

საქართველოს წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი

კონსტანტინე იორდანიშვილი

მიწის კალაპოტის არხების ფუნქციონირების  
საიმედოობის შეფასება  
(საქართველოს პირობებისათვის)

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო  
ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

**დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა**

05.23.07 – ჰიდროტექნიკური და მელიორაციული მშენებლობა

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: აკადემიკოსი

**ცოტნე მირცხულავა**

## შ ი ნ ა ა რ ს ი

შესავალი.

**თავი 1.** წყალთა მეურნეობისა და მელიორაციის განვითარების სპეციფიკა საქართველოში.

1.1. წყალთა მეურნეობის განვითარების თავისებურებანი.

1.2. მორწყვითი მელიორაციის განვითარების თავისებურებანი.

1.3. ბუნებრივი პირობების დახასიათება და რელიეფი.

1.4. მიწის მსხვილი არხების და მათი განლაგების ტერიტორიების ბუნებრივი პირობების დახასიათება.

**თავი 2.** მიწის არხების ფუნქციონირების საიმედოობის შეფასება.

2.1. არხების საიმედო ფუნქციონირების დასადგენად საიმედოობის თეორიის გამოყენების მეთოდის საფუძვლები.

2.2. მიწის არხების საიმედო ფუნქციონირების კვლევა დაძველების და ხანგრძლივობის გათვალისწინებით.

2.2.1. მიწის არხების წყობიდან გამოსვლის მიზეზების ანალიზი.

2.2.2. მიწის არხების დაძველების და ხანგრძლივობის კანონზომიერების კვლევა.

**თავი 3.** მთიან და მთისწინა რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების კალაპოტების ეროზიული პროცესების თავისებურებანი.

3.1. ბმული და არაბმული გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

3.1.1. არაბმული გრუნტების ზოგადი მონაცემები.

3.1.2. ბმული გრუნტების ზოგადი მონაცემები.

3.2. მიწის არხებში არაგამრეცხი სიჩქარის პროგნოზის არსებული მეთოდების ანალიზი.

3.2.1. მიწის არხებში არაგამრეცხი სიჩქარის პროგნოზის არსებული მეთოდების ანალიზი არაბმული გრუნტებისათვის.

3.2.2. მიწის არხებში არაგამრეცხი სიჩქარის პროგნოზირების არსებული მეთოდების ანალიზი ბმული გრუნტებისათვის.

**თავი 4.** მთიან რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების ჰიდრავლიკური

განგარიშების ოპტიმიზაცია.

4.1. სისტემური ანალიზის გამოყენება მიწის არხების დეფორმაციების გამომწვევი ფაქტორების შესწავლისას.

4.2. მთიან რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების არაგამრეცხი სიჩქარის ოპტიმიზაცია.

4.2.1. არაგამრეცხი ფსკერული სიჩქარის ოპტიმიზაცია არაბმული გრუნტებისათვის.

4.2.2. არაგამრეცხი ფსკერული სიჩქარის ოპტიმიზაცია ბმული გრუნტებისათვის.

4.3. არაბმულ გრუნტებში არხების კალაპოტების გარეცხვის პროცესის კვლევა საველე პირობებში.

4.4. მთიან რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების ქიმის ნიშნულის პროგნოზი ქარისმიერი ტალღების გათვალისწინებით.

4.4.1. არხში ქარისმიერი ტალღების გენერაცია.

4.4.2. არხის მოხვევის მონაკვეთზე ტალღების რეფრაქცია.

4.5. მიწის არხების ანგარიშის ოპტიმიზაცია.

4.6. მიწის არხებში კალაპოტმაფორმირებელი და ტალღური პროცესების მოდელირების საფუძვლები.

4.6.1. კალაპოტმაფორმირებელი პროცესების მოდელირება.

4.6.2. ტალღური პროცესების მოდელირება.

ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები.

ლიტერატურა.

## შესავალი

**ნაშრომის აქტუალობა.** საქართველო – ქვეყანაა, რომლის ტერიტორია ხასიათდება როგორც ბუნებრივი უარყოფითი პროცესებით და მოვლენებით – მეწყერები, ზვავები, ქვის ცვენა – ისე ადამიანის მიერ შექმნილი ნაგებობებით, კერძოდ, ჰიდრონაგებობებით გამოწვეული უარყოფითი შედეგებით.

მიწის არხების წყობიდან გამოსვლის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ საშიში

სიტუაციების გაზრდა განპირობებულია საპროექტო ნაკლოვანებებით და ეროზიული პროცესების<sup>1</sup> არასრული გათვალისწინებით.

წყალთა მეურნეობა ქვეყნის წარმოების ერთ-ერთი წამყვანი დარგია, რომელიც განსაზღვრავს ენერგეტიკის, სოფლის მეურნეობის, წყალმომარაგების განვითარებას. მთიანი რეგიონების პირობებში წყლის რესურსების გამოყენება მნიშვნელოვნად რთულდება მდინარეების წყლის და მისი მოხმარების რეჟიმების წინააღმდეგობის გამო.

დამოუკიდებლობის პირობებში ჰიდრომელიორაცია ქვეყნის ეკონომიკის ფორმირების ერთ-ერთი წამყვანი დარგია.

ჰიდრომელიორაციის განვითარება დამოკიდებულია მისი ძირითადი ელემენტების საიმედო ფუნქციონირებაზე, რომელთა შორისაა არხები. ექსპლუატაციაში მყოფ არხში, თუ ის დაპროექტებულია პროფესიონალურად, დინების სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს იმ ზღვარს, რომლის გაზრდისას კალაპოტი გაირეცხება, მაგრამ მეორეს მხრივ, არ უნდა იყოს იმ მნიშვნელობაზე ნაკლები, როდესაც დინების სიჩქარე ქმნის პირობებს ნატანის ტრანსპორტირებისათვის. ამ პირობების დარღვევისას არხში ვითარდება არასასურველი დეფორმაციები, კალაპოტის გარეცხვა და გაღრმავება, ნაპრალების წარმოქმნა, ფსკერზე ხორკლიანობის მომატება, დინების სიჩქარის და გამტარიანობის შემცირება. ამიტომ არხის განივკვეთის ოპტიმიზაცია, ფერდობის მდგრადობა და „საკომანდო“ სიმაღლის შემცირება, გრუნტის წყლების ჰორიზონტის შემცირება და სხვ. განაპირობა არსებული ჰიდროკვანძების რეაბილიტაცია.

მიწის არხების საიმედო ფუნქციონირების და ოპტიმიზაციის შეფასება განსაზღვრავს თემის აქტუალობას.

სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია – არხების ანგარიშისათვის ახალი, სრულყოფილი მეთოდების დამუშავება. დასმული ამოცანა ამოიხსნება საქართველოს არხების ფუნქციონირების ანალიზის საფუძველზე და მათში დეფორმაციული პროცესების გამოვლენით და შეფასებით.

**ნაშრომის მეცნიერული სიახლე.** ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებულია:

- საქართველოს წყლის რესურსების ფორმირების თავისებურებანი და მათი

<sup>1</sup> აქ კიდევ ერთხელ უნდა აღვნიშნოთ, **ეროზია** – წყლის ნაკადით ან ქარით ნაწილაკების (აგრეგატების) გრუნტის და მთის ქანების მასივიდან გამოყოფის პროცესია.

სარწყავ მელიორაციაში გამოყენების შესაძლებლობა;

- საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული არხების თანამედროვე და წარსული მდგომარეობა;
- მიწის არხების არაგამრეცხი სიჩქარეების ოპტიმიზირებული დამოკიდებულებები;
- მიწის არხების ფუნქციონირების ოპტიმიზაცია მათი დაძველების კანონზომიერების გამოვლინებით.

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება** განისაზღვრება მიწის არხების კალაპოტის არაგამრეცხი სიჩქარის დადგენით.

მიწის არხების არაგამრეცხი სიჩქარეების დადგენის მეთოდოლოგია გამოყენებულია საქართველოს არხების რეაბილიტაციისას: ტაშისკარის და ქვემო ალაზნის სარწყავ სისტემაზე.

**ავტორის პირადი წვლილი პრობლემის გადაწყვეტაში.** დისერტაცია წარმოადგენს ავტორის კვლევების შედეგებს, რომლებიც ჩატარებულია ტაშისკარის და ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემების სარეაბილიტაციო სამუშაოების დროს, რაშიც ავტორი უშუალო მონაწილეობას იღებდა.

**დაცვის საგანია:** საქართველოს წყლის მეურნეობის, კერძოდ, სარწყავი მელიორაციის განვითარების თავისებურებების გამოვლინების შედეგები; სისტემური ანალიზის გამოყენების შესაძლებლობა მიწის არხების გაანგარიშების ოპტიმიზაციისას; არაგამრეცხი სიჩქარეების დადგენის მეთოდოლოგია; მიწის არხების დაძველების კანონზომიერების გამოვლინების, ფუნქციონირების ოპტიმიზაციის, საიმედოობის შეფასების შედეგები.

**ნაშრომის დამაჯერებლობა** განპირობებულია ჰიდროდინამიკის, ჰიდრაულიკისა და მათემატიკური მეთოდების, კერძოდ, საიმედოობის თეორიის გამოყენებით, განტოლებათა ოპტიმიზაციით, მათი მეცნიერული დასაბუთებულობით, მიღებული შედეგების დამაკმაყოფილებელი ურთიერთშეთანხმებით არსებული ექსპერიმენტული მასალის ან ნატურულ მონაცემებთან.

**ნაშრომის აპრობაცია.** გამოკვლევების ძირითადი შედეგები მოხსენებული და განხილული იყო საქართველოს წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს

სხდომაზე.

**პუბლიკაციები.** დისერტაციის ცალკეული დებულებები ასახულია 6 ნაშრომში, რომელთა შორის ორი იბეჭდება.

**დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა.** ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის სიისა (260 დასახელება) და დანართისაგან. დისერტაცია წარმოდგენილია 175 ნაბეჭდ გვერდზე, ილუსტრირებულია 39 ცხრილით და 28 ნახაზით.

ავტორი თავს მოვალედ თვლის გამოხატოს გულითადი მადლობა დისერტაციის მთელ რიგ ძირითად საკითხებზე იდეური ხელმძღვანელობისათვის, საქმიანი რჩევებისათვის, გულწრფელი კეთილგანწყობისა და გულისხმიერებისათვის აკადემიკოს ც. მირცხულავას მიმართ.

**შესავალში** დასაბუთებულია თემის აქტუალობა, კვლევის მიზანი, მისი მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული ღირებულება, მითითებულია ავტორის პირადი წვლილი პრობლემების გადაწყვეტაში.

**პირველ თავში** – „წყალთა მეურნეობისა და მელიორაციის განვითარების სპეციფიკა საქართველოში“ – გამოკვლეულია წყალთა მეურნეობის განვითარების საკითხები აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოში ბუნებრივი პირობებით გამოწვეული სპეციფიკის გათვალისწინებით. დასაბუთებულია ცნებების „წყლის მარაგი“ და „წყლის რესურსები“ სხვაობა და მოყვანილია მათი მონაცემები ცხრილების სახით.

გამოკვლეულია საქართველოში მორწყვითი მელიორაციის განვითარების თავისებურებანი, რომლის დასაწყისია II ათასწლეული ჩვ.წ-მდე.

მოყვანილია მიწის მსხვილი არხების და მათი განლაგების ტერიტორიების ბუნებრივი პირობების დახასიათება.

**მეორე თავში** – „მიწის არხების ფუნქციონირების საიმედოობის შეფასება“ – განხილულია მათი საიმედო ფუნქციონირების, წყობიდან გამოსვლის და დაძველების დასადგენად საიმედოობის თეორიის ცალკეული მიმართულებების გამოყენების შესაძლებლობა, რომელთა საშუალებით დადგინდა არხების დაძველების მიახლოებითი თავისებურებანი.

**მესამე თავში** – „მთისა და მთისწინა რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების კალაპოტების ეროზიული პროცესების თავისებურებანი“ – განხილულია ბმული და არაბმული გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების თანამედროვე შეხედულებები.

განალიზებულია მიწის არხებში არაგამრეცხი სიჩქარის საანგარიშო არსებული მეთოდები, რომლებიც მოყვანილია კრებსების სახით, როგორც არაბმული, ისე ბმული გრუნტებისათვის; ჩამოყალიბებულია მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები და გამოყენების არე.

**მეოთხე თავი** – „მთიან რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების ჰიდრავლიკური გაანგარიშების ოპტიმიზაცია“ – ეძღვნება მნიშვნელოვანი დაქანების მქონე მიწის არხების დეფორმაციების გამომწვევი ფაქტორების სისტემურ ანალიზს; ფსკერული არაგამრეცხი სიჩქარის დასადგენად გამოყენებულია საექსპერტო შეფასების მეთოდი; ფაქტორული და კორელაციური ანალიზი, რომელთა საფუძველზე გამოვლენილია მოქმედი დომინირებული ფაქტორები მათი წონითი მნიშვნელობით ბმული და არაბმული გრუნტებისათვის ცალ-ცალკე. ესენია:

- არაბმული გრუნტებისათვის – ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი ( $d$ ), გრუნტის სიმკვრივე ( $\rho_{gr}$ ) და არხის ქანობი ( $i$ ), რომელთა შორის არხის ქანობის წონითი კოეფიციენტი  $70 \pm 90\%$ -ია.
- ბმული გრუნტებისათვის – შეჭიდულობა ( $C_y^H$ ), პლასტიკურობის ზედა ზღვარი ( $W_g$ ), ფორიანობის კოეფიციენტი ( $e$ ), მოწყვეტილი ნაწილაკების დიამეტრი ( $d$ ) და იმ ნაწილაკების რაოდენობა ( $\rho_{0.01}$ ), რომელთა დიამეტრი ნაკლებია 0.01 მმ-ზე. ყველა ანგარიში შემოწმებულია შესაძლო ცდომილების შეფასებით.

