{\text{ზ}} - Q_{\text{მწქ}} - (E + Q_{\text{ზედ}} + Q_{\text{მწქ}}) = S_2 - S_1 \quad (65)$$

სადაც, P არის ნალექების რაოდენობა;

C - კონდენსაცია;

$Q_{\text{ზ}}$ - ზედაპირული შემონადენი;

$Q_{\text{მწქ}}$ - მიწისქვეშა შემონადენი;

E - აორთქლების საშუალო მნიშვნელობა დროის გარკვეულ პერიოდში გარკვეული ფართისათვის;

$Q_{\text{ზედ}}$ - წყლის რაოდენობა რომელიც გაედინება გარკვეული ფართობის ზედაპირიდან დროის გარკვეულ მონაკვეთში;

$Q_{\text{მწქ}}$ - წყლის რაოდენობა, რომელიც გაედინება ტერიტორიიდან მიწისქვეშა ნაკადის სახით.

პრაქტიკული მიზნებისათვის განტოლება (65) შეიძლება გამარტივდეს და ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$P - E - Q_{\text{ზ}} - Q_{\text{მწქ}} = \Delta S \quad (66)$$

აღნიშნულ განტოლებაში ცალკეული ელემენტების მნიშვნელობები განისაზღვრება დროის სხვადასხვა ინტერვალისათვის (თვე, სეზონი, წელი).

წყალსაცავის წყლის ბალანსის განტოლება წარმოადგენს მასში შემოსული, გასული და აკუმულირებული წყლის მოცულობებს შორის თანაფარდობას და დროის გარკვეული ინტერვალისათვის აქვს შემდეგი სახე:

$$Q_{\text{მოდ.ზ}} + Q_{\text{მოდ.მწქ}} + Q_{\text{დაბ}} + P - (Q_{\text{გაბ}} + Q_{\text{გრ.}} + Q_{\text{ად}} + E_{\text{წყ}}) = \Delta S_{\text{წყ}} + \Delta S_{\text{კალ}} + \Delta G + \Delta S_{\text{თოვ}} \pm \eta \quad (67)$$

სადაც: $Q_{\text{მოდ.ზ}}$ არის ზედაპირული წყლების მოდინება წყალსაცავში. ფასდება ჩამონადენის გაზომვით ძირითად მდინარეზე და მის შენაკადზე. შეუსწავლელი მდინარის პირობებში, მათი შეფასება ხდება ჩამონადენის მოდულით ანალოგ მდინარის პრინციპით;

$Q_{\text{მოდ.მწქ}}$ - მიწისქვეშა წყლების მოდინება (რომლებიც არ იკვებებიან მდინარის წყლით). მხედველობაში მიიღება ჰიდროგეოლოგიური მონაცემების საფუძველზე;

$Q_{\text{დაბ}}$ - სამეურნეო მოხმარების შედეგად დაბრუნებული წყლები, რომლებიც უშუალოდ ხვდებიან წყალსაცავში და არა სამდინარო ქსელში.

გაითვალისწინება იმ შემთხვევაში, როცა გვაქვს სამეურნეო მიზნებისათვის

გამოყენებული წყლის დაბრუნების შემთხვევა უშუალოდ წყალსაცავში;

P - ატმოსფერული ნალექების რაოდენობაა, რომელიც მოდის წყალსაცავის ზედაპირზე, ფასდება აღნიშნულ ტერიტორიაზე განლაგებული მეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემებით. ამასთან, უნდა იქნეს გათვალისწინებული ქარით და აორთქლებით გამოწვეული ცდომილებები;

Q_{გად} - წყლის გადინება ჰიდროკვანძის ჩამკეტი ნაგებობებიდან: ტურბინებიდან, წყალსაგდებიებიდან, რაბებიდან, თევზსავალიდან, ყინულსაგდებიდან. აიღება ჰიდროელექტროსადგურის მონაცემების მიხედვით. თუ ასეთი მონაცემები არ არსებობს, მაშინ იმ ჰიდრომეტრიული საგუმავოს მასალებით, რომელიც მდინარეზეა, ჰესის ქვემო ბიეფში;

Q_{გრ} - წყლის გადინება ფილტრაციით ჰესის ქვედა ბიეფში. მისი არსებობის შემთხვევაში განისაზღვრება ჰესის მონიტორინგის სისტემით ან პროექტით გათვალისწინებული ნორმების მიხედვით.

Q_დ - წყლის აღება წყალსაცავიდან მორწყვაზე, წყალმოხმარებაზე. აიღება იმ მონაცემების საფუძველზე, რომელსაც იძლევიან საექსპლოატაციო ორგანიზაციები ;

E_{წყს} - აორთქლება წყალსაცავის ზედაპირიდან. განისაზღვრება იმისდა მიხედვით, თუ რა სიდიდისაა წყალსაცავი. აორთქლების განსაზღვრა წყალსაცავებისთვის ხდება შემდეგი ფორმულით [90]:

$$E_{წყს} = 0.14n (l_0 - l_n) (l + 0.72 U_n) \quad (68)$$

სადაც: l_0 - წყლის ზედაპირის ტემპერატურით განსაზღვრულ წყლის ორთქლის მაქსიმალურ დრეკადობა; l_n - გარკვეულ n სიმაღლეზე წყლის ორთქლის დრეკადობა; U_n -ქარის სიდიდე n - გარკვეულ სიმაღლეზე;

S_{წყს} - წყლის მარაგის ცვლილება წყალსაცავში დროის საანგარიშო ინტერვალში;

S_{კალ} - წყლის მარაგის ცვლილება წყალსაცავში ჩამავალი მდინარეების კალაპოტებში;

G - წყლის გაცვლა ფსკერისა და ნაპირების გრუნტებთან. იანგარიშება მხოლოდ საგრძნობი წყალდიდობისა და წყალმოვარდნების დროს;

S_{თო} - წყალსაცავის წყლის მარაგის ცვლილება თოვლისა და ყინულის ხარჯზე, რომლებიც ფარავენ ნაპირებს დაწეული დონის დროს და ერთვიან წყალსაცავს ავსებისას.

η- წყლის ბალანსის ნაშთი.

წყლის ბალანსის ელემენტების შეფასების გარდაუვალი ცდომილების გამო, ბალანსის ნაშთი ნულისგან განსახვავდება. ბალანსური განტოლების გაწონასწორებისათვის, იმ ნაწილს რომელიც მოცემული შემთხვევისათვის ნაკლებია თავისი აბსოლუტური მნიშვნელობით, დაუმატებენ ნაშთს, ე. ი.

$$\sum_{შემ} - \sum_{გას} = \Delta S \pm \eta \quad (69)$$

მიღებულია, რომ წლიური, სეზონური ბალანსებისთვის დასაშვებია ნაშთის სიდიდე, რომელიც ნაკლებია ან ტოლია 5%-ის, ხოლო განსაკუთრებით დიდმნიშვნელოვანი წყალსაცავებისთვის ნაკლებია ან ტოლია 3%-ის. ასეთი სიზუსტე ეთანადება ჰიდრომეტრიული ანათვლების თანამედროვე სიზუსტეს.

3.5. მოდინებული ხარჯის განსაზღვრა წყალსაცავიანი ჰესებისთვის შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში

ექსპლოატაციაში არსებული ჰესების გამომუშავების დაგეგმვის და მიმდინარე კონტროლისთვის აუცილებელია მოდინების ჰიდროლოგიური ინფორმაციის და წყალსაცავის რესურსების ყოველდღიური მონაცემების ანალიზი.

წყლის ბალანსის მეთოდის საშუალებით შესაძლებელია წყალსაცავში წყლის შემოდინების გადინებისა და აკუმულაციის განსაზღვრა. როგორც აღინიშნა, წყლის ბალანსი ეს არის კონკრეტულ წყლის ობიექტში წყლის შემოსავალს, გასავალსა და აკუმულაციას შორის თანაფარდობა. იგი შეიძლება იყოს როგორც პერსპექტიული (გრძელვადიანი პერიოდისათვის), ისე ოპერატიული (მოკლევადიანი პერიოდისათვის), ასევე გარკვეული ტერიტორიისათვის. წყლის ბალანსი შეიძლება განვიხილოთ დინამიკურ წონასწორობაში მყოფი რამდენიმე ურთიერთდაკავშირებული სისტემისაგან შედგენილი სისტემა. ასეთ შემთხვევაში ერთ-ერთი შემადგენელი ელემენტის ცვლილება იწვევს სხვა ელემენტის ცვლილებას. ეს იძლევა საშუალებას აქტიურად ვიმოქმედოთ წყლის რეჟიმზე და ვმართოთ ის. შეიძლება აგრეთვე წყლის ბალანსი განვიხილოთ, როგორც

კონკრეტული წყლის ან/და განსაზღვრული ტერიტორიის კომპლექსური შესწავლის განზოგადოებული შედეგი, რომელიც შეიცავს ცალკეული ელემენტის რაოდენობრივ შეფასებას. ბალანსის თითოეული ელემენტის ცვალებადობის დონით და სამეურნეო ღონისძიებების ჩატარების შედეგად შეიძლება შეფასდეს ნებისმიერი ბუნებრივი ობიექტის წყლის ბალანსის ტრანსფორმაცია. განსაკუთრებულ პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს მომავალი წყალმოხმარების პერსპექტივები, როცა ზუსტდება ცალკეული აუზები, რეგიონების, ეკონომიკური რაიონების და მთლიანად ქვეყნის წყლის რესურსების დაცვის და კომპლექსური გამოყენების წყალსამეურნეო ბალანსები და სქემები. აღსანიშნავია რომ, თანამედროვე პირობებში მკვეთრად გაიზარდა ზუსტი ბალანსური კვლევების მნიშვნელობა, რადგან ბუნებრივ პროცესებში მკვეთრი ანთროპოგენური ჩარევის პირობებში დარღვეულია წონასწორობის-ბალანსის პრინციპი [91;92]. აღნიშნული ცვლილების მასშტაბის შესაბამისად მოსალოდნელია უკვე დადგენილ ბალანსურ ელემენტებში მეტ-ნაკლები ცვლილება, რამაც ასახვა უნდა ჰპოვოს განტოლების შინაარსზე.

ყოველივე მითითებული მოითხოვს წლის ბალანსის განტოლების უმნიშვნელოვანეს პარამეტრებზე ჰიდრომეტეოროლოგიური მონიტორინგის არსებობას. როგორც წესი, ექსპლოატაციაში არსებული ჰესების გამომუშავების დაგეგმვის და მიმდინარე კონტროლისთვის აუცილებელია მოდინების ჰიდროლოგიური ინფორმაციის და წყალსაცავის რესურსების ყოველდღიური მონაცემების ანალიზი, რისთვისაც საჭიროა შემდეგი მახასიათებლების არსებობა:

1) წყალსაცავის ნიშნული, რომელიც განისაზღვრება გარკვეული კანონზომიერებით სპეციალურად დამონტაჟებული წყალმზომი ლარტყებით, ან ავტომატური წყლის დონის მზომი რადარული მოწყობილობებით. დაკვირვებები წყლის დონეებზე წარმოებს მინიმუმ 2-ჯერ ყოველდღიურად (8 და 20 საათზე). ორჯერადი დაკვირვების მონაცემებით განისაზღვრება წყალსაცავის გასაშუალოებული დღეღამური ნიშნული. წყალსაცავის ნიშნულის განსაზღვრის სიზუსტე დამოკიდებულია წყალმზომი ქსელის რაციონალურ განთავსებაზე. წყალსაცავის ჰიფსომეტრიული მახასიათებლით განისაზღვრება წყალსაცავის გასაშუალოებული დღეღამური ნიშნულის შესაბამისი წყლის მოცულობა და სარკული ზედაპირის ფართი.

- 2) წყალსაცავში შემოდინება დადგენილი უახლოესი ჰიდრომეტრიული საგუშაგოს მონაცემების მიხედვით.
- 3) ნალექების რაოდენობა წყალსაცავის სარკულ ზედაპირზე განისაზღვრება ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის სანაპირო ნალექების მზომი პუნქტების მონაცემებით. ნალექების ფენის საშუალო შეწონილი მნიშვნელობა წყალსაცავის აკვატორიაზე განისაზღვრება ყველა მზომი პუნქტის მაჩვენებლის საშუალო შეწონილი სიდიდით. ნალექების მოცულობის განსაზღვრის დროს ნალექების ფენა მიეკუთვნება წყალსაცავის სარკული ზედაპირის საშუალო ფართობს საანგარიშო ინტერვალში.
- 4) სამეურნეო მოხმარების შედეგად დაბრუნებული წყლები, რომლებიც უშუალოდ ხვდებიან წყალსაცავში და არა სამდინარო ქსელში;
- 5) ბალანსის გასავალ ნაწილში განსაკუთრებული ყურდღება უნდა მიექცეს ტურბინებში გამავალი ხარჯის განსაზღვრას ($Q_{ჰესი}$). ამ მიზნით ყველაზე მიზანშეწინილია ტურბინის ხარჯმზომების გამოყენება. ხარჯმზომების მოწყობა მოითხოვს ხარჯის აბსოლიტური მეთოდით გაზომვას და შრომატევად სამუშაოებთან არის დაკავშირებული. აღნიშნულის გამო, არსებულ ჰესებზე დატარებული ხარჯმზომები იშვიათობას წარმოადგენს და ხარჯის აღრიცხვა წარმოებს საშუალო სიმძლავრით (გამომუშავებით) და ხვედრითი ხარჯით, რაც ჰიდროტურბინის საპასპორტო მონაცემებშია მოყვანილი. შესაძლებელია, აგრეთვე, ჰიდროაგრეგატის ხარჯის მახასიათებლის გამოყენება.
- 6) გარემოსდაცვითი წყალგაშვება გულისხმობს როგორც სანიტარული, ასევე ეკოლოგიური ნორმის გამოყენების შესაძლებლობას. სანიტარული ნორმა გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც მოსალოდნელია ჩამდინარე წყლების განზავების აუცილებლობა. მიღებული ნორმით, სანიტარული ხარჯის მინიმუმი, რომლის დატოვება აუცილებელია მდინარის კალაპოტში, განისაზღვრება მცირეწელიანი წლის (90% უზრუნველყოფის) გასაშუალოებული მინიმალური წყლის ხარჯებით. საქართველოს პირობებისთვის ეკოლოგიური მინიმუმი განისაზღვრებოდა ნორმის (საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯით) 10%-ით, რაც მოქმედებაშია დღევანდელ პირობებში.
- 7) უქმი გადაღვრა განისაზღვრება შესაბამისი წყალსაგდები კონსტრუქციის ხარჯის მახასიათებლით.

8) წყლის დანაკარგი წყალსაცავის ზედაპირიდან აორთქლებაზე განისაზღვრება აორთქლების მზომი მოწყობილობით.

9) ფილტრაციული წყლის ხარჯის გაჟონვა წყალსაცავის ნაპირებში და ამ ხარჯის წყალსაცავში დარუნება, ბალანსის შედგენის დროს მხედველობაში არ მიიღება.

10) ფილტრაციული გაჟონვა კაშხლის ტანში, ფარებს და კილოებს შორის ღრეჩოებში და ტურბინის დახურულ მიმმართველ აპარატში. თუ მისი სიდიდე მნიშვნელოვანია, უნდა გაიზომოს და აღირიცხოს ბალანსის გასავალ ნაწილში. თუ აღნიშნული ფილტრაციის სიდიდე უმნიშვნელოა და არ ექვემდებარება გაზომვას, მისი გათვალისწინება უნდა მოხდეს პროექტით გათვალისწინებული ნორმების მიხედვით.

11) წყალსაცავიდან მორწყვაზე, წყალმოხმარებაზე და სხვა მიზნებით გაცემული წყლის ხარჯის საერთო ოდენობა.

12) აორთქლება წყალსაცავის ზედაპირიდან.

13) წყლის ბალანსის ნაშთი. მიღებულია, რომ წლიური და სეზონური ბალანსებისთვის დასაშვები წყლის ბალანსის ნაშთი არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 5\%$ -ს, რაც შეესაბამება ჰიდრომეტრიული გაზომვების თანამედროვე სიზუსტეს.

წყალსაცავის წყალსამეურნეო ბალანსის დეტალური ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ ბალანსის ძირითადი კომპონენტია წყალსაცავში შემოდინებული მდინარის ჰიდროლოგიური მონაცემები.

დღეისთვის წყალსაცავებში შემოდინებული მდინარეების უმეტეს ნაწილზე ჰიდრომეტრიული საგუშაგო გაუქმებულია და არ მიმდინარეობს მოდინებული ხარჯის აღრიცხვა. ამასთან არის შემთხვევები როდესაც წყალსაცავში შემოდინებული წყლის ხარჯის აღრიცხვა ჰიდრომეტრიული საგუშაგოს არსებობის შემთხვევაშიც კი გართულებულია წყალსაცავის აგებულების ტიპიდან გამომდინარე [93]. ამიტომ, წყალსაცავებში სადაც ბუნებრივი პირობებიდან გამომდინარე გართულებულია ჰიდრომეტრიული საგუშაგოს მოწყობა და ბუნებრივი შემონადენის სრულყოფილი აღრიცხვა, ან იქ სადაც დროებით არ ფუნქციონირებს ჰიდრომეტრიული საგუშაგო და ვერ ხერხდება კლასიკური ბალანსის განტოლებით წყალსაცავებში ბუნებრივი შემოდინების აღრიცხვა, წყალსაცავის ბუნებრივი შემონადენის განსაზღვრისთვის უნდა ვიხელმძღვანელოთ შემდეგი სახის წყალსამეურნეო ბალანსით [93;94]:

$$Q_{\text{მოდინება}} = Q_{\text{ჰესი}} + Q_{\text{წყალმომხარება}} + Q_{\text{გადაღვრილი}} + Q_{\text{აორთქ}} + Q_{\text{ფილტ}} + Q_{\text{დაბ}} + + Q_w$$

(70)

სადაც ბალანსის შემადგენელი ელემენტებია:

$Q_{\text{ჰესი}}$ - წყლის ხარჯი ელექტროენერჯის გამომუშავებისთვის.

$Q_{\text{წყალმომხარება}}$ - მოსახლეობის წყალმომარაგებისთვის აუცილებელი წყლის ხარჯი;

$Q_{\text{გადაღვრილი}}$ - ქვემო ბიეფში გაშვებული ჭარბი წყლის ხარჯი, არსებობის შემთხვევაში;

$Q_{\text{ფილტ}}$ - ფილტრაციული წყლის ხარჯის გაჟონვა წყალსაცავის ნაპირებში და ამ ხარჯის წყალსაცავში დაბრუნება, ბალანსის შედგენის დროს მხედველობაში არ მიიღება. ფილტრაციული გაჟონვა კაშხლის ტანში, ფარების ღრეჩოებში და ტურბინის დახურული მიმმართველ აპარატებში არ ექვემდებარება გაზომვას, მისი გათვალისწინება ხდება პროექტით გათვალისწინებული ნორმების მიხედვით.

$Q_{\text{აორთქ}}$ - წყლის დანაკარგი წყალსაცავის ზედაპირიდან აორთქლების მზომი მოწყობილობით.

$Q_{\text{დაბ}}$ - სამეურნეო მოხმარების შედეგად/დამატებითი საზრდოობის სახით დაბრუნებული წყლის ხარჯი, რომელიც უშუალოდ ხვდება წყალსაცავში და არა სამდინარო ქსელში;

Q_w - წყალსაცავის მოცულობის ცვლილება. იგი განისაზღვრება წყალსაცავის მოცულობის მრუდის მიხედვით წყალსაცავის გასაშუალოებული დღეღამური ნიშნულის შესაბამისად.

მაშასადამე, წყალსაცავის ბუნებრივი მოდინების დასადგენად გამოიყენება: წყალსაცავის ნიშნულები, რომლითაც განისაზღვრება წყალსაცავის მოცულობები თვის დასაწყისში და ბოლოს. აღნიშნულით დგინდება წყალსაცავის შევსება-დამუშვება. ჰესის ელექტროენერჯის გამომუშავების ნამრავლით ხვედრითი მოცულობის მაჩვენებელზე გამოითვლება ჰიდროტურბინებში გამავალი წყლის მოცულობა/წყლის ხარჯი, ჰესის წყლის ხარჯს ემატება წყალსაცავის შევსების ხარჯი და აკლდება წყალსაცავის დამუშავების ხარჯი. შეიძლება ითქვას რომ მიუხედავად იმისა, რომ დღესდღეობით ინფორმაციის დეფიციტის პირობებში ვერ ხერხდება კლასიკური ბალანსის განტოლებით წყალსაცავებში ბუნებრივი შემოდინების აღრიცხვა, წარმოდგენილი მიდგომის საშუალებით შესაძლებელია

წყალსაცავის რეგულირების მაჩვენებლით განისაზღვროს წყლის ბალანსის უმნიშვნელოვანესი ელემენტი – ბუნებრივი შემოდინება. ფაქტობრივი შემოდინების განსაზღვრის შემდეგ დგინდება წყალსაცავში შემოდინებული წყლის რაოდენობის საპროგნოზო მაჩვენებელი, აღნიშნული ეფუძნება ტენდენციის მეთოდს და მრავალფაქტორიან სტატისტიკურ მოდელებს, რომელიც განხილულია ზემოთ (იხ. ქვეთავი 3.3).

3.6. კასკადური ჰესების წყალსაცავების სამუშაო რეჟიმების დაგეგმვა

ცნობილია, რომ მდინარის ჩამონადენის ცვალებადობის ხასიათი არ შეესაბამება ადამიანის მიერ წყალზე მოთხოვნილების ცვალებადობის ხასიათს. ამიტომ ისმის საკითხი, მდინარის ჩამონადენი გადანაწილდეს ადამიანის მოთხოვნილების შესაბამისად, ანუ დარეგულირდეს.

საქართველოს მდინარეების სპეციფიურობიდან გამომდინარე, რომელთაც ახასიათებთ მკვეთრად გამოხატული სეზონურობა, წყლის რესურსების გადანაწილება წლიურ, ან მრავალწლიურ ასპექტში შესაძლებელია მხოლოდ მარეგულირებელი წყალსაცავებიანი ელექტროსადგურების საშუალებით. აღნიშნული გულისხმობს ექსპლოატაციაში მყოფი ჰესების გამომუშავების დაგეგმვას და მიმდინარე კონტროლს წყალსაცავში დროის გარკვეულ პერიოდში მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენის გადანაწილებისთვის მომხმარებლების მოთხოვნილებათა შესაბამისად.

რეგულირების საშუალებით შესაძლებელი ხდება წყალმომხმარებლებს/წყალმოსარგებლებს მივაწოდოთ გაცილებით უფრო მეტი წყალი გაზრდილი მოთხოვნილების პერიოდში, ვიდრე ეს მოხერხდებოდა ბუნებრივი ჩამონადენის შემთხვევაში. ამასთან, ემსახურება ორ ძირითად საკითხს: მდინარის მცირე ხარჯების გაზრდას წყალმოსარგებლეთა (წყალმომხმარებელთა) უზრუნველყოფის მიზნით. ჩამონადენის განაწილების პერიოდის ხანგრძლივობის მიხედვით არსებობს დღელამური, კვირეული, წლიური (სეზონური) და მრავალწლიური რეგულრების წყალსაცავები [95;96;97]. რაც უფრო დიდია რეგულირების პერიოდი, მით უფრო დიდი მოცულობის წყალსაცავია საჭირო.

აქედან გამომდინარე, მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავები საჭიროების შემთხვევაში გამოიყენება წლიური, კვირეული და დღედამური რეგულირებისათვის, ხოლო წლიური რეგულირების კვირეული და დღედამური რეგულირებისათვის [84;98].

