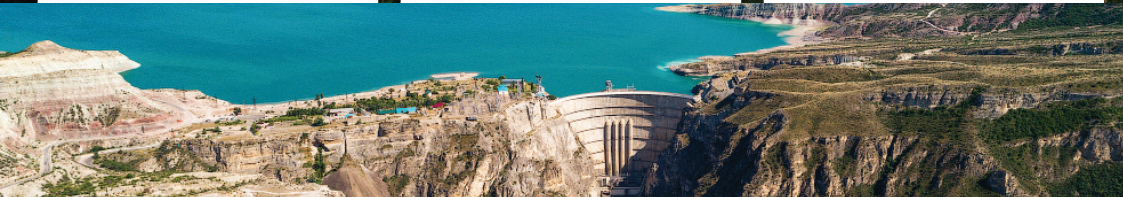


გიორგი მეტრეველი, ლია მაჭავარიანი, ზაზა გულაშვილი

# წყალსაცავების პოზიტივები და ნეგატივები



გიორგი მეტრეველი, ლია მაჭავარიანი,  
ზაზა გულაშვილი

# წყალსაცავების კოზიტივები და ნეგატივები



თბილისი 2022

---

## რედაქტორი:

**დავით კერესელიძე** – ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორი, ჰიდროლოგიის, ოკეანოლოგიისა და მეტეოროლოგიის კათედრის გამგე

## რეცენზენტები:

**ნანა ბოლაშვილი** – გეოგრაფიის დოქტორი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტის დირექტორი

**ვაჟა ტრაპაიძე** – ტექნიკის დოქტორი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ჰიდროლოგიის, ოკეანოლოგიისა და მეტეოროლოგიის კათედრის ასოც. პროფესორი

**ბაადურ უკლება** – საქართველოს მელიორაციის, წყალსარგებლობისა და გარემოს დაცვის სამსახურის უფროსი



მონოგრაფია დაიბეჭდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [საგამომცემლო სახელმწიფო სამეცნიერო გრანტი #SP-21-070].

© გ. მეტრეველი, ლ. მაჭავარიანი, ზ. გულაშვილი, 2022  
ISBN 978-9941-9784-6-3



გამომცემლობა  
სამშობლო

---

# სარჩევი

<b>წინასიტყვაობა .....</b>	<b>1</b>
<b>შესავალი .....</b>	<b>4</b>
<b>1. ზოგადი ცნობები მსოფლიოს სახასიათო წყალსაცავებზე.....</b>	<b>11</b>
1.1. მსოფლიოს სახასიათო წყალსაცავების სამეცნიერო და ეკონომიკური მიმოხილვა.....	11
1.2. საქართველოს წყალსაცავების სამეცნიერო და ეკონომიკური მიმოხილვა.....	31
1.3. ინფორმაცია წყალსაცავების მშენებლობის აუცილებლობის შესახებ და მათი საამშენებლო ადგილის შერჩევის ძირითადი პრინციპები.....	48
<b>2. მოსილვის პრიზმის გენეზისი და განვითარების მიმართულებები .....</b>	<b>51</b>
2.1. მთის მდინარეების ნატანის გენეზისი, ტრანსპორტი და აკუმულაცია .....	51
2.2. წყალსაცავში ნატანის აკუმულირება და შენაკადების კალაპოტების მოსილვა .....	58

2.3. მდინარის წონასწორული კალაპოტის ზღვრული დახრილობის საანგარიში გამოსახულების შექმნა და მისი აპრობაცია-მოდერნიზაცია მოქმედ წყალსაცავებზე.....	64
2.4. მოსილვის პრიზმის დინამიკის კვლევა ნატურული ექსპერიმენტის გამოყენებით .....	73
2.5. წყალსაცავში ნატანის ფრაქციული განაწილება. ნატანდამჭერი და ნატანმომპოვებელი კარიერების განლაგება .....	80
<b>3. წყალსაცავი და ჰიდროენერგეტიკის პრობლემა.....</b>	<b>83</b>
3.1. ენერგეტიკული წყალსაცავის განსაკუთრებული თვისებები. მათი მშენებლობის ძირითადი მიზნები და ნეგატივები .....	83
3.2. მოსილვის პრიზმის განვითარება წყალსაცავის არსებობის ფაზებში და მისი მოცულობის გამოთვლის მეთოდები .....	87
3.3. წყალსაცავის დონის რყევის ნეგატივები. ....	91
3.3.1. წყალსაცავის დონის რყევის ნეგატივები .....	91
3.3.2. ოპერატიული სამუშაო მრუდის $W = f(h)$ ტრანსფორმაცია და კორექციის აუცილებლობა .....	92
<b>4. წყალსაცავი და ნაპირდაცვის პრობლემა .....</b>	<b>95</b>
4.1. ზღვისპირის მოწყვლადი უბნების შეფასება ლიტერატურული, საარქივო, საექსპედიციო და სისტემატური მონიტორინგის შედეგებით .....	95
4.1.1. სახასიათო ინფორმაცია ზღვისპირის შესახებ. ....	96
4.1.2. მდინარის ნატანი .....	97
4.1.3. სანაპიროს ევოლუციის ძირითადი ფაქტორები XIX-XXI საუკუნეებში და მათი მოქმედების შედეგები .....	100

4.1.4. ზღვის კანონები და მათი როლი სანაპიროს ეკოლუციაში.....	102
4.2. ზღვის დინამიკური პროცესების შეფასება კლიმატის ცვალებადობის ფონზე და მომავლის პროგნოზი .....	107
4.2.1. მიმდინარე ევსტაზიის პროგნოზი უახლოესი მომავლისათვის (2040-2050).....	112
4.3. ზღვისპირის სენსიტიური უბნების აბრაზიული რეჟიმის თავისებურებები და ნატანის დეფიციტის წლიური მოცულობა .....	114
4.3.1. ფოთის სანაპირო ზონის ტრანფორმაცია .....	115
4.3.2. ფოთის ზღვისპირის განვითარების პროგნოზი.....	119
4.3.3. აჭარის ზღვისპირეთის განვითარების თავისებურებები და თანამედროვე მდგომარეობა .....	120
4.3.4. ნაპირდაცვითი ღონისძიებების ეფექტურობის ანალიზი ადლიაში.....	122
4.3.5. გონიო-ადლია-ბათუმის სანაპირო ზონის ტრანსფორმაციის პროგნოზი ახლო მომავლისათვის (2040-2050 წწ).....	124
4.3.6. ოკეანოგრაფიული პროცესების გავლენა აჭარის სანაპირო ზონაზე.....	127
4.3.7. ბათუმის სანაპიროს მომავლის პროგნოზის (2040-2050) განმსაზღვრელი საწყისი ინფორმაცია .....	130
4.4. სანაპიროს სენსიტიური მონაკვეთების შემავსებელი ნატანის სატრანსპორტო კონვეიერის „წყალსაცავი-ზღვისპირი-მოქმარებელი“ სავარაუდო მოდელები.....	132
<b>5. წყალსაცავის ზემოქმედების შეფასება გარემოსა და მოსახლეობის უსაფრთხოებაზე.....</b>	<b>136</b>
5.1. კლიმატზე წყალსაცავის ზემოქმედების შეფასება.....	136
5.1.1. კლიმატზე წყალსაცავის ზემოქმედების ინდიკატორები და პარამეტრები.....	136

---

5.1.2. წყალსაცავის კლიმატზე ზემოქმედების შეფასების მეთოდები კლიმატური ფონის გამოყენებით .....	149
5.2. გრუნტის წყლებზე წყალსაცავის ზემოქმედების შეფასება.....	157
5.2.1. გრუნტის წყლების რეჟიმზე წყალსაცავის ზემოქმედების მექანიზმის გამოკვლევა, მისი ინდიკატორებისა და პარამეტრების განსაზღვრა .....	157
5.2.2. მთის სახასიათო წყალსაცავების ფილტრაციული ველის შესწავლა საველე და წყალ-საბალანსო მეთოდებით .....	159
5.2.3. გრუნტის წყლების რეჟიმზე წყალსაცავის ზემოქმედების შეფასების მეთოდი.....	173
5.3. გარემოსა და მოსახლეობის უსაფრთხოებაზე წყალსაცავის გავლენის შეფასების კომპლექსური მეთოდიკა .....	175
5.3.1 ზღვის სანაპიროს სენსიტიური მონაკვეთების შერჩევის კრიტერიუმები .....	178
5.3.2 მოსახლეობისა და ინფრასტრუქტურის დატბორვის რისკების განმსაზღვრელი კრიტერიუმები და წყალდიდობის რისკების მართვის სტრატეგია .....	180
5.3.3 გარემოსა და მოსახლეობის უსაფრთხოებაზე წყალსაცავის გავლენის შეფასების კომპლექსური მეთოდიკა .....	182
<b>ბოლოთქმა .....</b>	<b>188</b>
<b>ლიტერატურა.....</b>	<b>190</b>



## წინასიტყვაობა

ნაშრომი შეიცავს წყალსაცავის შესახებ არსებული შემეცნებითი ინფორმაციის განზოგადებისა და ახალი კვლევების შედეგებს. ავტორთა მიზანი იყო ამ ჰიდროტექნიკური ნაგებობის ნეგატიური და პოზიტიური მხარეების სამეცნიერო შეფასება ფართო საზოგადოებისათვის მისაღები ფორმით. მიზნის დასახვა ამ ობიექტის შესახებ არსებულმა მრავალრიცხოვანმა ურთიერთგამომრიცხავმა შეხედულებებმა განაპირობა, რომლებიც თითქმის ყველა ახალი წყალსაცავის მშენებლობას წინ უძღოდა. საჭირო იყო ისეთი ნაშრომის შექმნა, რომელშიც გარკვევით, სამეცნიერო და გამოყენებითი მეთოდების საფუძველზე ჩამოყალიბებული იქნებოდა მისი მისი პოზიტიური და ნეგატიური თვისებები და მათი შეფასების მეთოდები.

ნაშრომის შექმნა განსაკუთრებით აქტუალური გახდა 1990-იანი წლების მოვლენების დროს, როდესაც წყალსაცავების მშენებლობის გამო, შეიქმნა საზოგადოებრივი აზრი, რომ წყალსაცავი მავნე ნაგებობაა, საჭიროა მათი დაცლა-გაუქმება და პროექტირების შეჩერება.

დღემდე ჩამოყალიბებული არ არის გონივრული საზოგადოებრივი აზრი იმის თაობაზე, რომ წყალსაცავი ბუნებრივ ან ხელოვნურ ქვაბულში მოთავსებული წყლის მარაგია და მეცნიერულად დასაბუთებული აზრის გამოყენებით, უნდა შეიქმნას იქ და იმ დროს, როდესაც ამ სახელმწიფო მნიშვნელობის წყალსამეურნეო პრობლემის გადაწყვეტის უკეთესი საშუალება არ არსებობს. ამასთან, საზოგადოებამ ისიც უნდა იცოდეს, რომ წყალსაცავს ნეგატიური მხარეებიც გა-



აჩნია და მათი გაუთვალისწინებლობა ადამიანთა სიცოცხლისა და მძიმე მატერიალური ზარალის ფასად შეიძლება დაუჯდეს.

საჭირო გახდა ისეთი ნაშრომის შექმნა, რომელშიც გარკვევით, სამეცნიერო-გამოყენებითი ცნებებისა და კვლევის შედეგების საფუძველზე ჩამოყალიბებული იქნებოდა წყალსაცავის პოზიტიური და ნეგატიური თვისებები და მათი შეფასების მეთოდები. შემოთავაზებული ნაშრომი პირველი მცდელობაა ხელი შეუწყოს საზოგადოებრივი აზრის ჩამოყალიბებას წყალსაცავების შექმნის საჭიროების შესახებ. ცხადია, ნარკვევი ხარვეზებისაგან დაზღვეული არ არის. ავტორები მადლიერებით მიიღებენ ყველა ღირებულ და საქმიან რჩევას და შენიშვნას, რაც სერიოზულ დახმარებას გაუწევს მათ სამომავლოდ.

მონოგრაფიაში ფართოდ არის გამოყენებული შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით განხორციელებული პროექტების ფარგლებში მიღებული კვლევის შედეგები: “ნაპირდაცვისა და ჰიდროენერგეტიკის ერთობლივი პრობლემის რეალიზაციის თანამედროვე მეთოდიკა” (AR/220/9-120/14, 2015-2017), “გარემოსა და მოსახლეობის უსაფრთხოებაზე წყალსაცავის ნეგატიური ზემოქმედების შეფასების მეთოდიკა” (FR-18-009, 2019-2022).

საველე კვლევებისა და ნატურული ექსპერიმენტების რეალიზაციის პროცესში, ავტორებს ხშირად უხდებოდათ წყალსაცავებზე და სხვადასხვა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე სამეცნიერო კვლევების ჩატარება და ინფორმაციის მოძიება-შეგროვება, რაც ზოგჯერ ექსტრემალურ პირობებშიც ხდებოდა. ამ საქმიანობაში მნიშვნელოვანი მხარდაჭერა ჰქონდათ საექსპერიმენტო ობიექტების ხელმძღვანელებისა და ჯგუფებისაგან. განეული დახმარებისა და თანადგომისათვის, ავტორები მადლიერებას გამოხატავენ ქვემოთ აღნიშნული ობიექტების ხელმძღვანელებისა და თანამშრომლების მიმართ: სს ენერგოპრო ჯორჯია, შპს ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის დეპარტამენტი, ხრამჰესი I, გუმათჰესის კაშხლის მენეჯმენტი, შპს “ვარციხე2005” ჰეს და სხვ.

ავტორებს სასიამოვნო მოვალეობად მიაჩნიათ გულითადი მადლიერება გამოხატონ გარემოს ეროვნული სააგენტოს ხელმძღვანელის, ჰიდრომეტეოროლოგის დეპარტამენტის უფროსისა და სააგენტოს თანამშრომლების მიმართ თანადგომისა და ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციით უზრუნველყოფისათვის; ასევე AR/220/9-120/14 საგრანტო პროექტში მონაწილე პირების მიმართ (კლიმატოლოგის, ჰიდროლოგის, GIS-სპეციალისტის და სხვ.) გაწეული საქმიანობისა და კვლევებში შეტანილი წვლილისათვის.

*ავტორები*



## შესავალი

დამიანის საქმიანობის მრავალი სახეობიდან, მასშტაბურობით და მნიშვნელობით განსაკუთრებით გამოირჩევა ორი მიმართულება: ახალი ტერიტორიების მრავალმიზნობრივი ათვისება და მდინარეთა სისტემების გარდაქმნა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების გამოყენებით. ეს პროცესები ყველა კონტინენტზე ინტენსიურად მიმდინარეობს მელიორაციის, ჰიდროენერგეტიკის, ნაოსნობის, წყალმომარაგებისა და სხვა მიზნით. უკვე აღიარებული ჭეშმარიტებაა, რომ ასეთი ნაგებობები ის ბერკეტია, რომლითაც მოხდება ჰიდროსფეროს გარდაქმნა თანამედროვე პრობლემების შესაბამისი მიმართულებით.

აღნიშნულ ნაგებობათა შორის ყველაზე ფართოდ გამოიყენება წყალსაცავი, ანუ ისეთი ჰიდროტექნიკური ნაგებობა, რომლითაც შესაძლებელია წყლის რესურსების გადანაწილება დროსა და სივრცეში. ეს ნაგებობა წარმოადგენს ქვაბულს, რომლის ძირითადი დანიშნულებაა წყლის მარაგის შექმნა და მისი მოცულობისა და დონის ხელოვნური რეგულირება. შესაბამისად, ტბა შეიძლება წყალსაცავად გარდაიქმნას, თუ მისგან გამომავალი მდინარე გადაიკეტება კაშხლით და მისი გამოყენებით შესაძლებელი იქნება შეგუბებული წყლის მოცულობის და დონის ხელოვნური რეგულირება.

წყალსაცავი ანთროპოგენური ობიექტია, რომელიც ამავდროულად ბუნებრივი გარემოს, განსაკუთრებით კი ჰიდრომეტეოროლოგიური ფაქტორების ძლიერ ზემოქმედებას განიცდის. მიუხედავად იმისა,

რომ წყალსატევი ადამიანის ხელითაა შექმნილი და მის მიერვე იმართება, ის მაინც ბუნების შემადგენელი ელემენტია, მის ნაწილს წარმოადგენს და ბუნების კანონებით იმართება.

წყალსაცავის ინდივიუალური თვისებაა განვითარების მაღალი დინამიკა. ეს იმის შედეგია, რომ ის ხელოვნურად მართვადია და მისი რეგულირების ტიპი, მდებარეობა, მორფომეტრია და სხვა მახასიათებლები პროექტირების პროცესშივე განისაზღვრება. თავის მხრივ, წყალსაცავიც ზემოქმედებს გარემოზე და ეს პროცესი მისი მახასიათებლების ფუნქციაა, უფრო კონკრეტულად, მის მორფომეტრიაზე, ვერტიკალურ და განედურ მდებარეობაზე დამოკიდებული. წყალსაცავების შექმნის საწყისი პერიოდიდანვე იწყება მათში ჰიდროლოგიური, ჰიდროფიზიკურ-ჰიდროქიმიური და ბიოლოგიური სისტემების ჩამოყალიბება.

წყალსაცავის შექმნის საჭიროება ადამიანმა ჯერ კიდევ უძველეს დროში, მიწათმოქმედების განვითარების საწყის ეტაპზე დაინახა. პირველი ასეთი ნაგებობა მერისის წყალსაცავის სახით, ეგვიპტეში, 4 ათასი წლის წინ მდ. ნილოსის შეგუბებით შეიქმნა. მისი მოცულობა დაახლოებით 1 კმ<sup>3</sup> იყო. მომდევნო ათასწლეულებში მსგავსი ნაგებობები აშენდა მესოპოტამიაში, ჩინეთსა და უძველესი ცივილიზაციის სხვა რეგიონებში. ამ უძველეს დროში წყალსაცავების ჯამური მოცულობა დაახლოებით 15 კმ<sup>3</sup> აღწევდა. მიმდინარე საუკუნისათვის ასეთ ნაგებობათა რაოდენობამ 35 000 გადააჭარბა, მათმა ჯამურმა მოცულობამ და ზედაპირის (სარკის) ფართობმა შესაბამისად 8 000 კმ<sup>3</sup> და 500 ათას კმ<sup>2</sup> მიაღწია. მსოფლიოს უდიდესი მდინარეები მისისიპი, ნილოსი, პარანა, ვოლგა, ობი და მრავალი სხვაც, წყალსაცავების კასკადების გამოყენებით ხელოვნურად იმართებიან.

პერსპექტივაში დაგეგმილია წყალსაცავების საშუალებით მსოფლიოს მდინარეთა 60-65% დარეგულირება.

ცხადია, წყალსაცავების მშენებლობის საყოველთაო პროცესმა არც საქართველოს აუარა გვერდი. პირველი, შედარებით მცირე, მაგრამ მთელი ამიერკავკასიისათვის მეტად საჭირო წყალსაცავი 1930-იან წლებში

მცხეთასთან, მტკვარ-არაგვის შესართავში აიგო. მომდევნო ათწლეულებში ეს პროცესი მდინარეების ქცია-ხრამის და რიონის წყალსაცავების კასკადების მშენებლობით გაგრძელდა, მოგვიანებით კი იორიარ-აგვისა და ენგური-ერისწყლის კასკადების ამოქმედებით დამთავრდა.

მიუხედავად წყალსაცავების მშენებლობის ასეთი ინტენსიური პროცესისა, ძნელად მოიძებნება სამეურნეო საქმიანობის ისეთი მიმართულება, რომელსაც საზოგადოების ასეთი არაერთგვაროვანი დისკუსია გამოეწვიოს, კონკრეტულად კი – ანტაგონისტური განწყობილება შეექმნას საზოგადოების სხვადასხვა ფენებში. მრავალ ქვეყანაში და გამონაკლისი არც საქართველოა, წყალსაცავების თემა პოლიტიკური სპეკულაციების, საზოგადოების გაღიზიანებისა და დესტაბილიზაციის ეფექტიანი საშუალებაც კი გახდა.

რით აიხსნება წყალსაცავების ფენომენი და ადამიანთა ასეთი ურთიერთსაწინაარმდეგო დამოკიდებულება მის მიმართ? როგორ უნდა ავხსნათ ის ფაქტი, რომ მრავალ ქვეყანაში, მათ შორის იაპონიაში, დასავლეთ ევროპის ქვეყნებში და ჩვენთან საქართველოშიც, სადაც მტკაველ მიწას თითქმის ოქროს ფასი აქვს, წყალსაცავის მშენებლობას საზოგადოების ერთი ნაწილი კმაყოფილებით, მეორე კი აგრესიულად ხვდება? ეს იმით აიხსნება, რომ წყალსაცავი აუცილებელია საზოგადოების სოციალ-ეკონომიკური განვითარებისათვის, კომუნალური და ირიგაციული წყალმომარაგებისათვის, იაფი ჰიდროენერჯისათვის და მრავალი სხვა მიზნით. მეორეს მხრივ, წყალსაცავი ტბორავს სასარგებლო ფართობებს, სალოცავებს და ადამიანთა სამუდამო განსასვენებლებს, ზოგან მკვეთრად უარყოფითად ზემოქმედებს გარემოზე. მოსახლეობისათვის განსაკუთრებით საშიში და მტკივნეულია ის ფაქტი, რომ წყალსაცავში მდინარეთა ნატანის (ქვიშა, კენჭი და სხვ.) დაგროვების (მოსილვის პრიზმის ზრდის) პროპორციულად შენაკადების კალაპოტი მალლა იწევს. ამის გამო იზრდება მდინარის კალაპოტიდან გადმოვარდნის, ანუ კატასტროფული წყალდიდობა-წყალმოვარდნების ალბათობა და რისკები. გარდა ამისა, მდინარეების გადაკეტვით ზღვისპირა პლაჟები ველარ იღებენ მდინარის ნატანს, კარგავენ ნაპირდაცვის ფუნქციას, შედეგად კი ზღვა რეცხავს და ანგრევს სანაპიროს.

გემოაღნიშნული ინფორმაციის განზოგადების შემდეგ ყალიბდება შემდეგი დასკვნა: წყალსაცავს აქვს როგორც პოზიტიური ისე ნეგატიური თვისებები. ამის გამო წყალსაცავის კომპლექსური შეფასება, როგორც ზოგადად, ისე კონკრეტული ობიექტისათვის, სისტემური ანალიზის საფუძველზე უნდა შესრულდეს. სისტემური ანალიზის თანახმად, წყალსაცავი წარმოადგენს: ა) წყლის საცავს, რომელიც მნიშვნელოვნად ცვლის (ზოგან აუმჯობესებს, ზოგან აუარესებს) წყლის მაჩვენებლებს; ბ) აკვატორიას, რომელსაც იყენებს წყლის ტრანსპორტი, თევზისა და აკვაკულტურის მოსაშენებლად; გ) პერსპექტიულ ბაზას რეკრეაციისა და ტურიზმის განვითარებისათვის; დ) საშუალებას სამეურნეო მიწის ფონდის მნიშვნელოვანი გაფართოებისათვის (ირიგაცია და წყალდიდობა-წყალმოვარდნების დარეგულირება; ე) ობიექტს, რომელიც არსებითად ცვლის ბუნებრივ გარემოს, და მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე, საქმიანობაზე, საცხოვრებელ პირობებზე და ინფრასტრუქტურაზე.

ცხადია, ამ პრობლემის რეალიზაციას მნიშვნელოვნად გაამარტივებდა ისეთი ნაშრომი, რომელშიც მოცემული იქნება წყალსაცავების შესახებ სხვადასხვა დარგის მეცნიერ-სპეციალისტების განზოგადებული აზრი მისი პოზიტივ-ნეგატივების შესახებ.

საქართველოში წყალსაცავების შესახებ მეცნიერების მიზანმიმართული განვითარება 1940-იანი წლების მიწურულს და 1950-იანი წლების დასწყისში დაიწყო. ამ პერიოდში წალკისა და თბილისის წყალსაცავების საპროექტო კვლევები და საექსპლოატაციო წესების ჩამოყალიბება მიმდინარეობდა. სამეცნიერო-პოპულარული კვლევების მთავარი თემა იყო ხრამჭეს-1 წყალსაბალანსო კვლევები (დაშბაშის წყაროების რეჟიმი), და თბილისის წყალსაცავის მოსალოდნელი გემოქმედება იყო გარემოსა და თბილისის კლიმატზე.

1960-იან წლებში ფართოდ გაიშალა კვლევები წყალსაცავების მოსილვისა და ნაპირების დეფორმაციის პრობლემების რეალიზაციის მიზნით. პირველი მათგანი გაშუქებულია ლ. გველესიანის და ნ. შმალცელის შრომებში, ხოლო მეორე პრობლემის ფუნდამენტური

კვლევის შედეგები მოცემულია ნ. ვარაზაშვილის, ე. მინერვინას, ა. მაქაცარიას, კ. ლიფონავას და სხვა მკვლევართა შრომებში.

1970-იან წლებში აქტუალური გახდა საქართველოს ზღვის სანაპირო ზოლის დაცვა ტალღური აბრაზიისგან. ამ პრობლემის რეალიზაციის მიზნით, შეიქმნა ნაპირდაცვის სამმართველო, რომლის უფროსი და სამეცნიერო ხელმძღვანელი ა. კიკნაძე იყო. ამ სამმართველოში შეიქმნა და პირველი წარმატებული აპრობაცია გაიარა სანაპირო პლაჟების ხელოვნური შევსების მეთოდმა, რომლის რეალიზაციაში აქტიურად მონაწილეობდნენ გ. საყვარელიძე, შ. ჯაოშვილი, გ. ლომინაძე, გ. რუსო, ი. გელოვანი და სხვ.

წყალსაცავის ჰიდრორეჟიმის ელემენტების აღრიცხვა და წყალსაბალანსო კვლევები განსაკუთრებით აქტუალური სიონის წყალსაცავის ამოქმედების შემდეგ გახდა. 1960-იან წლებში წყლის რესურსებზე მოთხოვნილებათა მკვეთრმა მატებამ მათი აღრიცხვის გაუმჯობესება და წყალსაბალანსო გაანგარიშებებისათვის შესაბამისი მათემატიკური ბაზის შექმნა მოითხოვა. ამ მიმართულებით, უმნიშვნელოვანესი პრობლემებია რეალიზებული გ. სვანიძის, ნ. უკლებას, გ. გვახარიას, გ. გრიგოლიას, გ. მეტრეველის, დ. კერესელიძის, ო. ხალათიანის და სხვ. შრომებში, რომელთა ნაწილი სამეცნიერო-ტექნიკური საზოგადოებისათვის მონოგრაფიების სახითაა ცნობილი. ფართო დიაპაზონის ჰიდროქიმიური კვლევების ავტორები იყვნენ გ. სუბატაშვილი, თ. ფცქიალაძე, ა. სადოგსკი და სხვ.

მოგვიანებით (2010, 2012) გამოიცა ი. და კ. იორდანიშვილების ფუნდამენტური შრომები; ასევე წინანდებარე მონოგრაფიის ავტორთა საერთაშორისო სამეცნიერო პუბლიკაციების სერია, რომლებიც შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით განხორციელებული პროექტების (AR/220/9-120/14 და FR-18-009) ფარგლებში შესრულდა.

უახლოეს მომავალში, კლიმატის მიმდინარე ცვლილებებისა და ურბანიზაციული „აფეთქების“ მკვეთრი ინტენსიფიკაციის პირობებში, განსაკუთრებულ აქტუალობას იძენს აღნიშნული მოვლენების შერ-

ბილუმბისა და ადამტაცის მიმართულებით განხორციელეული სა-  
მეცნიერო კვლევები. ცხადია, წყალსაცავი, როგორც ამ მიზნის სა-  
რეალიზაციო ბერკეტი, გაცილეებით ღრმა და ფართო შესწავლას  
საჭიროებს.

წინამდებარე მონოგრაფიაში განხილულია წყალსაცავის პოზიტი-  
ური და ნეგატიური მხარეები, რომლეებიც მისი შექმნა-ექსპლოატაცი-  
ის პერიოდში ჩნდება. მათი კვლევისას ისეთ ნეგატივებზე კეთდებო-  
და აქცენტი, რომლეებიც ექსპლოატაციის პერიოდში საშიშ ხასიათს  
იძენდნენ. ასეთეებია:

- წყალსაცავების მოსილვის პრიზმის ზრდის პროპორციულად  
მოსახლეობისა და ინფრასტრუქტურის დატბორვა-წარეცხვის  
ალბათობისა და რისკების მატება;
- ზღვის სანაპიროზე პლაჟამგები მასალის მზარდი დეფიციტი;
- სახიფათო ფილტრაციული კერების გაჩენა ქვედა ბიეფში და  
აქტიური მეწყრული კერების გააქტიურება ზედა ბიეფში.







# თავი

## ზოგადი ცნობები მსოფლიოს სახასიათო წყალსაცავებზე

# 1

### 1.1. მსოფლიოს სახასიათო წყალსაცავების სამეცნიერო და ეკონომიკური მიმოხილვა

ნებისმიერ ქვეყანაში საზოგადოებრივი აზრი წყალსაცავის შესახებ მრავალგვარია, რაც ამ საზოგადოების უკმარისი ინფორმირებით აიხსნება და ასევე იმით, თუ წყალსაცავის რომელი თვისებებია ჭარბობს – პოზიტიური, თუ ნეგატიური. უდაო ჭეშმარიტებაა, რომ წყალსაცავების და მათი ქსელის მშენებლობის მასშტაბებს ქვეყნის შესაძლებლობები და ბუნებრივი პირობები განსაზღვრავს [78]. ამის დასტურია სხვადასხვა დანიშნულებისა და პარამეტრების მქონე წყალსაცავების განაწილება ქვეყნებისა

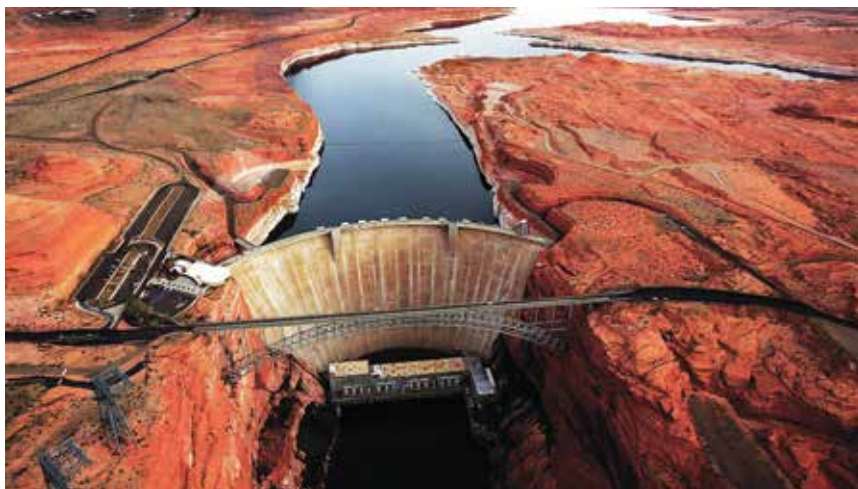
და ბუნებრივი პირობების მიხედვით [85] (ცხრ. 1.1). ქვემოთ მოცემულია ზოგადი მონაცემები მსოფლიოს რამდენიმე სახასიათო წყალსაცავზე [65].

**პოუელის წყალსაცავი.** 1920-იან წლებში ამერიკის შეერთებული შტატების აღმოსავლეთ ნაწილში დასახლებული პუნქტების რაოდენობა და ფერმერული მეურნეობები იმდენად გაფართოვდა, რომ საჭირო გახდა მათი დაცვა მდ. კოლორადოს კატასტროფული წყალდიდობა-წყალმოვარდნებისაგან და ირიგაციული და ენერგეტიკული პრობლემების რეალიზაცია. ამის გამო, პარლამენტმა ამ მდინარეზე კაშხლის მშენებლობის გადაწყვეტილება მიიღო. მიუხედავად რამდენიმე კორპორაციისა და გარემოსდამცველთა ძლიერი წინააღმდეგობისა, 1935 წელს რეალიზებული იქნა 220 მ სიმაღლის კაშხლისა და პაუელის წყალსაცავის მშენებლობა. მისი სარკის ფართობია 645 კმ<sup>2</sup>, დონის რყევის ამპლიტუდა 7.2 მ. წყალსაცავის შექმნის მიზანი, გარდა წყალმოვარდნების აცილებისა, იყო ირიგაცია, ჰიდროენერგეტიკა და კომუნალური წყალმომარაგება. მისი მოცულობა იმდენად აღემატება მდინარის სემონურ ჩამონადენს, რომ შესაძლებელია მასში წყლის მრავალწლიური მარაგის შექმნა.

შესაბამისად, პოუელის წყალსაცავის მთავარი პოზიტივებია კატასტროფული წყალმოვარდნების აცილება, ირიგაციული და კომუნალური წყალმომარაგება, იაფი ჰიდროენერჯის მიწოდება მომხმარებლისათვის და წყლის მარაგის შექმნა უხვწყლიან წლებში, მცირეწლიან პერიოდში გამოყენების მიზნით. შესაბამისად, წყალსაცავი, რომლის მოცულობაა 33.1 კმ<sup>3</sup> (სასარგებლო 25.7 კმ<sup>3</sup>), მრავალწლიანი რეგულირების ობიექტია (ნახ. 1.1). მდ. კოლორადოს ხეობა დიდი კანიონის სახელითაცაა ცნობილი. ეს კანიონი უნიკალური ბუნებრივი ქმნილებაა, რომელიც მდინარემ უძველეს დანალექ ქანებში 5-6 მლნ წლის განმავლობაში გამოიმუშავა. მისი სიგრძეა 446 კმ, საიდანაც 300 კმ წყალსაცავს უჭირავს. ამის გამო წყალსაცავი რეკრეაციის და ტურიზმის საინტერესო ობიექტია, რომელსაც ტურიზმის და აკვასპორტის მოყვარულები მსოფლიოს მრავალი ქვეყნიდან სტუმრობენ. ამ გიგანტური კაშხლით შექმნილმა წყალსაცავმა (ნახ. 1.2) გადაჭრა სამხრეთ კაროლინის ირიგაციული პრობლემა, საიმ-

ედოდ იცავს კატასტროფული წყალმოვარდნებისაგან შტატის ნაპირებზე განლაგებულ დასახლებულ პუნქტებს და ინფრასტრუქტურას. მისმა ელექტროენერგიამ მძლავრი ბიძგი მისცა ამერიკის სამხრეთ-დასავლეთის შტატების, მათ შორის ცნობილი სათამაშო ცენტრის ლას-ვეგასის განვითარებას. 1990-იანი წლების რეკონსტრუქციის შემდეგ ამ კაშხლის ელექტროსადგური უმძლავრესია ამერიკაში. იგი აკმაყოფილებს ნევადის შტატის მოთხოვნას 25%-ით, არიზონის შტატის 20%-ით, დანარჩენ ენერგიას კი კალიფორნიის შტატი მოიხმარს.

პოუელის წყალსაცავს, ისევე როგორც ყველა სხვა წყალსატევს, თავისი ნეგატივები აქვს. მათგან ყველაზე მძიმეა, მდინარის კალაპოტი-სა და დონის აწევა მოსილვის გამო. 1935 წლის შემდეგ წყალსაცავში მთლიანად აკუმულირდება მისი შენაკადების ნატანი. ამ პროცესის გამო წყალსაცავის ზემოთ, შესართავის ადგილას მდ. კალიფორნიის კალაპოტმა აწევა დაიწყო და 2020 წლისათვის იმდენად ამაღლდა, რომ მის ახლოს მდებარე ორი პატარა ტბა და ინდიელთა რეზერვაციის მიწები დატბორა, ასევე ადგილები, სადაც მოსახლეობა მანქანებით გადაადგილდებოდა. ამჟამად წყალსაცავს საცურაო საშუალებებისთვის იყენებენ.



**ნახ. 1.1** პოუელის წყალსაცავის ზედა ბიეფი (გლენ კანიონის კაშხალი)  
წყარო: <https://pixels.com/featured/aerial-view-glen-canyon-dam-sgphoto.html>

**ცხრილი 1.1** მსოფლიოს უმნიშვნელოვანესი წყალსაცავებზე სამეცნიერო და ეკონომიკური ინფორმაციის მონაცემთა ბაზა

წყალსაცავი	მდინარე	ძირითადი პარამეტრები				გამოყენება
		შეტბორვის სიმძლავრე, მკმ <sup>3</sup>	სარკი ფართი, კმ <sup>2</sup>	მოცულობა, კმ <sup>3</sup>	სასარგებლო	
<b>ამერიკის შეერთებული შტატები</b>						
პოუელის	კოლორადო	178	1627	33.3	25.7	ნავიგაცია, იროგაცია, ელექტროენერგია, წყლის საგანგებო მარაგის აკუმულაცია
მიდის (ჰუგერის)	კოლორადო	170	630	36.8	33.5	ნავიგაცია, იროგაცია, კო-მუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, ხეების დასურება, ელექტროენერგია
შასტა	საკრამენტო	145	120	5.5	5.4	ნავიგაცია, იროგაცია, ელექტროენერგია
<b>კანადა</b>						
დიაბლო	დიაბლო	181	5.1	0.25	0.20	რეკრეაცია, მეტწიის დასურება, ელექტრო-ენერგია
რუგელსტოკი	კოლუმბია	175	115	15.2	12.5	ელექტროენერგია, ხეების დასურება, რეკრეაცია, წყალდიდობის აცილება

დანিয়েლ-ჭონსონი	მანიკუგანი	154	1950	141.8	85.9	ელექტროენერგია, ნაგიგაცია, წყალდიდობის აცილება
<b>რუსეთის ფედერაცია</b>						
რობინსკის	ვოლგა	18	4550	25.42	16.67	ელექტროენერგია, ნაგიგაცია, ხეობის დაცურება, წყალდიდობის აცილება, რეკრეაცია, თევზმურნეობა
გორუის	ვოლგა	17	1590	8.81	3.90	ელექტროენერგია, ნაგიგაცია, ხეობის დაცურება, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, თევზმურნეობა, რეკრეაცია
კუობიშევის	ვოლგა	29	6500	58.0	34.50	ელექტროენერგია, ნაგიგაცია, წყალდიდობის აცილება, ირიგაცია, თევზმურნეობა, რეკრეაცია
სარატოვის	ვოლგა	15	1950	12.9	1.75	ელექტროენერგია, ხეობის დაცურება, ირიგაცია, თევზმურნეობა, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, რეკრეაცია

გ. მებრეველი, ლ. მაჭავარიანი, მ. გულაშვილი

ვოლგოგრადის	ვოლგა	27	3300	32.1	8.65	ელექტროენერგია, რეკრეაცია, თევზმურნეობა, ნავიგაცია
ნოვოსიბირსკის	ობი	20	1070	8.85	4.40	ხეების დაცურება, თევზმურნეობა, რეკრეაცია, წყალდიდობის აცილება, ნავიგაცია
საიანო-შუშენსკოეს	ენისეი	220	583	29.1	14.7	ირიგაცია, ხეების დაცურება, ნავიგაცია
კრასნოიარსკის	ენისეი	25	2000	73.0	30.4	ირიგაცია, ნავიგაცია, ხეების დაცურება, ვოშენ-ლური და სამრეწველო წყალმომარაგება, რეკრეაცია
ბრატსკის	ანგარა	105	5 500	169	48.2	ელექტროენერგია, ხეების დაცურება, თევზმურნეობა, რეკრეაცია, წყალდიდობის აცილება, ნავიგაცია
ზეის	ზეია	98	2400	68.4	32.1	ნავიგაცია, ელექტროენერგია, ხეების დაცურება, ნავიგაცია, თევზმურნეობა
ბურეის	ბურეია	124	800	22.5	11.5	ელექტროენერგია, ნავიგაცია

ჩირკვის	სულავი	220	42.5	2.78	1.32	ელექტროენერგია, ირიგაცია, თევზმურნობა, რეკრეაცია, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება
<b>ჩინეთი</b>						
დანცზიანქოუ	ხან-იანი	90	1050	51.6	20.9	ელექტროენერგია, ირიგაცია, რეკრეაცია, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, წყალდიდობის აცილება
სამი ხეობის	იან-ძი	90	1084	39.3	20.6	ელექტროენერგია, ირიგაცია, წყალდიდობის აცილება, ნავიგაცია
<b>უკრაინა</b>						
ციმლიანსკის	დონი	26	2700	23.85	11.50	ნავიგაცია, ირიგაცია, ელექტროენერგია, თევზმურნობა, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, რეკრეაცია
კახოვსკის	დნეპრი	18.2	2150	18.2	6.80	ირიგაცია, ელექტროენერგია, ნავიგაცია, თევზმურნობა, რეკრეაცია



კრემნუგის	დნეპრი	17	2250	13.5	9.0	ელექტროენერჯია, ნავიგაცია, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, ირიგაცია, თევზმურნეობა, რეკრეაცია
<b>აბერბაიჯანი</b>						
მინგეჩაურის	მტკვარი	65	600	16.1	7.50	ირიგაცია, ელექტროენერჯია, წყალმომარაგება, ნავიგაცია, თევზმურნეობა, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, რეკრეაცია
შამქორის	მტკვარი	158	116	2.68	1.42	ელექტროენერჯია, ირიგაცია, წყალდიდობის აცილება, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, თევზმურნეობა, რეკრეაცია
<b>ყირგიზეთი</b>						
ტოქტოგულის	ნარინი	880	19.5	14.0	65	ელექტროენერჯია, ირიგაცია, ხეობის დაცუება, წყლის საგანგებო მარაგის აკუმულაცია
<b>სამხრეთი ამერიკა (ვენესუელა, კოლუმბია)</b>						
გუარიკოს	გუარიკო	30	230	1840	1600	ირიგაცია, წყლის საგანგებო მარაგის აკუმულაცია

ბეთანას	მაგდალენა	90	400	3000	2000	ელექტროენერგია
პრადოს	პრადო	75	39	1400	450	ირიგაცია, ელექტროენერგია
ვეროლუპა (საფრანგეთი, იტალია, ავსტრია)						
სენპონსონის	დეურანსი	780	1.27	1.1	28.2	ელექტროენერგია, რეკრეაცია, წყალდიდობის აცილება
ზამერბოდენის	მალტა	175	3.0	0.21	0.16	ელექტროენერგია
კაპუნის	ლანქერი	2040	100.5	0.75	0.55	ელექტროენერგია, რეკრეაცია, წყალდიდობის აცილება
აფრიკა (ეგვიპტე, სუდანი, ზიმბაბვე, ტანზანია)						
კარიბას	ზამბეზი	100	4450	160	46	ელექტროენერგია, ირიგაცია, თევზმურნეობა, ნავიგაცია
ნასერის	ნილოსი	95	157	74	5120	ირიგაცია, ელექტროენერგია, წყალდიდობის აცილება, ხეების დაცურება, თევზმურნეობა
აკოსლომბო	ვოლტა	114	148	71	850	ელექტროენერგია, წყალდიდობის აცილება, ნავიგაცია, ხეების დაცურება, თევზმურნეობა

აგსტრალია და ტასმანია						
არგულე	ტუმური	50	703	5.7	3.1	ირიგაცია, ელექტროენერგია, რეკრეაცია, თევზმურნეობა, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება
გორდონი	ლანქერი	140	278	12.5	6.8	ელექტროენერგია, წყალდიდობის აცილება, ირიგაცია, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, რეკრეაცია

მაფხულობით ჰაერის ტემპერატურა  $45^{\circ}\text{C}$  აღწევდა, წყალსაცავის შექმნის შემდეგ  $2-3^{\circ}\text{C}$ -ით შემცირდა. გაიზარდა ტენიანობა და ნალექების რაოდენობა, ამართოქლებელი ზედაპირის გაორმაგების გამო. თუ მანამდე ამართოქლებელი ზედაპირი მხოლოდ მდინარის ზედაპირი იყო, წყალსაცავის შექმნის შემდეგ მის სარკეს სარწყავი ფართობებიც დაემატა. ამ ფაქტორს ქარის სიჩქარის მნიშვნელოვანი მატებაც მოჰყვა, ზედაპირის ხორკლიანობის შემცირების გამო.



**ნახ. 1.2** პოუელის წყალსაცავის კაშხალი (ჰუვერის კაშხალი)  
წყარო: <https://www.theguardian.com/uk-news/2017/sep/11/drunken-briton-fined-after-surviving-hoover-dam-swim> / Photograph Jim Lo ScalzoEPA

**„სამი ხეობის“ წყალსაცავი** „სამი ხეობის“ წყალსაცავი მდ. იანძის კაშხლით გადაკვეთის შედეგად შეიქმნა (ნახ. 1.3). კაშხლის მშენებლობა 1994 წელს დაიწყო და 2006 წელს დასრულდა. მისი ძირითადი ფუნქცია ენერგეტიკაა. 2008 წლისათვის ჰეს-ის სიმძლავრე 18.2 ათასი კვტ იყო. მომდევნო წლებში მას კიდევ ექვსი გენერატორი შეემატა და სიმძლავრე თითქმის გაორმაგდა. ამ პროექტის რეალიზაცია, ჯერ კიდევ 1950-იან წლებში, ინიცირებული იყო მათ ძელუნის მიერ და მისი ტექნიკური კვლევა 1986 წელს დაიწყო.

წყალსაცავი ერთი წელი ივსებოდა და 2006 წელს ნორმალური შევსების დონეს მიაღწია. მისი საპროექტო პარამეტრებია: უდიდესი სიღრმე 90 მ, სარკის ფართობი 1084 კმ<sup>2</sup>, სრული მოცულობა 39.3 კმ<sup>3</sup>, საიდანაც სასარგებლოა 20.6 კმ<sup>3</sup>. ეს წყალსაცავი კომპლექსური დანიშნულებისაა და ენერგეტიკის, ირიგაციის, წყალმომარაგების, ნავიგაციის, ტურისტულ-რეკრეაციული და სხვა მიზნებისათვის გამოიყენება. ცხადია, ასეთი სიდიდის წყალსაცავს სერიოზული გავლენა აქვს გარემოსა და მოსახლეობის საყოფაცხოვრებო პირობებზე.

წყალსაცავმა 13 ქალაქი, 140 დაბა და 1350 სოფელი დატბორა; გადასახლებული იყო 1.3 მლნ ადამიანი. მაშინდელი ხელისუფლება გადასახლებულებს სამინათმოქმედო მიწების გაცემას შეპირდა, ქალაქის მოსახლეობას კი ახალ სამუშაო ადგილებს. დაპირების მთლიანად შესრულება არ მომხდარა. გადასახლებულთა ერთი ნაწილი მთიან რაიონებში გადაასახლეს, თუმცა შეუფერებელი გეოლოგიური პირობების გამო, დასახლებების მნიშვნელოვანი ნაწილი დაიმწყრა. საბოლოოდ, მოსახლეობის აყრა-გადასახლება მტკივნეული პროცესი გამოდგა და მისი ნეგატიური შედეგების მეტნაკლებად გამოსწორებას დიდი დრო, ფინანსები და მთავრობის ენერგიული ძალისხმევაც დასჭირდა.

„სამი ხეობის“ წყალსაცავის პოზიტივი, ქვეყნის ინტერესების შესაბამისად, მრავალმიზნიანი (კომპლექსური) გამოიყენებაა. მან მძლავრი ბიძგი მისცა ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებას. მიმდინარე ათწლეულში და ახლო მომავალშიც, წყალსაცავი კვლავ დარჩება ჩინეთის ჰიდროენერგეტიკისა და ირიგაციის ფლაგმანი. „სამი ხეობის“ წყალსაცავის როლი მოსახლეობის ცხოვრების დონის ამაღლებასა და ქვეყნის ეკონომიკის დამოუკიდებელი პოლიტიკის წარმატებაში მნიშვნელოვანია.

წყალსაცავის შექმნას სერიოზული ნეგატივებიც მოჰყვა. განსაკუთრებით მტკივნეულია 1.3 მლნ ადამიანის გასახლება დატბორილი მიწებიდან, რომლის 20-25% სამინათმოქმედო ფართობები იყო. ამ ნეგატივის განეიტრალება ამჟამადაც მიმდინარეობს და ამ პროცესის სიმწვავეს მომავალი თაობაც იგრძნობს. გრძელპერიოდური



**ნახ. 1.3** „სამი ხეობის (სანსიას)“ წყალსაცავის კაშხალი მდ. იანძიზე (ზემოთ) და წყალსაცავის ქვედა ბიეფი.

წყარო: <https://www.britannica.com/topic/Three-Gorges-Dam#/media/1/593760/238928>

<https://www.theguardian.com/world/2011/may/20/three-gorges-dam-china-warning/>  
Photograph: AFP/Getty Images

ნეგატივია წყალსაცავის ზემოქმედება კლიმატზე, გრუნტის წყლების რეჟიმზე და სანაპირო რაიონებში მცხოვრები მოსახლეობის იმ ნაწილზე, რომელთაც ჯანმრთელობის პრობლემები აქვს. უფრო მძიმე ნეგატივია კატასტროფული წყალდიდობა-წყალმოვარდნების ალბათობის და რისკების ზრდა წყალსაცავის მოსილვის პრიზმის ზრდის და მდ. იანზის შესართავის მოსილვის შედეგად.

**ბრატსკის წყალსაცავი** მრავალწლიანი რეგულირების ობიექტია, რომლის ძირითადი მიზანია რუსეთის ფედერაციის ფერად მეტალურგიისათვის, ძირითადად ალუმინის წარმოებისათვის ჰიდროენერჯის მიწოდება. იგი შექმნილია მდ. ანგარაზე კაშხალის მშენებლობის შედეგად (ნახ. 1.4), რომელიც 1961 წელს დასრულდა. წყალსაცავის მთავარი შენაკადებია ანგარა, ოკა, ია. წყალსაცავს ასევე ასამდე საშუალო და მცირე მდინარე ერთვის. მის ირგვლივ 1970-იანი წლებში მრავალი ქალაქი და დაბა აშენდა თავისი საკომუნიკაციო ქსელით და ინფრასტრუქტურით. ბრატსკის წყალსაცავი 6 წელი ივსებოდა და მხოლოდ 1967 წელს მიაღწია ნორმალურ, ანუ საპროექტო ავსების დონეს (ზ.დ. 403 მ). მისი მოცულობაა 169 კმ<sup>3</sup>, მაგრამ სასარგებლოა მხოლოდ 35 კმ<sup>3</sup>; სარკის ფართობი 5470 კმ<sup>2</sup>, საშუალო სიღრმე 31 მ, უდიდესი 101 მ, დონის რყევის ამპლიტუდა 7.0-ს აღწევს.

ბრატსკის წყალსაცავი შენაკადების წყალდიდობის ჩამონადენით იკვებება. ამიტომ მისი რეგულირების ძირითადი პრობლემაა საკმარისი მოცულობის განთავისუფლება წყალდიდობის ტალღის მისაღებად. მკაცრად უნდა იყოს შეთავსებული ენერგეტიკისათვის ოპტიმალური სიდიდის ჰიდროენერჯის გამოსამუშავებელი წყლის მოცულობა  $W_e$  და წყალმოვარდნის ჩამონადენის მოსათავსებელი სარეზერვო მოცულობის  $W_r$  სიდიდეები ( $W_e \approx W_r$ ).

ბრატსკის წყალსაცავის შექმნით მრავალი პრობლემა გადაიჭრა. მისი უმნიშვნელოვანესი პოზიტივებია: იაფი ელექტროენერჯია, რომლის მთავარი მომხმარებელია ფერადი მეტალურგია; წყალსაცავი ითავსებს წყალდიდობის ჩამონადენს; წყალსაცავის საშუალებით ხდება მერქნის გამოზიდვა ტაიგიდან; წყალსაცავი წყლით ამარაგ-



**ნახ. 1.4** ბრატსკის წყალსაცავის კაშხალი და ზედა ბიეფი (მდ. ანგარა)  
წყარო: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bratsk\\_Hydroelectric\\_Power\\_Station](https://en.wikipedia.org/wiki/Bratsk_Hydroelectric_Power_Station)  
<http://wikimapia.org/10888953/Bratsk-Reservoir#/photo/644116>



ებს დასახლებულ პუნქტებს, მათ შორის ორ ქალაქსა და მრავალ საწარმოს; წყალსაცავის ტურიზმისა და რეკრეაციის მნიშვნელოვანი ობიექტია (ნახ. 1.4).

ბრატსკის წყალსაცავის მძიმე ნეგატივი ის არის, რომ ოპერატიულმა სამსახურმა საკმარისი სიზუსტით ვერ გათვალა წყალსაცავის სარეზერვო მოცულობის სიდიდე, რასაც 2017 წლის 2 ივნისის კატასტროფა მოჰყვა. მდ. ანგარას წყალმოვარდნის ტალღამ ორი ქალაქი და მრავალი დასახლებული პუნქტი დატბორა, საჭირო გახდა 2000-მდე ოჯ-



**ნახ. 1.5** ბრატსკის წყალსაცავი – მდ. ანგარას წყალმოვარდნის ზალპური ტალღისათვის წყალსაცავში სარეზერვო მოცულობის უკმარისობის კატასტროფული შედეგი: დატბორილ-წარეცხილია ქ. ტულუნი (მემოთ) და დასახლებული პუნქტები მდინარის დელტაში  
წყარო: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Наводнение в Иркутской области](https://ru.wikipedia.org/wiki/Наводнение_в_Иркутской_области) (2019)

ახის ევაკუაცია (ნახ. 1.5). ამ წყალსაცავის მნიშვნელოვანი ნეგატივია ასევე მისი უარყოფითი ზემოქმედება ლოკალურ და რეგიონულ კლიმატზე. მისი შექმნის შემდეგ მნიშვნელოვნად გაიზარდა ტენიანობა [70].

**ვაიონტის წყალსაცავი** მდ. ვაიონტის თაღოვანი კაშხლით გადაკეტვის შედეგად შეიქმნა. წყალსაცავის მოცულობაა 150 მლნ მ<sup>3</sup>. კაშხლის სიმაღლე 261.6 მ იყო, სიგრძე თხემის გასწვრივ 190 მ. კაშხალი ალიარებული იყო, როგორც საინჟინრო საქმიანობის შედეგრი (ნახ. 1.6).

კაშხლის მშენებლობის იდეა იტალიის ყოფილ ფინანსთა მინისტრს ეკუთვნოდა, რომელსაც საკუთარი საამშენებლო კომპანია ჰქონდა და დაინტერესებული იყო მსხვილი ინვესტიციებით ქვეყნის ბიუჯეტიდან.

ადგილობრივი მოსახლეობა წყალსაცავის შექმნის კატეგორიული წინააღმდეგი იყო იმ მიზეზით, რომ მთა, რომლის კალთებზეც უნდა შექმნილიყო წყალსაცავი, მიწისძვრებითა და მეწყრული პროცესებით იყო ცნობილი. მიუხედავად გეოლოგიური საშიშროებისა, მშენებლობა ორი წლის შემდეგ დაიწყო. მშენებლობა დასასრულს უახლოვდებოდა, როდესაც წყალსაცავის ქვაბულში, მთის კალთაზე პირველი მეწყრები გაჩნდა. მომდევნო წლებში ბზარები და მეწყრები უფრო მომრავლდა, რის გამოც კომპანიამ გადაწყვეტილება მიიღო ნაწილობრივ დაეცალა წყალსაცავი. ეს საშუალება საკმარისი არ აღმოჩნდა კატასტროფის ასაცილებლად. მომდევნო დროში მეწყერსაშიში კალთა მოწყდა მთას და ისეთი სიჩქარით ჩავარდა წყალსაცავში, რომ 50 მლნ მ<sup>3</sup> მოცულობის ცუნამის ტალღა გადაეგლო კაშხალს და დიდი სისწრაფით შევარდა ქვედა ბიეფში განლაგებულ დასახლებულ პუნქტებში. შედეგად, ამ მშენებელი კომპანიის გაუაზრებელი მოქმედების და მთავრობის წევრთა კორუფციული გარიგებების მიზეზით, 1963 წლის 9 ოქტომბერს 2500-მდე ადამიანი დაიღუპა, ზარალი კი მრავალი მილიონი აშშ დოლარი იყო (ნახ. 1.6 და 1.7).