განხილულია კალაპოტფორმირების და ტალღური პროცესების მოდელირების საფუძველები.

არხების კალაპოტის გარეცხვის პროცესის კვლევა სავსე პირობებში, კერძოდ, აღმოსავლეთ საქართველოს არხებზე – ადასტურებს შემოთავაზებული დამოკიდებულებების შესაბამისობას.

გამოკვლეულია არხებში ქარით გამოწვეული ტალღების გენერაცია, რომლის

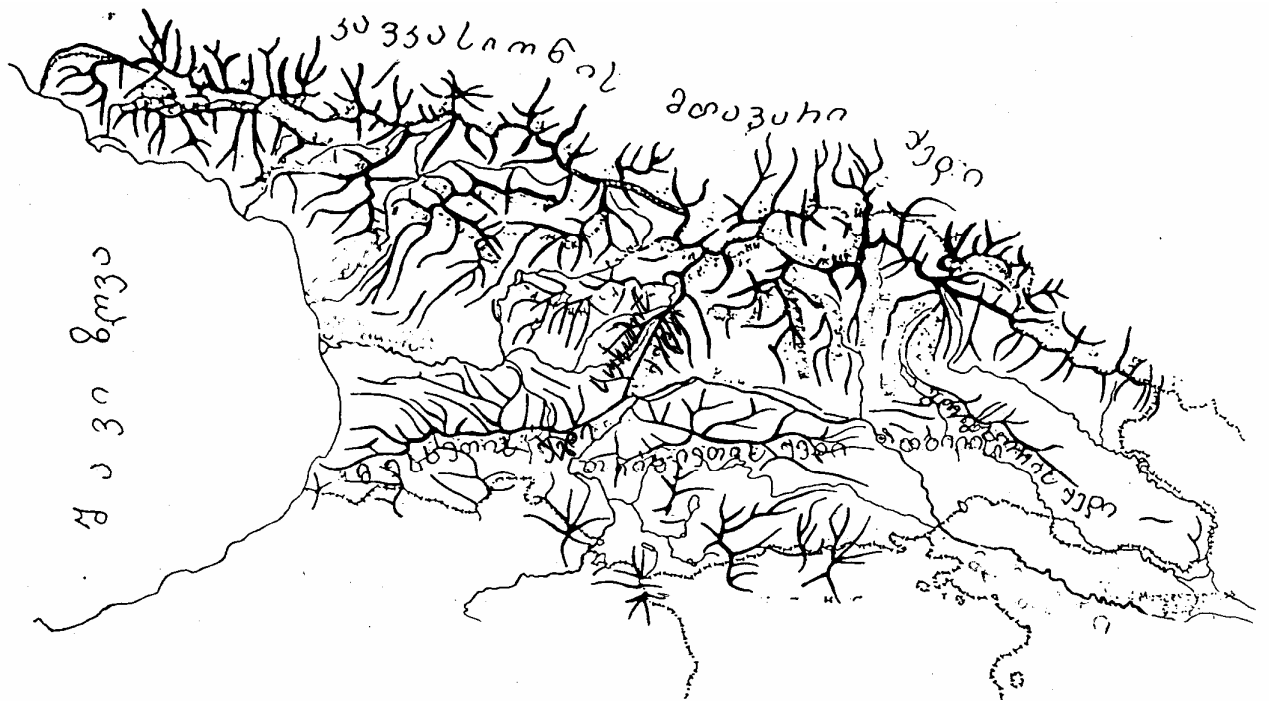
სიმაღლის სიდიდის გათვალისწინებით შემოთავაზებულია არხის ქიმის დაზუსტებული ნიშნული.

განხილული კვლევების შედეგები გამოყენებულია მიწის არხების ოპტიმიზირებული ანგარიშისათვის.

## თავი 1. წყალთა მეურნეობისა და მელიორაციის განვითარების სპეციფიკა საქართველოში

### 1.1. წყალთა მეურნეობის განვითარების თავისებურებანი

საქართველო მდებარეობს კავკასიონის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში და უჭირავს 69.70 ათასი კმ<sup>2</sup> ფართობი. საქართველო მთაგორიანი ქვეყანაა, მისი ტერიტორიის 54% მთიანია, მთისწინა – 33% და ვაკე – 13% (ნახ. 1.1). სურამის ქედით ტერიტორია იყოფა ორ ოლქად – დასავლეთ (32.4 ათასი კმ<sup>2</sup>) და აღმოსავლეთ (37.3 ათასი კმ<sup>2</sup>) საქართველოდ. კლიმატური პირობები მკვეთრად განასხვავებს წყლის რესურსების ფორმირების პირობებს და მდინარეთა წყლის რეჟიმს.



ნახ. 1.1. საქართველოს ოროგრაფიული ქსელის სქემა

საქართველოს ტერიტორია ხასიათდება მუდმივი თოვლის და მყინვარების



კლიმატიდან სუბტროპიკული და კონტინენტალური სტეპის კლიმატამდე. კლიმატი ფორმირდება კავკასიონისა და სურამის ქედების ოროგრაფიული სისტემების მეშვეობით. კავკასიონი იცავს ტერიტორიას ჩრდილოეთიდან ჰაერის მასების შემოჭრისაგან, სურამის ქედი კი ზღუდავს ზღვის ტენიანი ჰაერის ნაკადის შემოჭრას აღმოსავლეთ კავკასიაში.

დასავლეთ საქართველო ხასიათდება ტენიანი, სუბტროპიკული კლიმატით, სადაც საშუალო წლიური ნალექების რაოდენობა აღემატება 1000 მმ-ს წელიწადში. უხვი ნალექი განაპირობებს ნიადაგის გადაჭარბებულ ტენიანობას და ტერიტორიის დაჭაობებას. აქ მდინარეები წყალუხვია, ხასიათდება გაზაფხულის წყალდიდობებითა და ზაფხული-შემოდგომის წყალმოვარდნებით. მეურნეობის ყველა დარგი, როგორც წლიურ, ისე სეზონურ ჭრილში, წყლით უზრუნველყოფილია და დეფიციტს არ განიცდის, მაგრამ ნალექების არათანაბარი განაწილების გამო ზოგიერთი ფართობის მორწყვა საჭიროა.

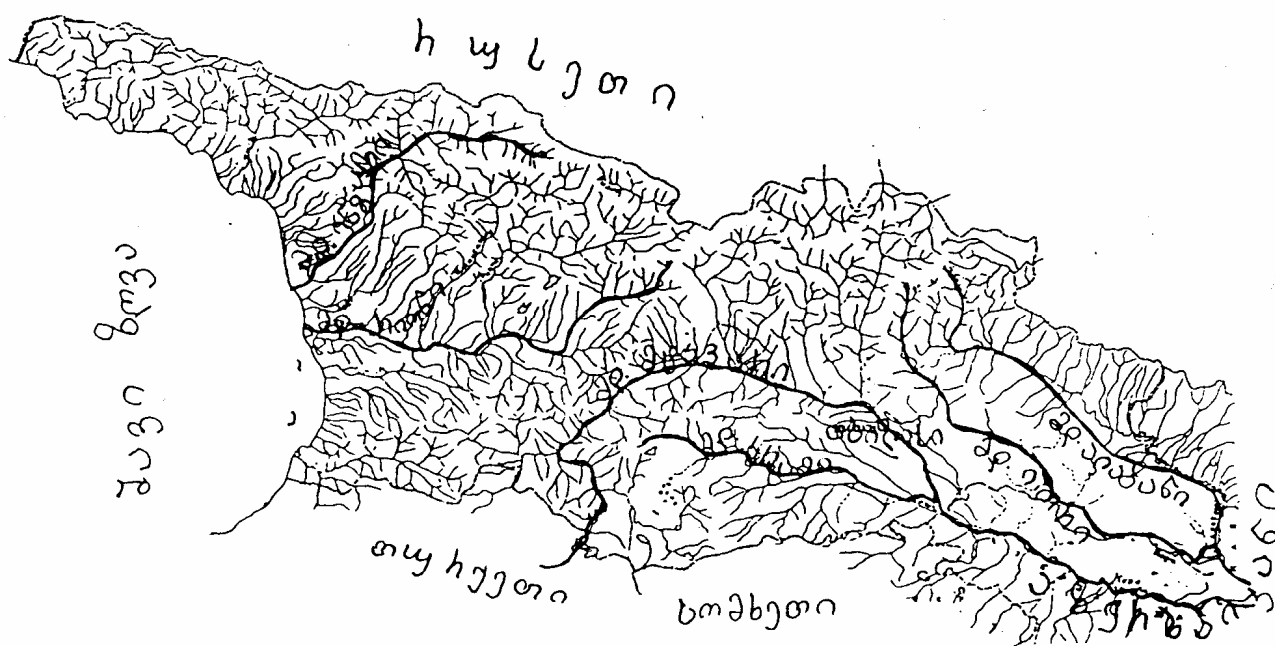
დასავლეთ საქართველოს ჰიდროგრაფიული ქსელი ძლიერ განვითარებულია. წყლის ძირითადი არტერიებია: ენგური, რიონი, ბზიფი და ჭოროხი.

აღმოსავლეთ საქართველო ხასიათდება მშრალი კონტინენტალური კლიმატით, მცირე ნალექით (350-1400 მმ წელიწადში), რომლის 60% მოდის წლის თბილ პერიოდზე. მაღალმთიან ნაწილში მდინარეთა კვება ხორციელდება კოკისპირული წვიმებით, მთისწინეთსა და დაბლობში – წვიმებით. ჩამონადენი სეზონზეა დამოკიდებული, რაც იწვევს წყალმოთხოვნილებასა და ჩამონადენს შორის მკვეთრ ასიმეტრიულობას. წყლის ძირითადი არტერიაა მდ. მტკვარი შენაკადებით.

საქართველოს წყლის მარაგის კომპონენტებია მდინარეები, ტბები, წყალსაცავები, მყინვარები, ჭაობები და მიწისქვეშა წყლები. აქ უნდა აღვნიშნოთ, რომ „წყლის მარაგი“ და „წყლის რესურსი“ სხვადასხვა ცნებებია: „წყლის მარაგში“ იგულისხმება ყველა სახის წყლის მოცულობა, მათ შორის – მყინვარებსა და ჭაობებში არსებული საუკუნოვანი მარაგი; „წყლის რესურსებს“ კი მიეკუთვნება წყლის მარაგის ის ნაწილი, რომელიც გამოიყენება ადამიანის მიერ. წყლის „მარაგი“ ფასდება მხოლოდ წყლის მოცულობით, „წყლის რესურსების“ სიდიდე დამოკიდებულია მოცულობაზე, რომლის გაზრდაც შესაძლებელია წყალსაცავების მეშვეობით მდინარეების ჩამონადენის რეგულირებით

(სასარგებლო მოცულობის ფარგლებში).

**მდინარეები.** მდინარეთა სისტემა საქართველოს სახალხო მეურნეობის წყლით უზრუნველყოფის ძირითად წყაროს წარმოადგენს [134] (ნახ. 1.2, ცხრ. 1.1). განსაკუთრებული წყალუხვობით გამოირჩევა მთავარი კავკასიონის მაღალმთიანი ზონა ბზიფსა და კოდორს შორის, სამეგრელოს და აჭარა-იმერეთის მდინარეების ჩამონადენის მოდული 80-100 ლ/წმ კმ<sup>2</sup>. მთავარი კავკასიონის ზედა ზონაში ჩამონადენის მოდული კლებულობს კვ.კმ-ზე 50-60 ლ/წმ-მდე. კასპიის ზღვის აუზის მდინარეების – მტკვრის, ხრამის, ალაზნის ჩამონადენის მოდულია 5-50 ლ/წმ კმ<sup>2</sup>. განსაკუთრებით მშრალ რაიონად ითვლება მტკვარი-ალაზნის შუამდინარეთი, სადაც ჩამონადენის მოდულის მცირდება 1 ლ/წმ კმ<sup>2</sup>-მდე და სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის წარმოება პრაქტიკულად შეუძლებელია ირიგაციული ღონისძიებების ჩატარების გარეშე.



ნახ. 1.2. საქართველოს ჰიდროგრაფიული ქსელის სქემა

მდინარეების წლიური ჩამონადენის განაწილება მოყვანილია ცხრ. 1.2-ში.

**ტბები.** საქართველოში არსებობს 860 ტბა, რომელთა წყლის საერთო მოცულობა  $V = 0.72$  კმ<sup>3</sup> და უკავია 170 კმ<sup>2</sup> ფართობი (ცხრ. 1.3) [16]. ტბების უმეტესობა, თავისი მცირე ზომების გამო, არსებით ზეგავლენას ვერ ახდენს წყლის მოხმარებაზე.

## საქართველოს მდინარეების ძირითადი მაჩვენებლები

რეგიონი	ფართობი, კმ <sup>2</sup>	მდინარეთა რაოდენობა (მრიცხველი), ცალი სიგრძე (მნიშვნელი), კმ					მდინარეთა ქსელის სიხშირე, კმ/კმ <sup>2</sup>
		ძალიან მცირე	მცირე	საშუალო	დიდი	სულ	
		$L \leq 25$	$L = 26-100$	$L = 100-500$	$L > 500$		
დასავლეთ საქართველო	32 634	$\frac{18036}{30946}$	$\frac{64}{2723}$	$\frac{9}{1373}$		$\frac{1809}{35042}$	1.07
აღმოსავლეთ საქართველო	34 600	$\frac{7113}{18382}$	$\frac{76}{2989}$	$\frac{4}{971}$	$\frac{1}{390}$ )	$\frac{7194}{22732}$	0.68

) მდ. მტკვრის სიგრძე მოცემულია საქართველოს ფარგლებში.