მიღებულია, რომ მცირე წყალსაცავებზე (სრული მოცულობა 0.01 კმ³-მდე) [99] ფართოდ გამოიყენება წყალსაცავის ყოველკვირეული ან დღედამური რეგულირება. დღედამის, ან კვირის განმავლობაში წყლის ხარჯების ასეთი გადანაწილების მიზანია ენერგეტიკული სისტემების პიკური დატვირთვების დაფარვა [100].

საქართველოს წყალსაცავების უმეტესეობა (ჟინვალის,თბილისის ჯვარის, ტყიბულის და სხვ.) შექმნილია მდინარის ჩამონადენის სეზონური რეგულირების მიზნით, ხოლო შაორის, სიონის და წალკის წყალსაცავები - მრავალწლიური რეგულირებისათვის. ლაჯანურის, გუმათის, ზაჰესის ვარციხის და სხვ. წყალსაცავები დღედამური რეგულირების ტიპს მიეკუთვნებიან. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ დღეის მდგომარეობით წყალსაცავების საპროექტო სასარგებლო მოცულობა შემცირებულია ნატანის აკუმულაციის გამო, რაც ამცირებს წყალსაცავის რეგულირების ხანგრძლიობას და შედეგად ესა თუ ის წყალსაცავი ვერ ასრულებს პროექტით განსაზღვრულ ფუნქციას: ა) მუშაობს რეგულირების გარეშე მდინარის ჩამონადენის შესაბამისად, ან ბ) მხოლოდ ნაწილობრივ ასრულებს საპროექტო დანიშნულებას.

აღნიშნულის გამო საჭირო ხდება წყალსაცავების მუშაობის პირობების კორექტირება. მეორე მხრივ, წყალსაცავის რეჟიმის კორექტირება შეიძლება გამოწვეული იყოს ენერგეტიკული სისტემის მოთხოვნითაც. მაგალითად, როგორც არის ლაჯანურის წყალსაცავი, რომელიც ხშირ შემთხვევაში დღის განმავლობაში მუშაობს დღედამური რეგულირების ერთსაფეხურიანი რეჟიმით.

რეგულირების აუცილებლობის გარკვევა შესაძლებელია დარეგულირებული ხარჯის (Q) და მდინარის მინიმალური საშუალო დღედამური Q_{min} სიდიდეების შედარების საფუძველზე. თუ $Q > Q_{min}$ რეგულირება აუცილებელია. რეგულირების მასშტაბის გასარკვევად ერთმანთს ადარებენ წყლის წლიურ (W) მოხმარებას და დარეგულირებული ჩამონადენის და მდინარის სანაგარიშო უზრუნველყოფის მცირეწელიანი წყლის ჩამონადენს W_{min} . იმ შემთხვევაში

როდესაც $W \leq W_{\min}$ საჭირო იქნება წლიური (სეზონური) რეგულირება. თუ $W > W_{\min}$ მაშინ საჭიროა ჩამონადენის მრავალწლიური რეგულირება.

3.7. ზედა საფეხურის წყალსაცავის სამუშაო რეჟიმების შერჩევა, ქვედა ბიეფის ჰესების ეფექტური ფუნქციონირების გათვალისწინებით

წყალსაცავიანი ჰესების ერთ-ერთი ძალიან მნიშვნელოვანი დადებითი მხარეა სიმძლავრის ფართო დიაპაზონში ცვლილების უნარი, რაც მათი ჰიდროძალოვანი დანადგარების კონსტრუქციულ თავისებურებებთან არის დაკავშირებული. მათ შეუზღუდავად შეუძლიათ სიმძლავრის ცვლილება (0-დან 100%-მდე) დროის უმოკლეს მონაკვეთში, რის გამოც შესაძლებელია ენერგოსისტემის დატვირთვაზე მოქნილად რეაგირება. ჰიდროელექტრო-სადგურებით შესაძლებელია ელექტროენერჯის გამომუშავება მასზე მოთხოვნის მიხედვით: როდესაც ელექტროენერჯის მოთხოვნა დაბალია, შესაძლებელია ჭარბი ენერჯია (წყალი) დაგროვებული იქნას წყალსაცავში. ხოლო, ელექტროენერჯის მოხმარების ზრდის დროს, ის გამოყენებული იქნას ამ დეფიციტის დასაფარად. მსგავსი ქმედების განხორციელება პრაქტიკულად შეუძლებელია სხვა ტიპის ელექტროსადგურებით [101;102] როგორც წინა თავებში იქნა აღნიშნული წყლის ბალანსის მეთოდის საშუალებით შესაძლებელია წყალსაცავში წყლის შემოდინების, გადინებისა და აკუმულაციის განსაზღვრა. წყალსაცავის დანიშნულებიდან გამომდინარე, ყოველდღიურად, წყლის ბალანსის ელემენტების გამოყენებით, კერძოდ, მდინარის ბუნებრივი მოდინების შესაბამისად და წყალსაცავში არსებულ მარაგს დამატებული წყლის მოცულობით, ზედა ბიეფში არსებულ წყალსაცავიან ჰესს შეუძლია გარკვეულ საათებში პიკურ რეჟიმში მუშაობა, შემდეგ კი, ისევ მდინარის ბუნებრივი მოდინებით ხორციელდება წყალსაცავის შევსება. დღეღამური რეგულირების პარამეტრების განსაზღვრისთვის n -საათიან ხანგრძლიობის ზონაში გამოყენებულია წყლის ბალანსის განტოლება [103;104]:

$$Q_{\text{ბაზისი}} \times 24 \times 3600 = t_{\text{პიკური}} \times Q_{\text{პიკური}} \times 3600, \quad (71)$$

სადაც, $Q_{ბაზისი}$ არის დღედამური წყლის ხარჯი, რომლითაც განისაზღვრება ჰესის მუშაობა ბაზისურ რეჟიმში, მ³/წმ;

$Q_{პიკური}$ - ჰესის მაქსიმალური (პიკური) წყლის ხარჯი, მ³/წმ,;

$t_{პიკური}$ - ჰესის მუშაობის ხანგრძლიობა პიკურ რეჟიმში, სთ;

$$t_{პიკური} = \frac{24Q_{მოდინება}}{Q_{პიკური}} \quad (72)$$

როგორც წესი, ჰიდროელექტროსადგურების ექსპლოატაციის დროს გათვალისწინებულია ეკოლოგიური წყლის ხარჯის განსაზღვრული რაოდენობით გამშვება, რომელიც აუცილებელია წყლის ფლორისა და ფაუნის სასიცოცხლო უნარის უზრუნველსაყოფად მდინარის გაუწყლოებულ უბანზე. ამიტომ ტექნიკური გამოყენების წყალაღება ($Q_{სასარგებლო}$) შეზღუდულია ეკოლოგიური მინიმუმით: ($Q_{სასარგებლო} = Q_{მოდინება} - Q_{ეკოლოგია}$). გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯი ამცირებს ობიექტის რენტაბელურობას, ვინაიდან ის ვერ იქნება გამოყენებული ენერჯის წარმოებისათვის. როდესაც დღედამური სასარგებლო მოდინება $Q_{სასარგებლო}$, რომლითაც განისაზღვრება ჰესის მუშაობის რეჟიმი, ნაკლებია ტურბინის მინიმალურ წყლის ხარჯზე ($Q_{ტურბინა}$), ჰესის მუშაობის რეჟიმი ერთსაფეხურიანია (პიკური) n-საათიან პერიოდში, სადაც გამოყენებული უნდა იყოს შემდეგი სახის მონაცემები: ა) ჰესების მცირეწყლიანი წლის დეკემბრის თვის საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯი, რომელიც ანგარიშებში უნდა შევიდეს ჰესების ეკოლოგიური წყლის ხარჯის გათვალისწინებით, ბ) შესაძლო მაქსიმალური პიკური ხარჯი (ჰესის საანგარიშო წყლის ხარჯი), გ) ჰესის დადგმული სიმძლავრე,მგვტ, დ) ჰესის პიკური სიმძლავრე,მგვტ, ე) ჰიდროტურბინის მინიმალური ხარჯი,მ³/წმ - მინიმალური წყლის ხარჯი, რომელიც მიღებულია საანგარიშოს 30-50 %-ის ოდენობით, ვ) პიკის დაწყების საათი ვ) წყალსაცავის ავსებისა/ჩამოცლის დღედამური სასარგებლო მოცულობა, რომელიც განისაზღვრა შემდეგი სახის ბალანსის დამოკიდებულებით:

$$W_{დღ} = Q_{პიკური} - Q_{სასარგებლო მოდინება} \times 3600 \times t_{პიკური} \quad (73)$$

ზ) $W_{პიკური}$ - პიკური რეჟიმის დღედამური გამომუშავება მიიღება პიკური სიმძლავრის გამრავლებით პიკურ რეჟიმში მუშაობის ხანგრძლიობაზე:

$$W_{პიკური} = N_{პიკური} \times t_{პიკური} \quad (74)$$

როდესაც ჰესის დღეღამური სასარგებლო წყლის მოდინება $Q_{\text{სასარგებლო}} = Q_{\text{მოდინება-}} - Q_{\text{ეკოლოგია}}$ (საშუალოწელიანი პერიოდის $P=50\%$ უზრუნველყოფის დეკემბრის თვის წყლის ხარჯი), რომლითაც განისაზღვრება ჰესის მუშაობა ბაზისურ რეჟიმში, მეტია ტურბინის მინიმალურ წყლის ხარჯზე ($Q_{\text{ტურბინა}}$), შესაძლებელია ჰესის გადასვლა ორსაფეხურიან მუშაობის გრაფიკზე n -საათიან პერიოდში, მაქსიმალური დატვირთვით n -საათის განმავლობაში, რომელიც აღიწერება შემდეგი საბალანსო განტოლებით:

$$Q_{\text{სასარგებლო მოდინება}} \times 24 = Q_{\text{ბაზისი}}(24 - t_{\text{პიკური}}) + Q_{\text{პიკური}} t_{\text{პიკური}} \quad (75)$$

ზემოაღნიშნული მიდგომით გაანგარიშებები ჩატარებულია არსებული (ლაჯანურის) და პერსპექტიული (ნამახვანის) წყალსაცავების დღეღამური რეგულირების შემთხვევისათვის, ამასთან განხილულია რეგულირების ერთსაფეხურიანი (პიკური რეჟიმი) და ორსაფეხურიანი (პიკური და ბაზისური რეჟიმები) ვარიანტი. მითითებული ანგარიშები წარმოდგენილია მე-4 თავში.

თავი 4. ჰესების წყალსაცავების სამუშაო რეჟიმების განსაზღვრა ჰიდროლოგიური მონაცემების დეფიციტის პირობებში

4.1. პროგრამის ალგორითმი და ბლოკ-სქემა

ჰიდროლოგიური მონაცემების დეფიციტის პირობებში მრავალფაქტორული ოპერატიული პროგნოზის ალგორითმი მიიღება არსებული ინფორმაციის და საპროგნოზო პერიოდის ხანგრძლივობის მიხედვით - მდინარის ჩამონადენის წინასწარი და სამომავლო მაფორმირებელი ფაქტორებისა და სხვადასხვა საპროგნოზო ჰიდროლოგიური მეთოდების კომბინაციით, კერძოდ:

1. გამოყენებულია ტენდენციის მეთოდი (აღნიშნული განხილულია 3.3 ქვეთავში), რომლის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ გარკვეული დროის განმავლობაში მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმი ინარჩუნებს სტაციონალურ კანონზომიერებას, რაც გვამღევეს მდინარის ხარჯების ექსტრაპოლაციის საშუალებას წინა პერიოდის წყლის ხარჯების გამოყენებით (საპროგნოზო განტოლება-58). აღნიშნული მეთოდის საშუალებით გაითვალისწინება ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორები გამომდინარე იქედან, რომ ცალ-ცალკე არის შესაძლებელი საპროგნოზო განტოლების (60) შედგენა ტემპერატურის ცვლილების, ნალექიან და უნალექო დღეებისთვის და ა.შ

საპროგნოზო განტოლება (58) ზუსტდება სინოპტიკური პროგნოზის საშუალებით ასეთის არსებობის შემთხვევაში. ემატება საპროგნოზო დღის ჰაერის ტემპერატურა ნალექის საპროგნოზო რაოდენობა აღნიშნული მოდელის აღმწერი განტოლება (63) შესაძლებელია გაფართოვდეს სხვა ფაქტორის დამატებით, როგორცა: სინოტივის დეფიციტი, ნიადაგის ინფილტრაციის კოეფიციენტი, მყინვარული ჩამონადენი, ნალექების (თოვლი, წვიმა) ჩამონადენი და სხვ. ამასთან მაღალმთიანი წყალშემკრები აუზებისათვის, პროგნოზის ალგორითმი ითვალისწინებს ტემპერატურის და ნალექების ვერტიკალური გრადიენტის გამოყენებას წვიმის, თოვლის და მყინვარული ჩამონადენის განსაზღვრის დროს.

2. ჩვენს მიერ შემუშავებულია ბალანსის განტოლება (70), რომელსაც ვიყენებთ მოდინებული წყლის ხარჯის განსასაზღვრად წყალსაცავიანი ჰესებისთვის შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში. იგი მეთოდოლოგიურად განსხვავდება ადრინდელი კვლევებიდან. თუ ადრინდელ კვლევებში ცნობილი იყო ბალანსის ერთ-ერთი ძირითადი ელემენტი მდინარის ბუნებრივი შემონადენი, რომელიც აღირიცხებოდა ჰიდროლოგიური საგუშაგოს საშუალებით, დღეის მდგომარეობით წყალსაცავის ბუნებრივი შემონადენის განსაზღვრისათვის იქ სადაც: დროებით არ ფუნქციონირებს ჰ/საგუშაგო ან ბუნებრივი პირობებიდან გამომდინარე გართულებულია ჰიდრომეტრიული საგუშაგოს მოწყობა და ბუნებრივი შემონადენის სრულყოფილი აღრიცხვა ჩვენს მიერ წარმოდგენილ მეთოდში ხორციელდება წყალსაცავის რეგულირების მაჩვენებელით და ბალანსის შემადგენელ ელემენტებად გამოყენებულია ჰესზე აღრიცხული შემდეგი სახის ოპერატიული ინფორმაცია:

ა) წყალსაცავის ნიშნულები, რომლითაც განისაზღვრება წყალსაცავის მოცულობები დღის დასაწყისში და ბოლოს. აღნიშნულით განისაზღვრება წყალსაცავის შევსება–დამუშავება;

ბ) ჰესის ელექტროენერჯის გამომუშავების ნამრავლით ხვედრითი მოცულობის მაჩვენებელზე გამოითვლება ჰ/ტურბინებში გამავალი წყლის მოცულობა/წყლის ხარჯი;

გ) შესაბამის წამების რიცხვზე გაყოფით, ჰესის წყლის ხარჯს ემატება წყალსაცავის შევსების ხარჯი და აკლდება წყალსაცავის დამუშავების ხარჯი;

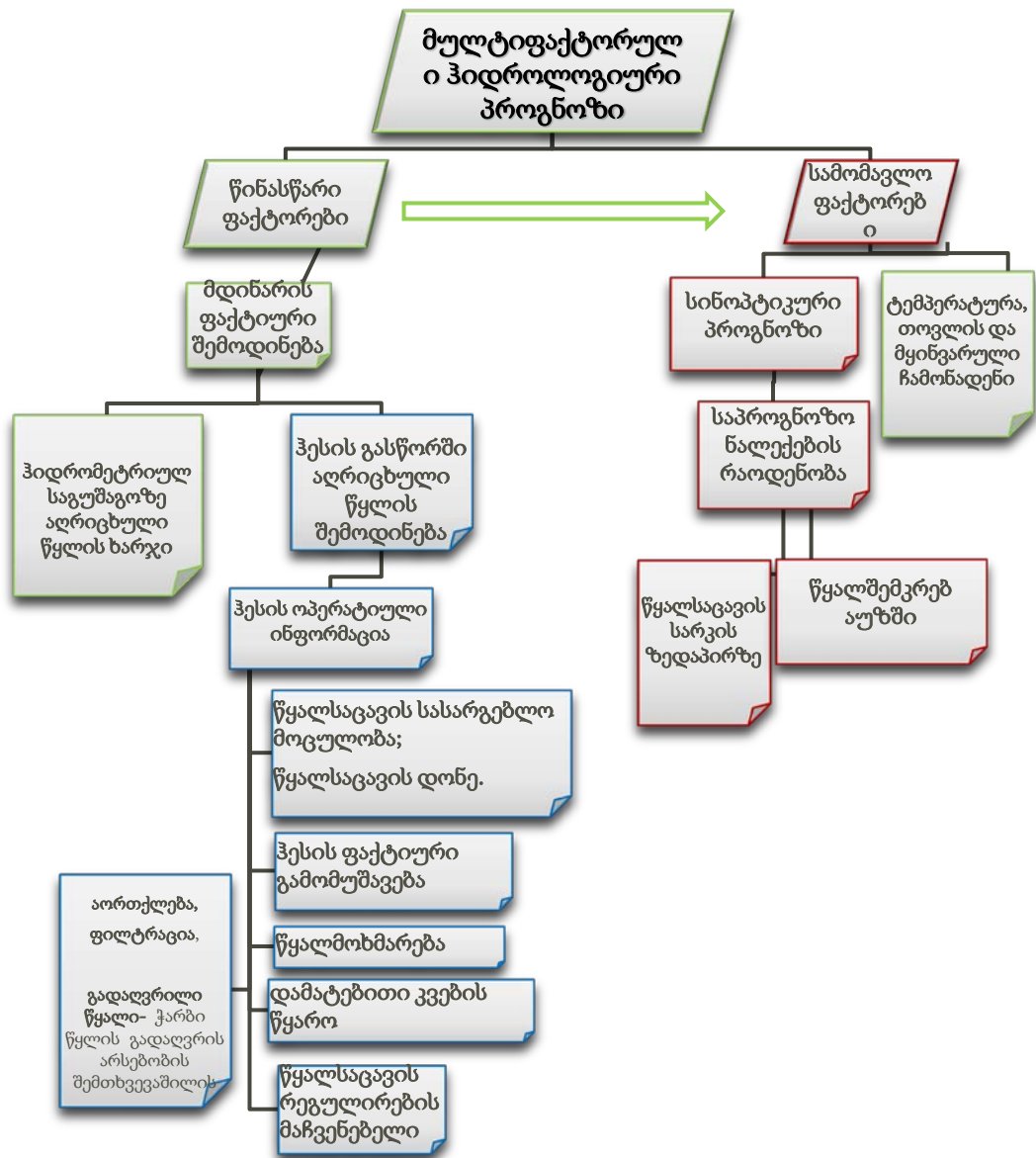
დ) დამატებითი კვების წყაროს სახით წყალსაცავში გადატუმბული წყლის რაოდენობა;

ე) წყალმოხმარება;

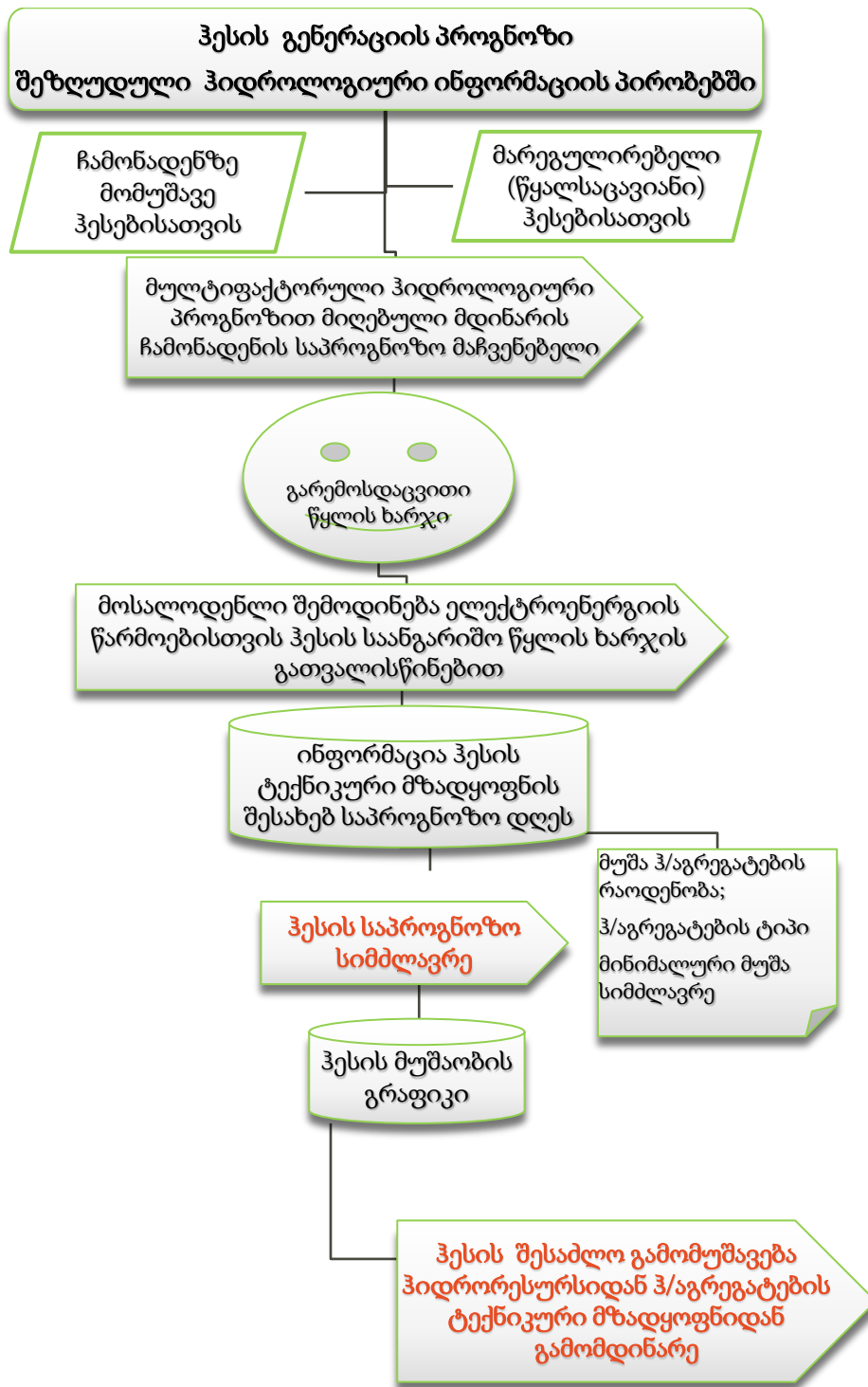
ვ) ასევე შესაძლებელია ნატურული გაზომვებით მიღებული აორთქლების და ფილტრაციული დანაკარგების გათვალისწინება, ხოლო გაზომვების სირთულის შემთხვევაში დასაშვებია პროექტით განსაზღვრული მონაცემების გამოყენება.

3. შედგენილია ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავების დღეღამური რეგულირების ბალანსური განტოლებები (71),(75) რომელიც უზრუნველყოფს წყალსაცავის ენერგეტიკული რეგულირების მოთხოვნებს, კერძოდ: წყალსაცავის ბოლომდე შევსებას რაც შეიძლება მოკლე ვადებში და ჰესის მუშაობას შევსებული წყალსაცავით მაქსიმალურად ხანგრძლივი პერიოდით.
4. ჰიდროენერგეტიკული ობიექტების წყალაღების გასწორში მოდინებული წყლის ხარჯის განსაზღვრისათვის გამოყენებულია ჰესების სათავე ნაგებობების უახლოეს მოქმედ ჰიდრომეტრიულ საგუმზაგოებზე არსებული დაკვირვებული მონაცემები. წყალაღების კვეთებში წყლის ხარჯების გაანგარიშება გახორციელდა ჰიდროლოგიური საგუმზაგოების მონაცემების გადათვლით გადამყვანი კოეფიციენტების მეშვეობით, რომლებიც მიღებულია წყალშემკრები აუზების ფართობების შეფარდებით, დამოკიდებულებებით (77),(78),(79).