პლანეტაზე ათასობით ჰესი მილიარდობით კვტ ენერჯიას გამოიმუშავებს. ეს ხდება იმ მდინარეთა ჩამონადენით, რომლებიც კაშხლებით არის გადაკეტილი. ზოგჯერ ფინანსურ ან სხვა სარგებელს გამოკიდებული საქმოსანთა ჯგუფი და მთავრობის გავლენიანი ადამიანები უგულვებელყოფენ საფრთხეს, რომელსაც კაშხლით შეტბორილი



**ნახ. 1.6** ვაიონტის წყალსაცავი მდ. ვაიონტზე (იტალია) 1963 წლის კატასტროფამდე და კატასტროფის შემდეგ  
წყარო: <https://www.geoengineer.org/news/dam-vaiont-failure>  
<https://www.usgs.gov/programs/landslide-hazards> / Photograph by USGS, 1963

მილიარდობით კუბური მეტრი წყლის მასა შეიცავს და წყალსაცავის მშენებლობას მიანდობენ იმ საამშენებლო კომპანიებს, რომელთაც საჭირო კვალიფიკაცია და პასუხისმგებლობა არ გააჩნიათ.

ვაიონტის წყალსაცავის ერთადერთი პოზიტივი ისაა, რომ მსოფლიოსთვის, მათ შორის საქართველოსთვის თვალსაჩინო მაგალითი და სერიოზული გაფრთხილება შეიძლება იყოს. გაფრთხილება იმის შესახებ, რომ ჯვრის წყალსაცავის გასხვისების ზონაში დაუშვებელია ისეთი ობიექტების მშენებლობა-ექსპლოატაცია, რომელთა გამოყენებული



**ნახ. 1.7** ვაიონტის წყალსაცავი მდ. ვაიონტზე (იტალია) 1963 წლის კატასტროფამდე და კატასტროფის შემდეგ  
წყარო: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vajont\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Vajont_Dam)

წყლების უტილიზაცია წყალსაცავის კირქვიან ფერდობებში ხდება. მდ. რიონზე და სხვა მსგავსი ხასიათის მდინარეებზე, ჰესების მშენებლობა მოსახლეობისა და კაშხლისათვის საშიშ ტერიტორიებზე იგეგმება.

**ჯინდაბაინის წყალსაცავი.** ავსტრალიისათვის წყლის უმნიშვნელოვანესი რესურსი მდინარეთა ჩამონადენია, რომლის დიდი ნაწილი (22.3 კმ<sup>3</sup>) მდ. მურეიზე მოდის. მის ჩამონადენს, რომლის მეტი წილი ლანქერი და წვიმის წყალია, 104 წყალსაცავი არეგულირებს. ამათგან 34 წყალსატევისათვის პრიორიტეტულია ირიგაცია, 15-სთვის – ენერგეტიკული, 53 – კომუნალური და ტექნიკური წყალმომარაგებისთვისაა შექმნილი, ხოლო დანარჩენი 2 – კატასტროფული წყალმოვარდნების დარეგულირებას და რეკრეაციულ მიზნებს ემსახურება. ენერგეტიკული წყალსაცავებიდან ჯინდაბაინის წყალსაცავი (ნახ. 1.8) იმით გამოირჩევა, რომ წვიმა-თოვლის ჩამონადენს არეგულირებს და გამოყენებულ წყალს სამხრეთით მცირე წყალსაცავებს, ხო-



**ნახ. 1.8** ჯინდაბაინის ლანქერის შემკრები წყალსაცავი მდინარე სნოუზე (ავსტრალია)

წყარო: [https://www.fencit.com.au/wp-content/uploads/2019/06/Jindabyne-Dam-Release-DJI\\_0262-1.jpg](https://www.fencit.com.au/wp-content/uploads/2019/06/Jindabyne-Dam-Release-DJI_0262-1.jpg)

ლო დასაღეით ეუკუმბანეს წყალსაცავს აწვდის. ეს წყალსაცავი მდინარის სეზონური ჩამონადენის დიდ ფართობზე გადანაწილებული წყალსატევის ტიპური მაგალითია.

## 1.2. საქართველოს წყალსაცავების სამეცნიერო და ეკონომიკური მიმოხილვა



**ნახ. 1.9** კავკასია და მცირე აზიის მთიანეთი – მთის წყალსაცავების ინტენსიური მშენებლობის რეგიონი  
წყარო: <https://imgur.com/v2XX5Jx>

გასული საუკუნის 40-50-იან წლებში, კავკასიის (ნახ. 1.9) ეკონომიკურ განვითარებას ელექტროენერჯისა და ირიგაციული წყლის მწვავე დეფიციტი ამუხრუჭებდა. გარდა ამისა, წყალი აუცილებელი იყო მშენებარე რუსთავისათვის და თბილისის წყალმომარაგების კრიზისის დასაძლევად. საჭირო იყო სერიოზული წყალსამეურნეო პრობლემის რეალიზაცია [2], [67], [69]. ამ პრობლემის გადაჭრა წალკის

წყალსაცავის მშენებლობის რეანიმაციით დაიწყო. ობიექტი 1930-იანი წლების მიწურულს სწრაფი ტემპით შენდებოდა, მაგრამ მეორე მსოფლიო ომმა შეაჩერა, შემდეგ მშენებლობა ინტენსიურად განახლდა. წალკის წყალსაცავი არის ხრამის ჰესების კასკადის (ხრამჰეს I, ხრამჰეს II) სათავე ნაგებობა. ამ კასკადის ამოცანაა შემოდგომა-ზამთრის წყალმცირობის სეზონში ქვეყნის ენერგოდეფიციტის შევსება და დღეღამური პიკების მოხსნა. ეს წყალსატევი უდიდესია სარკის ფართობით (ცხრ. 1.2).

**თბილისის წყალსაცავის** (ნახ. 1.10) შექმნა დედაქალაქის ჩრდილო-აღმოსავლეთით, მდ. მტკვრის უძველეს კალაპოტში, ჰიდრო-და ირიგაციული მშენებლობის მნიშვნელოვანი მიღწევა იყო. მანამდე ამ კალაპოტში ილღუნის, კუკის და ავლაბრის ტბები იყო განლაგებული [100]. ამჟამად ეს ობიექტი სამგორის სარწყავი სისტემის ქვედა წყალსატეგია, რომელიც იორის წყალს ზემო მაგისტრალური არხით (ზმა) იღებს. ეს არხი პალდოს გამანაწილებელი კაშხლიდან იწყება, ზემო სამგორის სარწყავი სისტემით 70 ათას ჰა სავარგულს რწყავს და ვარკეთილის დასახლებასთან წყალსატეგს უერთდება.

თბილისის წყალსაცავის შექმნით, თითქმის 10 წლით მოიხსნა თბილის-რუსთავის წყალმომარაგებისა და ზემო და ქვემო სამგორის 150 ათასამდე ჰა სავარგულის ირიგაციული წყლის პრობლემები, ხოლო თბილისმა დასვენებისა და რეკრეაციის მნიშვნელოვანი ობიექტი მიიღო. მისი ზემოქმედება გარემოზე და კლიმატზე იმდენად კეთილი გამოდგა, რომ იქ სადაც ნახევრადუდაბნოსკენ გარდამავალი მშრალი სტეპების კლიმატი და ლანდშაფტი ვრცელდებოდა, ხოლო დამლაშებული ნიადაგები კულტურული მცენარეებისთვის გამოუსადეგარი იყო, მევენახეობა-მეხილეობის მდიდარი მეურნეობა შეიქმნა. გაფართოვდა და კეთილმოეწყო დასახლება ვარკეთილი, რომელსაც 1952 წლამდე, ანუ ამ წყალსატეგის შექმნამდე, მოუსაგლიანობისა და მძიმე კლიმატის პირობების გამო, „ვერკეთილას“ ეძახდნენ.

თბილისი-ვარკეთილი-ლილოს შემოგარენი, რომელიც, თავის დროზე უღრანი ტყით იყო დაფარული და ირემიც ბევრი ბინადრობ-



**ნახ. 1.10** თბილისის წყალსაცავი

წყარო: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Tbilisi\\_sea\\_2017.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Tbilisi_sea_2017.jpg)



**ცხრილი 1.2** საქართველოს ძირითადი წყალსაცავების შესახებ სამეცნიერო და ეკონომიკური ინფორმაცია [85]

წყალსაცავი	მდინარე	სიმაღლე, მ ზ.დ.	ძირითადი პარამეტრები			გამოყენება
			სარკის ფართი, კმ <sup>2</sup>	მოცულობა, კმ <sup>3</sup>		
				სრული	სასარგებლო	
<b>დასავლეთი საქართველო</b>						
ჭვარი	ენგური	510.0	13.5	1.09	0.66	ელენერგია, რეკრეაცია
გალი	დიდი ერიწყალი	100.6	8.2	0.145	0.13	ელენერგია
ლაგანური	ლაგანა, ცხენისწყალი	494	1.5	0.024	17.6	ელენერგია
შაორი	შაორა	1133.5	13.0	0.091	0.08	ელ-ენერგია, რეკრეაცია, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება
ტყიბული	ტყიბულა, შაორა	522.5	12.1	0.084	0.07	ელენერგია
გუმათი	რიონი	200.0	2.4	0.039	0.013	ელენერგია
ვარციხე	რიონი, ყვირილა, ხანისწყალი	87.0	5.1	0,015	2.4	ელენერგია

აღმოსავლეთი საქართველო						
ჭინჭალი	არაგვი	810	11.5	0.52	0.37	ელენერგია, კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, რეკრეაცია
თბილისი	იორი, არაგვი	548	11.8	0.31	0.15	კომუნალური და სამრეწველო წყალმომარაგება, რეკრეაცია, თევზმურნეობა
სიონი	იორი	1068.3	10.4	0.32	0.30	ირიგაცია, რეკრეაცია, ელენერგია
დაღისმთა	იორი	300.0	14.0	0.18	0.14	ირიგაცია, რეკრეაცია
წალკა	ქცია-ხრამი	1512.0	33.7	0.31	0.25	ელენერგია, რეკრეაცია, თევზმურნეობა
ალგეთი	ალგეთი	792.5	2.3	0.065	0.06	ირიგაცია, რეკრეაცია

და, ერეკლე მეორის საყვარელი სანადირო ადგილები იყო. „ჰავა მშვენიერი, მაფხული გრილი, ზამთარი ზომიერად თოვლიან-ყინვიანი“ – ასე ახასიათებდნენ წარსულის კლიმატს მემბტიანეები და ბერები. შემდეგ, მეფისნაცვალმა ვორონცოვმა ტყის გაჩეხვის ვერაგული ბრძანება გამოსცა. ტყე მთლიანად გაიჩეხა, მიკროკლიმატი კი უარესდებოდა. იმ ადგილას, სადაც ახლა თბილისის „ზღვა“ მდებარეობს, ნახევარუდაბნოსკენ გარდამავალი სამი სუფოზიური მლაშე ტბა გაჩნდა, გამრავლდა ქვეწარმავალი; კლიმატი გაუარესდა, აუტანელი ცხელი მაფხულით და ცივი უნალექო, ყინვიანი ზამთრით.

მას შემდეგ, რაც თბილისის წყალსაცავი შეიქმნა, კლიმატი მნიშვნელოვნად (10-12%) დატენიანდა, მაფხული შედარებით გაგრილდა – ტემპერატურამ დაიწია, რაც უდაოდ მნიშვნელოვან პოზიტივს წარმოადგენს. სამაგიეროდ ქარის სიჩქარე გაიზარდა, რაც ნაკლებად სასურველია.

**ჟინვალის სემონური რეგულირების წყალსატევი** (ნახ. 1.11), რომლის მოცულობაა 520 მლნ მ<sup>3</sup> (ცხრ. 1.2) მლ. არაგვზე აშენებულმა გრაფიტაციულმა კაშხალმა შექმნა. 1980-იანი წლების მეორე ნახევარში, როდესაც კვლავ გაჩნდა თბილის-რუსთავის კომუნალური წყლის მზარდი დეფიციტი, საჭირო იყო ისეთი გადაწყვეტილების მიღება, რომლითაც შესაძლებელი იქნებოდა კომუნალური წყალმომარაგებისა და ენერგეტიკული პრობლემების რეალიზაცია მომავალი ათწლეულების მოთხოვნათა გათვალისწინებით. ეს ობიექტი ჟინვალჰესს და ჟინვალის მაგისტრალურ არხს ემსახურება, რომელიც არაგვის წყალს თბილისის წყალმომარაგების სისტემას და თბილისის წყალსაცავს აწვდის. არხის წყალგამტარობაა 10 მ<sup>3</sup>/წმ, რაც უახლოეს დეკადაში თბილისის წყალმომარაგების პრობლემის სარეალიზაციოდ საკმარისია. წყალსატევის შექმნით დაკმაყოფილდა დედაქალაქის მოთხოვნა კომუნალურ წყალზე, რომელიც 2020 წლისათვის 22-23 მ<sup>3</sup>/წმ, ანუ წელიწადში 650 მლნ მ<sup>3</sup> აღწევს.

ჟინვალის წყალსაცავის მნიშვნელოვანი პოზიტივია ასევე, ის არის, რომ მისი სახით, დედაქალაქს და ახლო დასახლებებს ტურიზმისა და რეკრეაციის მაღალხარისხიანი ობიექტი შეექმნათ.



**ნახ. 1.11** შინვალის წყალსაცავი

წყარო: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Zhinvali\\_reservoir.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Zhinvali_reservoir.jpg)

გარემოსა და კლიმატზე ჟინვალის წყალსაცავის ზემოქმედება უფრო მეტად ნეგატიურია. მან მენყრული კერები გააქტიურა, თან საკმარისი დატენიანების ზონაში მდებარეობს, სადაც ტენის მატება უარყოფითად მოქმედებს მოსახლეობასა და გარემოზე.

ჟინვალის წყალსაცავის საშიში ნეგატივია მისი მდებარეობა თბილისის, მცხეთის, რუსთავისა და სხვ. ქალაქების, საკომუნიკაციო ქსელისა და ინფრასტრუქტურის ზემოთ. ამის რეალიზაციის რისკი საკმაოდ მაღალია, რისი რეალური საშიშროებაც 1990-იანი და 2008 წლის საომარი კონფლიქტების დროს არსებობდა.

**სიონის წყალსაცავი** (ნახ. 1.12) 1963 წელს მდ. იორის გადაკვეთით, ფსკერული წყალსაშვის გარეშე, სოფ. სიონის ზემოთშიქმნა. მისი დანიშნულებაა ირიგაცია, რეკრეაცია და ელექტროენერგია. გრავიტაციული გრუნტისაგან აგებული კაშხლის სიმაღლეა 90 მ, სიგანე – 780 მ. წყალსაცავი მდინარეული წყალსაცავების ტიპს მიეკუთვნება, უდიდესი სიღრმით და სიგანით ქვედა ზონაში. მას იორის ხეობის ის ნაწილი უკავია, რომელიც სამი ქვაბულისაგან შედგება. ისინი ერთმანეთისაგან ტექტონიკური სერებითაა გამოყოფილი. მარჯვენა ნაპირზე, კაშხლის მიდამოებში მენყრული კერებია, რომლებიც უხვნალექიან წლებში აქტიურდება. ფსკერის დახრილობა 0.01-0.09‰ ფარგლებში იცვლება, ვიწროებში კი – 0.05-0.1‰.

წყალსაცავის ფერდები და ფსკერი კონკლომერატებით, ტუფობრეგჩიებით და ქვიშაქვებითაა აგებული. მათი წყალგაუმტარობა ალუვიური თიხოვანი ნაფენებითაა გამოწვეული. გამონაკლისს კაშხლის მარცხენა ნაპირის ის მონაკვეთი წარმოადგენს, რომელიც უშუალოდ კაშხალს ესაზღვრება [99]. ამ „ფანჯრიდან“ ფილტრაცია საკმაოდ მაღალია, რის გამოც ჯერ კიდევ 1965-1968 წლებში, მათი აღრიცხვის მიზნით წყალსაშვები იყო აგებული. არსებობდა მოსაზრება, რომ აღნიშნული მონაკვეთი მოისილებოდა და ფილტრაცია წყალსაცავიდან შეწყდებოდა. 2015-2021 წლების კვლევებმა აჩვენა, რომ ფილტრაცია კვლავ ინტენსიურად გრძელდება და კაშხლის მარცხენა მიმდებარე ტერიტორიაზე რამდენიმე შენობის ნგრევაც გამოიწვია.



**ნახ. 1.12** სიონის წყალსაცავი

წყარო: <https://360georgia.ge/tour/%E1%83%A1%E1%83%98%E1%83%9D%E1%83%9C%E1%83%98%E1%83%A1-%E1%83%AC%E1%83%A7%E1%83%90%E1%83%9A%E1%83%A1%E1%83%90%E1%83%AA%E1%83%90%E1%83%95%E1%83%98-%E1%83%A8%E1%83%94%E1%83%9B%E1%83%9D%E1%83%93/>

**წალკის წყალსაცავი** (ნახ. 1.13) 1946 წელს, ლავური ნაკადებისგან აგებულ ქვაბულში მდ. ქცია-ხრამისა და ბეშქენაშენის წყლის გადაკეტვითაა შექმნილი. კაშხალი ქვის ნაყარ ნაგებობას წარმოადგენს, რომელიც შიდა მხრიდან ანტიფილტრაციული დანიშნულების ლითონის ფურცლებითაა დაფარული. კაშხლის სიმაღლეა 30 მ, წყალსაცავის მოცულობა – 313 მლნ მ<sup>3</sup>, ფართობი – 33.7 კმ<sup>2</sup>, უდიდესი სიღრმე – 25 მ, სიგრძე – 14 კმ, სიგანე – 3.5 მ. წყალსაცავი, უპირატესად, ენერგეტიკული დანიშნულებისაა. წყალსაცავის ფსკერი და ფერდები დისლოცირებული ვულკანური ქანებითაა აგებული, ძირითადად დანაპრალებული დოლერიტებით, რომელშიც ტუფისა და ვულკანური ფერფლის კერებია ჩართული. ქვაბულის ცენტრალურ ნაწილში არსებობს ძაბრები, საიდანაც წყლის ინტენსიური ფილტრაცია მიმდინარეობს. ფილტრირებული წყლები წყალსაცავიდან 7-8 კმ მოშორებით მდ. ხრამის ხეობაში გამოდის დაშბაშის წყაროების სახით [86], [95]. ამჟამად წყალსაცავი უმნიშვნელოვანეს რეკრეაციულ ობიექტს წარმოადგენს და თევზსამეურნეო მიზნებისათვისაც გამოიყენება.

**შაორი-ტყიბულის წყალსაცავების კასკადი** (ნახ. 1.14, 1.15), რომელიც მრავალი პრობლემის რეალიზაციის მორიგ ორიგინალურ მაგალითს წარმოადგენს, 1954-1955 წლებში ამოქმედდა. მთავარი მიზანი ამიერკავკასიის რკინიგზის, ტყიბულისა და სხვა დასახლებული პუნქტების ელექტროფიკაცია იყო. შაორი-ტყიბულის ჰესების კასკადის ჯამური სიმძლავრეა 119 ათასი კვტ. კასკადი შაორისა და ტყიბულის წყალსაცავების, ამავე სახელწოდების ჰესებისა და მათი შემადგერთელი წნევიანი გვირაბისაგან შედგება. მოგვიანებით, მათ ორი სადერივაციო გვირაბი დაემატა, რომლითაც ტყიბულის წყალსაცავიდან წყალი ტყიბულჰესს მიენოდება.

შაორისა და ტყიბულის კასკადის პოზიტივებია: ჰიდროელექტროენერჯია, ტყიბულის წყალმომარაგება და ტურისტულ-რეკრეაციული პოტენციალი, რომელიც 2010-იანი წლებიდან ეფექტიანად გამოიყენება. მნიშვნელოვანია შაორის წყალსაცავის თევზსამეურნეო პოტენციალი, ასევე სოფ. ნიკორწმინდაზე და მის ტაძარზე კლიმატის მავნე ზემოქმედების მნიშვნელოვანი შესუსტება. წყალსაცავის ყინულსაფარმა მდ. დიდიჭალის უარყოფითი ზემოქმედება გარემოზე,



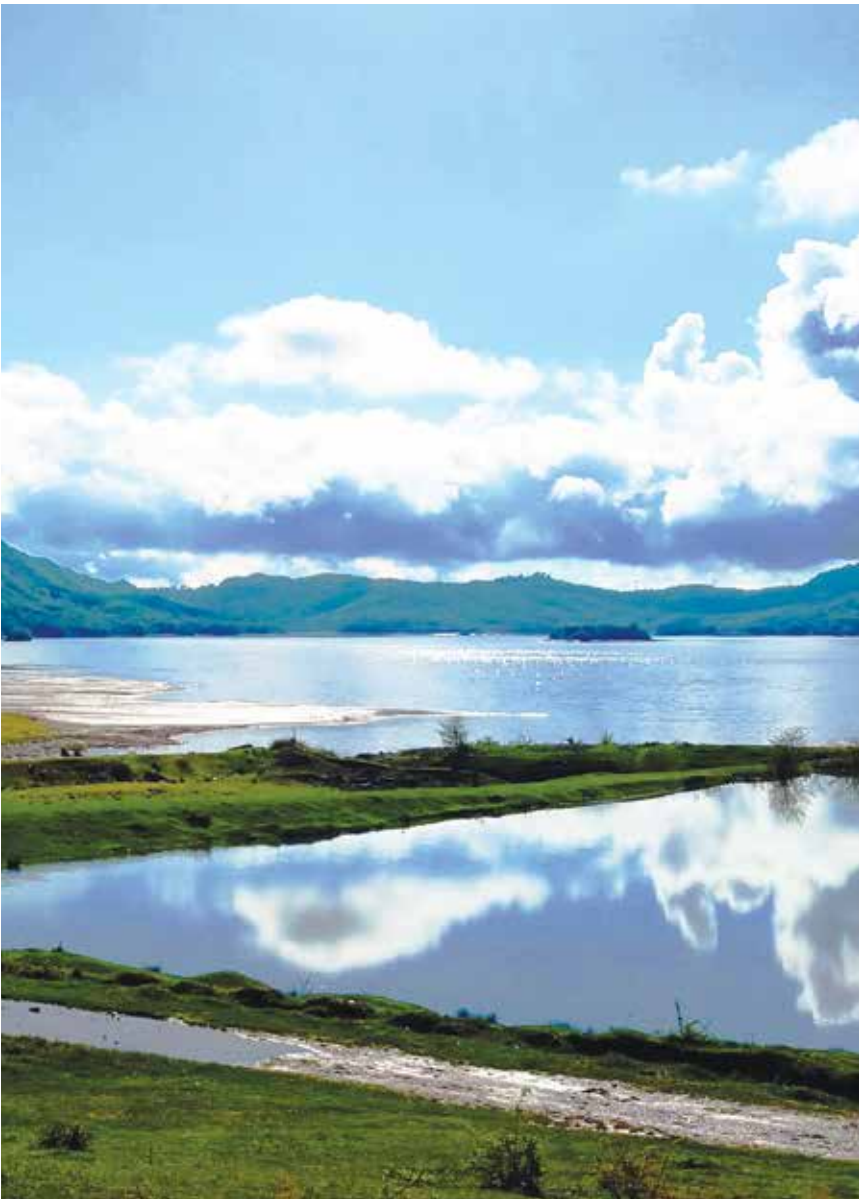
ნახ. 1.13 წალკის წყალსაცავი





**ნახ. 1.14** შაორის წყალსაცავი

წყარო: <https://georgiantravelguide.com/ka/shaoris-tsqsalsatsavi#photo-gallery-3>



**ნახ. 1.15** ტყიბულის წყალსაცავი

წყარო: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Tkibuli\\_Reservoir.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Tkibuli_Reservoir.jpg)

მოსახლეობასა და ტაძარზე ზამთრის 5-6 თვიდან, იმ ვადამდე შეამცირა, რომელიც გვიანი შემოდგომის ბოლო ორ კვირას და ადრე გაზაფხულის პირველ 15-20 დღეს, ანუ საშუალოდ ერთ თვეს მოიცავს.

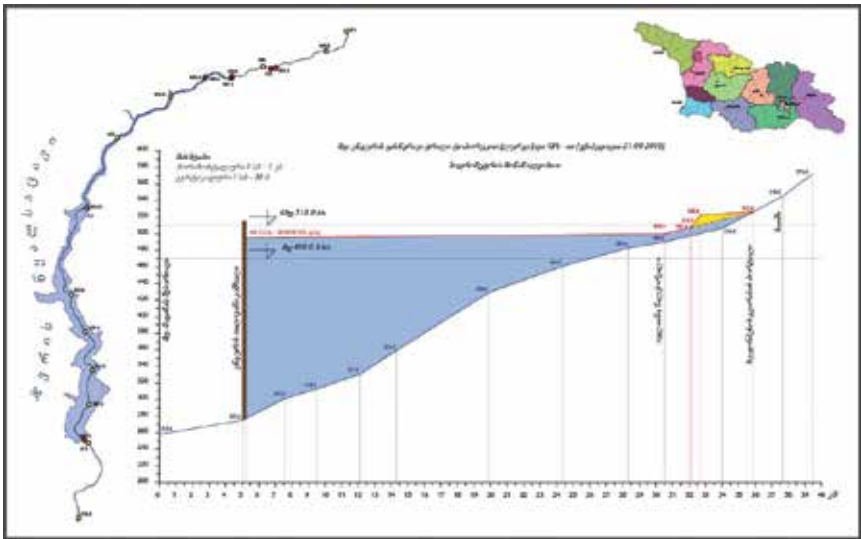
შაორის წყალსაცავის სერიოზული ნეგატივია მისი ქვაბულის ამგებელი კარბონატული ქანები, რადგან მათ კარსტული პროცესები და ფილტრაცია ახასიათებს. მთლიანობაში, ქვაბული ალუვიური თიხნარიითაა დაფარული, მაგრამ არის გაშიშვლებული არეებიც, საიდანაც პოტენციურად შესაძლებელია ფილტრაცია ტყიბულის ქვანახშირის შახტების მიმართულებით. ეს ნეგატივი ცნობილი იყო წყალსაცავის შექმნამდეც. მიუხედავად ამისა, ჰიდროენერგეტიკული და კომუნალური წყლით ტყიბულის დაკმაყოფილება იმდენად მნიშვნელოვანი იყო, რომ პროექტის ავტორებმა და მთავრობამ შეგნებულად მიიღეს მისი მშენებლობის გადაწყვეტილება. ამასთან, ყველაზე საშიში არეები ამოვსებული იქნა თიხნარი გრუნტით, კარსტული ძაბრები კი ბეტონის ხსნარით.

ტყიბულის წყალსაცავის მთავარი პოზიტივია ჰიდროენერგია, რომლის გამომუშავებას ბედა წყალსაცავთან ტანდემში უზრუნველყოფს. რეკრეაციული და თევზსამეურნეო მიზნით, ის ნაკლებად გამოსაყენებელია, რაც სერიოზულ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს. ამის მიზეზი მალაროებიდან გამომავალი წყალია, რომელიც ქვანახშირის მტვერით არის დაბინძურებული. სერიოზული ნაკლია ასევე წყალსაცავში ჩამდინარე ქალაქის კომუნალური წყალიც. აღნიშნული დამაბინძურებლების გამო, ტყიბულის წყალსაცავი გამოუსადეგარია ტურისტულ-რეკრეაციული და თევზსამეურნეო მიზნებისათვის.

**ჯვარი-ერისწყლის წყალსაცავების კასკადის** შექმნის ძირითადი მიზანი იყო: მდ. ენგურის ჩამონადენის წლიური (სეზონური) და დიდი ერისწყლის დღელამური რეგულირება ენერგეტიკული მიზნებისთვის; 17 ათასი ჰა სუბტროპიკული ფართობების მორწყვა; მოსახლეობისა და სავარგულების დაცვა წყალდიდობა-წყალმოვარდნებისაგან იმ 6.5 ათას ფართობზე, რომელიც მუდმივად დატბორვის რისკების ზონაში იმყოფებოდა და სხვ. ენგურჰესის საპროექტო სიძლიავრეა 1.3 მლნ კვტ, ხოლო ერისწყლის წყალსაცავიდან გამომავალ წყალმა-



**ნახ. 1.16** ჯვრის წყალსაცავი მდ. ენგურზე  
წყარო: <https://georgiantravelguide.com/ka/enguris-jvris-tsqalsatsavi>



ნახ. 1.17 ჯგვის წყალსაცავის გასწვრივი ჭრილი

რინ არხზე მოქმედი ოთხი ვარდნილჰესის ჯამური სიმძლავრე 0.34 მლნ კვტ. შეგუბებული წყლით გამომუშავებული ჰიდროენერგია 1990-ან წლებში უმძიმეს ენერგეტიკულ დეფიციტს განიცდიდა, ენ-გურჰესი (ნახ. 1.16, 1.17) ენერჯის ერთადერთი საიმედო მომწოდებელი იყო.

აღნიშნულ პოზიტივებთან ერთად, ჯგვის წყალსაცავსაც აქვს შემდეგი მნიშვნელოვანი ნეგატივები. მან დატბორა 8.7 კმ<sup>2</sup> ტყე, 6.2 კმ<sup>2</sup> სხვადასხვა დანიშნულების მიწები. მისი გავლენა კლიმატზე უარყოფითია, რადგან ჰუმიდურ სუბტროპიკულ (ჭარბი დატენიანების) ზონაში მდებარეობს და მისი სარკიდან აორთქლებული წყალი ზედმეტად ატენიანებს გარემოს. ასეთი ეფექტი ყველაზე ძლიერი სანაპიროს 200-250 მ-მდე არეალშია. იმის გამო, რომ წყალსაცავი ვიწრო, მაღალი დახრილობის ფერდობებიან კალაპოტში მდებარეობს, მისი გავლენა 700-900 მეტრ სიმაღლემდე აღწევს, რაც ატმოსფერული ნალექების მნიშვნელოვან (10%-მდე) მატებას იწვევს. მნიშვნელოვანია ასევე მისი გავლენა ქარის სიჩქარეზე, რაც წყლის ზედაპირის დაბა-

ლი ხორკლიანობის კოეფიციენტით არის განპირობებული. კაშხლიდან მდინარის აღმა 27 კმ მონაკვეთზე, მაღალტანიანი ხე-მცენარეულობით და ბუჩქნარებით დაფარული ზედაპირის ნაცვლად, ჰაერის მასები წყლის ზედაპირის გასწვრივ მოძრაობენ, რომლის წინააღმდეგობის (ხორკლიანობის) კოეფიციენტი გაცილებით მცირეა. ამის გამო, ქარის სიჩქარე სანაპირო ზონაში 20% იზრდება. წყალსაცავის გავლენა ზედა ბიეფში კაშხლიდან 10-15 კმ-მდე, ხოლო ქვედა ბიეფში – 8-10 კმ-ზე ვრცელდება.

ყველა წყალსაცავის ნეგატივებს შორის განსაკუთრებით საშიშრო ნატანის ნაკადის გადაკეტვაა. ამის გამო, სანაპირო ზონაში პლაჟამგები ნატანის მზარდი დეფიციტი იწყება. ეს პროცესი თანდათან ფართოვდება ზღვის დინებისა და ლელვის მიმართულებით. მდ. ენგურის გადაკეტვით, ანაკლიაში ნატანის დეფიციტი დაიწყო, რომელიც ჩრდილოეთით ოჩამჩირის და სამხრეთით ხობის მიმართულებით ფართოვდება. ნეგატიური შედეგი აქვს ასევე მდ. ენგურის ჩამონადენის გადაგდებას ხელოვნურ არხში. მის შესართავში ნაპირი ხმელეთის სიღრმეში ინტენსიურად იხევს და სავარუდოდ, სანაპიროს სტაბილიზაცია მხოლოდ 2025-2030 წლისთვისაა მოსალოდნელი.

### **1.3. ინფორმაცია წყალსაცავების მშენებლობის აუცილებლობის შესახებ და მათი საამშენებლო ადგილის შერჩევის ძირითადი პრინციპები**

ნებისმიერ სახელმწიფოში, კერძოდ კი საქართველოში, ყოველთვის აქტუალურია ენერგეტიკული, ირიგაციული, კომუნალური წყალმომარაგების შემდეგი ერთობლიობა:

- ელექტროენერჯის რა რაოდენობაა საჭირო და რომელი სახეა პრიორიტეტული მიმდინარე დროსა და ახლო მომავალში;
- რამდენი, რა მოცულობისა და სიმძლავრის ჰიდროენერგეტიკული ობიექტი უნდა აიგოს;
- სად და რა ვადებში უნდა აიგოს ასეთი სიმძლავრეები;
- რა რაოდენობის ირიგაციული და კომუნალური წყალია საჭირო და სხვ.

ცხადია, ამ საკითხების რეალიზაციისას პრიორიტეტულია ენერჯის ხელმისაწვდომი სახეები. საქართველოსათვის ენერჯის ასეთი სახეა მთის მდინარეების ენერჯია. საყოველთაოდ გავრცელებული აზრია, რომ ამ სახის ენერჯია იაფი და მარტივად სამართავია და ეს აზრი ნაწილობრივ საფუძვლიანია. სინამდვილეში კი ყველგან და ყოველთვის ასე არ არის. მდინარეთა ჩამონადენის სეზონური და სივრცითი ასიმეტრიულობა, მათი ჩამონადენის აკუმულირებას მოითხოვს წყალსაცავში, საიდანაც წყლის საჭირო მიმართულებით გამოყენება არის შესაძლებელი.

შესაბამისად, წყალსაცავთ შესაძლებელია წყლის რესურსების დროსა და სივრცეში გადანაწილება. მისი მშენებლობის აუცილებლობა კი დგება მაშინ, როდესაც ჩნდება პრობლემა, რომლის რეალიზაციის სხვა ალტერნატიული საშუალება არ არსებობს და წყალსაცავი მისი ყველაზე ოპტიმალური ვარიანტია.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, წყალსაცავს პოზიტივებთან ერთად, ნეგატიური თვისებებიც ახლავს. ამასთან ზოგიერთი საშიში ნე-

გატივი ექსპლოატაციის სანყის პერიოდში შეიძლება უმნიშვნელოდ ჩანდეს (ფილტრაცია, დონის სისტემატური ცვალებადობით გამონ-ვეული ე.წ. „ბზარების და ფორების ფეთქებადობა“), მაგრამ დროთა განმავლობაში მზარდია და მომდევნო ფაზებში მოსახლეობისა და ჰიდრონაგებობისათვის საშიშ სახეს იღებს.

პრაქტიკა ადასტურებს, რომ წყალსაცავები გადაუდებელი აუცილებ-ლობაა და ისინი, როგორც წყლის აკუმულატორები, განსაზღვრულ ვადაში და შესაბამის ადგილებზე უნდა იყოს რეალიზებული. ამ პრო-ცესში, პირველ რიგში, უნდა გადაწყდეს თუ როგორი ტიპისა და მო-ცულობის წყალსაცავია საჭირო კონკრეტული პრობლემის ოპტი-მალური რეალიზაციისათვის. მომდევნო საკითხია, წყალსაცავით სამართავი ობიექტების (მდინარე, არხი, ზედაპირული ჩამონადენი, და სხვ.) შერჩევა და ქვაბულის განთავსების ადგილის განსაზღვრა. ამასთან, აქსიომატური ჭეშმარიტებაა, რომ მშენებლობის რეალური დანახარჯები ყოველთვის მნიშვნელოვნად აღემატება საპროექტო გაანგარიშების მონაცემებს. ამის გამო, მშენებლობის ადგილის შერ-ჩევა სისტემური და ოპერაციული ანალიზისა და მართვის პრინციპე-ბის გათვალისწინებით განიხილება, შემდეგი ფაქტორების მიხედვით:

- ეკონომიკის საკითხები;
- კაშხლისა და სხვა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების უსაფრთხო-ება;
- სოციალურ-ეკონომიკური საკითხები;
- მოსახლეობის ჯანმრთელობა და უსაფრთხოება;
- გარემოს დაცვა;
- სამოგადოებრივი აზრი.

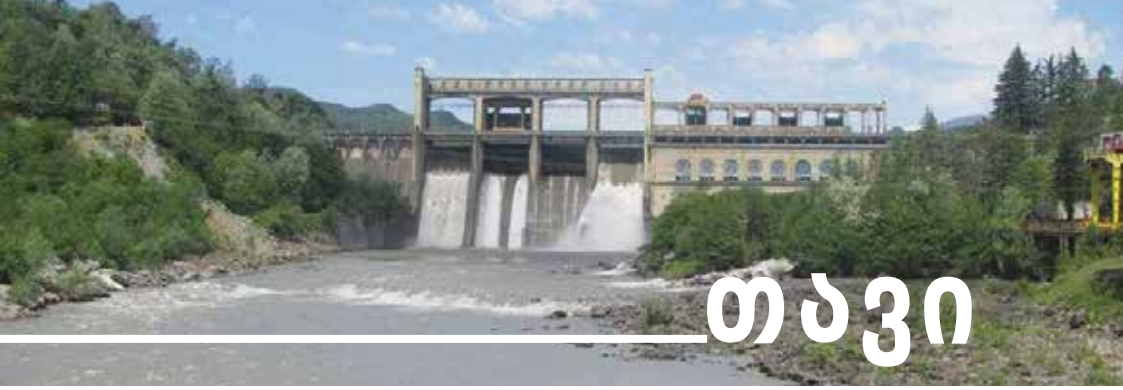
მშენებლობის ადგილის შერჩევა, პირველ რიგში, ითვალისწინებს თუ როგორი იქნება მშენებლობისა და მომდევნო ექსპლოატაციის ხარჯები. მშენებლობის სავარაუდო ადგილებს შორის, უპირატესობა ენიჭება იმას, სადაც ხარჯები ყველაზე დაბალი იქნება. ამ მიზანს არ-თულებს სხვადასხვა საკანონმდებლო მოთხოვნები კაშხლისა და დანარჩენი ნაგებობების საიმედოობისა და გარემოს დაცვის შესა-ხებ. ასეთი მოთხოვნები ნებისმიერ დროს შეიძლება წამოიჭრას.



სოციალურ-ეკონომიკური საკითხები მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე და სოციალურ მდგომარეობაზე ობიექტის შემოქმედებას მოიცავს. განიხილება თუ როგორი იქნება წყალსაცავის გავლენა მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე და უსაფრთხოებაზე. უმნიშვნელოვანესი კითხვაა – ვისგან და როგორ ანაზღაურდება მოსახლებისათვის მიყენებული ზარალი. შემდეგი საკითხია ე.წ. „ბუმი, შემდგომი დეპრესიით“. ეს საკითხი იმ პრობლემებს განიხილავს, რომელიც იმის გამო ჩნდება, რომ მშენებლობის პროცესში სწრაფად იზრდება მოსახლეობისა და მუშა-მოსამსახურეთა რაოდენობა მშენებლობის არეში, მისი დამთავრების შემდეგ კი, ასევე სწრაფად მცირდება. აქვე განიხილება იმ არქეოლოგიური ძეგლებისა და არქიტექტურის აღმოჩენის შემთხვევაში, როგორ უნდა მოხდეს მათი დამუშავება-კონსერვაცია და ტრანსპორტირება.

მოსახლეობის ჯანმრთელობისა და უსაფრთხოების საკითხი განიხილავს გაიზრდება თუ არა მოსახლეობის დაავადებებისა და სიკვდილიანობის დონე წყალსაცავის ნორმალური ექსპლოატაციის პერიოდში და ავარიის შედეგად. ვინაიდან აბსოლუტურად უსაფრთხო წყალსაცავი არ არსებობს, როგორ შეიძლება მოსახლეობის ლეტალობისა და ზარალის რისკის შემცირება მინიმუმამდე.

ამასთან, ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად უნდა იყოს განხილული რისი შედეგი შეიძლება იყოს წყალსაცავისა და მისი ჰიდრონაგებობების ავარია – ბუნებრივი მოვლენების (წყალდიდობა-წყალმოვარდნა, კლიმატური ფლუქტუაციები, მიწისძვრა და სხვ.), სოციალური მოვლენების (დივერსია, საომარი მოქმედება და სხვ.), პროექტირების ნაკლოვანების, თუ მომსახურე პერსონალის შეცდომა-დაუდევრობის.



# თავი

## მოსილვის პრიზმის გენეზისი და განვითარების მიმართულებები

# 2

### 2.1. მთის მდინარეების ნატანის გენეზისი, ტრანსპორტი და აკუმულაცია

მთის მდინარეების წყალსამეურნეო მნიშვნელობა, დემოგრაფიული აფეთქებისა და კლიმატის მიმდინარე ფლუქტუაციის მიერ პროგნოზირებული პრობლემების ფონზე, მუდმივად იზრდება. მათი გამოყენება მრავალი მიმართულებით ხდება. მათ შორის ყველაზე ეფექტურია წყალსაცავი, მიუხედავად მრავალი ნეგატივი. განსაკუთრებით საყურადღებოა ის, რომ ზღვისკენ მდინარის ნატანის ნაკადს ხანგრძლივი დროით აჩერებს.

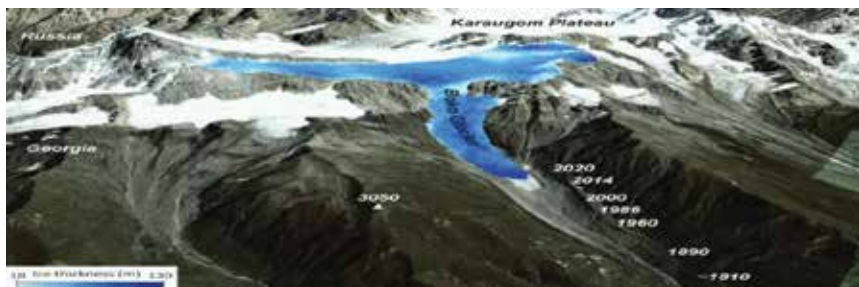
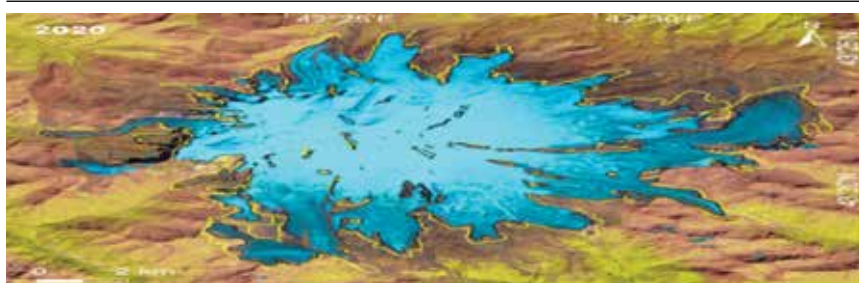
წყალსაცავის ზემოქმედება მდინარეზე და მის მომხმარებლებზე შემდეგი სქემით ვითარდება: მდინარის აუზში მუდმივად მოქმედებს მძლავ-

რი ფაქტორი – გამოფიტვა. ამ ფაქტორის მოქმედების ძირითადი პროდუქტი მრავალი სახისაა (ეროზიული, მორენული, ეოლური და სხვ.). ის ნაწილი კი, რომელიც წყლის ნაკადს გადააქვს, მდინარის ნატანს ქმნის. საბოლოოდ, მდინარეს ნატანი ზღვაში (ოკეანეში) ჩააქვს. თუ მდინარე წყალსაცავით გადაიკეტა, მან ნატანი წყალსაცავის ქვაბულში უნდა დატოვოს და ეს პროცესი გრძელდება მანამ, ვიდრე ქვაბული ამოივსება და მდინარე აღიდგენს ნატანის ტრანსპორტირების საწყის უნარს. ეს სქემა ტიპურია ყველა განსაკუთრებით კი მთის მდინარეებისათვის, რომელსაც წყალსაცავი არეგულირებს.

ნატანის გენეზისი კლიმატის ფუნქციაა და მის მსგავსად მკაფიოდ გამოხატული ციკლურობით ხასიათდება. საშუალო განედებში კლიმატის დათბობის მიმდინარე ციკლი 1860-1880-იანი წლებში დაიწყო. კლიმატის კვლევის საერთაშორისო ორგანიზაციის პროგნოზით მოსალოდნელია, რომ ეს პროცესი მიმდინარე საუკუნის ბოლომდე გაგრძელდეს. განვლილ საუკუნეებში მყინვარებმა ათეული, ზოგან ასეული მეტრით უკან დაიხია [62], [63] (ნახ. 2.1).

შესაბამისად, გაშიშვლებული მორენული მასალა საბოლოოდ მდინარეებში ხვდება და მისი ნატანის და გრანულომეტრიის ერთერთი ძირითადი მდგენელია. მთიან რეგიონებში ტენიანობის გაძლიერებას ეროზიული მასალის მატებაც ახლავს – გააქტიურდა სელური და მენყრული მოვლენები. ამას მზარდი ანთროპოგენური ფაქტორიც დაერთო – დემოგრაფიული აფეთქების შედეგების ფართო სპექტრით.

მთის მდინარეთა კალაპოტში ხშირია გრავიტაციის, სელური ნაკადის და მყინვარის მიერ ჩამოტანილი მასიური ლოდები და კლდის ნატეხები, რომელთა დიამეტრი მრავალ მეტრს, ხოლო წონა ათეულობით ტონას აღწევს. ასეთი ნატანის პარამეტრები და მოძრაობის ტრაექტორია ისტორიული დროის თანაზომადია, წყალსაცავების სამშენებლო ადგილის შერჩევისას კი მხოლოდ ერთი თვალსაზრისით განიხილება – რამდენად სახიფათოა კაშხლის მდგრადობისათვის და რა გავლენა ექნება მას მოსილვაზე და ექსპლოატაციის პირობებზე? ასეთი მდინარეების ფსკერული ნატანის გენეზისი, გადაადგილება და აკუმულაცია ისეთი შემთხვევითი პროცესებია,



ნახ. 2.1 ადიშის ხალდეს და ბოყოს მცინვარებმა თითქმის 100-130 მ დაიხეს უკან (L. Tielidze, 2021).

რომელთაც წყლის ხარჯი ( $Q$  მ<sup>3</sup>/წმ), აუზის სიმაღლე ( $H$  მ), მდინარის დახრილობა ( $I$  ‰) და აუზის გეოლოგია განსაზღვრავს. ნატანის ტრანსპორტირებს, ანუ ნაკადის მიერ ნატანის გადატანის პროცესი იმ ფაქტორთა ფუნქციაა, რომელიც ძირითადად შეზი-ბაზენის გამოსახულებებით აღიწერება და ერის კანონს ექვემდებარება [67], [97]. ეს პროცესი წყალსაცავების ზედა ბიეფში, უდიდესი დიამეტრის ნატანისა ( $D$ ) და ნაკადის სიჩქარეზეც ( $V$  მ/წმ) არის დამოკიდებული. ფაქტია ისიც, რომ მთიან რეგიონებში ტენის მატებამ დააჩქარა ეროზიული და მორენული მასალის რაოდენობის ზრდა, რადგან მან გააქტიურა მყინვარების დეგრადაცია, სელური და მეწყრული მოვლენები.

მთის მდინარეთა ნატანის გრანულომეტრია და ქიმიური სპექტრი განსაკუთრებით ფართოა. მაღალმთიან ზონაში ნატანს ქმნის ვულკანოგენური მასალა – გრანიტები, დიორიტები, ანდეზიტები და მათი კომბინირებული სახეები, საშუალომთიან ზონაში ქვიშაქვები და თიხაფიქლები, დაბალმთიანში მათ ემატებათ კირქვები და თაბაშირი. ნატანის ქიმიის მიხედვით იცვლება მათი ცვეთა-ტრანსფორმაციის ხარისხი და ფრაქციული შედგენილობა. კირქვები, თიხაფიქლები და სხვა ხსნადი და რბილი ქანები სწრაფად იცვითება, წყალში იხსნება და მათი მეტი წილი ზღვამდე მხოლოდ წვრილი ქვიშის, მტვრის, ან თიხის ნაწილაკებისა და ხსნარის სახით აღწევს.

ზოგიერთი მდინარე რამდენიმე ტექტონიკურ ზონას და რღვევის ხაზს გადაკვეთს და სელურ შენაკადსაც იერთებს. ასეთ ზონებში დედამიწის ქერქის ცალკეული ნაწილები ქედებისა და მასივების სახით სიმაღლეში განსხვავებული სიჩქარით მალლდება. მდინარისათვის ასეთი ქედები მუდმივმოქმედ აზვევებად ზღურბლს წარმოადგენს, რომელსაც ის ხერხავს, რათა გადალახოს და კალაპოტი გამოიმუშაოს. თუ მდინარის კალაპოტის ჩაჭრის სიჩქარე ( $V$  მმ/საუკუნე) ქედის აზვევების სიჩქარეზე ( $v$  მმ/საუკ.) ნაკლებია

$$V - v = P \text{ მმ/საუკ} \quad (2.1)$$

წარმოიქმნება დეპრესია, რომელსაც მდინარე მუდმივად ავსებს ნატანით და აკუმულაციურ ვაკეს ქმნის, რომელსაც ზოგან ტაფობის ფორმა აქვს.

ზოგიერთი მდინარე აკუმულაციურ დაბლობზე მიედინება. როდესაც რელიეფის ასეთი სახე უარყოფითი ტექტონიკის ზონაშია მოქცეული (კოლხეთის, დუნაის, პარანის დაბლობები და სხვ.), მდინარემ იმდენად უნდა ასწიოს კალაპოტი, რომ გაანეიტრალოს დაბლობის დაძირვის ეფექტი და თავის კალაპოტსაც საკმარისი დახრილობა მისცეს. საქართველოში, მდ. რიონმა კოლხეთის დაბლობზე გამოსვლისას, უნდა გაანეიტრალოს დაბლობის დაძირვის სიჩქარე  $V_d=0,6$  მ/საუკ და შავი ზღვის დონის აწევის – თანამედროვე ევსტაზიის ეფექტი (რომელიც მდინარის შესართავში  $E=0.2$  მ/საუკ ტოლია) და შექმნას შესაბამისი დახრილობის კალაპოტი, რომლითაც ის შესაბამისი დიამეტრის ნატანის ( $D \leq 1.0$  მმ) ტრანსპორტირებას ახდენს ზღვისკენ.

ზოგიერთი სელური ნაკადი აკუმულაციურ ვაკეს ქმნის. ასეთი სელური ნაკადის ნატანში ისეთი რაოდენობითაა ლოდები და კლდის ნამტვრევები, რომ მათგან დროებით კაშხალს ქმნის და ამ კაშხლით, გარკვეული დროით, კეტავს მდინარეს. მდინარემ უნდა ჩაჭრას ასეთი ბარიერი, რასაც გარკვეული დრო და წყლის შესაბამისი ხარჯი სჭირდება. მანამდე კი მდინარე ნატანს ამ კაშხლის ზედა ბიეფში ლექავს და ამ გზით „სელური კაშხლის“ ზედა ბიეფში რელიეფის აკუმულაციურ ფორმას ქმნის. ნატანის მნიშვნელოვანი ნაწილი კი დელტის ელემენტების შექმნაზე, სანაპირო პლაჟების პერმანენტულ შევსებასა და სხვა აკუმულაციური ფორმების შექმნაზე იხარჯება.

ეს პროცესები წყალსაცავების ზემო ბიეფში, გარდა აღნიშნული კანონებისა, უდიდესი დიამეტრის ნატანის ( $D$ ) და მდინარის სიჩქარის ( $V$  მ/წმ) დამოკიდებულების ფუნქციასაც წარმოადგენს. ეს ცხადად ჩანს გუმათის წყალსაცავზე. 2021 წლისათვის მისი სასარგებლო მოცულობა 1.5%-მდე შემცირდა, მოსილვის პროცესი კი კვლავ გრძელდება. ლოდები და უფრო მსხვილი ( $d > 0.3$  მ) ნატანი წყალსაცავის მოსილვის პრიზმის შლეიფზე, მდინარის უკმარისი დახრილობის მონაკვეთშია კონცენტრირებული. უფრო ქვემოთ მათ აკუმულაციური წარმონაქმნები შუა კუნძულები და ცელები მოსდევს.

2021 წლის მონიტორინგის შედეგებით ქვედა ბიეფში მდინარეს ჯერ მხოლოდ  $d < 5,0$  მმ ფსკერული ნატანის ჩატანა შეუძლია, ხოლო

წყალსაცავის შექმნამდე კაშხლის კვეთში ნატანის უდიდესი დიამეტრი  $D \geq 0,3$  მ იყო. ეს ნიშნავს, რომ მოსილვის პრიზმის ზრდა ყველა მიმართულებით კვლავ გრძელდება. პრიზმი ზღვრულ მოცულობას მიაღწევს, როცა მდინარე პრიზმის ზედაპირზე შექმნის ზღვრული დახრილობის კალაპოტს, რომლითაც აღიდგენს ნატანის ტრანსპორტირების ბუნებრივ (საწყის) უნარს. მანამდე, კვლავ გაგრძელდება ნატანის აკუმულაცია წყალსაცავში. ასეთ პირობებში მდ. რიონმა, საუკუნის განმავლობაში, შესართავთან კალაპოტი საუკუნეში 0.8 მ უნდა ასწიოს, დაბლობის დასაწყისში კი ვარციხესთან –  $h=0.7$  მ-ით.

$$V_d + E = 0.8 \text{ მ/საუკ} \quad (2.2)$$

ამ მონაკვეთზე ხმელეთის დაძირვის სიჩქარე შედარებით დაბალია ( $V_d < 0.5$  მ/საუკ.). ასეთი კალაპოტის დახრილობა I გამოითვლება შემდეგი სახის გამოსახულებით:

$$I = \frac{[h - (V_d + E)]}{L} \text{ მ/კმ} \quad (2.3)$$

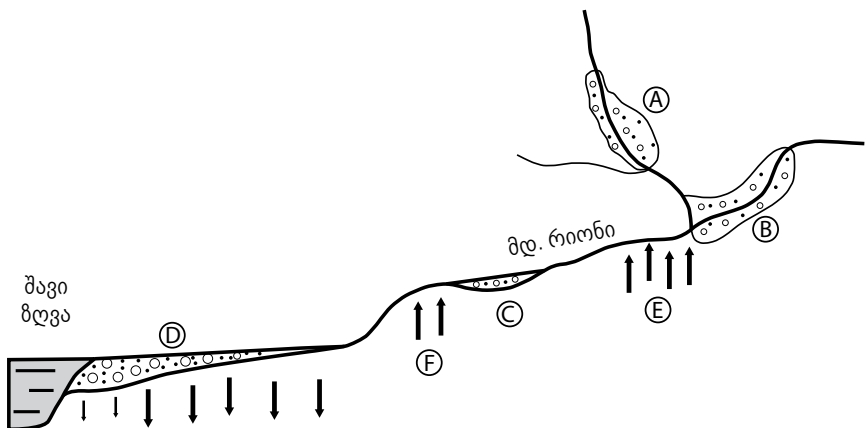
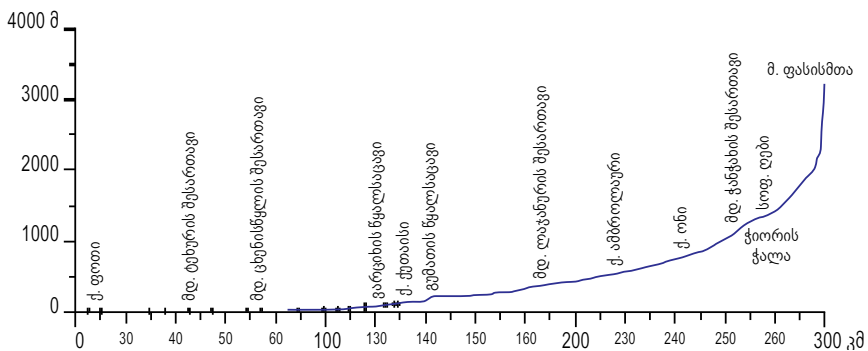
აქ, L არის მანძილი ვარციხიდან ფოთამდე.