## საქართველოს მდინარეთა წყლის მარაგი

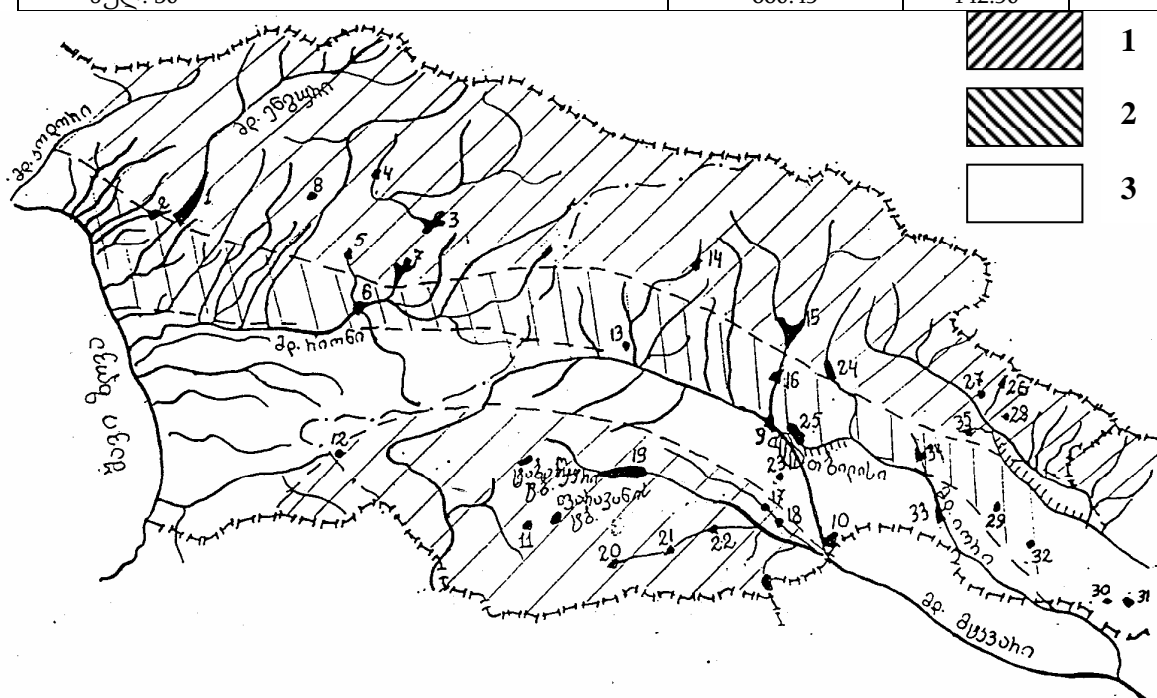
რეგიონი	რეგიონის ფართობი, ათასი კმ <sup>2</sup>	მდინარეების წყლის მარაგი, კმ <sup>3</sup>
დასავლეთ საქართველო	32.42	51.13
აღმოსავლეთ საქართველო	37.28	14.70
სულ	69.70	65.83

**წყალსაცავები.** საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულია 43 წყალსაცავი, საერთო მოცულობით 4425 მლნ. მ<sup>3</sup> (ცხრ. 1.4, ნახ. 1.3), რომლებიც ძირითადად გამოიყენება ირიგაციასა და ენერგეტიკის სფეროში [33,134].

საქართველოს ტბების ძირითადი მაჩვენებლები ( $V > 1$  მლნ. მ<sup>3</sup>)

№	ტბის დასახელება	ტბის განლაგების ადმინისტრაციული რაიონი	ტბაში წყლის მოცულობა, მლნ. მ <sup>3</sup>	სარკის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	საშუალო სიღრმე, მ
1	2	3	4	5	6
1.	ტაბაწყური	ახალქალაქი, ბორჯომი	221.00	14.20	15.60
2.	რიწა	გუდაუთა	94.00	1.49	63.10
3.	ფარავანი	ნინოწმინდა	90.80	37.50	2.42

4.	პალიასტომი	ფოთი	52.00	18.20	2.60
5.	ჯანდარი	გარდაბანი	51.00	10.60	4.80
6.	ყელის ტბა	ახალგორი	31.70	1.28	27.80
7.	კარწახი (ხაზაფინი)	ახალქალაქი	19.30	26.30	0.73
8.	ამტყელი	გულრიფში	18.50	0.58	29.60
9.	გრძელი ტბა	ნინოწმინდა	11.10	0.17	6.52
10.	მადათაფა	ნინოწმინდა	9.50	1.08	8.78
11.	ადუჟდა ამიჭი	ოჩამჩირე	9.48	29.60	0.32
12.	სალამოს ტბა	ნინოწმინდა	7.70	1.60	4.81
13.	ხანჩალი	ნინოწმინდა	6.40	0.48	13.30
14.	ბაზალეთი	დუშეთი	5.55	4.50	1.22
15.	წითელი ხატი	ახალგორი	4.56	19.30	0.23
16.	ტობავარჩხილი	წალენჯიხა	3.31	15.80	0.21
17.	პატარა რიწა	გუდაუთა	3.25	33.80	0.10
18.	მცრა	სოხუმი	2.68	17.90	0.15
19.	წურბლიანი ტბა	წალკა	2.18	1.82	0.12
20.	კელინაძი	ყაზბეგი	2.12	2.48	0.25
21.	არაგვისთავი	ყაზბეგი	1.97	2.80	0.07
22.	გრძელი ტბა	წალკა	1.63	2.02	0.08
23.	არკიანი	წალკა	1.60	2.00	0.02
24.	ნარიონალი	ლანჩხუთი	1.49	0.88	0.17
25.	მრუდე ტბა	ნინოწმინდა	1.48	5.30	0.26
26.	დიდი ბებესირი	გალი	1.40	2.30	0.61
27.	ლამაზი ტბა	ყაზბეგი	1.25	14.40	0.11
28.	ლისი	მცხეთა	1.22	2.60	0.47
29.	ოქროწყალი	ოჩამჩირე	1.20	12.00	0.10
30.	ბერეთი	წალკა	1.10	0.82	1.34
სულ: 30			660.45	142.50	



ნახ. 1.3. საქართველოს წყალსაცავების განლაგების სქემა ( $V_{სტ} > 1$  მლნ. მ<sup>3</sup>)  
 1 – მთის ზონა; 2 – მთისწინა ზონა; 3 – ვაკის ზონა

ცხრილი 1.4

საქართველოს წყალსაცავების მეშვეობით მდინარეების ჩამონადენის

დარეგულირების მაჩვენებლები ( $V_{სრ} > 1$  მლნ. მ<sup>3</sup>)

ნახ. 1.3-ის მიხედვით	მდინარის აუზის დასახელება	წყალსაცავი	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ. მ <sup>3</sup>		დარეგულირების მაჩვენებელი		მდინარის ჩამონადენი წყალსაცავის კვეთში $V_{ჩამონ.}$ , მლნ. მ <sup>3</sup>
			$V_{სრ}$	$V_{სას}$	$\frac{V_{სრ}}{V_{ჩამონ.}}$	$\frac{V_{სას}}{V_{ჩამონ.}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ენგურის	ენგურის (ჯვრის)	1090.0	662.0	0.143	0.235	4640.0
2	—, —	გალის	145.0	26.0	0.0056	0.0298	4850.0
3	რიონის	შაორის	90.0	87.0	0.679	0.703	128.0
7	—, —	ტყიბულის	84.0	62.0	0.286	0.388	216.0
5	—, —	გუმათის <sup>9)</sup>	39.0	13.0	0.0025	0.0077	5100.0

<sup>9)</sup> წყალსაცავი ნატანითაა სავსე

ცხრილი 1.4 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8
4	—, —	ლაჯანურის	24.6	17.6	0.0116	0.0163	1510.0
6	რიონის	ვარციხის	14.6	2.4	0.00028	0.0017	8600.0
8	—, —	კუხის	1.9	1.85	0.64	0.657	2.89
15	მტკვრის	ჟინვალის	520.0	370.0	0.269	0.378	1373.7
24	—, —	სიონის	325.0	290.0	0.877	0.95	342.0
19	—, —	ხრამის	312.0	292.0	0.948	1.01	308.0
25	—, —	თბილისის	308.0	160.0	—	—	—
33	—, —	დალის მთის	140.0	133.0	—	—	—
34	—, —	ლაკბეს	140.0	133.0	—	—	—
17	—, —	ალგეთის	65.0	60.0	0.461	0.50	130.0
10	—, —	ჯანდარის	52.0	23.0	—	—	—
14	—, —	ზონკარის (პ. ლიახვის)	40.3	39.0	0.129	0.132	302.0
9	—, —	ზაჰესის	12.0	3.0	0.00053	0.0021	5610.0
22	—, —	დმანისის	11.0	11.0	—	—	—
23	—, —	კუმისის	11.0	4.0	—	—	—
13	—, —	ნადარბაზევის	7.2	6.2	—	—	—
16	—, —	ნარეკვავის	6.8	5.6	—	—	—
21	—, —	პანტიანის	5.3	5.2	—	—	—
31	—, —	კუმისხევის	5.0	4.0	—	—	—
27	—, —	ლაპიანის ყურე (კუდიგორის)	3.6	3.0	—	—	—
32	—, —	თავწყაროს	3.36	3.0	—	—	—
20	—, —	მთისძირის	3.0	2.95	—	—	—

11	—, —	ზრესის	2.08	1.28	–	–	–
30	—, —	კრანჭისხევის	1.92	1.26	–	–	–
28	—, —	ოქტომბრის	1.75	1.5	–	–	–

ცხრილი 1.4 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8
26	—, —	ჭალის	1.7	1.4	–	–	–
29	მტკვრის	თელათწყლის	1.3	1.1	0.25	0.333	4.8
12	—, —	ცხენისის ჭის	1.53	1.45	–	–	–
18	—, —	მარაბდის	1.2	1.2	–	–	–
35	—, —	ჭერემის	1.2	0.92	–	–	–
სულ 35 წყალსაცავი			3.34 კმ <sup>3</sup>				

**მყინვარები.** მიუხედავად იმისა, რომ საქართველოს წყლის „მარაგის“ 31% მყინვარებია და მათი გამდნარი წყალი „რესურსების“ 1.5%-ს შეადგენს (მდინარეების ჩამონადენის სახით), ისინი განსაკუთრებულ ზემოქმედებას ახდენენ მდინარეთა ჩამონადენის წლიურ განაწილებაზე (ცხრ. 1.5). თბილ პერიოდში (ივლისი-აგვისტო), როდესაც მოთხოვნილება სარწყავ წყალზე მაქსიმალურია, მყინვარული ჩამონადენის წილი მდინარეთა საერთო ჩამონადენში 13.3%-ს შეადგენს.

ცხრილი 1.5

## საქართველოს მყინვარები და მყინვარული ჩამონადენის წყლის მარაგი

№	მდინარის აუზი	მყინვარებში წყლის მარაგი, კმ <sup>3</sup>	მყინვარული ჩამონადენი, მლნ. მ <sup>3</sup>	№	მდინარის აუზი	მყინვარებში წყლის მარაგი, კმ <sup>3</sup>	მყინვარული ჩამონადენი, მლნ. მ <sup>3</sup>
1	ზზიფი	0.11	32.0	6	ცხენისწყალი	0.29	15.1
2	კელასური	0.02	4.0	7	რიონი	1.35	78.5
3	კოდორი	1.35	171.0	8	დიდი ლიახვი და არაგვი	0.12	18.0
4	ენგური	15.60	550.0	9	თერგი	4.96	122.0
5	ხოზი	0.02	6.0		სულ:	23.8	998.0

**ჭაობები.** საქართველოს ჭაობები გენეზისით „ბარის“ ჭაობებია და ძირითადად განლაგებულია დასავლეთ საქართველოში (ცხრ. 1.6). ჭაობის წყლები მთლიანად ჩაედინება შავ ზღვაში, მათი წყლების გამოყენება მხოლოდ მიწის მელიორაციის ჩატარების შემდეგ გახდება შესაძლებელი.

ცხრილი 1.6

## კოლხეთის ჭაობების ძირითადი მაჩვენებლები

№	ჭაობის დასახელება	ადგილმდებარეობის ადმინისტრაციული რაიონი	ჭაობში წყლის მოცულობა, მლნ. მ <sup>3</sup>	საშუალო სიღრმე, მ	ფართობი, კმ <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
1.	ფიჩორა-პალიასტომის	ლანჩხუთი, ფოთი, ხობი	1328.0	8.0	191.0
2.	ჭალადიდი-ფოთის	ხობი	194.0	2.0	144.0
3.	I და II ესპანური ჭაობი	ქობულეთი	100.0	6.0	19.0
4.	ერისწყლის – II	გალი	93.6	1.0	117.0
5.	ტიხორი-ჭურინის	ზუგდიდი, ხობი	64.8	0.8	90.0
6.	ნაკერელის	გალი	25.2	1.5	21.0
7.	ფიჩორა-ქვიშონის	გალი	21.1	2.0-2.5	13.2
8.	ნატანები-სუფსის	ოზურგეთი	20.2	1.5	15.0
9.	ტორსის	ზუგდიდი	8.1	0.15	9.0
10.	ლაითურის	ქობულეთი	1.6	2.0	1.0
11.	ერისწყლის – I	გალი	1.2	1.0	1.5
12.	ჭვირტისღელე	ლანჩხუთი	1.12	1.1	1.1
13.	ქვეშენათი	ლანჩხუთი	0.8	1.0	1.0
14.	მორჩხელის	ლანჩხუთი	0.8	1.0	1.0
15.	ჯინისტბა	ლანჩხუთი	0.79	0.9	1.1
16.	ბროს-ჭაჩაუდის	გალი	0.72	1.0	0.9
სულ:			1861.7		626.8

**მიწისქვეშა წყლები.** მიწისქვეშა წყლები წარმოიშობა ზედაპირული წყლების ჩაჟონვით და წყალმცირობის პერიოდში მდინარეთა კვების ერთ-ერთ ძირითად წყაროს წარმოადგენს.

