

**მდინარე არაგვის ჩამონადენის პროგნოზირება ჟინვალის
წყალსაცავის ოპტიმალური სამუშაო რეჟიმისა და უსაფრთხოებისათვის
ც.ბასილაშვილი**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

წყლის რესურსების კომპლექსური გამოყენება საუკეთესო გზაა ქვეყნის მეურნეობის დარგების წყალმოთხოვნილების დაკმაყოფილებისა და ეკონომიკური ეფექტის მიღწევისათვის. წყალთა მეურნეობის ყოველ მიმართულებას (წყალმომარაგება, ჰიდროენერგეტიკა, ირიგაცია, სათევზე მეურნეობა, რეკრეაცია, ტურიზმი, წყლის ტრანსპორტი და სხვა) აქვთ თავისი სპეციფიკური თავისებურებები, მაგრამ მათ გამაერთიანებელ საწყისს წარმოადგენს წყლის რესურსების ფართომასშტაბიანი გამოყენება წყალსაცავების საშუალებით. რაც უფრო მეტია წყალსამეურნეო კომპლექსის მონაწილეთა რიცხვი, მით უფრო მწვავეა წინააღმდეგობები წყალსაცავის მუშაობის რეჟიმში. ამ დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს მდინარეული ჩამონადენის რეგულირებას და მის გადანაწილებას, რისთვისაც საჭიროა წყლის ეკონომიური და რაციონალური გამოყენების ღონისძიებების განხორციელება. სწორედ ამ მიზნით აუცილებელია წყლის რესურსების გრძელვადიანი საპროგნოზო მეთოდის შემუშავება.

მდ. არაგვის წყლის რესურსების ბაზაზე ფუნქციონირებს საქართველოში ყველაზე მრავალმხრივი გამოყენების მსხვილი ჰიდროკვანძი ჟინვალის წყალსაცავი. ამ წყალსაცავის წყლით ყოველწლიურად ირწყვება ქართლისა და კახეთის 60ათასი ჰა მიწა, სასმელი წყლით მარაგდება ქ. თბილისისა და ქ. რუსთავის 1,5 მლნ მოსახლეობა და გამოიმუშავდება 585 მლნ. კვტ. სთ. ელექტროენერგია. წყალსაცავის წყლის გამოყენება კომპლექსურად ყველა ამ მიზნებისათვის ბევრად არის დამოკიდებული მდ. არაგვის წყლის ჩამონადენის ოპერატიული პროგნოზებით მომსახურების უზრუნველყოფაზე.

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ მთის მდინარეთა წყლის ხარჯების პროგნოზირება ურთულესი პრობლემაა. აქ წლის ცალკეულ პერიოდში წყლის ჩამონადენის ფორმირება ხდება განსხვავებულ სპეციფიკურ ჰიდრომეტეოროლოგიურ პირობებში. ამიტომ თითოეული მდინარის ცალკეული პერიოდის ჩამონადენისათვის უნდა მოხდეს ინდივიდუალური საპროგნოზო მეთოდის შემუშავება.

აღრე საქართველოში მდინარეთა წყლის ხარჯების პროგნოზირებისათვის იგებოდა 2-3 ცვლადიანი გრაფიკები, სადაც საპროგნოზო ხარჯები დაკავშირებული იყო წინა პერიოდის მდინარის წყლის ხარჯებთან ან ნალექებთან. იმ შემთხვევაში, როდესაც არ მიიღებოდა დადებითა შეფასების პროგნოზები, მაშინ დამატებით განიხილებოდა საპროგნოზო პერიოდის ნალექები ან ჰაერის ტემპერატურა. მაგრამ მაშინ ხშირი იყო შემთხვევები საპროგნოზო კავშირის საერთო მიმართულებიდან გადახრილი წერტილების ამოგდებისა (იგნორირება), რაც ხელოვნურად ზრდიდა საპროგნოზო დამოკიდებულების სიზუსტეს, მაგრამ ამ დროს მცირდებოდა პროგნოზების საიმედოობა.

თანამედროვე ჰიდროლოგიური საპროგნოზო მეთოდები ეფუძნება წყლის ბალანსის განტოლებას, რომელშიც მრავალი სხვადასხვა ელემენტი (ჩამონადენი, ნალექები, ტემპერატურა, აორთქლება, კონდენსაცია, ინფილტრაცია, ტრანსპირაცია და სხვა) შედის. ასეთი საპროგნოზო მოდელების გამოყენება შეიძლება იქ, სადაც რეგულარულად მიიღება ოპერატიული ინფორმაცია სხვადასხვა სიმაღლითი ზონიდან ჰიდრომეტეოროლოგიურ ელემენტებზე.