ცხადია, ასეთი დახრილობის მქონე მდინარეს მსხვილი ( $d > 5.0$  მმ) ნატანის გადატანა აღარ შეუძლია და იგი კოლხეთის დეპრესიის შესავსებად და თავისი კალაპოტის ასამაღლებლად უნდა გამოიყენოს, თანაც დაღეჭილი ნატანის დიამეტრი შესართავის მიმართულებით მცირდება. კვლევის შედეგები ადასტურებს, რომ მდ. რიონის ნატანის სიმსხო ფოთთან 2.0 მმ არ აღემატება. საბოლოოდ, მდინარეს დარჩენილი ნატანი ზღვაში ჩააქვს და იქ წყალქვეშა კანიონის გავლით, ზღვის შელფსა და ფერდზე ილექება.

ნატანის გენეზისსა და ტრანსპორტზე მოქმედი ზემოაღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით, შეიძლება მთის მდინარის აუზში დროის ფიქსირებულ მონაკვეთში (საუკუნე, ათასწლეული) წარმოქმნილი ფსკერული ნატანის რაოდენობის ბალანსის განტოლების შემდეგი სახით წარმოდგენა:

$$B = \Sigma T + \Sigma C + \Sigma W + D + E + O \quad (2.4)$$

აქ: B – აუზში დროის ერთეულში (წელი, საუკუნე) წარმოქმნილი ფსკერული ნატანის რაოდენობა;  $\Sigma T$  – აზვევბადი ზღუბლებით წარმოქმნილ დეპრესიებში დაღეჟილი ნატანი;  $\Sigma C$  – სელური ბარიერებით შექმნილ შეგუბებებში აკუმულირებული მასალა;  $\Sigma W$  – წყალსაცავების მოსიღვის პრიზმებში მოქცეული ნატანი; D, E – უარყოფითი ტექტონიკის ზონაში მდებარე დაბლობების დაძირვის და ზღვის თანამედროვე ევსტაზიის განეიტრალებაზე გამოყენებული მასალა; O – ზღვაში ჩატანილი ნატანი (ნახ. 2.2).



**ნახ. 2.2** მდ. რიონის სქემატური ჰიდროგრაფიული მრუდი და გასწვრივი პროფილი, აქტიური ტექტონიკური და აკუმულაციური მონაკვეთებით



## 2.2. წყალსაცავში ნატანის აკუმულირება და შენაკადების კალაპოტების მოსილვა

წყალსაცავის მოსილვა მუდმივი და შეუქცევადი პროცესია, რომელიც მთავრდება მაშინ, როდესაც მდინარე მის მიერ შექმნილ აკუმულაციურ სხეულზე – მოსილვის პრიზმზე ე.წ. „წონასწორულ კალაპოტს“ გამოიმუშავებს. ამ კალაპოტით მდინარეს შეუძლია ნატანის მთელი სპექტრის გადატანა ქვედა ბიეფში. წყალსაცავის ექსპლოატაციის ბოლო ფაზაში მოსილვის პრიზმი განვითარების უკიდურეს, ანუ „ზღვრულ მოცულობას“ აღწევს. ამის შემდეგ, მისი ზრდა აღარ ხდება. ამ ფაზაში ჩამონადენის გადატანა ქვედა ბიეფში ტრანზიტით მიმდინარეობს, რადგან მდინარეს ფაქტობრივად აღდგენილი აქვს ნატანის ტრანსპორტირების საწყისი უნარი.

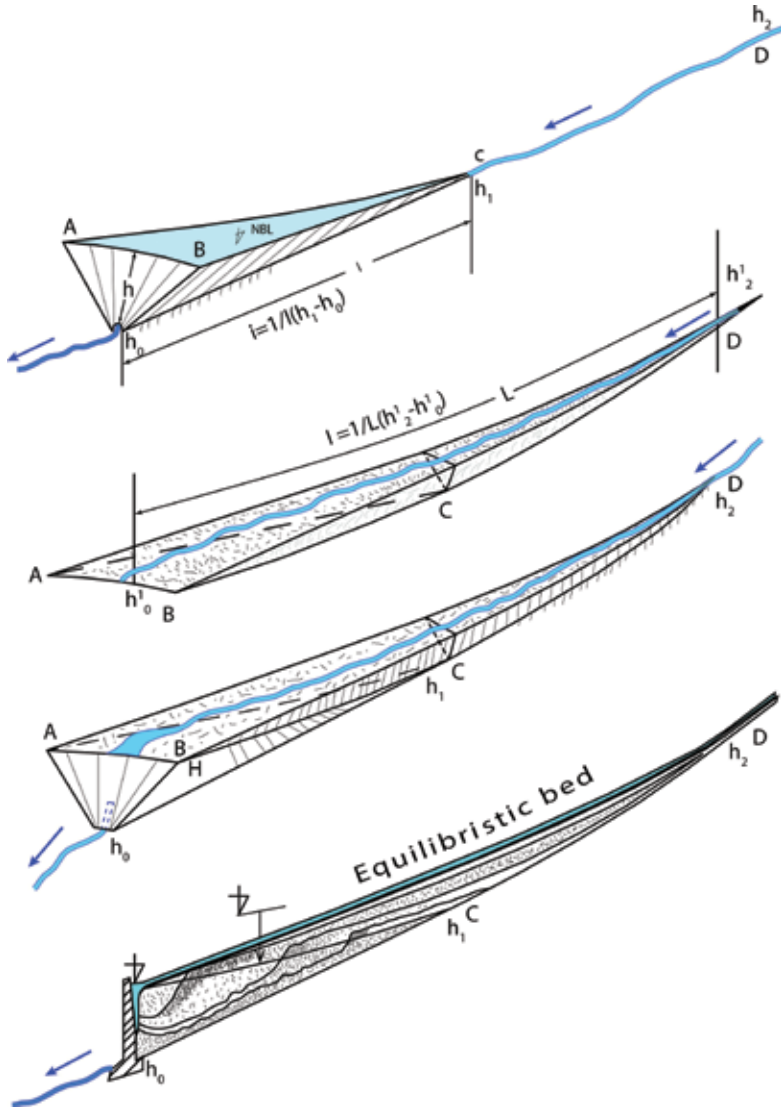
წყალსაცავის მოსილვა სინქრონულად მთელ პერიმეტრზე მიმდინარეობს (ნახ. 2.3). ნატანის წვრილ ფრაქციებს ( $d \leq 1.0$  მმ) წყლის დინება ფსკერის ყველა უბანზე ჰიდრაულიკური სიმსხოს შესაბამისად ანაწილებს, მსხვილი ფრაქციები კი ძირითადად შენაკადების შესართავებში ილექება. იმის გამო, რომ შესართავის მდებარეობა წყალსაცავის დონის შესაბამისად, ანუ ავსება-დაცლის პროცესების მიხედვით, მოძრაობს კაშხლისკენ და უკან, მსხვილი ნატანი მისი პარამეტრების შესაბამისად ილექება შენაკადების შესართავების გადაადგილების არეში.

ამგვარად ყალიბდება მოსილვის პრიზმი, რომლის ძირითადი ნაწილი წყალდიდობა-წყალმოვარდნების ნატანით არის აგებული [91]. წყალსაცავის ავსების პერიოდის დასაწყისში, როდესაც მისი დონე მინიმალურია, მდინარეს ნატანი შესართავიდან ყველაზე შორს შეაქვს. შემდგომში, მდინარის შესართავი თანდათან შორდება კაშხალს და როგორც კი ავსების დონე ნორმალური შეტბორვის ნიშნულს მიაღწევს, ფსკერული ნატანის უმსხვილესი ნაწილი შესართავსა და მის ზემოთ მდინარის კალაპოტში ილექება. დაცლის ფაზაში მდინარის შესართავი კვლავ კაშხლისკენ გადაადგილდება და ფსკერული ნატანიც უფრო შორს შეაქვს წყლის ნაკადს.

ასეთი მოძრაობისას მდინარე კალაპოტს თავისივე ნატანით შექმნილ ფენებში გამოიმუშავებს. ამ პროცესის თავისებურება ისაა, რომ ქვედა ფენები კონსოლიდირებულ-შეცემენტებულია და ნაკადი ვერ ასწრებს ბოლომდე მათ ჩაჭრას. ასე მეორდება წყალსაცავის არსებობის მთელი პერიოდის განმავლობაში და შედეგად მიღვევადი სიჩქარით ყალიბდება ნატანის აკუმულაციის შედეგად წარმოქ-



**ნახ. 2.3** ჟინვალის (ზედა) და აგჯალის წყალსაცავების მოსილვის პრიზმების მდგომარეობა. 2021 წელი



**ნახ. 2.4** წყალსაცავის მოსილვის პრიზმის განვითარების ფაზები: ა - წყალსაცავი პირველ ფაზაში; ბ - მოსილვის პრიზმის შლექიფი და წონასწორული კალაპოტი მესამე ფაზაში; გ - მოსილვის პრიზმი აკუმულაციური ტერასის მდგომარეობაში; დ - მოსილვის პრიზმის გასწვრივი ჭრილი განვითარების ფაზებში

მნილი მოსილვის პრიზმი. მოსილვის პრიზმი კაშხალთან იწყება და შენაკადების კალაპოტებში მათი დახრილობის შესაბამის მანძილზე ვრცელდება.

პრიზმის ის ნაწილი, რომელიც წყალსაცავში მდებარეობს პრიზმის ტანს წარმოადგენს, დანარჩენს, ანუ იმ ნაწილს, რომელიც შენაკადებში ვრცელდება, შლელიფი ეწოდება. წყალსაცავის არსებობის ბოლო ფაზაში მისი შენაკადები პრაქტიკულად წონასწორულ მდგომარეობაშია. მათი დახრილობა ( $I_1$  მ/კმ) და მოსილვის პრიზმის სიგრძე ( $I_1$  კმ) იმ სიდიდისაა, რომ შენაკადებს შეუძლიათ ნატანის ყველა ფრაქციის ტრანზიტით ტრანსპორტირება ქვედა ბიეფში. ამ მდგომარეობაში მოსილვის პრიზმი წარმოადგენს დასრულებულ აკუმულაციურ სხეულს, რომელიც მთლიანად ავსებს წყალსაცავს და მის გემოთ შენაკადებში შლელიფის სახით ვრცელდება (ნახ. 2.4). შლელიფის სიგრძე ( $L_1$ ) მდინარის დახრილობის ( $I_0$ ) და მსხვილი ნატანის დიამეტრის ( $\Phi$  მმ) უკუპროპორციულია.

$$L = f(I_0, \Phi) \quad (2.5)$$

წყალსაცავის არსებობის ბოლო ფაზაში, მოსილვის პრიზმის მოცულობა ( $W$  მ<sup>3</sup>) და მორფომეტრული პარამეტრები ზოგიერთი ტიპის წყალსაცავზე თითქმის 2-ჯერ აღემატება წყალსაცავის საპროექტო მახასიათებლებს. ამ ფაზაში შენაკადები შლელიფზე ისეთ სიმაღლეზე გაედინება, რომ წყალდიდობა-წყალმოვარდნების სეზონზე სერიოზულ საფრთხეს უქმნის მოსახლეობას. ამ დროს კრიტიკულ დონეს აღწევს შემდეგი სახის ნეგატივები:

- კატასტროფული წყალდიდობა-წყალმოვარდნებისაგან მოსახლეობისა და ინფრასტრუქტურის დაცვის აუცილებლობა;
- საგარეულების ჭარბი დატენიანება-წარეცხვის აცილება.

წყალსაცავის ადგილის შერჩევას, საჭიროა ამ პრობლემების დროსა და სივრცეში დინამიკის გათვალისწინება და მოსალოდნელი რისკების შეფასება. ასეთი პრობლემის რეალიზაცია შესაძლებელია თეორიული კვლევის [67], [97]. სავსე მონიტორინგის შედეგები-

სა და ნატურული ექსპერიმენტების გამოყენებით. შემოთავაზებული მეთოდისა და მათემატიკური გამოსახულებების აპრობაციისა და კორექტირებისათვის გამოყენებულია სხვადასხვა ტიპის მდინარეების სახასიათო კვეთებზე სტაციონარული და ეპიზოდური გაზომვის მონაცემები. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მოქმედი წყალსაცავების მოსილვის პრიზმების საექსპედიციო კვლევისა და 2015-2021 წლებში რეალიზებული ნატურული ექსპერიმენტების შედეგები.

ნაკადის სიჩქარეს განსაზღვრავს კალაპოტის დახრილობა ( $J$ ), ჰიდრავლიკური რადიუსი ( $R$ ) და ხორკლიანობის კოეფიციენტები ( $n$ ,  $Y$ ) [97].

$$V = \frac{1}{n} R^y \sqrt{RI} \quad (2.6)$$

აქ:  $R$  – ჰიდრავლიკური რადიუსი;  $I$ ,  $n$  – შესაბამისად, კალაპოტის დახრილობა და კალაპოტის ხორკლიანობის კოეფიციენტი მდინარის მოცემულ მონაკვეთზე;  $Y$  – კოეფიციენტი, რომელიც ხორკლიანობის კოეფიციენტისა და ჰიდრავლიკური რადიუსის ფუნქციაა.

ექსპერიმენტული გაზომვების მიხედვით [66]:

$$Y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.1) \quad (2.7)$$

ბარის მდინარეებისათვის  $0.025 \leq n \leq 0.05$ , მთის მდინარეებისათვის  $0.067 \leq n \leq 0.10$ .

ექსპერიმენტული კვლევების მიხედვით არსებობს ნაკადის სიჩქარესა ( $V$  მ/წმ) და ნატანის დიამეტრს ( $d_m$  მ) შორის შემდეგი ტიპის კავშირი:

$$V = 6.0\sqrt[3]{dm^2} \sqrt{h_0} \quad (2.8)$$

სადაც,  $h_0$  – საშუალო სიღრმეა მოცემულ ვერტიკალზე.

კვლევების მიხედვით პრინციპულად დასაშვებია ტოლობა, რომლის ორივე მხარე ნაკადის სიჩქარის საანგარიშოდ გამოიყენება:

$$\frac{1}{n} R^y \sqrt{RI} = k (d^2 m h_0)^{0.33} \quad (2.9)$$

ამ ტოლობის ორივე მხარის შესაბამისი გარდაქმნებით მიიღება შემდეგი სახის გამოსახულება:

$$I = 10^3 k^2 n^2 \frac{\sqrt[3]{dm^2}}{R^{2y+1}} \sqrt[3]{h} \quad (2.10)$$

აქ:  $I$  მ/კმ – კალაპოტის დახრილობა მდინარის კონკრეტულ უბანზე;  $k$  – კოეფიციენტი, რომელიც ნატანის დიამეტრის ფუნქციაა და ამავე უბანზე ნატანის დიამეტრის მიხედვით იცვლება:  $3.7 \leq k \leq 6.0$ ;  $D_m$  – ყველაზე მსხვილი ნატანის დიამეტრი საპროექტო წყალსაცავის კაშხლის კვეთში.

გამოსახულება (2.10) ასახავს დამოკიდებულებას ნაკადის სიჩქარეს ( $V$ ), კალაპოტის დახრილობასა ( $I$ ) და ნატანის დიამეტრს ( $d_m$ ) შორის. ის იმითაა საინტერესო, რომ საშუალებას იძლევა განისაზღვროს წონასწორული კალაპოტის ისეთი მდებარეობა, როდესაც მდინარეს მსხვილი დიამეტრის ( $D$ ) ნატანის ქვედა ბიეფში ჩატანა შეუძლია.

### 2.3. მდინარის წონასწორული კალაპოტის ზღვრული დახრილობის საანგარიში გამოსახულების შექმნა და მისი აპრობაცია-მოდერნიზაცია მოქმედ წყალსაცავებზე

მდინარის იმ უბნებზე, სადაც ნატანის დიამეტრი 0.2 მ არ აღემატება, უფრო მარტივია (2.10) ფორმულის გამოსახვა  $C$  პარამეტრის გამოყენებით, რადგან ის უშუალოდ საველე პირობებში, მდინარის კონკრეტულ უბანზე გამოძილი კალაპოტის ხორკლიანობის ( $n$ ) და ნაკადის ჰიდრაულიკური რადიუსის ( $R$ ) ფუნქციაა:

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (2.11)$$

ასეთ უბნებზე (2.10) ფორმულას გაანგარიშებებისათვის უფრო მარტივი სახე ექნება:

$$I = 10^3 k^2 \frac{\sqrt[3]{dm^2}}{RC^2} \sqrt[3]{h} \quad (2.12)$$

(2.10) და (2.12) ფორმულების სარეალიზაციოდ საჭიროა შემდეგი საველე და საპროექტო კვლევების შესრულება:

- უნდა განისაზღვროს წყალსაცავის ფსკერული ნატანგამტარი გვირაბის და კატასტროფული წყალსაცავების პარამეტრები;
- კაშხლის კვეთში და მიმდებარე 100 მ სიგრძის მონაკვეთებზე (მდინარის აღმა და დაღმა) გამოკვლეული უნდა იყოს ნატანის სრული სპექტრი, განსაკუთრებით მსხვილი ( $D_m$ ) დიამეტრი და პროცენტული წილი.

მოქმედი წყალსაცავების მოსილვის პრიზმების ზედაპირის დახრილობის და ნატურული ექსპერიმენტების მონაცემების ანალიზის შედეგების თანახმად, ისეთი ზედაპირის ფორმა, რომელსაც ამ გამოსახულებით გამოთვლილი დახრილობა ( $I$ ) აქვს, ყველაზე მაღალი ადეკვატურობით, მეოთხე და უფრო მაღალი რიგის პოლინომური

და ლოგარითმული განტოლებებით გამოისახება:

$$I = aH^4 - bH^3 + cH^2 - dH + m \quad (2.13)$$

$$I = -aln + b \quad (2.14)$$

აქ: H – პრიზმის ზედაპირის კონკრეტული უბნების სიმაღლეა ზღვის დონიდან, ან რომელიმე პირობითი ზედაპირიდან.

ვინაიდან, მოსილვის პრიზმის მრდის სიჩქარე კალაპოტის დახრილობის (I) და ნატანის (D) დიამეტრის პროპორციულია, იგი უფრო სწრაფად მაღალი დახრილობის მდინარეებზე ყალიბდება. მდ. რუწყალზე, სადაც 2015 წელს ნატურული ექსპერიმენტი დაიწყო, ეს პროცესი გაცილებით სწრაფად მიმდინარეობს, რისი მიზეზიც რამდენიმე გარემოებაა, მათ შორის ის, რომ მდინარის სანყისი დახრილობა ექსპერიმენტის უბანზე ყველაზე მაღალი იყო (0.3 მ/მ). ამ ნაკადზე 2019 წლის მონაცემებით, ანუ 4 წლის შემდეგ, წყალსაცავი მთლიანად 5.1 მ სიგრძის მოსილვის პრიზმმა დაიკავა. აქედან, შლეიფი 3.7 მ აღწევდა. 2021 წლისათვის წონასწორული კალაპოტის ჩამოყალიბება კვლავ გრძელდება, მაგრამ გაცილებით დაბალი სიჩქარით. ამის მაჩვენებელია მსხვილი ნატანი ( $D \geq 0.2$  მ), რომელიც ჯერ კიდევ ზედა ბიეფში აკუმულირდება.

წონასწორული კალაპოტის განვითარების ბოლო ფაზაში, მისი დახრილობა იმდენად მაღალია, რომ მდინარის მიერ მსხვილი ნატანის ტრანსპორტირების თავისებურებები ერის კანონით შეიძლება აღიწეროს. ეს კანონი ფუნქციურ დამოკიდებულებას ასახავს ნატანის წონასა და ნაკადის ფსკერულ სიჩქარეს შორის.

$$d^3\gamma = Av^6 \quad (2.15)$$

აქ:  $d^3\gamma$  – ნატანის წონა; A – კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია კალაპოტის დახრილობაზე (I), ნატანის ფორმაზე და ხვედრით წონაზე; v მ/წმ – მდინარის ფსკერული სიჩქარე, რომლის დროსაც ნატანი წონასწორობას კარგავს და მოძრაობას იწყებს. ამ გამოსახულებიდან შეიძლება განისაზღვროს ნაკადის v სიჩქარე, რომელიც



საკმარისია იმისათვის, რომ შესაბამისი დიამეტრის ( $d$  მ) ნატანი ამოძრავდეს:

$$v = k\sqrt{d} \quad (2.16)$$

$k$  – კოეფიციენტი იცვლება კალაპოტის ჰიდრავლიკური რადიუსის პროპორციულად.

წონასწორული კალაპოტის სათავე კაშხლის ფუძეში ჩამონტაჟებული ნატანგამტარი გვირაბი. თუ კაშხალს ასეთი კონსტრუქცია არ გააჩნია, ან ექსპლოატაციის პირობებში ფუნქცია დაკარგა, კალაპოტის სათავე ენერგეტიკული, ან სხვა დანიშნულების (ირიგაციული, კომუნალური და სხვ.) წყალმიმღები იქნება.

წყალსაცავებში, რომელთა ექსპლოატაციის ვადა 100 წელს აღემატება, მოსილვის პრიზმი ზღვრულ მოცულობას აღწევს. ასეთ ობიექტებზე სისტემატურად ნატანისაგან წყალსაცავის იძულებითი პროფილაქტიკური განტვირთვა ხდება. აქ უკვე წონასწორული კალაპოტი ყალიბდება, რომლის სათავე კაშხლის ნატანგამტარი გვირაბის ზღურბლია.

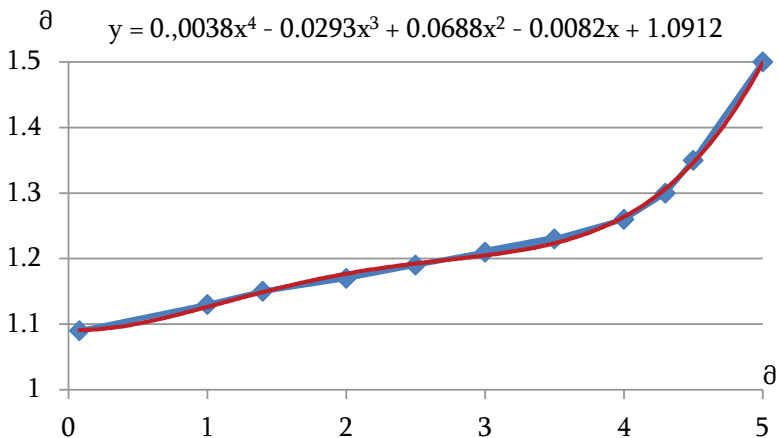
შესაბამისად, პროექტირებადი წყალსაცავის მოსილვის პრიზმისა და წონასწორული კალაპოტის პარამეტრების პროგნოზირებისათვის, გვირაბის (ან საექსპლოატაციო წყალმიმღების) ზღურბლიდან (2.10) და (2.12) ფორმულებით გაანგარიშებული დახრილობის ( $I$  ‰) მნიშვნელობის მიხედვით და ექსტაპოლაციის წესის გამოყენებით, შესაძლებელია წონასწორული კალაპოტის პროფილის (გასწვრივი ჭრილი) აგება, რომელიც მდინარის კალაპოტის გადაკვეთამდე გაგრძელდება.

მოქმედი წყალსაცავების მოსილვის პრიზმების ზედაპირის დახრილობისა და ნატურული ექსპერიმენტების მონაცემების ანალიზმა უჩვენა, რომ ასეთი ზედაპირის ფორმა, ყველაზე მაღალი ადეკვატურობით, გამოსახება მეოთხე და უფრო მაღალი რიგის პოლინომური და ლოგარითმული განტოლებებით:

$$h = ax^6 - bx^5 + cx^4 + dx^3 + ex^2 - fx + m \quad (2.17)$$

$$h = -aln + b, a = 526.86, b = 2919.41 \quad (2.18)$$

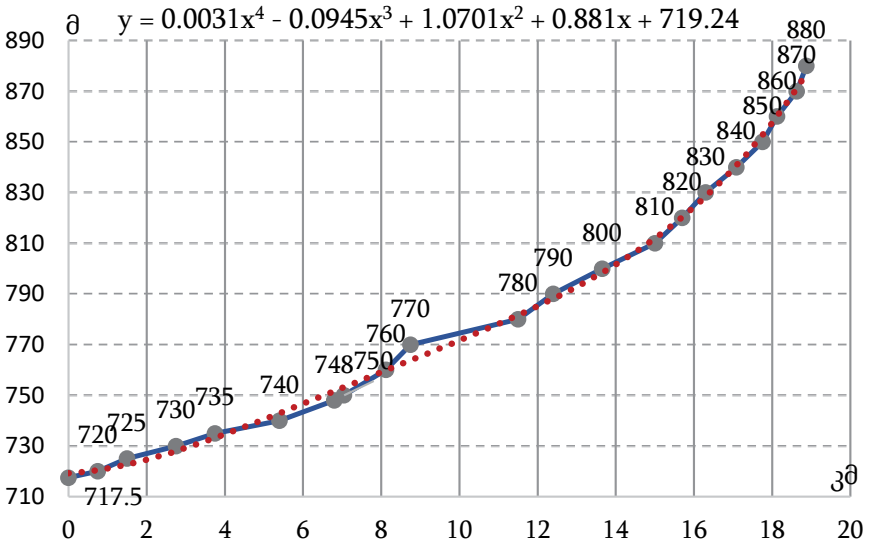
მოსილვის პრიზმის ფორმირების სიჩქარე მდინარის კალაპოტის დახრილობისა და კალაპოტამგები ნატანის დიამეტრის პროპორციულია. შესაბამისად, იგი ყველაზე სწრაფად მაღალი დახრილობის მდინარეებზე ყალიბდება. მდ. რუწყალზე ეს პროცესი ყველაზე სწრაფად მიმდინარეობს. ამ მდინარის საწყისი დახრილობა ექსპერიმენტის უბანზე ყველაზე მაღალი (0.4 მ/მ) იყო. ამ ნაკადზე, 2019 წლის გამოშვების მონაცემებით, წყალსაცავი მთლიანად 5.1 მეტრის მოსილვის პრიზმმა დაიკავა, საიდანაც შლექის სიგრძეა 3.7 მ (ნახ. 2.5). აქ წონასწორული კალაპოტის ჩამოყალიბება კვლავ გრძელდება, რადგან მსხვილი ნატანი ( $d_m \geq 0.2$  მ), რომლის წილი კალაპოტის შექმნაში საკმაოდ მნიშვნელოვანია ( $\approx 1\%$ ), ნაკადს ჯერ კიდევ ვერ გადააქვს ქვედა ბიეფში.



**ნახ. 2.5** მდ. რუწყალის ნატურული ექსპერიმენტის შედეგები – ჰიდროგრაფიული მრუდი და განტოლება 2015-2021 წწ.

მდინარეთა ჰიდროგრაფიული მრუდები ყველაზე ადეკვატურად პოლინომური და ლოგარითმული განტოლებებით გამოისახება (ნახ. 2.6). ასეთივე ტიპის განტოლებებით გამოისახება მოქმედი წყალ-

საცავების და ნატურული ექსპერიმენტული წყალსაცავის მოსილვის პრიზმების გასწვრივი პროფილები (ნახ. 2.5, 2.6).



**ნახ. 2.6** მდ. ფშავის არაგვის ჰიდროგრაფიული მრუდი (ლურჯი) ჟინვალის წყალსაცავის მოსილვის პრიზმის გავრცელების არეში (2020)

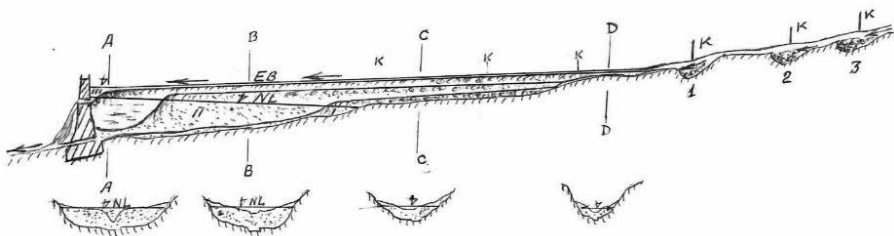
(2.16) ფორმულის სარეალიზაციოდ საჭიროა შემდეგი საველე და საპროექტო კვლევების შესრულება: უნდა განისაზღვროს წყალსაცავის ფსკერული ნატანგამტარი გვირაბისა და კატასტროფული წყალსაგდების პარამეტრები; კაშხლის კვეთში და მიმდებარე 100 მ სიგრძის მონაკვეთებზე (მდინარის აღმა და დაღმა) გამოკვლეული უნდა იყოს ნატანის სრული სპექტრი, განსაკუთრებით მსხვილი ნატანის (dm) დიამეტრი და პროცენტული წილი.

$$d = C^2 \frac{RI}{k^2}, \quad I = k^2 \frac{d}{RC^2} \quad (2.19)$$

როდესაც მოსილვის პრიზმი ზღვრულ მოცულობას მიაღწევს, წონასწორული კალაპოტის ჩამოყალიბებაც დასრულდება. მრავალშენა-

კადიან წყალსაცავში, მეორე რიგის შენაკადების წონასწორული კალაპოტები მთავარ მდინარესთან შეერთების უბანზე იწყება.

მთავარი მდინარის წონასწორული კალაპოტის სათავეა კაშხლის ფუძეში გამავალი ნატანდამტარი გვირაბი. იმ შემთხვევაში, თუ კაშხალს ასეთი კონსტრუქცია არ გააჩნია, ან ექსპლოატაციის პირობებში დაკარგა ფუნქცია, კალაპოტის სათავე ენერგეტიკული, ან ირიგაციული წყალმიმღები იქნება. მცირე მოცულობის ზოგიერთ წყალსაცავში, რომელთა ექ-



**ნახ. 2.7** მდინარის მოსილვის პრიზმის ევოლუცია ზღვრულ მოცულობამდე და ნატანდამტარი ქვაბულების განლაგების სქემა: 1-3 ნატანდამტარი კარიერების განლაგება მთავარ შენაკადზე; A-A, B-B, C-C, D-D – პრიზმის განივი ჭრილები

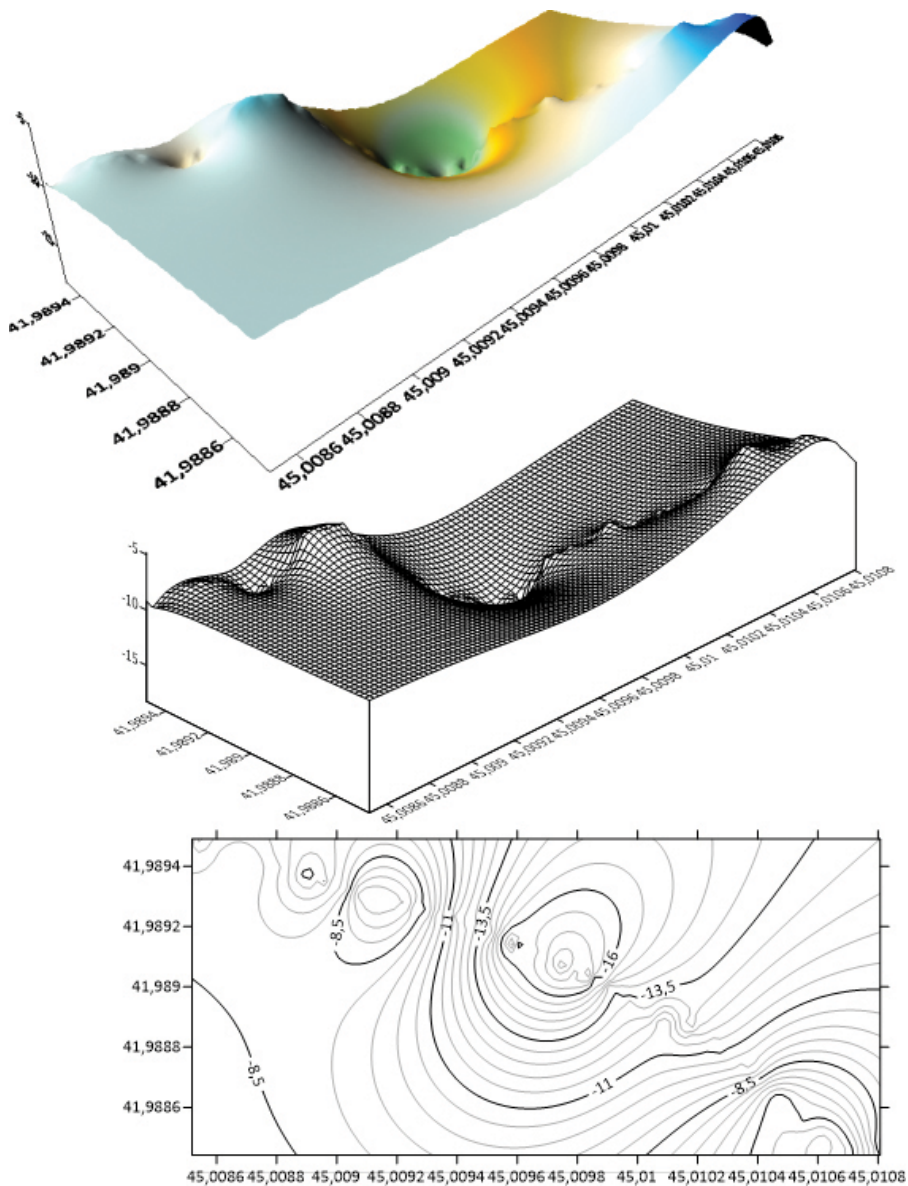


**ნახ. 2.8** მოსილვის პრიზმის კაშხლისპირა ნაწილის ხელოვნური დაღრმავების შედეგად ამოღებული ნატანის აკუმულაციური კუნძული გუმათის წყალსაცავში

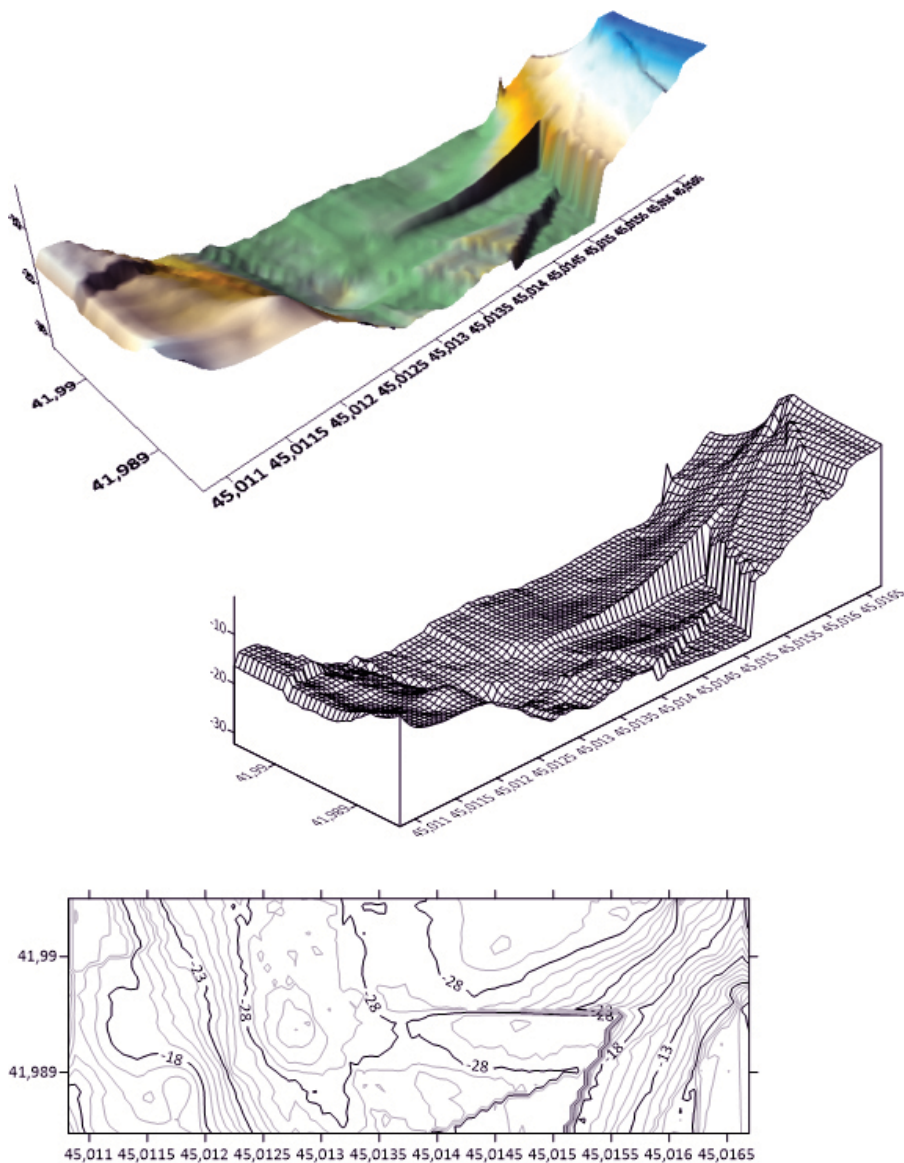
სპლოატაციის ვადა 100 წელზე მცირეა, მოსილვის პრიზმმა თითქმის მიაღწია, ან ახლო მომავალში მიაღწევს ზღვრულ მოცულობას (ზაჰესი, ორთქალჰესი მდ. მტკვარზე, ლაჯანური, გუმათი, ვარციხის მდ. რიონზე). ამ ობიექტებზე ენერგეტიკული წყალმიმღების ნორმალური ექსპლოატაციის მიზნით, მუდმივად მიმდინარეობს წყალსაცავის განტირთვა ნატანისაგან ე.წ. „თვითგანტირთვის“ და ხელოვნური დაღრმავების წესით.

წყალსაცავის მოსილვის პროცესის შეჩერება შეუძლებელია, რადგან ის მდინარის აუზში მიმდინარე გამოფიტვისა და სხვა მუდმივმოქმედი ფაქტორის ფუნქციაა. შესაძლებელია მხოლოდ მისი ექსპლოატაციის ვადის გახანგრძლივება ნატანისგან ხელოვნურად განტირთვის გზით და ნატანდამჭერი ხელოვნური ქვაბულების შექმნით (ნახ. 2.7). ამისათვის, წყალსაცავსა და შენაკადების კალაპოტებში ამოღებული უნდა იყოს ნატანდამჭერი ქვაბული-ორმოები (ნახ. 2.8). ასეთი ნატანდამჭერები ინერტული მასალის კარიერებად შეიძლება გარდაიქმნას და პერიოდულად საჭიროებენ ნატანის ამოღებას. ასეთ ნატანდამჭერებში, დიამეტრის სიდიდის შესაბამისად, ნატანი მუდმივად დაილექება.

ექსპედიციების პროცესში 2019-2020 წლებში, სიონის წყალსაცავის ფსკერის ექოლოტირების ფრაგმენტები კაშხლის მიმდებარე ზოლში, ასახულია ნახ. 2.9 და 2.10.



**ნახ. 2.9** სიონის წყალსაცავის ფსკერის ექოლოტირების შედეგები კაშხლის მიმდებარე ზოლის მარჯვენა ნაწილში



**ნახ. 2.10** სიონის წყალსაცავის ფსკერის ექოლოტრების შედეგები კაშხლის მიმდებარე ზოლის ფილტრაციულ მონაკვეთთან (მარცხენა ნაწილი)

## 2.4. მოსილვის პრიზმის დინამიკის კვლევა ნატურული ექსპერიმენტის გამოყენებით

დღეისათვის განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილებულია წყალსაცავების ზედა ბიეფში მიმდინარე აკუმულაციურ პროცესებზე, ვინაიდან ეს საკითხი მანამდე არ განიხილებოდა, როგორც წყალსაცავის ფუნქციონირების ნეგატიური შედეგი. განსაკუთრებული ინტერესი ზედა ბიეფში მიმდინარე აკუმულაციურ პროცესებზე იმითაა გამოწვეული, რომ მათი შესწავლის გარეშე შეუძლებელია კატასტროფული დატბორვის ზონაში მოხვედრილი დასახლებული პუნქტებისა და კომუნიკაციების გამოყოფა და შესაბამისი რისკების შეფასება. მეორე მნიშვნელოვანი მიზეზი ისაა, რომ აღნიშნული ნეგატივები ექსპლოატაციის შუა ფაზაში ჩნდება, ხოლო დრამატულ, მოგჭერ კი, ტრაგიკულ ხასიათს წყალსაცავის ვადის ამოწურვის შემდეგ იღებენ.

მოქმედ წყალსაცავებზე მოსილვის პრიზმისა და წონასწორული კალაპოტის ფორმირების პროცესებისა და მათი პარამეტრების შესწავლა, რთული და ხანგრძლივი პროცესია. დღეისათვის მის შესახებ საკმარისი ცოდნა არ არსებობს. ამის გამო, წყალსაცავების ადგილის შერჩევისას მოსალოდნელი ნეგატივები იგნორირებულია. შესაბამისად, მისი ზემოქმედების ზონაში განლაგებული დასახლებების უსაფრთხოების ზომების გათვალისწინება, აკუმულირებული ნატანის მოცულობისა და ფრაქციული შედგენილობის განსაზღვრა, ასევე ნატანის დეფიციტით გამოწვეული ზღვისპირის აბრაზიის რისკების შეფასება, პრაქტიკულად არ ხდება. ამავე მიზეზით, ამ ნეგატივების აცილება-ადაპტაციის მეთოდები არ არსებობს.

ნატურული ექსპერიმენტი აღნიშნული ნეგატივების გაუვნებლობისა და ცოდნის დეფიციტის შევსების მაღალეფექტური საშუალებაა. იგულისხმება მცირე ხელოვნური წყალსატევების შექმნა, სადაც შესაძლებელი იქნება დროის მოკლე მონაკვეთში (ერთ-ორ წელზე ნაკლებ დროში) მოსილვის პრიზმისა და წონასწორული კალაპოტის ფორმირების პროცესების კომპლექსური შესწავლა. საამისოდ, სამი განსხვავებული რეჟიმის მთის მდინარე შეირჩა: კავკასიონის მთავა-



რი წყალგამყოფი ქედის სამხრეთ ფერდობზე მდინარეები – რუ და რუჩუა, მდ. რიონის შენაკადები (დასავლეთი საქართველო, რაჭა) და თირლეთის ქედის სამხრეთ-აღმოსავლეთით (აღმოსავლეთი საქართველო, თბილისის მიდამოები). მათი შედარებით სწორხაზოვანი მონაკვეთები გადაიკეტა დაბალი, ერთ მეტრამდე სიმაღლის ჯებირებით და დაიფარა სტაციონარულ დაკვირვებათა განივი და გასწვრივი კვეთების ქსელით. ქსელი მოიცავდა წყალსატევს და მის ზემოთ მდინარის კალაპოტს, რომლის სიგრძე საგუბარის სიგრძეს ორჯერ მაინც აღემატება. მოსილვის პრიზმისა და მისი შლეიფის აგეგმვა შენაკადების წყალდიდობა-წყალმოვარდნების სიხშირის გათვალისწინებით მიმდინარეობდა ინსტრუმენტული მეთოდით. მონიტორინგის შედეგების ანალიზისათვის გამოყენებული იყო მათემატიკური სტატისტიკის (უმცირეს კვადრატთა) და დიფერენციალური აღრიცხვის მეთოდები.

გამოთვლების შედეგების აპრობაცია გუმათის, ვარციხის, ჟინვალისა და სიონის წყალსაცავებზე ხდებოდა (ნახ. 2.11).

ნატურული ექსპერიმენტით გაირკვა, რომ წყალსაცავის მოსილვა ყველაზე ინტენსიური ექსპლოატაციის პირველ ფაზაშია. ამ ფაზაში შენაკადების ნატანი და ნაპირების დეფორმაციით წარმოქმნილი მყარი მასალა თითქმის მთლიანად მასში ილექება. მოსილვის პრიზმის ჩამოყალიბება წყალსაცავსა და შენაკადებში ერთდროულად, მაგრამ სხვადასხვა სიჩქარით ხდება. ნატანის ფრაქციები ( $d \leq 1.0$  მმ), რომელთა ჰიდრაულიკური სიმსხო ( $\omega$  სმ/წმ) ტურბულენტურ გარემოში დაბალია, დინებებს ექსპლოატაციის საწყის ფაზაში მთელ წყალსაცავში გადააქვთ. მათი ერთი ნაწილი, წყალსაცავის რეგულირების ტიპის შესაბამისი სისქის ფენასაც წარმოქმნის. ასეთი ფრაქციების დანარჩენი რაოდენობა ( $\geq 30\%$ ) პრიზმის ჩამოყალიბებაში არ მონაწილეობს, რადგან გაშვებულ წყალს ქვედა ბიეფში გადააქვს. ამ ფაზაში მსხვილი ნატანის გადატანა ქვედა ბიეფში ეპიზოდურად, აგარიული წყალგაშვებების დროს ხდება.

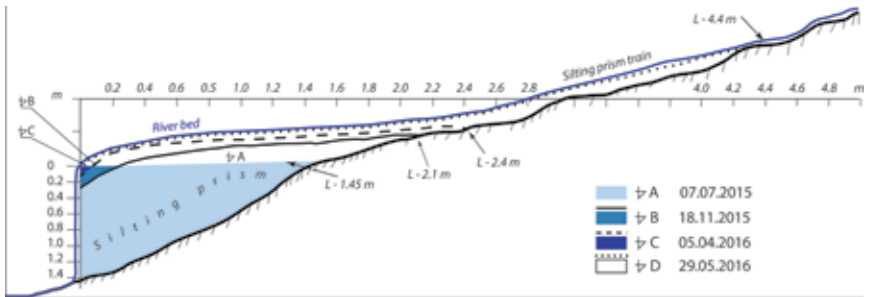
მომდევნო ფაზებში, წყალსაცავიდან გატანილი ნატანის წილი და დიამეტრი თანდათან იზრდება და მესამე ფაზის დასასრულს მათი



**ნახ. 2.11** ნატურული ექსპერიმენტი მთის მდინარეებზე (რუ, რუჩუა და ვერე, 2015-2021) და დაშბაშის წყაროს დებიტის მონიტორინგი

სიდიდე მდინარის ნატანის საწყის მნიშვნელობას უტოლდება. მოსილვის პრიზმის განვითარება მკვეთრად აქტიურდება, როდესაც მსხვილფრაქციული ნატანი, რომელიც შეტბორვის მრუდის ზონაში ილექება, ასიმეტრიულ თხემს წარმოქმნის. ამ აკუმულაციური წარმონაქმნის კაშხლისკენ მიმართული ფერდი უფრო ციცაბოა, ვიდრე შენაკადებში წარმოქმნილი ფერდი – შლეიფი. ასეთი სერი თანდათან იზრდება სიგრძე-სიმაღლეში, უახლოვდება კაშხალს და როცა მას მიაღწევს, პრიზმის მოცულობა და წონასწორული კალაპოტის სიგრძე თავის ზღვრულ მნიშვნელობებს გაუტოლდება.

ექსპერიმენტმა უჩვენა, რომ პრიზმის ზრდის სიჩქარე მილევადია – წყალსაცავსა და შენაკადებში დალექილი მასალის საშუალო წლიური მოცულობა ( $r_s$ ), ექსპლოატაციის საწყის ფაზაში, უდიდესია; მეორე და მესამე ფაზებში – დროის მიხედვით მცირდება და ბოლოს, როდესაც პრიზმი ზღვრულ სიდიდეს აღწევს, ფაქტობრივად ნულის ტოლი ხდება (ნახ. 2.12).



**ნახ. 2.12** წყალსაცავის მოსილვა სხვადასხვა ფაზებში ნატურული ექსპერიმენტების მიხედვით

ამ მდგომარეობაში, მოსილვის პრიზმი ჩამოყალიბებულია როგორც აკუმულაციური ტერასა, რომელზეც შენაკადებს წონასწორული კალაპოტი აქვთ გამომუშავებული.

მოსილვის პრიზმის ზედაპირი, ზღვრულ მდგომარეობაში, კაშხლისაკენ დახრილ სიბრტყეს წარმოადგენს, რომელიც კაშხლიდან იწყება და იმ განივ-კვეთამდე ვრცელდება, სადამდეც წყალსაცავის

შეტბორვის მრუდი წყალდიდობა-წყალმოვარდნების დროს აღწევს. პრიზმის შლეიფის ზომები ძირითადად დამოკიდებულია შენაკადების ჰიდროლოგიურ-ჰიდრაგლიკურ მახასიათებლებზე: შლეიფის სიგრძე ( $L$ ); კაშხლის წყალსაგდების სიმაღლე ( $h$ ); ნატანის დიამეტრი ( $d$ ); წყლისა და ნატანის მაქსიმალური ხარჯები ( $Q_m, R_m$ ); წყალსაცავის ზემოთ მდებარე კალაპოტის დახრილობა ( $I\%$ ).

წონასწორული კალაპოტის სიგრძე უკუპროპორციულ კავშირშია მდინარის იმ მონაკვეთის დახრილობასთან ( $I\%$ ), რომელიც წყალსაცავის ზემოთ  $2L$  მანძილზე ვრცელდება. ეს ნიშნავს, რომ რაც უფრო დახრილია კალაპოტი, მით უფრო მოკლეა იგი. ექსპერიმენტის მიხედვით, ამ უკანასკნელის სიგრძე ( $L$ ) წყალსაცავის გაორმაგებულ სიგრძეს ( $2S$ ) არ აღემატება.

ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ წყალსაცავის ზემოთ განლაგებული მოსახლეობისა და ინფრასტრუქტურის დატბორვის რისკები, მოსილვის პრიზმისა და მისი შლეიფის სიმაღლის პროპორციულად იზრდება. რაც უფრო მეტ ადგილს იჭერს შლეიფი მდინარის კალაპოტში, მით მეტად იზრდება აღიღებული მდინარის კალაპოტიდან გადმოვარდნის ალბათობა.

ნატურული ექსპერიმენტის შედეგები აპრობირებულია გუმათის, ვარციხის, სიონის და ჟინვალის წყალსაცავებზე. აქედან, გუმათის, ვარციხისა და სიონის წყალსაცავებში მოსილვის პრიზმი და წონასწორული კალაპოტი ყველაზე ახლოსაა ზღვრულ სიდიდესთან. გუმათის წყალსაცავსა და მის ზემოთ მდინარის კალაპოტში, მრავალი ათეული წლის განმავლობაში აკუმულირებულმა ნატანმა იმდენად აამალა მდ. რიონის კალაპოტი, რომ იგი ყოველი წყალმოვარდნისას ნაპირებიდან გადმოდის და მიმდებარე დასახლებებსა და ინფრასტრუქტურას ტბორავს. წყალსაცავი თითქმის 50 წელი იცავდა ფოთის პორტს რიონის წვრილფრაქციული ნატანისაგან.

ამჟამად მოსილვის პრიზმის ტანი კაშხლიდან 5 კმ-ზე ვრცელდება. მისი მოცულობა 38.0 მლნ მ<sup>3</sup>-მდეა. შლეიფის სიგრძე თითქმის 8 კმ-ია, მოცულობა – 13.0 მლნ მ<sup>3</sup>, ხოლო მდ. რიონის კალაპოტის აწევის



უდიდესი სიმაღლე 5.5 მ (ჟონეთი-მამანმინდის ხიდის მონაკვეთი). შესაბამისად, მოსილვის პრიზმის სრული მოცულობა 51.0 მლნ მ<sup>3</sup>-ის ფარგლებშია.

შესაბამისად, მოსილვის პრიზმის ტანზე გამავალი მდინარის კალაპოტი, თავის საწყის მდებარეობასთან შედარებით, 5.5 მ-ით მაღლაა. ამის გამო მისი დახრილობა იმდენად გაიზარდა, რომ მას ნატანის წვრილფრაქციული ნაწილის ( $d \leq 1.0$  მმ), რომელიც ნატანის 40% შეადგენს, ქვედა ბიეფში ტრანსპორტირება შეუძლია.

ნატურული ექსპერიმენტი 2015-2021 წლებში, გუმათის წყალსაცავის გარდა, ვარციხის წყალსაცავზე და განსხვავებული ჰიდროლოგიის მქონე მთის მცირე მდინარეებზე მიმდინარეობდა (ნახ. 2.13). მონიტორინგის შედეგები მრავალგვარ ინფორმაციას წარმოადგენს მთის განსხვავებული რეჟიმისა და სიდიდის წყალსაცავების მოსილვის პრიზმის განვითარების შესახებ. ამიტომ, საჭიროა მსგავსი სახის ექსპერიმენტების შემდგომშიც გაგრძელდება.

## **2.5. წყალსაცავში ნატანის ფრაქციული განაწილება. ნატანდამჭერი და ნატანმომპოვებელი კარიერების განლაგება**

მთის მდინარეებზე შექმნილ წყალსაცავებში ნატანის სივრცით განაწილებას წყლის დონეების რეჟიმი, ნატანის სეზონური განაწილება და ფრაქციული შედგენილობა განსაზღვრავს. წყალსაცავის ავსების ფაზა უპირატესად წყალდიდობა-წყალმოვარდნების სეზონს ემთხვევა. მის დასაწყისში წყლის დონე მინიმალურია, რის გამოც შენაკადებს ფსკერული ნატანი ყველაზე ღრმად შეაქვთ წყალსატევში. ნატანის ასეთი სივრცე-დროითი განაწილება ტიპურია მრალწლიური და სეზონური რეგულირების წყალსაცავებისათვის, რის გამოც მათი მოსილვის პრიზმი ასიმეტრულია. პრიზმის კაშხლისკენ მიმართული ფერდი მეტადაა დახრილი და დახრილობის კუთხის სიდიდეს ნატანის სიმსხო განსაზღვრავს.

წყალსაცავში შეტანილი მყარი მასალა (ნატანი, სანაპიროს დეფორმაციის პროდუქტი) მის ქვაბულში დიამეტრის ( $d$ ) და ჰიდრაულიკური სიმსხოს ( $\alpha$ ) მიხედვით ნაწილდება. თიხა, ლამი და დანარჩენი ნაწილაკები, რომელთა  $d \leq 1.0$  მმ, ტურბულენტურ ნაკადს ყველა მიმართულებით გადააქვს, კაშხლამდე აღწევენ და ანტიფილტრაციულ ფენას ქმნიან, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ფსკერისა და ფერდობების კოლმატაციის პროცესში. მთელი წლის განმავლობაში იმდენად ინტენსიურია ამ ფენის ცემენტაცია-კონსოლიდაციის პროცესი, რომ წყალსაცავის დაცლის ფაზაში მდინარე ბოლომდე ვერ ასწრებს მის ჩაჭრას და უფრო მსხვილი ნაწილაკებისგან შექმნილი ფენები მასზე ეფინება. ასეთი წვრილფრაქციული ფენები, წყალსაცავის არსებობის პირველ ფაზაში ყოველწლიურად ყალიბდება, დანარჩენ მსხვილფრაქციულ ფენებს შორისი შუალედური ნაფენების სახით. ასეთი დიამეტრის ნაწილაკები მოსილვის პრიზმის ჩამოყალიბებაში აქტიურად მონაწილეობენ. მათგან შექმნილი ფენის სისქე ( $r$ ) მრავალი ცვლადის ფუნქციაა, მათ შორის ყველაზე მე-

ტად წვრილფრაქციული ნატანის რაოდენობაზე ( $R$ ), ჰიდრაულიკურ სიმსხობე ( $\omega$ ) და ღონეების რეჟიმზეა ( $H$ ) დამოკიდებული.

$$r = f(R, \omega, H) \quad (2.20)$$

მყარი მასალის დანარჩენი ფრაქციები უმცირესი სამუშაო ღონიდან ზემოთ, შეტბორვის უდიდესი ღონის შესაბამის ჰორიზონტამდე ფენებს ქმნიან (2.20). ამასთან, რაც უფრო მსხვილია ნატანი, კაშხლიდან მით უფრო დამორებით აყალიბებს შესაბამის ფენას.