მიწისქვეშა წყლების „მარაგი“ შეადგენს 10.6 კმ<sup>3</sup>-ს, რომლიდანაც ამჟამად გამოყენებულია მხოლოდ 15-20%. მიწისქვეშა წყლების მარაგის 60.5% (6.4 კმ<sup>3</sup>) დასავლეთ, ხოლო 39.5% (4.2 კმ<sup>3</sup>) – აღმოსავლეთ საქართველოშია.

ამრიგად, საქართველოს წყლის მარაგის ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს მდინარეების ჩამონადენი (ცხრ. 1.7)

ცხრილი 1.7

#### საქართველოს წყლის „მარაგის“ კომპონენტები

წყლის მარაგის მაჩვენებელი	მდინარეები	ტბები	წყალსაცავები	მეინვარები	ჭაობები
საერთო რაოდენობა, ცალი	26060	850	45	734	16
საერთო ფართობი, კმ <sup>2</sup>	179	169	170.93	511	627
წყლის მოცულობა, კმ <sup>3</sup>	65.83	0.72	3.43	30	1.89

საქართველო წყლით უზრუნველყოფილი ქვეყანაა: 1 კმ<sup>2</sup> ფართობზე წელიწადში

მოდის 944.48 ათასი მ<sup>3</sup> ჩამონადენი (ცხრ. 1.8), მაგრამ მიუხედავად ამისა, წყალმომარაგება უმნიშვნელოვანეს პრობლემას წარმოადგენს. საქართველოს წყლის რესურსები არათანაბარი განაწილებით ხასიათდება. აღმოსავლეთ საქართველოში ზედაპირული ჩამონადენის სიდიდე 4-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე დასავლეთში, მაშინ, როცა აღმოსავლეთ საქართველოში განლაგებული წყალმოთხოვნილების ობიექტები მოიხმარს 1.75-ჯერ მეტ წყალს, ვიდრე დასავლეთ საქართველოსი [32; 44]. წყლის ყველაზე მსხვილი მომხმარებელია ირიგაცია, რომელზეც მოდის მისი 60%.

ამრიგად, მიუხედავად წყალურუნველყოფისა, მელიორაციაში წყლის „მარაგის“ გამოყენება გამწვანებულია ბუნებრივი პირობების არაერთგვაროვნების, წყალმომარაგებისა და წყლის მოხმარების შეუთავსებლობის გამო.

ამიტომ დასავლეთ საქართველოში მელიორაციის ძირითად მიმართულებას ამოწრობა წარმოადგენს, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში – მორწყვა.

ცხრილი 1.8

ადგილობრივი ჩამონადენის მონაცემები ევროპისა და აზიის ქვეყნებში

№	ქვეყანა	სრული ჩამონადენი, კმ <sup>3</sup>	ხვედრითი ჩამონადენი, ათ.მ <sup>3</sup> /კმ <sup>2</sup>	ჩამონადენი 1 სულ მოსახლეზე, ათ. მ <sup>3</sup>	№	ქვეყანა	სრული ჩამონადენი, კმ <sup>3</sup>	ხვედრითი ჩამონადენი, ათ.მ <sup>3</sup> /კმ <sup>2</sup>	ჩამონადენი 1 სულ მოსახლეზე, ათ. მ <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	ნორვეგია	1188.0	390.9	103.7	18.	ლატვია	268.4	17.1	6.7
2.	შვეიცარია	1046.3	42.9	7.29	19.	ყირგიზეთი	266.0	52.8	14.5
3.	საქართველო	944.48	65.83	12.0	20.	ესტონეთი	259.4	11.7	7.9
4.	ავსტრია	805.0	67.6	9.42	21.	ჰოლანდია	248.8	10.2	0.83
5.	ალბანეთი	696.6	20.2	11.47	22.	ლიტვა	234.6	15.3	4.4
6.	დ.ბრიტანეთი	649.7	204.0	63.60	23.	რუსეთი	234.4	40.0	29.10
7.	ისლანდია	619.4	63.8	337.50	24.	სომხეთი	218.1	6.5	2.10
8.	იტალია	542.0	143.1	3.10	25.	ჩეხეთი	214.1	27.4	1.94
9.	საფრანგეთი	540.0	297.5	6.13	26.	ესპანეთი	184.9	93.0	2.96
10.	საბერძნეთი	506.0	67.3	7.93	27.	პოლონეთი	181.1	56.5	1.80
11.	შვედეთი	444.4	200.0	26.00	28.	ბელორუსი	175.3	36.4	3.80
12.	პორტუგალია	384.8	35.4	3.88	29.	აზერბაიჯანი	100.5	8.7	1.40
13.	ტაჯიკეთი	357.8	51.2	12.80	30.	უკრაინა	82.6	49.5	1.00



14.	დანია	348.8	15.0	3.16	31.	უზბეკეთი	24.7	11.1	0.70
15.	გერმანია	345.1	85.6	1.52	32.	ყაზახეთი	23.9	64.8	4.30
16.	ფინეთი	319.0	107.5	23.30	33.	მოდოვა	23.7	0.8	0.20
17.	ბელგია	287.8	9.5	0.97	34.	თურქმენეთი	2.0	1.0	0.40

## 1.2. მორწყვითი მელიორაციის განვითარების თავისებურებანი

საქართველოს გააჩნია რეალური შესაძლებლობა წყალთა მეურნეობის ყველა დარგის, მელიორაციის (სარწყავი და დამშრობი), ენერგეტიკის, წყალ-მომარაგების განვითარებისათვის. საქართველოს მთიანი რეგიონების პირობები ართულებს წყლის განაწილებას ტერიტორიებზე და მის გამოყენებას, მდინარეების წყლის რეჟიმის, წყალმოხმარებისა და წყალმოთხოვნილების შეუსაბამობის, მოსახლეობის სიმჭიდროვის განაწილების უთანაბრობის, საწარმოო ობიექტების და ცალკეული რაიონების არათანაბარი ეკონომიკური განვითარების გამო.

ქვეყნის ეროვნული ეკონომიკის განვითარება მოითხოვს მიწისა და წყლის რესურსების მიზანსახულ გამოყენებას. ეს საჭიროება მძაფრად იკვეთება მშრალ და ნახევრად მშრალ რეგიონებში, სადაც მძიმე ბუნებრივი პირობების გამო წყალი მოსავლის მიღების აუცილებელი პირობაა. ადამიანი ხშირად ცდება, როდესაც მას მიაჩნია, რომ თუ ცოტა რამ კარგია, მაშინ უფრო მეტი – უკეთესი იქნება. ირიგაციაში უმჯობესია ზომიერება, რაც გულისხმობს წყლის ოპტიმალური რაოდენობის გამოყენებას.

ირიგაციის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით შეიძლება გაიზარდოს მოსავლიანობა და შემცირდეს წყლის აორთქლებისა გაჟონვის ხარჯები. ირიგაცია – ადამიანის საქმიანობაა, რაზეც დამოკიდებულია ქვეყნის განვითარება და წარმატება.

ირიგაციის განვითარების ისტორია იწყება 7 ათასი წლის წინ, შუა აღმოსავლეთის მდინარეების დაბლობებში.

რუსეთში წყლის მაგისტრალები პეტრე I-ის დროს იყო შექმნილი (XVII-XVIII სს.), ეს იყო მდ. ოკასა და მდ. დონის შეერთება ივანოვსკის არხის მეშვეობით.

საქართველოში ირიგაციის განვითარების დასაწყისი შეინიშნება III ათასწლეულში ჩვ.წ-მდე. საქართველოს ჰიდროგრაფიული ქსელის სიხშირემ და მთაგორიანმა რელიეფმა უძველესი დროიდან განაპირობა მცირეხარჯიანი არხების შექმნა, რაც აადვილებდა მათ გაყვანასა და აღდგენას [32,34,37,51,53,67,101,102,110,153,172,186,194].

ალექსანდრე მაკედონელის ლაშქრობის შემდეგ (IV ს.ჩვ.წ.აღ.) სარწყავი ქსელები განსაკუთრებული ინტენსივობით განვითარდა [53]. სტრაბონი მიუთითებს, რომ აქ მიწები უფრო მეტად ირწყვებოდა, ვიდრე ეგვიპტესა და ბაბილონში (I ს.ჩვ.წ.აღ.). საქართველოში სარწყავი მელიორაცია განსაკუთრებით განვითარდა თამარ მეფის მეფობის პერიოდში (XII ს.), რაც ნათლად ჩანს შოთა რუსთაველის პოემიდან „ვეფხისტყაოსანი“ [172].

მიუხედავად იმისა, რომ პოემის სიუჟეტი გაშლილია ისეთ დიდ სივრცეებზე, რომლებიც მოიცავს ცნობილ ქვეყნებს: ინდოეთს, არაბეთს, სპარსეთსა (ხვარაზმი) და ჩრდილოეთ ჩინეთს (ხატაეთი) და ავტორის ფანტაზიით შექმნილ გეოგრაფიულ დასახლებებს: მულღანზანზარს (ფრიდონის სამეფო), გულანშაროს ანუ ვაჭართა სამეფოს და ა.შ., მაგრამ აქ მაინც იგულისხმება საქართველო. ამ ნაწარმოებში ავტორი არაერთხელ მიუთითებს აყვავებულ ბაღებსა და ბაღებზე, რომლებიც ირწყვება (სტროფი 337):

„ბაღა ვნახე უტურფესი ყოვლისავე სალხინოსა;  
მფრინველთაგან ხმა ისმოდა უამესი სირინოსა;  
მრავლად იყო სარაჯები ვარდის წყლისა იბანოსა.  
კარსა ზედა მოჰფარვიდა ფარდაგები ოქსინოსა“.

ამ შემთხვევაში „სარაჯი“ – ღარია ან მილი, რომლითაც შემოჰყავდათ წყალი აუზში და არა „აუზი“, როგორც განმარტავს ზოგი მკვლევარი.

705-ე სტროფში ავტორი პირდაპირ მიუთითებს მორწყვის აუცილებლობაზე:

„რა სჯობს, რა კაცმან გიშერი ბროლ-ლოდსა თანა ახიოს,  
ანუ ბაღს ალვა საროსა ახლო რგოს, მორწყოს, ახიოს,  
მისსა სჭვრეტელსა ალხინოს, ვერ-მჭვრეტსა ავაგლახიოს!  
ვაი მოყვრისა გაყრილსა, ახი ოს ეყოს, ახი ოს!“

წყლის ფასი მაშინაც იცოდნენ და უფრო ხილდებოდნენ მას (სტროფი

911):

„სწყუროდეს, წყალსა ვინ დაღვრის კაცი უშმაგო, ცნობილი?  
 მე თვალთა ჩემთა მით მიკვირს, რად ვარ ცრემლითა ლტობილი!  
 უწყლობა ჰკლავს და წყალი სდის, აროდეს არ გახმობილი!  
 ვა, წახდა ვარდი პობილი, ვა, მარგალიტი წყობილი!“

თამარ მეფის დროს შექმნილი არხები დღემდე არსებობს, მათ შორისაა „თამარ მეფის“ არხი გურჯაანის რაიონში. მონღოლთა ურდოების (XIII ს.) და შაჰ-აბასის (XVII ს.) თავდასხმების დროს საქართველოში სრულად განადგურდა ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი. ვახტანგ VI-მ (XVIII ს.) ნაწილობრივ აღადგინა დანგრეული არხები – რუსთავის, ურბნისის და ხან-არხი. საქართველოში ცენტრალიზებული ხელისუფლების დასუსტებასთან ერთად სუსტდებოდა და ეცემოდა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების განვითარებაც.

რუსეთთან შეერთების შემდეგ მშენებლობა უფრო დაეცა და დაკნინდა. XIX საუკუნის მეორე ნახევრიდან უკვე შეინიშნება ჰიდრონაგებობების მშენებლობის განვითარების პერსპექტივა. ბოლო საინჟინრო მიღწევების საფუძველზე ინგლისელი ინჟინრების ბელის და გაბის პროექტით 1864-1867 წლებში აშენდა მარიინის (ახლანდელი გარდაბნის) სარწყავი ქსელი.

1920 წლიდან საქართველოში სარწყავი მელიორაციის განვითარება შეიძლება დაიყოს შემდეგ ეტაპებად:

- 1920-1940 - მორწყვა წყლის შეზღუდვის გარეშე;
- 1941-1945 - სარწყავი მელიორაციის განვითარების შეფერხება II მსოფლიო ომის გამო;
- 1946-1990 - სარწყავი მელიორაციის გაფართოება ახალი სარწყავი სისტემების მშენებლობით და ჩამონადენის რეგულირებით, წყალსაცავების შექმნით (ცხრ. 1.9, ნახ. 1.3, 1.4);
- 1990-2000 - ახალი მშენებლობის არარსებობის და არსებული სამე-ლიორაციო ობიექტების სარეკონსტრუქციო სამუშაოების ჩაუტარებლობის გამო სარწყავი მელიორაციის წყალუზრუნველყოფის შემცირება;
- 2000 წლიდან მსოფლიო ბანკის დახმარებით იწყება სამელიორაციო ობიექტების რეკონსტრუქცია.