ზემოთ მოყვანილი ალგორითმის მიხედვით შეზღუდული ჰიდროლოგიური ინფორმაციის პირობებისათვის შემუშავებულია მრავალფაქტორული ჰიდროლოგიური და ჰესის გენერაციის პროგნოზირების ბლოკ-სქემები, რომლებიც მოყვანილია შესაბამისად ნახ. 6-ზე და ნახ. 7-ზე.



ნახ.6. მრავალფაქტორული ჰიდროლოგიური პროგნოზის ბლოკ-სქემა



ნახ.7. ჰესის გენერაციის პროგნოზი შეზღუდული ჰიდროლოგიური ინფორმაციის პირობებში

ზემოთ მოყვანილ ბლოკ-სქემებზე დაყრდნობით შემუშავებულია ჰესების გამომუშავების პროგნოზირების კომპიუტერული ვებ პროგრამა - JavaScript, HTML, CSS პროგრამული ენების საშუალებით, რომლის საფუძვლიანობა დადასტურებულია ნახ.8,9,10 წარმოდგენილი გუმათი I-სთვის ჩატარებული გაანგარიშებით.

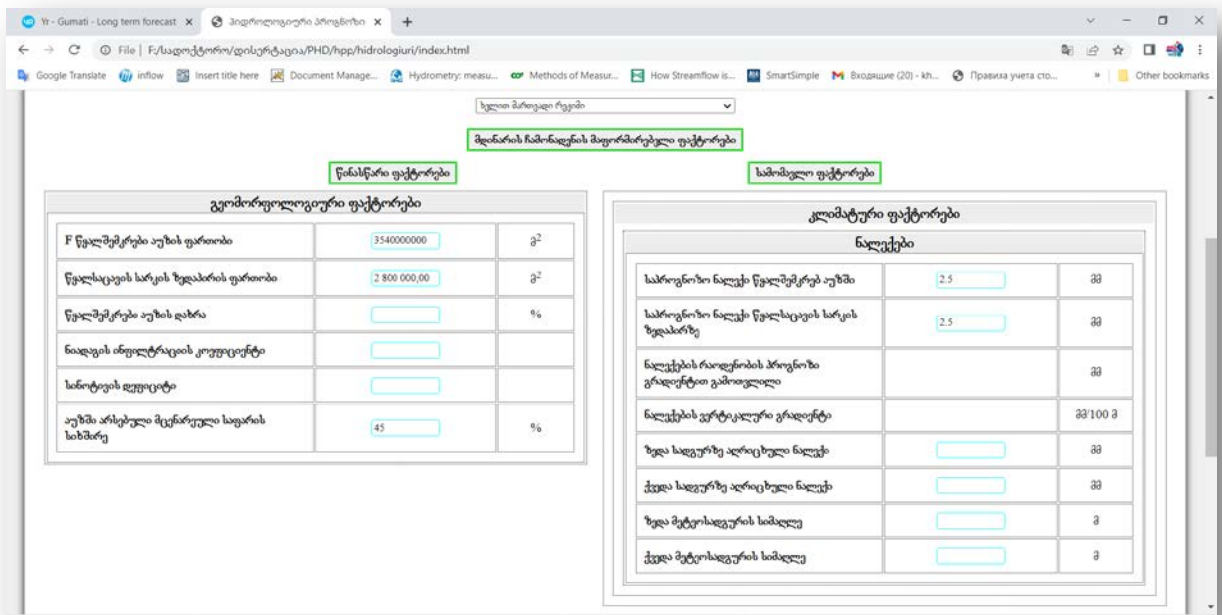
ნახ.8 მოცემულია მდინარის ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორები - წინასწარი ფაქტორები:

- ა) მდ.რიონის წყალშემკრები აუზის ფართობი ($F=3\ 540\ კმ^2$)
- გუმათი I-ის ბ) გუმათის წყალსაცავის სარკის ზედაპირის ფართობი ($F=2.8\ კმ^2$);
- გ) აუზში არსებული მცენარეული საფარის სიხშირე (ტყიანობა 45%).

სამომავლო ფაქტორები:

- ა) მეტეო ორგანიზაციის მიერ გაცემული საპროგნოზო ნალექების რაოდენობა (2.5 მმ) გუმათი I-ის საპროგნოზო დღისთვის (13.11.22).

<https://www.yr.no/en/forecast/daily-table/2-614376/Georgia/Imereti/Gumati>



ნახ. 8. მდ. რიონის ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორები გუმათი I-სთვის საპროგნოზო დღეს

ნახ.9 წარმოდგენილია მდ. რიონის ჩამონადენის საპროგნოზო მაჩვენებლის განგარიშება გუმათი I-სთვის.

მდინარის ჩამონადენის მაგორმარეული ფაქტორები		
წინასწარი ფაქტორები	მ³/წმ	მ³/დღე
მდინარის საპროგნოზო მაჩვენებელი უნალექო დღეებისთვის	58.020	
წინა დღის ფაქტორული შემოდინება 01:00		66.65
წინა დღის ფაქტორული შემოდინება 24:00		49.39

სამომავლო ფაქტორები		
მდინარის საპროგნოზო მაჩვენებელი წვიმის ჩამონადენით	მ³/წმ	მ³/დღე
	60.377	5,216,594.667
წინა დღის ფაქტორული შემოდინება	58.020	5,012,928.000
წვიმის ჩამონადენი		203,666.667
წალსუქერეს აუზში მოსალოდნელი ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა		196,666.667
წალსუქევის სარკის ზედაპირზე მოსალოდნელი ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა		7,000.000

ნახ. 9. ჩამონადენის პროგნოზი გუმათი I-სთვის საპროგნოზო დღეს

პირველ რიგში დადგენილია მდინარის ჩამონადენის საპროგნოზო მაჩვენებელი უნალექო დღეებისთვის (58.0 მ³/წმ), რომელიც მიღებულია გუმათჰესის ჰ/სადგურზე აღრიცხული წინა დღის (12.11.22) ფაქტიური შემოდინების საშუალო მაჩვენებლით. ხოლო შემდეგ ნახ.8-ში წარმოდგენილი მონაცემების დახმარებით განისაზღვრა მდ.რიონის საპროგნოზო მაჩვენებელი წვიმის ჩამონადენით (60.38 მ³/წმ). პროგნოზის მეთოდის სარწმუნოების დასადგენად ვისარგებლოთ გამოსახულებით $\frac{S}{\sigma}$ [47], სადაც

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\bar{Q}_{გაქმ} - \bar{Q}_{არ})^2}{n - m}} = \sqrt{\frac{(58 - 60,38)^2}{24 - 1}} = \sqrt{\frac{5,66}{23}} = 0,246; \sigma = 0,74.$$

მაშინ $\frac{S}{\sigma} = \frac{0,246}{0,74} = 0,332$. ვინაიდან $\frac{S}{\sigma} = 0,332 < 0,75$, რაც [47,50]-ში

მოცემული პირობის მიხედვით საპროგნოზოდ გამოყენებულ მეთოდს აფასებს, როგორც „კარგი“.

ნახ.10-ზე მოცემულია გუმათი I-სთვის ტექნიკური მზადყოფნის განაცხადი საპროგნოზო დღეს (13.11.22). აღნიშნულ განაცხადში მოცემულია გუმათი I-სთვის ჰ/აგრეგატების საპროექტო და არსებული მონაცემები მათი ტიპის, მქვ-ს და

მინიმალური დასაშვები სიმძლავრეების (შესაბამისი წყლის ხარჯი) გათვალისწინებით.

ნახ.10-ზე მოცემული საპროგნოზო განაცხადის და ნახ.9-ზე მოცემული ჰიდროლოგიური პროგნოზის საფუძველზე გაანგარიშებულია ნახ.11-ში მოცემული გუმათი I-სთვის ელექტროენერჯის გამომუშავების პროგნოზი, კერძოდ, მდინარის ჩამონადენის საპროგნოზო მაჩვენებლის (60.377 მ³/წმ), გუმათჰესის გარემოსდაცვითი ხარჯის (16.0 მ³/წმ) და ჰესის საანგარიშო წყლის ხარჯის (214მ³/წმ) გათვალისწინებით, გენერაციის წყლის ხარჯმა საპროგნოზო დღისთვის (13.11.22) შეადგინა (44.377 მ³/წმ) შესაბამისი საპროგნოზო სიმძლავრით (10 მგვტ) და ჰესის შესაძლო (241.92 მგვტ.სთ) ელექტროენერჯის გამომუშავებით.

The screenshot shows a web application with two main sections: 'საპროგნოზო მონაცემები' (Forecast Data) and 'ინფორმაცია ჰესის ტექნიკური მზადყოფნის შესახებ საპროგნოზო დღეს' (Information about the technical readiness of the dam for the forecast day). Below these is a detailed table of power generation parameters.

საპროგნოზო მონაცემები			ინფორმაცია ჰესის ტექნიკური მზადყოფნის შესახებ საპროგნოზო დღეს		
ჰესის დადგენილი სიმძლავრე	48.4	მგვტ	ჰიდროაგრეგატების რაოდენობა (შესაბამის ტექნიკური შეზღუდვების ან/და სარემონტო სამუშაოების გათვალისწინებით)	4	რაოდენობა
ჰიდროელექტროსადგურის წყლის ხარჯი (მაქსიმალური საანგარიშო)	214	მ ³ /წმ	ჰესის ტექნიკური მზადყოფნის მიხედვით	45.338	მგვტ
ჰიდროელექტროსადგურის წყლის ხარჯი (მინიმალური საანგარიშო)	16.05	მ ³ /წმ	ჰესის წყლის ხარჯი (შუამდგომლობის მიხედვით)	214	მ ³ /წმ
ჰესის ზედრიითი წყლის ხარჯი	4.421	მ ³ /წმ/მგვტ			

ა/აგრეგატი	ნომინალური სიმძლავრე	ჰიდროტურბინის ხარჯი	შუამდგომლობის წყლის ხარჯი	შუამდგომლობის აგრეგატის სიმძლავრე	ზედრიითი ხარჯი	მინიმალური დასაშვები სიმძლავრე	მინიმალური დასაშვები წყლის ხარჯი	ჰიდროტურბინის ტიპი	შედეგი
	მგვტ	მ ³ /წმ	მ ³ /წმ	მგვტ	მ ³ /წმ/მგვტ	მგვტ	მ ³ /წმ		%
<input checked="" type="checkbox"/> N1	12.7	53.5	53.5	12.319	4.213	3.81	16.05	კაპლანი (0.3)	97
<input checked="" type="checkbox"/> N2	12.7	53.5	53.5	12.319	4.213	3.81	16.05	კაპლანი (0.3)	97
<input checked="" type="checkbox"/> N3	12	53.5	53.5	10.8	4.458	3.6	16.05	კაპლანი (0.3)	90
<input checked="" type="checkbox"/> N4	11	53.5	53.5	9.9	4.864	3.3	16.05	კაპლანი (0.3)	89

ნახ. 10. გუმათი I-სთვის ტექნიკური მზადყოფნის განაცხადი საპროგნოზო დღეს

ჰესის ელექტროენერჯის გამომუშავების საპროგნოზო განაცხადი		
მდინარის ჩამონადენის საპროგნოზო მაჩვენებელი	60.377	მ ³ /წ
გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯი	16	მ ³ /წ
წყლის მოსალოდნელი შემოდინება ელექტროენერჯის წარმოებისათვის	44.377	მ ³ /წ
ჰესის საპროგნოზო სიმძლავრე პიდრორესურსიდან გამომდინარე	10.038	მგვტ
ჰესის საპროგნოზო ქონებელი სიმძლავრე პიდრორესურსების ტექნიკური მზადყოფნიდან და პიდრორესურსიდან გამომდინარე	10.08	მგვტ
ჰესის მუშაობის ხანგრძლივობა	24	სთ
ჰესის შესაძლო გამომუშავება პიდრორესურსიდან და პიდრორესურსების ტექნიკური მზადყოფნიდან გამომდინარე	241.92	მგვტ.სთ

ნახ.11. გუმათი I-სთვის ელექტროენერჯის გამომუშავების საპროგნოზო განაცხადი

4.2. წყალსაცავიანი ჰესების წყლის ბალანსის განტოლების ელემენტების გაანგარიშება ჰიდროლოგიური მონაცემების დეფიციტის პირობებში შაორჰესის წყალსაცავის მაგალითზე

წყალსაცავის მუშაობის რეჟიმი ხასიათდება წყალსამეურნეო ბალანსით, რომელიც ამყარებს დამოკიდებულებას ბალანსის ცალკეულ ელემენტებს შორის. ექსპლოატაციის პირობებში წყალსამეურნეო ბალანსებს იყენებენ ცალკეული ელემენტების ცდომილების შეფასებისთვის. ექსპლოატაციაში არსებული ჰესების გამომუშავების დაგეგმვის და მიმდინარე კონტროლისთვის აუცილებელია მოდინების ჰიდროლოგიური ინფორმაციის და წყალსაცავის რესურსების ყოველდღიური მონაცემების ანალიზი კლიმატის ცვლილების ფონზე [105;106]. ცხრილში №4 მოცემულია წყალსაცავის ყოველდღიური წყალსამეურნეო ბალანსის ანგარიშის ტიპიური ფორმა.

თარიღი	წყალსაცავის ნიშნული, მ	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ მ³	სარკისებური ზედაპირის ფართობი, კმ²	შემოსული წყლის რაოდენობა, მლნ მ³			გადინებული წყლის რაოდენობა, მლნ მ³						წყალსაცავის შევსება (+) და მუშავება (-) მლნ მ³		ბალანსის ნაშთი	
				წყალსაცავში შემოდინება	ნალექები	ჯამი	ტურბინებში გამაგალი წყლის მოცულობა	სანიტარულ (ეკოლოგიური) გაშვება	უქმი გადაღვრა	აორთქლება	ფილტრაცია	ჯამი	წყალსაცავის შევსება (+)	დამუშავება (-)	მლნ მ³	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

ცხრილი №4. წყალსაცავის წყალსამეურნეო ბალანსის ანგარიშის ტიპიური ფორმა

ხსენებული ცხრილი №4-ის მე-6, მე-8-მე-12 და მე-14 სვეტების შესაბამისი მახასიათებლების სიდიდეები განისაზღვრება 3.5 ქვეთავში მოცემული მოსაზრებების მიხედვით. სვეტები 7 და 13 წარმოადგენენ შესაბამისად 1-6 და 8-12 სვეტების ჯამს. წყლის ბალანსის ნაშთი (სვეტები 15 და 16) მიიღება სვეტების 7,13 და 14 მონაცემების ალგებრული ჯამით. მიღებულია, რომ წლიური, სეზონური ბალანსებისთვის დასაშვები წყლის ბალანსის ნაშთი არ უნდა აღემატებოდეს $\pm 5\%$ -ს, რაც შეესაბამება ჰიდრომეტრიული გაზომვების თანამედროვე სიზუსტეს.

წყალსაცავის წყალსამეურნეო ბალანსის დეტალური ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ ბალანსის ძირითადი კომპონენტია წყალსაცავში შემოდინებული მდინარის ჰიდროლოგიური მონაცემები (სვეტი 5).

ჰიდრომეტრიულ გაზომვებთან დაკავშირებით დღეს არსებული სიტუაციიდან გამომდინარე შესაძლოა ზემო აღნიშნული მეთოდის გამოყენება ნებისმიერი ტიპის წყალსაცავისთვის მათ შორის კარსტულ სიცარიელებში შექმნილი წყალსაცავებისთვის. შაორის წყალსაცავის კარსტული ბუნებიდან გამომდინარე, (იხ.ნახ.7 ჰიდროგეოლოგიური რუკა). ფიზიკურად შეუძლებელია წყლის ხარჯის აღრიცხვა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ჩვენს მიერ

შემოთავაზებულია მდინარის ბუნებრივი მოდინების განსაზღვრის მეთოდის შემუშავება წყალსაცავის პარამეტრების გამოყენებით.

შეიძლება ითქვას, რომ წყალსაცავებში სადაც ბუნებრივი პირობებიდან გამომდინარე შეუძლებელია ჰიდრომეტრიული საგუშაგოს (ჰ/ს) მოწყობა და ბუნებრივი შემონადენის სრულყოფილი აღრიცხვა, ან იქ სადაც დროებით არ ფუნქციონირებს ჰ/ს და ვერ ხერხდება კლასიკური ბალანსის განტოლებით წყალსაცავებში ბუნებრივი შემოდინების აღრიცხვა, გამოყენებულ იქნას წყალსამეურნეო ბალანსი. კერძოდ, წყალსაცავის რეგულირების მაჩვენებელით განისაზღვროს წყლის ბალანსის უმნიშვნელოვანესი ელემენტი-ბუნებრივი შემოდინება [107;108]. ამიტომ აღნიშნული საკითხი განხილულია შაორჰესის წყალსაცავის მაგალითზე.

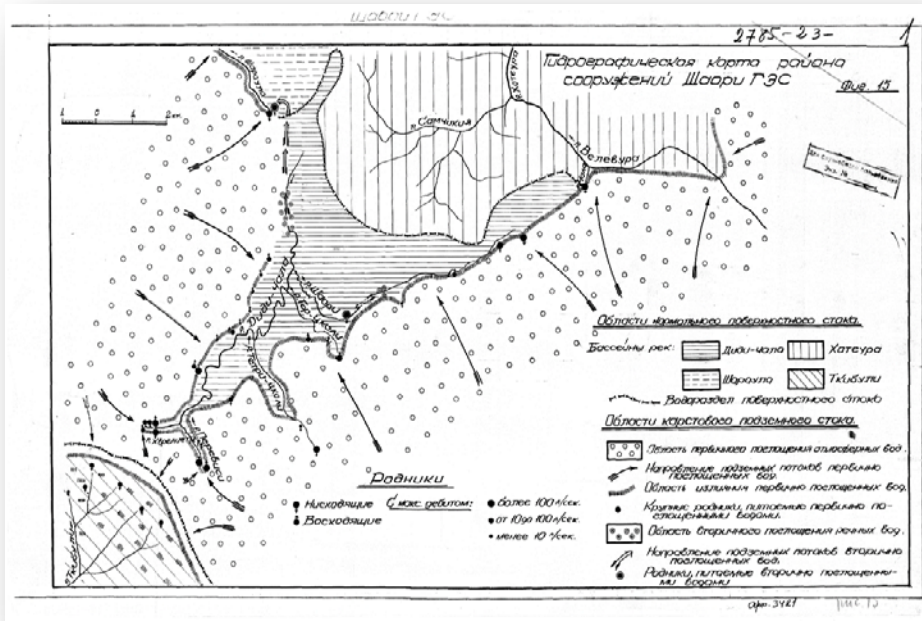
4.2.1. შაორის წყალსაცავის ბალანსი

შაორის წყალსაცავი მოქცეულია კარსტული ტბების ადგილას, სადაც მიწაყრის კაშხლით შეგუბდა მდინარე დიდი ჭალა. შაორის წყალსაცავი საზრდოობს კარსტული ტბების და მდინარე დიდი ჭალას ჩამონადენის ხარჯზე. მდინარე დიდი ჭალას კარსტულ სიცარიელეში ჩადინების ადგილებამდე მოწყობილია ქვანაყარი კაშხალი, რომელიც ქმნის მრავალწლიური რეგულირების წყალსაცავს. მდ.დიდი ჭალა სათავეს იღებს ნაქერალას ქედის ჩრდილო აღმოსავლეთ კალთიდან და წარმოიქმნება ორი შენაკადის მდ.პერევისი (მარჯვენა) და მდ.ხვრელიეთი (მარცხენა) შეერთების შედეგად. სოფელ სინათლესთან მდ.დიდი ჭალა იკარგება კარსტულ სიცარიელეებში. ჰკმ-ის შემდეგ უდაბნოს ტერიტორიაზე განთავსებულია მსხვილი სადებეტო მღვიმე 1065 მ, საიდანაც სათავეს იღებს მდ.შარაულა, რომელიც ჩაედინება მდ. რიონში და მდ.ცივწყალა, რომელიც მღვიმესთან ახლოს ჩაედინება მდ. შარაულაში.

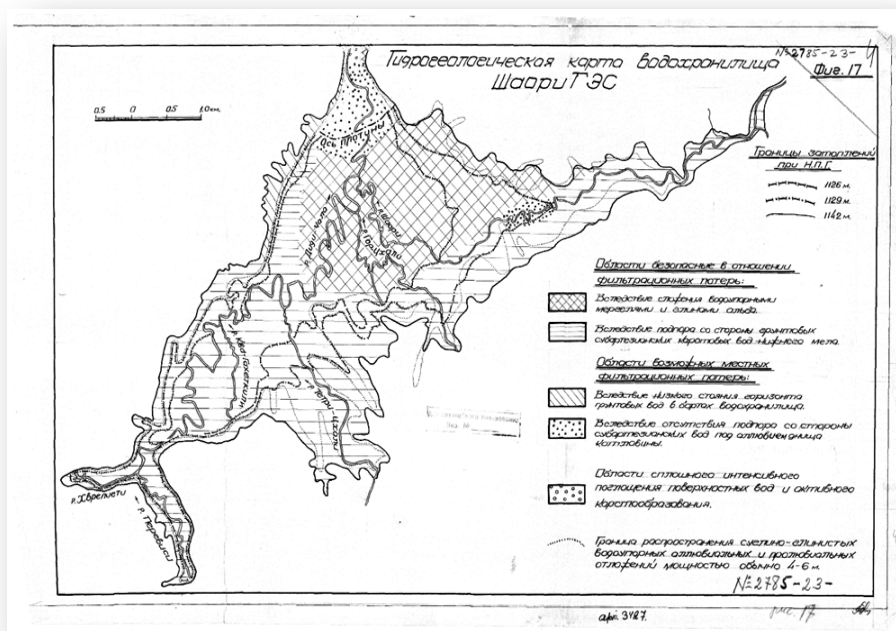
წყალსაცავის შევსებისას (პირველ ეტაპზე 1129.0 მ, მეორე ეტაპზე 1133.5 მ) მდ. დიდი ჭალა მთელი თავისი შენაკადებით: ხვრელიეთი, პერევისი, ქვაგახეთქილი, თეთრი წყალი, ღორწყალი, ხარისთვალი მთლიანად დაიძირა.

ნაწილობრივ დაიძირა შენაკადი - მდ. შაორი, რომელსაც გააჩნია არც თუ ისე მცირე სიგრძე და წყალშემკრები აუზი, განსხვავებით მდ.დიდი ჭალას ზემოაღნიშნული შენაკადებისა. წყალსაცავის შექმნამდე მდ.დიდი ჭალა (შენაკადით მდ.შაორი) მიედინებოდა როგორც ერთი მდინარე. შაორის ქვაბულის საზღვრებში ის ატარებდა მდ.შაორის სახელწოდებას, იკარგებოდა კარსტებში და 2 კმ-ის შემდეგ გამოდიოდა მიწის ზედაპირზე - უდაბნოს ტერიტორიაზე, უკვე მდინარე შარაულას სახელწოდებით. შაორის წყალსაცავის შექმნამდე მდ. დიდ ჭალაზე სოფელ ხერგასთან ფუნქციონირებდა 1945 -1954 წწ. ჰიდრომეტრიული საგუშაგო, რომელიც კაშხლის მშენებლობის დროს გადმოიტანეს ფსკერული გამშვების წყალგამყვან არხზე, სადაც წყალსაცავის შევსებამდე ხდებოდა მდ. დიდი ჭალას წყლის ხარჯის სრული აღრიცხვა. 1954 წლის 12 ნოემბრიდან კი წყალსაცავის შევსების გამო შეუძლებელი გახდა წყლის ხარჯის სრული აღრიცხვა მდ. დიდ ჭალაზე. აღრიცხებოდა მხოლოდ ფარების ან კაშხლის ტანში არსებული ფილტარციული დანაკარგები.