მდ. არაგვის ხეობაში ნალექების, მყინვარებისა და თოვლის განაწილება მდინარეთა აუზებში ძლიერ განსხვავებულია 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, მდ. 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. ამ მიზნით აქ უმჯობესია ჩამონადენის ყველა მაფორმირებელი ფაქტორის არსებული დაკვირვებების მონაცემებიდან შეირჩეს გარკვეული რეპრეზენტატიული ფაქტორები.

ამრიგად მდ. არაგვის აუზში სადღეისოდ არსებული შეზღუდული ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის პირობებში, ვერ ხერხდება თანამედროვე რთული გენეტიკური სახის საპროგნოზო მოდელების გამოყენება. ამიტომ პროგნოზირების მიზნით ვიყენებთ მრავალფაქტორიან სტატისტიკურ მოდელს [1], რომელშიც შედის ის მონაცემები, რომელთა ოპერატიული ინფორმაცია მიიღება პროგნოზების გაცემის წინ. ჩვენ შემთხვევაში ესენია: მდინარის ჩამონადენი (Q მ³/წმ), ნალექები (R მმ), ჰაერის ტემპერატურა (θ , °C) და თოვლის წყალშემცველობა (W მმ).

მდ. არაგვის ცალკეული შენაკადის თითოეული საპროგნოზო პერიოდისათვის ჩატარებულ იქნა ჰიდრომეტეოროლოგიური მონაცემების მრავალწლიური რიგების სტატისტიკური და კორელაციური ანალიზი, რის საფუძველზეც შეირჩა საპროგნოზო პერიოდების ჩამონადენზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები. ცალკეული პერიოდის ჩამონადენის ფორმირების პროცესის ფიზიკური არსის გათვალისწინებით თავდაპირველად შედგენილ იქნა გაფართოებული საპროგნოზო მოდელები ყველა მოქმედი ფაქტორის მონაწილეობით. მაგრამ საპროგნოზო განტოლებაში ბევრი ცვლადის შეკვანა არ არის გამართლებული არც თეორიულად, რადგან მცირდება განტოლების მდგრადობა და არც პრაქტიკულად ინფორმაციის შეზღუდულობის გამო. ამიტომ უმჯობესია მინიმალური რაოდენობის პრედიქტორების გამოყენებით მივიღოთ მაქსიმალური სიზუსტე და დროულობა.

ამ მიზნით გარკვეული მათემატიკური კრიტერიუმებისა და მრავალბიჯიანი გამორიცხვის მეთოდის გამოყენებით დგება ოპტიმალური საპროგნოზო მოდელი, რომლის ამოხსნის დროს გამოიყენება მრავალფაქტორიან დამოკიდებულებათა პირდაპირი და შებრუნებული გაშლა, როცა გამოიანგარიშება საპროგნოზო განტოლებათა ორი სისტემა პრედიქტორების (საპროგნოზო ფაქტორების) თანდათანობითი დამატებით შესაბამის შეფასებათა კრიტერიუმებით. ეს საშუალებას იძლევა ერთდროულად გამოვიკვლიოთ პრედიქტორების შემცირების, დროულობის გაზრდისა და სიზუსტის ამაღლების შესაძლებლობა. საპროგნოზო მოდელის ყველა ეტაპის პრაქტიკული რეალიზაცია ხდება ერთიანი გაანგარიშებათა სისტემით შესაბამისი კომპიუტერული პროგრამებით [2,3].