## საქართველოს მოქმედი წყალსაცავების ძირითადი მახასიათებლები

1	ნუმერაცია ნახ. 1.3-ის მიხედვით	წყალსაცავები	წყალსაცავების კვების წყარო (მდინარე, არხი, მილსადენი)	წყალსაცავებიდან გამყვანი არხების ხარჯი, $Q$ მ <sup>3</sup> /წმ	ექსპლუატაციაში შესვლის წელი	წყალსაცავების მოცულობა		წყალსაცავების გამოყენების და რეგულირების სახეობები
						სრული მლნ.მ <sup>3</sup>	სასარგებლო მლნ.მ <sup>3</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
( $V_{\text{სრული}}=100 \div 1000$ მლნ.მ <sup>3</sup> )								
1.	1	ენგური	მდ. ენგური	-	1978	1092.0	662.0	ე, სეზონური
2.	15	ჟინვალი	მდ. არაგვი	ქ.თბილისის წყალმომარაგება 11.0	1985	510.0	370.0	ე, ი, ს, კომპლექსში თბილისის და სიონის წყალსაცავებთან
3.	24	სიონი	მდ. იორი	ზემო და ქვემო სამგორის მაგ. არხი 9.0	1963	325.0	300.0	ე, ი, თ, რ, სეზონური კომპლექსში თბილისის წყალსაცავთან
4.	19	წალკის	მდ. ხრამი	-	1949	312.0	292.0	ე, ი, სეზონური
5.	25	თბილისი	მდ. იორი	ქვემო სამგორის	1956	308.0	155.0	ი, ს, თ, რ, სეზონური კომპლექსში
6.	2	გალი	მდ. ენგური მდ. ერისწყალი	-	1972	145.0	26.0	ე, სეზონური
7.	33	დალის მთა	მდ. იორი	ჭაჭუნა	1992	140.0	120.0	ი, სეზონური
( $V_{\text{სრული}}=10 \div 100$ მლნ.მ <sup>3</sup> )								
8.	3	შაორი	მდ. დიდი ჭალა	-	1955	90.0	87.0	ე, სეზონური
9.	7	ტყიბული	მდ. ტყიბულა	-	1956	84.0	62.0	ე, სეზონური

10 .	17	აღგეთი	მდ. აღგეთი	ტბისი კუმისი, 10.0	198 3	65.0	60.0	ი, სეზონური
11 .	10	ჯანდარი	გარდაბნის არხი	5.0	195 7	52.0	23.0	ი, სეზონური
12 .	14	პატარა ლიახვი (ზონკარი)	მდ. ლიახვი	ტირიფ. 18 ვანათი 4	198 0	40.0	39.0	ი, სეზონური
13 .	5	გუმათი	მდ. რიონი	-	195 8	39.0	13.0	ე, დღელამური

ცხრილი 1.9 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14 .	4	ლაჯანური	მდ. ცხენის- წყალი, მდ. ლაჯანურა	-	196 0	24.0	17.6	ე, თ, კვირეული
15 .	6	ვარციხე	მდ. რიონი, მდ. ყვირილა, მდ. ხანის- წყალი	-	197 6	14.6	2.4	ე, ი, დღელამური
16 .	23	კუმისი	მდ. აღგეთი	0.5	196 4	11.0	4.0	ი, სეზონური
17 .	22	დმანისი	მდ. დმანისი, მდ. მაშავერა	3.0	198 1	11.0	11.0	ი, სეზონური
18 .	13	ნადარბაზევი	სატუმბი სადგურით შევსება	ტირიფ. ს.ს., 2.8	196 6	8.20	7.20	ი, სეზონური
( $V_{სრული}=1\div 10$ მლნ.მ <sup>3</sup> )								
19 .	16	ნარეკვაი	მდ. ნარეკვაი	ნარეკვაი ს სარ.სისტ .	197 8	6.80	5.60	ი, სეზონური
20 .	21	პანტიანი	არხი მდ. მაშავერადან	0.5	197 8	5.36	5.26	ი, სეზონური
21 .	31	კუმისხევი	მდ. კუმისხევი, მდ. იორი	1.0	197 6	4.00	2.27	ი, სეზონური კრანჭისხევის წყალთან ერთად

22	27	ლაპიანის ყურე (კუდი-გორის)	მდ. დურუჯი	0.67	1971	3.50	3.50	ი, სეზონური
23	32	თავეყარო	მილსადენით მდ. იორიდან	მექ. მორწ. 1.0	1986	3.36	3.00	ი, სეზონური თელეთის წყალთან ერთად
24	20	მთისძირი	მამუთლი-დერე	0.4	1981	3.30	3.10	ი, სეზონური
25	11	ზრესის	მდ. კარბე-ლახი, გაჩიანის მაგ. არხი	მექ. აწევით მორწყვა	1976	2.08	1.28	ი, სეზონური
26	8	კუხი	მდ. კუხის-წყალი	ხონი-სამტრედი	1978	1.90	1.85	ი, დღეღამური
27	28	ოქტომბერი	მდ. ფშავის ხევი	4.0	1976	1.75	1.50	ი, სეზონური
28	26	ჭალის	მდ. ჩაგურ-გულა	ჭალის არხი, 0.78	1967	1.70	1.40	ი, სეზონური
29	29	თელათწყლის	შევსება სა-ტუმბი სადგურებით მდ. იორი, მდ. მტკვარი	მექ. მორწ. 0.6	1980	1.60	1.20	ი, სეზონური თავეყაროს წყალთან ერთად
30	12	ცხენისის ჭა	არხი ზაზა-ლოს ხევიდან	0.67	1969	1.50	1.46	ი, სეზონური

ცხრილი 1.9 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
31	35	ჭერემა	მდ. ჭერემის ხევი	0.3	1982	1.30	1.30	ი, სეზონური
32	30	კრანჭისხევი	მდ. კრანჭისხევი	მექ. მორწ. 0.5	1982	1.26	0.92	ი, სეზონური კუშისხევის წყალთან ერთად
33	18	მარაბდა	მდ. მარაბდა	0.5	1964	1.20	1.20	ი, სეზონური

\*<sup>1</sup>) აღნიშვნები: ე - ენერგეტიკა; ი - ირიგაცია; თ - თევზმეურნეობა; ს - სასმელი

### წყალმომარაგება

წყლის დეფიციტის ძირითად მიზეზებს, ქვეყანაში შექმნილი რთული ეკონომიკური და სოციალური პირობების გარდა, წარმოადგენს წყალთა მეურნეობის არასწორი დაბალანსება, რის გამოც მცირდება წყლით უზრუნველყოფა (10-15-ჯერ დაბალია საშუალო ნორმაზე). ბუნებრივი დინებით შესაძლებელია დაკმაყოფილდეს სარწყავი მიწების მხოლოდ მცირე ნაწილი, როგორც იმის გამო, რომ მდინარეების წყლის რეჟიმი და წყალმოხმარების მოთხოვნები არ ემთხვევა ერთმანეთს, ასევე ჩამონადენის სახელმწიფოთაშორისი განაწილების პირობების გამო.

პირველი განპირობებულია იმით, რომ აღმოსავლეთ საქართველოს ყველა მდინარე ეკუთვნის მდნარ წვიმიანი კვებით მდინარეს. საგაზაფხულო და საზაფხულო წყალუხვობის დროს ჩამოედინება მთელი წლიური ჩამონადენის 40-75%, ხოლო ირიგაციული წყალმოხმარების მაქსიმუმი ემთხვევა საზაფხულო წყალმცირობის პერიოდს. არარეგულირებადი წყაროებიდან წყლის აღების დროს წყლის რესურსების თითქმის მთელი მარაგი გადაიშვება წყალმოვარდნის დინებაში, ანუ იგი იკარგება მომხმარებლისათვის და სარწყავი სეზონის დაწყებისას მდინარეებში უკვე აღარ რჩება წყალი, ხოლო წყლის ჰორიზონტი ისე მცირდება, რომ იკარგება წყალაღების შესაძლებლობა. წყალაღების დროს „საკომანდო“ ნიშნულის დაცემის გამო მცირდება თვითდინებით სარწყავი ფართობიც.





მეორე კი განპირობებული იმით, რომ ჩამონადენის ნაწილი გადაეცემა მეზობელ აზერბაიჯანს, რომლის ირიგაციული სისტემები იკვებება მდ. მტკვრი-თა და მისი შენაკადებით.

აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეების ჩამონადენი წყალმცირობის წლებში თითქმის მთლიანად ნაწილდება. მდ. ალაზნიდან იხარჯება წლიური ჩამონადენის 85.6%; მდ. იორის ჩამონადენი თითქმის მთლიანად იხარჯება და ამასთან, წყლის დეფიციტი შეადგენს წლიური ჩამონადენის 30%-ს.

აღმოსავლეთ საქართველოში მორწყვა იყო და არის წყლის ყველაზე მსხვილი მომხმარებელი, რაზეც იხარჯება წყლის რესურსების 50%-მდე.

1986 წელს 396.3 ათ. ჰა-ს მორწყვისათვის იხარჯებოდა 2250 მლნ. მ<sup>3</sup> წყალი (ნახ. 1.4, 1.5); შემდეგ შეინიშნებოდა მორწყვისათვის წყალმომარაგების შემცირება. 1991 წელს საქართველოში მოქმედებდა 501 სარწყავი არხი, რომელთა მეშვეობით ირწყვებოდა 447.74 ათ. ჰა. (დანართი, ცხრ. 1, 2) [186]. 2003 წლისათვის 216 ათას ჰა-ზე იხარჯება 1200 მლნ. მ<sup>3</sup> წყალი (ცხრ. 1.10, ნახ. 1.5) [56, 173, 186].

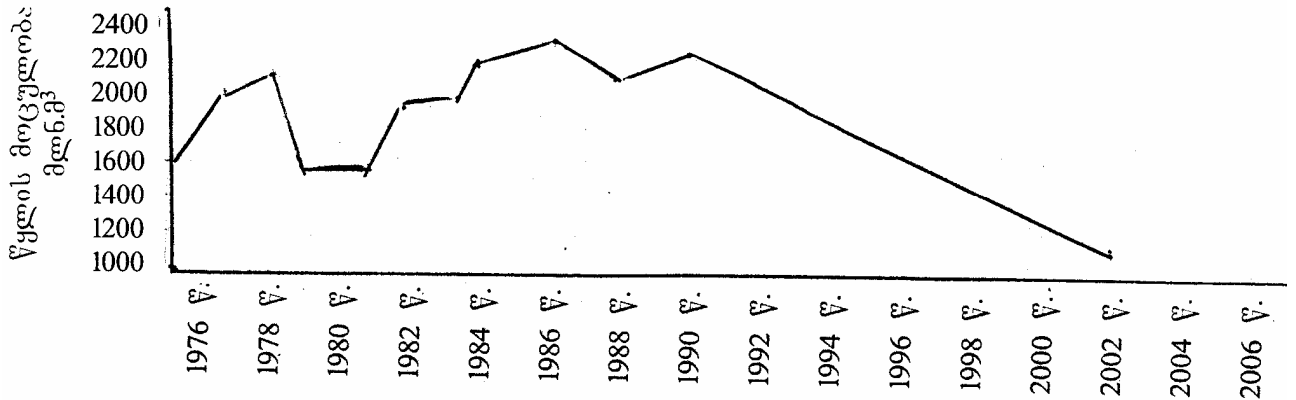
ცხრილი 1.10

საქართველოს მელიორირებული ფონდების მახასიათებლები

1	მახასიათებლები	განზ. ერთეული	აღმოსავლეთ საქართველო	დასავლეთ საქართველო
1.	ფართობი, რომელიც ითხოვს მორწყვას	ათასი ჰა	1346	331
2.	ფართობი, რომელიც ირწყვებოდა 1991 წ.	ათასი ჰა	448.74	57.92
3.	სარწყავი სისტემების რაოდენობა 1991 წ.	ცალი	330	171
4.	ფართობი, რომელიც ირწყვებოდა 2005 წ.	ათასი ჰა	280.92	33.71
5.	სარწყავი სისტემების რაოდენობა 2005 წ.	ცალი	23	10.0
6.	საირიგაციო არხების სიგრძე 1991 წ.	ათ. კმ	23.06	1.72
7.	საირიგაციო არხების სიგრძე 2005 წ.	ათ. კმ	0.96	0.12

ქვეყანაში განვითარებულმა პოლიტიკურმა მოვლენებმა შეაფერხა მელიო-

რაციის განვითარება. 2004 წლისათვის საქართველოს სამელიორაციო სისტემების მართვის დეპარტამენტის აღრიცხვაზეა 29 სარწყავი არხი, რომლებიც ექვემდებარება 29 სამართალმემკვიდრე ორგანიზაციას და რომელთა მეშვეობითაც ირწყვება 360.82 ათ. ჰა (ცხრ. 1.11, 1.12, ნახ. 1.6). არსებული არხები გამოირჩევა მცირე ხარჯებით, მათ შორის უმნიშვნელოვანესი – ქვემო და ზემო ალაზნის არხების მაქსიმალური ხარჯი არ აღემატება 24.0 მ<sup>3</sup>/წმ.