მაშასადამე, წყალსაცავის შევსებაში მონაწილე მდ. დიდი ჭალას და მისი შენაკადების წყლის ხარჯის აღრიცხვა პრაქტიკულად შეუძლებელია, ვინაიდან ისინი მთლიანად არის დაძირული. ერთადერთი შენაკადი რომელიც ნაწილობრივ ჩანს მიწის ზედაპირზე არის მდ.შაორი, რომლის ჩამონადენის ნაწილიც წყალსაცავის ქვეშ არის მოქცეული, ამიტომ აღნიშნულ შენაკადზე ჰიდრომეტრიული საგუშაგოს მოწყობით მოხდება მისი ჩამონადენის მხოლოდ ნაწილის აღრიცხვა (იხ. შაორის წყალსაცავის ჰიდროგრაფიული (ნახ.12) და ჰიდროგეოლოგიური (ნახ.13) რუკა [93]



ნახ.12. შაორის წყალსაცავის ჰიდროგრაფიული რუკა



ნახ.13. შაორის წყალსაცავის ჰიდროგეოლოგიური რუკა

დამატებით აღვნიშნავთ რომ, შაორის წყალსაცავის დამატებითი წყლით შევსებისათვის ე.წ. „ცივწყალას“, ტერიტორიაზე მოწყობილია სატუმბი სადგური, საიდანაც კარსტული წყლები იტუმბება სოფელ ნიკორწმინდის

მიმდებარე ტერიტორიაზე არსებულ შემკრებ რეზერვუარში და თვითდენით დახურული არხის საშუალებით ჩაედინება შაორის წყალსაცავში.

მრავალრიცხოვანი დაკვირვებების და ჰიდრომეტრიული გაზომვების შედეგად (გაზომვები მიმდინარეობდა წყალსაცავის შევსებამდე) დამტკიცებულია რომ, მდ.შარაულა (მდ.შაორი) არის მდ. დიდი ჭალას გაგრძელება, ხოლო მდ. ცივწყალა წარმოადგენს დამოუკიდებელ ერთეულს და გააჩნია საკუთარი კვება. წყალსაცავის სრული შევსებისას მდ. დიდი ჭალა დაიძირა, მდ. ცივწყალა კი სატუმბი სადგურის საშუალებით მონაწილეობს შაორის წყალსაცავის კვებაში. ასეთ პირობებში წყალსაცავის წყალსამეურნეო ბალანსი მიიღებს სახეს:

$$Q_{\text{მოდინება}} = Q_{\text{ჰესი}} + Q_{\text{წყალმობმარება}} + Q_{\text{გადაღვრილი}} + Q_{\text{აორთქ}} + Q_{\text{ფილტ}} + Q_{\text{ცივწყალა}} + Q_w \quad (76)$$

განტოლებაში (76) მოყვანილი ბალანსის შემადგენელი ძირითადი ელემენტები განმარტებულია ქვეთავში 3.5.

ქვემოთ წარმოდგენილ ცხრილში №5 შაორის წყალსაცავის ბუნებრივი მოდინების დასადგენად გამოიყენება შაორჰესის ოპერატიული ინფორმაცია შეზღუდული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის პირობებში, კერძოდ, გამოყენებულია: წყალსაცავის ნიშნულები, რომლითაც განისაზღვრება წყალსაცავის მოცულობები დღის დასაწყისში და ბოლოს. აღნიშნულით განისაზღვრება წყალსაცავის შევსება–დამუშვება. ჰესის ელექტროენერჯის გამომუშავების ნამრავლით ხვედრითი მოცულობის მაჩვენებელზე გამოითვლება ჰიდროტურბინებში გამავალი წყლის მოცულობა/წყლის ხარჯი და შესაბამისი წამების რიცხვზე გაყოფით, ჰესის წყლის ხარჯს ემატება წყალსაცავის შევსების ხარჯი და აკლდება წყალსაცავის დამუშავების ხარჯი. ასევე გათვალისწინებულია ფილტრაციული დანაკარგები და სატუმბი სადგური „ცივწყალას“ მიერ წყალსაცავში გადატუმბული წყლის რაოდენობა.

ცხრილი №5. შაორის წყალსაცავის ბუნებრივი მოდინების ანგარიში

დღე	წყლის დონე	წყალსაცავის სრული მოცულობა	წყლის ხარჯი შევსება (+), დამუშავება (-)	ჰესის ფაქტიური გამომუშავება	ჰესის ხარჯი	ცივწყალას სატუმბო სადღურიდან გადატუმბული წყლის რაოდენობა		ბუნებრივი მოდინება
						მ ³	მ ³ /წმ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20/07 /2021	1129.92	47.11	-3.08	8,081,117.02	4.63	906,0 50	0.55	1.00
21/07 /2021	1130.37	52.16		0				

შაორის წყალსაცავის შემოდინების პროგნოზი შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში განისაზღვრება ჩვენს მიერ შემუშავებული ალგორითმით, კერძოდ: წინა დღის ფაქტიური შემოდინებისა და სინოპტოკური პროგნოზის საშუალებით. წყალსაცავის წინა დღის ფაქტიური შემოდინება განისაზღვრება წყალსამეურნეო ბალანსით, კერძოდ კი შაორის წყალსაცავის რეგულირების მაჩვენებლით (იხ. ცხრილი №5) წარმოდგენილ ცხრილში შაორის წყალსაცავის ბუნებრივი მოდინების (მე-9 სვეტი) დასადგენად გამოიყენება: მე-2 სვეტის მონაცემები, რომლითაც განისაზღვრება წყალსაცავის მოცულობები დღის დასაწყისში და ბოლოს (მე-3 სვეტი) აღნიშნულით განისაზღვრება წყალსაცავის შევსება-დამუშავება. მე-5 სვეტის მონაცემების ნამრავლით ხვედრითი მოცულობის მაჩვენებელზე გამოითვლება ჰ/ტურბინებში გამავალი წყლისმოცულობა/წყლის ხარჯი შესაბამის წამების რიცხვზე გაყოფით (მე-6 სვეტი), ჰესის წყლის ხარჯს ემატება წყალსაცავის შევსების ხარჯი და აკლდება წყალსაცავის დამუშავების ხარჯი (მე-4 სვეტი), გათვალისწინებულია სატუმბო სადღური „ცივწყალას“ მიერ წყალსაცავში გადატუმბული წყლის რაოდენობა (მე-7 და მე-8 სვეტი).

სინოპტიკური პროგნოზი თავის მხრივ მოიცავს: ატმოსფერული ნალექის რაოდენობრივ პროგნოზს (მმ)-ში, სადაც გათვალისწინებულია წყალშემკრები აუზის ფართობი და მასში მოსალოდნელი ნალექის რაოდენობა. სამდინარო

ჩამონადენის ჰიდროლოგიურ გათვლებს ძირითადად, საფუძვლად უდევს მდინარის აუზში მოსული ატმოსფერული ნალექების რეჟიმის ცვალებადობა. ჩამონადენის საპროგნოზო მოდელების და სქემების შემუშავება ყოველთვის ითვალისწინებს წყალშემკრებზე ნალექების საათობრივი სვლის მონაცემებს. შაორის წყალსაცავის ბუნებრივი მოდინების საპროგნოზო მაჩვენებლის განსასაზღვრად, შესაბამისი დღიური დონის რყევის მაჩვენებლით მოცემულია ცხრილი №6-ში.

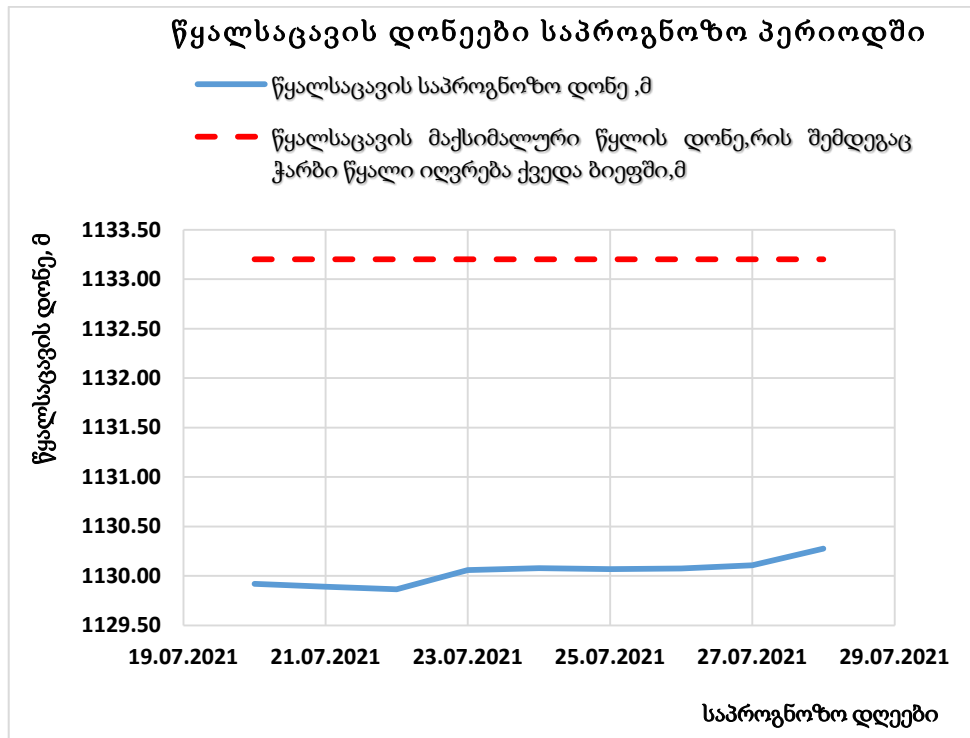
ცხრილი №6. შაორის წყალსაცავის შემოდინების პროგნოზი

დღე	წყალსაცავის ნიშნული, მ	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ მ ³	წყალსაცავის ენერგეტიკული მარაგი, მლნ კვტ.სთ	საპროგნოზო ნალექის რაოდენობა, მმ	წყალსაცავის სარკის ზედაპირის ფართობი, კმ ²	საპროგნოზო ნალექის მოცულობა წყალსაცავისთვის მლნ მ ³	წყალშემკრები აუზის ფართობი, კმ ²	საპროგნოზო ნალექის მოცულობა წყალშემკრები აუზისთვის, მლნ მ ³	წინა დღის ფაქტური შემოდინება წყალსაცავში, მ ³ /წმ	წყალსაცავის დონის სარეზერვო სიმაღლე, მ	დღიური დონის რყევა, მ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20.07.2021	1129.92	47.11	41.65	0.000	13.2	0.000	112.8	0.000	1.00	3.280	
21.07.2021	1129.89	46.79	41.35	0.800	13.2	0.011	112.8	0.063	1.00	3.310	- 0.030
22.07.2021	1129.87	46.54	41.12	26.300	13.2	0.347	112.8	2.077	1.00	3.333	- 0.023
23.07.2021	1130.06	48.64	43.09	6.000	13.2	0.079	112.8	0.474	1.00	3.140	0.193
24.07.2021	1130.08	48.87	43.30	2.100	13.2	0.028	112.8	0.166	1.00	3.120	0.020
25.07.2021	1130.07	48.74	43.18	4.400	13.2	0.058	112.8	0.347	1.00	3.131	- 0.011
26.07.2021	1130.08	48.83	43.26	7.300	13.2	0.096	112.8	0.576	1.00	3.123	0.007
27.07.2021	1130.11	49.18	43.59	24.400	13.2	0.322	112.8	1.927	1.00	3.093	0.031

კერძოდ წყალსაცავის ოპერატიული ინფორმაციის დამუშავების შედეგად (მე-2, მე-3, მე-4, მე-10 სვეტი), წყალსაცავის მორფომეტრიული პარამეტრების (მე-6, მე-8 სვეტი) და სინოპტიკური პროგნოზის (მე-5 სვეტი) გამოყენებით განისაზღვრება

მე-7 და მე-9 სვეტის მაჩვენებლები, რის შედეგად გაანგარიშებებით მიიღება წყალსაცავის შემოდინების საპროგნოზო მაჩვენებელი, რაც წარმოდგენილია მე-12 სვეტის სახით. ეს უკანასკნელი კი მე-3 სვეტში არსებული მონაცემის საშუალებით განსაზღვრავს მე-11 სვეტში წარმოდგენილ მონაცემს.

ცხრილი №6-ის მიხედვით განსაზღვრული წყალსაცავის საპროგნოზო დონეები მოცემულია ნახ.14-ში.



ნახ.14. შაორის წყალსაცავის საპროგნოზო დონეები

4.3. ზედა საფეხურის წყალსაცავის სამუშაო რეჟიმების შერჩევა, ქვედა ბიეფის ჰესების ეფექტური ფუნქციონირების გათვალისწინებით, რიონის ჰესებისათვის

4.3.1. ლაჯანურჰესის გავლენა გუმათჰეს I, გუმათჰესი II და რიონჰესის ექსპლოატაციაზე

ზედა საფეხურის წყალსაცავის (ლაჯანურის წყალსაცავი) გავლენა მის ქვედა ბიეფში არსებული ჰესებზე: გუმათჰეს I-ზე, გუმათჰესი II-ზე და რიონჰესზე

დამოკიდებულია ლაჯანურჰესის მუშაობის რეჟიმზე [109] ლაჯანურის საპროექტო სრული მოცულობის (24.6 მლნ. მ³) ნაწილში აკუმულირებული მყარი ნატანის მოცულობამ 1992 წელს 20,66 მლნ. მ³ შეადგინა [110], ხოლო 2011 წლის კვლევის მიხედვით - 20.8 მლნ. მ³ [99].

დღეის მდგომარეობით ლაჯანურის წყალსაცავის სისტემატური ჰიდრავლიკური გარეცხვითი სამუშაოების ჩატარების შედეგად ფაქტობრივი სასარგებლო მოცულობა 8.0 მლნ. მ³ იძლევა კვირეული და დღელამური რეგულირებით მუშაობის შესაძლებლობას.

აღსანიშნავია, რომ ლაჯანურჰესი მუშაობს მდ.ლაჯანურის და მდინარე რიონის აუზში გადმოგდებული მდ.ცხენისწყალის ჩამონადენზე, ხოლო გუმათჰესების კასკადის შემადგენელი ჰიდროელექტროსადგურები გუმათჰესი I და გუმათჰესი II იყენებს მდინარე რიონის შუა წელის ჰიდროენერგეტიკულ პოტენციალს 12 კმ-იან მონაკვეთზე სოფელ ჟონეთიდან რიონჰესის წყალსაცავამდე. ქ. ქუთაისში მდებარე რიონჰესზე, გუმათჰესების მსგავსად მარეგულირებელი მოცულობის არარსებობის გამო [109], მდინარე რიონის წყალმცირობის პერიოდში, როცა მდინარის წყლის ხარჯი ნაკლებია ჰესის საანგარიშო წყლის ხარჯზე ძალიან მნიშვნელოვანია, ზედა საფეხურის, ლაჯანურჰესის წყალსაცავის ისეთი სამუშაო რეჟიმების შერჩევა, რაც დადებითად აისახება ქვედა ბიეფის ჰესების ელექტროენერჯის წარმოებაზე.

წყალსაცავის დანიშნულებიდან გამომდინარე, ყოველდღიურად, წყლის ბალანსის ელემენტების გამოყენებით, კერძოდ, მდინარის ბუნებრივი მოდინების შესაბამისად და წყალსაცავში არსებული მარაგიდან დამატებული წყლის მოცულობით, ლაჯანურჰესს შეუძლია გარკვეულ საათებში პიკურ რეჟიმში მუშაობა, შემდეგ კი, ისევ მდინარის ბუნებრივი მოდინებით ხორციელდება წყალსაცავის შევსება. როდესაც დღელამური მოდინება $Q_{\text{მოდინება}}=14.5$ მ³/წმ, რომლითაც განისაზღვრება ჰესის მუშაობის რეჟიმი, ნაკლებია ტურბინის მინიმალურ წყლის ხარჯზე ($Q_{\text{ტურბინა}}= 16.67$ მ³/წმ) ჰესის მუშაობის რეჟიმი ერთსაფეხურიანია (პიკური) n-საათიან პერიოდში. ანგარიშის შედეგები მოყვანილია ცხრილში №7, სადაც მონაცემების გასაანგარიშებლად გამოყენებულია მე-3 თავის 3.7 ქვეთავში არსებული 71 და 72 საბალანსო განტოლებები.

ცხრილი №7. ლაჯანურჰესის დღეღამური რეგულირების ერთი საფეხურით (პიკური რეჟიმით) მუშაობა

დასახელება	განზომლება	ლაჯანურჰესი
სასარგებლო მოდინება (დეკემბრის წყლის ხარჯი, P=90%)	მ ³ /წმ	13.5
ჰესის წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	100
შესაძლო მაქს. პიკური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	100
დადგმული (ქონებული)სიმძლავრე	მგვტ	113.7
პიკური სიმძლავრე	მგვტ	113.7
ტურბინის მინიმალური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	16.7
ბაზისური რეჟიმში წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	0
სიმძლავრე ბაზისურ რეჟიმში	მ ³ /წმ	0
პიკური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	100
ბაზისურ რეჟიმში მუშაობის დრო	სთ	0
პიკურ რეჟიმში მუშაობის ხანგრძლიობა	სთ	3
წყალსაცავის ავსებისა და ჩამოცლის სასარგებლო მოცულობა	მლნ მ ³	1,006,412
პიკურ რეჟიმში მუშაობის დაწყების დრო	სთ	18
გამომუშავება წყალსაცავის რეგულირების გარეშე	მგვტ.სთ	367.3
გამომუშავება წყალსაცავის რეგულირებით	მგვტ.სთ	367.3

ცხრილი №7 გამოყენებულია შემდეგი სახის მონაცემები: ა) რიონის კასკადის ჰესების მცირეწელიანი წლის დეკემბრის თვის საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯი $Q_{\text{მოდინება}} = 14.5$ მ³/წმ, რომელიც ანგარიშებში შესულია აღნიშნული ჰესების ეკოლოგიური წყლის ხარჯის გათვალისწინებით - $Q_{\text{სასარგებლო მოდინება}} = 13.5$ მ³/წმ;

ბ) შესაძლო მაქსიმალური პიკური ხარჯი $Q_{\text{პიკური}} = 100$ მ³/წმ; გ)დადგმული სიმძლავრე $N_{\text{დადგმული}} = 113.7$ მგვტ; დ) პიკური სიმძლავრე $N_{\text{პიკური}} = 113.7$ მგვტ; ე)ჰიდროტურბინის მინიმალური ხარჯი,მ³/წმ - მინიმალური წყლის ხარჯი, რომელიც მიღებულია საანგარიშოს ($Q_{\text{საანგარიშო}}$) 30-50 % -ის ოდენობით; ვ) პიკის დაწყების საათი-18⁰⁰; ხანგრძლიობა $t_{\text{პიკური}} = 3$ სთ) ვ) წყალსაცავის ავსებისა/ჩამოცლის დღეღამური სასარგებლო მოცულობა განისაზღვრა შემდეგის სახის ბალანსით:

$$W_{\text{დღ}} = Q_{\text{პიკური}} - Q_{\text{სასარგებლო მოდინება}} \times 3600 \times t_{\text{პიკური}} = (100 - 13.5) \times 3600 \times 3 =$$

1,006,412 მლნ მ³, როგორც წესი, დღეღამური რეგულირების პრინციპის საფუძველზე წყალსაცავის ჩამოცლის და ავსების მოცულობები ერთმანეთის ტოლია, ამიტომ როდესაც წყალმცრობის დროს მოდინების შესაბამისი სასარგებლო მოცულობა ვერ უზრუნველყოს პიკური სიმძლავრეების მიღებას,

მისთვის საჭირო შესაბამისი მოცულობის მისაღებად გამოიყენება წყალსაცავის ენერგეტიკული მარაგის გარკვეული ოდენობა, რომლის კომპენსირება დღის განმავლობაში განხორციელდება წყალსაცავის შევსების ხარჯზე. პიკური პიკური რეჟიმის დღელამური გამომუშავება მიიღება პიკური სიმძლავრის გამრავლებით პიკურ რეჟიმში მუშაობის ხანგრძლიობაზე:

$$M_{\text{პიკური}} = N_{\text{პიკური}} \times t_{\text{პიკური}} = 113.7 \times 3 = 367.3 \text{ მგვტ.სთ.}$$
 აღსანიშნავია, რომ ლაჯანურძესი წყალსაცავის რეგულირების გარეშე იგივე ელექტროენერგიას გამოიმუშავებს:

$$M_{\text{სასარგ. მოდინებით}} = (N_{\text{მოდ}} \div q) \times 24 \text{ სთ} = (13.46 \div 0.879) \times 24 = 367.3 \text{ მგვტ. სთ.}$$

სადაც, q არის ხვედრითი ხარჯი. იგი წარმოადგენს წყლის ხარჯს მ³/წმ, რომელიც საჭიროა ერთი მეგავატი სიმძლავრის მისაღებად და განსაზღვრულია Q_{ჰესის ხარჯი}-ის და N_{ჰესის დადგმული} - ის ფარდობით.

ცხრილი №8-ში მოყვანილი გაანგარიშების შედეგებიდან ჩანს ლაჯანურძესის გავლენა რიონის ჰესების გამომუშავებაზე, როდესაც მისი მუშაობის რეჟიმი განისაზღვრება დღელამური რეგულირების ერთი საფეხურით - პიკური რეჟიმით.

ცხრილი №8. ლაჯანურძესის დღელამური რეგულირების ერთი საფეხურით (პიკური რეჟიმით) მუშაობის გავლენა გუმათჰეს I, გუმათჰეს II, რიონჰესი) გამომუშავებაზე

დასახელება	განზომილება	გუმათჰეს I	გუმათჰეს II	რიონჰესი
სასარგებლო მოდინება (დეკემბრის წყლის ხარჯი, P=90%)	მ ³ /წმ	19.00	19.00	19.00
ჰესის წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	214.0	214.0	75.00
დადგმული (ქონებული) სიმძლავრე	მგვტ	48.40	22.8	39.00
ტურბინის მინიმალური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	16.05	21.4	12.50
ბაზისური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	19.00	19.0	19.00
სიმძლავრე ლაჯანურის რეგულირების გარეშე	მგვტ	7.34	3.5	16.88
ბაზისური სიმძლავრე	მგვტ	4.30	2.0	9.88
პიკური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	119.00	119.0	75.00
პიკური სიმძლავრე	მგვტ	26.91	12.7	39.00
ბაზისურში რეჟიმში მუშაობის დრო	სთ	24.00	24.0	24.00
პიკურ რეჟიმში მუშაობის დრო	სთ	3.23	3.23	3.23
ჰესის დაწყების საათი	სთ	22. ⁰⁰	22. ⁵⁰	24. ⁰⁰
გამომუშავება ლაჯანურის რეგულირების გარეშე	მგვტ.სთ	176.19	83.0	405.10
გამომუშავება ლაჯანურის რეგულირებით	მგვტ.სთ	176.19	83.0	331.19

ცნობილია რომ, როდესაც დღეღამური სასარგებლო წყლის მოდინება $Q=25.8$ მ³/წმ, რომლითაც განისაზღვრება ჰესის მუშაობა ბაზისურ რეჟიმში, მეტია ტურბინის მინიმალურ წყლის ხარჯზე ($Q_{ტურბინა}=16.67$ მ³/წმ) შესაძლებელია ჰესის გადასვლა ორსაფეხურიან მუშაობის გრაფიკზე n-საათიან პერიოდში, მაქსიმალური დატვირთვით n-საათის განმავლობაში და განისაზღვრება საბალანსო განტოლების (75) საშუალებით (იხ.ქვეთავი 3.7) ლაჯანურჰესის ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობის შესაბამისი ანგარიშის შედეგები მოყვანილია ცხრილში №9.