კვლევის შედეგად მდ.არაგვის სამი მთავარიშენაკადისაანგარიშო ჰიდროკვეთისათვის: თეთრი არაგვი – ფასანაური, შავი არაგვი – შესართავი და ფშავის არაგვი – მალაროსკარი, შედგენილია წყლის ხარჯების საპროგნოზო ფორმულები შემდეგი სახის გრძელვადიანი პროგნოზებისათვის: წყალდიდობის მაქსიმალური პიკების ($Q_{\text{მაქ}}$) 2–3 თვის დროულობით, სავეგეტაციო პერიოდის ($Q_{\text{IV-IX}}$) 6 თვის დროულობით, კვარტალური ($Q_{\text{I-III}}$, $Q_{\text{IV-VI}}$, $Q_{\text{VII-IX}}$, $Q_{\text{X-XII}}$) 3–4 თვის დროულობით და ყველა ცალკეული თვის (Q_{I} , Q_{II} , ... Q_{XII}) 1–2 თვის დროულობით. თითოეულისათვის მიღებულია სხვადასხვა ფაქტორების შემცველი საპროგნოზო განტოლებები სხვადასხვა ინფორმაციით, სიზუსტითა და დროულობით. საპროგნოზოდ გამოყენებული პრედიქტორების რაოდენობა განტოლებებში უმეტესად 1–2, ზოგ შემთხვევაში კი 3–4. ყველა საპროგნოზო ჩამონადენისათვის მიღებულია პროგნოზები წინა პერიოდის მონაცემების საფუძველზე საპროგნოზო პერიოდის ნალექებისა და ტემპერატურის ამინდის პროგნოზის გარეშე.

თბილი პერიოდის ჩამონადენის საპროგნოზო განტოლებები მიღებულია ძირითადად მეტეოროლოგიური მონაცემების გამოყენებით მდინარის წყლის ხარჯების გარეშე, რაც მეტად მნიშვნელოვანია სადღეისოდ, როდესაც აღარ ხდება მდინარეთა წყლიანობის აღრიცხვა. მიღებული პროგნოზები ხასიათდება დადებით შეფასებათა კრიტერიუმებით, რომელთა მნიშვნელობები შეადგენს საშუალოდ: მთავარი კრიტერიუმი $S/\sigma = 0,76 \div 0,60$; პროგნოზების გამართლების უზრუნველყოფა $P = 60 \div 80\%$; კორელაციის კოეფიციენტი ფაქტიურსა და პროგნოზულ მნიშვნელობებს შორის $r = 0,60 \div 0,76$.

თითოეული საპროგნოზო პერიოდისათვის მიღებული სხვადასხვა საპროგნოზო ვარიანტი საშუალებას იძლევა ოპერატიული პროგნოზების გაცემის დროს შეირჩეს საპროგნოზო განტოლება არსებული ინფორმაციის, საჭირო დროულობისა და სიზუსტის მიხედვით. გარდა ამისა, შეიძლება განისაზღვროს საპროგნოზო ჩამონადენის მოსალოდნელი რყევის ინტერვალი და მოხდეს მიღებული შედეგების ურთიერთკონტროლი. ამასთან ერთად, პროგნოზები შეიძლება შედგეს არა მარტო ერთჯერადად, არამედ ეტაპობრივად, როდესაც ახალ-ახალი ინფორმაციის დამატებით მოხდება მათი დაზუსტება.

1 ცხრილში მოცემულია სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის სხვადასხვა დროულობის საპროგნოზო განტოლებათა მაგალითები შესაბამის შეფასებათა კრიტერიუმებით.

აღსანიშნავია, რომ მიუხედავად მრავალმხრივი ძიებისა მდ. არაგვის სამივე შენაკადზე ვერ იქნა მიღებული დადებითი შეფასების პროგნოზები (როცა $S/\sigma > 0,80$) წყალდიდობის მაქსიმალური ხარჯებისათვის. ამიტომ მიღებული საპროგნოზო განტოლებებით (ცხრილი 2) შესაძლებელია კონსულტაციების გაცემა მდინარეზე მომავალი წელის პიკების ოდენობაზე. მათი შეფასების კრიტერიუმებია $S/\sigma = 0,84 \pm 0,92$, მაგრამ მიღებული პროგნოზების გამართლების უზრუნველყოფა ($P = 64 \div 76\%$) დამაკმაყოფილებელია და ამიტომ პრაქტიკაში მათი გამოყენება დადებით შედეგს მოგვცემს.

ცხრილი 1. სავეგეტაციო პერიოდის წყლის ხარჯების (Q_{IV-IX} , მ³/წმ) პროგნოზების ეტაპობრივი დაზუსტების მაგალითები მდ. შავ არაგვზე – შესართავთან.