სხვადასხვა ტიპს მდინარეებზე შესრულებული ნატურული ექსპერიმენტების მონაცემებით, მოსილვის პრიზმის ის ნაწილი, რომელიც კაშხლის მიმდებარე ზონაშია მოქცეული, ყველაზე წვრილი ნატანისგან არის აგებული. მომდევნო ზონაში მდებარე პრიზმის შუა ნაწილში, ნატანის თითქმის მთელი სპექტრია მოცემული, მსხვილი ( $d \geq 5.0$  მმ) მასალის უპირატესობით. პრიზმის დანარჩენი ნაწილი, ანუ შლექიფი, რომელიც ნორმალური შეტბორვის ჰორიზონტის ზემოთ, შენაკადების შესართავამდე ვრცელდება, თითქმის მთლიანად არის  $d \geq 5.0$  მმ მასალისაგან აგებული.

ნატურული ექსპერიმენტების შედეგები ადასტურებს, რომ მოსილვის პრიზმის განვითარების სინქრონულსად წყალსაცავის, როგორც წყლის მარაგის შემქმნელ-გამანაწილებლის როლი მცირდება. ამ პროცესის დასაყოვნებლად და წყალსაცავის შემცირებული სარგებლიანობის საკომპენსაციოდ, მის მოსილვის პრიზმში მოქცეული ნატანი მრავალი მიზნით უნდა იყოს გამოყენებული. ამისათვის, პრიზმის ტანზე ნატანის კარიერები უნდა მოეწყოს ეკონომიკის სახვადასხვა მოთხოვნილებათა შესაბამისად. უპირველესად კი ზღვისპირაში მის მიერ გამოწვეული ნეგატივის – ნატანის დეფიციტის გასანეიტრალებლად. თუ ასეთი ნეგატივი კატასტროფით ემუქრება ქალაქს, ან სხვა დასახლებებს და სანაპირო კომუნიკაციებს, ასეთი ქმედება გადაუდებელი საჭიროებაა.

ნატანმომპოვებელი კარიერების სისტემა მის შუა და ზემო ნაწილზე – შლექიფზე უნდა განლაგდეს. ამასთან, თუ ლამზე და ქვიშაზე მოთხოვ-



ნიღება ჭარბობს (ნიადაგების გასანოყიერებლად), კარიერების ასეთი სისტემა კაშხლის მიმდებარე ზონაში უნდა ჩამოყალიბდეს.

ცხადია, კარიერების მიერ გამოთავისუფლებული მოცულობები, ნაწილობრივ გაზრდიან წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობას და ამით მისი მოსილვის პროცესს დააყოვნებენ. ნატანის მოპოვების ასეთი სისტემა იმითაც არის სასარგებლო, რომ მდინარე ნატანის მუდმივი, ამოუწურავი მიმწოდებელია.

წყალსაცავის მოსილვის პრიზმის 60-70% მაღალი ხარისხის პლაჟამგები ნატანია, რომლის გამოყენების საჭიროება, სავარაუდოდ, უახლოეს 5-10 წელიწადში დადგება.

ვარციხის წყალსაცავის მოსილვის პრიზმი თითქმის მთლიანად ლამით და წვრილი ქვიშითაა აგებული. ამიტომ ნაპირდაცვის, სამშენებლო ინდუსტრიისა და სხვა მსგავსი მიმართულებებით სერიოზულ ინტერესს არ წარმოადგენს.



# თავი

## წყალსაცავი და ჰიდროენერგეტიკის პრობლემა

# 3

### 3.1. ენერგეტიკული წყალსაცავის განსაკუთრებული თვისებები. მათი მშენებლობის ძირითადი მიზნები და ნეგატივები

წყალსაცავს, რომლის საექსპლოატაციო რეჟიმის მთავარი პრიორიტეტი ენერგეტიკული მიზნების მომსახურებაა, შეიძლება რამდენიმე სხვა ფუნქციაც გააჩნდეს (წყალმომარაგება, ირიგაცია, ნაოსნობა და სხვ.). უპირველესად მისი მთავარი მიზანი ჰიდროენერჯის გამომუშავებაა. დანარჩენი მომხმარებლები მისი მომსახურებით მხოლოდ შესაძლებლობების ფარგლებში კმაყოფილდებიან.

ენერგეტიკული წყალსაცავის ერთერთი მახასიათებელი თვისებაა წყლის დონის მკვეთრი

რყევა, ისე რომ ამპლიტუდა დღელამეში შეიძლება 1.0 მ აღემატებოდეს. დონის ასეთი ინტენსიური რყევა სერიოზულ უარყოფით გავლენას ახდენს ქვაბულის შენაკადების კალაპოტებისა და ჰიდრონაგებობების მდგრადობაზე. ასეთი მოქმედება ამ ტიპის წყალსაცავების სერიოზული ნეგატიური თვისებაა.

დონის რყევით წარმოქმნილი წნევის ცვალებადობა ქვაბულის ამგებელი ქანების ფორებსა და ბზარებში საფრთხეს უქმნის წყალსაცავს. ავსების ფაზაში წყალი ქანების ფორებსა და ბზარებში შედის იმ წნევით, რომელსაც ქმნის მის გემოთ არსებული წყლის სვეტი (P პასკ.). დონის ვარდნისას, თუ დონე სწრაფად ეცემა, ბზარი, ან ფორა ვერ ასწრებს წყლისგან სინქრონულად განტვირთვას და შინაგანი წნევა წარმოიქმნება, რომელიც თანდათან აფართოებს ბზარს და ფილტრაციულ სადინარს. როდესაც ასეთი სადინარები ხსნად ქანებშია გამომუშავებული, აქტიურდება სადინარების გაფართოვების მეორე სახე – ქანის ხსნადობა და ფილტრირებული წყლის მიერ ბზარებიდან ხსნარის გამოტანა-გამოლექვა.

აღნიშნული პროცესები წყალსაცავებისათვის საშიში ნეგატივია. ის ყველაზე აქტიურია წყალსაცავის არსებობის პირველ ფაზაში და შეიძლება კატასტროფის მიზეზი გახდეს. კატასტროფის ალბათობა ( $\alpha$ ) ამ ფაზაში პირდაპირპროპორციულია კალაპოტის ამგებელი ქანების ხსნადობის ( $\eta$ ), დონეთა რყევის ამპლიტუდის (A) და ბზარების გავლით წყლის ფილტრაციის სიჩქარის (V).

$$\alpha = \Phi(\eta, v) \quad (3.1)$$

ცხადია, გათვალისწინებული უნდა იყოს ის ფაქტიც, რომ ფილტრაციის პროცესს თანდათან ანეიტრალებს წყალსაცავში სინქრონულად მიმდინარე მოსილვა და კოლმატაცია. მდინარის ნატანი ფსკერსა და ფერდობებზე ილექება და მეტნაკლებად ფარავს მათ. ნატანის უწვრილესი ფრაქციების მიერ ფორებისა და ბზარების ამოვსება-კოლმატირება მთელ პერიმეტრზე სინქრონულად მიმდინარეობს.

წყალსაცავის ბოლო ფაზაში, როდესაც მასში მოსილვის პრიზმი ჩამოყალიბდება, ფილტრაცია და წნევათა სხვაობით წარმოქმნილი

პროცესი, როგორც აღნიშნული სახის კატასტროფის მიზეზი, ფაქტობრივად ნეიტრალდება.

ენერგეტიკული წყალსაცავის ერთერთი ნიშანია წყლის დიდი სიღრმე. ეს შეესაბამება იმ ცნობილ ჭეშმარიტებას, რომ ჰიდროტურბინების ეფექტიანობა მათ გემოთ არსებული წყლის სვეტის სიმაღლის ფუნქციაა. ამის გამო, ასეთი წყალსაცავები, უპირატესად, იმ ვიწრო ღრმა ხეობებში შენდება, რომელთა კალთები ნაკლებად, ან საერთოდ არ გამოიყენება სამეურნეო თვალსაზრისით.

გარკვეული დროის შემდეგ, როდესაც მოსილვის პრიზმი აკუმულაციურ ტერასად ( $F_1$ ) ჩამოყალიბდება, წყალსაცავის ადგილზე, მისი სახით უკვე არსებობს აკუმულაციური ზედაპირის, რომელიც წყალსაცავის სარკის ( $F$ ) ფართს 30-50%-ით აღემატება და გაცილებით მაღალი სამეურნეო ღირებულებისაა.

$$F_1 = mF, 1.3 \leq m \leq 1.5 \quad (3.2)$$

ეს ფაქტი საეჭვოს ხდის მოსაზრებას, რომ ენერგეტიკული წყალსაცავები დიდ სავარგულ ფართობებს ტბორავენ და ამით ამცირებენ მთიანი ქვეყნების ისედაც მცირე სავარგულების ფონდს. ჭეშმარიტება ისაა, რომ ისინი ნამდვილად ტბორავენს გარკვეული სიდიდის ფართობებს, ოღონდ განსაზღვრული ვადით. ვადის ბოლოს წყალსაცავის ადგილზე წარმოქმნილი აკუმულაციური ტერასა სიდიდით და ზოგჯერ სარგებლიანობითაც მნიშვნელოვნად უმჯობესია დატბორილ ფართობზე კომპლექსური გამოყენების თვალსაზრისით.

**ენერგოწყალსაცავების მშენებლობის თავისებურებები, მიზნები და ნეგატივები.** საქართველოს ჰიდროელექტრო რესურსი 15.5 მლნ კვტ/სთ შეადგენს. ეს იმის საფუძველია, რომ წლიურად 136 მლრდ კვტ/სთ ელექტროენერგიის გამომუშავება ხდება [96]. ასეთი რესურსი უდიდესი ეროვნული სიმდიდრეა, მაგრამ ტერიტორიულად და წლის სეზონების მიხედვით, არათანაბრადაა განაწილებული. მისი დიდი წილი დასავლეთ საქართველოს მთიანეთზე მოდის, რაც მეტად ართულებს ჰიდროენერგიის ეფექტიანად გამოყენებას.

ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული მეურნეობის განვითარებას შედეგი თავისებურებები ახასიათებს:

- ა. 1960-იანი წლებიდან დაიწყო მძლავრი ( $E \geq 100$  ათასი კვტ) ელექტრო სადგურების მშენებლობა;
- ბ. 1950-იანი წლებიდან ფართოდ გაიშალა კასკადური ჰესების მშენებლობა;
- გ. უპირატესობა მაღალი და ზემალაღკაშხლიანი ჰესების აგებას მიენიჭა.

ცნობილი ჭეშმარიტებაა, რომ მდინარის ჩამონადენის კასკადური რეგულირებით, მნიშვნელოვნად იაფდება ელექტროენერგია და იზრდება ჰიდროელექტროსადგურების ეფექტიანობა და ენერჯის გამომუშავება.

აღნიშნული თავისებურებების შედეგი ისაა, რომ შესაძლებელი გახდა წყალუხვ მდინარეებზე დიდი მოცულობის ( $W \geq 100$  მლნ მ<sup>3</sup>) წყალსაცავების შექმნა. შედეგად, მნიშვნელოვნად გაიზარდა ელექტროენერჯის თვითღირებულება, მოიხსნა მისი დეფიციტი პიკის საათებში, წყალმცირობის სეზონებსა და წლებში.

ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავების პოზიტივებთან ერთად, გაჩნდა მნიშვნელოვანი ნეგატივიც – მდინარეთა გრძელპერიოდული გადაკეცილობით მრავალი წლით შეწყდა ზღვისპირა პლაჟების შევსება პლაჟამგები ნატანიტ. ნატანიტის მზარდმა დეფიციტმა სერიოზულად გააძლიერა სანაპიროს აბრაზია და ზღვამ მნიშვნელოვანი ზარალი მიაყენა სანაპირო დასახლებებსა და კომუნიკაციებს.

### 3.2. მოსილვის პრიზმის განვითარება წყალსაცავის არსებობის ფაზებში და მისი მოცულობის გამოთვლის მეთოდები

წყალსაცავის მოსილვა მუდმივი, შეუქცევადი პროცესია, რომელიც შეწყდება მაშინ, როდესაც მოსილვის პრიზმის მოცულობა (W) ზღვრულ სიდიდეს მიაღწევს. ამ პროცესში წყალსაცავი მუდმივად კარგავს მარეგულირებელ მოცულობას და ჩამონადენის მრავალწლიური რეგულირების უნარი მცირდება სეზონურამდე, ბოლოს კი მას მხოლოდ დღეღამური ჩამონადენის მართვა შეუძლია. ამ დროს შენაკადების შესართავებში და მათ ზემოთ, გარკვეულ მანძილზე, მუდმივად გროვდება ნატანი. ამის გამო მათი გამტარობა მცირდება და შესაბამისად, იზრდება კატასტროფული წყალდიდობების ალბათობა და რისკები. წყალსაცავის არსებობის მესამე, ანუ ბოლო ფაზაში შენაკადები პრაქტიკულად წონასწორულ მდგომარეობაშია, ხოლო მათი დახრილობა (J) და მოსილვის პრიზმის სიგრძე (L) იმ სიდიდისაა, რომ შენაკადებს შეუძლიათ ნატანის ყველა ფრაქციის ტრანსპორტირება ქვედა ბიეფში.

ასეთ მდგომარეობაში მოსილვის პრიზმი აკუმულაციურ სხეულს წარმოადგენს, რომელიც მთლიანად ავსებს წყალსაცავს და შლეიფის სახით შენაკადებში ვრცელდება იმ მანძილზე, რომელსაც მდინარის საწყისი დახრილობა და ყველაზე მსხვილი ნატანის დიამეტრი განსაზღვრავს.

დღემდე, წყალსაცავის ადგილის შერჩევასა, არ ხდებოდა ამ პრობლემების დროსა და სივრცეში დინამიკის გათვალისწინება, რადგან არ არსებობდა მათი პროგნოზირებისა და მოსალოდნელი შედეგების შეფასების მეთოდი.

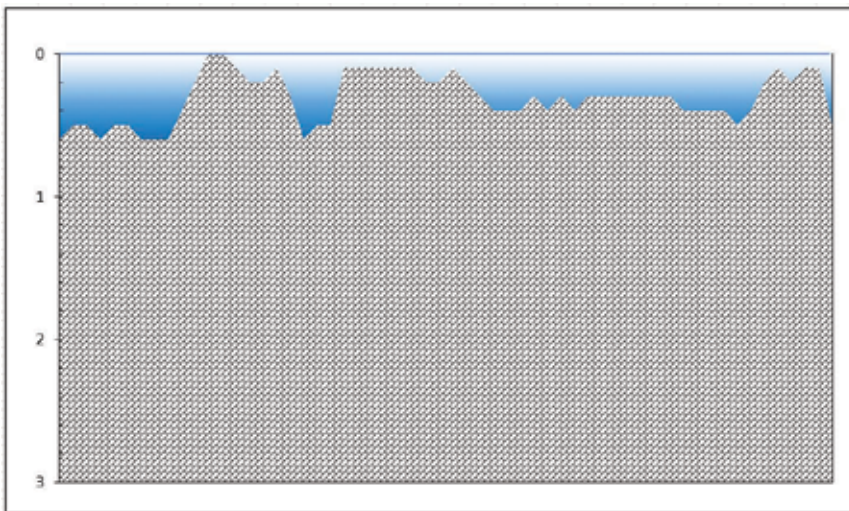
წყალსაცავების მოსილვის პერიოდული გამოკვლევა და  $W=f(H)$  სამუშაო მრუდის კორექცია კვლევების მიხედვით, ის აუცილებლობაა, რომელიც გამორიცხავს უხეშ შეცდომებს წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის მართვის პროცესში. კვლევის მეთოდები მრავალგვა-

რია. მათგან, თანამედროვე ეტაპზე, ყველაზე მარტივი, საიმედო და აპრობირებულია: წყალ-საბალანსო მეთოდი და მოსილვის პრიზმის ბათიმეტრიული და ზედაპირული აგეგმვა (ნახ. 3.1, 3.2).

მოსილვის პრიზმის ბათიმეტრიული აგეგმვით (ექოლოტირებით) გამოითვლება პრიზმის ტანი, ხოლო ზედაპირული აგეგმვით – მისი შლეიფი. ამისათვის წყალსაცავის ქვაბულის ტოპოგრაფიული რუკა უნდა დაიყოს  $n$  რაოდენობის სექტორად ისე, რომ ქვაბული მთლიანად უნდა დაიფაროს ასეთი საზომი ბადით. სასურველია სექტორები ტოლი სიგანის იყოს. შემდეგ, თითოეული განივი კვეთის გასწვრივ ფსკერის ექოლოტირება უნდა შესრულდეს. ასეთი ექოგრამები ტოპორუკაზე დაიტანება კვეთების მიხედვით. ყოველი ასეთი ექოგრამა ქვაბულის განივკვეთის ფორმის შესაბამისად ტრაპეციას, სამკუთხედს, ან სხვა ისეთ გეომეტრიულ ფიგურას გამოსახავს, რომლის ფართობის გაანგარიშება შესაძლებელია.



ნახ. 3.1 ვარცხის წყალსაცავის ექოლოტირება



**ნახ. 3.2** ვარციხის წყალსაცავის მოსილვის პრიზმის ექოლოტორების მარშრუტი და განივი ჭრილი (17.11.2020)



ამის შემდეგ, ორ პარალელურ კვეთს შორის მოქცეული პრიზმის ნაწილი განიხილება, როგორც ნაკვეთილი პირამიდა, ან პრიზმი, რომელთა ქვედა ფუძეა ქვედა კვეთის ფიგურა, ხოლო ზედასი ზედა კვეთის ფიგურა.

ამ მეთოდით მიიღება  $n$  რაოდენობის სხეულთა მოცულობები, რომელთა ჯამი დასაშვები მიახლოებით გამოსახავს პრიზმის წყალქვეშა ნაწილის (ტანის)  $W_v$  მოცულობას და ფორმას.

$$W_v = \sum_i^n w_i \quad (3.3)$$

შლეიფის მოცულობის გამოკვლევა ინსტრუმენტული აგეგმვით ხდება. ამ გზით მიღებული ადგილის სიმაღლეები კვლავ ტოპორუკაზე დაიტანება და ზემოაღნიშნულის მსგავსი მათემატიკური მოქმედებით გამოთვლება შლეიფის  $W_c$  მოცულობა და განისაზღვრება ფორმა. საბოლოოდ, მოსილვის პრიზმის ტანისა და შლეიფის მოცულობათა შეკრებით, გამოითვლება მისი მთლიანი მოცულობა.

### 3.3. წყალსაცავის დონის რყევის ნეგატივები.

#### 3.3.1. წყალსაცავის დონის რყევის ნეგატივები

მთის წყალსაცავების დამახასიათებელი თვისებაა წყლის დონის დღე-ღამური რყევის მაღალი ამპლიტუდა ( $A \geq 0.5$ მ) და სიჩქარე ( $\tau \geq 0.5$  სმ/სთ). ისეთ წყალსაცავზე, რომელიც ენერგომომხმარების პიკის მოხსნას ემსახურება, დონის დღეღამური რყევის უდიდესი სიმაღლე 1.0 მ-ს აღემატება. დონის ასეთი დინამიკა სერიოზულ ზემოქმედებას ახდენს ფერდობებისა და ფსკერის ამგებელი ქანების მდგრადობაზე. წყალსაცავის ავსების პერიოდში, წყალი მზარდი წნევით ამგებელი ქანების ფორებსა და ბზარებში შედის. იმ წყალსაცავებზე, რომელთა დონის სეზონური რყევის სიმაღლე 50-70 მ აღწევს ფორებში არსებული წყლის წნევა 5-7 ატმ იზრდება. მომდევნო დროში, როდესაც დონე 0.5 მ/სთ სიჩქარით ეცემა, ბზარში არსებული წყალი თითქმის იმავე სიდიდის წნევის გავლენას განიცდის, გარეგანი წნევა კი დაახლოებით 1.0 ატმ არის შემცირებული. ასეთი პროცესების პერმანენტული ზემოქმედების შედეგად, ვითარდება ფერდობების ჰიდროგრაფიტაციული დეფორმაცია. სანაპიროს ასეთი დეფორმაციის დამახასიათებელი ფორმაა ფერდობის ჩამონგრევა-ჩამოშლა გრუნტის მსხვილი ( $b \geq 0.5$  მ) ბლოკებად. ნაპირების დეფორმაციის ასეთ პროცესს ტალღური ზემოქმედება აძლიერებს. დონეების რყევის გამო, ტალღების აბრაზიული მოქმედება ავსების ფაზაში ინაცვლებს ქვემოდან ზემოთ, დაცლის ფაზაში პირიქით.

შესაბამისად, წყალსაცავის დონის რყევის რეჟიმი ქარების რეჟიმთან ერთად, განსაზღვრავს ტალღური აბრაზიის სიძლიერეს და მოქმედების არეს. ისეთ ფერდობებზე, რომელთა დახრილობა  $35^\circ$ -ს აღემატება და აგებულია მეოთხეული ქანებით, კირქვული და დეფორმირებული კლდოვანი ნაშალი მასალით, ყალიბდება ე.წ. ჰიდროგრაფიტაციული ნაპირი.

ასეთი პროცესებით წარმოქმნილი მყარი მასალა დონის ვარდნის შესაბამისად ფსკერისკენ მიცოცავს, ხოლო გარკვეული ნაწილი დი-

ნებების მიერ გადაიტანება წყალსაცავის სიღრმეში და საბოლოოდ მოსილვის პრიზმის პარამეტრების ზრდასა და დინამიკაში მონაწილეობს.

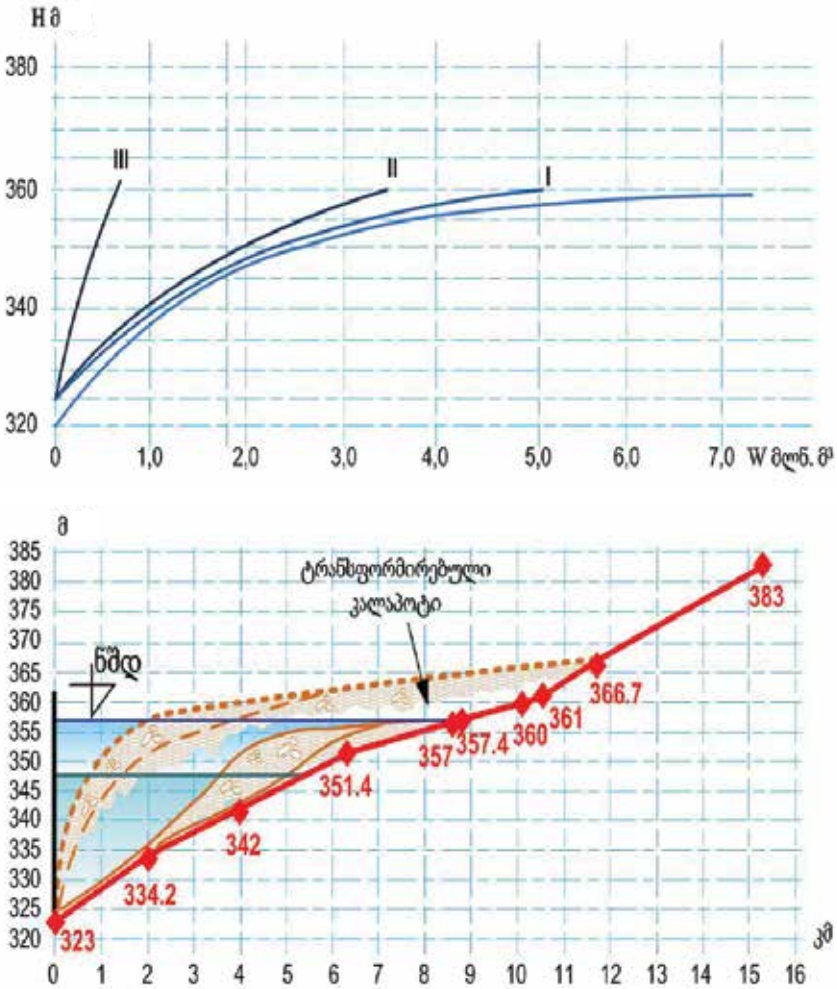
დონეების რყევა ფერდობებში მოძრავი გრუნტის წყლების პერიოდულ შეგუბებასაც იწვევს. ამის გამო, მაღალი დახრილობის ( $\eta \geq 30^\circ$ ) ფერდობებში იზღუდება გრუნტის წყლების მოძრაობა. ასეთ დროს მენყრული პროცესები აქტიურდება და წყალსაცავში, ამ პროცესების და გრავიტაციული ძალების მოქმედებით, ფერდების დეფორმაცია იწყება. ამ გზით წარმოქმნილი მასალა, მთის წყალსაცავების მოსილვის პრიზმის შემქმნელი მნიშვნელოვანი კომპონენტია.

### **3.3.2. ოპერატიული სამუშაო მრუდის $W = f(h)$ ტრანსფორმაცია და კორექციის აუცილებლობა**

წყალსაცავში აკუმულირებული წყლის ოპერატიული მართვის ინსტრუმენტი დონეების ( $h$ ) და მოცულობების ( $W$ ) ფუნქციონალური დამოკიდებულების მრუდი  $W = f(h)$ . მოსილვის პრიზმის მოცულობის მატების სინქრონულად, მცირდება აკუმულირებული წყლის მოცულობა. ამ ნეგატიურ პროცესს ის ფაქტი ამწვავებს, რომ ნატანის უმეტესი წილი წყალსაცავის სასარგებლო ნაწილში, ანუ წყალსაშვის ზღურბლს ზემოთ იღეჭება. ეს პროცესი ყველაზე ინტენსიურია წყალსაცავის არსებობის პირველ ფაზაში. ამ დროს ნატანის მსხვილრაქციული ნაწილი იმდენად ღრმად აღწევს წყალსაცავში, რომ მკვდარი მოცულობის შემცირებასაც კი იწვევს. მომდევნო ფაზებში, ნატანის მზარდი წილი წყალსაცავის ზემოთ, შენაკადების შესართავებში აკუმულირდება და პრიზმის შლეიფს ქმნის. ამ ფაზაში წყალსაცავის სასარგებლო ნაწილის მოცულობა პერმანენტულად, ოღონდ ნაკლებად ინტენსიურად მცირდება. მესამე ფაზაში ეს პროცესი პრაქტიკულად წყდება.

სამუშაო ოპერატიული მრუდი  $W = F(h)$  აღწერილი პროცესის შესაბამისად იცვლის მდებარეობას. ის მოსილვის პრიზმის ზრდის პროპორ-

ციულად გადაადგილდება ორდინატთა ღერძისკენ და საბოლოოდ იმ მდებარეობას აღწევს, რომელიც სასარგებლო მოცულობის ნულოვან სიდიდეს შეესაბამება (ნახ. 3.3).



**ნახ. 3.2** წყალსაცავის მოსილვის პრიზმის მდებარეობა განვითარების სხვადასხვა ფაზებში, სამუშაო მრუდის ტრანსფორმაცია მოსილვის პრიზმის მოცულობის ზრდის გამო და მისი კორექციის აუცილებლობა

ამიტომ, ამ მრუდით მიღებული გაანგარიშებების შედეგები ცდომილებებს შეიცავს, რომელნიც სიდიდით მოსილვის მოცულობის ტოლია და მასთან ერთად იზრდება.

საველე და ნატურული კვლევები ადასტურებს, რომ წყალსაცავის არსებობის პირველ ფაზაში, როდესაც შენაკადების მსხვილი ( $d \geq 5.0$  მმ) ნატანი თითქმის მთლიანად ხმარდება პრიზმის ზრდას, ამ უკანასკნელის მოცულობა ( $W_i$ ) შემდეგი მარტივი გამოსახულებით შეიძლება შეფასდეს:

$$W_i \approx nR_i \quad (3.4)$$

აქ:  $n$  არის წყალსაცავის არსებობის წლების რაოდენობა,  $R_i$  – წყალსაცავში აკუმულირებული მყარი მასალის წლიური მოცულობა, ხოლო მის მიერ გამოწვეული ცდომილება ასეთივე მარტივი გამოსახულებით გაიზომება:

$$\sigma = \frac{W_i}{W} 100\% \quad (3.5)$$

წყალსაცავის მომდევნო ფაზებში ცდომილების სიდიდე იზრდება, და ბოლოს თითქმის უტოლდება წყალსაცავის მოცულობას.

ცხადია, ასეთ გარემოებათა გამო,  $W = \Phi(H)$  სამუშაო მრუდი პერიოდულ კორექტირებას საჭიროებს, რაც საკმაოდ რთულ და შრომატევად საველე გაზომვებს და გამოთვლებს მოითხოვს. საამისოდ, ყველაზე ხშირად, ზემოთ განხილული წყალსაბალანსო და მოსილვის პრიზმის აგეგმვის მეთოდები გამოიყენება. მათი შერჩევა წყალსაცავის მორფომეტრიისა და მოსილვის პრიზმის მოცულობის გათვალისწინებით ხდება. ამასთან, უფრო ზუსტი შედეგების მიღება შესაძლებელია წყალსაბალანსო მეთოდით, რადგან მოსილვის პრიზმის მოცულობის გაანგარიშება, აგეგმვა-ექოლოტირების მონაცემებით, უფრო ძნელად მისაღწევი მიზანია.



# წყალსაცავი და ნაპირდაცვის პრობლემა

# 4

## 4.1. ზღვისპირის მოწყვლადი უბნების შეფასება ლიტერატურული, საარქივო, საექსპედიციო და სისტემატური მონიტორინგის შედეგებით

ოლო ათწლეულებში აქტიურად მიმდინარეობს ზღვისპირთან დაკავშირებული კვლევები: ზღვისპირზე წყალსატევების აბრაზიული ზემოქმედების რისკების შეფასება, ზღვის სანაპიროს თანამედროვე მდგომარეობა, დინამიკა, მოწყვლადობა კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების მიმართ, სანაპირო ხაზის სივრცე-დროითი ცვალებადობა, ზღვის დონის აწევის გავლენა სანაპირო ზოლზე, წყალსაცავის მოსილვის პრობლემასთან დაკავშირე-

ბული რისკის ანალიზის ახლებური კონცეპცია, სანაპირო ზოლის წარეცხვის მექანიზმები, ნაპირდაცვა, ზღვისა და წყალსატევების ბუნებრივი და ანთროპოგენური დაბინძურება [19], [21], [23], [27], [28], [32], [36], [37], [59], [60], [61], [77] და სხვ.

ნაპირდაცვის ტრადიციული ნაგებობები (ბუნა, ნაპირდამცავი და ტალღამრეკლი კედლები, ტალღსალენი და სხვ.), სანაპიროს ლოკალურ მონაკვეთებს იცავდნენ. მაგრამ წარეცხვის მიზეზს – ნატანის საყოველთაო დეფიციტს, ვერ აჩერებდნენ. ნაცვლად ექსპლოატაციის 25 წლიანი ვადისა, აგებიდან 7-8 წლის შემდეგ ასეთი კონსტრუქციები ინგრეოდა, აფერხებდა ნატანის ნაპირგასწვრივ გადატანას და არღვევდნა მის ბალანსს. ამის გამო, ძლიერდებოდა პლაჟების – ნაპირდაცვის ყველაზე ეფექტიანი მორფოლოგიური ფორმის – წარეცხვები და სანაპირო ზოლის დავიწროება.

ამ და მსგავსი თანმდევი სიძნელეების რეალიზაციის რაციონალური გზებია: ახალი ტექნოლოგიების დანერგვა, იაფი პლაჟამგები მასალის შექმნა-მოძიება და ამ მასალის სანაპირომდე მიტანის სატრანსპორტო კონვეირის ყველაზე იაფი და საიმედო სქემების შექმნა.

ასეთ ქმედებათა საბოლოო მიზანი (ეროდირებული პლაჟის აღდგენა, ახალი სანაპიროს შექმნა თავისი რეკრეაციული მომსახურების ფართო სპექტრით და კომფორტული ინფრასტრუქტურით), აამაღლებს სანაპიროს მიმზიდველობას და ტურისტულ-რეკრეაციული ბიზნესის განავითარების მდგრად საფუძვლებს შექმნის.

#### **4.1.1. სახასიათო ინფორმაცია ზღვისპირის შესახებ.**

შავი ზღვა მსოფლიო ოკეანის ერთ-ერთი ყველაზე საინტერესო და სპეციფიკური ნაწილია. ის მოქცევა-უკუქცევითი პროცესების მაღალი მაჩველებლებით არ ხასიათდება (10-20 სმ). ზღვის ფართობია 423 ათასი კმ<sup>2</sup>, აუზის ფართობი – 2.5 მლნ კმ<sup>2</sup>, სანაპირო ხაზის სიგრძე – 4.1 ათასი კმ, წყლის მოცულობა – 540 000 კმ<sup>3</sup>, მაქსიმალური სიღრმე – 2243 მ, საშუალო სიღრმე – 1211 მ, მაქსიმალური სიგრძე – 1149 კმ, სიგანე – 611 მ. აღმოსავლეთიდან, ზღვა დიდი და მცირე კავკა-

სიონის ქედებითა და კოლხეთის დაბლობითაა შემოსაზღვრული, სამხრეთიდან – პონტოს მთებით, დასავლეთიდან – ბალკანეთის ნახევარკუნძულით, ხოლო ჩრდილოეთიდან – აღმოსავლეთ-ევროპის დაბლობით.

შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილის განვითარებისას, ნაპირგასწვრივი დინებების და დასავლეთის რუბის ტალღების ენერჯიათა ხარჯზე ჩამოყალიბდა ნატანის ორი ნაპირგასწვრივი ნაკადი, რომლებიც კოლხეთისკენ იყო მიმართული. ამ ნაკადებმა, მდ. რიონის ნატანთან ერთად, შექმნა ახლანდელი კოლხეთის დაბლობი. ზღვის დონის სტაბილიზაციის დროისათვის (5-6 ათასი წლის წინ) მდინარის შესართავების მრავრიცხოვნებამ აკუმულაციური ფორმების (კონცხები, ცვლები, კუნძულები) სიუხვე შექმნა. ასეთმა ფორმებმა სანაპირო ზონაში რამდენიმე დინამიკური სისტემა ჩამოაყალიბა, რომლებსაც ნატანით შევსების საკუთარი წყარო გააჩნიათ, ან პირიქით, იზოლირებული უბნები შექმნეს ნატანის პერმანენტული დეფიციტით [75].

#### 4.1.2. მდინარის ნატანი

იმ მდინარეთა ნატანი, რომლებიც კოლხეთის სანაპიროზე ზღვას უერთდება (ჭოროხი, ენგური, კოდორი), დიდი დიამეტრით ( $d \geq 0.25$  მმ) ხასიათდებიან. რაც უფრო გრძელია მდინარეთა კალაპოტი ამ დაბლობზე, მით უფრო წვრილფრაქციულია იგი [76]. მდინარის წყალს სანაპირო ზონაში ატივანარებულ მდგომარეობაში ნატანის წვრილფრაქციული ნაწილი ისე შეაქვს, რომ მათი გაზავება ზღვის წყალთან არ ხდება. მტკნარი წყლის 2-3 მეტრის სისქის შრე მიედინება მასზე, რადგან ნატანით გაჯერებული მტკნარი წყალიც კი ზღვის წყალზე უფრო მსუბუქია. ზღვიურ ნაწილში ატივანარებული ნატანი, მდინარის წყლის ნაკადიდან, „ქვიშის წვიმის“ სახით გამოილექება. ამ წვიმის ინტენსიობა და სიმსხო მით უფრო დიდია, რაც უფრო ახლოსაა შესართავთან. ნაპირიდან 2-3 კმ მოშორებით მდინარის ნაკადს მხოლოდ თიხა-ლამიანი ფრაქციები გააქვს.

წყალშემკრები აუზები, შესართავები, სანაპირო ზონა და ზღვა ერთობლივ კომპლექსს წარმოადგენენ. ამასთან კავშირში, სისტემა



„მდინარე-შესართავი-ზღვა“ შეიძლება განხილულ იქნას როგორც ერთი კომპლექსი, რომელიც მდ. მზიმთის შესართავიდან მდ. ჭოროხის შესართავამდე (კვარიათამდე) ვრცელდება.

საქნაპირდაცვის სამმართველოსა და მისი ხელმძღვანელის დოქტ. არჩილ კიკნაძის 1970-1990 წლების კვლევების შედეგებით, სანაპირო ზონის რვა სისტემა, მდინარის ნატანითაა შექმნილი. ჩრდილოეთ ნაწილში ჩრდილო-დასავლეთის (ანუ ბზიფი-კოდორის) მონაკვეთზე, ნაკადები სამხრეთისკენ, ჭოროხის ნაკადი კი ჩრდილოეთისკენ არის მიმართული, ხოლო კოლხეთის დინამიკურ სისტემას, სადაც მდ. რიონის ნატანი ორივე მიმართულებით გაედინება, მუდმივი მიმართულება არ გააჩნია [76].

აფხაზეთისა და აჭარის სანაპირო ზონაში კენჭ-კაჭრიანი პლაჟები ჭარბობს, კოლხეთის სანაპიროზე დიამეტრი მცირდება, ხოლო მდინარეების ენგურის, ხობის, რიონისა და სუფსის შესართავებში პლაჟები ქვიშითაა აგებული. შესაბამისად, პლაჟები მიმდებარე ხმელეთის რელიეფისა და მდინარეთა კალაპოტების მორფოდინამიკის თავისებურებებს ასახავს [83], [84], [85].

კავკასიის სანაპიროზე მდინარეთა შესართავების სამი მთავარი ჯგუფი გამოიყოფა:

1. პირველ ჯგუფს იმ მდინარეთა შესართავები მიეკუთვნება, საიდანაც ზღვაში ნატანის ნაპირგასწვრივი ნაკადის მოცულობაზე ბევრად მეტი პლაჟამგები ნატანი ჩაედინება. ასეთებია: კოდორი, ენგური (კაშხლის აგებამდე);
2. მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება მდინარეები, რომლებსაც ნაპირგასწვრივი ნატანის ნაკადის მოცულობის ტოლი ნატანი შემოაქვთ: ბზიფი, გუმისთა, ფსოუ და სუფსა;
3. მესამე ჯგუფს ის მდინარეები ქმნიან, რომლებსაც ნატანის ნაპირგასწვრივ ნაკადზე ბევრად მცირე რაოდენობის ნატანი გამოაქვთ. მათი შესართავები ყოველთვის ბღვიური ფაქტორების ჭარბი ზეგავლენის შედეგად ყალიბდება.

პირველ შემთხვევაში სანაპიროს შესართავთან ნატანის ბალანსი პროფიციტურია. მეორე ჯგუფს ის მდინარეები ქმნიან, რომელთა შესართავების მრავალწლოვანი ბალანსი ნეიტრალური, ანუ ნულოვანია, ხოლო მესამე ჯგუფი ისეთ მდინარეთა ერთობლიობას წარმოადგენს, რომელთა ნატანის ბალანსი უმეტესად დეფიციტურია. მდინარეები, რომლებსაც ზღვაში ჭარბი პლაჟნარმომქმნელი ნატანი ჩააქვთ, ერთობლივად შესართავით ხასიათდებიან. ეს იმითაა განპირობებული, რომ მდინარის ნატანი დელტის ზრდისათვის ნაკლებად იხარჯება და ნაპირგასწვრივ ნაკადში ნაწილდება. ჭარბი ნატანის შემთხვევაში, ის იწყებს დაგროვებას კონცხის, ცელის, ან კუნძულის სახით. ასეთებია: ბიჭვინთის, კოდორის, სოხუმისა და ბათუმის კონცხები. განსხვავებული ფორმისაა მდ. რიონის შესართავი, რომელიც ორტოტად ერთვის ზღვას, რადგან შესართავში დომინანტია ღელვა, რომელიც სანაპიროსკენ მართობულადაა მიმართული.

მდინარეთა დაჯგუფება ნატანის ბალანსის მიხედვით, ასევე კოლხეთის სანაპიროს დაყოფა პლანარმომქმნის და ნატანის გადატანის სისტემაზე, ის საფუძველია, რომელიც სანაპიროს დაცვისა და ხელოვნური მართვის მეთოდების ჩამოყალიბების პროცესშია იყო გამოყენებული.

ზღვის ღელვის, ტალღური რეჟიმისა და სანაპირო დინებების შედეგია სანაპიროს ყველა პროცესი (ნატანის მოძრაობა, აბრაზია, აკუმულაცია). ზღვის შტორმული აქტივობა წლის განმავლობაში არათანაბარია – მაქსიმუმს თებერვალში აღწევს, მაისში მინიმალურია, პიკურ სიმძლავრეს კი ოქტომბერ-ნოემბერში აღწევს.

ძირითად ენერგომატარებელ შტორმებს, ხუთზე მეტი ბალის ტალღები წარმოადგენენ. სანაპიროს მასიური სახეცვლა ასეთი ღელვისას ხდება. რვა ბალზე მეტი ტალღები საშუალოდ 10-12 წელიწადში ერთხელ აღინიშნება. მიმართულების მიხედვით, შავი ზღვის აღმოსავლეთი სანაპიროსათვის ძირითად ენერგომატარებელ შტორმებს დასავლეთის რუმბის შტორმები წარმოადგენსენ [79], [80].

ზღვის სანაპირო ზონის ზედაპირულ დინებათა ველი დიდი მდინარეების შესართავებსა და უბებში ყალიბდება. აქ ქარისმიერი და

მდინარისმიერი დინებები ციკლონურ მორევს ქმნიან, რომელსაც მდინარის ნატანი ზღვის სიღრმეში შეაქვს.

ამ ზონაში, როდესაც ძლიერი, ხანგრძლივად მოქმედი ქარი ნაპირისკენ უბერავს, ზღვის ზედაპირული წყლის მოდინებას იწვევს, და პირიქით, თუ ქარი ხმელეთიდან ზღვისკენაა მიმართული – წყლის უკუდენას. ასეთი „შტორმული მიმოდენები“ სანაპიროსთან წყლის დიდ მასებს აგროვებენ (შტორმული მოდენა), ან პირიქით – ნაპირიდან ზღვისკენ (შტორმული უკუდენა). პირველ შემთხვევაში, სანაპიროზე ზღვის დონე იზრდება, მეორე შემთხვევაში, ეფექტი საპირისპიროა. ოკენოგრაფიული მონიტორინგის მონაცემებით, ფოთის პორტში შტორმულმა მოდენამ ზღვის დონე 0.74 მ-ით ასწია, რიონის შესართავში – 0.9-1.0 მეტრით. შტორმული მიმოდენების ეფექტ მით უფრო ძლიერია, რაც მეტადაა იზოლირებული ყურე და შესართავი. ამ მოვლენას ყოველთვის ახლავს კომპენსაციური დინებები, რომელთაც სანაპირო წყლები ზღვის სიღრმეში გააქვთ. ასეთი დინებები კანიონების გავლით განსაკუთრებით ინტენსიურია.

კოლხეთის სანაპიროს მიმდინარე დინამიკაში მზარდ როლს ანთროპოგენური ფაქტორი ასრულებს. ის წყალსაცავების შექმნით პლაჟნარმომქმნელი ნატანის მზარდ დეფიციტს იწვევს. შედეგად, სანაპირო თითქმის ყველგან უკან იხევს. [80].

### **4.1.3. სანაპიროს ევოლუციის ძირითადი ფაქტორები XIX-XXI საუკუნეებში და მათი მოქმედების შედეგები**

ზღვისპირში სანაპირო ზონის მდგომარეობის ძირითადი განმსაზღვრელი ნატანის ბალანსია, ხოლო თანამედროვე ტექტონიკური მოძრაობა და ზღვის დონის ფარდობითი ევსტაზია ამ ფაქტორის მიმმართველის როლს ასრულებენ. კერძოდ, 1920-იანი წლებიდან, ანუ მას შემდეგ რაც ზღვის დონემ აწევა დაიწყო, ნატანის აკუმულაციის ბოლი ხმელეთისაკენ გადაადგილდება. ამასთან, ამ მოძრაობის სინქარეს დადებითი ტექტონიკა უფრო აძლიერებს, უარყოფითი კი პირიქით, მნიშვნელოვნად ამცირებს მას.

დასავლეთ საქართველოს ნაპირწარმოქმნელი ნატანის ნაკადი, რომელიც დაახლოებით 5 მლნ. მ<sup>3</sup> შეადგენდა, ბევრად აღემატება ნატანის ცვეთის მოცულობას, რომელიც სანაპიროს აბრაზიით იყო განპირობებული. ამის გამო, უახლოეს წარსულში საქართველოს შავი ზღვისპირა სანაპიროზე აკუმულაციის პროცესი ჭარბობდა [80], [89]. ამჟამად, როდესაც წყალსაცავების კასკადები ამოქმედდა, ნატანის ბალანსის გასავალი ნაწილი მნიშვნელოვნად აღემატება შემოსავალს და ეს სხვაობა დროის მიხედვით ზრდადია.

მიმდინარე საუკუნეში საქართველოს ზღვისპირის 60%-ზე მეტი ჯერ კიდევ აკუმულაციური ფორმებისაგან შედგება, 38%-მდე – აბრაზიულ-აკუმულიაციური ფორმებია. აქ XIX საუკუნის მეორე ნახევრიდან დაწყებული, ზღვისპირის ინტენსიური ათვისება უფრო ინტენსიური გახდა. დასავლეთ საქართველოს მდინარეების ჰიდროლოგიური რეჟიმის ცვლილებამ, რაც მყარი მასალის მნიშვნელოვან შემცირებას იწვევს, საპორტო მშენებლობამ და პლაჟებიდან ნატანის ამოღებამ ნატანის მზარდი დეფიციტი შექმნა. ამ პროცესებმა სანაპიროს წარეცხვა გამოიწვია, რის შედეგადაც ზღვამ კურორტ გაგრის პლაჟების 60 ჰა გაანადგურა, ე. ოჩამჩირეს – 70 ჰა, ფოთის – 300 ჰა და ა.შ.

1980-იანი წლებისათვის გაგრაში, ბიჭვინთაში, ფოთში, ქობულეთში და ადლიაში სანაპიროს წარეცხვის სიჩქარე საშუალოდ 3 მ/წლ იყო, ენგურჰესის არხის შესართავის რაიონში – 16, ლალიძღა-ანაკლიის მონაკვეთში – 5. ყველა ეს ნეგატიური პროცესი, ძირითადად, სანაპირო ტერიტორიული სამრეწველო კომპლექსისა და ბუნებრივი რესურსების დაცვა-კვლავწარმოების პრაქტიკული ღონისძიებების მასშტაბების შეუთავსებლობით იყო განპირობებულ [80].

სანაპირო ტერიტორიების ფორმირების ბუნებრივ პროცესებზე განსაკუთრებით მძიმედ იმოქმედა არაორგანიზებულმა მშენებლობებმა ახალი გაგრის, ბიჭვინთის, მიუსერას და სხვა სანაპიროზე, ასევე საპორტო მოღების არახელსაყრელმა განლაგებამ.

ნაპირსამაგრი ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობის პრაქტიკამ (ბუნა, ნაპირდამცავი ტალღამრიდი კედლები, ტალღსალენე-

ბი და სხვ.) გვიჩვენა, რომ ისინი ნაპირის ლოკალურ მონაკვეთებს იცავენ, მაგრამ მეზობლად მდებარე პლაჟების ინტენსიურ გადარეცხვას იწვევენ, ზოგან კი ნატანის საერთო დეფიციტს ქმნიან. ტალღცემის მაღალი ჰიდროდინამიკური ზემოქმედების შედეგად, ამ ნაგებობათა ძირი ირეცხება და 7-8 წლის ექსპლოატაციის შემდეგ, უვარგისი ხდება. ამიტომ, ზოგჯერ ახალ ნაგებობებს აგებენ, რომლებიც ასევე დასაშლელად არიან განწირული. მთის ფლეთილი ქვებისაგან დამზადებული დამბები და ბერმები, რომლებიც სხვადასხვა ფორმის ბეტონის ბლოკების მსგავსად, სანაპიროს ცალკეულ აბრაზიულ უბნებზეა ჩაყრილი, არა თუ არ იძლევა რაიმე ეფექტს, არამედ პირიქით, სანაპირო ლანდშაფტის ტექნოლოგიურ გადატვირთვას იწვევენ [79].

უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოს სანაპირო ზოლის ნატანის თანამედროვე ბალანსის შეფასებისას, პლაჟამგები ნატანის ბუნებრივი არათანაბარი განაწილების გამო, ბალანსის სტრუქტურა არასასურველი იყო. მდინარეთა შესართავამდე ვერ აღწევდა ~5.0 მლნ მ<sup>3</sup> ნატანი, რომელიც ჰესების წყალსაცავებში ილექებოდა. სანაპირო ზოლში შემოტანილი 12.0 მლნ მ<sup>3</sup> მასალის დაახლოებით 60% წვრილფრაქციულია და პლაჟების შექმნაში არ მონაწილეობს. გარდა ამისა, მთელი ნატანის 13%, შესართავისპირა კარიერებიდან სამშენებლო მიზნით მოიპოვებოდა.

#### **4.1.4. ზღვის კანიონები და მათი როლი სანაპიროს ევოლუციაში**

კანიონების როლი სანაპიროს ევოლუციაში განსაკუთრებულია. შავი ზღვის ქვაბული და მთლიანად აუზი ხასიათდება მაღალი ტექტონიკური აქტივობით და ტექტონიკური რღვევის ხაზებით [98]. ამის გამო, კოლხეთის შელფი (L=15 კმ) ძლიერაა დანაწევრებული წყალქვეშა ხეობებით-კანიონებით. რელიეფის ასეთი ფორმები გამოიშუშავებულია მდინარეების ენგურის, რიონისა, სუფსის და ჭოროხის ნატანის ფსკერისკენ მიმართული ნაკადით. ასეთ წყალქვეშა ხეობებს მნიშვნელოვანი გავლენა აქვთ სანაპიროს ჩამოყალიბებასა და პლაჟების

მდგრადობაზე, იმით რომ შთანთქმავენ ნატანის მნიშვნელოვან მოცულობას და ამით აძლიერებენ წყალქვეშა ფერდის ეროზიას.

კანიონები გამომუშავებულია ბზიფის, კოდორის და ჭოროხის შესართავებში და ბათუმის კონცხის მახლობლად მდ. ჭოროხის პალეოდელტაში. უმეტესობა მათგანს ერთ სათავე აქვს, მაგრამ ზოგს შეიძლება ორი სათავეც ჰქონდეს. ასეთია მდ. ჭოროხის კანიონი, რომელსაც აქვს ორი სათავე, რომლებიც 15-25 მ-ის სიღრმიდან იწყება. მათი დახრილობა 6-20 გრად. ზღვრებში იცვლება. კანიონების გასწვრივ, ზოგან განვითარებულია ციცაბო ღარები, რომელთა ქანობი 45 გრად. აღემატება. ზოგიერთ კანიონს ცალკეულ ადგილებში ვერტიკალური ფერდებიც აქვს. ზოგიერთი კანიონი ზღვაში 300 მ-ის სიღრმემდე ვრცელდება (მდ. ჭოროხის პალეოდელტა).

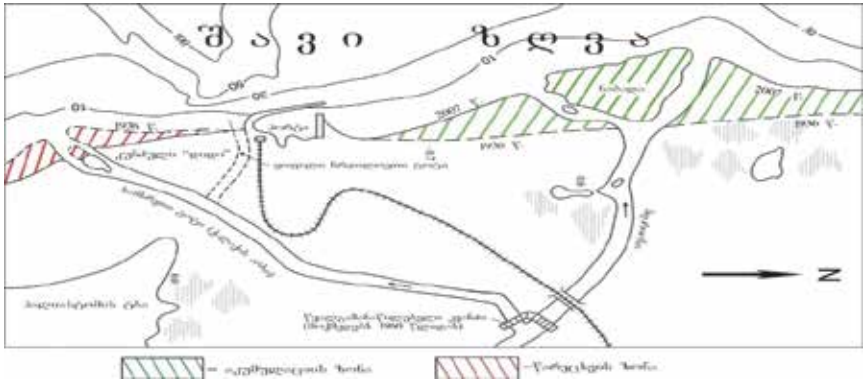
შესაბამისად, აღნიშნული თვისებების მიხედვით, კანიონი არის წყალქვეშა ხეობა, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში მდინარის შესართავის თანამედროვე, ან პალეო გაგრძელებას წარმოადგენ. ის ნატანის წყალქვეშა ზვავების, ან ტექტონიკური პროცესების შედეგია და მათთან ერთად იცვლის პარამეტრებს. კანიონების დიდი ნაწილი იმდენ ნატანს შთანთქმავს, რომ სანაპიროს პერმანენტული დეფიციტის მიზეზი და პლაჟების დეგრადაციის ყველაზე ძლიერი ფაქტორი ხდება.

წყალქვეშა რელიეფის ეს ელემენტი სერიოზულ როლს ასრულებს ზღვების წყალქვეშა ფენების ვენტილაციის პროცესშიც. ის შტორმის დროს ე.წ. „პულვერიზატორის ეფექტით“ ზღვის ქვედა ფენებს ზემოთ ეწევა, ხოლო შტორმული მოდენების დროს ფსკერისკენ მიმართული კომპენსაციური დინების სადინარს წარმოადგენენ.

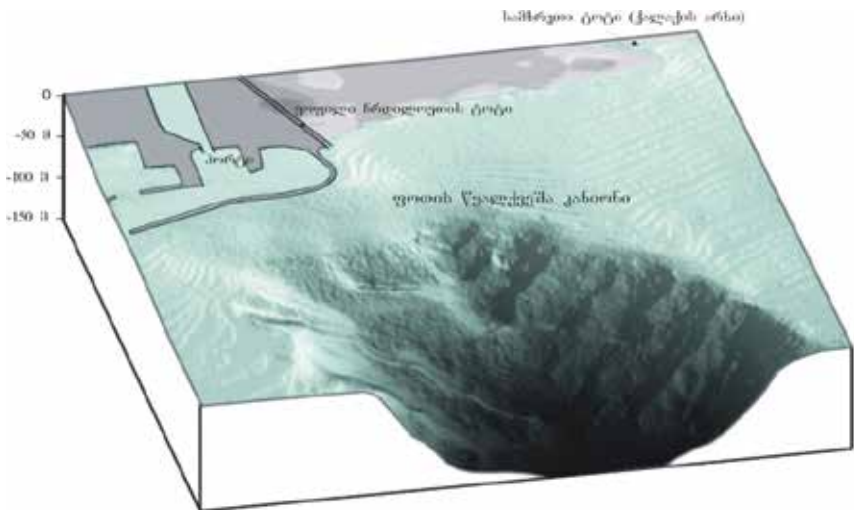
გაერთიანება „საქნაპირდაცვის“ ბოლო მონაცემებით, აჭარის სანაპიროს კანიონებში, ნატანის დანაკარგი წლიურად დაახლოებით 2 მლნ მ<sup>3</sup> აღწევდა. მთლიანად, საქართველოს წყალქვეშა კანიონებში მდინარეთა ნატანის 50-80% იტაცებენ და ამით იწვევდნენ წყალქვეშა ფერდის ტრანსფორმაციას.

რიონის კანიონი მდებარეობს მდ.რიონის ყოფილ ჩრდილოეთ ტოტსა და ფოთის პორტის სამხრეთ მოლს შორის. ამ მოლის აგებამდე

(1888 წ.) მდინარის დელტა 10 მ/წლ სიჩქარით იზრდებოდა (ნახ. 4.1). 1923 წლის დიდი წყალდიდობის შემდეგ, ჩრდილოეთი ტოტი მდ. რიონის ძირითადი კალაპოტი გახდა (1939 წ.) და მდინარის ნატანმა იმდენად გააქტიურა კანიონი (ნახ. 4.2), რომ მან წინსვლა დაიწყო 9.0 მ/წლ სიჩქარით, 1940 წლისათვის კი კანიონის შესართავს 90 მ-ის მანძილზე მიუახლოვდა [84].