ცხრილი №9. ლაჯანურჰესის დღეღამური რეგულირების ორი საფეხურით (პიკური და ბაზისური რეჟიმით) მუშაობა

დასახელება	განზომლება	ლაჯანურჰესი
სასარგებლო მოდინება (დეკემბრის წყლის ხარჯი, P=50%)	მ ³ /წმ	25.8
ჰესის წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	100
შესაძლო მაქს. პიკური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	100
დადგმული (ქონებული)სიმძლავრე	მგვტ	114
პიკური სიმძლავრე	მგვტ	114
ჰ/ტურბინის მინიმალური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	16.7
ბაზისური რეჟიმში წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	17
სიმძლავრე ბაზისურ რეჟიმში	მ ³ /წმ	19
პიკური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	100
ბაზისურ რეჟიმში მუშაობის დრო	სთ	24
პიკურ რეჟიმში მუშაობის ხანგრძლიობა	სთ	3
გამოყენებული წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობა	მლნ მ ³	677,664
პიკურ რეჟიმში მუშაობის დაწყების დრო	სთ	18 ⁰⁰
გამომუშავება წყალსაცავის რეგულირების გარეშე	მგვტ.სთ	703.2
გამომუშავება წყალსაცავის რეგულირებით	მგვტ.სთ	703.2

ცხრილი№10-ში წარმოდგენილი გაანგარიშების შედეგები შეესაბამება ლაჯანურჰესის დღეღამური რეგულირების ორი საფეხურით-პიკური და ბაზისური რეჟიმებით მუშაობისას მის გავლენას რიონის ჰესების გამომუშავებაზე.

ანგარიშების შედეგებიდან ჩანს, რომ, ლაჯანურჰესის მუშაობა გაზრდის მის სიმძლავრეს პიკური დატვირთვის დროს, ამასთან გუმათჰესებისგან განსხვავებით, რიონჰესზე გამოიწვევს ელექტროენერჯის გამომუშავების დანაკარგს და შესაბამისად წყლის გადაღვრას, რაც გამოწვეულია შემდეგი ფაქტორებით:

ცხრილი №10. ლაჯანურჰესის დღედამური რეგულირების ორი საფეხურით (პიკური და ბაზისური რეჟიმით) მუშაობის გავლენა გუმათჰეს I, გუმათჰეს II, რიონჰესი) გამომუშავებაზე

დასახელება	განზომლება	გუმათჰეს I	გუმათჰეს II	რიონჰესი
სასარგებლო მოდინება (დეკემბრის წყლის ხარჯი, P=50%)	მ ³ /წმ	39.82	39.82	39.82
ჰესის წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	214.0	214.0	75.00
დადგმული (ქონებული)სიმძლავრე	მგვტ	48.40	22.8	39.00
ჰ/ტურბინის მინიმალური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	16.05	21.4	12.50
ბაზისური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	56.82	56.8	56.82
სიმძლავრე ლაჯანურის რეგულირების გარეშე	მგვტ	14.83	7.0	34.11
ბაზისური სიმძლავრე	მგვტ	12.85	6.1	29.55
პიკური წყლის ხარჯი	მ ³ /წმ	139.82	139.8	75.00
პიკური სიმძლავრე	მგვტ	31.62	14.9	39.00
ბაზისურში რეჟიმში მუშაობის დრო	სთ	24.00	24.0	24.00
პიკურ რეჟიმში მუშაობის დრო	სთ	2.54	2.54	2.54
პიკის დაწყების საათი	სთ	22 ⁰⁰	23 ⁵⁰	24 ⁰⁰
გამომუშავება ლაჯანურის რეგულირების გარეშე	მგვტ-სთ	356.04	167.7	818.59
გამომუშავება ლაჯანურის რეგულირებით	მგვტ-სთ	356.04	167.7	733.11

პირველი ფაქტორი: როდესაც ლაჯანურჰესის პიკური წყლის ხარჯი (ჰესის საანგარიშო წყლის ხარჯი 100 მ³/წმ) ნაკლებია/ტოლია გუმათჰეს I და გუმათჰესII პიკური წყლის ხარჯზე (ჰესის საანგარიშო წყლის ხარჯი (214 მ³/წმ), მაშინ დღედამური რეგულირებით, ერთსაფეხურიან (მხოლოდ პიკური) რეჟიმში ქვედა ბიეფის ჰესების ელექტროენერჯის ჯამური გამომუშავება არ მცირდება და ენერგეტიკულ-ეკონომიკური მახასიათებლები არ უარესდება.

მეორე ფაქტორი: როდესაც ლაჯანურჰესის პიკური წყლის ხარჯი (ჰესის საანგარიშო წყლის ხარჯი 100 მ³/წმ) მეტია რიონჰესის პიკური წყლის ხარჯზე (ჰესის საანგარიშო წყლის ხარჯი 75.0 მ³/წმ), მაშინ მისი დღედამური რეგულირებით, ერთსაფეხურიან (მხოლოდ პიკური), წყლის აკუმულირების პერიოდში რიონჰესს დააკლდება ჩამონადენის რაოდენობა, რაც აისახება სიმძლავრის შემცირებით (ან აღნიშნულ პერიოდში რიონჰესის გაჩერებით), ხოლო ლაჯანურის წყალსაცავის დამუშავების პერიოდში რიონჰესი მიაღწევს მაქსიმალურ სიმძლავრეს, მაგრამ დაუფიქსირდება წყლის გადაღვრა ჭარბი რესურსის სახით.

წყლის რესურსის ეფექტურად გამოყენების მიზნით, უწყვეტი მუშაობის უზრუნველსაყოფად, მიგვაჩნია, რომ ლაჯანურჰესის ექსპლოატაცია უნდა განხორციელდეს დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში. მითითებული ითვალისწინებს, ზედა საფეხურის - ლაჯანურჰესის ერთი ჰიდროაგრეგატის მუდმივად მუშაობას ბაზისურ რეჟიმში, რათა შენარჩუნებულ იქნეს ქვედა ბიეფში არსებული ჰესების ეფექტური ფუნქციონირება, ხოლო პიკური რეჟიმით ჰესი ჩაერთოს ენერგოსისტემის მაქსიმალური დატვირთვების დაფარვაში [109].

4.3.2. ნამახვანჰესისი გავლენა გუმათჰეს I, გუმათჰესი II და რიონჰესის ექსპლოატაციაზე

აღნიშნულ ქვეთავში განხილულია პერსპექტიული ნამახვანჰესის წყალსაცავების ისეთი სამუშაო რეჟიმების შერჩევა, რაც უზრუნველყოფს კასკადის ქვედა საფეხურის ჰესების ეფექტურ ფუნქციონირებას.

ცნობილი ფაქტია რომ, ნამახვანჰესების კასკადის (ზემო ნამახვანჰესი და ქვემო ნამახვანჰესი) გავლენა გუმათჰესI-ზე, გუმათჰესII-ზე და რიონჰესზე დამოკიდებულია ქვედა ნამახვანჰესის მუშაობის რეჟიმზე.

ზემო ნამახვანი ჰესი განლაგებულია ცაგერის მუნიციპალიტეტში, ტვიშის ხეობაში. სათავე კვანძი წარმოადგენს 60 მ-იან ბეტონის გრავიტაციულ კაშხალს. ნორმალური შეტბორვის (ნშდ) ნიშნულის დროს წყალსაცავის სარკის ზედაპირია 1.0 კმ²; სრული მოცულობა 10,8 მლნ მ³. ზემო ნამახვანი წარმოადგენს კაშხალთან მდებარე ჰესს, საანგარიშო ხარჯით 280 მ³/წმ, დადგმული სიმძლავრით 100 მგვტ.

ქვემო ნამახვანჰესი განთავსებულია წყალტუბოს მუნიციპალიტეტში. კაშხლის გასწორი მდებარეობს სოფელი ნამახვანიდან 2კმ ზემოთ. ბეტონის გრავიტაციული 105მ-იანი კაშხალი ნორმალური შეტბორვის (ნშდ) ნიშნულისათვის ქმნის 167.5 მლნ მ³ სრული მოცულობის (სასარგებლო მოცულობა -73.5 მლნ მ³) წყალსაცავს, რომლის სარკის ზედაპირის ფართობი შეადგენს 5.1 კმ². [111] წყალსაცავის მოცულობა იძლევა როგორც დღეღამური, ასევე კვირეული და სეზონური რეგულირების შესაძლებლობას.

ნამახვანჰესი ყოველდღიურად, მდ.რიონის ბუნებრივი მოდინების შესაბამისად და წყალსაცვის ენერგეტიკული მარაგიდან დამატებული წყლის

მოცულობით, მუშაობს გარკვეულ საათებში პიკურ რეჟიმში, შემდეგ კი ისევ მდინარის ბუნებრივი მოდინებით ახორციელებს წყალსაცავის შევსებას. დღედამური რეგულირებით მუშაობის შემთხვევაში დღის გარკვეული დროის განმავლობაში მდინარე რიონში ხარჯის წყვეტა დაფიქსირდება, კერძოდ რიონის კასკადის ჰესებისთვის ქვემო ნამახვანჰესი ქვედა ბიეფში მხოლოდ ეკოლოგიურ წყლის ხარჯს გაატარებს. აღნიშნულ ქვეთავში განხილულია ქვემო ნამახვანჰესის მუშაობის სამი ვარიანტი. პირველი ორი ვარიანტი გულისხმობს მხოლოდ მაისი აგვისტოს თვეებში მუშაობას დღედამური რეგულირებით-პიკურ რეჟიმში, დანარჩენ თვეებში ჰესი იმუშავებს მოდინებაზე-რეგულირების გარეშე. ცხრილი №11-ში მოყვანილია გუმათჰეს I, გუმათჰეს II და რიონჰესის გამომუშავების დანაკარგები წარმოდგენილი რეჟიმების გამო. ხოლო ცხრილში №12-ში მოცემულია დღედამური რეგულირებით გამოწვეული გამომუშავების დანაკარგები დღედამური რეგულირების ერთი საფეხურით მთელი წლის მანძილზე.

ქვემო ნამახვანჰესის მუშაობის მე-3 ვარიანტი გულისხმობს რეგულირების ერთკვირიან ციკლს, კერძოდ: სამუშაო დღეებში თავისუფალი დღედამური რეგულირება ორი 4-საათიანი პიკური რეჟიმით და 16 საათიანი წყალსაცავის ავსებით, ხოლო შაბათ-კვირა - ავსება-აღდგენა სამუშაო დღეებში წყალსაცავის დამუშავებული მოცულობით ე.წ თავისუფალი რეჟიმით.

ცხრილი №11. გუმათჰეს I, გუმათჰეს II და რიონჰესის გამომუშავების დანაკარგები ქვემო ნამახვანჰესის დღედამური რეგულირების ერთი საფეხურით მაისი-აგვისტოს თვეებში

წყელი	საშუალო წლიური ხარჯი, მ ³ /წმ	გუმათჰეს-1	გამომუშავების დანაკარგები, %	გუმათჰეს-2	გამომუშავების დანაკარგები, %	რიონჰესი	გამომუშავების დანაკარგები, %	ჯამური გამომუშავება, მლნ კვტ.სთ		გამომუშავების დანაკარგები, %
								ნამახვანის გავლენით	ნამახვანის გარეშე	
უხვ წყლიანი	200,2	283,032 5,1	12,9	138,115 3,0	9,7	291,53 09,6	5,8	712, 7	787,8	9,5
საშუალო წყლიანი	161,7	204,524 5,0	16,5	99,8115 ,3	13,4	251,32 78,0	9,6	555, 5	638,4	13,0
მცირე წყლიანი	128,4	159,020 8,0	23,6	77,697, 9	20,7	217,02 49,0	12,8	453, 7	554,9	18,2

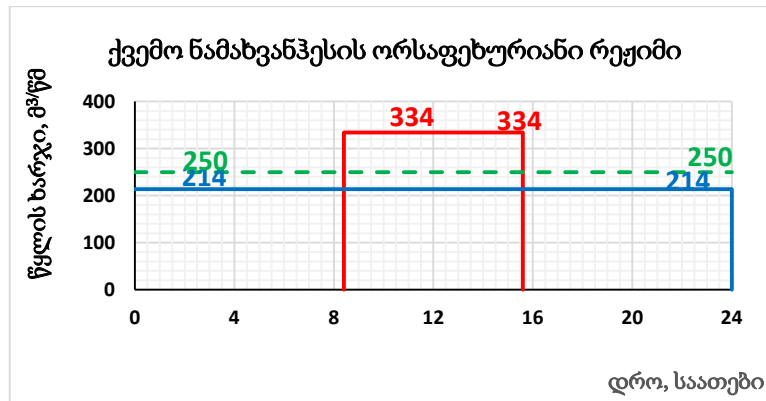
ცხრილი №12. გუმათქეს I, გუმათქეს II და რიონჰესის გამომუშავების დანაკარგები ქვემო ნამახვანჰესის დღეღამური რეგულირების ერთი საფეხურით მთელი წლის განმავლობაში

წელი	უზრუნველყოფა, %	საშუალო წლიური ხარჯი, მ ³ /წმ	გუმათქეს-1	გამომუშავების დანაკარგები, %	გუმათქეს-2	გამომუშავების დანაკარგები, %	რიონჰესი	გამომუშავების დანაკარგები, %	ჯამური გამომუშავება, მლნ კვტ.სთ		გამომუშავების დანაკარგები, %
									ნამახვანის გავლენა	ნამახვანის გარეშე	
უხვ წელიანი	10	200,2	228,0 325,1	29,9	107,3 153,0	29,9	180,9 309,6	41,6	516,2	787,8	34,5
საშუალო წელიანი	50	161,7	172,2 245,0	29,7	81,1 115,3	29,7	141,3 278,0	49,2	394,6	638,4	38,2
მცირე წელიანი	90	128,4	132,4 208,0	36,3	62,3 97,9	36,3	110,4 249,0	55,7	305,5	554,9	45,0

ვინაიდან გუმათის წყალსაცავს პრაქტიკულად არ გააჩნია სასარგებლო მოცულობა, შეუძლებელია ქვემო ნამახვანჰესის დღეღამური რეჟიმების კონტრეგულირება, რაც იწვევს დღის გარკვეული პერიოდების დროს მდინარე რიონში ხარჯის წყვეტას ეკოლოგიურ ნორმამდე და რიონის კასკადის ჰესების გაჩერებას. მიგვაჩნია რომ ერთადერთ რეალურ გამოსავალს წარმოადგენს ქვემო ნამახვანჰესის მუშაობა დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში. აღნიშნული რეჟიმის ალგორითმს აქვს შემდეგი სახე: **პირველი საფეხური:** თუ სასარგებლო მოდინება მეტია 214 მ³/წმ (Q>214-გუმათ ჰესების საანგარიშო ხარჯი) დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკის პიკი არის 334 მ³/წმ (ქვემო ნამახვანჰესის საანგარიშო ხარჯი-დადგმული სიმძლავრე). **მეორე საფეხური** 214 მ³/წმ (გუმათჰესების საანგარიშო ხარჯი-დადგმული სიმძლავრე).

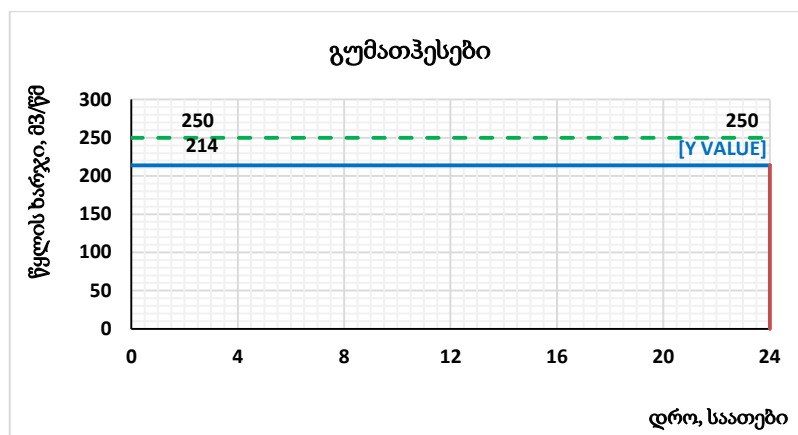
ანგარიშებები ჩატარებულია მდინარე რიონის სხვადასხვა ბუნებრივი მოდინების შემთხვევებისთვის, კერძოდ, ნახ.15;16;17 მოცემულია ქვემო ნამახვანჰესის, გუმათჰესების და რიონჰესის დღიური მუშაობის გრაფიკები როდესაც მდ.რიონში სასარგებლო მოდინება განსხვავებულია. განვიხილოთ თითოეული მათგანი:

ა) ნახ.15-ზე ნაჩვენებია ქვემო ნამახვანჰესის დღეღამური რეგულირების გრაფიკი როდესაც მდინარის სასარგებლო მოდინება შეადგენს 250 მ³/წმ.



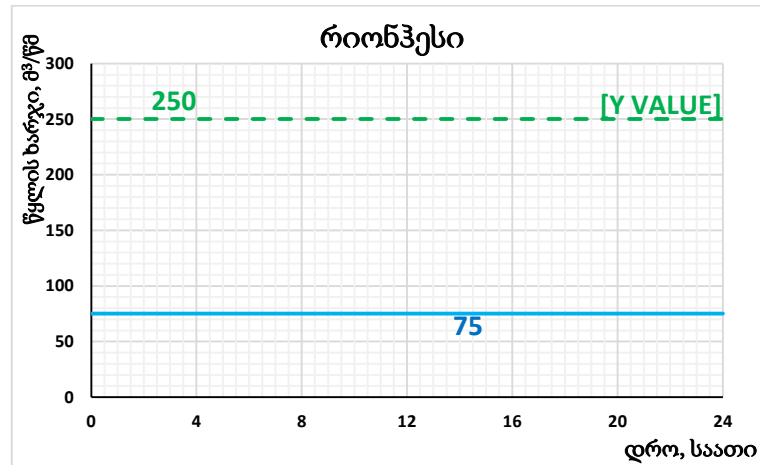
ნახ.15. ქვემო ნამახვანჭესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკი 250 მ³/წმ სასარგებლო მოდინების დროს

ქვემო ნამახვანი ჰესი 7,2 საათის განმავლობაში მუშაობს დადგმული სიმძლავრით, ხოლო დღის დანარჩენი დრო -16,8 საათი, 214 მ³/წმ. დადგმული სიმძლავრით მუშაობის დროს 7,2 საათის განმავლობაში წყლის ხარჯით 84.0 მ³/წმ (334 მ³/წმ-250 მ³/წმ) წყალსაცავიდან იღებს 2 177 280 მ³ (84x7,2x3600). დღის დანარჩენ დროს ხდება წყალსაცავის ავსება 36.0 მ³/წმ (250 მ³/წმ-214 მ³/წმ), ავსების მოცულობა უდრის 2 177 280 მ³ (36x16,8x3600). აღსანიშნავია რომ დღელამური რეგულირების დროს წყალსაცავის დამუშევების და შევსების მოცულობების ტოლობა უდრის შემოდინებული წყლის მოცულობას. ნახ.16-ზე ნაჩვენებია გუმათჰეს I-ის და გუმათჰეს II-ის დღიური მუშაობის რეჟიმი ქვემო ნამახვანჭესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში. მუშაობისას, 250 მ³/წმ სასარგებლო მოდინების შემთხვევაში.



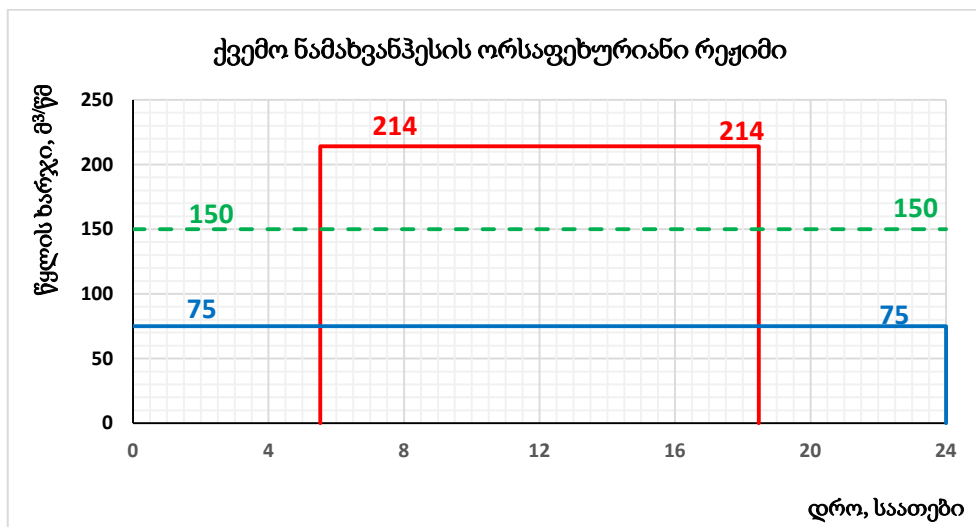
ნახ.16. გუმათჰეს I-ის და გუმათჰეს II-ის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჭესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 250 მ³/წმ სასარგებლო მოდინების დროს

ქვემო ნამახვანძესი 7,2 საათიანი პიკის 334 მ³/წმ-დან ითვისებს 214 მ³/წმ (გუმათქესების საანგარიშო ხარჯს) და ღვრის 120 მ³/წმ, დღის დარჩენილ დროს ტრანზიტად ატარებს-მუშაობს დადგმული სიმძავრით. ნახ.17 ნაჩვენებია რიონძესის მუშაობის დღელამური რეჟიმი. რიონძესი მუშაობს დადგმული სიმძლავრით 24 სთ განმავლობაში.



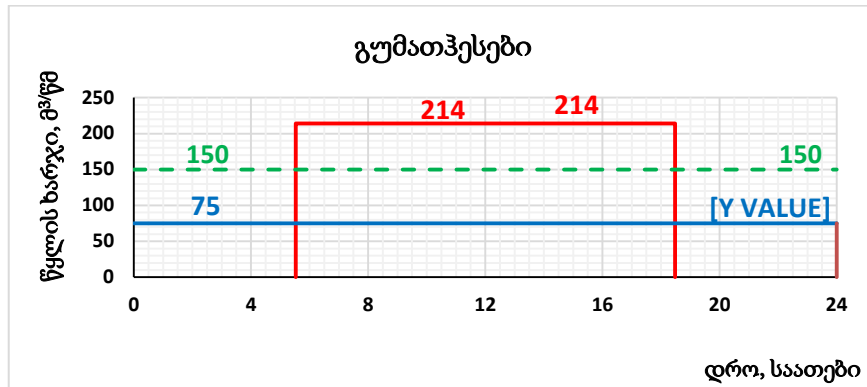
ნახ.17. რიონძესის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანძესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 250 მ³/წმ სასრგებლო მოდინების დროს

ბ) ნახ.18-ზე წარმოდგენილია დღელამური რეგულირების გრაფიკი, როდესაც მდინარის სასარგებლო მოდინება შეადგენს 150 მ³/წმ.