ნახ. 1.5. საქართველოს სარწყავი მიწების წყალუზრუნველყოფის გრაფიკი

არხების კლასიფიკაცია გამტარუნარიანობის მიხედვით

მცირე	საშუალო	დიდი	მსხვილი	განსაკუთრებით მსხვილი
$Q < 50 \text{ მ}^3/\text{წმ}$	$Q = 50 \div 200 \text{ მ}^3/\text{წმ}$	$Q = 200 \div 400 \text{ მ}^3/\text{წმ}$	$Q = 400 \div 1000 \text{ მ}^3/\text{წმ}$	$Q > 1000 \text{ მ}^3/\text{წმ}$

სარწყავი სისტემების დღევანდელმა მდგომარეობამ და მორწყვაზე წყალ-მოთხოვნილების გაზრდამ საჭირო გახადა არსებული სამელიორაციო სისტემების რეკონსტრუქცია. საქართველოს სამელიორაციო სისტემების რეაბილიტაციას მხარს უჭერს მსოფლიო ბანკის სოფლის მეურნეობის საკოორდინაციო ცენტრი, რომლის დახმარებითაც განხორციელდა ირიგაციისა და დაშრობის რიგი პროექტები (ცხრ. 1.13).

ამჟამად სრულდება ორი სარწყავი სისტემის (ტაშისკარის და ალაზნის) რეაბილიტაცია, რაც ფინანსირდება მსოფლიო ბანკის დახმარებით [50,56].

„საქწყალპროექტის“ საპროექტო ჯგუფის და ავტორის მიერ ტარდება მათი ინვენტარიზაცია და დაპროექტება.

ინვენტარიზაციის სამუშაოები, რწყვის მიმდინარეობის გამო, ტარდება ორ

ეტაპად: I ეტაპი მოიცავს დახურული სარწყავი ქსელით სარწყავი ფართობების შესწავლას რწყვის სეზონზე; II ეტაპი მოიცავს მაგისტრალური არხის და მასზე მიერთებული ღია სარწყავი ქსელის ინვენტარიზაციას რწყვის სეზონის დამთავრების შემდეგ. ქსელის ინვენტარიზაციის მეთოდოლოგია ითვალისწინებს: სათავიდან წყალსაგდებ ნაგებობამდე ტრასის ფეხით გავლას; გამანაწილებელზე არსებული ყველა ნაგებობის ვიზუალურ დათვალიერებას; ნაგებობებისა და საერთო მდგომარეობის აღნუსხვას სპეციალურ ჟურნალში; არსებული გამანაწილებელი ქსელის შესაბამისობის დადგენას ფერმერთა კერძო ნაკვეთების არაკორექტულად განაწილების პირობებში; თითოეული გამანაწილებლის საკომანდო ფართობის დადგენას; მიწის კალაპოტში ნაკადისმიერი ეროზიის ან მყარი ნატანის დანალექებისგან შემცირებული განივკვეთის მქონე უბნების დადგენას, საპროექტო კვეთის აღსადგენად საჭირო ღონისძიებების დასახვით.

საველე პირობებში ხდება წინასწარ შედგენილი და საინჟინრო ჯგუფთან შეთანხმებული ინვენტარიზაციის ჟურნალების შევსება (ცალ-ცალკე) მაგისტრალური არხის, დახურული და ღია ქსელის, ნაგებობებისათვის. ჟურნალები მუშავდება კამერალურად, დარდება საარქივო მასალებს და საბოლოო სახით ინვენტარიზაციის შედეგები მოცემულია ცხრილების და გრაფიკების სახით. ინვენტარიზაციის მასალებს თან ერთვის მაგისტრალური არხის განივები არსებულ მდგომარეობაში.

1. **ტაშისკარის** სარწყავი სისტემის რეაბილიტაციის პროექტი დამუშავებულია 2003 წელს სს „საქწყალპროექტის“ მიერ, მსოფლიო ბანკის ირიგაციისა და დრენაჟის ორგანიზაციების განვითარების პროექტის საკოორდინაციო ცენტრის ტექნიკური დავალების საფუძველზე. ჩატარდა ინვენტარიზაციის სამუშაოები, რომელიც მოიცავს მაგისტრალური არხების და მასზე მიერთებული ღია და დახურული ქსელების ინვენტარიზაციას, რის საფუძველზეც შედგა პროექტი, მშენებლობა დამთავრდება 2006 წელს (ნახ. 1.8).

ჩატარებული ინვენტარიზაციის საფუძველზე პროექტი მოიცავს:

- ტაშისკარის სათავე ნაგებობის რეკონსტრუქციას და ფარების გამოცვლას;
- მაგისტრალურ არხში დაზიანებული ფსკერის შევსებას მონოლითური

ბეტონით;

- დაზიანებული დიუკერის მილსადენის შეცვლას ახლით;
- ღია და დახურული სარწყავი ქსელის მოწყობას.

ამ პროექტის საფუძველზე შესაძლებელი გახდა  $\approx 7600$  ჰა-ს მორწყვა.

2. იდენტური სამუშაოები ჩატარდა ქვემო ალაზნის სარწყავ სისტემაზე, რის შემდეგაც მოირწყება  $\approx 8600$  ჰა.

ამჟამად მუშავდება დოკუმენტაცია თეზი-ოკამის, ქვემო სამგორის, სალთ-ვისის და სხვა სარწყავი სისტემების ტენდერზე წარსადგენად.

ცხრილი 1.11

საქართველოს მოქმედი ძირითადი სარწყავი არხები (2005 წ.)

1	სურათი ნახ. 1.6- ის მიხედვით	არხის დასახელება	სარწყავი ფართობი ჰა	მაგ. არხის სიგრძე	წყლის ხარჯი მ <sup>3</sup> /წმ	კვების წყარო	ექსპლუა- ტაციაში შესვლის წელი
1	2	3	4	5	6	7	8
აღმოსავლეთ საქართველოს არხები - $Q > 20$ მ <sup>3</sup> /წმ							
1.	1	ქვემო ალაზნის	32615. 0	91.03	24.0	მდ. ალაზანი	1928
2.	2	ზემო ალაზნის	29904. 0	89.2	24.0	მდ. ალაზანი, მდ. ილტო	1989
3.	4	ქვემო სამგორის მარცხენა	31180. 0	76.39	21.7	მდ. იორი	1967
4.	5	ქვემო სამგორის მარჯვენა	31180. 0	76.39	21.7	მდ. იორი	1967
$Q = 20 \div 10$ მ <sup>3</sup> /წმ							
5.	8	გარდაბნის	12635. 0	12.1	16.0	მდ. მტკვარი	1867
6.	6	ზემო სამგორის	30283. 0	82.77	13.0	მდ. იორი	1952
7.	14	ტირიფონის	28390. 0	50.0	12.5	მდ. დ. ლიახვი, მდ. პ. ლიახვი	1928

ცხრილი 1.11 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8
8.	18	ტაშისკარის	15031. 0	63.8	12.0	მდ. მტკვარი, სოფ. ახალდაბა	1958
9.	3	„ზილიჩას“	15031. 0	63.8	12.0	მდ. ალაზანი	1958
10.	7	ქვემო სამგორის	30283. 0	82.77	12.0	მდ. იორი, თბი- ლისის წყალსაცავი	1952
$Q = 10 \div 5 \text{ მ}^3/\text{წმ}$							
11.	10	ტბისი-კუმისის	12466. 0	11.1	9.0	ალგეთის წყალ- საცავი	1988
12.	9	ხრამ-არხის	10014. 0	65.6	9.0	მდ. ხრამი	
13.	16	ვანათის	4456.0	11.1	7.0	მდ. პ. ლიახვი, სოფ. ვანათი	1953
14.	15	სალთვისის	9762.0	19.0	6.5	მდ. დ. ლიახვი, ქ. ცხინვალი	1950
15.	11	მუხრანის	14718. 0	24.5	6.0	მდ. არაგვი	1958
16.	13	თეზი-ოკამის	4441.0	33.79	5.0	მდ. ქსანი, სოფ. ახმაჯთან	1956
$Q < 5 \text{ მ}^3/\text{წმ}$							
17.	17	კეხვის	4079.0	25.1	3.5	მდ. დ. ლიახვი, სოფ. კეხვი	1967
18.	19	სკრა-ქარელის	3210.0	28.8	2.8	მდ. მტკვარი	
19.	12	საგურამოს	2665.0	37.75	2.0	მდ. არაგვი, მდ. თეძამი	1966
აღმოსავლეთ საქართველოს არხები - $Q > 20 \text{ მ}^3/\text{წმ}$							
20.	25	მაშველის	13829. 0	43.82	20.0	მდ. რიონი	1924
$Q = 20 \div 10 \text{ მ}^3/\text{წმ}$							
21.	23	ხონი-სამტრე- დიის (კუხის)	14134.	13.0	13.0	მდ. ცხენისწყალი	

.			0				
$Q < 5 \text{ მ}^3/\text{წმ}$							
22	27	აჯამეთის	2799.0	30.16	3.0	მდ. ყვირილა	
.							
23	26	დიმი-როკითი	1000.0	3.37	1.5	მდ. ხანისწყალი	
.							
24	21	ეწერის	471.0	6.4	1.2	მდ. ძვერულა	
.							

ცხრილი 1.11 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8
25	28	ვარციხის	695.0	8.15	1.0	მდ. ხანისწყალი	
.							
26	24	ციხისულორის	323.0	4.51	0.51	მდ. სულორი	
.							
27	20	ხოდაბუნის	429.0	9.4	0.5	მდ. ყვირილა	
.							
28	22	სიქთარვის	79.0	2.0	0.3	მდ. ძვერულა	
.							
29	29	აფხანაურის	250.0	4.7	0.3	მდ. ხანისწყალი	
.							
სულ 29			360824.0 ჰა				

ცხრილი 1.12

საქართველოს მელიორაციის სამართალმემკვიდრე ორგანიზაციები (2005 წ.)

1	დეპარტამენტის ტერიტორიული ორგანოები (სამართალმემკვიდრე ორგანოები)	ადგილსამ-ყოფელი	დეპარტამენტის ტერიტორიული ორგანოების ძველი დასახელება
1	2	3	4
1.	აფხაზეთის არ სამელიორაციო სისტემების სამმართველო		აფხაზეთის არ სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
2.	აჭარის არ სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. ბათუმი	აჭარის არ სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
3.	აჯამეთის სამელიორაციო სისტემის სამმართველო	ქ. ზესტაფონი	ზესტაფონის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
4.	არაგვი-ქსნის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. მცხეთა	მცხეთის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო,

			დუშეთის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
5.	ენგური-ოჩხომურის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. ზუგდიდი	ენგური-ოჩხომურის მასივის დამშრობის სისტემების სამმართველო
6.	ზილიჩა-შირაქის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. დედოფლისწყარო	დედოფლისწყაროს სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
7.	ზემო ალაზნის სამელიორაციო სისტემის სამმართველო	ქ. თელავი	ზემო ალაზანი-ნაურდლის სარწყავი სისტემების სამმართველო, ყვარლის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო

ცხრილი 1.12 (გაგრძელება)

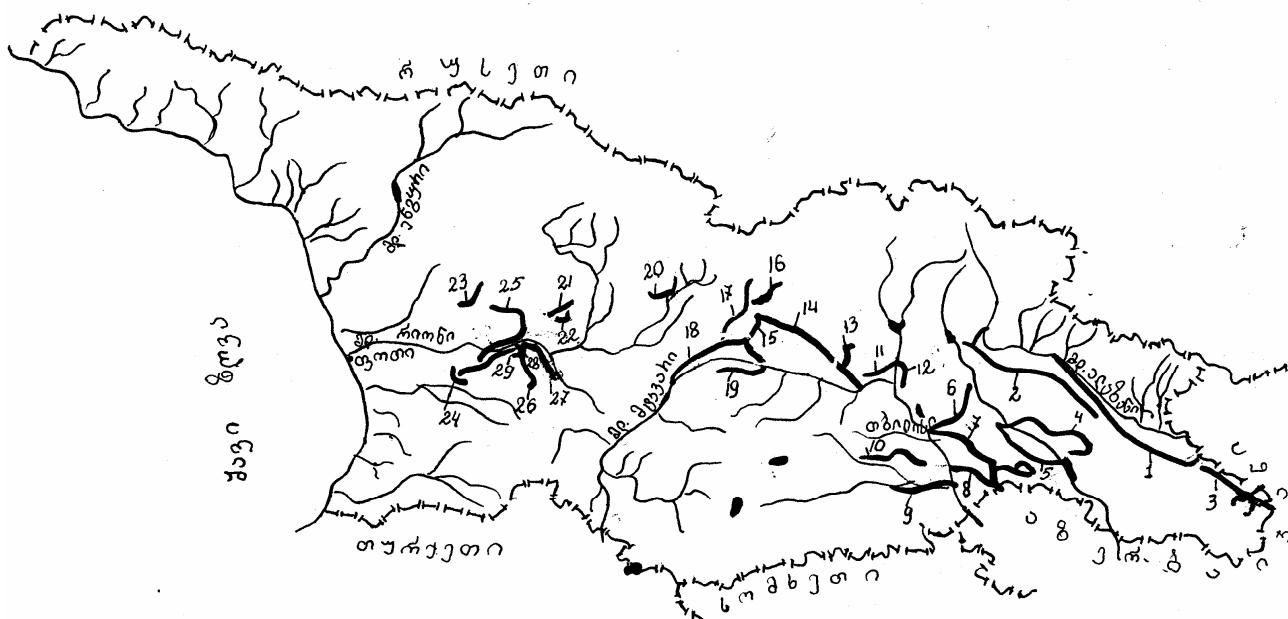
1	2	3	4
8.	ზემო სამგორის სამელიორაციო სისტემის სამმართველო	ქ. თბილისი	ზემო სამგორი-უდაბნოს სარწყავი სისტემის სამმართველო, თბილისის წყალსაცავის სამმართველო, სიონის წყალსაცავის სამმართველო
9.	იაღლუჯის საძოვრების გაწყლოვანების სამმართველო	ქ. თბილისი	საძოვრების გაწყლოვანების სისტემების სარაიონთაშორისო სამმართველო
10.	კეხვი-ვანათის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ს. ტირძნისი, გორის რაიონი	კეხვი-ვანათის სარწყავი სისტემების სამმართველო
11.	მაშველის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. ქუთაისი	წყალტუბო-ბაღდათის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
12.	მაშავერას სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. ბოლნისი	ბოლნისის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
13.	მესხეთის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. ახალციხე	მესხეთის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო, ადიგენის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
14.	მტკვარი-ქსნის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. კასპი	კასპის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
15.	მტკვარი-ჯანდარის სარწყავი სამელიორაციო სისტემის სამმართველო	ქ. გარდაბანი	გარდაბნის სარწყავი სისტემის სამმართველო
16.	მტკვარი-ალგეთის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. თბილისი	ფონიჭალა-თელეთის და ტბისი-კუმისის სარწყავი სისტემების სამმართველო
17.	რიონი-ჩოლოქის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. ლანჩხუთი	რიონი-ჩოლოქის მასივის დამშრობის სისტემების სამმართველო