ნახ. 4.1 მდ. რიონის დელტის თანამედროვე სქემა



ნახ. 4.2 ფოთის პორტის მდებარეობა რიონის კანიონის მიმართ

მდ. რიონის გამანაწილებელი ნაგებობის ამოქმედების შემდეგ, როცა მისი ნაკადის 60-70% ნაბადის კალაპოტში გადავარდა, კანიონმა უკან დახევა 7.5 მ/წლ სიჩქარით დაიწყო. ამის შედეგად, პორტის სამხრეთით ნაპირის წარეცხვაც შეწყდა. კანიონის სათავეში 1939-1959 წლებში დაახლოებით 1.0 მლნ მ<sup>3</sup> ნატანი დაილექა. ამის შემდეგ, სანაპიროს გაფართოვება შეწყდა და ნატანის დეფიციტი სანაპირო ზოლს მეტნაკლები ინტენსივობით ავიწროვებს.

მდ. რიონის ნატანის მოცულობის ცვალებადობა გუმათი-ვარციხის წყალსაცავების პროექტირებამდე და მას შემდეგ მოცემულია ცხრილში 4.1.

**ცხრილი 4.1** გუმათი-ვარციხის წყალსაცავების ზემოქმედება მდ. რიონის ნატანის სიდიდეზე

მდინარე	წელი	ჩამონადენი წლიური ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ	ათვიანარებული ნატანის წლიური მოცულობა, მლნ მ <sup>3</sup>		ფსკერული ნატანის წლიური მოცულობა, მლნ მ <sup>3</sup>		პლაჟამგები ნატანის წლიური მოცულობა, მლნ მ <sup>3</sup>	
			ტონა	მ <sup>3</sup>	ტონა	მ <sup>3</sup>	ტონა	მ <sup>3</sup>
რიონი	1940-1956	398	6.9	7.6	2.0	2.4	1.1	1.3
	1957-1990	404	5.6	6.2	1.8	2.2	1.0	1.2

სანაპიროს ფოთი-ბათუმის მონაკვეთის კანიონებიდან ყველაზე აგრესიული ბათუმის კანიონია, რომლის სათავე ამავე სახელწოდების კონცხს ესაზღვრება. 1902 წელს პორტის აკვატორიის დამცავი 170 მეტრიანი დემის აშენების შემდეგ, კონცხთან ნატანის აკუმულაცია დაიწყო.



პერიოდულად, როდესაც დაგროვილი ნატანის მოცულობა პიკს აღწევს, მისი გარკვეული ნაწილი ნაპირს წყდება და ფსკერისკენ ექანება. ამის მიზეზი კანიონი გახდა, რომელშიც აკუმულირებული ნატანის ბუნებრივი განტირთვა ხდება წყალქვეშა ზგავის სახით. ამ პროცესის შეჩერების და ნატანის ხელმეორედ გამოყენების მიზნით, კონცხის წვერიდან ზოგჯერ ნატანის ნაწილის ექსკავაცია ხდებოდა სანაპიროს სხვა მონაკვეთების შესავსებად.

ამჟამად, ჭოროხის კანიონი მხოლოდ შემეცნებითი თვალსაზრისით არის საინტერესო. წყალსაცავების კასკადის ამოქმედებამდე მისი მრავალტოტიანი სათავე შესართავიდან 70-110 მ-ით იყო დაშორებული. მიუხედავად იმისა, რომ მასში წლიური ნატანის (4.7 მლნ მ<sup>3</sup>) 67% ჩაედინებოდა, წინსვლის ტენდენცია არ ჩანდა [84]. ამ მდგომარეობაში სანაპიროს დინამიკას ნატანის შედარებით მცირე (1.85 მლნ მ<sup>3</sup>) მოცულობა განსაზღვრავდა.

აღნიშნული ინფორმაცია მრავალი კუთხითაა საინტერესო და იმ თვალსაზრისითაც, რომ ჭოროხის წყალსაცავების კასკადის ამოქმედების შემდეგ, ბათუმის სანაპიროს ნატანის ბალანსი და სანაპიროს მოხაზულობა მკვეთრად შეიცვლება ნეგატიური მიმართულებით.

სანაპირო ზონის სტაბილურობისათვის, აუცილებელია დეგრადირებული პლაჟების აღდგენა, დეფიციტის ხელოვნურად შევსების გზით. ნაპირდამცავი პლაჟების უწყვეტი ზოლების რეგენერაცია, ნატანის წინასწარ შერჩეული ფრაქციული შემადგენლობით, ზღვისპირის დაცვის ყველაზე ეფექტიანი მეთოდია.

ცხადია, პლაჟების უწყვეტი ხელოვნური ზოლებით, გამორიცხული არ არის ჰიდროტექნიკური ნაპირდაცვითი ნაგებობებით იმ მონაკვეთების დაცვა, სადაც სანაპიროს რაციონალური გამოყენების პირობებს შექმნიან.

## 4.2. ზღვის დინამიკური პროცესების შეფასება კლიმატის ცვალებადობის ფონზე და მომავლის პროგნოზი

საქართველოს ზღვისპირის მდგომარეობაზე განმსაზღვრელი გავლენა ბუნებრივ და ანთროპოგენურ ფაქტორებს აქვს. ზღვა-ხმელეთის ურთიერთობა მანამდე დინამიკურ წონასწორობაში, ვიდრე მას გარეშე ფაქტორი დაარღვევს. ყველაზე ხშირად ასეთი ფაქტორი ანთროპოგენურია. წყალსაცავებით მდინარის გადაკეტვა-დარეგულირება, მდინარის გადაგდება სხვა სანაპიროზე და პლაჟებიდან და მდინარეებიდან ინერტული მასალის აღება, სხვადასხვა სიძლიერით ცვლის ასეთ წონასწორობას ზღვის სასარგებლოდ.

ზღვა-ხმელეთის ურთიერთობა სანაპირო ზონაში წისქვილის იდენტურია იმ გაგებით, რომ ქვედა ქვა ხმელეთია, ზედა ქვა ზღვის – ტალღები, საფქვაავი მარცვალი კი ნატანი. თუ ნატანის რაოდენობა საკმარისი არ არის, ზღვის ტალღები რეცხავენ ხმელეთს. ეს პროცესი გრძელდება, ვიდრე ტალღური ენერჯის გამანეიტრალებელი მდგომარეობა ჩამოყალიბდება.

ზღვა-ხმელეთის აღნიშნულ წონასწორობაზე ძლიერი გავლენა აქვს სანაპირო ზონაში წარმოებულ მშენებლობებს, ტექტონიკურ მოძრაობას, კლიმატის მიმდინარე ფლუქტუაციას და მის მიერ პროვოცირებულ ფაქტორს ევსტაზიას – მსოფლიო ოკეანის დონის აწევას.

შავი ზღვის აუზში კლიმატის ცვალებადობის მიმდინარე ციკლი ინსტუმენტული მონიტორინგის მონაცემებით, 1900-იან წლებში დაიწყო. ამ ფენომენის თანამგზავრი მოვლენაა ზღვის დონის კლიმატისმიერი გრძელპერიოდიანი ცვალებადობა, ანუ ევსტაზია.

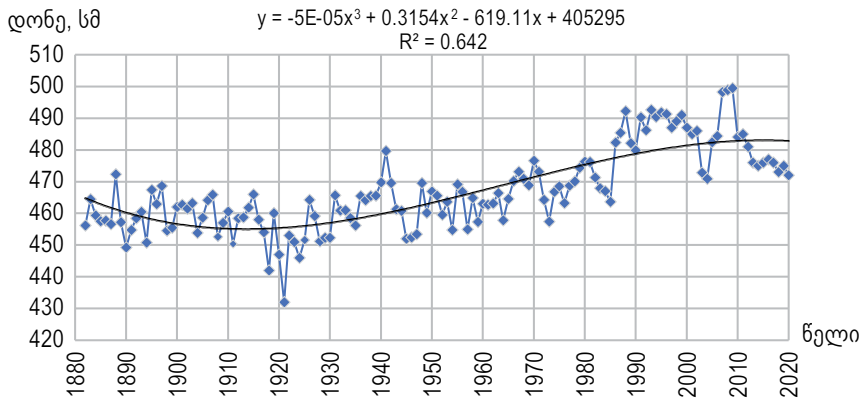
საქართველოს სანაპიროს ზღვის დონის პერმანენტულმა მონიტორინგმა აჩვენა, რომ ევსტაზია 20-23 წლის დაყოფნებით დაიწყო. ამ მოვლენის მიზეზია ზღვის წყლის გათბობა-გაცივების შედეგად მისი დონის აწევა (*დადებითი ევსტაზია*), ან დაწევა (*უარყოფითი ევსტაზია*). წყლის მოცულობის სითბური ცვალებადობის ერთერთი თავი-

სებურება ისაა, რომ რაც უფრო ახლოსაა წყლის ტემპერატურა 4C0-თან, მით უფრო დიდია დონის ნაზრდი.

ამიტომ, მსოფლიო ოკეანის თანამედროვე ევსტაზია ინსტრუმენტულმა მონიტორინგმა ყველაზე ადრე (1890-იანი წლები) მაღალ განედებში, გრენლანდიის ნაპირებთან გამოავლინა. აქ მისი სიდიდე 2.8-3.0 მმ/წლ აღწევდა. ეს ფენომენი დაბალი განედებისკენ, წყლის საშუალო ტემპერატურის შესაბამისად მცირდებოდა: შოტლანდიის სანაპიროზე დონის წლიური მატება 2.4 მმ-ია; ხმელთაშუა ზღვაში – 1.8-2.0; შავი ზღვის სანაპიროებთან – 1.4 (სამხრეთი სანაპირო, ქ. სამსუნი) და 1.6 მმ/წლ (ჩრდილოეთი სანაპირო, ქ. ქერჩი).

საქართველოს სანაპიროზე ზღვის დონის სისტემატური მონიტორინგი ფოთთან 1873 წელს დაიწყო, ბათუმთან 1882 წელს. შესაბამისად, ფოთთან დონის მონიტორინგის რიგი 1874-2020 წლებს მოიცავს, ბათუმთან 1882-2020 წლებს. ასეთი ხანგრძლივობის რიგების უმცირეს კვადრატა მეთოდის გამოყენებით, ყველაზე მაღალი სიზუსტით ( $\pm 0.1$  მმ/წლ) არის შესაძლებელი ამ ფენომენის ლოკალური მნიშვნელობების განსაზღვრა.

ბათუმის სანაპიროზე ევსტაზიის მონიტორინგის გრძელპერიოდიანი რიგი ორი ფრაგმენტისაგან შედგება (ნახ. 4.3): 1882-1923 და 1924-



ნახ. 4.3 ზღვის დონის საუკუნოვანი რყევა ბათუმის სანაპიროსთან

2020 წლები. მათგან, პირველის ტენდენცია დადმავალია, მეორესი – მკვეთრად აღმავალი. პირველ პერიოდში საშუალო დონემ 10.0 სმ-ით დაიწია (ტრენდი  $\Delta H_1 = -2.8$  მმ/წლ). მეორე პერიოდში პირიქით, დონე 30 სმ-ით გაიზარდა (ტრენდი  $\Delta H_1 = -3.0$  მმ/წლ). ამასთან, მაღალი დონეების პერიოდი 1988-2010 წლებს მოიცავს, აბსოლუტური მაქსიმუმით ( $H = 499$  სმ ზ.დ.) 2009 წელს, ხოლო დაბალი დონეები, 1910-1930 წლებში აბსოლუტური მინიმუმით (432 სმ) 1921 წელს.

ზღვის დონის საუკუნოვან ცვალებადობათა რიგების კომპლექსურ ანალიზს ის უპირატესობაც აქვს, რომ მისი შედეგების გამოყენებით, შესაძლებელია თანამედროვე ევსტაზიისა და გეოლოგიური ტრენდების ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად განსაზღვრა.

გეოლოგიური ტრენდი ბათუმის სანაპიროს ვერტიკალური აბეგების სიჩქარეს აჩვენებს, რაც ბათუმის სანაპიროზე 1882-1923 წლებში 2.8 მმ/წლ აღწევდა. ბათუმისათვის არსებითია ტექტონიკური და ურბანიზაციული დატვირთვის ტრენდები. ამ უკანასკნელს მშენებლობა იწვევს, განსაკუთრებით სანაპირო რაიონის მრავალსართულიანი შენობებით დატვირთვა. ტექტონიკური მდგენელი, მონიტორინგის მთელი დროის განმავლობაში (137 წ) პრაქტიკულად უცვლელი რჩება და ბათუმის სანაპიროსათვის 2.8 მმ/წ აღწევს. მისგან გასხვავებით, 1923-2020 წლებში ურბანიზაციული მდგენელი იმდენად გააქტიურდა, რომ მან ტექტონიკური მდგენელის აბეგებითი მოქმედება გადაფარა და ხმელეთის დაძირვა გამოიწვია 5.8 მმ/წლ სიჩქარით. შესაბამისად, ამჟამად, ბათუმის სანაპიროსთან, ფარდობითი ევსტაზია 3.0 მმ/წ შეადგენს.

დონეთა რიგების მათსტატიტიკური ანალიზის შედეგების მიხედვით, ბათუმის სანაპირო ზოლში თანამედროვე ევსტაზიის სიდიდე დონეთა რიგის ორივე ფრაგმენტის ტრენდების ალგებრულ ჯამს წარმოადგენს:

$$\Delta H_1 - \Delta H_2 = 2.98 - 1.0 = 1.98 \text{ მმ/წ} \quad (4.1)$$

$$\Delta H_1 - \Delta H_2 = 2.8 + 3.0 = 5.8 \text{ მმ/წ} \quad (4.2)$$

დონეთა რიგების კომპლექსური ანალიზის (უმცირეს კვადრატთა, ექსტრაპოლირების მეთოდები) გამოყენებით, აჭარის სანაპიროზე ევსტაზიური პროცესები 1923-25 წლებიდან გააქტიურდა. ეს ფაქტი ცალსახად ადასტურებს, რომ კლიმატის დათბობა ამ სანაპიროსთან 1895-1900 წლებში დაიწყო. ასეთი დასკვნა იმ ალიარებული სამეცნიერო ფაქტიდან გამომდინარეობს, რომ კლიმატის გრძელპერიოდულ ცვალებადობაზე ოკეანე 20 წლის დაყოვნებით რეაგირებს. შესაბამისად, კლიმატის მიმდინარე ფლუქტუაციის დამთავრების შემდეგ, საქართველოს სანაპიროზე ევსტაზია კიდევ 20 წელი გაგრძელდება, ოღონდ მიღევადი სიჩქარით.

ამ სანაპიროზე ფარდობითი ევსტაზია 1023-1925 წლებში დაიწყო. მან განვითარების მაქსიმუმს 2010-იან წლებში მიაღწია. ამ მონაცემების თანახმად, 1923-2020 წლებში, ზღვის დონე ხმელეთის მიმართ 2.7 სმ/წლ სიჩქარით იზრდებოდა. საბოლოოდ, 2020 წლისათვის ზღვამ სანაპიროს მიმართ 0.3 მეტრით აიწია და კვლავ განაგრძნობს ზრდას.

ბათუმის სანაპირო ზონაზე, მდ. ჭოროხის ჩამონადენს კვლავ ძლიერი თერმული გავლენა აქვს. 2002-2005 წლებამდე, ვიდრე მას რამდენიმე წყალსაცავი დაარეგულირებდა, ზღვის დონის აწევაზე მდ. ჭოროხის გავლენა გამაგრებელი, ანუ ნეგატიური იყო. აღნიშნული წლების შემდეგ, მისი ზემოქმედება საპირისპიროდ შეიცვალა, რადგან წყალსაცავებში მეტამორფირებული ჩამონადენი 4 °C-ზე თბილია, ვიდრე მდინარის ბუნებრივი ჩამონადენი (11 °C) [88].

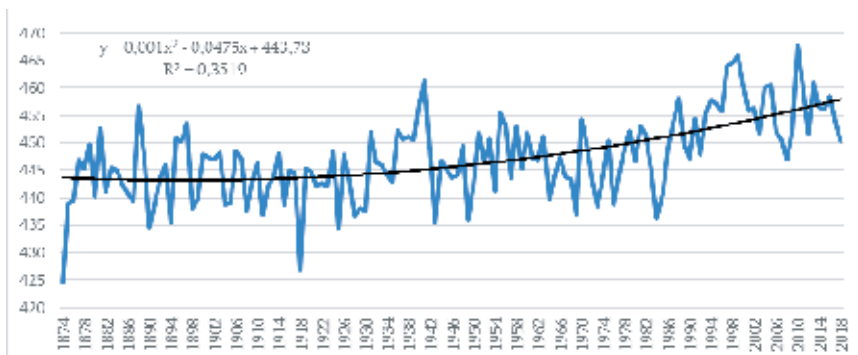
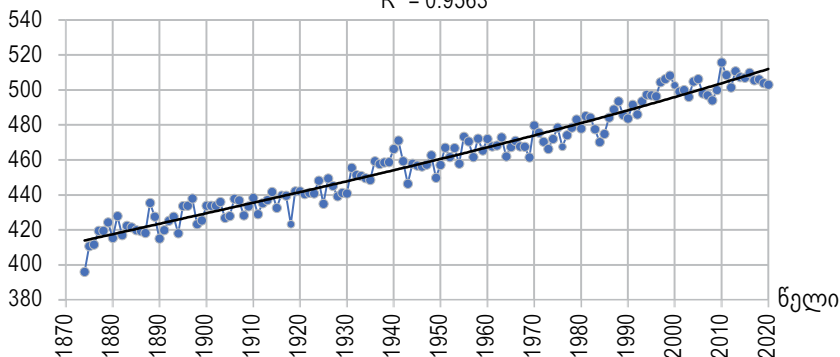
ფოთის სანაპირო ზონაში ზღვის დონე 1920-იან წლებამდე პრაქტიკულად უპირატესად გეოლოგიური ტრენდის გავლენით იცვლებოდა (ნახ. 4.4-ა). მომდევნო 1923-2020 წლებში გეოლოგიური და კლიმატური ფაქტორის ზემოქმედებით, ზღვის დონემ ფოთთან 66 სმ-ით აიწია. შესაბამისად, ამ მონაცემებით ზღვის დონის კლიმატური ფაქტორის ტრენდი დადებითია და 1.7 მმ/წლ აღწევს.

ფოთის დონეთა რიგის კორექტირება აუცილებელი გახდა უმცირეს კვადრატთა მეთოდის და გეოლოგიური ტრენდის სიდიდის (-5.6 მმ/წლ) გამოყენებით. გეოლოგიური ტრენდის ეს მნიშვნელობა 1902 და

დონე, სმ

$$y = 4E-06x^3 - 0.025x^2 + 47.705x - 30303$$

$$R^2 = 0.9563$$



**ნახ. 4.4 ა** – ზღვის დონის საუკუნოვანი რყევა ფოთის სანაპიროსთან, ბ – კორექტირებული გეოლოგიური ტრენდის ( $-5.6$  მმ/წლ) მიხედვით

1952 წლებშია მიღებული კრონშლადტიდან (პეტერბურგი) ფოთამდე რკინიგზის გასწვრივ შესრულებული გეოდეზიური აგეგმითი გაზომვების შედეგად.

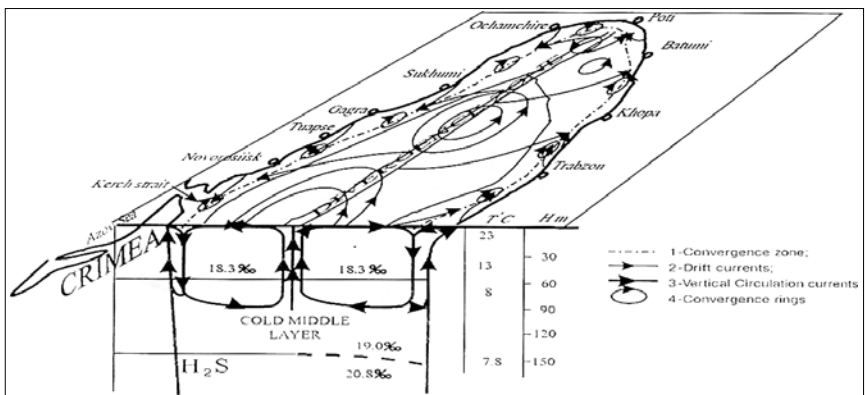
კორექტირებული რიგის მიხედვით (ნახ. 4.4-ბ) ფოთთან, ზღვის 1874-1922 წლების ფრაგმენტის ტრენდი უმნიშვნელოა, ანუ პრაქტიკულად ნულის ტოლია. 1923-2019 დონის ნაზრდმა 11 სმ მიაღწია. შესაბამისად, აქ მიმდინარე ევსტაზიისა და ურბანიზაციული ტრენდის ერთობლივი მოქმედების საშუალო წლიური ნაზრდია 1.16 მმ/წლ. ვინაიდან ფოთის სანაპიროზე განაშენიანების კოეფიციენტი უფრო დაბალია,

ვიდრე ბათუმში. აქ ურბანიზაციული ტრენდი, სავარაუდოდ, 0.2-0.4 მმ/წ არ აღემატება. ამ ანალიზის თანახმად, ფოთთან თანამედროვე ევსტაზიის ტრენდი 0.8-1.0 მმ/წ არ აღემატება.

ფოთთან მიმდინარე ევსტაზიის შედარებით დაბალი მნიშვნელობა იმის შედეგია, რომ მდ. რიონის ჩამონადენი გამაგრილებელ გავლენას ახდენს ფოთის სანაპირო წყლებზე.

#### 4.2.1. მიმდინარე ევსტაზიის პროგნოზი უახლოესი მომავლისათვის (2040-2050)

მიმდინარე ევსტაზიის გამოკვლევის შემდეგ შესაძლებლობა გაჩნდა განისაზღვროს ამ ფენომენის მომავალი განვითარების პარამეტრები და მათი განმსაზღვრელი ძირითადი ფაქტორები. მიმდინარე პერიოდამდე, ზღვის დონის შეფარდებითი აწევა ზღვის ბედა 100 მ ფენის გათბობა-გაფართოებით არის გამოწვეული. თუ კლიმატის დათბობის ტენდენცია უახლოეს მომავალშიც გაგრძელდა და 100 მ ქვემოთ მომდევნო 100 მეტრიანი ფენა მოიცვა, ევსტაზიის ნაზრდი მკვეთრად გაიზრდება. ამის მიზეზი ის გარემოება გახდება, რომ შავი ზღვის ქვედა ფენების ტემპერატურა (7.0-8.0 °C), ბედა ფენის საშუალო ტემპერატურაზე (12.0-15.0°C) ბევრად დაბალია. ასეთი ტემპე-



ნახ. 4.5 შავი ზღვის დასავლეთი წყლების ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ცირკულაციების სქემები

რატურის წყლის გაფართოების კოეფიციენტი გაცილებით (15-20%) მაღალია, რაც შესაბამისად, ევსტაზიას დააჩქარებს.

ამ ფაქტორის გათვალისწინებით და კლიმატის დათბობის პროგნოზით [1], [12], უახლოესი მომავლისათვის (2040-2050 წწ), მოსალოდნელია ზღვის ქვედა ფენის გათბობა (ნახ. 4.5), რაც თითქმის 20%-ით დააჩქარებს საქართველოს სანაპიროსთან ზღვის დონის აწევას ( $\Delta H = \sim 2.5-3.0$  მმ/წ) და ზღვის წინსვლას სანაპიროს სიღრმეში

შესაბამისად, თუ ქვედა ფენებში კლიმატური დათბობის პროცესმა ვერ შეაღწია, ბათუმთან დონე უახლოესი მომავლისათვის (2050 წ.) კიდევ 9.0 სმ აიწევს. ამ შემთხვევაში, ზღვა სანაპირო ზოლის იმ ნაწილს დაფარავს, რომლის სიგანეა  $L$  მ და ის შემდეგი ტიპის გამოსახულებით გამოითვლება:

$$L = \frac{\Delta H}{\sin \alpha} \text{ მ} \quad (4.3)$$

აქ:  $\Delta H$  – ზღვის დონის ნაზრდი დროის მოცემულ მონაკვეთში;  $\alpha$  – სანაპიროს დახრილობის კუთხე, გრად.



### **4.3. ზღვისპირის სენსიტიური უბნების აბრაზიული რეჟიმის თავისებურებები და ნატანის დეფიციტის წლიური მოცულობა**

საქართველოს ზღვისპირი ბზივის, კოდორის, ენგურის, რიონის, ჭოროხისა და რამდენიმე სხვა მცირე მდინარეთა ნატანიტაა შექმნილი. ამიტომ, მათ რეჟიმზე ყოველგვარი ანთროპოგენური გემოქმედება, განსაკუთრებით წყალსაცავების გამოყენებით, ადეკვატურად აისახება სანაპიროს მდგომარეობაზე. ეს პროცესი მდ. რიონის ჩამონადენის გამანაწილებელი ჰიდრონაგებობის ამოქმედებით (1939 წ.) დაიწყო და გუმატის წყალსაცავის (1956 წ.) გემოქმედებით გაგრძელდა. მომდევნო იყო ჯვრის წყალსაცავით (1976 წ.) მდ. ენგურის ნატანის გადაკეტვა. დაბოლოს, მდ. ჭოროხზე წყალსაცავების კასკადის (2012 წ.) მშენებლობა კატასტროფით ემუქრება აჭარის სანაპიროს კვარიათი – მწვანე კონცხის მონაკვეთს.

კოლხეთის დაბლობი გეომორფოლოგიური და ჰიდრომეტეოროლოგიური პირობების ძირითადი მახასიათებლებია: ზედაპირის დაბალი დახრილობა – 1.0 ‰, წყალქვეშა ფერდის მცირე ქანობი –  $\geq 2.5\%$ , მდინარეთა ჰიდრორეჟიმის ტრანსფორმაცია და შტორმების გაძლიერება. ეს გეომორფოლოგიური ობიექტი 10-15 მ სიღრმემდე წვრილი და საშუალომარცვლოვანი (იშვიათად მსხვილმარცვლოვანი) ქვიშებითა და ლამით, ასევე ტორფნარევი თიხნარებითაა აგებული. ისინი მაღალი ფორიანობით (საშუალოდ 35-40%), დაბალი სიმკვრივით (1.8-1.85 გრ/სმ<sup>3</sup>) და სუსტი შეჭიდულობით გამოირჩევა. კოლხეთის დაბლობის ტერიტორიის 200 კმ<sup>2</sup> ფართობზე ხმელეთის დაძირვის სიჩქარე ყველაზე მაღალი მდ. რიონის გასწვრივ (ფოთი-სამტრედიის მონაკვეთზე 0.56-5.0 მმ/წ) და ტექტონიკური რღვევის ხაზებთან (ჩრდილოეთით მდ. ენგურის შესართავი, სამხრეთით მდ. ნატანების შესართავი) პრაქტიკულად აღარ შეიმჩნევა.

რეგიონში ტალღური რეჟიმის ხასიათს ქარის პარამეტრები და წყალქვეშა ფერდის ბათიმეტრია განსამღვრავს. ამასთან, ტალღის

პარამეტრები (სიმალლე, პერიოდი, მიმართულება, ენერგია) სანაპირო ხაზის მოხაზულობასა და წყალქვეშა ფერდის თავისებურებებზე დამოკიდებული.

კოლხეთის დაბლობის სანაპირო ზონის თავისებურებას მისი შედარებითი სწორხაზოვნებაც წარმოადგენს. ასეთ პირობებში რეგიონის ზღვის სანაპირო თითქმის ღიაა გაბატონებული დასავლეთის რუმბის ქარებისა და მათგან გამონწვეული ტალღების მიმართ. ამ რეგიონის სანაპირო ზონის მეორე თავისებურებაა ნაპირთან კანიონების (წყალქვეშა ხეობების) სიახლოვე. ამ თავისებურებებს ძლიერი გავლენა აქვს სანაპირო აკვატორიაში ტალღური ველის რეფრაქცია-ტრანსფორმაციაზე. ღელვის ინტენსივობა როგორც სეზონურად, ისე მრავალწლიან პერიოდებში ცვალებადია. ძლიერი ღელვები უფრო ხშირია შემოდგომა-ზამთრის თვეებში, ხოლო დაბალი ინტენსივობის ღელვები მაის-ივნისში.

#### **4.3.1. ფოთის სანაპირო ზონის ტრანფორმაცია**

ანთროპოგენური ფაქტორის გააქტიურებამდე, მდ. რიონის სამხრეთი ტოტის შესართავის აკუმულაციური კუნძული „დიდი“ 1804-1926 წლებში 1.1 ჰა/წლ სიჩქარით იზრდებოდა. დროის ამ მონაკვეთში მისი ფართობი 133 ჰა გაიზარდა. ფოთის სანაპიროზე აკუმულაციური ფორმების ზრდის ინტენსიობა X1X საუკუნის დასაწყისში წლიურად 3.5-4.0 ჰა აღწევდა. მომდევნო დროში, როდესაც ხმელეთმა დიდ სიღრმეებს ( $h \geq 20$  მ) მიაღწია, სანაპიროს წინსვლა მკვეთრად შეიზღუდა. მაგალითად, სანაპირო 1804-1855 წლებში, 2.5 ჰა-ით იზრდებოდა. მომდევნო 100 წელიწადში ზრდის ტემპი საშუალოდ 2.2 ჰა/წ-მდე შემცირდა, ხოლო გუმათის წყალსაცავის ამოქმედების შემდეგ ეს სიდიდე 1 ჰა/წლ არ აღემატებოდა [89].

მას შემდეგ, რაც მდინარის ჩამონადენის უდიდესი ნაწილი ნაბადას, ანუ ჩრდილოეთურმა ტოტმა მიიტაცა და წყალსაცავიც ამოქმედდა, ფოთის სანაპიროს სამხრეთ ნაწილის აბრაზიის შეუქცევადი პროცესი დაიწყო. კერძოდ, კუნძულ „დიდის“ რაიონში ნატანის მწვავე დეფიციტი ჩამოყალიბდა, ხოლო პორტის ჩრდილოეთით, მდ. ნაბა-

დას შესართავთან სწრაფი ტემპით დაიწყო ახალი დელტის ჩამოყალიბება. ამ მოვლენებმა სერიოზული პრობლემები შეუქმნა ფოთის პორტს იმით, რომ პორტის სანავიგაციო არხის ინტენსიური მოსილვა დაიწყო ნატანის ისეთი ფრაქციებით ( $d \leq 0.1$  მმ), რომელთა ექსკავაცია (ამოხაპვა) განსაკუთრებით ძნელია, მათი მაღალი დენადობის გამო [70].

1923 წლამდე სამხრეთი ტოტით მდინარეს პლაჟნარმომქმნელი მასალის (ძირითადად წვრილი ქვიშა) თითქმის 60%, ანუ 1.3 მლნ მ<sup>3</sup>-მდე გამოჰქონდა. ნატანის დანარჩენი ფრაქციები იმ კანიონში იკარგებოდა, რომელიც აღნიშნული ტოტის მოპირდაპირედ მდებარეობს. პლაჟამგები ნატანის მკვეთრი დეფიციტის და მდ. რიონის მდ. ნაბადაში გადაადების შემდეგ დელტის წარეცხვა დაიწყო 6.25 ჰა/წლ სიჩქარით, ხოლო კუნძულ „დიდის“ – 2.2 ჰა/წლ სიჩქარით.

საქართველოს ნაპირდაცვის სამმართველოს მონაცემებით [79], [76] და ისტორიული ინფორმაციით, მდ. რიონის დელტაში ზღვა პერმანენტულად უკან იხევდა და ქ. ფოთიც მის ნაპირს მიჰყვებოდა. თითქმის ორი ათასწლეულის (134-2020 წწ.) განმავლობაში, ფოთმა 6.0 კმ-ით წინ წაიწია [87] ამ და სხვა ინფორმაციით რიონის შესართავში ხმელეთის ზრდის ტემპი, აკუმულაციის სხვადასხვა პერიოდში 3.0-8.5 მ/წლ შეადგენდა, ზოგიერთ წლებში (1894-1896 წწ.) 14 მ/წლ აღწევდა [4]. ამასთან, მთლიანად დელტის ფართობი 1804-1926 წლებში 135 ჰა გაიზარდა, ე.ი. წელიწადში მატება 1 ჰა-ზე მეტს შეადგენდა.

დელტის პერმანენტულმა ზრდამ მდ. რიონის ჩრდილოეთი ტოტის წინ მდებარე კანიონის გააქტიურება გამოიწვია. სანაპიროს ჩამოყალიბების აღნიშნულმა პროცესმა მე-19 საუკუნის 60-იან წლებში სახე იცვალა, როდესაც ფოთის პორტის დამცავი ჯებირი (მოლი) აშენდა. ამ ნაგებობამ პრაქტიკულად გაანახევრა ნატანის ნაპირგასწვრივი ნაკადის გავრცელების არეალი.

1923 წლის დიდმა წყალდიდობამ, მდ. რიონის ხარჭის 70%, ფოთის კანიონის მოპირდაპირე ჩრდილოეთ ტოტში გადაადგო. შტორმული ტალღების რეჟიმზე პორტის სამხრეთი მოლის გავლენამ და კანიონ-

ის სათავესთან მდინარის ჭარბი ნატანის აკუმულირებამ, ამ უკანასკნელის მკვეთრი გააქტიურება გამოიწვია. 1939 წლისათვის მანძილი კანიონსა და ფოთის სამხრეთ მოლს შორის 40 მ-მდე შემცირდა, რის გამოც პორტის ჭებირის წარეცხვის საფრთხე გაჩნდა.

ფოთის კანიონს (ნახ. 4.2) არსებითი გავლენა აქვს კუნძულ „დიდის“ მდგრადობაზეც, რის გამოც ნაპირდაცვითი ღონისძიების დაგეგმვის დროს, კანიონის ფაქტორი უნდა იყოს გათვალისწინებული.

კანიონის პასიური ფაზა 1939 წლიდან იწყება, როდესაც მდ. რიონი ფოთის პორტის ჩრდილოეთით შექმნლ ახალ კალაპოტში გადაადგედს. პირველ 20 წელიწადში, 10 მეტრიანმა იზობათმა უკან დახევა დაიწყო 7.5 მ/წლ სიჩქარით, ხოლო 20 მეტრიანმა – თითქმის 10 მ/წლ სიჩქარით [83]. მომდევნო წლებში (1986 წლამდე), კანიონის სათავის მოსილვის გამო უკანდახევის ტემპი 2.0-2.5 მ/წლ-მდე შემცირდა [75].

კანიონის სათავისა და ფერდების ვიზუალურმა შესწავლამ (აკვალანგებით, ბატისკაფით), ასევე გრუნტის ნიმუშების ანალიზმა აჩვენა, რომ მიუხედავად პასიურობისა, კანიონში ახლაც გრძელდება ლითოღინამიკური პროცესები, ფერდებზე კი დაფიქსირდა: მეწყრული ცირკები.

სამხრეთი ტოტის შესართავში, ნატანის უკმარისობის გამო, სანაპირო ზოლის წარეცხვის ტემპმა საშუალოდ 6 ჰა/წლ, ხოლო წარეცხილი სანაპიროს სიგანემ 60 მ/წლ მიაღწია [84]. იმავე პერიოდში, ახალი დელტის ზრდის ტემპი საშუალოდ 26 ჰა/წლ იყო.

1905 წლიდან, პორტის ჩრდილო-დასავლეთით, სანავიგაციო შესავლელი მოეწყო, პორტში ტალღური რეჟიმი და გემების დგომის პირობები რადიკალურად უკეთესობისკენ შეცვალა, მაგრამ არხის პერმანენტული მოსილვის გამო, სანავიგაციო პირობები გაართულა. მდ. რიონის ნაბადაში გადაადგების შემდეგ, დელტამ მკვეთრად წაიწია ზღვაში. შედეგად, ნებისმიერი მიმართულების დელტების დროს, მდ. რიონის ნატანი დინებებს პორტის სანავიგაციო არხში ჩააქვს, რაც მკვეთრად ამცირებს მათ სიღრმეს.

გუმათი-ვარციხის წყალსაცავებით მდ. რიონის რეგულირება, 1980-იან წლებამდე ფოთის პორტის სანავიგაციო პირობებზე არსებითად პოზიტიურ გავლენას ახდენდა. მდინარის მსხვილფრაქციული ნატანი ( $d \geq 5.0$  მმ) ამ წყალსაცავებში ილექებოდა.

1958-2020 წლებში წყალსაცავში დაახლოებით 50 მლნ მ<sup>3</sup> პლაჟამგები ნატანი დაილექა, ანუ წყალსაცავების ჯამურ მოცულობაზე 50%-ით მეტი. ამჟამად (2021 წ.), მდინარეს წყალსაცავებიდან ნატანის მსხვილფრაქციული ნაწილის 20-30% ტრანზიტით გააქვს, განსაკუთრებით წყალდიდობა-წყალმოვარდნების სეზონში და იძულებითი წყალგაშვებების დროს. მიუხედავად იმისა, რომ ამ წყალსაცავების ქვემოთ მდ. რიონს რამდენიმე შენაკადი უერთდება (ცხენისწყალი, ტეხური), მათი ნატანი საკმარისი არაა სამხრეთი ტოტის შესართავთან ჩამოყალიბებული დეფიციტის შესავსებად.

საქართველოს ზღვისპირში, სხვადასხვა ტექნოგენური ფაქტორების ზემოქმედების სიხშირე იმდენად მაღალია, რომ სანაპირო ზონას თვითრეგულირების უნარი აქვს დაკარგული. ამავე დროს, წყალსაცავების მშენებლობა და სხვა ნეგატიური პროცესები, პერმანენტულად ევსტაზიისა და შტორმული რეჟიმის გააქტიურების ფონზე ვითარდება. როგორც შედეგი, ბოლო ათწლეულებში ზღვისპირში სხვადასხვა სახის მნიშვნელოვანი პრობლემები წარმოიშვა. ამათგან, ძირითადია ბათუმისათვის ადლია-ბულვარის სანაპირო, ფოთისათვის – კუნძულ „დიდის“ ნაპირების დაცვა-აღდგენა.

კვლევებმა აჩვენა, რომ კუნძულ „დიდის“ სანაპირო ზონაში ნატანის არსებული დეფიციტის შესავსებად, აუცილებელია სამხრეთი ტოტის ხარჯის გაზრდა 550-600 მ<sup>3</sup>/წმ-მდე, რასაც მისი პარამეტრები ვერ უზრუნველყოფს.

ავარიული სანაპიროსათვის ქვიშის ხელოვნურად მიწოდებამ – „რეფულირებამ“ დადებითი შედეგი გამოიღო. 1986 წელს, მდ. რიონის წყალგამყოფი ნაგებობის ზედა ბიეფიდან, კუნძულ „დიდის“ სანაპირო ზონაში ქვიშის მიწოდება დაიწყო მინამწოვითა და 11 კმ სიგრძის პულპსადენით. 7 წლის განმავლობაში მიწოდებული ქვიშის მოცუ-

ლობამ 3.3 მლნ მ<sup>3</sup> (ცხრილი 4.2) მიაღწია. ამ გზით, ავარიულ უბნებზე, 30-50 მ სიგანის ნაპირდამცავი პლაჟების უწყვეტი ზოლი შეიქმნა (კუნძულ „დიდის“ ცენტრალურ ნაწილში – დაახლოებით 80 მ სიგანის).

**ცხრილი 4.2** ფოთის სანაპიროზე მდ. რიონიდან პულსადენით რეფულირებული პლაჟშემქმნელი მასალის მოცულობა (ექსპერიმენტის ხელმძღვანელი თ. ხანდოლიძევილი)

წელი	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
რეფულირებული ქვიშის მოცულობა, ათასი მ <sup>3</sup>	260	160	650	870	780	445	180

1993 წლისათვის, ხელოვნურად შექმნილი პლაჟების საერთო ფართობი სუფსა – ფოთის სანაპიროზე 12 ჰა შეადგენდა. ღონისძიების ნეგატივი იყო ის, რომ სანაპიროს ლოკალურ რაიონში ნატანის დიდი მოცულობით რეფულირებამ კანიონი გააქტიურა. 1989 წელს, მისი სათავე 50-70 მ-ით მოახლოვდა ნაპირს, რის გამოც საჭირო გახდა რეფულირების უბნის კანიონიდან სამხრეთით, 0.3-0.5 კმ მოშორებით გადანაცვლება.

1993 წლიდან, დაუფინანსებლობისა და საქართველოში განვითარებული ნეგატიური მოვლენების გამო, ნაპირდაცვის ღონისძიებები შეწყდა. მომდევნო წლიდან, ნაპირების წარეცხვის პროცესი მზარდი ტემპით განახლდა. საბოლოოდ, სანაპიროზე 1986 წლამდე არსებული ავარიული მდგომარეობა ჩამოყალიბდა.

### 4.3.2. ფოთის ზღვისპირის განვითარების პროგნოზი

ნაპირდაცვის გამოცდილება, ნატანის ხელოვნური ჩაყრის გზით, აჩვენებს, რომ მსხვილი ზომის ( $d \geq 1.0$  სმ) მასალის გამოყენება ღონისძიებათა სასურველ ეფექტიანობას უზრუნველყოფს. ამასთან, შემავსებელი ნატანის მოცულობა, სავარაუდოდ, 5.0-5.5 მლნ მ<sup>3</sup>-ს

უნდა შეადგენდეს. რაციონალურია, რომ ეს მასალა, გუმათი-ვარციხის წყალსაცავებიდან იყოს გამოტანილი. ის საკმარისად არის დამუშავებული, იაფია (სატრანსპორტო საშუალება – რკინიგზა) და მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს წყალსაცავების საექსპლოატაციო პარამეტრებს.

### **4.3.3. აჭარის ზღვისპირეთის განვითარების თავისებურებები და თანამედროვე მდგომარეობა**

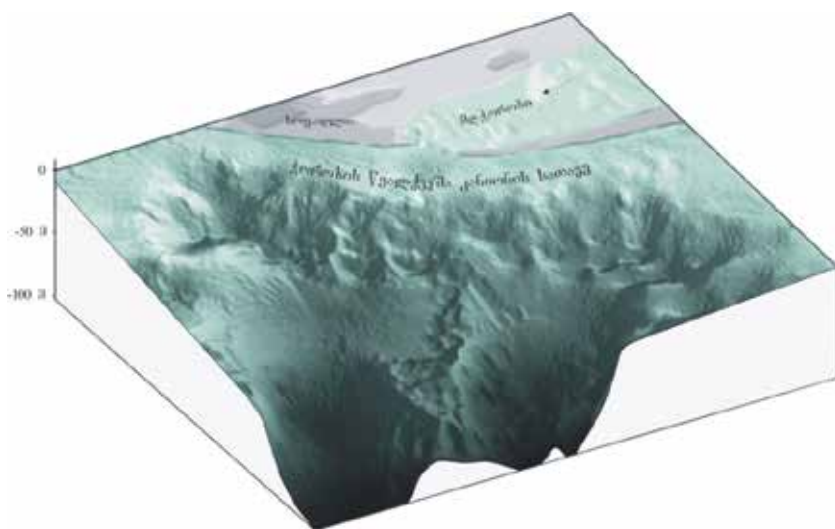
1830-იან წლებში მდ. ჭოროხი ზღვაში ორ ტოტად ჩაედინებოდა: სამხრეთი – თანამედროვე შესართავის რაიონში, ჩრდილოეთი – ადლიაში. დღევანდელი მდ. მეჭინის შესართავთან, ორივე ტოტი მსგავს დელტებს ქმნიდა ხშირად იცვლიდა კალაპოტს. 1890-იანი წლებისათვის, ჩრდილოეთის ტოტმა ისეთი მდებარეობა მიიღო, რომ წყალდიდობის დროს დატბორვა-წარეცხვით დაემუქრა მის დელტაში არსებულ დასახლებებსა და ბათუმის მოსაზღვრე რაიონს. ამ საშიშროების აცილების მიზნით, ჩრდილოეთი ტოტის გასწვრივ დამცავი ჭებირი აიგო, ითაც მნიშვნელოვნად შეუცვალა მიმართულება. ჭებირიდან არეკლილმა ტოტმა სამხრეთით გადანაცვლება დაიწყო. საბოლოოდ, ეს პროცესი იმით დამთავრდა, რომ ჩრდილოეთი ტოტის დელტა ნატანის გარეშე დარჩა, ამ ტოტის კალაპოტში კი მისი ფილტრატი მდ. მეჭინას სახით მოედინებოდა.

მდ. ჭოროხის ნატანის კონცენტრირებამ სამხრეთი ტოტის შესართავში, მნიშვნელოვნად შეცვალა ზღვის სანაპირო ზონის ერთიანი ლითოლინამიკური სისტემა, რადგან ნატანის უმეტესი ნაწილი კანიონში იკარგებოდა (ნახ. 4.6).

შესაბამისად, ადლია-ბათუმის სანაპიროზე, ნატანის მწვავე დეფიციტი გაჩნდა, რის გამოც ბოლო 150 წლის განმავლობაში მდ. მეჭინის შესართავში ზღვამ 400 მ-მდე სიგანის სანაპირო ზოლი წარეცხა. ზღვისპირის განვითარებაზე რადიკალურად იმოქმედა ბათუმის პორტის მშენებლობამ (1878 წ.), რადგან მან მდ. ჭოროხის ლითოლინამიკური სისტემის მოქმედების არე (გონიო-ადლია-ბათუმის-მწვანე კონცხი) 11-12 კმ-მდე შეამცირა.

ბათუმის კონცხის წვერზე დეზის-ტალღამრეკლი კედლის მშენებლობამ მდგომარეობა უფრო გაართულა. ამ კონსტრუქციის დანიშნულება პორტის აკვატორიის შტორმული ტალღებისა და მოსილვისაგან დაცვა იყო.

დებმა ჭოროხის შესართავიდან ჩრდილოეთისკენ ნატანის ნაკადი გადაკეტა, რის გამოც ნატანი თითქმის მთლიანად ბათუმის კონცხთან აკუმულირდებოდა. ამ პროცესის დასაწყისში, კონცხის ზრდის წლიური სიჩქარე 4.0 მ/წ აღწევდა [83]. დეზის გავლენით, ბათუმის კონცხი იმდენად მიუახლოვდა მდ. ჭოროხის (ბათუმის, ანუ ბურუნტაბიეს) პალეო კანიონს, რომ შტორმული ტალღებით მოტანილი ნატანი კანიონში იკარგებოდა.



**ნახ. 4.6** ჭოროხის წყალქვეშა კანიონის სათავე

კანიონის მიერ შთანთქმული პლაჟუმექმნელი მასალის ( $d \geq 1.0$  მმ) საშუალოწლიური მოცულობა 80-100 ათას მ<sup>3</sup>/წლ შეადგენდა.

2000-იან წლებში, მდ. ჭოროხის დელტაში ინერტული მასალის ქარხანა ამოქმედდა, რომელიც წლიურად 0.5-მდე მლნ მ<sup>3</sup> პლაჟუმ-



ქმნელ მასალას მოიხმარდა. ამან მკვეთრად შეამცირა სანაპირო ზონაში შემავალი მასალის მოცულობა. ისეთი მიზეზების გამო, როგორცაა თურქეთში ჭოროხის წყალსაცავების მშენებლობისათვის ამოქმედებული ნატანის კარიერები, ბათუმის ინერტული მასალის ქარხნის მიე ნატანის მოხმარება და სხვ., 1979-2020 წლებში, ნატანის საშუალო დიამეტრი 53-დან 18 მმ-მდე შემცირდა [9]. ამ ქმედებათა შედეგები ნეგატიურად აისახა შესართავის რაიონისა და მიმდებარე სანაპიროს მდგრადობაზე. ადლია, აჭარის სანაპიროს ერთ-ერთი ყველაზე ავარიული უბანი გახდა. თუ 1926-1980 წლებში მისი წარეცხვის სიჩქარე საშუალოდ 2.2 მ/წ იყო, 1980-2010 წლებში სიჩქარემ 3-5 მ/წ მიაღწია [10], [11].

#### **4.3.4. ნაპირდაცვითი ღონისძიებების ეფექტურობის ანალიზი ადლიაში**

1980-იანი წლებიდან ნაპირდაცვის ბუნებრივი პროცესების რეანიმაციისა და შემდგომი მართვის ახალი პლაჟის ხელოვნურად შევსების, ე.წ. „რეფულირების“ მეთოდი გამოიყენება. მისი მიზანი იყო ზღვის სანაპირო ზონაში ბუნებრივი პროცესების აღდგენა ერთიანი ლითოლინამიკური სისტემის ფარგლებში და სანაპიროს პერიოდული შევსება ნატანით. ნაპირშემქმნელი მასალის დეფიციტის წლიური მოცულობის გაანგარიშების შემდეგ, ფართო გამოცდილების საფუძველზე, გადაწყდა ავარიული უბნების რეფულირება: ა) მდ. ჭოროხის შესართავიდან და სანაპირო ზონის წყალქვეშა ფერდიდან ამოღებული ნატანით; ბ) ბათუმის კონცხთან აკუმულირებული ჭარბი ნატანის კვლავ ადლიის უბანში დაბრუნებით.

ამ მეთოდის რეალიზაციის პროცესში, ბათუმი-მახინჯაურის სანაპიროს ავარიულ უბნებს, 1982-1992 წლებში 1.5 მლნ მ<sup>3</sup>-მდე პლაჟშემქმნელი ნატანი მიეწოდა.

1990-იანი წლების მოვლენების გამო, მომდევნო წლებში ნაპირდაცვითი ღონისძიებები აღარ ტარდებოდა. შედეგად, ნაპირების უკანდახევის პროცესი მკვეთრად გააქტიურდა. კერძოდ, პირველ 1995 წლამდე წაირეცხა 18-25 მ სიგანის ტერიტორია, ხოლო 1995 წლის

ოქტომბრის 6-ბალიანმა შტორმმა აეროპორტის მიდამოებში 8-12 მ სიგანის ზღვისპირა ზოლი წარეცხა [10], [11].

მანამდე ჩატარებული სამუშაოსა და კვლევის შედეგებით, ავარიული სიტუაციის ლიკვიდაცია 4 კმ სიგრძის სანაპირო ზონაში (ჭოროხის შესართავი – აეროპორტი – ადლია – გემთმშენებელი ქარხანა) იმ მასალით მოხდა, რომელიც მანამდე ჭოროხისა და ბათუმის წყალ-ქვეშა კანიონის სიღრმეებში იკარგებოდა. ამასთან, ხელოვნურად შექმნილი პლაჟები პრაქტიკულად არ განსხვავდებოდა ბუნებრივისაგან.

მომდევნო ათწლეულებში, სანაპირო ზონაში ინერტული მასალის მიწოდების შეწყვეტის გამო განახლდა ნაპირების წარეცხვის პროცესი.

მდ. ჭოროხი 2012 წლიდან თურქეთში მშენებარე დერინერის (ზღვიდან დაშორება 70 კმ), ბოჩხას (ზღვიდან 40 კმ) და მურატლის (ზღვიდან 30 კმ) წყალსაცავებით რეგულირდება. მათ საქართველოში მოქმედი შუახევის წყალსაცავიც დაემატა [7]. ეს კასკადი ჭოროხისა და მისი შენაკადების (აჭარისწყლისა და მაჭახელას) ნატანის ზღვამდე მიტანას მთლიანად გამორიცხავს. წყალსაცავების ასეთი ზემოქმედება მდინარეზე, მისი დელტისა და სანაპიროების მიმდებარე მონაკვეთების უბნების მდგომარეობაზე მკვეთრად ნეგატიურად აისახა (ცხრ. 4.3).

**ცხრილი 4.3** მდ. ჭოროხის ნატანის საშუალო დიამეტრის ცვალებადობა

წელი	1972	1978	1983	1988	1989	1991	1993	1995	1999	2001	2015	2020
საშუალო d, მმ	53	46	34	27	20	21	19	19	20	18	18	17

მდ. ჭოროხის ზღვისკენ განუვლი დელტის აქტიური წარეცხვა გრძელდება, და ეს პროცესი გაგრძელდება, ვიდრე ვიდრე ამ პროცესის შე-

საბამისი სანაპირო ხაზი ჩამოყალიბდება. საბოლოოდ, საფრთხე აეროპორტის ასაფრენ ბილიკს დაემუქრა და სავარაუდოდ, აეროპორტისკენ მიმავალი გზის მიმდებარე მონაკვეთსაც ტალღური აბრაზია ზღვაში ჩაიტანს.

ასეთი სცენარის ასაცილებლად, ადგილობრივმა ხელმძღვანელობამ, ნაპირდაცვის სპეციალისტების რჩევით, დელტის ზღვისკენ შეზღუდული ნაწილიდან მოსახლეობის გასახლებისა და დელტის გასწორების გადაწყვეტილება მიიღო. ეს მიზანი 2010-იან წლებში მთლიანად შესრულდა. ამავე გადაწყვეტილებით, ჰოლანდიელ მეცნიერთა პროექტით და რეკომენდაციით, ადლიის სანაპიროები მასიური ლოდების დამცავი ფენით დაიფარა. სანაპიროს დანარჩენი ნაწილი, ანუ ზღვისპირა ბულვარის რეკრეაციული პლაჟები, პირვანდელ მდგომარეობაში დარჩა (ცხრ. 4.4, ნახ. 4.7). აქ, სანაპირო ზონა მიმდინარე პერიოდში ჯერ კიდევ ინარჩუნებს მდგრადობას. ამის დასტურია პლაჟის სიგანის მცირე ცვალებადობა ( $\delta = \pm 1.0$  მ/წ), რომელსაც სემონური ფლუქტუაციის ხასიათი აქვს. უშუალოდ ბათუმის კონცხი, 2017-2021 წლების მონიტორინგის მონაცემებით, ჯერ კიდევ იღებს მდგრადი მდგომარეობისთვის საკმარის ნატანს, მაგრამ ასეთი ნატანის დიამეტრი ორჯერ და მეტადაა შემცირებული.

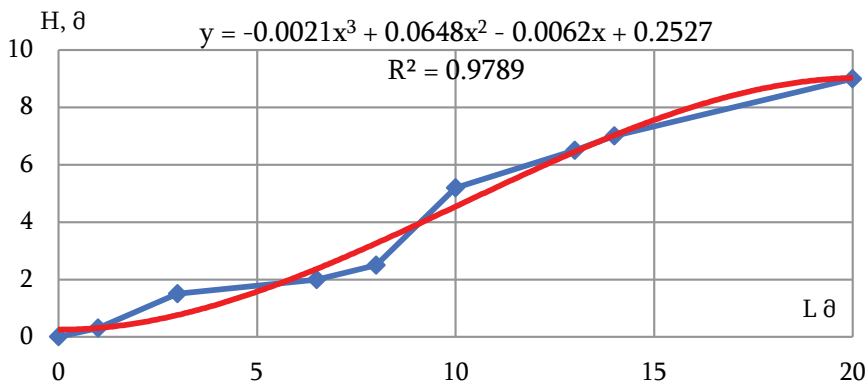
ამასთან, მაღალი ალბათობით მოსალოდნელია, რომ ლოდნაფენი სანაპიროები იმდენად შეამცირებენ ნატანის ნაპირგასწვრივ ტრანსპორტირებას, რომ 2030 წლისათვის ბათუმის სანაპიროზე და კონცხზე ნატანის მზარდი დეფიციტი დაიწყება. ასეთ მდგომარეობაში ამ სანაპიროს რეფულირება მისი შენარჩუნებისათვის გადაუდებელი საშუალება გახდება.