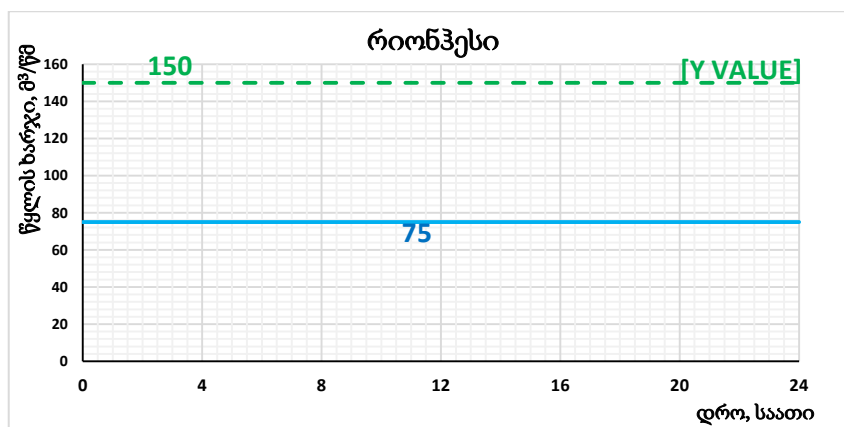
ნახ.18. ქვემო ნამახვანძესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკი 150 მ³/წმ სასრგებლო მოდინების დროს

ნამახვანჭესი 12,94 საათის განმავლობაში მუშაობს 214 მ³/წმ, ხოლო დღის დანარჩენი დრო 11,0 საათი 75.0 მ³/წმ. 12,94 საათის განმავლობაში წყალსაცავიდან იღებს 64.0 მ³/წმ (214 მ³/წმ-150 მ³/წმ), ხდება წყალსაცავიდან 2 983 587 მ³ აღება (64x12,94x3600), დღის დანარჩენ დროს ხდება წყალსაცავის შევსება 75.0 მ³/წმ (150 მ³/წმ-75.0 მ³/წმ), შევსების მოცულობა უდრის 2 983 587 მ³ (75x11,06x3600).



ნახ.19. გუმათქეს I-ის და გუმათქეს II-ის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჭესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 150 მ³/წმ სასრგებლო მოდინების დროს

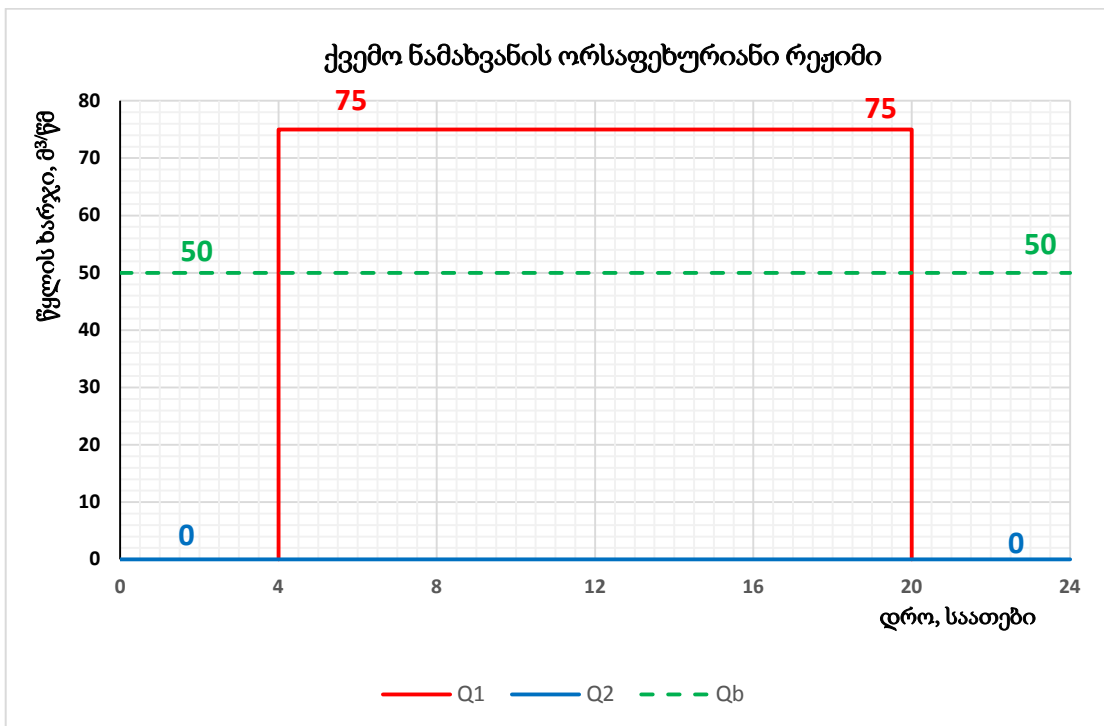
ნახ.19-ზე ნაჩვენებია გუმათქეს I-ის და გუმათქეს II-ის დღიური მუშაობის რეჟიმი. ნამახვანჭესის 12,94 საათიანი პიკის 214 მ³/წმ- 214 მ³/წმ (საანგარიშო ხარჯი) ტრანზიტად ატარებს-მუშაობს დადგმული სიმძავრით, დღის დარჩენილ დროს კი მუშაობს 75.0 მ³/წმ.



ნახ.20. რიონჭესის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჭესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 150 მ³/წმ სასრგებლო მოდინების დროს

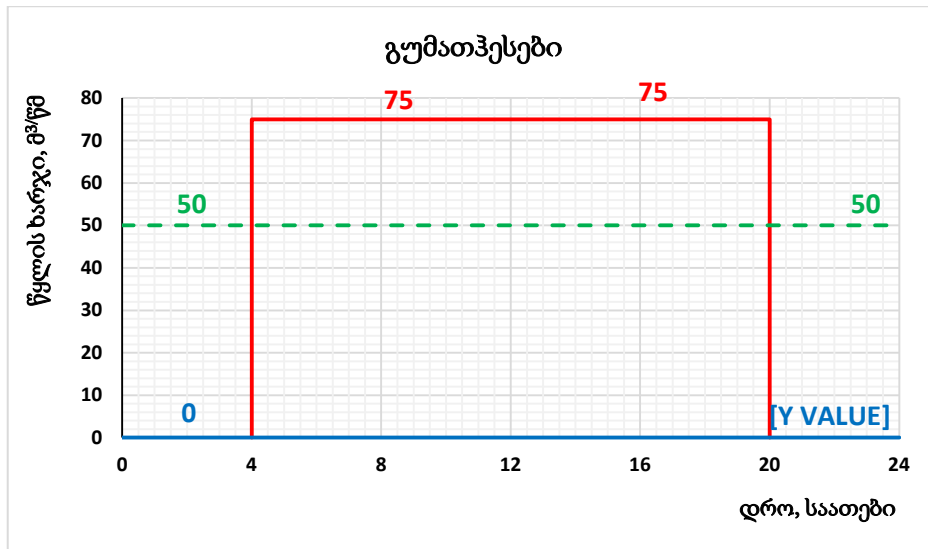
ნახ.20 ნაჩვენებია რიონჰესის მუშაობის დღელამური რეჟიმი,სადაც მუშაობს დადგმული სიმძლავრით მთელი დღის მანძილზე. აღსანიშნავია რომ, სასარგებლო მოდნების 75.0 მ³/წმ ნაკლებობის დროს ერთ საფეხურიანი 75.0 მ³/წმ პიკით-ნამახვანჰესის მინიმალური ხარჯი შედგაგენს- 45.0 მ³/წმ.

გ) ნახ.21 ნაჩვენებია დღელამური რეგულირების გრაფიკი როდესაც სასარგებლო მოდინება არის 50.0 მ³/წმ.



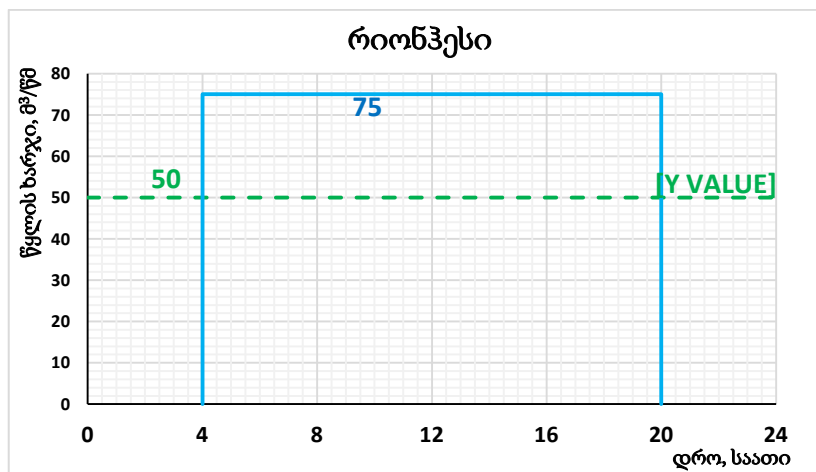
ნახ.21. ქვემო ნამახვანჰესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკი 50 მ³/წმ სასარგებლო მოდინების დროს

ქვემო ნამახვანჰესი 16,0 საათის განმავლობაში მუშაობს 75.0 მ³/წმ (რიონჰესის საანგარიშო ხარჯი), ხოლო დღის დანარჩენი დრო 8,0 საათი გაჩერებულია. 16 საათის განმავლობაში წყალსაცავიდან იღებს 25 მ³/წმ (75 მ³/წმ-50 მ³/წმ), ხდება წყალსაცავიდან 1 440 000 მ³ აღება (25x16,0x3600), დღის დანარჩენ დროს ხდება წყალსაცავის ავსება 50.0 მ³/წმ, ავსების მოცულობა უდრის 1440 000 მ³ (50x8.0x3600).



ნახ.22. გუმათჰეს I-ის და გუმათჰეს II-ის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჰესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 50 მ³/წმ სასრგებლო მოდინების დროს

ნახ.22-ზე ნაჩვენებია გუმათჰეს I-ის (ჰეს II-ის) დღიური მუშაობის რეჟიმი. ნამახვანჰესი 16 სთ-იანი პიკში 75.0 მ³/წმ-ტრანზიტად ატარებს, დღის დარჩენილ დროს კი ჰესი გაჩერებულია.



ნახ.23. რიონჰესის დღიური მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჰესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას 150 მ³/წმ სასრგებლო მოდინების დროს

ნახ.23 ნაჩვენებია რიონჰესის მუშაობის დღელამური გრაფიკი, რომლის თანახმად მუშაობს დადგმული სიმძლავრით 16 სთ-ის განმავლობაში.

პერსპექტიული ზედა საფეხურის წყალსაცავის სამუშაო რეჟიმების

გავლენის შესაფასებლად, კასკადის ქვედა საფეხურის ჰესების საექსპლოატაციო რეჟიმებზე ცხრილი №13-ში წარმოდგენილია ქვემო ნამახვანჰესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკები თვეების მიხედვით საშუალოწელიანი მოდინების შემთხვევაში.

ცხრილი №13. ქვემო ნამახვანჰესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკი საშუალოწელიანი მოდინების დროს

თვე	ბუნებრივი მოდინება	ეკოლოგიური ხარჯი	სასარგებლო მოდინება	პიკური რეჟიმი	პიკში მუშაობის დრო	ბაზისური რეჟიმი	ბაზისში მუშაობის დრო
	მ ³ /წმ	მ ³ /წმ	მ ³ /წმ	მ ³ /წმ	სთ	მ ³ /წმ	სთ
IV	371	16.0	355	334	24.00	0	0.00
V	282	16.0	266	334	10.40	214	13.60
VI	285	16.0	269	334	11.00	214	13.00
VII	253	16.0	237	334	4.60	214	19.40
VIII	137	16.0	121	214	7.94	75	16.06
IX	98.8	16.0	82.8	214	1.35	75	22.65
X	155	16.0	139	214	11.05	75	12.95
XI	75.9	16.0	59.9	75	19.17	0	0.00
XII	57.2	16.0	41.2	75	13.18	0	0.00
I	45.1	16.0	29.1	75	9.31	0	0.00
II	49.3	16.0	33.3	75	10.66	0	0.00
III	131	16.0	115	214	6.91	75	17.09

ცხრილი №14 (გუმათჰეს I), ცხრილი №15 (გუმათჰეს II), ცხრილი №16 (რიონჰესი), გაანგარიშებულია, ჰესების დღიური რეჟიმები საშუალო წელიწადიანი პერიოდისთვის 50% უზრუნველყოფის წლისათვის. კერძოდ: მე-5 და მე-6 სვეტებში მოცემულია შესაბამისად ჰესის წყლის ხარჯები და სიმძლავრეები თვის ჭრილში. მე-7 სვეტი ასახავს გამომუშავებას ნამახვანჰესის ექსპლოატაციის გარეშე. მე-8 და 10 სვეტში მოცემულია ქვემო ნამახვანჰესის ორსაფეხურიანი რეჟიმის გავლენის შედეგად მიღებული წყლის ხარჯები. მე-13 და მე-14 სვეტებში ასახულია შესაბამისი სიმძლავრეები და მე-15 სვეტში ელექტროენერჯის გამომუშავება.

ცხრილი №14. გუმათჰეს I-ის მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჰესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას საშუალოწყლიანი მოდინების დროს

თვე	ბუნებრივი მოდინება, მ³/წმ	ეკოლოგიური ხარჯი, მ³/წმ	სასარგებლო მოდინება, მ³/წმ	რეჟიმი მოდინებაზე, მმ/წმ	ჰესის სიმძლავრე, მგვტ	გამომუშავება, მგვტ სთ	პიკური რეჟიმი, მ³/წმ	პიკში მუშაობის დრო, სთ	ბაზისური რეჟიმი, მ³/წმ	ბაზისში მუშაობის დრო, სთ	ხვედრითი ხარჯი, მ³/წმ/მგვტ სთ	პიკური სიმძლავრე, მგვტ	ბაზისური სიმძლავრე, მგვტ	გამომუშავება, მგვტ სთ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IV	371	16	355	214	48.42	34 859.73	214	24.00	0	0.00	4.42	48.42	0.00	34 859.73
V	282	16	266	214	48.42	36 021.72	214	10.40	214	13.60	4.42	48.42	48.42	36 021.72
VI	285	16	269	214	48.42	34 859.73	214	11.00	214	13.00	4.42	48.42	48.42	34 859.73
VII	253	16	237	214	48.42	36 021.72	214	4.60	214	19.40	4.42	48.42	48.42	36 021.72
VIII	137	16	121	121	27.38	20 367.42	214	7.94	75	16.06	4.42	48.42	16.97	20 367.42
IX	98.8	16	82.8	82.8	18.73	13 487.78	214	1.35	75	22.65	4.42	48.42	16.97	13 487.78
X	155	16	139	139	31.45	23 397.29	214	11.05	75	12.95	4.42	48.42	16.97	23 397.29
XI	75.9	16	59.9	59.9	13.55	9 757.47	75	19.17	0	0.00	4.42	16.97	0.00	9 757.47
XII	57.2	16	41.2	41.2	9.32	6 935.02	75	13.18	0	0.00	4.42	16.97	0.00	6 935.02
I	45.1	16	29.1	29.1	6.58	4 898.28	75	9.31	0	0.00	4.42	16.97	0.00	4 898.28
II	49.3	16	33.3	33.3	7.53	5 062.81	75	10.66	0	0.00	4.42	16.97	0.00	5 062.81
III	131	16	115	115	26.02	19 357.47	214	6.91	75	17.09	4.42	48.42	16.97	19 357.47
Σ						245026.43								245026.43

ცხრილი №15. გუმათჰეს II-ის მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჰესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას საშუალოწყლიანი მოდინების დროს

თვე	ბუნებრივი მოდინება, მ³/წმ	ეკოხარჯი, მ³/წმ	სასარგებლო მოდინება, მ³/წმ	რეჟიმი მოდინებაზე, მმ/წმ	ჰესის სიმძლავრე, მგვტ	გამომუშავება, მგვტ სთ	პიკური რეჟიმი, მ³/წმ	პიკში მუშაობის დრო, სთ	ბაზისური რეჟიმი, მ³/წმ	ბაზისში მუშაობის დრო, სთ	ხვედრითი ხარჯი, მ³/წმ/მგვტ სთ	პიკური სიმძლავრე, მგვტ	ბაზისური სიმძლავრე, მგვტ	გამომუშავება, მგვტ სთ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IV	371	16	355	214	22.79	16 408.95	214	24.00	0	0.00	9.39	22.79	0.00	16 408.95
V	282	16	266	214	22.79	16 955.91	214	10.40	214	13.60	9.39	22.79	22.79	16 955.91
VI	285	16	269	214	22.79	16 408.95	214	11.00	214	13.00	9.39	22.79	22.79	16 408.95
VII	253	16	237	214	22.79	16 955.91	214	4.60	214	19.40	9.39	22.79	22.79	16 955.91
VIII	137	16	121	121	12.89	9 587.22	214	7.94	75	16.06	9.39	22.79	7.99	9 587.22
IX	98.8	16	82.8	82.8	8.82	6 348.88	214	1.35	75	22.65	9.39	22.79	7.99	6 348.88
X	155	16	139	139	14.80	11 013.42	214	11.05	75	12.95	9.39	22.79	7.99	11 013.42
XI	75.9	16	59.9	59.9	6.38	4 592.97	75	19.17	0	0.00	9.39	7.99	0.00	4 592.97

XII	57.2	16	41.2	41.2	4.39	3 264.41	75	13.18	0	0.00	9.39	7.99	0.00	3 264.41
I	45.1	16	29.1	29.1	3.10	2 305.69	75	9.31	0	0.00	9.39	7.99	0.00	2 305.69
II	49.3	16	33.3	33.3	3.55	2 383.13	75	10.66	0	0.00	9.39	7.99	0.00	2 383.13
III	131	16	115	115	12.25	9 111.82	214	6.91	75	17.09	9.39	22.79	7.99	9 111.82
Σ						115 337,25								115 337,25

ცხრილი №16. რიონჰესის მუშაობის გრაფიკი ქვემო ნამახვანჰესის დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიან რეჟიმში მუშაობისას საშუალოწელიანი მოდინების დროს

თვეები	ბუნებრივი მოდინება, მ ³ /წმ	ეკონარჯი, მ ³ /წმ	სასარგებლო მოდინება, მ ³ /წმ	რეჟიმი მოდინებაზე, მმ/წმ	ჰესის სიმძლავრე, მგვტ	გამომუშავება, მგვტ სთ	პიკური რეჟიმი, მ ³ /წმ	პიკი მუშაობის დრო, სთ	ბაზისური რეჟიმი, მ ³ /წმ	ბაზისში მუშაობის დრო, სთ	ხვედრითი ხარჯი, მ ³ /წმ/მგვტ სთ	პიკური სიმძლავრე, მგვტ	ბაზისური სიმძლავრე, მგვტ	გამომუშავება, მგვტ სთ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IV	371	16	355	75	37.3 1	26 865.67	75	24.0 0	0	0.00	2.01	37.3 1	0.00	26 865.67
V	282	16	266	75	37.3 1	27 761.19	75	10.4 0	75	13.6 0	2.01	37.3 1	37.3 1	27 761.19
VI	285	16	269	75	37.3 1	26 865.67	75	11.0 0	75	13.0 0	2.01	37.3 1	37.3 1	26 865.67
VII	253	16	237	75	37.3 1	27 761.19	75	4.60	75	19.4 0	2.01	37.3 1	37.3 1	27 761.19
VII I	137	16	121	75	37.3 1	27 761.19	75	7.94	75	16.0 6	2.01	37.3 1	37.3 1	27 761.19
IX	98. 8	16	82. 8	75	37.3 1	26 865.67	75	1.35	75	22.6 5	2.01	37.3 1	37.3 1	26 865.67
X	155	16	139	75	37.3 1	27 761.19	75	11.0 5	75	12.9 5	2.01	37.3 1	37.3 1	27 761.19
XI	75. 9	16	59. 9	59. 9	29.8 0	21 456.72	75	19.1 7	0	0.00	2.01	37.3 1	0.00	21 456.72
XII	57. 2	16	41. 2	41. 2	20.5 0	15 250.15	75	13.1 8	0	0.00	2.01	37.3 1	0.00	15 250.15
I	45. 1	16	29. 1	29. 1	14.4 8	10 771.34	75	9.31	0	0.00	2.01	37.3 1	0.00	10 771.34
II	49. 3	16	33. 3	33. 3	16.5 7	11 133.13	75	10.6 6	0	0.00	2.01	37.3 1	0.00	11 133.13
III	131	16	115	75	37.3 1	27 761.19	75	6.91	75	17.0 9	2.01	37.3 1	37.3 1	27 761.19
Σ						278014.3 3								278014.3 3

წარმოდგენილი ანგარიშებით დადგინდა რომ ქვემო ნამახვანჰესის მუშაობა დღელამური რეგულირების ორსაფეხურიანი რეჟიმით ვერ ახდენს გავლენას ქვედა ბიეფის ჰესების ჯამურ გამომუშავებაზე, მაგრამ ზრდის მათი დადგმული სიმძლავრით მუშაობის ხანგრძლივობას.

ქვემო ნამახვანჰესის, გუმათჰეს I, გუმათჰეს II, რიონჰესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიანი რეჟიმების ანგარიშები ანალოგიურად ჩატარებულია წყალუხვი და წყალმცირე პერიოდებისთვის. ცხრილი №17-ში მოცემულია ანგარიშების შედეგები მდ.რიონის უხვწლიანი (10%), მცირეწყლიანი (90%) და საშუალოწყლიანი (50%) წლებისათვის.

ცხრილი №17. ქვემო ნამახვანჰესის, გუმათჰეს I, გუმათჰეს II, რიონჰესის დღეღამური რეგულირების ორსაფეხურიანი რეჟიმების ანგარიშების შედეგები უხვწლიანი, მცირეწყლიანი და საშუალოწყლიანი წლებისათვის

წელი	უზრუნველყოფა, %	საშუალო წლიური ხარჯი, მ ³ /წმ	გუმათჰეს I		გუმათჰეს II		რიონჰესი	გამომუშავების დანაკარგები, %	ჯამური გამომუშავება, მლნ კვტ.სთ		გამომუშავების დანაკარგები, %
			გამომუშავების დანაკარგები, %	გამომუშავების დანაკარგები, %	ნამახვანის გაგლეხა	ნამახვანის გარეშე					
უხვ წყლიანი	10	200,2	325,1	0	153,0	0	309,6	5,8	787,8		0
			325,1		153,0		309,6		787,8		
საშუალო წყლიანი	50	161,7	245,0	0	115,3	0	278,0	9,6	638,4		0
			245,0		115,3		278,0		638,4		
მცირე წყლიანი	90	128,4	208,0	0	97,9	0	249,0	12,8	554,9		0
			208,0		97,9		249,0		554,9		

წარმოდგენილი გაანგარიშებების საფუძველზე დადგინდა რომ რიონჰესების კასკადზე ელექტროენერჯის გამომუშავების დანაკარგის თავიდან აცილების მიზნით ქვემო ნამახვანჰესმა აუცილებლად უნდა იმუშაოს ორსაფეხურიანი დღეღამური რეჟიმით, კერძოდ, როდესაც მდინარე რიონის სასარგებლო მოდინება: ა) ნაკლებია რიონის საანგარიშო ხარჯზე-75 მ³/წმ, მაშინ ქვემო ნამახვანჰესი მუშაობს პიკის გარეშე 75 მ³/წმ-ით; ბ) ნაკლებია გუმათჰესების საანგარიშო ხარჯზე-214 მ³/წმ და მეტია რიონჰესის საანგარიშო ხარჯზე-75 მ³/წმ, მაშინ ქვედა ნამახვანი მუშაობს ბაზისში 75 მ³/წმ და მე-2 საფეხური პიკში -214

მ³/წმ-ით; გ) მეტია გუმათჰესის საანგარიშო ხარჯზე-214 მ³/წმ, მაშინ ქვემო ნამახვანჰესი მუშაობს ბაზისში 214 მ³/წმ და მე-2 საფეხური პიკში -334 მ³/წმ-ით.