18	რიონი-ჭურის სამელიორაციო · სისტემების სამმართველო	ქ. ხობი	რიონი-ჭურის მასივის დამშ- რობი სისტემების სამმართველო
19	რიონის სარეგულაციო · ნაგებობის სამმართველო	ქ. ფოთი	კოლხეთის ნაპირდამცავ ნაგებობათა სამმართველო
20	სკრა-ქარელის სამელიორაციო · სისტემების სამმართველო	ქ. ქარელი	ქარელის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
21	ტაშისკარის სამელიორაციო · სისტემის სამმართველო	ქ. ხაშური	ტაშისკარის სარწყავი სისტემის სამმართველო
22	ტირიფონი-სალთვისის · სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. გორი	ტირიფონი-სალთვისის სარწყავი სისტემების სამმართველო

ცხრილი 1.12 (გაგრძელება)

1	2	3	4
23	ქვემო ალაზნის სამელიორაციო · სისტემის სამმართველო	ქ. გურჯაანი	ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემის სამმართველო, სიღნაღის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
24	ქვემო სამგორის სამელიორა- · ციო სისტემის სამმართველო	ქ. საგარეჯო	ქვემო სამგორის სარწყავი სისტემის სამმართველო
25	ცხენისწყლის სამელიორაციო · სისტემის სამმართველო	ქ. სამტრედია	სამტრედიის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო, ხონის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
26	ცხენისწყალი-ცივის სამელიო- · რაციო სისტემების სამმართველო	ქ. აბაშა	ცხენისწყალი-ცივის მასივის დამშრობი სისტემების სამმართველო
27	წითელი გორა-კაბალის · სამელიორაციო სისტემების სამმართველო	ქ. ლაგოდეხი	ლაგოდეხის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
28	ხრამი-დებედას სამელიორაციო · სისტემების სამმართველო	ქ. მარნეული	მარნეულის სამელიორაციო სისტემების სამმართველო
29	ჰიდროგეოლოგიურ-მელიორა- · ციული სამმართველო	ქ. თბილისი	ჰიდროგეოლოგიურ-მელიორა- ციული ექსპედიცია





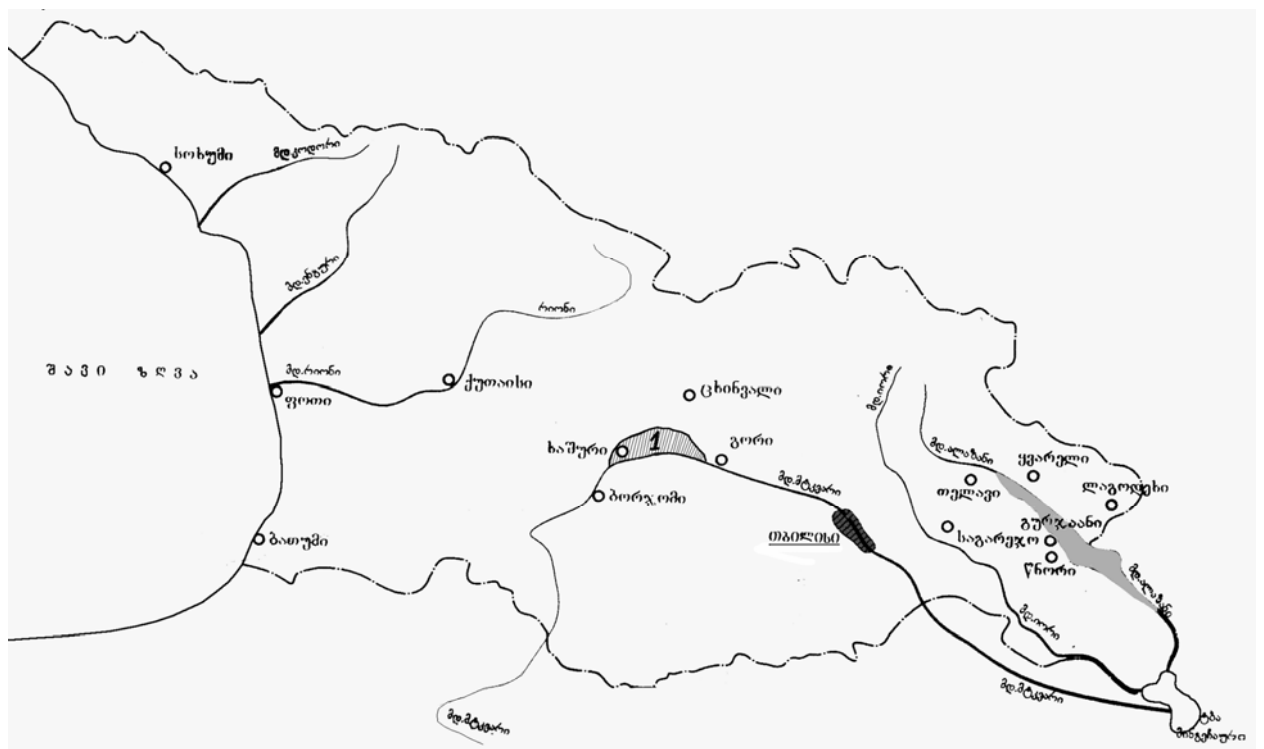
ნახ. 1.6. საქართველოს მოქმედი სარწყავი არხების სქემა (სამელიორაციო სისტემების მართვის დეპარტამენტის ფონდები, 2005 წ.) (ნუმერაცია 1.11 ცხრილის მიხედვით)

ცხრილი 1.13

სარეაბილიტაციო სისტემების ფართობები და ღირებულება

1	ობიექტის დასახელება	სარეაბილიტაციო ფართობი, ჰა	სარეაბილიტაციო სამუშაოების ღირებულება, მლნ. ლარი	შენიშვნა
1	2	3	4	5
1.	ტაშისკარის სარწყავი სისტემის ხაშურის გვირაბი	-	2.375	დასრულებულია
2.	ტაშისკარის სარწყავი სისტემა			
	I ეტაპი	1003	2.414	დასრულებულია
	II ეტაპი	2227	3.508	ხელმოწერილია სამ-შენებლო კონტრაქტი
	III ეტაპი	2131	3.196	დასრულებულია პროექტი
	IV ეტაპი	2156	3.070	მიმდინარეობს პროექტირება
3.	ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემის სათავე ნაგებობა	-	2.486	დასრულდება 2005 წლის მარტში
4.	ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემა			

	I ეტაპი	1110	1.610	დასრულებულია
	II ეტაპი	2406	2.428	ხელმოწერილია სამ-შენებლო კონტრაქტი
	III ეტაპი	2304	2.576	დასრულებულია პროექტი
	IV ეტაპი	2633	3.560	მიმდინარეობს პროექტირება
5.	რიონი-ჩოლოქის სადრენაჟო სისტემა			
	I ეტაპი	630	0.363	დასრულებულია
	II ეტაპი	1400	1.587	ხელმოწერილია სამ-შენებლო კონტრაქტი
6.	რიონი-ხობის სადრენაჟო სისტემა			
	I ეტაპი	600	0.522	დასრულებულია
	II ეტაპი	1100	1.340	ხელმოწერილია სამ-შენებლო კონტრაქტი



ნახ. 1.7. საქართველოს სარწყავი სისტემების რეაბილიტაციის სქემა (2005 წ.)

1 - ტაშისკარის სარწყავი სისტემა; 2 - ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემა.



საქართველოს ტერიტორიის განაწილება სიმაღლეთა ზონების მიხედვით

1	სიმაღლეთა ზონები, მ	დასავლეთ საქართველოს ფართობი, კმ <sup>2</sup>	მდ. მტკვრის აუზის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	მთავარი კავკასიონის ქედის ჩრდილოეთ ფერდის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	საქართველოს ტერიტორიის ფართობი, კმ <sup>2</sup>	საერთო ფართობის %
1	2	3	4	5	6	7
1	0-200	7673.2	282.2	-	7955.4	11.3
2	200-400	2464.5	3405.7	-	5870.2	8.4
3	400-600	2104.6	4245.1	-	6349.7	9.1
4	600-1000	4209.8	7671.3	-	11881.1	17.0
5	1000-1400	4144.7	5844.9	6.8	9996.4	14.3
6	1400-1800	4028.6	5631.2	76.9	9736.7	13.9
7	1800-2200	3594.3	4290.7	361.0	8246.0	11.8
8	2200-2600	2434.3	2247.4	686.4	5368.1	7.7
9	2600-3000	1303.4	923.6	814.1	3041.1	4.4
10	3000-3500	474.1	124.3	477.5	1075.9	1.5
11	3500-4000	165.5	6.1	172.3	345.9	0.5
12	4000-4500	31.6	-	24.8	56.4	0.1

ცხრილი 1.14 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
13	4500-5000	5.1	-	4.7	9.8	0.0
	საერთო ფართობი, კმ <sup>2</sup>	32633.7	34672.5	2624.5	69930.7	100
	ტერიტორიის საშუალო სიმაღლე, მ	1120.0	1220.0	2700.0	1230.0	

მთავარი ოროგრაფიული ბარიერის ჰიფსომეტრული საშუალო სიმაღლე დასავლეთ ნაწილში შეადგენს 2800÷3000 მ, ცენტრალურ ნაწილში - 4000÷

4500 მ, აღმოსავლეთ ნაწილში – 3000-3500 მ.

კავკასიონის სამხრეთ ნაწილის ქედები შავი და კასპიის ზღვის მდინარეთა აუზების (ბზიფი, კოდორი, ენგური, ცხენისწყალი, რიონი, არაგვი, ლიახვი, იორი, ალაზანი, თერგი და სხვა) გამყოფებია.

მცირე კავკასიონის მთების სისტემა საქართველოში ვრცელდება აჭარა-თრიალეთის სისტემით და სამხრეთის ვულკანიზირებული მთიანეთით.

აჭარა-თრიალეთის მთიანი სისტემა ვრცელდება შავი ზღვის სანაპიროდან ქ. თბილისის მერიდიანამდე. ამ სისტემის საშუალო აბსოლუტური სიმაღლე 2000÷2400 მ-ს აღწევს, ცალკეული მწვერვალების სიმაღლე აღწევს 2500÷2900 მ (ხევა, მელის-წყარო, სანისლო).

რეგიონის მთიანი ნაწილის დამახასიათებელი თავისებურებაა – იარუსებად განლაგებული ტერიტორიები და ღრმა, ეროზიულად დანაწევრებული რელიეფი. ქედების (აბულ-სამსარის, ჯავახეთის, ერუშეთის და ნიალისურის) საშუალო სიმაღლე 1800÷2000 მ აღწევს, ხოლო ცალკეული ვულკანური კონუსების სიმაღლე აღწევს 2800÷3000 მ.

საქართველოს სამხრეთი მთიანეთის ტერიტორია ზვავური წარმოშობისაა და წარმოადგენს მაღალ ვულკანურ პლატოს – ახალქალაქის, გომარეთის, წალკის და დმანისის, რომლებიც მდ. მტკვრის და მისი შენაკადების კანიონებით ხასიათდება.

ამიერკავკასიის მთებს შუა დეპრესია (საქართველოს ფარგლებში) შეიცავს მთების სისტემას სურამის ქედის სახით, კოლხეთის და ქართლის დეპრესიას.

სურამის ქედი – აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოს კლიმატური ბარიერია.

კოლხეთის დეპრესია – სამკუთხედის ფორმისაა, რომლის ფუძე ვრცელდება მდ. კოდორიდან ქობულეთამდე, ხოლო წვერი მთავრდება ძირულის მასივთან, ქ. ზესტაფონთან და შეიცავს კოლხეთის დაბლობის ჩრდილოეთ და სამხრეთ მთიანეთის ნაწილს.

კოლხეთის დაბლობის ზღვისპირა ნაწილი 1÷2 მეტრითაა ამაღლებული ზღვის დონიდან, ხოლო ნაპირებში – მაღლდება 100÷150 მ-ით.

სამხრეთ იმერეთის რელიეფი ბორცვიანი და მცირე სიმაღლის მთიანი ხასიათისაა; ჰიფსომეტრული ნიშნული ამ ზონაში 20÷700 მ-ია.