#### **4.3.5. გონივ-ადლია-ბათუმის სანაპირო ზონის ტრანსფორმაციის პროგნოზი ახლო მომავლისათვის (2040-2050 წწ)**

1998-2000 წლებში, მსოფლიო ბანკის პროექტის ფარგლებში (Integrates Municipal Water Management in Georgia), ჰოლანდიელ სპეციალისტებთან ერთად, ჩატარდა კვლევები, საფონდო მასალების

**ცხრილი 4.4** პლაჟის განივი პროფილი ძველ და ახალ ლოდნაფენებს შორის. პლაჟის სიგანე 20 მ, 2021 წ.

ზღვისპირიდან დაშორება, მ						დამატებითი ინფორმაცია
1.0		8.0		14.0		
d, მმ	%	d, მმ	%	d, მმ	%	
100	5	≤100	5	100	10	პლაჟის ტალღისებურობა სუსტადაა გამოსახული
55	55	80	15	60	80	
40	30	50	50	40	10	
≤20	10	≤30	30			



**ნახ. 4.7** პლაჟის განივი პროფილი ძველ და ახალ ლოდნაფენებს შორის

ანალიზი, პროცესების მათემატიკური მოდელირება, რის საფუძველზეც ადლია-ბათუმის სანაპირო ზონის განვითარების პროგნოზი 2025 წლამდე (საინჟინრო პერიოდი) და ნაპირდაცვითი ღონისძიებების რამდენიმე სცენარი მომზადდა. პროგნოზი მხოლოდ ერთ არგუმენტს ეყრდნობოდა – მდ. ჭოროხის ნატანის ბლოკირებას წყალსაცავებში და მის შედეგს – პლაჟშემქმნელი ნატანის პროგრესირებად დეფიციტს ზღვის სანაპირო ზონაში. კოლხეთის სანაპიროზე შავი ზღვის მიმდინარე შეფარდებით ევსტაზიასა და კლიმატის გლობალურ ცვლილებებს პროგნოზი არ ითვალისწინებდა. ნაშრომის დასკვნით ნაწილში აღნიშნულ იყო, რომ 2005 წლისათვის მდ. ჭორო-

ხის მიერ ზღვაში გამოტანილი პლასტმემქმნელი ნატანის მოცულობა 65%-ით შემცირდება, ხოლო 2015 წლისათვის – 95%-ით [9].

აღნიშნული პროექტის ფარგლებში წარმოდგენილი სანაპირო ზონის განვითარების 25-წლიანი პროგნოზი ორ – მინიმალური და მაქსიმალური წარეცხვის სცენარს ითვალისწინებდა. პირველ შემთხვევაში, წარეცხვის საერთო ფართი პროგნოზირებად პერიოდში 150-200 ჰა შეადგენს, ხოლო წარეცხვის მაქსიმალური სიგანე აეროპორტთან – 400 მ. მეორე შემთხვევაში, წარეცხვის ფართი 300-350 ჰა შეადგენს, ხოლო სიგანე – 1000 მ (ნახ. 4.8).

პირველ რიგში, უნდა აღინიშნოს, რომ პროექტში მონაწილე ქართველი სპეციალისტების დაყენებული მოთხოვნისა, კოლანდიელმა ექსპერტებმა წარეცხვის ზონაში არ შეიტანეს მდ. ჭოროხის დელტის მარცხენა ნაპირი და გონიოს ზღვისპირი იმ მოტივით, რომ ეს უბნები პროექტით გათვალისწინებული საკვლევი რაიონის ფარგლებში არ შედიოდა.



მაქსიმალური წარეცხვის ზონა (სიგანე მდ. ჭოროხის შესართავთან – 1000 მ)      მინიმალური წარეცხვის ზონა (სიგანე მდ. ჭოროხის შესართავთან – 400 მ)

**ნახ. 4.8** სანაპირო ზონის წარეცხვის არეალები „უმოქმედობის“ შემთხვევაში

წარეცხვის ზომები „მინიმალური“ სცენარის შემთხვევაშიც კი, საგანგაშოა. წარეცხვის ზონაში ბათუმის რამდენიმე მაღალსართულიანი შენობა მოექცევა (140 ოჯახამდე), აეროპორტის ასაფრენი ბილიკის ნაწილი და რეკრეაციული პლაჟები. „მაქსიმალური“ სცენარის მოსალოდნელი შედეგები ბევრად მძიმეა. წარეცხვის ზონაში 1500-მდე ოჯახით დასახლებული მაღალსართულიანი სახლები მოექცევა, აეროპორტის დაახლოებით 1000 მეტრიანი მონაკვეთი და ქალაქის ტერიტორიის დიდი ნაწილი. გარდა ამისა, პროგნოზირებადი წარეცხვის ზონის მიმდებარე, მჭიდროდ დასახლებული ტერიტორიები, შტორმული ტალღების ზემოქმედების ზონაში მოექცევა.

სანაპიროების აბრაზიისაგან დასაცავად, ბაზალტის მასიური ბრტყელი ლოდების საფარის შესაქმნელად 2000 წელს ჰოლანდიელი ექსპერტები იყვნენ მოწვეული. მათ ნატანის დეფიციტით გამოწვეული მოსალოდნელი მარალის აუდიტი ჩაატარეს. გაირკვა, რომ „უმოქმედობის“ შემთხვევაში, ზღვის სანაპირო ზონის საკვლევი რეგიონის მარალი, 2025 წლისათვის, 95 მლნ აშშ დოლარს მიაღწევდა.

2017-2020 წლების ამომავთმა კვლევებმა მნიშვნელოვანი კორექტივები შეიტანა პროგნოზის „მინიმალურ“ სცენარში. კერძოდ, დელტის გამოზნევილი ნაწილის ხელოვნურად მოკვეთა-გასწორების შემდეგ გონიო-ადლიის 6 კმ-მა სანაპირო ზონამ 25-28 ჰა დაკავა. შესაბამისად, უახლოესი მომავლისათვის (2030-2040), მონაკვეთზე „მდ. ჭოროხის შესართავი – ბათუმის კონცხი“, მოსალოდნელია ზღვის მიერ წარეცხილი ტერიტორიების ფართმა 95-100 ჰა მიაღწიოს.

#### **4.3.6. ოკეანოგრაფიული პროცესების გავლენა აჭარის სანაპირო ზონაზე**

ზღვის სანაპირო ზონის განვითარებაზე მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს ფარდობით ევსტაზიას და შტორმულ აქტივობას. პროცესის შეუქცევადობა უახლოეს მომავალში უდაოა. ოპონირების საგანი მხოლოდ პროცესის ტემპია.

ზღვის დონის ცვალებადობის შეფასებისას, სანაპიროს ცალკეულ უბნებზე, აუცილებელად გასათვალისწინებელია ხმელეთის ტექ-

ტონიკური მოძრაობისა და ფარდობითი ევსტაზიის პარამეტრები. ბათუმის სანაპიროსათვის ფარდობითი ევსტაზია 30 მმ/წ ტოლია. მაშინ, როდესაც იგივე მახასიათებელი მდ. ჭოროხის დელტის რაიონისათვის პრაქტიკულად ნულის ტოლია. შესაბამისად, თუ გავითვალისწინებთ, რომ მსოფლიო ოკეანის დონის აწევა ბოლო პერიოდისათვის შეადგენს 1.5-2.0 მმ/წელი, ფარდობითი აწევის სიჩქარე ბათუმისათვის იქნება დაახლოებით 5.8 მმ/წლ, ხოლო ჭოროხის დელტისათვის – 2 მმ/წლ [7].

მოყვანილი სიდიდეების მიახლოებითი მნიშვნელობის მიუხედავად, მათი გავლენა ადლია–ბათუმის რეგიონზე ნაკლებად საშიანო იქნება, რაც ზღვის სანაპირო ზონის შედარებით მაღალი დახრილობით (10-15°) არის გამოწვეული.

ზღვის შტორმული აქტივობის სტატისტიკური რიგის ანალიზის შედეგებით, ძლიერი შტორმების ( $\geq 5$  ბალი) რაოდენობა 1961-1971 წლებში 19%-ს აღწევდა, 1978-1988 წლებში – 26%, 1997-2007 წლებში – 54%. დაფიქსირებულია 3 შვიდბალიანი შტორმი. ამასთან, ძლიერი ( $n \geq V$  ბალი) შტორმების შიდაწლიური (სემონური) განაწილება მაქსიმალურია ივნისიდან სექტემბრამდე და მაქსიმალურია ოქტომბრიდან თებერვლამდე.

აჭარის ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის სტაციონარული მონიტორინგის 40-წლიან პერიოდში, ყველაზე აქტიური – 1997-2007 წლები იყო. ამ დეკადაში, მარტო 2007 წელს, ძლიერი შტორმების რაოდენობიდან, 34 – ხუთბალიანი იყო, 15 – ექვსბალიანი. მომდევნო დეკადაში (2010-2020 წწ) ძლიერი შტორმების რაოდენობა 30 იყო, აქედან შვიდბალიანი – 6 (ცხრ. 4.5).

სავარაუდოდ, აღწერილი პროცესები უკავშირდება კლიმატის მიმდინარე ფლუქტუაციას და განხილული უნდა იყოს როგორც სანაპირო ზონის მდგრადობაზე მნიშვნელოვანად მოქმედი ნეგატიური ფაქტორი.

სანაპირო ზონის ნაპირდაცვითი ღონისძიებების ვარიანტები ორი იპისაა: ნაპირის დაცვის „რბილი“ სცენარი და სანაპიროს გამაგრება ჰიდროტექნიკური ნაგებობებით.

**ცხრილი 4.5** შტორმების სიმძლავრე (ბალი) და შიდაწლიური განაწილება 2011-2020 წლებში

წელი	შტორმული სიხშირე და სიმძლავრე					
	5 ბალი		6 ბალი		7 ბალი	
	რაოდენობა	%	რაოდენობა	%	რაოდენობა	%
2010-2020	10	33	15	48	6	19

ნაპირიდაცვის „რბილი“ სცენარი „საქნაპირდაცვის“ მიერ 1982-1992 წლებში აპრობირებულ მეთოდს წარმოადგენს, რომლის ეფექტურობა პრაქტიკამ უკვე დაადასტურა. ამ მეთოდის ძირითადი პრინციპია ავარიული უბნის სანაპირო ზონაში ადრე არსებული ბუნებრივი პირობების შესწავლა, დესტაბილიზაციის გამომწვევი მიზეზების დადგენა არსებული რეალობის გათვალისწინებით, ნაპირდამცავი პლაჟების რეგენერაცია ნატანის შეტანის გზით, და მათი შემდგომი შევსება გარკვეული პერიოდულობით.

აღლია ტრანზიტულ ზონას წარმოადგენდა ნატანის ნაპირგასწვრივი ნაკადისათვის, რომლის ტრანზიტის შესაძლებლობა წელიწადში 100-120 ათას მ<sup>3</sup>-ს შეადგენდა. მასალის სიმსხოს შემცირება და ზღვის შტორმული რეჟიმის გააქტიურება, ნაკადის ტევადობას ზრდის. ამ გარემოებისა და ბათუმის პლაჟების მდგრადობის შესანარჩუნებლად, საჭიროა აღლიაში ჩაყრის მოცულობა წელიწადში 150-200 ათასი მ<sup>3</sup> შეადგენდეს.

წინა და მიმდინარე დეკადებში აღწერილი მეთოდი აღარ გამოიყენება. ამჟამად, პრიორიტეტულია ვულკანური წარმოშობის ბრტყელი მასიური ლოდებით სანაპიროების „გადახურვა“. ეს მეთოდი მდგრად სუბსტრატის სანაპიროებისათვის გამართლებულია. მდინარის ნატანით შექმნილი ნაპირებისათვის ლოდებით გადახურვა, მხოლოდ დროებითი დამცავი საშუალებაა. ისეთი მუდმივმოქმედი სისტემისთვისაც, როგორცაა „ზღვა – ხმელეთი“, საჭიროა ტალღური ენერჯის ჩამქრობი საშუალება, სანაპირო პლაჟების სახით.



აჭარის სანაპიროებზე ტექნიკური ნაპირდამცავი კონსტრუქციების გამოყენების მაგალითები მრავალია, მაგრამ მათი მოქმედების ხანგრძლივობა, 10-15 წელს იშვიათად აღემატება. ამიტომ, როდესაც სანაპირო შემავსებელ ნაკადს კარგავს, მდინარის ნატანის სახით, ოპტიმალური და მრავალმხრივად ეფექტიანი ვარიანტია „რეფულირების“ მეთოდით მისი პერიოდული შევსება ნატანით, ან სხვა მასალით.

ცხადია რეფულირების, ანუ „რბილი“ სცენარით ნაპირების დაცვას, თავისი პოზიტიური და ნეგატიური მხარეები აქვს.

#### **4.3.7. ბათუმის სანაპიროს მომავლის პროგნოზის (2040-2050) განმსაზღვრელი საწყისი ინფორმაცია**

მდ. ჭოროხის წყალსაცავებით გადაკეტვის (2012 წ.) მომდევნო ათწლეულში, ზღვისპირი მხოლოდ მდინარის კალაპოტის ამგებელი ნატანით საზრდოობს. პერიოდულად მას მდინარის შესართავიდან აღებული ალუვიური მასალა ემატებოდა, რომელიც ხელოვნურად აღლიის სანაპიროს მიეწოდებოდა. დოტაციის აღნიშნული პროცესი მანამ გრძელდებოდა, ვიდრე სანაპიროს შესართავი-აეროპორტის მონაკვეთი მასიური ლოდებით დაიფარებოდა. ამ ათწლეულში შესამჩნევად შემცირდა ნატანის დიამეტრი (ცხრ. 4.3), ძლიერი შტორმების სიხშირე გაიზარდა (ცხრ. 4.5) და ზღვამ 3-5 მ სიგანის ხმელეთი წარეცხა.

კლიმატის დათბობის ფონზე მიმდინარე ეს პროცესებიც ადასტურებს, რომ კოლხეთის სანაპიროს სენსიტიური უბნების, განსაკუთრებით ადღია-ბათუმის სანაპიროსთვის უნდა მოინახოს ნატანის ახალი მარაგი. ამასთან, ის უნდა იყოს განახლებადი მდ. ჭოროხის ნატანის ნაკადის მსგავსად და სასურველია, რომ რეკრეაციული პლაჟის სტანდარტებს აკმაყოფილებდეს.

ბათუმის სანაპიროს მომავლის პროგნოზი 2040-2050 წლისთვის შემდეგი ელემენტები განსაზღვრავს:

1. დერინერის წყალსაცავის მოსილვის პრიზმის ზღვრული მოცულობა – 2.2 მლრდ მ<sup>3</sup>

2. მდ. ჭოროხის მყარი ნატანის წლიური მოცულობა – 12 მლნ მ<sup>3</sup>.

შესაბამისად, ბათუმის სანაპიროს ჭოროხის ნატანით მომარაგება მას შემდეგ აღდგება, როდესაც მდ. ჭოროხი ნატანის ბუნებრივ რეჟიმს აღიდგენს დერინერისა და მის ქვემოთ არსებული წყალსაცავების გავლით. ეს კი მხოლოდ 210 წლის შემდეგ იქნება შესაძლებელი ( $\frac{2500}{12}$ ). მანამდე კი, ბათუმის სანაპირო ნატანის მუდმივი დეფიციტის რეჟიმში იარსებებს.

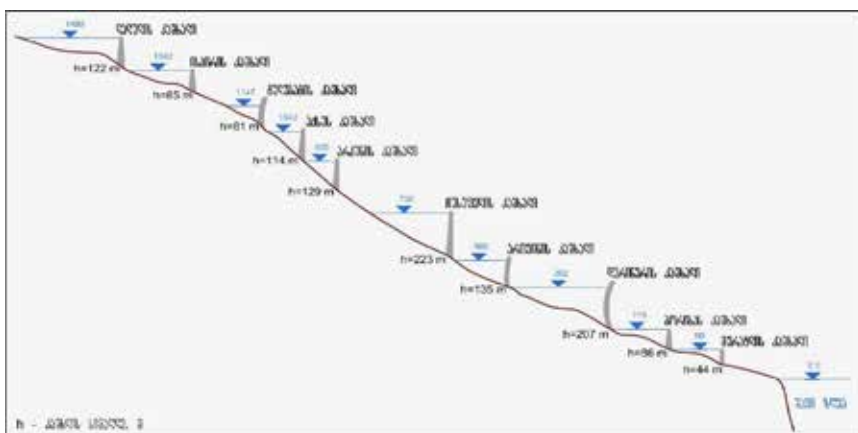
#### **4.4. სანაპიროს სენსიტიური მონაკვეთების შემავსებელი ნატანის სატრანსპორტო კონვეიერის „წყალსაცავი-ზღვისპირი-მომხმარებელი“ სავარაუდო მოდელები**

მთის მდინარეების ენერგოპოტენციალის გამოყენება წყალსაცავების საშუალებით, და მისგან გამოწვეული პლაჟამგები ნატანის მზარდი დეფიციტი, ორი შეუთავსებელი პრობლემაა, რომლის რეალიზაცია მიმდინარე პერიოდის რთულ ამოცანას წარმოადგენს. უფრო დიდი საფრთხის შემცველია წყალსაცავის ზედა ბიეფში მდინარის კალაპოტის ამაღლება მოსილვის პრიზმის, განსაკუთრებით მისი შლექის პერმანენტული აწევის გამო. ამის მაგალითია მდ. რიონი. მისმა კალაპოტმა გუმათის წყალსაცავის ზედა ბიეფში, ჟონეთი-მამანმინდის მონაკვეთზე, 1956-2020 წლებში 8.5 მეტრით აიწია და კვლავაც განაგრძობს ზრდას. შესაბამისად, იზრდება მოსახლეობის და ინფრასტრუქტურის დატვირთვა-წარეცხვის რისკებიც, რადგან გუმათის წყალსაცავის მოსილვის პრიზმი და შლექის განვითარება უახლოეს მომავალშიც (2030-2050) გაგრძელდება.

აღწერილი მოვლენა გლობალური მასშტაბისაა, რადგან ის ყველა წყალსაცავის თანამგზავრია, განსაკუთრებით იმ წყალსატევების, რომლებიც მთის მდინარეებს არეგულირებენ. მდ. ჭოროხზე აღნიშნული პრობლემის რეალიზაციის აუცილებლობა, წყალსაცავების კასკადის ზემოქმედების გამო წარმოიშვა (ნახ.4.9).

მოცემული კასკადის მხოლოდ დერინერისა და მურატლის წყალსაცავების შევსებას 210 წელი. ამ ხნის განმავლობაში, ბათუმის სანაპირო ხელოვნურად უნდა შეივსოს პლაჟამგები მასალის გარკვეული მოცულობით. შემავსებელი მასალის წყაროებად განიხილება: აჭარის ტერიტორიაზე ფლეთილი ქვის კარიერების შექმნა და გუმათის წყალსაცავში არსებული ნატანის გამოყენება.

გუმათის ნატანის მოცულობა  $>50$  მლნ  $\text{მ}^3$ , საიდანაც პლაჟამგები მასალა 60%-მდეა. მისი ალტერნატივაა მდინარეთა კალაპოტების



**ნახ. 4.9** თურქეთის წყალსაცავების კასკადი მდ. ჭოროხზე (მდინარე ნატანის ნაკადი გადაკეტა მურატლის, ხოლო მომდევნო წლებში დერიინერის წყალსაცავებმა)

ნატანის კარიერები და კლდოვანი გრუნტის აფეთქების პროდუქტი – ფლეთილი ქვა. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ნატანის დეფიციტი ბათუმის სანაპიროზე საუკუნეების განმავლობაში გაგრძელდება, ფლეთილი ქვით პრობლემის მოგვარება ნაკლებად სარწმუნოა. საბოლოოდ, წყალსაცავის მიერ შექმნილი ნატანის დეფიციტის პრობლემა, ისევ წყალსაცავის გამოყენებით უნდა მოიხსნას.

აჭარის სანაპიროების შესავსებად საჭირო ნატანის წლიური მოცულობაა 150-200 ათასი მ<sup>3</sup>, ფოთისათვის – 200 ათასი მ<sup>3</sup>. სხვა სანაპიროების მდგომარეობის გათვალისწინებით, საქართველოს ზღვისპირის აბრაზიისაგან საიმედო დაცვისათვის წლიურად 400-450 ათასი მ<sup>3</sup> პლაჟამგები ნატანია საკმარისი. ასეთი მოცულობის მასალის ყველაზე მომგებიანი ვარიანტია გუმათის წყალსაცავში ნატანის კარიერების სისტემის შექმნა. მისი მოსილვის პრიზმის მოცულობა 60 მლნ მ<sup>3</sup>-მდე აღწევს. აქედან, 50-55% პლაჟამგები მასალაა. ნატანის მოპოვებისათვის საჭიროა მოსილვის პრიზმის ტანზე კარიერების მოწყობა და სატრანსპორტო კონვეირის ქუთაისი-ფოთი შექმნა (ნახ. 4.10). ფოთიდან ნატანის მიწოდება ბათუმისათვის და ნებისმიერ დევრადირებული

უბნისათვის საცურაო საშუალებებით იქნება შესაძლებელი.

გუმათის წყალსაცავის ნატანის მარაგი იმითაც არის საინტერესო, რომ: ა) ამოუწურავია, რადგან მდინარე სისტემატურად შეავსებს კარიერს; ბ) წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობა და მასთან ერთად მოქმედების ვადაც იზრდება.

შესაძლებელია დერინერის წყალსაცავიდან აკუმულირებული მასალის ექსკავაცია და აჭარის ზღვისპირაში ავტომანქანებით ჩამოტანა. ამ ვარიანტის რეალიზაციისათვის საავტომობილო კონვეიერის შექმნა იქნება საჭირო.



**ნახ. 4.10** გუმათის წყალსაცავიდან ზღვისპირამდე ნატანის გადატანის ტრაექტორია

იმ შემთხვევაში, თუ აღნიშნული მასალა ქვედა ბიეფში ხელოვნურად იქნა გადატანილი, დარეგულირებული მდინარე, ნაკადის უკმარისი სიჩქარის გამო, მის ტრანსპორტირებას ვეღარ შეძლებს. ამასთან, ამ მასალამ ბორჩხას და მურატლის წყალსაცავები უნდა გამოიაროს,

ანუ ჯერ მათი მოსილვის პრიზმები უნდა შეავსოს და მხოლოდ ამის მხოლოდ შემდეგ, დარჩენილი ნაწილი მიაღწევს ზღვას.

ცხადია, განხილულთაგან ყველაზე ეფექტიანი და იოლად რეალიზებადია გუმათის წყალსაცავიდან ამოღებული ნატანის გამოყენება საქართველოს ზღვისპირის სენსიტიური უბნების შევსებისათვის. ამისათვის, წყალსაცავში უნდა მოეწყოს ნატანის მომპოვებელი კარიერები, საიდანაც ნატანი ფოთს და სხვა მომხმარებელსაც მიეწოდება (მშენებლობა, საგზაო ინფრასტრუქტურა და სხვ.). ამ ვარიანტს სხვა უპირატესობაც გააჩნია – ის განახლებადია, ვინაიდან მდინარე კარიერებს ყოველწლიურად შეავსებს.



# თავი

# 5

## წყალსაცავის ზემოქმედების შეფასება გარემოსა და მოსახლეობის უსაფრთხოებაზე

### 5.1. კლიმატზე წყალსაცავის ზემოქმედების შეფასება

#### 5.1.1 კლიმატზე წყალსაცავის ზემოქმედების ინდიკატორები და პარამეტრები

გარემოზე წყალსაცავის ზემოქმედის პროცესი კლიმატის მიმდინარე გლობალური ვარიაციების ფონზე ვითარდება. მისი რეგიონული, განსაკუთრებით კი ლოკალური მახასიათებლების შეფასების სირთულის გამო, ამ ვარიაციების ეფექტის განცალკევება წყალსაცავის გარემოზე, კონკრეტულად კი კლიმატზე ზემოქმედებისაგან შესაძლებელია, თუ წინასწარ იქნება გამოკვლეული ამ ფონის მახასიათებლების საშუალო და ექსტრემალური პარამეტრები და მათი სტატისტიკური მახასიათებლები [78],

[92], [93], [94]. ასეთი ფონი, წყალსაცავის დისლოკაციის სავარაუდო რაიონისათვის, წინასწარ უნდა იყოს გამოკვლეული. სხვა შემთხვევაში, წყალსაცავის გარემოზე ზემოქმედების შეფასება საკმარისი არ იქნება.

კლიმატის მიმდინარე ვარიაციისა და წყალსაცავების კლიმატზე ზემოქმედების კვლევები განსაკუთრებით 1960-1980-იანი წლებიდან გააქტიურდა, მაშინ, როდესაც ჰაერისა და ზღვის წყლის ტემპერატურის მკვეთრი ზრდა და წყალსაცავების მშენებლობა დაფიქსირდა. ასეთი კვლევები არა ერთგმის არის დაფიქსირებული გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო-კონვენციის ეროვნული შეტყობინებებით (1999, 2009, 2015) [12, 13, 29, 30], ასევე კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებული ფუნდამენტური კვლევების [1], [18], საველე, ნატურული და თეორიული ნარკვევების, წყალსაცავისა და კლიმატის ურთიერთქმედებისადმი მიძღვნილი ნაშრომების [18], [20], [31], [35], [38], [39], [44], [48], [49], [51], [52], [59], [62], [64], [65] სახით და სხვ.

წყალსაცავის კლიმატზე ზემოქმედების ინსტრუმენტებია ატმოსფეროსთან შეხების ზედაპირი და ის ფართობები, რომლებიც მისი წყლით ირწყვება და ტენიანდება. ასეთი ზემოქმედების ეფექტიანობის განმსაზღვრელია წყალსაცავის მორფომეტრია, დონეების რეჟიმი და გავლენის არეში მოქცეული ტერიტორიის გეომორფოლოგია. თავის მხრივ, ამ ინსტრუმენტების ეფექტიანობა „ატმოსფერო-ოკეანის“ თერმულ რეჟიმზეა დამოკიდებული, ისევე როგორც მტკნარი წყლის ბალანსზე, რომელიც ამჟამად ოკეანის სასარგებლოდ იცვლება.

აღნიშნული ფაქტორების შესაბამისად, დედამიწაზე იცვლება ატმოსფეროსა და ჰიდროობიექტების ტემპერატურა, ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა და გადატანის ტრაექტორიები, ქარი და ტენიანობა. ამ ფაქტორების სივრცობრივ-დროითი ვარიაციის პროცესში ის კლიმატური ფონიც ყალიბდება, რომლის საშუალებითაც უნდა მოხდეს წყალსაცავის კლიმატზე ზემოქმედების შეფასება. კლიმატური ფონის რეგიონულ და ლოკალურ მნიშვნელობათა ძირითადი ელემენტებია: ჰაერის ტემპერატურა (T), ატმოსფერული ნალექები



(p), ქარი (w) და ზღვის დონის კლიმატური ნაზრდი (აბსოლუტური ევსტაზია, h) და ზღვის წყლის ტემპერატურა (t).

კლიმატური ფონის რეგიონულ და კონკრეტულ მნიშვნელობათა გაანგარიშება თეორიული და ემპირიული მეთოდებით არის შესაძლებელი. აღნიშნული ამოცანის შესრულებისას პრიორიტეტულია ემპირიული მეთოდი, რადგან მონიტორინგის შედეგები საშუალებას იძლევა შეიქმნას კონკრეტული მეტეო- და ოკეანოგრაფიული მონიტორინგის ცენტრის დაკვირვებათა მონაცემების „გრძელი რიგები“ შემდეგი სახით:

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_{n-p}, X_n \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (5.1)$$

აქ:  $X_1$  ნებისმიერ ელემენტზე დაკვირვების გასაშუალოებული მონაცემებია.

ფონის მახასიათებლებად შერჩეულია ჰიდრო- და მეტეოელემენტების შემდეგი პარამეტრები: საშუალო არითმეტიკული ( $m_j$ ) და მისი მათემატიკური ლოდინი ( $M_j$ ), შესაბამისი ალბათობით (A), ექსტრემალური მნიშვნელობები ( $\frac{\max}{\min}$ ) და ჯამური ნაზრდი ( $\sum_j T$ ), შესაბამისი ტრენდებით ( $\tau$ ).

ფონის უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია კლიმატური ელემენტების ვარიაციის პოლინომური განტოლება და ტრენდები ( $\tau$ ).

კლიმატური ფონის საკვლევ რეგიონად შერჩეულია შავი ზღვის აღმოსავლეთი რეგიონი – კოლხეთის დაბლობი და კავკასიონის ქედის 1000 მ-დე სიმაღლის წინამთები. აქ ერთმანეთს ესაზღვრება ტერიტორიები, რომელთაგან ნაწილი თავისუფალია წყალსაცავის ზემოქმედებისაგან, ზოგშიც, წყალსაცავების ეფექტი კლიმატური ვარიაციის ფონის პარალელურად ვითარდება. მონიტორინგის ხანგრძლივობისა და სპექტრის მიხედვით, შერჩეულია სამი მეტეო- და ორი ოკეანოგრაფიული სადგური (ცხრ. 5.1). მათი მონაცემებით შექმნილია ათი სტატისტიკური რიგი, მათ შორის ოთხი ოკეანოგრაფიული, [92], [93], [94].

**ცხრილი 5.1** შავი ზღვის აღმოსავლეთი რეგიონის  
ჰიდრომეტეოროლოგიური შესწავლილობა

პუნქტი	მეტეოინფორმაცია		ოკეანოინფორმაცია	
	ჰაერის ტემპერატურა	ატმოსფერული ნალექები	ზღვის დონე	წყლის ტემპერატურა
ბათუმი	1897 - 2019	1881-2019	1881-2020	1881-2019
ფოთი	1881-2020	1869-2019	1874-2019	1874-2019
ქუთაისი	1848-2019	1890-2019	-	-

„გრძელ რიგებში“ პირველი ფრაგმენტი მოიცავს დროის მონაკვეთს წყალსაცავის ამოქმედებამდე ( $\{X_i\}_{i=1}^k$ ), მეორე – მისი მოქმედების პერიოდს ( $\{X_i\}_{i=k+1}^n$ ):

$$\{X_i\}_{i=1}^k, \{X_i\}_{i=k+1}^n, i = 1, 2, 3, \dots, k, k + 1, \dots, n \quad (5.2)$$

აქ:  $X_i$  – დროის გარკვეულ მონაკვეთში ჰაერისა და წყლის ტემპერატურის, ქარის სიჩქარის, ატმოსფერული ნალექებისა და სხვა ელემენტების გასაშუალოებულ მონაცემებს წარმოადგენს.

ბათუმის სანაპირო რაიონში ჰაერის ტემპერატურული რეჟიმი ზღვის ძლიერი გავლენით ყალიბდება. ამიტომ ამ ფენომენის დახასიათება, ზღვის სანაპირო წყლების ვერტიკალური ცირკულაციისა და ტემპერატურის ცვალებადობის გათვალისწინებით შესრულდა. ბათუმის სანაპირო ღრმანწყლოვანი ზონაა. აქ ჭოროხის პალეო- და თანამედროვე კანიონები უშუალოდ სანაპიროდან იწყება. მათი სიღრმე 120-150 მ აღემატება. ამის გამო, აღმოსავლეთისა და ჩრდილოეთის რუმბის შტორმული ქარების მიერ აღძრულ კომპენსაციურ დინებებს, ღრმა ფენების ცივი წყალი ზედაპირზე ამოაქვს და მნიშვნელოვნად აგრილებს წყლის ზედა, ჰაერის შემხებ ფენას.

ამ რიგების სტატისტიკური ანალიზით გაირკვა, რომ ბათუმის სანაპიროზე ჰაერის ტემპერატურა 1915-1985 წლებში, პრაქტიკულად სტა-

ბილური იყო (ნახ. 5.1-ა) და მისი საშუალო მნიშვნელობა  $14.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  ზღვრებში იცვლებოდა. მომდევნო 1986-2018 წლებში ტემპერატურამ ინტენსიური მატება დაიწყო. ამ პერიოდის ბოლოს მისმა საშუალო წლიურმა ნაზარდმა  $1.0^{\circ}\text{C}$  გადააჭარბა.

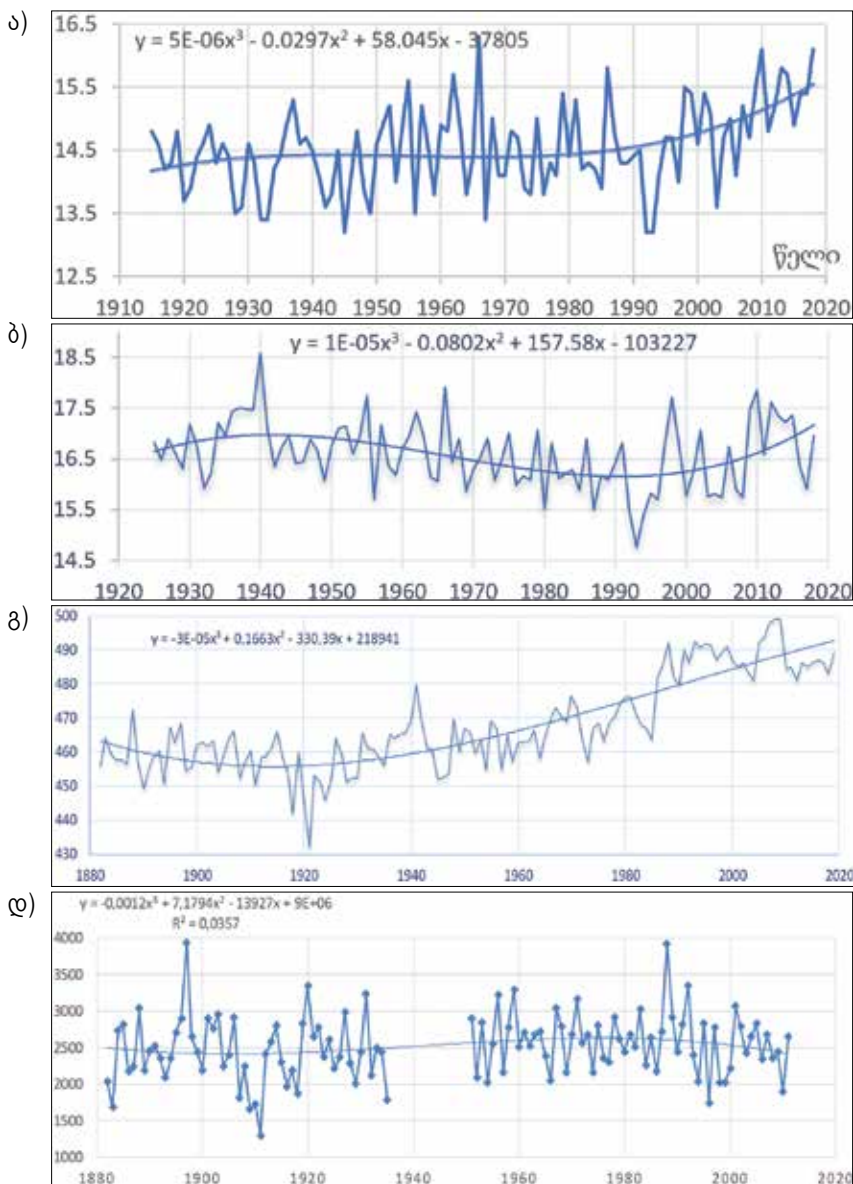
შესაბამისად, მონიტორინგის მთელი პერიოდი შეიძლება 1915-1985 და 1986-2018 წლების ქვეპერიოდებად დაიყოს, რომელთაგან პირველში ჰაერის ტემპერატურას სუსტად აღმავალი სინუსოიდური საუკუნოვანი სვლა ახასიათებს, საშუალო ტემპერატურის  $0.5^{\circ}\text{C}$  რყევით. მომდევნო ათწლეულებში ტემპერატურის მატების პროცესი საშუალოდ  $1.0^{\circ}\text{C}$ -ით დაჩქარდა. 1986-2018 წლებში ტემპერატურის ცვალებადობის ტრენდი დადებითია ( $\Delta t = 0.03$  გრად/წლ.). ტრენდის პოლინომურ განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$T = ax^3 - bx^2 + cx - d \quad (5.3)$$

იმ წლებში, როდესაც შტორმული ქარების სიხშირე დაბალია, ზღვის ტემპერატურა მკვეთრად იზრდება (1940, 1967, 2010), ხოლო 1980 და 1993 წლებში პირიქით, საშუალოზე დაბალია. ეს ფენომენი განსაკუთრებით ცხადად 2010 წელს გამოჩნდა, როდესაც ივლის-აგვისტოში შტორმული ქარები არ ყოფილა. წყლის ვერტიკალური ცირკულაციის დაყოვნების გამო, ტემპერატურამ აგვისტოში იმდენად აიწია ( $30^{\circ}\text{C}$ -მდე), რომ რეკრეაციული მიმზიდველობა დაკარგა, ხოლო სანაპირო ზოლის ფსკერის ფლორა-ფაუნისათვის ლეტალური აღმოჩნდა.

აღნიშნული თავისებურებებისა და მონიტორინგის შედეგების მიხედვით, ზღვის ტემპერატურის მრავალწლიან ცვალებადობაში ცხადად გამოიყოფა ორი ქვეპერიოდი (ნახ. 5.1-ბ): 1925-1990 წლები ტემპერატურული პიკით 1940 წელს და სინუსოიდური მრავალწლიანი განაწილებით; 1991-2018 წლები მკვეთრად აღმავალი ტენდენციით.

პირველ პერიოდში ტემპერატურის საუკუნოვანი განაწილება სინუსოიდური ხასიათის იყო, ტემპერატურის მაქსიმუმით 1940 წელს ( $18.5^{\circ}\text{C}$ ). ამ ქვეპერიოდში ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობა  $16.3 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  ზღვრებში იცვლებოდა. მომდევნო, 1995-2018 წლებში,



ნახ. 5.1 ჰაერის ტემპერატურის (ა), ზღვის ტემპერატურის (ბ), ზღვის დონის (გ) და ატმოსფერული ნალექების (დ) საუკუნოვანი ვარიაციები ბათუმის სანაპირო ზონაში

ტემპერატურამ ინტენსიური მატება დაიწყო. ამ პერიოდის ბოლოს საშუალო ტემპერატურამ 16.8°C-მდე აიწია, ხოლო ჯამურმა ნამატმა 1.1°C-ს მიაღწია. ზღვის ტემპერატურის ცვალებადობის ტრენდი დადებითია ( $\Delta t = 0.03$  გრად/წლ.), ხოლო ტრენდის პოლინომურ განტოლებას, ჰაერის ტემპერატურის მსგავსი სახე აქვს.

ბათუმის სანაპირო ზონაში ზღვის დონის საუკუნოვანი ცვალებადობა (აბსოლუტური ევსტაზია), ჰაერისა და ზღვის წყლის ტემპერატურათა მსგავსად, მესამე რიგის პოლინომური განტოლებით გამოისახება. ამ ფენომენის მონიტორინგის გრძელპერიოდიანი რიგი ორი ფრაგმენტისაგან შედგება (ნახ. 5.1-გ): 1882-1923 და 1924-2020 წლები. პირველი მათგანის ტენდენცია დაღმავალია, მეორესი – მკვეთრად აღმავალი. პირველ პერიოდში საშუალო დონემ 8.0 სმ-ით დაიწია (ტრენდი  $\Delta H_1 = -1.0$  მმ/წლ). მეორე პერიოდში, დონე 28.0 სმ-ით გაიზარდა (ტრენდი  $\Delta H_2 = 2.98$  მმ/წლ). ამასთან, მაქსიმალური დონეები 1990-2010 წლებშია რეგისტრირებული, ხოლო აბსოლუტური მაქსიმუმი ( $H = 502$  სმ) 2010 წელს.

სამივე ელემენტის ჰაერისა და ზღვის ტემპერატურებისა და დონის საუკუნოვან ცვალებადობათა კომპლექსური ანალიზით შეიძლება ზღვის დონის კლიმატისმიერი ნაზარდი და გეოლოგიური ტრენდი განისაზღვროს. გეოლოგიური ტრენდი ბათუმის სანაპიროსა და მასთან ერთად დონეების ათვლის სისტემის ვერტიკალურ მოძრაობას უჩვენებს. ამისათვის, უნდა დავუშვათ, რომ რადგან გეოლოგიური ტრენდი მრავალსაუკუნოვანი პერიოდულობით ხასიათდება, მონიტორინგის მთელი დროის (137 წლის) განმავლობაში პრაქტიკულად უცვლელია, თუ მასზე სხვა გეოლოგიური ფაქტორი არ იწვევს მის კორექტირებას. ამ შემთხვევაში, დონის კლიმატური ნაზარდი მეორე და პირველი ქვეპერიოდების ტრენდების ალგებრულ სხვაობას წარმოადგენს:

$$\Delta H_1 - \Delta H_2 = 2.98 - 1.00 = 1.98 \text{ მმ/წლ} \quad (5.4)$$

ნალექების რაოდენობის ცვალებადობა სინუსოიდური ვარიაციით ხასიათდება, მინიმუმით 1900-იან წლებში (2250 მმ), მაქსიმუმით 1980-

იან წლებში (2660 მმ) და შემდგომი შემცირებით 1980-2018 წლებში (ნახ. 5.1-დ). ამ სინუსოიდური ვარიაციის შესაბამისი პოლინომური განტოლება (5.3) გამოსახულების იდენტურია.

ფოთის სანაპირო რაიონში ჰაერის ტემპერატურული რეჟიმი ზღვის, მდ. რიონისა და სემონური ქარების ძლიერი გავლენით ყალიბდება. ამასთან, ფოთის სანაპირო ზონა მცირე სიღრმეებით ხასიათდება. აქ ნაპირიდან 0.8-1.2 კმ დაშორებით, მდ. რიონის უძველესი (სამხრეთი) კანიონი იწყება, რომლის სიღრმეა  $\leq 50$  მ. ამის გამო, „პულვერიზატორის ეფექტით“ ამოდენილი სიღრმის ცივი წყალები, ზედაპირულ წყლებსა და ჰაერის ფენაზე შედარებით სუსტად ზემოქმედებენ. აქ უფრო მნიშვნელოვანია მდ. რიონის ჩამონადენის გამაგრილებელი გავლენა, განსაკუთრებით წყალდიდობა-წყალმოვარდნების სემონში. იმ წლებში, როდესაც აღმოსავლეთის შტორმული ქარების სიხშირე დაბალია, ზღვის ტემპერატურა მკვეთრად იზრდება (1936, 1967, 1998, 2010 წწ), 1911 და 1956 წლებში კი პირიქით – საშუალოზე დაბალია. შტორმული ქარების დაფიციტი აქაც განსაკუთრებით ცხადად 2010 წელს გამოჩნდა, როცა ივლის-აგვისტოში ბრიზული ქარიც კი ჩვეულებრივზე სუსტი იყო. ზღვის ვერტიკალური ცირკულაციის დაყოვნების გამო, წყლის ზედა 10 მ სისქის ფენა აგვისტოში იმდენად გათბა ( $T \geq 30^{\circ}\text{C}$ ), რომ რეკრეაციული თვისებები დაკარგა.

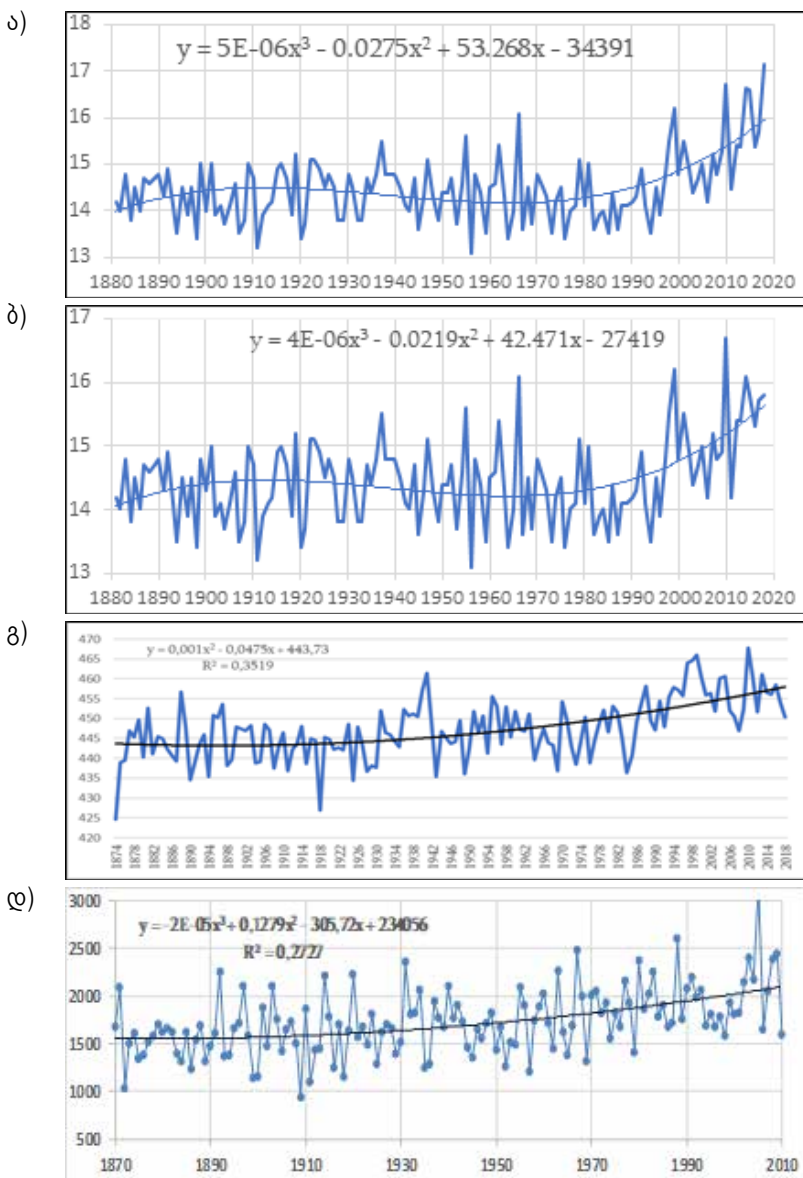
ფოთის საკვლევი რეგიონის სტატისტიკური ანალიზის თანახმად, სანაპირო რაიონში ჰაერის ტემპერატურა 1900-1905 წლებში იზრდებოდა, 1906-1985 წლებში პრაქტიკულად სტაბილური იყო და მისი საშუალო მნიშვნელობა  $14.3 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  ზღვრებში იცვლებოდა (ნახ. 5.2-ა). მომდევნო, 1986-2018 წლებში, ტემპერატურამ ინტენსიური აწევა დაიწყო. ამ პერიოდის ბოლოს, მისი საშუალო წლიური მნიშვნელობა  $17.2^{\circ}\text{C}$ -მდე გაიზარდა, ხოლო ნაზრდმა  $1.3^{\circ}\text{C}$  მიაღწია. შესაბამისად, მონიტორინგის მთელი პერიოდი შეიძლება 1881-1985 და 1986-2018 წლების ქვეპერიოდებად დაიყოს. აქედან, პირველში ჰაერის ტემპერატურას სუსტად აღმავალი სინუსოიდური საუკუნოვანი სვლა ახასიათებს, საშუალო ტემპერატურის  $0.3^{\circ}\text{C}$  ვარიაციით; მომდევნო ათწლეულებში მკვეთრი დათბობა, როდესაც ტემპერატურამ საშუალოდ  $1.3^{\circ}\text{C}$ -ით მოიმატა და კვლავ იზრდება. 1986-2018 წლებში,

ტემპერატურის ცვალებადობის ტრენდი დადებითია ( $\Delta t = 0.04$  გრად/წლ.), ხოლო ტრენდის პოლინომური განტოლება – მესამე ხარისხისაა (5.3). ზღვის წყლის ტემპერატურის რეჟიმზე, მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს შტორმული ქარებით აღძრულ ღრეიფულ დინებებს, ვერტიკალურ ცირკულაციებს და მდ. რიონის წყალდიდობა-წყალმოვარდნის წყლების ზალპურ შეღწევას ზღვის სიღრმეში. ამ ფაქტორების ერთობლივი აქტიურობის შედეგად ზღვის ტემპერატურის საუკუნოვანი ვარიაცია ყალიბდება, რომელიც ჰაერის ტემპერატურული ცვალებადობის მსგავსად სინუსოიდის ფორმისაა, ოღონდ 5-7 წლის დაყოვნებით (ნახ. 5.2-ბ). აქ, შტორმული ქარების მიერ გამოწვეული მძლავრი ცირკულაციის დაყოვნების წლებში, ზედა ფენა ზაფხულში იმდენად თბება, რომ რეკრეაციულ მიმზიდველობას კარგავს.

ფოთის სანაპირო ზონაში, ზღვის დონე 1920-იან წლებამდე, უპირატესად გეოლოგიური ტრენდის გავლენით იცვლებოდა (ნახ. 5.2-გ). მომდევნო, 1923-2018 წლებში, კლიმატური ფაქტორის ზემოქმედებით, ზღვის დონემ ფოთში 16 სმ-ით აიწია. შესაბამისად, აქ კლიმატური ფაქტორის ზემოქმედებით, ზღვის დონის ტრენდი დადებითია და 1.0-1.1 მმ/წლ აღწევს.

ფოთის სანაპირო ზონა ტენიანი სუბტროპიკული კლიმატის ზონაში მდებარეობს. აქ ატმოსფერული ნალექების მონიტორინგის პერიოდი აღმაავალი ტენდენციით ხასიათდება (ნახ. 5.2-დ). მისი პოლინომური განტოლება (5.3) სახისაა. ნალექების საუკუნოვანი სვლა 1870-1910 წლებში შედარებით სტაბილურია, 1980-2018 წლებში კი ნალექების ნამატმა 200 მმ მიაღწია. შესაბამისად, ამ პროცესს 1980-2018 წლებში მკვეთრად აღმაავალი ტენდენცია აქვს და ამას მისი ტრენდის მაღალი მნიშვნელობაც ( $\tau = 6.4$  მმ/წ) ადასტურებს.

ქუთაისსა და მისი შემოგარენში საკმაოდ ძლიერია ქარების (ფიონები, მთა-ხეობის, სეზონური) გავლენა გარემოზე, ამიტომ ხანგრძლივი და ფართო სპექტრის დაკვირვებები ამ ელემენტებზე, განსაკუთრებით საინტერესოა. მონიტორინგის მონაცემებით, 1848-1960 წლებში, ჰაერის ტემპერატურა  $0.4^{\circ}\text{C}$ -ით შემცირდა (ნახ. 5.3-ა). 1980-



**ნახ. 5.2** ჰაერის ტემპერატურა (ა), მდვის წყლის ტემპერატურა (ბ), მდვის დონის (გ) და ატმოსფერული ნალექების (დ) საშუალო წლიური მნიშვნელობების საუკუნოვანი ვარიაციები ფოთის სანაპირო ზონაში



2018 წლებში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა სწრაფად იზრდებოდა და აღნიშნული ინტერვალის ბოლოს  $15.0^{\circ}\text{C}$  აღწევს ( $\tau=0.04$  გრად/წლ). ამ ელემენტის საუკუნოვანი ვარიაცია (5.3) სახის პოლინომური განტოლებით გამოისახება.

ატმოსფერული ნალექების საუკუნოვანი ვარიაცია რთული ხასიათისაა. მისი ცვალებადობა მეხუთე რიგის პოლინომური განტოლებებითაა ნაჩვენები (ნახ. 5.3-ბ). 1905-1910 წლებიდან ამ ელემენტის ინტენსიური შემცირება დაიწყო და 2011-2018 წლებში მისი საშუალო სიდიდე  $1100$  მმ/წლ არ აღემატებოდა (ტრენდი  $\tau = -3.6$  მმ/წ). ქუთაისის რეგიონში ტენიანობა თანდათან იკლებს და ეს ტენდენცია სავარაუდოდ უახლოეს მომავალშიც გაგრძელდება. ეს ფაქტი წყლის რესურსების ხელოვნური რეგულირების სრუყოფის აუცილებლობას ადასტურებს.

ზღვის გავლენა ჰაერის ტემპერატურაზე ცხადად იკვეთება ზღვისპირიდან  $100$  კმ დაშორებულ ქუთაისის მეტეოსადგურის მონიტორინგის შედეგებში. გამოვლინდა ტემპერატურის საუკუნოვანი ცვალებადობის ორი ინტერვალი: ხანგრძლივი სინუსოიდური და ხანმოკლე მკვეთრი ზრდის ( $\Delta T \approx 1.0^{\circ}\text{C}$ ) ვარიაციები.

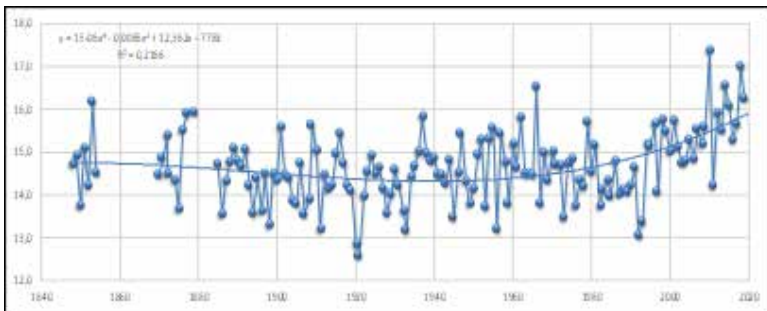
ზღვის წყლის ცვალებადობის საუკუნოვანი ვარიაცია ჰაერის ვარიაციის იდენტურია. განსხვავება საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურების სიდიდეებშია – სანაპირო ზოლში წყლის ტემპერატურა ჰაერის ტემპერატურაზე თითქმის  $2^{\circ}\text{C}$ -ით მაღალია.

ბრიზული ცირკულაციის მიღმა, ატმოსფერული ნალექების დეფიციტი მკვეთრად იზრდება, რაც წყალსაცავების მშენებლობის აუცილებლობას ადასტურებს.

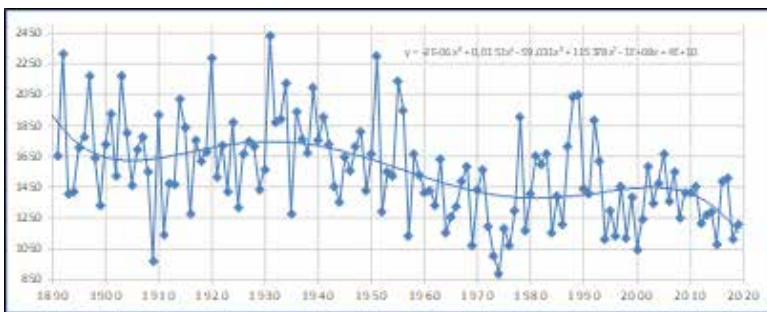
კლიმატური ფონის კვლევის განზოგადებული შედეგები დროის მოცემული მონაკვეთისა და ტერიტორიისათვის ცხრილი 5.2-ის სახით არის წარმოდგენილი.

საბოლოოდ, სისტემაში „წყალსაცავი-კლიმატი“, კლიმატური ფონი ჰიდრომეტეოროლოგიური ელემენტების სივრცე-დროითი დინამი-

ა)



ბ)



**ნახ. 5.3** ჰაერის ტემპერატურის (ა), ატმოსფერული წალექების (ბ) საუკუნოვანი ვარიაციები ქუთაისის მეტეოსადგურის მონიტორინგის ზონაში

კის განზოგადებულ შედეგს წარმოადგენს A ალბათობით, დროის კონკრეტული  $\tau$  ინტერვალისა და f პუნქტისათვის.