გაცემის დრო	დროულობა (დღეებში)	საპროგნოზო ფორმულა	კრიტერიუმები		
			s/σ	P%	r
28/II	210	$Q_{IV-IX} = 8,48 + 0,013P_{XII-II}$	0,69	61	0,73
15/III	195	$Q_{IV-IX} = 7,94 + 0,012 W_{2300}^{2200}$	0,57	76	0,83
15/III	195	$Q_{IV-IX} = 7,94 + 0,008 W_{2300}^{2200} + 0,005P_{XII-II}$	0,55	78	0,85
30/III	180	$Q_{IV-IX} = 4,27 + 0,007 W_{2300}^{2200} + 0,005P_{XII-II} + 0,29Q_{XII-II} - 0,27\theta_{III}$	0,52	85	0,88

ამრიგად, ჟინვალის წყალსაცავის მომსახურებისათვის, მასში ჩამდინარე წყლის პროგნოზის შესადგენად, საჭიროა ჯერ შედგეს მდ. არაგვის სამი ცალკეული შენაკადის პროგნოზი გარკვეული საპროგნოზო პერიოდისათვის მიღებული განტოლებებით, შემდეგ კი ისინი უნდა შეჯამდეს:

$$\sum Q_{ar} = Q_T + Q_S + Q_f \quad (1)$$

იმის გამო, რომ ამ შენაკადებზე არსებული საანგარიშო წყალმზომი საგუშაგოების ქვევით წყალსაცავამდე მდ. არაგვს უერთდება კიდევ სხვა გვერდითი შეუსწავლელი შენაკადები, ამიტომ ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგად [4] მიღებულია ჟინვალის წყალსაცავში წყლის ხარჯის (Q_{wy} , მ³/წმ) ოდენობის გასაანგარიშებელი ფორმულა მისი შესაბამისი (ა, ბ) პარამეტრებით:

$$Q_{wy} = a \sum Q_{ar} + b \quad (2)$$

ცხრილი 2. წყალდიდობის მაქსიმალური ხარჯების (Q_{β} , მ³/წმ) გრძელვადიანი საპროგნოზო განტოლებები და მათი შეფასებები მდ. არაგვის შენაკადებზე

საპროგნოზო განტოლებები	შეფასებათა კრიტერიუმები		
	s/σ	P%	r
მდ. თეთრი არაგვი – დაბა ფასანაური $Q_m = 99,5 - 0,09R_{VII-IX} + 0,15R_{I-III} - 0,05W_{III}$	0,84	72	0,67
მდ. შავი არაგვი – შესართავთან $Q_m = 51,6 - 2,76Q_{II} + 0,04 W_{1700}^{1600} + 1,52 \theta_{III}$	0,88	64	0,61
მდ. ფშავის არაგვი – სოფ. მადაროსკარი $Q_m = 9,85 + 0,25R_{IX-XI} - 0,19R_{XII-II} + 3,0Q_{III} + 6,8 \theta_{IV}$	0,89	76	0,59

ყურადსაღებია, რომ ოპერატიული პროგნოზების გაცემის დროს გამონაგარიშებული საპროგნოზო მნიშვნელობა უნდა შეედაროს საპროგნოზო წყლის ხარჯის ნორმას ($\Sigma Q_{\text{н}}$) და მის ექსტრემალურ მნიშვნელობებს, რათა გამოირიცხულ იქნეს გაანგარიშების დროს დაშვებული შემთხვევითი შეცდომები, ხოლო პროგნოზის ანომალური მნიშვნელობის დროს უნდა გაკეთდეს სათანადო ანალიზი მოსალოდნელი წყლის ხარჯისა და მიღებულ იქნეს ყველა საჭირო უსაფრთხოების ღონისძიებები.

დასკვნის სახით აღვნიშნავთ, რომ მდ. არაგვის სამი შენაკადის წყლის ხარჯებისათვის შემუშავებული 2-4 თვის დროულობის საპროგნოზო მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია წყლის რესურსების ხარჯვის საფუძვლიანი დაგეგმარება და ჟინვალის წყალსაცავის ოპტიმალური რეჟიმით მუშაობა, რათა რაციონალურად გადანაწილდეს წყალსაცავში არსებული წყლის რესურსები როგორც ჰიდროელექტროსადგურის, ასევე წყალმომარაგებისა და სარწყავი სისტემების შეუფერხებელი მუშაობისათვის, რაც უზრუნველყოფს ელექტროენერჯის, წყალმომარაგების, სარწყავი ფართობისა და მოსავლიანობის გაზრდას და ამით დიდი ეკონომიკური ეფექტის მიღებას.