4.3.1 და 4.3.2 ქვეთავებში შესრულებული გაანგარიშებების შედეგებით დადგინდა შემდეგი: ა) როცა ზედა საფეხურის პიკური ხარჯი ნაკლებია ან ტოლია ქვედა საფეხურის ჰესის პიკურ ხარჯზე, მაშინ დღეღამური რეგულირებით, როგორც ერთსაფეხურიან (მხოლოდ პიკური რეჟიმი), ასევე ორ საფეხურიან რეჟიმში (პიკური რეჟიმი და ბაზისური რეჟიმი) ქვედა ბიეფის ჰესების ელექტროენერჯის ჯამური გამომუშავება არ მცირდება და ენერგეტიკულ-ეკონომიკური კუთხით არ ახდენს უარყოფით ზემოქმედებას; ბ) როცა ზედა საფეხურის პიკური ხარჯი უფრო მეტია ვიდრე ქვედა საფეხურის ჰესის პიკური ხარჯი (ჰესის საანგარიშო წყლის ხარჯი), მაშინ მისი დღეღამური რეგულირებით, როგორც ერთსაფეხურიან (მხოლოდ პიკური რეჟიმი), ასევე ორ საფეხურიან რეჟიმში (პიკური რეჟიმი და ბაზისური რეჟიმი) ირღვევა წყლის ბალანსის განტოლება, კერძოდ, წყლის აკუმულირების პერიოდში ქვედა საფეხურის ჰესს დააკლდება ჩამონადენის რაოდენობა, ხოლო წყლის დამუშავების პერიოდში დაფიქსირდება წყლის გადაღრა. თუმცა პოზიტიურობის მაჩვენებელად ითვლება სიმძლავრის ზრდა პიკების პერიოდში. მიგვაჩნია რომ წყლის რესურსის ეფექტურად გამოყენების მიზნით ზემოაღნიშნული რეგულირების ტიპებიდან სახელმძღვანელოდ უნდა გამოყენებული იყოს რეგულირების ორსაფეხურიანი რეჟიმი, რომელიც უზრუნველყოფს 24 საათიან წყლის რესურსით უზრუნველოფას მასზე ნაკლები საანგარიშო წყლის ხარჯის მქონე ჰესისთვის, რათა გამოირიცხოს ელექტროენერჯის დანაკარგები ან მათი არსებობის შემთხვევაში შემცირდეს მინიმალურ მნიშვნელობამდე. ზედა საფეხურის წყალსაცავის რეგულირების ორსაფეხურიანი გრაფიკი (პირველი საფეხური-ბაზისური; მეორე საფეხური-პიკური) წარმოადგენს ყველაზე ოპტიმალურ სამუშაო რეჟიმს ქვედა ბიეფში არსებული ჰესების ეფექტური ფუნქციონირებისათვის, რაც ასევე შესაძლებელს ხდის ჰესების მონაწილეობის გაზრდას ენერგეტიკული სისტემის დატვირთვის პიკების დაფარვაში.

4.4. მდინარის ჩამონადენის განსაზღვრა ჰიდროლოგიური მონაცემების დეფიციტის პირობებში მდ. მტკვრის ჰესების კასკადის მაგალითზე

ჰიდროენერგეტიკული ობიექტების წყალსატევი და წყალსატარი ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად მათი დაპროექტების, მშენებლობის, რეკონსტრუქციის, ექსპლოატაციისა და დემონტაჟის ეტაპებზე, ასევე წყალდიდობის წინა პერიოდში განსახორციელებელი ჰიდროკვანძის ნაგებობებისა და მოწყობილობების მოსამზადებელი სამუშაოების დასაგეგმად, ელექტროენერჯის გამომუშავების პროგნოზირებისთვის, წყლის რესურსების ეფექტური მართვისათვის პრაქტიკული ინტერესის საგანია შემოდინებული წყლის ხარჯის დადგენა სათავო ნაგებობების კვეთში [112].

ჰიდრომეტრიული საგუშაგოების შეიძლება ითქვას რომ არარსებობის გამო, დღეის მდგომარეობით არ არსებობს მონაცემები მდ. მტკვრის კასკადის ჰესების (ჩითახევჰესი, ზაჰესი, ორთაქალჰესი) სათავე ნაგებობათა კვეთში მოდინებული წყლის ხარჯების შესახებ, რაც შეუძლებელს ხდის ხსენებული ჰესების შესაძლო გამომუშავების პროგნოზირებას.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, მოდინებული წყლის ხარჯის განსაზღვრისთვის შესაძლებელია ჰესის სათავე ნაგებობების უახლოეს მოქმედ ჰიდრომეტრიულ საგუშაგოებზე დაკვირვებული მონაცემების გამოყენება. მდ. მტკვრის კასკადის ჰესების (ჩითახევჰესი, ზაჰესი, ორთაქალჰესი) მოდინებული წყლის ხარჯების დასადგენად გამოვიყენეთ მდ. მტკვარზე არსებული მოქმედი ჰ/ს „ლიკანის“ და ჰ/ს „თბილისის“ ჰიდროლოგიური მონაცემები. ამასთან, ზაჰესის და ორთაქალჰესისათვის გათვალისწინებულია მდ. ვერეს ჩამონადენი და მდ. არაგვის ჩამონადენი, ჟინვალჰესის წყალსაცავის გავლენის მხედველობაში მიღებით [113].

ორთაქალჰესისა და ზაჰესისათვის უახლოესი მოქმედი ჰიდრომეტრიული საგუშაგო მდ.მტკვარზე არის ჰ/ს „თბილისი“, რომლის ნიშნულია $\square 390,80$ მ., მდ.მტკვრის წყალშემკრები აუზის ფართობი ამ გასწორში $F=21120,0$ კმ² [95]. საანგარიშოდ აღებულია მოქმედი ჰ/ს „თბილისის“ 51 წლიანი (1933-1984 წწ.) დაკვირვების პერიოდის მონაცემები [114],[115],[116] რომელთა სტატისტიკური დამუშავებით მომენტთა მეთოდით [117],[118] მიღებული საშუალო თვიური წყლის ხარჯები მდ.ვერეს ჩამონადენის გათვალისწინების გარეშე მოყვანილია

ცხრილი№18-ის პირველ სტრიქონში. მაგ.ვერე ერთვის მდ.მტკვარს ჰ/ს,,თბილისის“ ქვემოთ, ჩამონადენის ნორმით 1,22 მ³/წმ [95]. რომელიც გათვალისწინებულია მდ. მტკვრის წლიურ ხარჯებზე 1,22 მ³/წმ-ის დამატებით წლიური ხარჯების პროპორციულად, შემდგომი შიგაწლიური განაწილებით. ცხრილი№18-ის მე-2 სტრიქონში მოცემულია მდ. მტკვრის წყლის ხარჯები ჰ/ს,,თბილისის“ მონაცემებისა და მდ.ვერეს ჩამონადენის ერთობლივად გათვალისწინებით.

ზაჰესის წყალაღების კვეთში ჰიდროლოგიური მონაცემები განსაზღვრულია ჰ/ს,,თბილისის“ მონაცემების გამრავლებით კოეფიციენტზე, რომელიც მიიღება ზაჰესის კვეთში მდ.მტკვრის წყალშემკრები აუზის ფართობის (F=20800,0კმ²) ფარდობით „თბილისის“ კვეთში წყალშემკრები აუზის ფართობთან (F=21120,0 კმ²):

$$K = F_{\text{მტკვარი}} / F_{\text{ჰ/ს თბილისი}} = 20800/21120 = 0,985. \quad (77)$$

აღსანიშნავია, რომ ცხრილი№18-ის მე-3 სტრიქონში მოცემული ზაჰესის წყალაღების კვეთისათვის დადგენილი წყლის ხარჯები არ ითვალისწინებს ჟინვალჰესის გავლენას მდ. მტკვრის წყლიანობის რეჟიმზე. ცნობილია, რომ ჟინვალჰესი ექსპლოატაციაში შევიდა 1985 წელს, შესაბამისად, მითითებული ზაჰესის ჰიდროლოგია (1933-84 წწ.) ითვალისწინებს მდ.არაგვის ბუნებრივ მოდინებას, ჟინვალის წყალსაცავის რეგულირების გარეშე. ხსენებული ფაქტორის გასათვალისწინებლად, ზაჰესის ჰიდროლოგიურ მონაცემებს უნდა გამოაკლდეს მდ.არაგვის ბუნებრივი მოდინება და დაემატოს ჟინვალის წყალსაცავში გადამუშავებული წყლის ხარჯები. ცხრილი№18-ის მე-4 სტრიქონში წარმოდგენილია მდ.არაგვის ბუნებრივი მოდინება ჟინვალჰესის წყალსაცავში, ხოლო მე-5 სტრიქონში-გამოანგარიშებული ზაჰესის ჰიდროლოგიური მონაცემები მდ.არაგვის ბუნებრივი მოდინების გარეშე, მე-6 სტრიქონში-ჟინვალჰესზე გადამუშავებული წყლის ხარჯები. ჟინვალჰესის წყალსაცავის რეგულირების პროცესში გათვალისწინებულია თბილისის ზღვაში გადინებული წყლის ხარჯის ფაქტორივი სიდიდე 12,0 მ³/წმ [119]. ცხრილი№18-ის მე-7 სტრიქონში მოცემულია ზაჰესის ჰიდროლოგიური მონაცემები ჟინვალჰესის მუშაობის გათვალისწინებით.

მომენტების მეთოდით [117], [118] დამუშავებული, რეპრეზენტატული საწყისი ჰიდროლოგიური მონაცემების მიხედვით მიღებული ცხრილი№18-ის მე-3

და მე-7 სტრიქონების შესაბამისი წყლის ხარჯების შედარება აჩვენებს, რომ ჟინვალჰესის გავლენით ზაჰესის კვეთში მდ. მტკვრის საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯი შემცირებულია. ზაჰესის კვეთში მდ. მტკვრის საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯი მდ. არაგვის ბუნებრივი მოდინების პირობებში შეადგენდა $Q=203$ მ³/წმ, ხოლო არსებული მდგომარეობით ზაჰესის კვეთში მდ. მტკვრის საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯი ჟინვალჰესის მუშაობის გათვალისწინებით შემცირდა 21.0 მ³/წმ -ით და ფაქტობრივად შეადგენს $Q = 182$ მ³/წმ.

ორთაჭალჰესის წყლის ხარჯები ჟინვალჰესის გათვალისწინებით განსაზღვრულია ზაჰესის წყლის ხარჯების (ცხრილი №18-ის მე-7 სტრიქონი) გამრავლებით კოეფიციენტზე, რომელიც მიიღება ორთაჭალჰესის წყალშემკრები აუზის ფართობის ($F=21120,0$ კმ²) ფარდობით ზაჰესის წყალშემკრები აუზის ფართობთან ($F=20800,0$ კმ²), $K=F_{\text{ორთაჭალა}}/F_{\text{ზაჰესი}}=21120,0/20800,0=1,0154$. (78) ჰ/ს „თბილისის“ უშუალო სიახლოვის გამო ორთაჭალჰესთან, უკანასკნელის აუზის ფართობი მიღებულია ჰ/ს „თბილისის“ წყალშემკრები აუზის ტოლად. ცხრილი №18-ის მე-8 სტრიქონში მოცემულია ორთაჭალჰესის საშუალო თვიური და საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯები ჟინვალჰესის მუშაობის გათვალისწინებით.

ანალოგიურად განისაზღვრა ჩითახევჰესის ჰიდროლოგიური მონაცემები. ანაგრიშებში გამოყენებულია ახლომდებარე მოქმედი ჰ/ს „ლიკანის“ მონაცემები [114], [115] [116].

ჩითახევჰესის ნორმალური შეტბორვის ნიშნულისთვის 869,0მ განსაზღვრულია შესაბამისი წყალშემკრები აუზის ფართობი 10100,0კმ². ჰ/ს „ლიკანის“ მონაცემების გადასათვლელად ჩითახევჰესის წყალაღების კვეთში გამოყენებულია კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრა შესაბამისი წყალშემკრები აუზების ფართობების ფარდობით $K=10100/10540=0,958$ (79) ჰ/ს „ლიკანის“ დაკვირვებული და ჩითახევჰესის წყალაღების კვეთისათვის გამოთვლილი მდ.მტკვრის საშუალო თვიური წყლის ხარჯების ჰიდროლოგიური რიგების მომენტების მეთოდით დამუშავების შედეგები შესაბამისად მოცემულია ცხრილი №18-ის მე-9 და მე-10 სტრიქონში.

შედეგად, წარმოდგენილი მეთოდის გამოყენებით არასრული ჰიდროლოგიური მონაცემების ნაცვლად, მოქმედი ჰიდროლოგიური საგუშაგოს

მონაცემებზე დაყრდნობით, მივიღეთ ჩითახევჰესის წყალაღების კვეთში წყლის ხარჯების უწყვეტი, რეპრეზენტატიული ჰიდროლოგიური რიგი, რომლის მიხედვით განისაზღვრა საშუალო თვიური და საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯები.

საანგარიშო უზრუნველყოფის საშუალო წლიური ხარჯების შიდაწლიური განაწილება ჩითახევჰესის, ზაჰესის, ორთაჰალჰესის სათავე ნაგებობების კვეთებში განსაზღვრულია ზაჰესის (ცხრილი№19), ორთაჰალჰესის (ცხრილი№20) და ჩითახევჰესის (ცხრილი№21) საშუალო თვიური წყლის ხარჯების კლებადი რიგიდან ამოკრეფილი საანგარიშო უზრუნველყოფის შესაბამისი საშუალო თვიური წყლის ხარჯების სინქრონულად. შემოთავაზებული განგარიშების მიხედვით დადგენილია სხვადასხვა უზრუნველყოფის (10%-უხვწყლიანი, 50%-საშუალოწყლიანი, 90% წყალმცირე) ფაქტობრივი საშუალო თვიური წყლის ხარჯები ჩითახევჰესის, ზაჰესის და ორთაჰალჰესისათვის. განგარიშების შედეგად მიღებული მონაცემებით, კერძოდ კი საშუალოწყლიანი (50%) ჰიდროლოგიური მონაცემების გამოყენებით დაზუსტდა ზაჰესის და ორთაჰალჰესის საშუალომრავალწლიური გამომუშავება.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ჟინვალჰესის გავლენით ზაჰესისა და ორთაჰალჰესის კვეთებში მდ. მტკვრის საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯი შემცირებულია საშუალოდ 10%-ით, რაც ნიშავს იმას რომ შემცირდა აღნიშნული ჰესების საშუალო მრავალწლიური გამომუშავება. თუ ზაჰესის საპროექტო გამომუშავება ჟინვალჰესის ექსპლოატაციაში შესვლამდე შეადგენდა 203.0 მლნ კვტ.სთ, ხოლო ორთაჰალჰესის საპროექტო გამომუშავება-90.0 მლნ კვტ.სთ, ჩვენს მიერ მიღებული განახლებული ჰიდროლოგიური მონაცემების საფუძველზე, ჰესის საანგარიშო წყლის ხარჯისა და გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის (19.0 მ³/წმ) გათვალისწინებით, ზაჰესის საშუალო მრავალწლიური გამომუშავება შემცირდა და შეადგენს 156 მლნ კვტ.სთ, ნაცვლად 203.0 მლნ კვტ.სთ-ისა. ხოლო ორთაჰალჰესის, საშუალომრავალწლიური გამომუშავება შეადგენს 88.2 მლნ კვტ.სთ, ნაცვლად 90.0 მლნ კვტ.სთ -ისა.

**ცხრილი №18. ჰესების წყალადების გასწორში მოდინებული წყლის ხარჯის განსაზღვრა
(საშუალო თვიური წყლის ხარჯები, მ³/წმ)**

იერარქია	დასახელება	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	საშ.
1	მდ.მტკვრის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები, მდ.ვერეს ჩამონადენის გათვალისწინების გარეშე ჰ/ს „თბილისი“-ს მიხედვით, მ ³ /წმ	84.4	95.0	162	476	563	347	182	109	100	116	121	103	204.7
2	მდ.მტკვრის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები ჰ/ს „თბილისის“ კვეთში მდ.ვერეს ჩამონადენის გათვალისწინებით, მ ³ /წმ	84.9	95.5	163	479	566	349	183	110	101	117	121	103	205.9
3	მდ. მტკვრის საშუალო წლიური წყლის ხარჯები ზაჰესის კვეთში, მდ.არაგვის ბუნებრივი მოდინებისას, მ ³ /წმ	83.6	94.1	160	471	558	344	180	108	99.3	115	120	102	202.9
4	მდ.არაგვის ბუნებრივი მოდინება ჟინვალჰესის წყალსაცავში, მ ³ /წმ	17.6	18.4	27.1	67	98.4	91.4	64.7	43.7	35.3	30.8	26.7	20.8	45.2
5	მდ. მტკვრის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები ზაჰესის კვეთში, მდ.არაგვის ბუნებრივი მოდინების გარეშე, მ ³ /წმ	66.0	75.7	133	404	459	252	115	64.3	64	84.4	92.9	80.8	158
6	ჟინვალჰესზე გადამუშავებული წყლის ხარჯები, მ ³ /წმ	11.1	11.3	12.3	30.4	55.2	59.4	37.9	20.6	15.8	12.5	13.3	11.3	24.2
7	მდ. მტკვრის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები ზაჰესის კვეთში ჟინვალჰესის მუშაობისას, მ ³ /წმ	77.1	86.9	145	435	514	312	153	84.9	79.8	96.9	106	92.1	182
8	მდ. მტკვრის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები ორთაჰესის კვეთში ჟინვალჰესის მუშაობისას, მ ³ /წმ	78.3	88.7	148	441	522	317	156	86.2	81	98.4	108	93.5	185
9	მდ.მტკვრის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები, ჰ/ს „ლიკანის“ მიხედვით, მ ³ /წმ	36.2	37.2	54.9	205	269	127	58.3	41.8	38.1	42.6	45.5	37.7	82.8
10	მდ.მტკვრის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები ჩითახევჰესის კვეთში, მ ³ /წმ	34.7	35.6	52.6	197	258	121	55.9	40	36.5	40.8	43.6	36.1	79.3

ამრიგად, ცხრილებში 19, 20, 21 მოყვანილი შედეგებით შესაძლებელია მდ. მტკვრის ჩითახევკესი-ორთაჭალკესის უბანზე არსებული და პერსპექტიული ჰესების საანგარიშო წყლის ხარჯების განსაზღვრა და არსებული ჰესების საპროექტო ენერგეტიკული პარამეტრების დაზუსტება, რაც მნიშვნელოვანია ამ ჰესების ეფექტური და უსაფრთხო მუშაობის რეჟიმების დაგეგმვისათვის მდ.მტკვრის სხვადასხვა წელიწადის პერიოდში.

ცხრილი №19. ჩითახევკესი სხვადასხვა უზრუნველყოფის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები, მ³/წმ

წელი	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	საშუალო
უზენაესი 10%	99.6	144	212	635	673	462	247	128	119	137	160	129	262
საშუალო 50%	72.4	81.0	139	414	506	323	127	68.7	72.1	88.9	96.4	87.6	173
მცირე 90%	58.3	56.6	99.2	224	321	148	61.6	40.6	44.5	58.6	64.2	58.8	103

ცხრილი №20. ზაქესი სხვადასხვა უზრუნველყოფის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები, მ³/წმ

წელი	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	საშუალო
უზენაესი 10%	99.6	144	212	635	673	462	247	128	119	137	160	129	262
საშუალო 50%	72.4	81.0	139	414	506	323	127	68.7	72.1	88.9	96.4	87.6	173
მცირე 90%	58.3	56.6	99.2	224	321	148	61.6	40.6	44.5	58.6	64.2	58.8	103

ცხრილი №21. ორთაჭალკესის სხვადასხვა უზრუნველყოფის საშუალო თვიური წყლის ხარჯები, მ³/წმ

წელი	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	საშუალო
უზენაესი 10%	101	146	215	645	684	469	251	130	121	139	162	131	266
საშუალო 50%	73.6	82.3	140.8	420	513	328	129	69.8	73.2	90.2	97.9	88.9	176
მცირე 90%	59.2	57.4	100.8	228	326	150	62.5	41.2	45.1	59.5	65.2	59.7	105

დასკვნა

1. შესწავლილია გლობალური კლიმატის ევოლუციის ტენდენციები და მათზე დაყრდნობით გამოკვლეულია საქართველოს მდინარეების ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების ცვლილების მიზეზები.

2. მდინარის ჩამონადენის პროგნოზირების არსებული მეთოდების შესწავლამ და კრიტიკულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ სადისერტაციო ნაშრომის ფარგლებში ჩატარებული კვლევებისათვის მიზანშეწონილია მულტიფაქტორული მეთოდის არჩევა, ამასთან, პრაქტიკული გამოყენების მიზნით, აუცილებელია მისი მისადაგება შეზღუდული ოპერატიული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის პირობებთან.

3. დადგენილია მდინარეების წყლის რესურსების საპროგნოზო მაჩვენებლები საქართველოს სხვადასხვა საზრდოობის ტიპის მდინარეებისათვის მათი მაფორმირებელი ბუნებრივი და ანთროპოგენული ფაქტორების გათვალისწინებით.

4. შემოთავაზებულია ჩამონადენზე მომუშავე და მარეგულირებელი ჰესების მუშაობის რეჟიმების დაგეგმვის მეთოდი მდინარეში წყლის რესურსის განმსაზღვრელი ფაქტორების მოკლევადიანი პროგნოზის მიხედვით.

5. წარმოდგენილია წყალსაცავიანი ჰესის მოკლევადიანი საპროგნოზო გამომუშავების გაანგარიშების მეთოდი საწყისი ჰიდროლოგიური ინფორმაციის დეფიციტის პირობებში.

6. ჰესის მუშაობის რეჟიმების დაგეგმვის შემოთავაზებული მეთოდის მიხედვით შედგენილია გაანგარიშების ალგორითმი, ბლოკ-სქემა და საანგარიშო პროგრამა, რომლის მიხედვით შესაძლებელია ჰიდროენერგეტიკული რესურსის ეფექტური მართვა, გლობალური დათბობის და გამკაცრებული გარემოსდაცვითი მოთხოვნების პირობებში. ჩატარებულია გაანგარიშებები შაორჰესის, რიონისა და მტკვრის ჰესების კასკადისათვის.

7. ნაშრომში მოყვანილი მეთოდი იძლევა ზედა საფეხურის წყალსაცავში მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენის იმგვარი რეგულირების საშუალებას, რაც უზრუნველყოფს ქვედა ბიეფში განლაგებული ჰიდროელექტროსადგურების

მაღალი ენერგეტიკული მაჩვენებლებით მუშაობას-პიკური სიმძლავრით წყალმცრობის და გაზრდილი ელექტრომოთხონილების პირობებში.

8. მდინარეთა ჩამონადენის შესახებ შეზღუდული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის პირობებში ჩამონადენის მართვის და ჰიდროგენერაციის პროგნოზირების ავტომატიზებული სისტემის გამოყენება ხელს შეუწყობს ჰიდროელექტროსადგურების ოპერატორ კომპანიებს ელექტროენერჯის გამომუშავების დაგეგმვაში „ენერგეტიკული ბირჟის“ მოთხოვნების შესაბამისად.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Global Annual to Decadal Climate Update, world meteorological organization; 9 May, 2022. https://hadleyserver.metoffice.gov.uk/wmolc/WMO_GADCU_2022-2026.pdf; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
2. საქართველოს ენერგეტიკის განვითარების სტრატეგია 2016-2025; ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო, 2016. <http://www.economy.ge/?page=ecopolitic&s=63>; <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/43804?publication=0>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
3. საქართველოს კანონი, ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ; 22.12.2021. <https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/4747785?publication=6> უკანასკნელად გადამოწმებულია 30.10.2022.
4. ელექტროენერჯის ბაზრის მოდელის კონცეფციის დამტკიცების შესახებ, საქართველოს მთავრობის დადგენილება №246 2020 წლის 16 აპრილი. <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/4852064?publication=0>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 30.10.2022.
5. ელექტროენერჯის ბაზრის წესების დამტკიცების შესახებ, საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის დადგენილება, №46, 11 აგვისტო, 2020. <https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/4966631?publication=0>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 30.10.2022.
6. Pachauri R., Reisinger A. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 2007, 104 p. [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1882016](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1882016), უკანასკნელად გადამოწმებულია 30.10.2022.
7. Climate Change 2001. Mitigation – Contribution of Working Group III to the IPCC Third Assessment Report 2001. <https://www.ipcc.ch/report/ar3/syr/>, უკანასკნელად გადამოწმებულია 30.10.2022.
8. The Global Climate 2001-2010: a decade of climate externs-Summary Report, 2013. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=15110#.YquOL3ZBxPY; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.