**ცხრილი 5.2** კლიმატური ფონის ძირითადი სტატისტიკური მაჩასათებლები შავი ზღვის აღმოსავლეთ რეგიონში

მონიტორინგის რაიონი და ელემენტები	ფონი I, 1980 – 2019 წწ.				ფონი II, 1940-1980 წწ.					
	m <sub>j</sub>	M 95%	ნაზრდი		m <sub>j</sub>	M 95%	ნაზრდი		max min	
			Σ	ტრენდი, τ			Σ	ტრენდი, τ		
ბათუმი	T°C	14.8	14.8±0.1	1.1	0.03	14.4	14.4±0.1	0.0	0.0	16.4 13.5
	°C	16.4	16.4±0.1	1.0	0.02	16.7	16.7±0.1	-0.8	-0.02	18.6 15.5
	Hსმ	480	480±5	9.0	0.22	465	46±5	24	0.30	483 455
	Pმმ	2510	2510±120	484	13.4	2610	2610±200	218	29.0	3289 2026
ფოთი	T°C	14.8	14.8±0.2	1.4	0.04	14.3	14.3±0.1	-2.5	-0.06	16.1 13.1
	°C	16.3	16.3±0.1	0.5	0.01	16.4	16.4±0.1	-0.3	-0.01	17.6 15.4
	Hსმ	454	454±2	9.0	0.16	445	446±3	5.0	0.12	467 435
	Pმმ	2040	2040±110	423	11.0	1750	1750±50	98.0	2.5	2477 1199
ჭოთასი	T°C	15.0	15.0±0.2	1.4	0.04	14.6	14.6±0.2	-0.2	-0.01	16.5 13.2
	Pმმ	1420	1420±130	-86	-2.2	1500	1500±110	-226	-6.0	2307 893

### 5.1.2 წყალსაცავის კლიმატზე ზემოქმედების შეფასების მეთოდები კლიმატური ფონის გამოყენებით

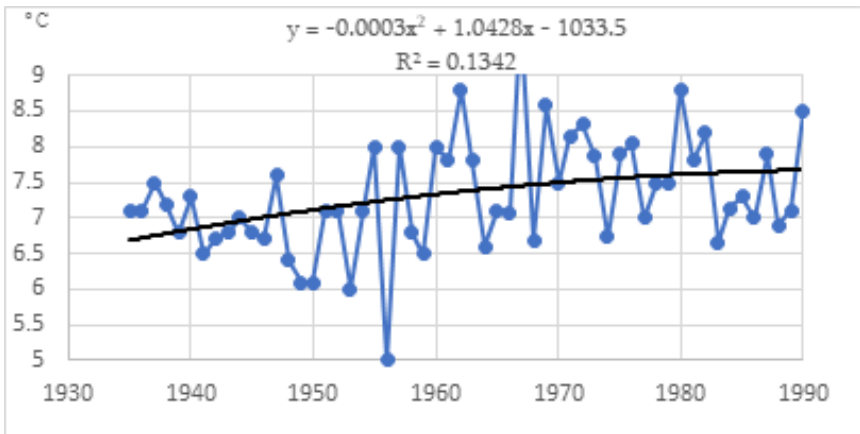
კლიმატური ფონის პარამეტრების (ფონი I, 1980-2019 წწ, ფონი II, 1940-1980 წწ) ანალიზი ადასტურებს, რომ წყალსაცავების არსებობის პერიოდში (დაახლოებით 150 წ.), კლიმატი ისეთი სისწრაფით იცვლება, რომ მის ფონზე წყალსაცავის როლის გამოფილტვრა ყველა წყალსატევზე არ ხერხდება. ზოგან კი პირიქით, ხილული ინდიკატორები მიკროკლიმატზე წყალსაცავის პოზიტიურ ზემოქმედებას ადასტურებენ. ასეთია შაორის წყალსაცავის ლოკალური ზემოქმედება შაორის პლატოს მიკროკლიმატზე (ნახ. 5.4, 5.5).

შაორის წყალსაცავი, ზამთრობით მდგრადი ყინულით იფარება. მისი შენაკადის, კარსტული წარმოშობის მდ. შაორას ტემპერატურა დეკემბრიდან აპრილამდე, მაშინ როდესაც ჰაერის იგივე მახასიათებელი შაორის პლატოზე უარყოფითია, წყალსაცავის აგებამდე 4.0°C აღემატებოდა. წყლის და ჰაერის ტემპერატურების ასეთი კონტრასტი ინტენსიურ აორთქლებას იწვევდა. ამ ტენს, ტყიბულიდან მომავალი ქარი, ნაქერალას უღელტეხილის გავლით, სოფ. ნიკორწმინდისაკენ მიმართავდა და ჭირხლის სახით აფენდა გარემოსა და ნიკორწმინდის ტაძარს.

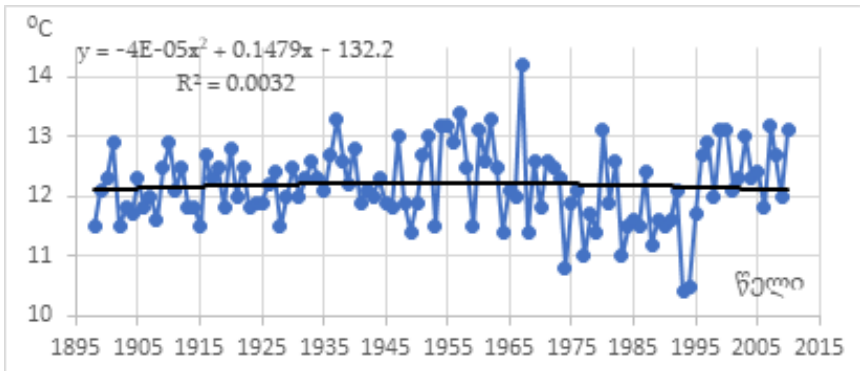
ტენის ასეთი რეჟიმი მრავალი საუკუნის განმავლობაში სოფელსა და ტაძარს მძიმე პირობებს უქმნიდა. ამას ადასტურებს ტაძრის კირქველი პერანგის ფილებში ჭირხლისა და ტენის ხანგრძლივი ზემოქმედების შედეგი, 1.5-2.0 სმ სიღრმის ეროზიული ღრმულების წყება.

წყალსაცავის აგების შემდეგ მდგომარეობა პოზიტიურად შეიცვალა. წლის ცივ პერიოდში (დეკემბერი-მარტი), წყალსაცავი მდგრადი ყინულით და თოვლის ფენით იფარება. შესაბამისად, 1954 წლიდან, აღნიშნულ თვეებში, სოფელი და ტაძარი საიმედოდ არის დაცული აორთქლებული ტენისა და ჭირხლის ეროზიული ზემოქმედებისგან.

შესაბამისად, შაორის წყალსაცავმა ზამთრის ჭარბი ტენიანობის ნეგატიური ზემოქმედების ხუთთვიანი პერიოდი (დეკემბერ-მარტი) 1.0-1.5 თვემდე (მარტ-აპრილი) შეამცირა.



**ნახ. 5.4** ჰაერის ტემპერატურა ნიკორწმინდაში (ხერგა) წყალსაცავი აიგოს 1954 წ.



**ნახ. 5.5** ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა ტყიბულში. წყალსაცავი ამოქმედდა 1955 წ.

ამ წყალსაცავის ლოკალურ კლიმატზე ჰაერის საშუალო ტემპერატურის მატება 1950-1990 წლებში  $0.7^{\circ}\text{C}$ -ით, პოზიტიურ გემოქმედებას ადასტურებს (ნახ. 5.4). ამავე პერიოდში ტყიბულსა და მის შემოგარენში ჰაერის ტემპერატურა მხოლოდ უმნიშვნელოდ ( $0.1^{\circ}\text{C}$ ) შემცირდა (ნახ. 5.5).

მსგავსი რეჟიმით ხასიათდება წალკის წყალსაცავი. ისიც წლის ცივ

პერიოდში მდგრადი ყინულით იფარება და გარემოსა და დასახლებულ პუნქტებზე აორთქლების ზეგავლენას გამორიცხავს. შესაბამისად, მიკროკლიმატზე მისი პოზიტიური ზემოქმედება იმ ეფექტით უნდა შეფასდეს, რომელსაც მათი ყინულსაფარის ხანგრძლივობა და სხვა მსგავსი მახასიათებლები ქმნის.

შესაბამისად, გაყინვადი წყალსაცავებისათვის მონიტორინგის ჰიდრომეტეოროლოგიური ინფორმაციის მათსტატისტიკური ანალიზის შედეგებისა და ცხადი ვიზუალური ეფექტების ერთობლივი განხილვა, ის საიმედო მეთოდია, რომლითაც კლიმატზე წყალსაცავის ზემოქმედების შეფასებაა შესაძლებელი.

გაუყინავი წყალსაცავებისათვის ყველაზე საიმედოა მეთოდები, რომლებიც აკვატორიაზე მოქმედი ჰიდრომეტეოროლოგიური სადგურების დროისმიერ რიგებსა და ემპირიულ გამოსახულებებს იყენებენ. თუ ასეთი საშუალებები არ არსებობს, ან რიგი „სტატისტიკურად მოკლეა“, რეკომენდებულია „ანალოგის“ მეთოდი.

ანალოგი-წყალსაცავი გარემო პირობების მსგავსების მიხედვით შეირჩევა. ასეთ პირობებში, დასაშვებია ტბაზე დაკვირვების ზოგიერთი მონაცემის (ჰაერის ტემპერატურა, ქარის სიჩქარე, აორთქლება) გამოყენებაც (ცხრ. 5.3), ოღონდ გარკვეული შესწორებებით.

წყალსაცავის კლიმატზე ზემოქმედებას, გლობალური დათბობის გარდა, მრავალი სხვა ფაქტორიც არეგულირებს. მათ შორის ძირითადია: სარკის მორფომეტრია, განედური და მაღლივი მდებარეობა, ჰორიზონტის ტიპი (ღია, დახურული).

ჰაერის ნაკადი, წყალსაცავის სარკეზე გადასვლისას, მახასიათებლებს იცვლის. ამის მიზეზებია: წყლის გლუვი ზედაპირი, აორთქლება, განსხვავებული ტემპერატურა და ტენიანობა. ეს მახასიათებლები, შესაბამის სიმაღლესა და მანძილზე, ატმოსფეროს სტრუქტურასა და მეტეოროლოგიური ელემენტების პარამეტრებს ცვლიან.

წყალსაცავებსა და ტბებზე შესრულებულმა გამოცემებმა აჩვენა, რომ ჰაერის ნაკადის სიჩქარე ნაპირიდან 50-100 მ მანძილზე მკვეთრად

იზრდება (ცხრ. 5.3, 5.4). მომდევნო 1000 მ-მდე მანძილზე, მისი სიჩქარე გაცილებით ნელა იცვლება, უფრო მოშორებით – პრაქტიკულად უცვლელია.

**ცხრილი 5.3** ქარის სიჩქარის ცვალებადობა ვესელოვსკის წყალსაცავის სარკვეზე [71]

მანძილი ნაპირიდან, მ	ქარის სიჩქარე 2.0 მ სიმაღლ., მ	მანძილი ნაპირიდან, მ	ქარის სიჩქარე 2.0 მ სიმაღლ., მ	მანძილი ნაპირიდან, მ	ქარის სიჩქარე 2.0 მ სიმაღლ., მ
0.0	1.58	0.0	3.78	0.0	3.69
15	1.71	15	3.95	300	3.85
300	2.03	300	4.70	1400	4.05
1400	2.05	2050	4.64	2100	4.01

**ცხრილი 5.4** დასავლეთის რუმბის ქარების სიჩქარის ცვალებადობა თბილისის წყალსაცავის სარკვეზე (გლდანი-აეროპორტის ტრავერსი. სარკვის სიგრძე 10 კმ)

პუნქტი – გლდანი, „ყაენის გორა“		პუნქტი – „მცირე ზღვის“ სრუტე*		პუნქტი – ვარკეთილის მეურნეობის დასახლება**	
მანძილი ნაპირიდან, მ	ქარის სიჩქარე 2 მ-ზე, მ/წმ	მანძილი ნაპირიდან, მ	ქარის სიჩქარე 2 მ-ზე, მ/წმ	მანძილი ნაპირიდან, მ	ქარის სიჩქარე 2 მ-ზე, მ/წმ
ნაპირი	5.0	ნაპირი	30-35	ვარკეთილის ჰმს, ხმელეთზე 100 მ	≥40,0
50	15-20	50	35-40		
300	30-35	300	35-40		
7000 (სრუტე)	30-35	1200	≥40		

\* ანემომეტრით

\*\* ანემორუმბოგრაფით

ბუნებრივ პირობებში, ნატურული ექსპერიმენტებისა და სავსე კვლევების სირთულის გამო, საჭირო გახდა სხვადასხვა გარემოში მდებარე წყალსატევებზე ქარის, ჰაერის ტემპერატურის, აორთქლებისა და სხვა კლიმატური ელემენტების საანგარიშო კოეფიციენტების ექსპერიმენტულად განსაზღვრა. ასეთი კოეფიციენტების გამოყენებით, შესაძლებელია სახმელეთო მეტეოსადგურების მონაცემებით სარკვევ მოძრავი ჰაერის მასების მეტამორფიზაციის განსაზღვრა მათემატიკური გამოსახულებებით.

იმის გამო, რომ ქარის სიჩქარისა და სხვა კლიმატური ელემენტების მონიტორინგი სანაპიროზე მოქმედი მეტეოსადგურებზე მიმდინარეობს და რადგან ზოგიერთი მათგანი (ფლიუგერი, ანემორუმბოგრაფი) მიწისპირიდან 8-10 სიმაღლეზე მოქმედებს, საჭიროა მათი და სხვა საზომი აპარატურის მონაცემების წყალსაცავის სარკიდან 2.0 მ სიმაღლემდე დაყვანა.

ამ მიზნით, ექსპერიმენტულად შერჩეულია კოეფიციენტები, რომლებიც ქარის სიჩქარეზე რელიეფის, ქვემდებარე ზედაპირისა და სიმაღლის გავლენას ასახავენ [71], [72], [73].

$$U_{200} = k_1 k_2 k_3 U_f \quad (5.5)$$

აქ:  $U_{200}$  – ქარის სიჩქარე სარკიდან 2.0 მ სიმაღლეზე, მ/წმ;  $U_f$  – ქარის სიჩქარე მ/წმ ხმელეთზე მოქმედი მეტეოსადგურის მონაცემებით;  $k_1$  – მეტეოსადგურის ჰორიზონტის ტიპი და დაცულობა;  $k_2$  – დაკვირვების პუნქტის ირგვლივ რელიეფის ხასიათი,  $k_3$  – სარკვევ ქარის გამორბენის მაძილი, კმ.

ინსტრუმენტული გამომვებით, ქარის სიჩქარე ხმელეთიდან სარკვევ გადასვლისას 300-500 მ ზოლში, მკვეთრად ძლიერდება (ცხრ. 5.3, 5.4). შემდეგ მისი სიჩქარე, პრაქტიკულად, აღარ იზრდება. ფართო, წყალმარჩხ წყალსატევებზე, ქარს ზედა 0.5 მ ფენა მოჰყავს მოძრაობაში, შემდეგ კი, ქარის სიჩქარისა და ხანგრძლივობის მატებასთან ერთად, 1.0 მ-მდე და უფრო ღრმა ფსკერისპირა ფენები იწყებენ მოძ-



რაობას. ამასთან, მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს ჰორიზონტის ტიპს. მთისა და მთისწინების წყლსაცავებზე, რომლებიც ღრმა ხეობებშია შექმნილი, ჰორიზონტი უმეტესად მხოლოდ მდინარის დინების გასწვრივ არის ღია. ასეთ შემთხვევაში, წყალსაცავის გავლენა ქარის სიჩქარეზე ყველაზე ძლიერი ხეობის გასწვრივაა, კაშხლიდან ქვემოთ 3-5 კმ-მდე. ამ მანძილების მიღმა, მისი გავლენა ქვემდებარე ზედაპირის ხორკლიანობაზე და ხეობის მორფომეტრიაზე (სიგანე და კლაკნილობა) არის დამოკიდებული. ქარის ეფექტზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სიმაღლეთა სხვაობა კაშხლის თხემსა და სარკეს შორის. ის განსაზღვრავს თუ სარკის რა ნაწილებია მოქცეული ქარის მოქმედების არეში და კაშხლის „ჩრდილში“. ამ სიდიდეთა შესაბამისად, ვითარდება წყლის ცირკულაცია ზედაპირულ და ღრმა ფენებში.

წყალსაცავზე მოძრაობისას ჰაერის ტემპერატურა სარკიდან 2.0 მ სიმაღლეზე მნიშვნელოვნად იცვლება. მისი გაანგარიშება შემდეგი ემპირიული გამოსახულებითაა შესაძლებელია:

$$t_{200} = t'_{200} + (t - t'_{200}) M \quad (5.6)$$

აქ:  $t_{200}$  – ჰაერის ტემპერატურა სარკიდან 2.0 მ სიმაღლეზე,  $t'_{200}$  – ჰაერის საშუალო ტემპერატურა უახლოესი მეტეოსადგურის მონაცემებით,  $t$  – წყლის ტემპერატურა წყალსაცავში,  $M$  – ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (ცხრ. 5.5).

ასეთი ეფექტი მრავალი ფაქტორის ფუნქციას წარმოადგენს, რომელთა შორის ძირითადებია: სარკის მორფომეტრია, წყალსაცავის განედური და მაღლივი მდებარეობა, ჰორიზონტის ტიპი (ღია, დახურული).

ჰაერის ტენიანობის განსაზღვრა შემდეგი სახის გამოსახულებითაა შესაძლებელია:

$$e_{200} = e'_{200} + (0,8 e^0 - e'_{200}) M \quad (5.7)$$

**ცხრილი 5.5** M კოეფიციენტის დამოკიდებულება წყალსაცავის სარკვეზე ჰაერის მასის გარბენის მანძილზე [71]

ჰაერისა და წყლის ტემპერატურების ფარდობა	წყალსაცავის სარკვეზე ჰაერის ნაკადის გარბენის საშუალო მანძილი, კმ									
	0.1	0.2	0.5	1	2	3	10	20	50	100
$t \approx t'_{200}$	0.02	0.03	0.08	0.12	0.23	0.23	0.28	0.34	0.44	0.51
$t < t'_{200} \geq 4^{\circ}\text{C}$	0.03	0.06	0.13	0.18	0.33	0.33	0.38	0.53	0.53	0.60
$t > t'_{200} \geq 4^{\circ}\text{C}$	0.01	0.02	0.03	0.05	0.10	0.10	0.15	0.28	0.28	0.37

აქ:  $e'_{200}$  – ჰაერის საშუალო ტენიანობა ხმელეთზე 2.0 მ სიმაღლეზე, მბარ;  $e^0$  – წყლის ორთქლის მაქსიმალური დრეკადობა, რომელიც წყალსაცავის ზედაპირული ტემპერატურის გამოყენებით გამოითვლება, მბარ; M – ტენიანობის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, რომელიც ჰაერის საშუალო ტენიანობის, ტემპერატურისა და წყალსატევის მორფომეტრიის ფუნქციაა [71].

გლობალური დათბობის პირობებში, გარემოსა და ადამიანისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს აორთქლებას. წყალსაცავებში ეს კლიმატური ელემენტი არის მრავალი ფაქტორის ფუნქცია, რომელთა შორის ძირითადია ჰაერისა და წყლის ტემპერატურები ( $t_{200}$ , t), ქარი (v) და ორთქლის დრეკადობა (e). მთიანი რეგიონებისათვის, კონკრეტულად კავკასიის წყალსატევებიდან აორთქლებული ტენის აღრიცხვისათვის, შექმნილია შემდეგი სახის გამოსახულება [73]

$$E' = 0.29(e^0 - e_{200})(1 + 0.227 W_{200}) \text{ მმ/დღ} \quad (5.8)$$

აქ:  $E'$  – აორთქლებული წყლის ფენის სიმაღლე, მმ/დღე-ღამე;  $e^0 - e_{200}$  – წყლის ორთქლის დრეკადობის სხვაობა სარკვეზე და 2.0 მ სიმაღლეზე;  $W_{200}$  – ქარის სიჩქარე სარკვიდან 2.0 მ სიმაღლეზე.

ჰაერის ტემპერატურა და ტენიანობა წყალსაცავის სარკვეზე გადას-

ვლისას, ნაპირიდან 200-500 მ ზოლში, მკვეთრად იცვლება. შემდგომ, მათი ტრანსფორმაცია კვლავ გრძელდება, ოღონდ მიღევა-დი სიჩქარით.

მთის წყალსაცავებზე, გარემოსა და მათი მორფომეტრული პარამეტრების თავისებურებების გამო, ჰაერის ტემპერატურა და ტენიანობა მნიშვნელოვნად (ნაპირიდან 200-500 მ მანძილზე) იცვლება. უფრო დაშორებით, მათი ცვალებადობა პრაქტიკულად უმნიშვნელოა.

იმ შემთხვევაში, როდესაც წყალსაცავის მშენებლობისათვის ადგილის შერჩევა ხდება და საჭიროა კლიმატზე მისი ზემოქმედების საორიენტაციო შეფასება, მიზანშეწონილია „ანალოგის“ მეთოდის გამოყენება. ამისათვის: უნდა ჩამოყალიბდეს სამშენებლო რაიონის „კლიმატური ფონი“ ზემოთ აღწერილი ფორმით; უნდა მოხდეს საველე კვლევების ინფორმაციის გამოყენება წყალსაცავის მორფომეტრიის საპროექტო მონაცემებით და რეკომენდაციების გათვალისწინებით.

## 5.2. გრუნტის წყლებზე წყალსაცავის ზემოქმედების შეფასება

### 5.2.1 გრუნტის წყლების რეჟიმზე წყალსაცავის ზემოქმედების მექანიზმის გამოკვლევა, მისი ინდიკატორებისა და პარამეტრების განსაზღვრა

გრუნტში წყალი წყალსაცავიდან, კაშხლისა და სადერივაციო გვირაბის, ასევე მისი ფსკერისა და ფერდობების გავლით, აღწევს. ამ ჰიდროტექნიკური ნაგებობის შექმნით წყლის გარკვეული სიღიღის მასა წარმოიქმნება, რომელიც თავისი წონით სერიოზულ გავლენას ახდენს კაშხალზე, ქვაბულის ფსკერზე და ფერდებზე. რაც უფრო ღრმაა წყალსაცავი მით უფრო მაღალია წნევა, რომლითაც წყლის მასა ფსკერის და ფერდობებზე ზემოქმედებს. ამ მხრივ, საქართველოში, ყველაზე მაღალი წნევის გავლენას, 226 მ სიღრმის ჯვრის წყალსაცავის ფსკერის ამგებელი ქანები განიცდის. გაზაფხულზე, როდესაც წყალსაცავში წყლის სიღრმე მინიმალურია (145-150 მ), წყალი 14.5-15.0 ატმოსფეროს წნევით, მათ ფორებსა და ნაპრალებზე ზემოქმედებს. გაზაფხულში, როდესაც წყალსაცავი 510 მ ნიშნულამდე აივსება, წნევა 23 ატმოსფერომდე იზრდება და, შესაბამისად, ამ ქანების გავლით ფილტრირებული წყლის მოცულობაც იმატებს.

ფილტრაციული პროცესები ყველა წყალსაცავზე ანალოგიურად ვითარდება. და ყოველ მათგანში, ქვაბულის სიღრმის ( $h$ ), ამგებელი ქანების წყალგამტარობის ( $p$ ) და წყლის დონის ამპლიტუდის ( $A$ ) შესაბამისად ხდება.

წყალსაცავის ქვაბულის ქანების წყალგამტარობას მათში ფორებისა და ნაპრალების ზომა და რაოდენობა, ანუ ზოგადად ფორიანობა ( $p$ ) განსაზღვრავს. ფორიანობის კოეფიციენტის გამოსახულებაა [81]:

$$P = \frac{\omega_r}{\omega} < 1 \quad (5.9)$$

აქ:  $\omega_r$  არის ფორების ჯამური ფართობი გრუნტის სინჯის კვეთში,  $\omega$  - გრუნტის სინჯის ფართი.

წყალსაცავებიდან ფილტრირებული წყლების მოძრაობის რეჟიმი ლამინარულია, როდესაც მოძრაობა ქვიშაქვების, თიხაფიქლების, კირქვებისა და მსგავსი კონსისტენციის ქანების ფორ-ნაპრალების გავლით ხდება.

დარსის კანონის თანახმად [81], ფილტრირებული წყლის ხარჯის ( $Q$  ლ/წმ) სიდიდეს  $\omega$  მ<sup>2</sup> ფართობი განსაზღვრავს, რომლის გავლითაც ფილტაცია და ჰიდრაულიკური ქანობი მიმდინარეობს ( $J$ ):

$$Q = k \omega J \tag{5.10}$$

$$J = \frac{H_v - H_i}{l} \tag{5.11}$$

სადაც:  $H_v$  და  $H_i$  ზედა და ქვედა კვეთების სიმაღლეებია, მანძილი მათ შორის.

ფილტრაციის სიჩქარე სხვადასხვა გრუნტებისათვის განსხვავებულია (ცხრ. 5.6)

**ცხრილი 5.6** ფილტრაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები განსხვავებული ფორიანობის გრუნტებისათვის [81]

გრუნტი	ფილტრაციის კოეფიციენტი, $k$	გრუნტი	ფილტრაციის კოეფიციენტი, $k$
თიხა	0.02 – 0.001	ქვიშა წვრილ-მარცვლოვანი	10-1
თიხნარი	0.1 – 0.01	ქვიშა მსხვილ-მარცვლოვანი	100-10
ქვიშნარი	1-0.1	კენჭნარი	1000-100

ფილტრატის გარკვეული ნაწილი მიწისქვეშა წყლების ლოკალური ლინზის ჰორიზონტის აწევაზე იხარჯება. დანარჩენი, წყაროების

სახით, ზედაპირზე ამოდის, ან ჭაობებს, სუფოზიებსა და მენყერებს ქმნის. ეს ობიექტები წყალსაცავის გრუნტის წყლებზე ზემოქმედების ხილული ინდიკატორებია. მათგან ბოგი პოზიტიურია, ბოგიც ნეგატიური. გრუნტის წყლებზე წყალსაცავის ზემოქმედების გამოკვლევა, ამ ინდიკატორების შესწავლასა და თითოეულისათვის შესაბამისი საზომი პარამეტრების შერჩევას გულისხმობს.

საჭირო იყო ისეთი მეთოდის შექმნა, რომლითაც შესაძლებელი იქნებოდა ლოკალური ინდიკატორებისა და შესაბამისი პარამეტრების გამოყენებით, მინისქვეშა წყლებზე წყალსაცავის ზემოქმედების შეფასება. მთის წყალსაცავებზე, მათი თვისებების გამო, ფილტრაცია განსაკუთრებით მაღალია და ინდიკატორებიც უფრო ცხადად არის წარმოდგენილი.

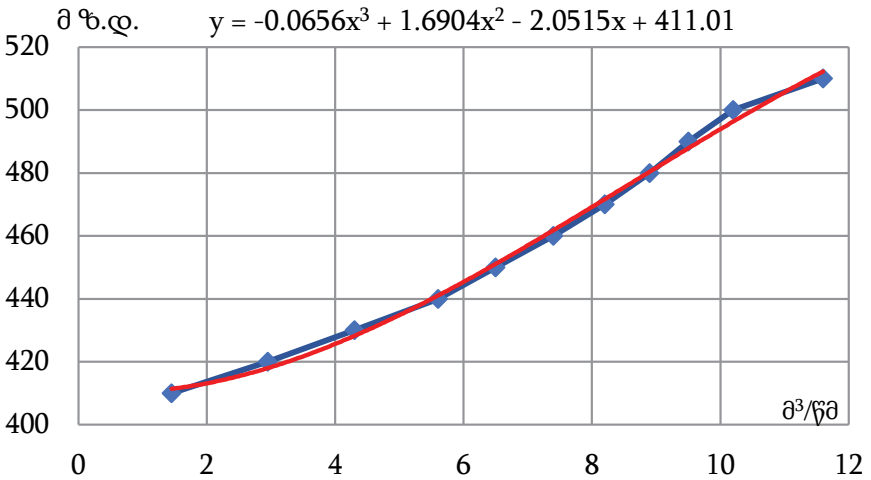
წყალსაცავის გრუნტის წყლებზე ზემოქმედება მიღევადი პროცესია. როდესაც წყალსაცავის მოსილვა ზღვრულ მნიშვნელობას მიაღწევს, ფილტრაცია კაშხლისა და სადერივაციო გვირაბის ფილტრატამდე მცირდება. ასეთი ფილტრატი არის წყალსაცავის დონის ფუნქცია და მის რყევაზე გარკვეული დაყოვნებით რეაგირებს.

## 5.2.2 მთის სახასიათო წყალსაცავების ფილტრაციული ველის შესწავლა საველე და წყალ-საბალანსო მეთოდებით

საველე და წყალ-საბალანსო მეთოდებით შესწავლილია საქართველოს მთის სახასიათო წყალსაცავების ფილტრაციული ველი.

ჯვრის წყალსაცავის დონეებისა და ენგურჰესის სადერივაციო გვირაბის ფილტრატის ( $F_d$ ) დამოკიდებულება ყველაზე მაღალი სიზუსტით  $F_d = f(H)$  მრუდით (ნახ. 5.6) და (5.12) ტიპის პოლინომური განტოლებით გამოისახება:

$$y = ax^3 + bx^2 + cs + d \quad (5.12)$$



**ნახ. 5.6** ჭვრის წყალსაცავის ღონეების და ენგურჰესის სადერივაციო გვირაბის ფილტრატის დებიტის (მ<sup>3</sup>/წმ) დამოკიდებულების მრუდი

გრუნტის, ანუ მიწისქვეშა წყლებზე წყალსაცავის ზემოქმედების ფორმასა და ხარისხს კალაპოტის გეოლოგია-გეომორფოლოგიის (ქანების წყალგამტარობა –  $i$ , დახრილობა –  $\varphi$ .) თავისებურებები და შეგუბებული წყლის დონის ( $H$ ) რეჟიმი განსაზღვრავს.

$$F_d = f(i, \varphi, H) \quad (5.13)$$

ფილტრაციის ინდიკატორები განსხვავებულია წყალსაცავის ზედა და ქვედა ბიეფების მიხედვითაც. ზედა ბიეფში ფილტრაციის ინდიკატორებია: გრუნტის წყლების შეგუბების შედეგად დეფორმირებული ფართობები და მეწყრები. ქვედა ბიეფში ფილტრატი მიწისქვეშა წყლების ლინზებს, აუზებს ქმნის და მათ ჰორიზონტს ამაღლებს. ამ გზით გამდიდრებული მიწისქვეშა წყლები რელიეფის უარყოფით ფორმებში წყაროს სახით ამოდის. ეს ინდიკატორი პომბიტურად ითვლება, თუ ის ეკონომიკაში (ირიგაცია, კომუნალური წყალმომარაგება, ენერგეტიკა და სხვ.) გამოიყენება. ინდიკატორი ნეგატიურია,

თუ მეწყრული და სუფოზიური პროცესებით დეფორმირებული ინფრასტრუქტურის, შენობა-ნაგებობების, დაჭაობებულ-დამლაშებული ფართობებისა და სხვათა სახითაა წარმოდგენილი. ამ ინდიკატორების შეფასება შესაბამისი პარამეტრებით ხდება: ა) გრუნტის წყლების მარაგის ცვალებადობა – მათი ჰორიზონტის სივრცე-დროითი რყევის ამპლიტუდით ( $A$  სმ); წყაროები – მათი დებიტით ( $q$  ლ/წმ, მ<sup>3</sup>/წმ); მეწყრები – მათი ფართობით ( $s$  მ<sup>2</sup>, ჰა) და ა.შ.

შესაბამისად, კვლევის ერთ-ერთი მიზანი იყო ისეთი მეთოდოლოგიის შექმნა, რომლითაც შესაძლებელი იქნება წყალსაცავის გრუნტის წყლებზე ზემოქმედების პროცესის გამოკვლევა და შედეგების შეფასება მისი ლოკალური ინდიკატორებისა და პარამეტრების გამოყენებით.

მასალის გაანალიზება და შედეგების განზოგადება მათემატიკური ანალიზისა და სტოქასტური ჰიდროლოგიის მეთოდების (უმცირეს კვადრატთა, ანალოგიის, წყალსაბალანსო) გამოყენებით შესრულდა.

საკვლევ ობიექტებად კავკასიის მთიანეთის წყალსაცავებია შერჩეული, მათ შორის: ჭვრის (ენგურის), თბილისის, ჟინვალის, წალკისა და აპარანის. ამ წყალსაცავებზე შედარებით მაღალია ფილტრაცია, მისი ინდიკატორები ცხადად არის წარმოდგენილი, ხოლო მონიტორინგის და საველე კვლევის მასალები საკმარისად საიმედოა.

ჭვრის წყალსაცავი ენგურჰესის მარეგულირებელი წყალსატევია (ნორმალური ავსების დონე 510 მ ზ.დ., მოცულობა 1.1 კმ<sup>3</sup>). მას ენგურის ხეობის ის ნაწილი უჭირავს, რომელიც ქვედა ცარცის კარბონატული ქანებითაა აგებული (ცხრ. 5.7). ხეობის ამ მონაკვეთზე ტექტონიკური ნაპრალი გადის, რომელიც, დოლომიტის თიხით შეცემენტებული, ქვიშებითა და კალციტითაა ამოვსებული. მსგავსი ნაპრალები სიღრმეში 100 მ-ზე ვრცელდება.



**ცხრილი 5.7** კარბონატული ქანების ხსნადობის სიჩქარე [14]

№	ქანი	ქანის სტრუქტურა	ქანის ხსნადობის სიჩქარე
1	მარმარილო	მიკრო და კრიპტოკრისტალები	$m = 2 \cdot 10^{-2} + 1.02 \cdot 10^3 \cdot V^{2.19}$
2	გლაუკონიტიანი კირქვა	კრიპტოკრისტალური	$m = 2 \cdot 10^{-2} + 1.05 \cdot 10^{-5} \cdot V^{1.33}$
3	კრიპტოკრისტალური კირქვა	კრიპტოკრისტალები	$m = 2 \cdot 10^{-2} + 1.02 \cdot 10^{-5} \cdot V^{1.49}$
4	ორგანული კირქვა	ორგანოგენური და ორგანოგენური ნამსხვრევი	$m = 2 \cdot 10^{-2} + 1.02 \cdot 10^{-5} \cdot V^{1.29}$
5	ფსევდოლოლიტური კირქვა	ფსევდოლოლიტური	$m = 2 \cdot 10^{-2} + 1.02 \cdot 10^{-5} \cdot V^{1.25}$
6	დოლომიტური კირქვა	კრიპტოკრისტალები	$m = 2 \cdot 10^{-2} + 1.02 \cdot 10^{-5} \cdot V^{1.54}$
7	დოლომიტური კირქვა	კრიპტოკრისტალები და პორფირობლასტური	$m = 2 \cdot 10^{-2} + 1.02 \cdot 10^{-5} \cdot V^{1.35}$
8	კირქვიანი დოლომიტი	მოზაიკური და პორფირობლასტური	$m = 2 \cdot 10^{-2} + 1.02 \cdot 10^{-5} \cdot V^{1.6}$

კლდოვანი ქანები ტექტონიკური ნაპრალების ხშირი და ფართო ქსელით ხასიათდება. ნაპრალები, უმეტესად (62%-მდე), ერთ სმ-ზე ვიწროა, მაგრამ ყველა მათგანი ფილტრაციის პოტენციურ გზას წარმოადგენს. წყალსაცავის კალაპოტის ამგებელი ქანების წყალშენთვის უნარი მარჯვენა ფერდისათვის 0.17 ლ/წთ შეადგენს, მარცხენასათვის – 0.07-ს. მშენებლობის პროცესში, ზოგიერთ ასეთ წყალგამტარ არეში ანტიფილტრაციული ეკრანები მოეწყო, რომელთა ეფექტურობა წყალსაცავის მაღალი ( $H \geq 500$  მ მ.დ.) დონეების დროს ნაკლებად ეფექტურია. წყლით დასველებული ფერდობებისა და ფსკერის ფართობი, რომლითაც წყალსაცავი გრუნტის წყლებზე შემოქმედებს 11.0 კმ<sup>2</sup>-ია.

მიუხედავად ანტიფილტრაციული სამუშაოებისა, დანაკარგები ჯვრის წყალსაცავის ფერდობებისა და ფსკერის გავლით, მისი წყლის ბალანსის ძირითადი წევრების თანაზომადია. ამ პრობლემის საკვლევად აპრობირებული მიმართულებაა წყალსაბალანსო გაანგარიშებები შემდეგი ტიპის ტოლობათა გამოყენებით:



**ნახ. 5.7** ენგურჰესის სადერივაციო გვირაბის აკვედუკი და ფილტრატის ყველაზე მაღალი დებიტის წყარო

$$\Sigma P - \Sigma D = A \pm H, \Sigma D - \Sigma P = -A \pm H \quad (5.14)$$

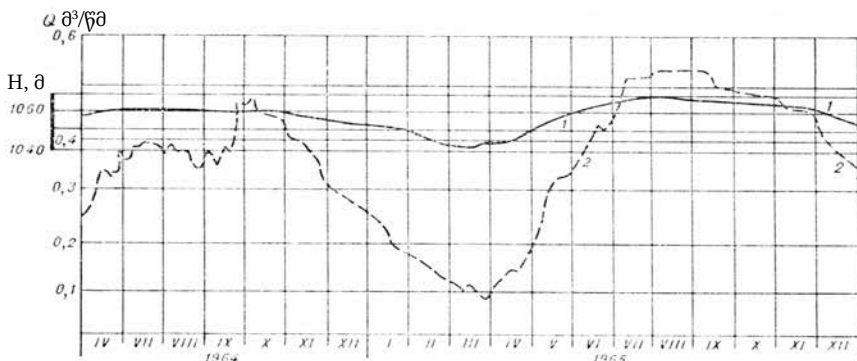
აქ:  $\Sigma P$  – ბალანსის შემოსავალი ნაწილი;  $\Sigma D$  – ბალანსის გასავალი ნაწილი, რომლის ერთერთი არსებითი წევრია ფილტრაცია (F) წყალსაცავიდან; A – წყლის აკუმულაციას, ან შემცირებას ასახავს წყალსაცავში; H – ბალანსის ცდომილებაა. ეს უკანასკნელი ცვალებადნიშნისანი შემთხვევითი სიდიდეა, მანამ ვიდრე ბალანსის ყველა წევრი დასაშვები სიზუსტითაა აღრიცხული. სხვა შემთხვევაში,  $H > 0$  ჭამურ ფილტრაციას წარმოადგენს და იგი წყალსაცავის დონის ფუნქციაა და წლის სემონების მიხედვით იცვლება.

$$\Sigma F = \Sigma P - (\Sigma D + A) \quad (5.15)$$

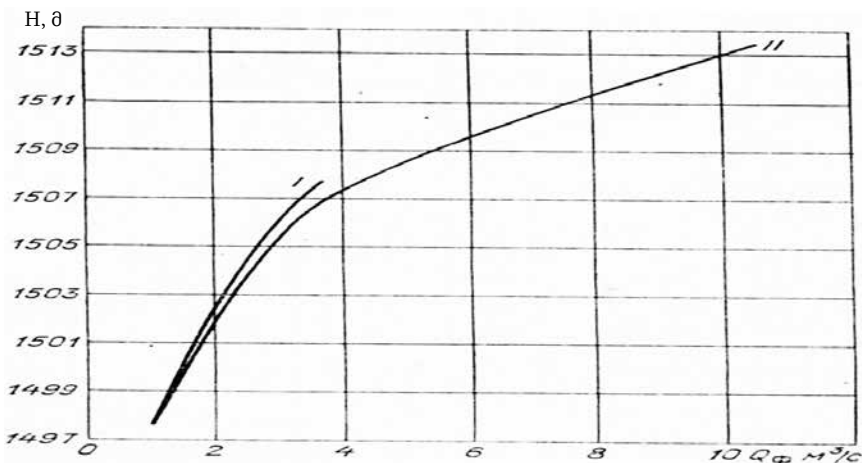
ჯვრის წყალსაცავზე, 1980-2020 წლებში შესრულებული საველე და თეორიული კვლევების თანახმად, ფილტრაციის საშუალო წლიური ჭამური მოცულობა 100 მლნ მ<sup>3</sup> აღწევდა. ცხადია, ამ წყლების გარკვეული ნაწილი მიწის პირზე წყაროების სახით გამოდის. 1980-2020 წლებში, ჯვრის წყალსაცავის ინტენსიური კოლმატაციის გამო, ფილტრაცია მცირდებოდა და გრუნტის წყლების მარაგის შევსებაში მისი წილიც პროპორციულად იკლებდა.

2020-იანი წლებისათვის, წყალსაცავიდან ფილტრირებული წყლების როლს მიწისქვეშა წყლების მარაგის შევსებაში, უმეტესად სადერივაციო გვირაბიდან (ნახ. 5.7) დაღვრილი წყლის მოცულობა და რეჟიმი განსაზღვრავს. სადერივაციო გვირაბი (სიგრძე 16 კმ) რთულ გარემოსა და პირობებში ფუნქციონირებს, რის გამოც მისი მდგომარეობისა და ფილტრაციული დანაკარგების აღრიცხვისათვის მონიტორინგის საკმარისად საიმედო სისტემაა მოწყობილი. მის მონაცემებზე დაყრდნობით, აგებულია წყალსაცავის დონეებისა და ფილტრაციული დანაკარგების (ფილტრატის) პოლინომური მრუდი.

გრუნტის წყლების რეჟიმზე წყალსაცავის გავლენის კვლევის ერთერთი ძირითადი საკითხია სივრცე-დროითი კავშირის განსაზღვრა წყალსაცავის დონის (H), გრუნტის წყლების დეპიტის (q ლ/წმ, მ<sup>3</sup>/წმ)

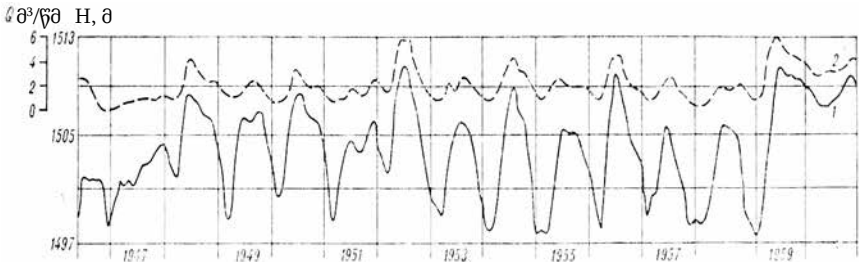


**ნახ. 5.8** სიონის წყალსაცავის საშუალო დონეების (1) და ფილტრაციის (2) კავშირი წყალსაცავის არსებობის საწყის პერიოდში



**ნახ. 5.9** წალკის წყალსაცავის დონეების და ფილტრაციის დამოკიდებულების მრუდები ყინულის საფრის (1) და ღია წყლის (2) პირობებში

და იმ დროს ( $\tau$ ) შორის, რომელსაც ფილტრატი წყალსაცავიდან მიწისპირზე გამოსასვლელს შორის მანძილის გავლას ანდომებს. ამ მხრივ საინტერესოა სიონის, წალკისა და აპარანის წყალსაცავები.



**ნახ. 5.10** წალკის წყალსაცავის საშუალო წლიური დონეების (1) და დაშბაშის წყაროების დებიტის (2) ცვალებადობა 1946-1960 წლებში

სიონის წყალსაცავზე ფილტრაცია კაშხლის მარცხენა ფრთის მიმდებარე წყალგამტარი ალუვიონის გავლით მიმდინარეობს. ფილტრატმა მენყრული კერები შექმნა და ქვედა ბიეფის მიმდებარე უბანი საცხოვრებლად უვარგისი გახდა. აქ ფილტრაციის რეჟიმის მონიტორინგის პროგრამით, ფილტრატის დებიტის საზომი კვთები მოეწყო. 2016-2020 წლებში ეს სისტემა აღარ ფუნქციონირებდა და დაკვირვებებს ეპიზოდური ხასიათი ჰქონდა. ამ მასალების მიხედვით წყალსაცავის დონეებსა და ფილტრატის დებიტს შორის მყარი კავშირი არსებობს, და ამ კაშხრის მიხედვით, წყალსაცავის დონეების მაქსიმუმი 12-15 დღით უსწრებს ფილტრატის მაქსიმუმს (ნახ. 5.8). მონიტორინგის შედეგების თანახმად, წყალსაცავის ექსპლოატაციის პირველ პერიოდში (1964-1970), ფილტრაცია ყველაზე მაღალი იყო ( $q \geq 0.5$  მ<sup>3</sup>/წმ). 2020 წლის ეპიზოდური გამოშვებით, ფილტრაციის დებიტი 0.05 მ<sup>3</sup>/წმ შეადგენდა, ხოლო წყალსაცავის დონე 1025.5 მ იყო.

შესაბამისად, წყალსაცავის ექსპლოატაციის 66 წლის განმავლობაში, მისი ფსკერისა და ფერდების მოსილვა-კოლმატაცია იმდენად გაიზარდა, რომ ფილტრაცია დაბალ და საშუალო დონეებზე (1015-1025 მ) თითქმის ათჯერ შემცირდა.

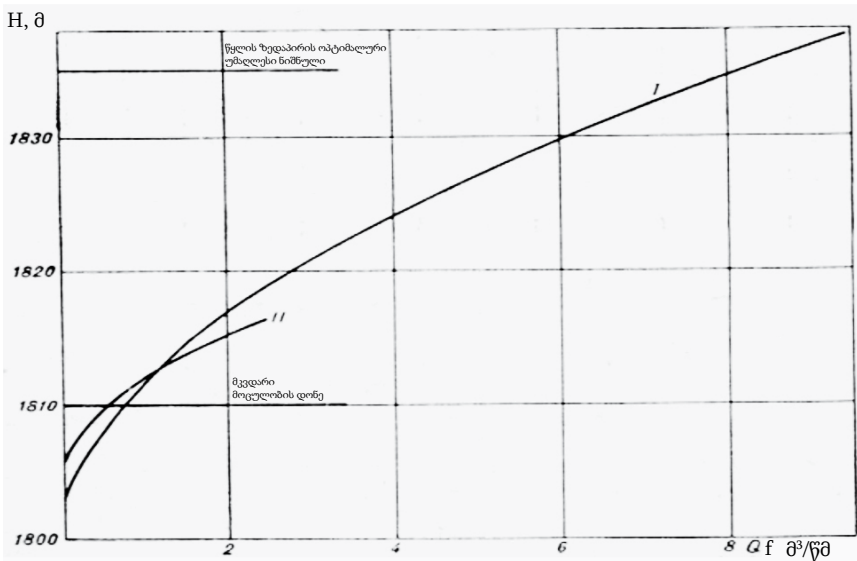
წალკის წყალსაცავიდან ფილტრირებული წყალი „დაშბაშის წყაროების“ სახით, წყალსაცავიდან 3.0 კმ მოშორებით მდ. ხრამის ხეობაში გამოდის (ნახ. 5.9, 5.10). ფილტრატის ტრასა დანაპრალებული ბაზალტების ფენებში გადის [95].



ნახ. 5.11 დაშბაშის წყაროები მდ. ხრამის ხეობაში ზამთარში და ზაფხულში

ზემოაღნიშნული მონიტორინგის მონაცემებით, მისი დებიტი, წყალსაცავის დონის რყევის შესაბამისად, 4.5-9.5 მ<sup>3</sup>/წმ დიაპაზონში იცვლება და 7-10 დღე-ღამის დაყოფებით რეაგირებს. დაშბაშის წყაროების დებიტის შეფასება წყალსაცავის საშუალო დონეების (H) და დაშბაშის წყაროების (ნახ. 5.11) დებიტის (F<sub>d</sub>) დამოკიდებულების მრუდით F<sub>d</sub>=J(H) ხდება (ნახ. 5.9). ამ მრუდის მიხედვით, წალკის წყალსაცავის ფილტრატი წლიურად საშუალოდ 82.4 მლნ მ<sup>3</sup> აღწევს, უდიდესი – 147.7 მლნ მ<sup>3</sup>, უმცირესი – 54.8-ს.

ასპარანის (სომხეთი) წყალსაცავზე მიწისქვეშა წყლების მარაგის შემავსებელი ფილტრატების დებიტის გაანგარიშება, მსგავსი სახის მრუდებით (ნახ. 5.12) ხდება [86]. მისი კალაპოტი დანაპრალებული ბაზალტებითა და დიორიტებითაა აგებული. ამის გამო, მიწისქვეშა წყლების აუზი წყალსაცავიდან წლიურად საშუალოდ 70.2 მლნ მ<sup>3</sup> ფილტრატს იღებს, უხვ და მცირეწყლიან წლებში კი მისი მოცულო-



**ნახ. 5.12** ასპარანის წყალსაცავის ფილტრაციის და დონეების დამოკიდებულების მრუდები ღია წყლის (1) და ყინულსაფარის (2) პირობებში

ბა შესაბამისად 56.1-დან 177.4 მლნ მ<sup>3</sup>-მდე იცვლება. აქ კალაპოტის მოსილვა-კოლმატაცია გაცილებით ნელა მიმდინარეობს, ვიდრე კავკასიონის სამხრეთ ფერდობზე, სადაც წყალსაცავები უხვნატანი-ან მდინარეებს არეგულირებენ და წყალსაცავის კალაპოტი ძირითადად მეტამორფული ქვიშაქვებით, თიხაფიქლებითაა შექმნილი.

განსაკუთრებით საინტერესოა თბილისისა და ჟინვალის წყალსაცავები, რადგან მათ უშუალო გავლენა აქვთ მოსაზღვრედ მდებარე ქალაქების შენობათა მდგრადობაზე და მოსახლეობის საცხოვრებელ პირობებზე. თბილისის წყალსაცავი მდ. მტკვრის ძველ კალაპოტშია შექმნილი, რომელიც ღიაა გლდანისა და ავლაბრის მიმართულებით. ამასთან, კალაპოტის ამგებელი ქანები (თაბაშირიანი ქვიშაქვები) ქალაქისაკენაა დახრილი, რის გამოც, წყალსაცავის მაღალი დონეების ( $H \geq 530$  მ) დროს, ფილტრატი მიწისქვეშა სადინარებით დასახლებული უბნებისკენ მოედინება.

წყალსაცავის ავსების საპროექტო დონე 548 მ იყო ზღვის დონიდან. ამოქმედებიდან 10 წლის შემდეგ, გლდანის, აგვალისა და ავლაბრის რაიონებში ახლადაშენებული საცხოვრებელი კორპუსების სარდაფებსა და საძირკველში წყალმა ჟონვა დაიწყო. მომდევნო წლებში ეს პროცესი ისე გააქტიურდა, რომ აუცილებელი გახდა ნორმალური ავსების დონის 540 მ-დე დაწევა. ეს საშუალება ფილტრაციის შეჩერებისათვის საკმარისი არ არის, რადგან გლდანისა და ავლაბრის მიმართულებით, ძირითადი ქანები უფრო დაბლა მდებარეობენ, შემავსებელი გრუნტი კი საკმარისად ვერ იცავს ქალაქს ფილტრაციისაგან. ამის მაჩვენებელია ფილტრირებული წყლის 2-3 ლ/წმ დებიტის მქონე ნაკადულები, რომლებიც ფხვიერი გრუნტისა და ძირითადი ქანების გამყოფ ზედაპირზე მდ. მტკვრის კალაპოტის მიმართულებით მოედინებიან.

იმის გამო, რომ წყალსაცავის ირგვლივ ფილტრაციისა და გრუნტის წყლების მონიტორინგის ქსელი არ არსებობს, მისი შეფასება წყალსაბალანსო მეთოდით და იმ ეპიზოდური ინფორმაციით შესრულდა, რაც წყალსაცავის მიდამოებში მიმდინარე საამშენებლო სამუშაოების დროს შეგროვდა. ასეთი მონაცემებით ფილტრატის



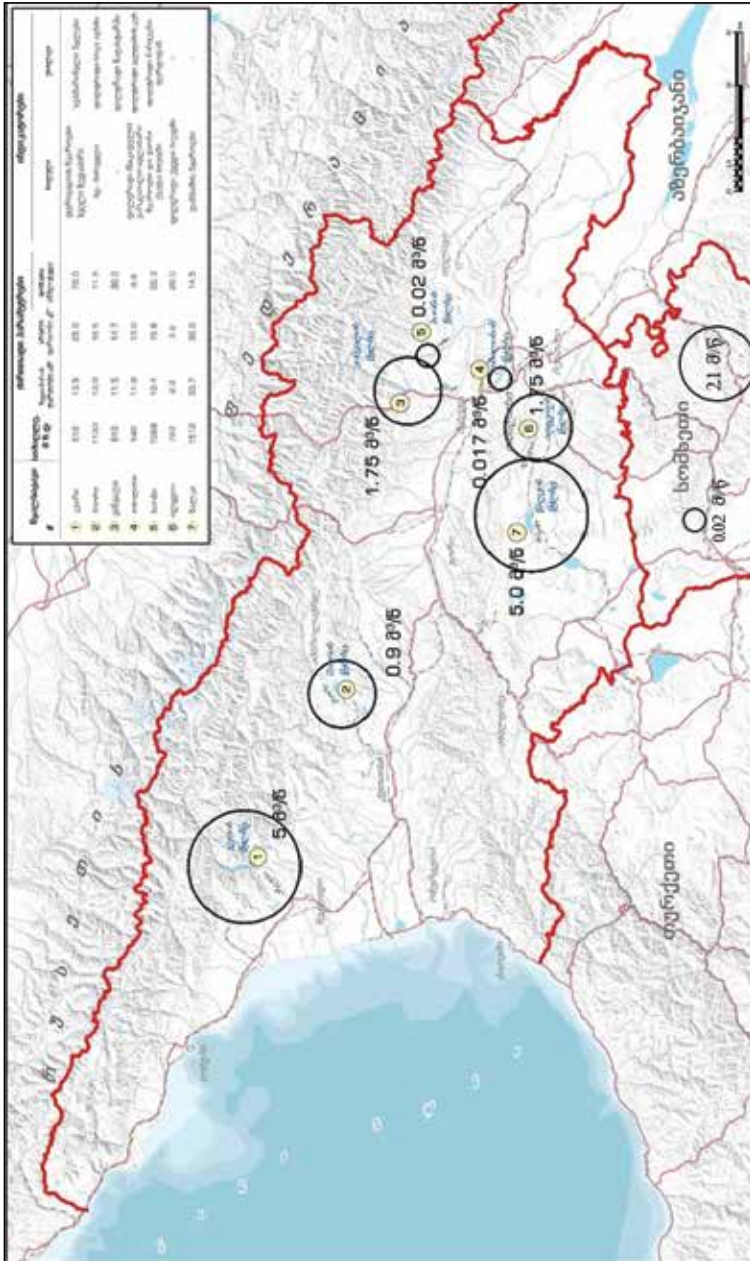
მოცულობა წლიურად საშუალოდ 2.0-2.5 მლნ მ<sup>3</sup>-ია, უხვ და მცირე-ნალექიან წლებში 1.5-3.0 მლნ მ<sup>3</sup> უნდა აღწევდეს. ამ წყლის უმეტესი ნაწილი ( $\geq 80\%$ ), გლდანი-ავჭალისა და ვარკეთილი-ავლაბრის მიმართულებით მიედინება და ზედაპირზე, მდ. მტკვრის სანაპიროზე, წყაროების სახით ამოდის.

ჟინვალის წყალსაცავის ზემოქმედება მიწისქვეშა წყლებზე ზედა ბიეფში იმით არის მნიშვნელოვანი, რომ მან ის ნაკადები შეაგუბა, რომლებიც მიწის ქვეშ მდ. ფშავის არაგვს ერთვოდა. ამ მოვლენამ მარჯვენა ფერდზე ძველი მეწყერი (წროფავის მეწყერი) გაააქტიურა და ახალი კერებიც შექმნა. ქვედა ბიეფში წყალსაცავმა მნიშვნელოვნად (სავარაუდოდ, 10-15%-ით) გაზარდა ფილტრატი ბულაჩაურის, უფრო მეტად კი ნატახტარის მიმართულებით. ასეთი მოვლენები იმითაც არის მნიშვნელოვანი, რომ ფილტრატი მიწისქვეშა წყლების მარაგს იმ სეზონებში ამდიდრებს, როდესაც მდ. არაგვზე წყალმცირობაა.

გრუნტის წყლებზე წყალსაცავების ზემოქმედების პარამეტრები და ინდიკატორები მოცემულია 5.8 ცხრილში, ხოლო წყალსაცავების სივრცობრივი განლაგება და ფილტრირებული წყლის დებიტი ასახულია რუკაზე (ნახ. 5.13).