გარდა ამისა, მდინარეთა წყალდიდობის მაქსიმალური წყლის ხარჯების გრძელვადიანი კონსულტაციებით მოსალოდნელი საშიშროების დროული შეტყობინება საშუალებას იძლევა შემცირდეს ის მატერიალური ზარალი, რაც შეიძლება მოყვეს მაღალი წყალდიდობის პიკებს. ამ შემთხვევაში უნდა ჩატარდეს ყველა პრევენციული ღონისძიება, რათა მოწესრიგდეს მდინარეთა კალაპოტები (გაწმენდა - გაღრმავება) და ნაპირდაცვითი ნაგებობები (გამაგრება - დაშენება). თვით ჟინვალის წყალსაცავი კი დროულად უნდა თანდათანობით დაიცალოს მოსალოდნელი მაღალი წყლის ნაკადის მისაღებად, რათა დაცულ იქნეს ის დაზიანებისა და კატასტროფისაგან და არ მოხდეს გაუთვალისწინებელი ზარალი და მსხვერპლი. ამ მხრივ, ყურადსაღებია ის ფაქტი, რომ ჟინვალის წყალსაცავის დაზიანებამ შეიძლება მეტად დიდი ზიანი მიაყენოს მიმდებარე გარემოს და თვით საქართველოს დედაქალაქ თბილისს.

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Basilashvili Ts. The method of Working-out Hydrological Prognosis in Conditions of limited Information. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences. Volume 162, Number 1, 2000, Tbilisi, pp. 110-112.
2. Басиладшвили Ц.З. Статистический анализ переменных и выбор предикторов для прогностических зависимостей. В книге: Аннотированный указатель алгоритмов и программ. ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, 1977, с.43.
3. Басиладшвили Ц.З., Плоткина И.Г. Определение многофакторных зависимостей с развёртыванием уравнения, оценка их качества и расчёт вероятностных прогнозов. Аннотированный перечень поступлений в ОФАП Госкомгидромета. ВНИИГМИ-МЦД, 1985, вып. 4, Обнинск, с.21.
4. ბასილაშვილი ც. ჟინვალის წყალსაცავში ჩანდინარე წყლის რესურსების შეფასება და მათი ცვლილების ტენდენციები საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “კლიმატის ცვლილება და მისი გავლენა სოფლის მეურნეობის განვითარებაზე”, თბილისი, 2014, 78-80

მდინარე არაგვის წყლის ჩამონადენის პროგნოზირება ჟინვალის წყალსაცავის ოპტიმალური სამუშაო რეჟიმისა და უსაფრთხოებისათვის. /ბასილაშვილი ც./ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული-2015.-ტ.121.-გვ.23-26-ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

მრავალფაქტორიანი სტატისტიკური მოდელის გამოყენებით შემუშავებულია მდ. არაგვის სამი შენაკადის (თეთრი, შავი და ფშავის) საპროგნოზო მეთოდები სავსეპეტაციო პერიოდის, წყალდიდობის, კვარტალური და თვიური წყლის ხარჯებისა. ისინი აუცილებელია ჟინვალის წყალსაცავის წყლის რესურსების რაციონალური გადანაწილების მიზნით წყალმომარაგების, ირიგაციისა და ენერგეტიკის მომსახურებისა და უსაფრთხოებისათვის, რითაც იღლება დიდი ეკონომიკური ეფექტი.

=====

FORECAST OF THE ARAGVI RIVER WATER FLOW FOR INSURING OPTIMAL WORKING REGIME AND SAFETY. /Basilashvili Ts./ Transactions of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University. -2015. -vol.121. -pp.23-26.- Georg., Summ. Georg., Eng., Russ.

Forecasting methods of flooding periods, quarterly and monthly expenditures of three tributaries (Tetri, Shavi and Pshavi) of the Aragvi River have been worked out by using a multifactorial statistical model. They are essential for rational utilization of the water resources of Zhinvali reservoir as well as for water supply, irrigation and power service and safety, which will result into significant economic effect.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ АРАГВИ В ЦЕЛЯХ ОПТИМАЛЬНОГО РАБОЧЕГО РЕЖИМА И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИНВАЛЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА /Басилашвили Ц.З./Сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии. -2015.- т.121 .-с.23-26.-Груз., Рез. Груз., Англ., Рус.

С использованием многофакторной статистической модели разработаны методики прогнозирования стока трёх притоков р. Арагви (Белой, Чёрной и Пшавской) за периоды вегетации, половодья, кварталы и месяцы. Они необходимы в целях рационального перераспределения водных ресурсов Жинвальского водохранилища для обслуживания водоснабжения, ирригации, энергетики и безопасности, что даст большой экономический эффект.