9. El Niño/Southern Oscillation; World Meteorological Organization 2014; https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7888; უკანასკნელად ნანახია 31.10.2022.
10. State of the Global Climate 2021: WMO Provisional report; World Meteorological organization, 2021; <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
11. Globally, the seven hottest years on record; Copernicus 2022; <https://climate.copernicus.eu/copernicus-globally-seven-hottest-years-record-were-last-seven>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
12. Global Temperature Report for 2021; Berkeley Earth 2022; <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
13. 2021 Tied for 6th Warmest Year in Continued Trend; NASA Analysis Shows,2022. <https://www.nasa.gov/press-release/2021-tied-for-6th-warmest-year-in-continued-trend-nasa-analysis-shows>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
14. State of Climate in 2021: Extreme events and major impacts <https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-2021-extreme-events-and-major-impacts>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
15. 2021 one of the seven warmest years on record. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
16. WMO Statement on the state of the global climate in 2018; https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5789; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
17. WMO Provisional Statement on the State of the Global Climate in 2019; https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211 უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
18. 2018 Annual Report WMO for the Twenty-first Century https://library.wmo.int/?lvl=notice_display&id=5301#.YquTbXZBxPY; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
19. State of the Global Climate 2020 (WMO-No. 1264). World Meteorological organization, 2021.

https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21880#.Y3EifXZBxPY
უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.

20. საქართველოს პირველი ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციაზე, კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრი, 1999.
<https://www.undp.org/ka/georgia/publications>;
უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
21. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისთვის, 2009.
<https://www.undp.org/ka/georgia/publications>;
უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
22. კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინება, თბილისი, 2014.
<https://www.undp.org/ka/georgia/publications>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
23. კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მეოთხე ეროვნული შეტყობინება, თბილისი, 2020.
<https://www.undp.org/ka/georgia/publications>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
24. საქართველოს კლიმატის ცვლილების 2030 წლის სტრატეგია, 2021.
<https://mepa.gov.ge/Ge/PublicInformation/32027>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
25. ბერიტაშვილი ბ., კაპანაძე ნ., ჩოგოვაძე ი. გლობალურ დათბობაზე საქართველოში კლიმატის რეაგირების შეფასება. თბილისი: ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, 2010, 174გვ.
<http://www.ecohydmet.ge/Global%20Climate%20Change%20Impact%20in%20Georgia.pdf>; უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.10.2022.
26. კლიმატის ცვლილებასთან ადაპტაციის გზამკვლევი. თბილისი, 2016.
http://nala.ge/climatechange/uploads/RoadMap/RoadMap_Geo.pdf
უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022.
27. საქართველოს სამეცნიერო-გამოყენებითი კლიმატური ცნობარი. საქართველოს გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტრო. თბილისი, 2020.
<https://nea.gov.ge/Ge/News/38>, უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022.
28. დაბალემისიებიანი განვითარების სტრატეგიების შესაძლებლობათა გამლიერება/სუფთა ენერჯის პროგრამა, სატყეო სექტორის მიმოხილვა.

UASAID, 2017. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00MTHP.pdf უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.

29. საქართველოს ბუნებრივი რესურსები და გარემოს დაცვა. სტატისტიკური პუბლიკაცია. 2018.
https://www.geostat.ge/media/35352/saqartvelosbunebrivi_resursebi_da_garemosdacva_2019.pdf; უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
30. ტიელიძე ლ., გობეჯიშვილი რ. საქართველოს მყინვარები. თბილისი: კოლორი, 2014, 254 გვ.
31. გობეჯიშვილი რ., კოტლიაკოვი ვ. გლაციოლოგია. თბილისი: უნივერსალი, 2006. 291გვ.
32. შენგელია ლ., კორძახია გ., თვაური გ., ძაძამია მ. საბჭოთა კავშირის მყინვარების კატალოგში მოცემული საქართველოს მყინვარების ფართობის მონაცემების კორექტირება. სტუ-ის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო ჟურნალი, 2020, №2 (731), გვ. 9-26.
33. შენგელია ლ. კორძახია გ., თვაური გ., ძაძამია მ. საქართველოს მყინვარული აუზების დეგრადაცია კლიმატის ცვლილების გამო. სტუ-ის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო რეფერირებადი შრომათა კრებული, 2020, ტომი 129, გვ. 34-39.
34. ბერიტაშვილი ბ., კაპანაძე ნ., შვანგირაძე მ. კლიმატის ცვლილების გავლენის შეფასება მდ. ენგურის ჩამონადენზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2014, ტომი 120, გვ. 64-68.
35. ტრაპაიძე ვ. წყლის რესურსები. თბილისი: თსუ, 2012, 132 გვ.
36. სვანიძე გ., ცომაია ვ., მესხია რ. საქართველოს წყლის რესურსების მოწყვლადობა და ადაპტაციის ღონისძიებები. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2001, ტომი 106, გვ. 11-29.
37. გელაძე ვ., გელაძე გ., ბოლაშვილი ნ., მაჭავარიანი ნ. საქართველოს მტკნარი წყლის რესურსული პოტენციალი და მენეჯმენტი. სტუ-ის ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის შრომები, 2008, ტომი 115, გვ. 41-45.
38. Владимиров Л.А. Питание рек и внутригодовое распределение речного стока на территории Грузии. Тбилиси: Мецниереба, 1964, 251 с.
39. Владимиров Л.А. Водный баланс Большого Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1970, 142 с.

40. Владимирова Л.А. Методика исследований годового и внутригодового водного баланса горных территорий. Труды IV Всесоюз. Гидрол. Съезда, 1976, Т.2., с.137-142.
41. Сванидзе Г.Г., Цомаია В.Ш. Водные ресурсы Закавказья. Л.: Гидрометеиздат, 1988, с.264.
42. Владимирова Л.А., Гигинейшвили Г.Н., Джавахишвили А.И., Закарашвили Н.Н. Водный баланс Кавказа и его географические закономерности. Тбилиси: Мецниереба, 1991, 141 с.
43. დვალისვილი ო., ჩაგელიშვილი რ., დოლიძე ლ., მანველიძე ზ. ზედაპირული ჩამონადენის ცვალებადობა მთავარი სარგებლობის ჭრებთან დაკავშირებით მთიანი აჭარის წიფლნარ კორომებში. „სატყეო მოამბე“, 2009, №2.
https://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/112568/1/Satyao_Moambe_2009_N2.pdf
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
44. დვალისვილი ო., ჩაგელიშვილი რ., დოლიძე ლ. ლაჯანურისა და მშენებარე ნამახვანის წყალსაცავების გარშემო არსებული მთის ტყეების წყალმარეგულირებელი და ეროზიის საწინააღმდეგო ფუნქციები ტყის ძირითადი ტიპების მიხედვით. „სატყეო მოამბე“, №2, 2009, 16-21გვ.
https://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/112568/1/Satyao_Moambe_2009_N2.pdf
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
45. Hydrological forecasting practice; Operational Hydrology Report No.6, World Meteorological Organization. Geneva • Switzerland, 1975, p.134.
46. Попов Е.Г Гидрологические Прогнозы. Ленинград: гидрметеиздат, 1979, 256 с.
47. Георгиевский Ю.М, Шаночников С.В. Гидрологические Прогнозы. 2007, 435 с.
48. გობეჯიშვილი რ. საქართველოს რელიეფი. თბილისი: უნივერსალი, 2011, 260 გვ.
49. Мухин В.М. Методические основы физико-статических видов краткосрочных прогнозов стока горных рек. Гидрометеорологический научно-исследовательский центр, 2013, 36 с.
50. Георгиевский Ю. Краткосрочные гидрологические прогнозы. Учебное пособие, ЛГМИ, 1982, 100 с.
51. ცინცაძე თ., შველიძე ო., ცინცაძე ნ. რადიოლოკაციური მონაცემების გამოყენება ჰიდროლოგიურ გაანგარიშებებში. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2010, ტომი 114, გვ.69-75.

52. ცომია ვ., ბასილაშვილი ვ., ქალდანი ლ. ხმელეთის ჰიდროლოგია, გლაციოლოგია და თოვლის ზვავები. ჰიდრომეტ. ინსტიტუტი, საქ. მეცნ. აკადემიის ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის დაარსების 50 წლისთავი, 2003, გვ. 47-54.
53. ქალდანი ლ., სალუქვაძე მ., საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება თოვლიანობის მიხედვით. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2001, ტომი 106, გვ.195-209.
54. Цомая В.Ш, Характеристика твердых осадков и распределение их на территории Кавказа. Л: Гидрометеоиздат,1979, с. 48-56.
55. ბეგალიშვილი ნ., თავართქილაძე კ., ბეგალიშვილი ნ. საქართველოს ზოგირით მდინარეთა წყალშემკრებზე მიკროკლიმატის და ჩამონადენის საუკუნეობრივი ცვლილებების შეფასება. ჰმის შრომათა კრებული, 2001, ტომი106, გვ. 48-57.
56. ბეგალიშვილი ნ., ცინცაძე თ., ბეგალიშვილი ნ., ცინცაძე ნ. კლიმატის ცვლილების გავლენა მდინარის ჩამონადენზე და მის მყინვარულ საზრდოობაზე (მდ. ენგურის ხაიშის მაგალითზე). საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2016, ტომი123, გვ. 83-96.
57. ცომია ვ., ბეგალიშვილი ნ., ცინცაძე თ. გამყინვარების საუკუნოვანი დინამიკა კავკასიაში და მყინვარების გაქრობის კლიმატური პროგნოზი გლობალური დათბობის ფონზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2013, ტომი119, გვ. 197-203.
58. კლიმატის ცვლილებასთან ზემო სვანეთის ადაპტაციის სტრატეგია. გამოცემულია გაეროს განვითარების პროგრამის ხელშეწყობით, თბილისი, 2014, 280 გვ.
59. Water and Climate change The United Nations World Water Development Report 2020 ; <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372876.locale>
უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022
60. Flood Damage
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/flood-damage>
უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022
61. გრიგოლია გ., კერესელიძე დ., ტრაპაიძე ვ. ბრეგვაძე გ. კლიმატის ცვლილების ფონზე მდინარე ჭოროხისა და აჭარისწყლის წყალდიდობების რისკების შეფასება. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული, 2013, №68, გვ. 48-53.

62. იორდანიშვილი ი., ირემაშვილი ი., იორდანიშვილი კ., ფოცხვერია დ., კანდელაკი ნ., ბილანიშვილი ნ. გლობალური დათბობით გახშირებული სტიქიური მოვლენების გავლენა საქართველოს წყლის რესურსებზე. საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2017, №72, გვ.75–87.
63. უკლება ნ. საქართველოს წყლის რესურსების მოწყვლადობა და ადაპტაციის ღონისძიებები. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის შრომები, 2001, ტომი 106, გვ.11-29.
64. ბასილაშვილი ც., ტაბატაძე ჯ., ჯანელიძე მ. წყალდიდობა-წყალმოვარდნების კატასტროფული გამოვლინებები დასავლეთ საქართველოს მდინარეებზე. ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის შრომები, 2011, ტომი 117, გვ.56-59.
65. ბასილაშვილი ც., მესხია რ. მასშტაბური წყალდიდობები საქართველოში და კატასტროფების შერბილების გზები. ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის აქტუალური პრობლემები, 2013, ტომი 119, გვ.183-186.
66. წყალდიდობების რისკების მართვა - საქართველო. UNDP GEF მტკვარი II პროექტი, 2020.
<https://kura-river.org/resolveuid/81c762a2-24a0-4c48-9bfb-a6dfb80542e7>,
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022
67. Utilizing deep learning machine for infow forecasting in two diferent environment regions: a case study of a tropical and semi-arid region; Published online: 2 Nov 2022.
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13201-022-01798-x.pdf>
https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-022-01798-x?utm_source=xmol&utm_medium=affiliate&utm_content=meta&utm_campaign=DDCN_1_GL01_metadata ,უკანასკნელად ნანახია 31.10.2022
68. Operational hydrometeorological forecasting on the Rhône River in France: moving toward a seamless probabilistic approach,Hydroscience Journal; Published online: 21 Jun 2022.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/27678490.2022.2061312>
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022
69. Real Time Flow Forecasting in a Mountain River Catchment Using Conceptual Models with Simple Error Correction Scheme; 22 May 2020;
<https://www.researchgate.net/publication/341588967> Real Time Flow Forecasting in a Mountain River Catchment Using Conceptual Models with Simple Error Correction Scheme; უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022

70. 2022 Hydropower Status Report; International Hydropower Association; 2022
<https://www.hydropower.org/publications/2022-hydropower-status-report>;
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022
71. 2021 წლის საქმიანობის ანგარიში. საქართველოს ენერჯეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისია. 2022.
<https://gnerc.org/ge/commission/commission-reports/tsliuri-angarishebi>,
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022
72. Shu J., Qu J., Motha R., Xu C., Dong D. Impacts of climate change on hydropower development and sustainability.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/163/1/012126/pdf>
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 31.10.2022.
73. Simulation of hydropower at subcontinental to global scales: a state-of-the-art review. 20 Feb,2022.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac4e38>
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022
74. Modelling river flow in cold and ungauged regions: a review of the purposes, methods, and challenges, 2021.
<https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/er-2021-0043>.
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022
75. Predicting hourly flows at ungauged small rural catchments using a parsimonious hydrological model; Journal of Hydrology; Volume 573, June 2019, Pages 855-871
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169419303208?via%3Dihub>. უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022
76. ბასილაშვილი ც., ცომაია გ. მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზების განახლება ინფორმაციული ქსელის შემცირების პირობებში. ჰმის შრომათა კრებული, 2001, ტომი 106, გვ. 40-51.
77. ბასილაშვილი ც., სიდოროვა ლ., ცომაია ვ. საქართველოს მდინარეთა ჰიდროლოგიური პროგნოზების სრულყოფა. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 1996, გვ.126-131.
78. Day-ahead inflow forecasting using causal empirical decomposition; Journal of Hydrology; Volume 613, Part A, October 2022.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216942200837X>
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
79. Real-time dynamic control of the Three Gorges Reservoir by coupling numerical weather rainfall prediction and flood forecasting; 2013 .
https://iahs.info/uploads/dms/15618.14-75-82-362-15-H09_2809031_Wang.pdf

უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.

80. Weekly Monitoring and Forecasting of Hydropower Production Coupling Meteo Hydrological Modeling with Ground and Satellite Data in the Italian Alps, 2022. <https://www.mdpi.com/2306-5338/9/2/29>
უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
81. Cassagnole M. Impact of the quality of hydrological forecasts on the management and revenue of hydroelectric reservoirs – a conceptual approach. Published: 25 February 2021. <https://hess.copernicus.org/articles/25/1033/2021/>
უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
82. Daily reservoir inflow forecasting combining QPF into ANNs model, 2009. <https://hess.copernicus.org/preprints/hessd-2008-0117>
უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022.
83. უკლება ნ. საქართველოს სსრ წყლის რესურსების კომპლექსური გამოყენება სახალხო მეურნეობაში. თბილისი: თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 1977, 393 გვ.
84. Басилашвили Ц. Водные ресурсы и проблемы их управления (Южный Кавказ). Гос. Университет им. Герцена, Природные и культурные наследия: Междисциплинарные исследования, сохранение и развитие, 2013, с.18 -24.
85. Метревели Г. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Л: Гидрометеиздат, 1985, 131с.
86. ბასილაშვილი ც., ტაბატაძე ჯ., ჯანელიძე მ. ჯვრის წყალსაცავში ჩამდინარე წყლების პროგნოზირება ენგურჰესის უსაფრთხოებისა და ენერგოეფექტურობისათვის. ტექნიკური უნივერსიტეტი საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკური კონფ. - გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება, შრომები, 2010, გვ.371-373.
87. Хомерики И., Гершкович М. Квинтрадзе И. Водохозяйственные балансы по створам основных водотоков Грузии на период до 2000 года. Исследование по вопросам энергетики и энергоресурсов в горных условиях: Сборник научных трудов М-во энерг. и электрифик. СССР, ГрузНИИЭГС. Москва: Энергоатомиздат, 1985, 104 с.
88. ბასილაშვილი ც. წყალსაცავებში ჩამდინარე წყლების პროგნოზირება შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში. ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის შრომები, 2001, ტომი 106, გვ.170 – 176.

89. ბასილაშვილი ც., ბოლაშვილი ნ., მამასახლისი ქ. წყალმომარაგების პროგნოზირება წყალსაცავების მდგრადობის უზრუნველსაყოფად. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, მთიანი რეგიონების მდგრადი განვითარების პრობლემები, 2002, გვ. 124 – 125.
90. სამუკაშვილი რ. მდინარე ენგურის აუზის და გალის წყალსაცავების ზედაპირიდან აორთქლების თავისებურებები. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2007, ტომი №111, გვ. 116-120.
91. გუნია გ., სვანიძე ზ. მთიან რეგიონებში ჰიდროენერგეტიკული სისტემების მდგრადი განვითარების ეკოლოგიური. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2015, ტ.121, გვ.70-75.
92. Biemans H., Haddeland I., Kabat P., Ludwig F., Hutjes R., Heinke J., Bloh W., Gerten D. Impact of reservoirs on river discharge and irrigation water supply during the 20th century. *Water Resources Research*, 5 March 2011.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2009WR008929>
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022.
93. Авакян А., Лебедева И. Водохранилища XX века как глобальное географическое явление. *Известия АН, Серия географическая*, 2002, №3, с. 13-20.
94. Шаорская ГЭС на р. Диди-Чала, Водный баланс за период XI/1954- XII/1958. Гидроэнергопроект, тбилиское отделение, 1959, 50 с.
95. Chokheli Kh. Elaboration of the water balance of the reservoir using the example of the Shaori reservoir. *Proceedings of Middle East International Conference On Contemporary Scientific Studies-V*, Ankara, Turkey, March 27-28, 2021, Vol.III, p. 243-252.
https://cahid.info/pdf/konfrans2021/27032021/proceedingsbook_volume_1.pdf
<https://www.cahid.info/archives/2979>
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022.
96. Сванидзе, Г. Возобновляемая энергетика Грузии. Л.: Гидрометеоиздат, 1987, 173 с.
97. World Meteorological Organization Integrated Flood Management Tools, Reservoir Operations and Managed Flows. Series No.5 version 2.1, 2015, 62 p.
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4273,
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022.
98. Votruba L., Broža V. Water management in reservoirs. Technical University Prague, Czechoslovakia, 1989, 444 p.

99. Арсеньев Г. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. Ленинградский гидрометеорологический институт, 1989, 272 с.
100. Иорадишвили И., Иорданишвили К. Вопросы экологической эволюции горных водоемов Грузии. Институт водного хозяйства, Грузинский технический университет, Тбилиси: Универсал, 2012, 186 с.
101. Basilashvili Ts., Begalishvili N. Water resources and the problems of their use in Georgia. *Annals of Agrarian Science*, 2012, Vol.10, p.84 – 86.
102. კოდუა ნ. ჰიდროელექტროსადგურები. თბილისი: სტუ, 2017, 240 გვ.
103. Guideline and Manual for Hydropower Development. Vol. 1 Conventional Hydropower and Pumped Storage Hydropower. Japan International Cooperation Agency, 2011, 138 p.
104. Olsson F., Pearson M. Modeling the total inflow energy to hydropower plants a study of Sweden and Norway. Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University, 2005, 71 p.
105. Картвелишвили Н., Регулирование речного стока. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1970, 162с.
106. Forecast of the hydropower generation under influence of climate change based on RCPs and Developed Crow Search Optimization Algorithm. *Energy Reports*, Volume 7, 2021, pp. 385-397.
107. Advanced inflow forecasting for a hydropower plant in an Alpine hydropower regulated catchment - coupling of operational and hydrological forecasts. 19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23-28 April 2017 in Vienna, Austria.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017EGUGA..1913288T/abstract>.
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022.
108. Chokheli Kh., Khelidze G. Determining of the river run-off and developing of the control methodology using the example of existing energy purpose water reservoirs. *International Journal of Novel Research and Development (IJNRD)*, 2022, Volume 7, Issue 4, pp. 808-817.
<https://www.ijnrd.org/viewpaperforall?paper=IJNRD2204098>
<https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2204098>
<https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2204098.pdf>
<https://ijnrd.org/pubcurrentissue.php?v=7&i=4&m=April&y=2022>
<https://www.ijnrd.org/viewpaperforall?paper=IJNRD2204098>
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022.

109. Chokheli Kh., Khelidze G. Multifacorial forecast of river runoff for reservoir under limited information conditions. 5th international conference on innovative studies of contemporary sciences, January 14-16, 2022, Tokio, Japan, pp. 329-344 .
<https://www.tokyosummit.org/conference-book>
https://www.tokyosummit.org/_files/ugd/614b1f_e9a9fe3d30e34a59ad69c05a19ff9be0.pdf
<https://www.tokyosummit.org/conference-book>
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 02.11.2022.
110. ჩოხელი ხ., ხელიძე გ. ზედა საფეხურის წყალსაცავის სამუშაო რეჟიმების შერჩევა, ქვედა ბიეფის ჰესების ეფექტური ფუნქციონირების გათვალისწინებით, რიონის ჰესების მაგალითზე. „სტუ-ის შრომები“, 2022, №2(524), გვ.96-104.
<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-2-96-104>
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 01.11.2022.
111. მდინარე რიონის ჰიდროელექტროსადგურების კასკადის წყალსაცავების გარეცხვის მეთოდის და ენერგოსისტემის წყალსაცავების მარეგულირებელი ტევადობისა აღდგენის და დაღეჭილი მასალების გამოყენების ღონისძიებების დამუშავება. თბილისი: ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობათა საქართველოს სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი, 1992, 101გვ.
112. შპს ენკა რინიუებლზის მდ. რიონზე ორსაფეხურიანი ჰესების კასკადის (ტვიში ჰესი 100 მგვტ დადგმული სიმძლავრით და ნამახვანი-ჟონეთი ჰესი - 333 მგვტ დადგმული სიმძლავრით) მშენებლობის და ექსპლოატაციის პროექტში ექსპლოატაციის პირობების ცვლილების (ქვედა ნამახვანი) გარემოზე ზემოქმედების შეფასების ანგარიში. 2019.
<https://mepa.gov.ge/Ge/Files/ViewFile/22945>, უკანასკნელად გადამოწმებულია 30.10.2022.
113. Guide to Hydrological Practice; Volume I; World Meteorological Organization (WMO) 2020, 296 p.
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10473
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 01.11.2022.
114. ჩოხელი ხ., ხელიძე გ., არშვა თ. მდინარის ჩამონადენის განსაზღვრა ჰიდროლოგიური მონაცემების დეფიციტის პირობებში მდ. მტკვრის ჰესების კასკადის მაგალითზე. „სტუ-ის შრომები“, 2020, №4(518), გვ.113-121.
<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2020-4-113-121>
 უკანასკნელად გადამოწმებულია 04.11.2022.
115. Государственный водный кадастр, основные гидрологические характеристики. Ленинград: Гидрометеиздат, том 9, 1967, 457 с.

116. Многолетние данные о режиме поверхностных водных ресурсов суши.
Ленинград: Гидрометеоиздат, Том 6, 1987, 349 с.
117. Годовые данные о режиме поверхностных водных ресурсов суши.
Ленинград: Гидрометеоиздат, Том 6, 1988, 262 с.
118. ტრაპაიძე ვ. ჰიდროლოგიური მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდები. (მონოგრაფია). თბილისი: უნივერსალი, 2009, 120 გვ.
119. Многолетние расчеты энергии воды. Гидропроект, 1984-1986, 450 с.