**ცხრილი 5.8** გრუნტის წყლებზე წყალსაცავების გემოქმედების პარამეტრები და ინდიკატორები

წყალსაცავი	მდინარე	სიმაღლე, მ	ძირითადი პარამეტრები				ინდიკატორები	
			სარკის ფართ, კმ <sup>2</sup>	სველი ფართ, კმ <sup>2</sup>	დონეთა რყვის ამპლიტუდა, მ	ფილტრ. წყლის ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ	ბიოლუი	უხილაგი
ჭვარი	ენგური	510.0	13.5	15.0	70.0	5.0	დერივაციის წყაროები	სუბმარინული წყლები
შაორი	შაორა	1133.5	13.0	14.5	11.5	-	მდ. შარაულა	ფილტრატი სხვა აუზში
ჟინვალი	არაგვი	810	11.5	13.7	30.0	1.5-2.0	წროფავის მენყერი	ფილტრატი ნატახტარში
თბილისი	იორი, არაგვი	548	11.8	13.0	6.9	0.017	ფილტრატი (ნაკადული) ვარკეთილი-ავლაბარი	ფილტრატი, გლდანისკენ
სიონი	იორი	1068.3	10.4	15.8	55.3	0.2-0.25	ფილტრატი, ჭაობი ქვედა ბიეფში	ფილტრატი ორხევისკენ მარჯვენა ფერდიდან
ალგეთი	ალგეთი	792.5	2.3	3.2	20.0	1.5-2	ფილტრატი ქვედა ბიეფში	-
წალკა	ქცია, ბეჟენაშენის წყალი	1513	33.1	35.6	17.0	5.0	დაშბაშის წყაროები	-
აპარანი (სომხეთი)	კასახი	1835	7.3	10.5	6.5	2.16	კასახის წყაროები	
არპილიჩი (სომხეთი)	კარმრავანი, ჩივინლი ელარგეთი, ბალიხლიჩაი	2024	22.1	26.0	17.8	0.01	ახურიანის წყაროები	ფილტრატი ქვაბულიდან



ნახ. 5.13 წყალსაცავებიდან ფილტრირებული წყლის დებები, მ/წ

### 5.2.3. გრუნტის წყლების რეჟიმზე წყალსაცავის ზემოქმედების შეფასების მეთოდი

სამეცნიერო ლიტერატურაში მრავალი პუბლიკაცია არსებობს წყალსაცავების მართვისა და ნაპირდაცვის პრობლემებთან დაკავშირებით. არაერთგზის იქნა შესწავლილი გარემოს კომპონენტებზე მათი ზემოქმედება [24], [34], [41], [43], [47], [51], [53], [54], [56]. რაც შეეხება გრუნტის წყლებზე წყალსაცავის ზემოქმედებას, განსაკუთრებულ გამონაკლისს წარმოადგენს და პრაქტიკულად სამეცნიერო ლიტერატურაში ნაკლებადაა ასახული [95]. სწორედ ამან განაპირობა ინტერესი გრუნტის წყლებზე წყალსაცავის ზემოქმედების პრობლემის შესახებ.

გრუნტის წყლებზე წყალსაცავების ზემოქმედების მექანიზმის განსაზღვრაში, თითოეულ წყალსაცავს თავისი კორექტივები შეაქვს, რაც პერიოდულად დაგროვილი ინფორმაციის განზოგადებას და აღნიშნული მექანიზმის შესახებ ცოდნის გავრცობას საჭიროებს. საამისოდ, გამოყენებულია მათემატიკური სტატისტიკისა და სტოქასტური ჰიდროლოგიის მეთოდები.

ზემოქმედების მოდერნიზებული მექანიზმის მიხედვით, ფილტრაციის რეჟიმი და დებიტი წყალსაცავის დონისა და კალაპოტის ამგებელი ქანების მახასიათებლების ფუნქციაა და დონის რყევაზე გარკვეული დაყოვნებით ( $T$ ) (დღეღამე, კვირა, თვე) რეაგირებს [95]. დაყოვნების დროის ძირითადი განმსაზღვრელებია: მანძილი წყალსაცავიდან ფილტრატის მონიტორინგის პუნქტამდე ( $s$ ), ტრასის გასწვრივ განთავსებული ქანების მახასიათებლები ( $g$ ) და ამ ტრასის დახრილობა ( $\mu$ ).

$$T = f(s, g, \mu) \quad (5.16)$$

აპრობირებული ფაქტია, რომ ფილტრაცია ქვაბულის ფსკერისა და ფერდების მოსილვის პროპორციულად მცირდება, ხოლო დაყოვნების დრო – ქვაბულის მოსილვის უკუპროპორციულად იზრდება. შესაბამისად, როდესაც მოსილვა ზღვრულ სიდიდეს მიაღწევს, ფილ-

ტაცია ქვაბულის ფსკერისა და ფერდობების გავლით აღარ ხდება. ფილტრაციის რეჟიმს მხოლოდ სადერივაციო გვირაბისა და სხვა კონსტრუქციების ფილტრატი და წყალსაცავის დონე განსაზღვრავს.

გრუნტის წყლებზე წყალსაცავების ზემოქმედების შეფასების მთავარი ინდიკატორები (წყაროების დებიტი, მიწისქვეშა წყლების ჰორიზონტის რყევის ამპლიტუდა, დამენყრილი ინფრასტრუქტურა და დაჭაობებულ-დამლაშებული სავარგულების ფართობი) განსაზღვრავენ ამ ზემოქმედების შეფასების მეთოდებს. თუ ფილტრატი ნებისმიერი სახით გამოიყენება, ის პოზიტიური ინდიკატორია და მისი ღირებულება წყალსაცავის სარგებლიანობას აძლიერებს. იმ შემთხვევაში, თუ ფილტრატი საზიანოა ინფრასტრუქტურისა და ზოგადად გარემოსათვის – ის ნეგატიურია, და წყალსაცავის მნიშვნელობას ამცირებს.

წყალსაცავიდან ფილტრირებული წყლის აღრიცხვის მიზნით, მოცულობითი და წყალსაბალანსო მეთოდები გამოიყენებოდა. წყალსაბალანსო მეთოდი იმ შემთხვევაში გამოიყენება, როდესაც წყლის ბალანსის ყველა წევრი, გარდა ფილტრაციული მდგენელისა, საკმარისი სიზუსტით არის განსაზღვრული. ამ შემთხვევაში, წყლის ბალანსის განტოლებაში ცდომილება განიხილება როგორც მუდმივი წევრი – ფილტრაციული დანაკარგები წყალსაცავიდან (ჭვრის და თბილისის წყალსაცავები).

ფილტრაციის ხილული ინდიკატორების არსებობის შემთხვევაში, ამჟამად დებიტის შესაფასებლად ზოგან უფრო ეფექტიანია მხოლოდ მოცულობითი მეთოდის გამოყენება (სიონის, ნალკის, აპარანის წყალსაცავები).

### 5.3. გარემოსა და მოსახლეობის უსაფრთხოებაზე წყალსაცავის გავლენის შეფასების კომპლექსური მეთოდика

1953, 2009 და 2015-2020 წლების აგეგმვების მონაცემებით, ზღვისპირის აბრაზია განსაკუთრებით 2015-2020 წლებში გააქტიურდა, ანუ მაშინ, როდესაც წყალსაცავების კასკადი ამოქმედდა. პლაჟამგები ნატანის ნაპირგასწვრივი ნაკადის მიმართულებაა სამხრეთიდან ჩრდილოეთით. საბოლოოდ, ეს მასალა ბათუმის კონცხის წვერზე



ნახ. 5.14 ზღვისპირის ტრანსფორმაცია შესართავი-ბათუმის კონცხის მონაკვეთზე (1953-2015 წწ)



**ნახ. 5.15** სანაპიროს აგეგმვები მდ. ჭოროხის შესართავთან და ადლიი-ბათუმის სანაპიროს სენსიტიურ უბანზე (2021 წ. აკუმულაციური კუნძული წარეცხილი არაა)

გროვდება და როდესაც მისი მოცულობა კრიტიკულ სიდიდეს მიაღწევს, წყალქვეშა ზვავის სახით, ბათუმის (ბურუნტაბიეს) კანიონში იყრება.

2020 წლის აგეგმვის მონაცემებით (ნახ. 5.14, 5.15), სანაპირომ ადლიიდან ბულგარამდე საშუალოდ 1.5 მ-ით უკან დაიხია, ხოლო ბათუმის უნივერსიტეტიდან კონცხის წვერამდე პირიქით, 1.1-1.5 მ-ით ზღვაში შეიწია. ეს პროცესი უჩვენებს, რომ ყოველ ათწლეულში სანაპირო 80 ათასამდე მ<sup>3</sup> საპლაჟო მასალას კარგავს, კანიონში ჩაშვებული ნატანის ზვავის სახით [10], [11].

2015-2021 წლებში, სანაპიროს დიდი ზომის ლოდებით დაფარვის გამო, თითქმის მთლიანად შეწყდა ნატანის აღნიშნული ნაკადი. შესაბამისად, ბათუმის ბულგარის (სანაპირო პარკის) მკვებავი არტერია პრაქტიკულად გადაიკეტა. ამიტომ, უახლოეს მომავალში (2030-2035 წლებში) აქ დაიწყება პლაჟების დეგრადაცია ნატანის მზარდი დეფიციტის გამო.

ასეთივე მდგომარეობა შეიქმნა ფოთის პორტის მიმდებარე სანაპიროზე. მას შემდეგ, რაც მდ. რიონის ჩრდილოეთი ტოტი ჩრდილოეთით ნაბადას სანაპიროზე გადაადგეს, პორტის სამხრეთით მდებარე სანაპიროსათვის, ნატანის მკვებავი ნაკადი მკვეთრად შემცირდა და მას ზღვამ 3.0-4.0 კმ სიგანის ფართობი წაართვა.

ამ პროცესების შეჩერება მხოლოდ პლაჟების ხელოვნური შევსებითაა შესაძლებელი და საამისოდ საპლაჟო მასალის ყველაზე მომგებიანი საბადაოა წყალსაცავების მოსილვის პრიზმში აკუმულირებული ქვიშა, კენჭი და კაჭარი.

### **5.3.1 ზღვის სანაპიროს სენსიტიური მონაკვეთების შერჩევის კრიტერიუმები**

ზღვის სანაპიროს სენსიტიური მონაკვეთების შერჩევის კრიტერიუმები ორ ფორმას მოიცავს:

- ა) პლიაჟის მკვებავი წყაროს გადაკეტვა ჰიდროტექნიკური ნაგებობებით (წყალსაცავები, სანაპირო კონსტრუქციები, დამბები, ლოდნაფენები, პორტები და სხვ.), რაც პლიაჟის დეგრადაციას იწვევს;
- ბ) სანაპიროს ურბანიზაციული დატვირთვა, რაც პლიაჟის გამოფიტვას იწვევს, რადგან ზღვის დონის ფარდობითი აწევა იწვება სანაპიროს მიმართ.

საქართველოს ზღვისპირზე, განსაკუთრებით აჭარისა და სამეგრელოს ორივე კრიტერიუმი აქტუალურია. ამასთან, ბათუმის სანაპიროზე, ზღვისპირიდან რამდენიმე ათეულ მეტრში, აშენდა მრავალსართულიანი საცხოვრებელი კორპუსების მასივი. ეს სერიოზულად აძლიერებს ზღვისპირზე ურბანიზაციულ დატვირთვას იმით, რომ აჩქარებს ზღვის დონის ფარდობით (H მმ/წლ) აწევას მოსალოდნელია, რომ უახლოეს მომავალში (2030-2040 წწ.) ჭოროხის ნატანის მწვავე დეფიციტის ფონზე ურბანიზაციული ფაქტორის გააქტიურება, გამოიწვევს პლაჟების აბრაზიას და გადაუდებელი გახდება მათი ხელოვნური შევსება ნატანით.



ანაკლიის სანაპირო (ცხრ. 5.9), რომელსაც ამჟამად მდ. მაგანა ამარაგებს საკუთარი და მდ. ენგურის კალაპოტში შემორჩენილი ნატანიტ, უახლოეს მომავალში, ნატანის დეფიციტი გამო, დავიწროებას დაიწყებს. შესაბამისად, ანაკლიის სანაპიროს შენარჩუნება, განხილული სცენარით განვითარდება და აქაც საჭირო გახდება რეფულირებისათვის ნატანის მარაგის მონახვა და ტრანსპორტირების კონვეირის შექმნა.

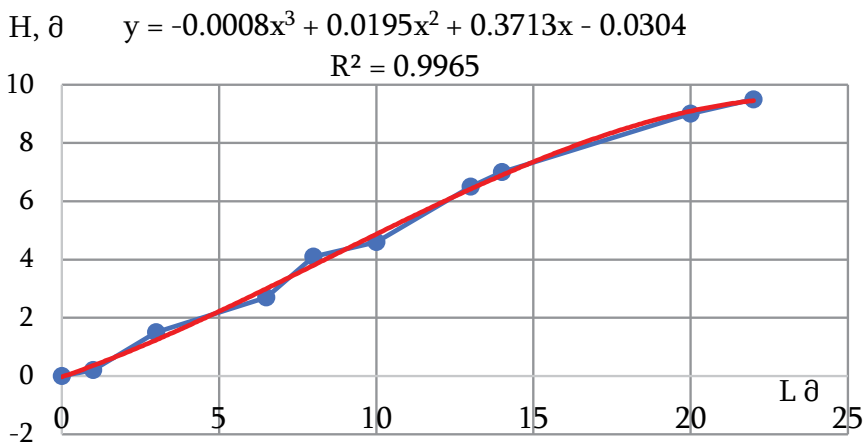
**ცხრილი 5.9** მდ. ენგურის ძველი და მაგანას ახალი შესართავების სანაპირო, 2021 წ.

ზღვისპირიდან დაშორება, მ						დამატებითი ინფორმაცია
1.0		8.0		14.0		
d, მმ	%	d, მმ	%	d, მმ	%	
4.0	10	10	20	80	10	პლაჟის ტალღისებურობა სუსტადაა გამოსახული
2.5	25	7.0	25	60	70	
1.0	40	6.0	15	≥20	20	
≤1.0	25	3.0	15			
		≤1.0	25			

**ცხრილი 5.10** პლაჟის განივი პროფილი აეროპორტის ტრავერსზე, ძველ და ახალ ნაპირდამცავ ლოდნაფენ სანაპირო მონაკვეთებს შორის. პლაჟის სიგანე 20 მ, 2021 წ.

ზღვისპირიდან დაშორება, მ						დამატებითი ინფორმაცია
1.0		8.0		14.0		
d, მმ	%	d, მმ	%	d, მმ	%	
60	2	80	3	80	3	პლაჟის ტალღისებურობა სუსტადაა გამოსახული
40	15	50	50	50	50	
30	70	35	35	40	30	
≤20	13	≥15	17	30	10	
				≥10	7	

ქ. ბათუმისაკენ წარეცხვის ინტენსივობა 2.5 მ-მდე იკლებს წელიწადში. უფრო ჩრდილოეთით, ცნობილი ზღვიპირა პარკის-ბულვარის გასწვრივ, სანაპირო ზონა სტაბილურია და პლაჟის სიგანის ცვალებ-



**ნახ. 5.16** სანაპიროს განივი კვეთი აეროპორტის მიმდებარე სანაპიროზე, ახალი და ძველი ლოდნაფენი სანაპიროების ზღვარზე

ბადობას, რომლის დიაპაზონი 1.0-2.0 მ/წლ შეადგენს, სემონური ფლუქტუაციის ხასიათი აქვს (ცხრ. 5.10, ნახ. 5.16, 5.17). უშუალოდ ბათუმის კონცხმა, თავისი განვითარების უკიდურეს მდგომარეობას ფორმის მიაღწია და მიმდინარე პერიოდში სტაბილურ მდგომარეობაში იმყოფება.



**ნახ. 5.17** ბათუმის სანაპირო ძველ და ახალ ნაფენებს შორის და კლაჟამგები ნატანი

### **5.3.2 მოსახლეობისა და ინფრასტრუქტურის დატბორვის რისკების განმსაზღვრელი კრიტერიუმები და წყალდიდობის რისკების მართვის სტრატეგია**

წყალსაცავი, არსებობის პირველ ფაზაში, რომლის მოსილვის პრიზმის მოცულობა მისი მთლიანი მოცულობის არათანაზომადია, წყალდიდობა-წყალმოვარდნების შეკავების მაღალეფექტიანი საშუალებაა [28]. მომდევნო, ანუ შუალედურ ფაზაში მოსილვის პრიზმის შლექიფის განვითარება აქტიურდება. ამ ფაზაში იწყება მოსილვის პრიზმის შლექიფის ბრდა შენაკადების კალაპოტებში. ამით მათი გამტარუნარიანობა იმდენად მცირდება, რომ წყალდიდობა-წყალმოვარდნების უზრუნველყოფის ( $P \leq 5\%$ ) წყალმოვარდნების გატარების უნარს კარგავენ. წყალსაცავის არსებობის მესამე ფაზაში ასეთი საშიშროებათა ალბათობა უკვე ბევრად მაღალია ( $A \approx 0.95-1.0$ ). აღიდეგული შენაკადები თითქმის ყოველწლიურად გადმოდიან ნაპირებიდან, ანადგურებენ ინფრასტრუქტურას და მოსახლეობაში მსხვერპლსაც იწვევენ. კლიმატის მიმდინარე დათბობის გავლენით ასეთი მოვლენები ხშირდება, ხოლო რისკების რაოდენობა ფართოვდება და ზემო ბიეფის მოსახლეობა წყალსაცავის უნებური მძევალი ხდება.

მოვლენების განვითარების ასეთი სცენარი აქტუალურია ნებისმიერი წყალსაცავისათვის, რომელიც მდინარეზეა შექმნილი. მთის მდინარეებზე მოვლენები განსაკუთრებით სწრაფად ვითარდება თავისებური ჰიდრორეჟიმის, კალაპოტის მაღალი დახრილობისა და ნატანის სპეციფიკურობის გამო.

წყალსაცავის მოქმედების იმ ფაზებში, როცა შენაკადები წყალდიდობის სეზონში სულ უფრო ხშირად ტბორავენ ტერიტორიებს, შემდეგი რისკები წარმოიქმნება (R): ა) ადამიანთა მსხვერპლი ( $\theta$ ); ბ) მატერიალური ზარალი ( $\delta$ ); გ) ეკოლოგიური ზიანი ( $\eta$ ); დ) ინფრასტრუქტურის კოლაფსი ( $\iota$ ); ე) დატბორვის მუდმივი საშიშროებით გამოწვეული მოსახლეობის ფსიქოლოგიური სტრესი ( $\chi$ ).

რისკების სიმრავლე და მრავალგვარობა მათი აცილება-ადაპტაციის კრიტერიუმების ჩამოყალიბების აუცილებლობას ქმნის. ასეთი

ფუნდამენტური კრიტერიუმებია: დატბორილ-წარეცხილი ფართობი ( $f$ ), მოსახლეობის სიმჭიდროვე ( $\varepsilon$ ), ინფრასტრუქტურის მოწყვლადობის ხარისხი ( $\lambda$ ) და წყალმოვარდნის ტალღის პარამეტრები – სიჩქარე ( $v$ ) და სიმაღლე ( $h$ ).

$$R(\theta, \delta, \eta, l, \chi) \approx \Phi[f, \varepsilon, \lambda, (v, h)] \quad (5.17)$$

კრიტერიუმების ჩამოყალიბების მთავარი მიზანია ადამიანის მსხვეპლის, ეკონომიკური და ეკოლოგიური ზიანისა და მოსახლეობის სტრესული მდგომარეობის მინიმუმამდე შემცირება. ასეთი მიდგომა გულისხმობს „წყალდიდობისგან დაცვის“ პრიმიტიული, შეზღუდული გაგების გაფართოებას „წყალდიდობის მართვამდე“, რომელიც წყლის რესურსების მართვის ინტეგრირებული სტრატეგიის შემადგენელი ნაწილია.

წყალდიდობის რისკების მართვის ინტეგრირებული სტრატეგიის მიზანია უზრუნველყოს რისკების მართვის ციკლის ყველა ეტაპის დაცვა: მზადყოფნა წყალდიდობა-წყალმოვარდნისთვის, რეაგირება ამ მოვლენის მსვლელობაზე, ბარალის აღდგენა და, საჭიროების შემთხვევაში, მართვის ასეთი სისტემის მოდერნიზაცია. ამასთან, წყალდიდობის რისკი განისაზღვრება, როგორც ადამიანის ჯანმრთელობაზე, გარემოზე, კულტურულ მემკვიდრეობაზე და ეკონომიკურ საქმიანობაზე წყალდიდობის შედეგად გამოწვეულ მავნე ზემოქმედებათა ერთობლიობა. წყალდიდობის რისკების და დატბორვის პოტენციური ტერიტორიები რუკა უნდა შეიქმნას წყალდიდობის საშიშროების დონის მიხედვით და კატასტროფული წყალდიდობის სცენარების გათვალისწინებით.

წყალმოვარდნის შეფასება ხელმისაწვდომ ინფორმაციას – წყალდიდობის სიხშირეზე კლიმატის ცვლილების გავლენას ეფუძნება.

წყალდიდობის რისკების წინასწარი შეფასება მოიცავს:

1. დატბორვა-წარეცხვის რისკის ქვეშ მყოფი ტერიტორიების ამსახველ, შესაბამისი მასშტაბისა და შინაარსის რუკებს (პოტენ-

- ციური დატბორვის საზღვრები, ტოპოგრაფიული, მიწათსარგებლობის და სხვ.);
2. იმ წყალდიდობების აღწერას, რომლებსაც მნიშვნელოვანი უარყოფითი ზეგავლენა ჰქონდათ ადამიანის ჯანმრთელობაზე, გარემოზე, კულტურული მემკვიდრეობის ობიექტებზე, ეკონომიკურ აქტივობებზე და რომლის განმეორების ალბათობაც არსებობს მომავალში;
  3. მომავალი (სავარაუდოდ მოსალოდნელი) წყალდიდობის პოტენციური უარყოფითი შედეგებისა და სხვა საკითხების მაქსიმალური განვითარების ვარიანტებს.

რისკის მართვის პროგრამა წყალდიდობის საპროექტო კვლევების პროცესში უნდა შეიქმნას. ასეთი პროგრამის საფუძველი უნდა იყოს მდინარის ჰიდროგრაფიული მრუდი, რომელიც წყალსაცავის მოსილვის პრიზმის ზღვრული განვითარების ზედაპირზე გამომუშავდება. ასეთი მრუდის შექმნის კანონზომიერებები ნაშრომის მესამე თავშია მოცემული.

წყალდიდობის რისკის მართვის პროგრამაში უნდა აისახოს წყალდიდობის რისკის მართვის ყველა ასპექტი – პრევენცია, დაცვა და მზადყოფნა, წყალდიდობის პროგნოზირებისა და ადრეული გაფრთხილების სისტემების ჩათვლით. ქვეყნის კანონმდებლობის თანახმად, წყალდიდობის რისკების სათანადო მართვის უზრუნველსაყოფად მიზანშეწონილია აღწერილი ქმედებების პერიოდული მოდერნიზაცია.

### **5.3.3 გარემოსა და მოსახლეობის უსაფრთხოებაზე წყალსაცავის გავლენის შეფასების კომპლექსური მეთოდოლოგია**

წყალსაცავის არსებობის პირველ ფაზაში მისი ზემოქმედება მოსახლეობის უსაფრთხოებაზე, შემდეგი შემთხვევითი და გრძელპერიოდული მოვლენებით განისაზღვრება:

- ა) კაშხლის კატასტროფა, რომლის შედეგად წყლის დიდი მასა მოულოდნელად ტბორავს ქვედა ბიეფის ფართობს, მოსახ-

ლობას, ინფრასტრუქტურას და მძიმე ზიანს აყენებს გარემოს (ჩინეთი – ბანძიას კაშხალი, 1975 წ.; საფრანგეთი – მალპასე, 1959 წ.; უკრაინა – დნეპროპეტროვსკის კაშხლის სტრატეგიული აფეთქება, 1941 წ.; რუსეთი – კისელევსკის წყალსაცავის კაშხალი, 1993 წ. და სხვ.).

- ბ) წყლის მასიური გადმოვარდნა ქვაბულიდან მასში გრუნტის დიდი მასის მყისიერი ჩანოლის შედეგად (იტალია – ვაიონტის წყალსაცავი, 1963 წ.)
- გ) ჭარბი დატენიანების ზონებში გარემოსა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზემოქმედება;
- დ) მეწყერების და სუფოზიური მოვლენების გააქტიურება ორივე ბიეფში;
- ე) წყალსაცავის არსებობის მესამე ფაზაში, ზედა ბიეფში, მდინარეთა შესართავების მოსილვის შედეგად გახშირებული კატასტროფული წყალმოვარდნები. ეს განსაკუთრებით საშიშია, რადგან მისი ალბათობა, დროის მიხედვით, ზრდადია და წყალმოვარდნები, რომლებიც მანამდე უსაფრთხო იყო, კატასტროფულ ხასიათს იძენენ [7].

კაშხლის კატასტროფა, აღწერილ საშიშროებათა შორის ყველაზე იშვიათია. მიუხედავად ალბათობის სიმცირისა ( $P \leq 0.1$ ) კატასტროფის შეფასება და გათვალისწინება წყალსაცავის ადგილის შერჩევისა და პროექტირების პროცესში უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. კატასტროფების მიზეზები მრავალგვარია, რასაც მათი ჩამონათვალი ნათლად ადასტურებს. ამ მოვლენის ერთერთი მიზეზი კლიმატის ცვლებადობა და ნალექების სეზონური და ტერიტორიული განაწილების მკვეთრი ცვლილებაა. სერიოზული მიზეზებია აგრეთვე: გეოლოგიური ფაქტორი, საომარი ქმედებები, მომსახურე პერსონალის დაუდევრობა და არასათანადო კვალიფიკაცია. 1941 წლის საომარი მოქმედებები დნეპროპეტროვსკის კაშხლის კატასტროფის მიზეზი გახდა. იმისათვის, რომ აეცილებინათ მტრის მიერ კაშხლის ხიდად გამოყენება, კაშხალი ააფეთქეს, რასაც დიდი ადამიანური მსხვეპლი ფასად მოჰყვა. ასეთი შემთხვევები მეორე მსოფლიო ომის დროს ხშირი იყო.



ავარიული მდგომარეობა მიჩიგანი დამბაზე მდინარის კატასტროფული წყალმოვარდნის გამო  
წყარო: <https://www.nytimes.com/2020/05/20/climate/michigan-dam-dow-chemical-superfund.html>  
TC Vortex, via Reuters



ლაჭანურის წყალსაცავი და თალოვანი კაშხალი



ცხადია, მოსახლეობისა და გარემოს უსაფრთხოებაზე წყალსაცავის გავლენის ყველა ტიპის შეფასების მეთოდი მისი ხასიათის შესაბამისად უნდა შეირჩეს. კაშხლის კოლაფსის შედეგების შეფასება, კვლევითი სამუშაოების შემდეგი ამოცანების რეალიზაციას ნიშნავს: ა) რა მოცულობის წყალი გადმოიღვრება დაზიანებული კაშხლიდან და რა დროში; ბ) რა სიდიდის ფართობი დაიტბორება და წაირეცხება (ეს ინფორმაცია ასახული უნდა იყოს შესაბამისი მასშტაბის ტოპოგრაფიულ, ეკონომიკურ და ყველა საჭირო თემატიკის რუკის სახით); გ) როგორია ამ ფართობის ურბანიზაციული, ეკონომიკურ-ინფრასტრუქტურული დატვირთვა; დ) რა სახისა და სიდიდის შეიძლება იყოს მსხვერპლი და ზარალი სავარაუდოდ; ე) რამდენი დრო, მუშახელი და ფინანსები დაჭირდება დაზარალებულთა პირველად დახმარებას და სხვ.

გეოლოგიური ფაქტორის იგნორირებით, ან დილექტანტური კვლევის მონაცემებით კაშხლის აგება და წყალსაცავის შექმნა, ისეთი დანაშაულებრივი ქმედებაა, რომლის შედეგი, ან მშენებლობის პროცესშივე გაცხადდება ავარიების სახით, ან გარკვეული დროის შემდეგ კატასტროფით დამთავრდება. ამიტომ, მისი შეფასებისათვის იგივე მეთოდი გამოიყენება, რაც კაშხლის კატასტროფის შემთხვევაში.

წყალსაცავის ზემოქმედება გარემოსა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე აქტუალურია ჭარბი დატენიანების ზონებში და თანაც მხოლოდ წყალსაცავის სანაპიროს 300-500 მ სიგანის სანაპირო ზოლში [8]. ასეთი ზემოქმედება იმ მეთოდებით უნდა შეფასდეს, რომლითაც წყალსაცავის კლიმატზე ზემოქმედების შედეგები განისაზღვრება.

მეწყობისა და სუფოზიური მოვლენების აქტიურობა წყალსაცავის ორივე ბიეფში, განსაკუთრებით აქტუალურია იმ წყალსაცავებისთვის, რომლებიც წყალში ხსნადი დანალექი ქანებით აგებულ ქვაბულებშია მოქცეული. სუფოზიური პროცესები გრუნტის გრავიტაციურ კაშხლებში მიმდინარეობს, ის განსაკუთრებით სახიფათოა, რადგან მოსალოდნელია, რომ კაშხლის კოლაფსის მიზეზი გახდეს. ასეთ შემთხვევაში, მოსახლეობის დაცვისა და ზარალის აცილების მიზნით, ზემოთ განხილული მეთოდი გამოიყენება.

ნატურულმა ექსპერიმენტებმა და მოქმედ წყალსაცავებზე შესრულებულმა კვლევებმა უჩვენა, რომ კატასტროფული წყალმოვარდნების სიხშირის მატება, მოსილვის პრიზმის განვითარების თანამგზავრი მოვლენაა. ეს თავისებურება მეორე ფაზის ბოლოს აქტიურდება, მესამე ფაზაში კი, შენაკადებისაგან ტერიტორიების დატბორვა თითქმის ყოველწლიური მოვლენა ხდება.

ასეთ პირობებში, მოსახლეობის დაცვა მხოლოდ მდინარეების ნაპირების დამბებით გამაგრება და წინასწარი შეტყობინების განშტოებული სისტემის შექმნაა. გარდა ამისა, პოტენციური დატბორვის ფართობების სხვადასხვა მასშტაბისა და თემატიკის რუკები უნდა შეიქმნას, რომელზეც 75, 90, 95% სიხშირით დატბორვადი ტერიტორიები იქნება დატანილი, შესაბამისი ცნობებით დასახლებული პუნქტების, მოსახლეობის სიმჭიდროვის, სავარგულებისა და სხვა უმნიშვნელოვანესი ინფორმაციის

ამიტომ, განსაკუთრებით აქტუალურია პრობლემა, როგორ გავაუმჯობესოთ მეთოდები, რომლითაც წყლის რესურსების მართვა-გამოყენება ხდება და ავიცილოთ მოსალოდნელი საფრთხეები.



## ბოლოთქმა

წყალსაცავების ავ-კარგის განხილვისა და ნეგატივების აღაპტაცია-აცილების მეთოდების შექმნის შემდეგ, კვლავ აქტუალური რჩება კითხვა – წყალსაცავების მშენებლობა აუცილებლობაა, თუ მისი რა-იმე ალტერნატივა არსებობს? ჩვენს ქვეყანაში, თითოეული წყალსა-ცავის მაგალითზე, პასუხი განსხვავებულია.

ჯვრის წყალსაცავის როლი ქვეყნის ენერგომომარაგებაში, ცხადად 1990-იან წლებში გამოჩნდა. ამ მძიმე წლებში ქვეყანას ნავთობ- და გაზომომარაგების მილსადენები გადაუკეტეს და საკუთარი ჰიდროენ-ერგეტიკული კომპონენტის ამარად დატოვეს.

იბადება კითხვა: არსებობს თუ არა ასეთი სიტუაციის განმეორების ალბათობა და რისკები? პასუხი ცალსახაა – დიახ! და საკმაოდ მალა-ლიც, რადგან ქვეყნის ნავთობ- და გაზომომარაგება თითქმის მთლი-ანად მემობელი ქვეყნების კეთილ ნებაზეა დამოკიდებული!

ქვეყნის ჰიდროენერგეტიკის ფლაგმანის, ჯვრის წყალსაცავის მო-სილვის პრიზმმა 2020 წლისათვის (წყალსაცავის არსებობის 43 წლის შემდეგ), კაშხალს მიაღწია და წყლის ნაკადს, ნატანის წვრილი ფრაქცია ( $d < 1.0$  მმ), ეკოლოგიური ხარჯის გამშვები სადინარიდან,

ქვედა ბიეფში გააქვს. ეს ნიშნავს, რომ წყალსაცავმა მარეგულირებელი მოცულობის 30-35% დაკარგა, მოსილვის პროცესი კი კვლავ ინტენსიურად გრძელდება. მომდევნო 40 წლის შემდეგ, ენგურჰესის ეფექტიანობა კიდევ 30-40%-ით შემცირდება და მომავალ თაობებს იმ პრობლემის რეალიზაცია მოუწევს, რომელსაც ჩვენი თაობა სხვადასხვა „გამამართლებელი“ მიზეზით თავს არიდებს. ეს პრობლემა ნატანდამჭერი ნაგებობის – ხუდონის წყალსაცავის მშენებლობის შეჩერებამ წარმოქმნა. მიუხედავად მრავალი სუბიექტური, თუ ობიექტური მოსაზრებისა, ამ წყალსაცავის მშენებლობას ალტერნატივა არ გააჩნია.

ასეთივე აუცილებლობაა ჟინვალის მაგისტრალური არხის (ჟმა-I) პარალელურად, მეორე არხის (ჟმა-II) მშენებლობა.

2020 წლისათვის, თბილისის ყოველ წამში 22.0 მ<sup>3</sup> წყალს მოიხმარს, რაც წლიურად 690 მლნ მ<sup>3</sup> აღწევს, ჟმა I-ის წყალგამტარობა კი 310 მლნ მ<sup>3</sup> არ აღემატება. ამიტომ, თბილისის მოსახლეობის მატების შესაბამისი წყალმომარების (800-900 მლნ მ<sup>3</sup>/წლ) გათვალისწინებით, ამჟამად, ჟმა-II და მისი სათავე ნაგებობის, ჟინვალის წყალსაცავის, ალტერნატიული ვარიანტი, სავარაუდოდ, არ მოიძებნება.

ახლო მომავალში (2040-2050 წწ) მსგავსი პრობლემების რეალიზაცია საჭირო გახდება სიონის, ალგეთისა და შედარებით მცირე მოცულობის ( $\leq 100$  მლნ მ<sup>3</sup>) ირიგაციულ (ყვარლის, მთისძირის, მარაბდისა და სხვ.) წყალსაცავებზე. ამის მიზეზია ის, რომ მოსახლეობის მატება კლიმატის დათბობის მიმდინარე ციკლის ფონზე, ირიგაციული წყალმომარაგების 20-30% გაფართოებას მოითხოვს. აქაც, პრობლემის რეალიზაციის უალტერნატივო გზას – მცირე მოცულობის წყალსატევების მშენებლობა წარმოადგენს.

ახლო მომავლის პრობლემაა ასევე ალაზნის სარწყავი არხის აღდგენა და მისი სათავის, მცირე წყალსატევის მშენებლობა.

მიუხედავად ქვეყანაში არსებული განსხვავებული მოსაზრებებისა, აღნიშნული წყალსამეურნეო მშენებლობები, უდაოდ, ადგილობრივი რესურსების მოხმარებით უნდა განხორციელდეს, ქართული მიწის უცხო ქვეყნებზე გასხვისების გარეშე.



## ლიტერატურა

1. გიგინეიშვილი გ., მეტრეველი გ., გზირიშვილი თ., ბერიტაშვილი ბ. კლიმატის თანამედროვე გლობალური დათბობის გავლენა საქართველოს ზღვის სანაპირო ზონაზე. გაერო, კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციის ეროვნული სააგენტო, თსუ, საქართველოს გეოგრაფიული საზოგადოება. თბ., 1999, 74 გვ.
2. იორდანიშვილი ი.კ., იორდანიშვილი ვ.თ. საქართველოს მთის წყალსაცავები და მათი ზემოქმედება გარემოზე. თბ., უნივერსალი, 2010, 340 გვ.
3. თანამედროვე გლობალური დათბობის გავლენა საქართველოს ზღვის სანაპირო ზონაზე. გაერო, კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციის ეროვნული სააგენტო, თსუ, საქართველოს გეოგრაფიული საზოგადოება. თბ., 1999, 74 გვ.
4. კეკელია ჯ. ფოთის ნავსადგურის ტოპოგრაფიული და საპროექტო სამუშაოთა ისტორიისათვის. თსუ, გეოგრაფია-გეოლოგიის ფაკულტეტის დაარსების 60 წლისთავისადმი მიძღვნილი მეხუთე რესპუბლიკური კონფერენცია, თბ, 1994.

5. კიკნაძე ა., რუსო გ., ხორავა ს. ზღვის ნაპირდაცვის პრობლემების გადაჭრა აჭარაში. საქართველოს საინჟინრო პრობლემები: მდგომარეობა და პერსპექტივები. საქართველოს საინჟინრო აკადემია. თბ., 1998, 137-147.
6. კორძახია მ. საქართველოს ჰავა. თბ., 1961.
7. მეტრეველი გ. მდ. ჭოროხზე ჰესების კასკადის მშენებლობის და ექსპლოატაციის შესაძლო შემოქმედება ადგილობრივ და გლობალურ კლიმატზე. შპს გამა კონსალტინგი, თბილისი, 2012.
8. მეტრეველი გ. ნენსკრის წყალსაცავის მოსალოდნელი შემოქმედება კლიმატზე და ენგურის კასკადის (ჭვარი, ხულონი, ნენსკრა) კუმულატიური გავლენა ადგილობრივ, რეგიონულ და გლობალურ კლიმატზე. გამა კონსალტინგი, თბილისი, 2012.
9. მსოფლიო ბანკის პროექტი “მუნიციპალური წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვა საქართველოში”. სანაპიროს დაცვის შესწავლა ფოთში, 1998-2000.
10. რუსო გ. ბათუმის კონცხის მორფოდინამიკა და განვითარების პროგნოზები, თბ., 2000.
11. რუსო გ. ბათუმის კონცხის თანამედროვე მდგომარეობა და განვითარების პროგნოზები, თბ., 2007.
12. საქართველოს პირველი ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის. თბ., 1999
13. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის. თბ., 2009
14. Abashidze El. Experimental Date of Widening of a Hair-Wide Crack in a Reservoir Fundamentation time due to Filtration Method of its Determination. Tb., 2014.
15. Andredaki M., Georgoulas A., Hrissanthou V., Kotsovinos N. Assessment of reservoir sedimentation effect on coastal erosion in

- the case of Nestos River, Greece. *International Journal of Sediment Research*, 29(1), 2014, 34-48.
16. Bennett S.J., Dunbar J.A., Rhoton F.E., Allen P.M., Bigham J.M., Davidson G.R., Wren D.G. Assessing sedimentation issues within aging flood-control reservoirs. *Reviews in Engineering Geology*, 2013, 21, 25-44.
  17. Basilashvili Ts. Reservoirs on the mountain rivers and their safety. 2020.
  18. Beritashvili B. Climate and Climate Change. Georgian Technical University, Tb., 2011, 176 p.
  19. Boryczko K., Bartoszek L., Koszelnik P., Rak J.R., A new concept for risk analysis relating to the degradation of water reservoirs. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(25), 2018, 25591-25599.
  20. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850, *J. Geophys. Res.*, 111, 2006.
  21. Burova V.N., Abrasion Risk Assessment on the Coasts of Seas and Water Reservoirs. *Geodetski list*, 74(2), 2020, 185-98.
  22. Caputo M., Carcione J.M. A memory model of sedimentation in water reservoirs. *Journal of Hydrology*, Elsevier, 2013, 476, 426-432.
  23. Cazenave A., Cozannet G.L., Sea level rise and its coastal impacts. *Earth's Future*, 2(2), 2014, 15-34.
  24. Chakraborty A. and Prakash O. Characterization of Groundwater Pollution Sources by Kriging Based Linked Simulation Optimization. *International Journal of GEOMATE*, 2021, vol. 20, Issue 81, 79-85
  25. Copinath G., Ashitha M.K., Jayakumar K.V. Sedimentation assessment in a multipurpose reservoir in Central Kerala, India. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 72(11), 4441-4449.

26. Dewals B., Rulot F., Ercicum S., Archambeau P., Pirotton M. Longterm sediment management for sustainable hydropower. *Comprehensive Renewable Energy*, 2012, 6, 355-376.
27. Durduran S.S., Coastline change assessment on water reservoirs located in the Konya Basin Area, Turkey, using multitemporal Landsat imagery. *Environmental monitoring and assessment*, 164(1), 2010, 453-461.
28. Gelovani I, Lominadze G., Kavlasvili G., Russo G. Examples of Coastal Hazard Along the Georgian Black Sea Coast. *Building Knowledge for Geohazard Assessment and Management in the Caucasus and other Orogenic Regions. NATO Science for Peace and Security Series – Environmental Security*, Springer Nature B.V., 2021, 317-326
29. Georgia's Second National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change. National Climate Research Centre, Tb., 2009.
30. Georgia's Third National Communication of Georgia to the United Nations Framework Convention on Climate Change. National Climate Research, 2015.
31. Global Climate Observing System, GCOS implementation plan for the Global Observing System for Climate in support of the UNFCCC, Rep. GCOS/92, WMO/TD 1219, 136 pp., Geneva, Switzerland, 2004.
32. Gronewold A.D., Fortin V., Lofgren B., Clites A., Stow C.A., Quinn F., Coasts, water levels, and climate change: A Great Lakes perspective. *Climatic Change*, 120(4), 2013, 697-711.
33. Hosseinjanzadeh H., Hosseini K., Kaveh K., Mousavi S.F. New proposed method for prediction of reservoir sedimentation distribution. *International Journal of Sediment Research*, 2015, 30(3), 235-240.
34. Jain S.K., Singh V.P. *Water Resources Systems Planning and Management*. Elsevier, 2003, 882p.



35. Karoly D.J. and P. A. Stott, Anthropogenic warming of central England temperature, *Atmos. Sci. Lett.*, 7, 81-85, 2006.
36. Karsli F., Guneroglu A., Dihkan M., Spatio-temporal shoreline changes along the southern Black Sea coastal zone. *Journal of Applied Remote Sensing*, 5(1), 2011, 053545.
37. Kosyan R.D., Krylenko M.V., Modern state and dynamics of the Sea of Azov coasts. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2019, 224, 314-323.
38. Kutuzov S.S., Mikhalenko V.N., Grachev A.M., Ginot P., Lavrentiev I.I., Kozachek A.V., Krupskaya V.V., Ekaykin A.A., Tielidze L.G., Toropov P.A. First geophysical and shallow ice core investigation of the Kazbek plateau glacier, Caucasus Mountains. *Environmental Earth Sciences* vol. 75, Art. 1488, 2016
39. Lagidze L., Matchavariani L., Metreveli G., Tsvitsivadze N., Paichadze N., Gulashvili Z., Svanadze D. Evaluation of Climate Parameters of Black Sea Coastline in the Background of Climate Change. *Journal of Environmental Biology*. Special Issue "Environment and Ecology, vol. 38(5), 1069-1077, 2017.
40. Li D., Lu X., Overeem Ir., Walling D.E., Syvitski J., Kettner A.J., Bookhagen B., Zhou Y., Zhang T. Exceptional increases in fluvial sediment fluxes in a warmer and wetter High Mountain Asia. *Science* 2021, 374, 599-603.
41. Loucks Daniel P., Eelco van Beek. *Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods Models and Applications*. Springer, 2017, 624 p.
42. Mansikkamäki H. Monthly sedimentation in some reservoirs of hydroelectric stations in Finland. *Fennia-International Journal of Geography*, 2013, 143 (1).
43. Marco J.B., Harboe R., Salas J.D. (Ed.). *Stochastic Hydrology and its*

- Use in Water Resources Systems Simulation and Optimization. Springer Science & Business Media, NATO ASI Series E: Applied Science, 2012, vol. 237, 483 p.
44. Matchavariani L., Lagidze L. Environment Transformation in Georgia as a Result of Climate Change. Environment and Ecology in the Mediterranean Region, Chapter 35, Cambridge Scholars Publishing, UK, 379-392, 2012.
  45. Matchavariani, L., Metreveli G., Lagidze L., Paichadze N. Siltation Problem of Mountainous Reservoirs and its Solution for Sustainable Hydropower. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & Expo SGEM2016. Proceedings, book 3 "Water Resources, Forest, Marine & Ocean Ecosystems", vol. 1 "Hydrology & Water Resources", Albena, Bulgaria, 2016, 661-667.
  46. Matchavariani L., Metreveli G., Lagidze L., Gulashvili Z., Svanadze D. Positive Aspects of Studying the Sedimentation in Reservoirs through the Natural Experiment. Journal of Environmental Biology. 2017, vol. 38(5), 1155-1159.
  47. Matchavariani L., Metreveli G., Lagidze L., Svanadze D., Gulashvili Z. Solution of Reservoirs' Siltation Problem for Hydropower Development and Coastal Protection. International Journal of GEOMATE, Japan, 2017, vol. 13, Issue 39, 206-212.
  48. Metreveli G.S., Metreveli M.G. Background Factors of Global Climate Warming in the Coastal Zone of the Black Sea. Water Resources, vol. 28, #5, 2001, 568-573.
  49. Metreveli G., Matchavariani L. Research Method of Silting the Mountain Reservoirs Under the Current Climate Change. Journal of Water Resources and Ocean Science. Science Publishing Group, 2016, 5(2), 22-27.
  50. Metreveli G., Matchavariani L., Svanadze D., Alaverdashvili M., Metreveli A. The Genesis, Transportation and Accumulation of the Bed

- Drift of Mountain Rivers. Bulletin of Georgian National Academy of Sciences, vol.11, №3, 2017, 112-118.
51. Metreveli G., Matchavariani L., Gulashvili Z. Method for Hydrological Parameters Definition of Silting Prism and Equilibrium Bed in Water Reservoirs. Proceedings of the 19th Intern. Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Bulgaria, 2019, vol. 19(3.1), 363-368.
  52. Mehta V.M., Suarez M.J., Manganello J.V., Delworth T.L., Oceanic influence on the North Atlantic oscillation and associated Northern Hemisphere climate variations: 1959–1993, Geophys. Res. Lett., 27, 121-124, 2000.
  53. Motiee H., McBean E. An Assessment of Long-term Trends in Hydrologic Components and Implications for Water Levels in Lake Superior. Hydrology Research, 2009, 40 (6), 564-579.
  54. Nozaki S., Onodera S., Tomozawa Y. and Saito M. Spatial Distributions in Groundwater Discharge on Various Tidal Flats in a Small and Steep Island, Western Japan. International Journal of GEOMATE, vol. 20, Issue 81, 2021, 66-71
  55. Parker D., Folland C., Scaife A. Knight J., Colman A., Baines P., Dong B., Decadal to multidecadal variability and the climate change background, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, vol. 112 (D18115), 2007.
  56. Patriadi A., Soemitro R., Warnana D.D., Wasis Wardoyo, Toshifumi Mukunoki and Gozo Tsujimoto. The Influence of Sembayat Weir on Sediment Transport Rate in the Estuary of Bengawan Solo River, Indonesia. Intern. Journal of GEOMATE, vol. 20, Issue 81, 2021, 35-43
  57. Ran L., Lu X.X., Xin Z., Yang X. Cumulative sediment trapping by reservoirs in large river basins: A case study of the Yellow River basin. Global and Planetary Change, 100, 308-319 (2013).
  58. Reid J.R., Mechanisms of shoreline erosion along lakes and reservoirs.

- In Proceedings, US Army Corps of Engineers Workshop on Reservoir Shoreline Erosion: A National Problem, 1992, 18-32.
59. Solomon S., Daniel J.S., Neely R.R. III, Vernier J.-P., Dutton E.G., Thomason L.W. The Persistently Variable “Background” Stratospheric Aerosol Layer and Global Climate Change. *Science*, vol. 333(6044), 866-870, 2011.
  60. Sorokina O.A., Petrova L.E., Dontsov A.V., Fedorinov A.V., Antropov D.V., Protection of coastal territories of Russian water reservoirs using land management methods. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, Vol. 350, No. 1, p. 012070. IOP Publishing.
  61. Starodubtsev V.M., Bogdanets V.A., Dynamics of the Tsimlyansk Reservoir Coastline. *SWorldJournal*, 1102, 2016, 7-15.
  62. Tielidze, L. G., Nosenko, G. A., Khromova, T. E., and Paul, F. Strong acceleration of glacier area loss in the Greater Caucasus over the past two decades, *The Cryosphere Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/tc-2021-312>, in review, 2021.
  63. Thompson, D.W. J., and J.M. Wallace, Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode, *Science*, 293, 85-89, 2001.
  64. Zhang R., Delworth T.L, Held I.M., Can the Atlantic Ocean drive the observed multidecadal variability in Northern Hemisphere mean temperature? *Geophys. Res. Lett.*, 34, L02709, 2007.
  65. Zhenxin Bao, Guobin Fu, Guoqing Wang, Junliang Jin, Ruimin He, Xiaolin Yan, Cuishan Liu. Hydrological projection for the Miyun Reservoir basin with the impact of climate change and human activity. *Quaternary International*, vol. 282, 96-103, 2012.
  66. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища Мира. М., Мысль, 1987, 325 с.
  67. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы

- механики жидкости). Стройиздат, 1975
68. Варазашвили Н.Г., Гобечия Г.И. Инженерно-экологические проблемы создания и эксплуатации водохозяйственных систем с водохранилищами в горных регионах. Тб., Мецниереба, 2002, 512с.
  69. Варазашвили Н.Г., Колесников В.И. Особенности создания и эксплуатации горных водохранилищ (на примере Закавказья). Водные ресурсы, №66, 1988.
  70. Варазашвили Н.Г., Макацария А.П. К вопросу эффективности работы берегозащитных сооружений в р-не г. Поты. Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними. Тб., ГрузНИИГИМ, 1976, вып.5.
  71. Викулина З.А. Водный баланс озер и водохранилищ Советского Союза. Л., Гидрометеиздат, 1985, 170 с.
  72. Гвахария В.К. Испарение с водной поверхности водоемов Кавказа. Мецниереба 1973.
  73. Гвахария В.К. Географическое моделирование испарения с водоёмов горных стран. Тб., Мецниереба, 1986, 115 с.
  74. Гвелесиани Л.Г., Шмальцель Н.П. Заилиение водохранилищ гидроэлектростанций. М., Энергия, 1968, 85.
  75. Джанелидзе Ч.П. Палеогеография Грузии в голоцене. Тб., Мецниереба, 1980, 174 с.
  76. Джаошвили Ш.В. Речные наносы и пляжеобразование на Черноморском побережье Грузии. Тб., 1986, 155 с.
  77. Зенкович В.П. Основные учения о развитии морских берегов. М., Изд. АН, 1962, 710 с.
  78. Иорданишвили И.К., Иорданишвили К.Т. Вопросы эволюции горных водохранилищ Грузии. Тб., Универсал, 2012, 186 с.
  79. Кикнадзе А.Г. Результаты исследования движения береговых

наносов Черного моря в пределах Грузии методами литологии. Новые исследования береговых процессов. Океанографическая комиссия. М., Наука, 1971, 159-167.

80. Кикнадзе А.Г. Меладзе Ф.Г., Сакварелидзе В.В. Защита Черноморского побережья Грузии от размыва морем. Тб., ГрузНИИНТИ, 1984. 52 с.
81. Константинов Н., Петров Н.А., Высоцкий Л.И. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. Часть 2, Специальные вопросы. М., Высшая школа, 1987, 432с.
82. Матарзин Ю.М. Гидрология водохранилищ. Пермь, 2003.
83. Маткава Д.И. Изменение берегов северной Колхиды за последнее столетие. Сообщ. АН Грузии, 1987, т. 110, №3, 537-540
84. Маткава Д.И., Папашвили И.Г., Руссо Г.Е. Сток береговых наносов в подводные каньоны Черноморского побережья Грузии и методы его прекращения. Тб., ГрузНИИНТИ, 1987, 49 с.
85. Меншиков В.Л. Новейшая история дельтовых аккумулятивных выступов Черноморского побережья Грузии. Сообщ. АН Грузии, 1983, т. 110, №2, 337-340.
86. Метревели Г.С. Водоохранилища Закавказья. Л., Гидрометеиздат, 1985, 130 с.
87. Михайлова М.В., Джашвили Ш.В. Гидролого-морфологические процессы в дельтовой области р. Риони и их антропогенные изменения. Водные ресурсы, 1998, т. 25, №2, 152-160.
88. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 9. Грузия, Л., Гидрометеиздат, 1987.
89. Сакварелидзе В.В. Взаимосвязь строительства ГЭС с защитой побережья Грузии от размыва. ГрузНИИНТИ, ТИ, сер. "Строительство и архитектура", 1978, №1.

90. Сванидзе Г.Г. Основы расчета регулирования речного стока методом Монте-Карло. Тб., 1964, 272 с.
91. Скрыльников В.А. Расчет заиления водохранилищ. Гидротехническое строительство, №8, М., 1988, 30-33.
92. Справочник по климату СССР, вып. 14. Атмосферные осадки, влажность, снежный покров. Л., Гидрометеиздат, 1970
93. Справочник по климату СССР, вып. 14. Температура воздуха. Ленинград, Гидрометеиздат, 1970
94. Справочник по климату СССР, вып. 14. Ветер. Л., Гидрометеиздат, 1970
95. Халатян О.И. Опыт изучения водного баланса Храмского водохранилища. Доклады Всес. Гидрологического съезда. М., Гидроэнергопроект, 1958, 86-92
96. Чоговадзе Г.И., Мгебришвили И.М., Ломов И.Е. Ингурская ГЭС. М., Энергоатомиздат 1987, 199 с.
97. Шамов Г.И. Речные наносы. ГМИ, Л., 1959, 545 с.
98. Шепард Ф.П. Дилл Р. Подводные морские каньоны. Л., Гидрометеоздат, 1972. 344 с.
99. Элердашвили Э.И. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия Сионского водохранилища. Материалы совещ. по инженерно-геологическим особенностям строительства и эксплуатации плотин и водохранилищ в горно-складчатых областях на примере Грузии. Тб., ГПИ, 1960, т.1, 95-99
100. Элердашвили Э.И. Инженерно-геологические условия Тбилисского водохранилища и опыт его эксплуатации. Материалы совещания по инженерно-геологическим особенностям строительства и эксплуатации плотин и водохранилищ в горно-складчатых областях на примере Грузии. Тб., ГПИ, 1960, т.1, 101-114



### **გიორგი მეტრეველი**

გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი. ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტთან არსებული გამოყენებითი ეკოლოგიის ინსტიტუტის, ზღვის ეკოლოგიისა და ნაპირდაცვის განყოფილების გამგე. გამოქვეყნებული აქვს 168 სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის 5 მონოგრაფია.



### **ლია მაჭავარიანი**

გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი. ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ნიადაგების გეოგრაფიის კათედრის გამგე, ფაკულტეტთან არსებული გამოყენებითი ეკოლოგიის ინსტიტუტის დირექტორი. გამოქვეყნებული აქვს 150 სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის 5 მონოგრაფია.



### **ზაზა გულაშვილი**

გეოგრაფიის მაგისტრი. ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის გეოგრაფიის მიმართულების დოქტორანტი. თსუ ვახუშტი ბაგრატიონის სახელობის გეოგრაფიის ინსტიტუტის მეცნიერი. გამოქვეყნებული აქვს 20 სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის 1 მონოგრაფია.



გ. მეტრეველი, ლ. მაჭავარიანი, ზ. გულაშვილი

# წყალსაცავების პოზიტივები და ნეგატივები



თბილისი 2022



გამომცემლობა  
სამშობლო