გურიის მთისწინეთი (ნიგოეთის ანუ გურიის ქედის) სამხრეთ იმერეთის მთისწინა ქედების გაგრძელებაა, რომელთა სიმაღლე 500÷600 მ-ია.

ამიერკავკასიის დეპრესიის აღმოსავლეთი ნაწილი შეიცავს შიდა ქართლის, სამხრეთ ქართლის და ალაზნის დაბლობებს, იორის ზეგანს და ცივ-გომბორის ქედს.

ამიერკავკასიის დეპრესიის აღმოსავლეთ ნაწილში (ტირიფონი-მუხრანის, შიდა ქართლის და ალაზნის ქვაბულის ტერიტორიაზე) ფორმირდებოდა აკუმულაციურ-ეროზიული დაბლობის ტიპის 300÷700 მ სიმაღლის რელიეფი.

მდინარეებს მტკვარს, იორსა და ალაზანს შორის წარმოიქმნა ფართო 1000÷1200 ს სიმაღლის ზეგანი.

შიდა ქართლის დაბლობი დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ ვრცელდება 115 კმ-ზე, რომლის სიგანე - 40 კმ-ია, იგი იწყება სურამის (ლიხის) ქედიდან და მთავრდება მცხეთა-საგურამოს ამაღლებით.

ტირიფონ-მუხრანის ღრმულს აქვს სამკუთხედი ფორმა, რომლის ჩრდილო-აღმოსავლეთის მხარე დანაწევრებულია მდ. ლიახვით, მეჯუდათი, ქსნით, არაგვით, მრავალი სარწყავი არხით და მცირე მდინარეებით.

შიდა ქართლის ქედი - დაბალმთიანი ამაღლებაა, რომელიც ვრცელდება 75 კმ-ზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მდ. ფრონეს და არაგვის მტკვრის შესართავთან.

მთავარი კავკასიონის სამხრეთის და თრიალეთის ქედის ჩრდილოეთი ნაწილები ვრცელდება ლიხის ქედის აღმოსავლეთიდან და ეღობება მცხეთის ამაღლებას და მდ. იორის ხეობას.

იორის ზეგანის სიგრძე 145 კმ-ია, იგი შემოვლებულია მდ. მტკვრის დეპრესიით და მდ. ალაზნის ქვედა დინების ხეობით. მისი საშუალო სიგანე 40 კმ-ია. მდ. იორი ყოფს ზეგანს ორ ნაწილად - იორი-ალაზნის და იორი-მტკვრის. იორის ზეგანის მაქსიმალური ნიშნულია - 770÷880 მ.

ცივ-გომბორის ქედი - მთავარი კავკასიონის ქედის ოროგრაფიული გაგრ-

მელეხაა, მისი სამხრეთ-აღმოსავლეთი ნაწილი – დაბალმთიანია.

ალაზნის ღრმული, რომელიც მდებარეობს მთავარი კავკასიონის ზონის, ცივ-გომბორის ქედის და იორის ზეგანს შორის – საქართველოს ტერიტორიაზე 160 კმ სიგრძისაა, საერთო სიგრძე (აზერბაიჯანის ტერიტორიის ჩათვლით) – 220 კმ-ია, მისი რელიეფი ვაკისებური ტიპისაა და აქვს უმნიშვნელო დაქანება ( $i = 0.0022 \div 0.023$ ); ახმეტასთან ალაზნის ხეობის აბსოლუტური ნიშნულია 650 მ, ბოლოში – 150 მ. ხეობის სიგანე ახმეტასთან – 5 კმ-ია, ლაგოდეხთან – 40 კმ, მდ. ალაზანი ხეობას ორ არათანაბარ ნაწილად ყოფს. მდ. ალაზნისკენ მარჯვენა ფერდობის ქანობა –  $i = 0.02 \div 0.06$ ; მარცხენა –  $i = 0.01 \div 0.02$ . მდინარის კალაპოტი მცირე სიღრმითაა შეჭრილი ფხვიერ ალუვიურ დანალექში. გურჯაანის ზემოთ მდინარის კალაპოტის კლავნილობის კოეფიციენტი უმნიშვნელოა, ხოლო ქვემოთ იგი მეანდრირებას განიცდის.

**კლიმატი.** მთიანი რელიეფის, თბილი ჭავი და კასპიის ზღვის, აგრეთვე ევრაზიის კონტინენტალური სივრცის გამო საქართველოს ტერიტორიაზე შეიმჩნევა კლიმატური პირობების მნიშვნელოვანი მრავალფეროვნება.

აქ გვხვდება კლიმატის თითქმის ყველა ტიპი: მთავარი კავკასიონის ქედის მუდმივი თოვლი და მყინვარები, ჭავი ზღვის სანაპიროზე ტენიანი სუბტროპიკული და აღმოსავლეთ საქართველოს ნაწილში კონტინენტურ-სტეპური.

კლიმატური თავისებურებების გამო საქართველო იყოფა ორ კლიმატურ ოლქად: დასავლეთი და აღმოსავლეთი ოლქები, რომელთა შორის საზღვარია სურამის და არსიანის ქედები.

საქართველოს ტერიტორიის ტემპერატურის რეჟიმის თავისებურებაა ზონალობის ვერტიკალობა, რომელიც ხშირად ირღვევა ოროგრაფიული სტრუქტურის თავისებურებებით, ყოველ 400 მ-ზე ჰაერის ტემპერატურა მცირდება  $0.3 \div 0.8^{\circ}$ -ით.

დასავლეთის კლიმატური ზონა ხასიათდება ზღვის ტენიანი სუბტროპიკული კლიმატით – რბილი ზამთრით, არაცხელი ზაფხულით, უხვი ნალექით, მაღალი ტენიანობით და დადებითი რადიაციული ბალანსით.

დასავლეთ საქართველოს ყველაზე თბილი რაიონებია - შავი ზღვის სანაპირო და მდ. რიონის ხეობა ზღვის დონიდან 500 მ-მდე, სადაც ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა  $+13\div 15^{\circ}$ -ია, აჭარა-იმერეთის ქედის ზედა ნაწილში იგი მცირდება და  $+4\div 5^{\circ}$ -ია, იანვარი - აქ ყველაზე ცივი თვეა. ჰაერის ცივი მასების შემოჭრისას აქ აღინიშნება  $-10\div 15^{\circ}$ .

თბილი თვეა - ივლისი, ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა  $+24^{\circ}$ -ია, ხოლო ცალკეულ დღეებში შეიძლება  $+45^{\circ}$ -ს მიაღწიოს.

დასავლეთ საქართველოს კლიმატური ოლქი გამოირჩევა უხვი ატმოსფერული ნალექებით. ნალექის საშუალო წლიური რაოდენობა  $800\div 2500$  მმ-ია, ხოლო სანაპირო ზოლში -  $3000\div 3500$  მმ-ია.

აღმოსავლეთ საქართველოს კლიმატური ოლქი აზიის კონტინენტალური კლიმატითაა განპირობებული.

ზამთარში ცივი კონტინენტალური ჰაერი იჭრება მდ. მტკვრის ხეობებში, ხოლო სურამის და არსიანის ქედები აჩერებს დასავლეთიდან მოსულ ცივ ჰაერს, ამიტომ აქ ტენიანობა უფრო დაბალია, ნალექის რაოდენობა მნიშვნელოვნად მცირეა და ზამთარი უფრო ცივია, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში. აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკის და მთისწინა რაიონებში ჰაერის წლიური საშუალო ტემპერატურა  $10\div 13^{\circ}$ -ია და მცირდება  $2\div 5^{\circ}$ -მდე, ხოლო ახალქალაქის პლატოზე  $5\div 6^{\circ}\text{C}$ -ს აღწევს. შედარებით თბილ რაიონებს წარმოადგენს შიდა ქართლის და ალაზნის ველი, სადაც საშუალო წლიური ტემპერატურა დაახლოებით  $+13^{\circ}$ -ია.

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ზედა და ქვედა ქართლის რაიონის საშუალო თვიური ტემპერატურა იანვარში -  $2\div 0^{\circ}$ -ია, მთავარი კავკასიონის ზონაში -  $8\div 16^{\circ}$ -ია.

აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკესა და მთისწინეთში ივნისში  $+23\div 25^{\circ}$ -ია, ხოლო სამხრეთ საქართველოს ზეგანზე  $+12\div 16^{\circ}$  და  $+2\div 4^{\circ}$  მთავარი კავკასიონის მაღალმთიან ზონაში.

ზედა და ქვედა ქართლის ვაკეზე, ალაზნის და იორის ზეგანზე ჰაერის ტემპერატურის აბსოლუტური მაქსიმუმი  $+36\div 40^{\circ}$ -ია, ახალქალაქის პლატოზე -



+30÷34°, მთის და მაღალმთიანი რაიონებში +12÷32°. აღმოსავლეთ საქართველოს სტეპის რაიონებში ჰაერის წლიური ტემპერატურის ამპლიტუდა მერყეობს 23÷25°-ით.

აღმოსავლეთ საქართველოს წლიური ნალექების რაოდენობა 400÷1600 მმ. სამხრეთ ზეგანის რაიონების ტერიტორიაზე 500÷700 მმ, ქართლის ვაკეზე – 400÷600 მმ, გარდაბნის სტეპებზე – 360÷380 მმ, იორის ზეგანზე და შირაქის სტეპებზე – 430÷500 მმ, ხოლო ალაზნის ხეობებში – 600 მმ. საქართველოს მთელი ტერიტორია ხასიათდება თავსხმა წვიმით. ცივ-გომბორის და კახეთის ქედებზე, თრიალეთის ჩრდილოეთ და სურამის დასავლეთ ფერდობებზე ნალექების დღე-ღამური მაქსიმუმები შესაბამისად 150, 130, 80÷100 და 160 მმ-ია, რომლის ხანგრძლივობა 2÷4 საათს აღწევს, მათი ყველაზე მნიშვნელოვანი რაოდენობა მოდის ზაფხულის თვეებზე.

**ნიადაგი.** საქართველოს ნიადაგის მრავალფეროვნება მისი ტერიტორიის დაწვერიანებით, გეოლოგიური შემადგენლობით და კლიმატური პირობებითაა განპირობებული.

საქართველოს ტერიტორიაზე გვხვდება ნიადაგის თითქმის ყველა ტიპი, დაწყებული წითელმიწიდან აღმოსავლეთ საქართველოს სუბტროპიკულ ზონაში – მთის მდელოსა მაღალმთიანეთში და მეორეს მხრივ – წაბლისფერ-შავნიადაგიან და სტეპების მშრალ მურა ნიადაგებამდე.

ნიადაგების განლაგების ვერტიკალური ზონალობა მკვეთრად ახასიათებს მათ ცვლილებას.

I. ჭაობიან ნიადაგებს საქართველოს დიდი ფართობები უკავია, განსაკუთრებით მის დასავლეთ ნაწილში – კოლხეთის დაბლობზე (სუფსის, რიონის, ხობის და ენგურის დაბლობებზე).

ტორფისა და ჭაობების ნიადაგები გავრცელებულია მდ. რიონის ორივე მხარეს.

აღმოსავლეთ საქართველოს რაიონებში ჭაობის ნიადაგი გვხვდება ერწოს დეპრესიაში, ს. მანავთან, მდ. ალაზნის მარცხენა ნაპირზე, ჯავახეთის და წალკის ზეგანზე.

II. მდელის ალუვიური ნიადაგები გვხვდება კოლხეთის დაბლობის მდინარეების ქვედა ტერასებზე. აქ გამოირჩევა ალუვიური უკარბონატო ნიადაგები, რომელნიც გვხვდება მდ. ენგურის, სუფსის და ჭოროხის ნაპირებზე. მნიშვნელოვანი ტერიტორიები უკავია მდელის ალუვიურ დაჭაობებულ ნიადაგებს.

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე გვხვდება მდელის ალუვიური ნიადაგები – მდ. მტკვრის, ლიახვის, ქსნის, არაგვის, იორის, ალაზნის – ხეობებში.

III. ეწერიანი – წითელი მიწა – გვხვდება ძირითადად დასავლეთ საქართველოს სუბტროპიკულ ზონაში – აჭარაში, ოზურგეთის და ლანჩხუთის რაიონებში.

ეწერიან მიწებს უკავია მდ. ბზიფის, კოდორის, ენგურის, რიონის, ცხენისწყლის, ყვირილას ტერასები.

IV. ნემომპალა-კარბონატული ნიადაგი გვხვდება აღმოსავლეთ საქართველოს მთის, მდელის და მთისწინა სუბტროპიკულ და მთიანი ტყის ზონაში.

V. საქართველოს ტერიტორიაზე მთისა და ტყის ნიადაგებს უკავია დიდი ფართობები, რომელიც დასავლეთ საქართველოში გვხვდება სუბტროპიკულ და მდელის ზონაში 500÷200 მ, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში – მთის და ტყის ზონაში 1100÷2000 მ სიმაღლეზე. ამ ნიადაგებს შორის წაბლისფერი ტყის ნიადაგია გავრცელებული, ჰუმუსოვანი და თიხნარის შემადგენლობით.

აღმოსავლეთ საქართველოს მთის და მდელის ზონაში გავრცელებულია ყავისფერი ტყის ნიადაგი, რომელიც გავრცელებულია კარბონატული ქანების არიდულ ზონაში.

VI. მთის და მდელის ნიადაგებს უკავია ყველაზე მაღალი ტერიტორიები – კავკასიონის და სამხრეთ მთიანეთის 2000÷3500 მ სიმაღლეებზე. დასავლეთ საქართველოს და თრიალეთის ქედებზე ისინი გვხვდება 2800÷3000 მ სიმაღლეზე, აღმოსავლეთ საქართველოში – 3500÷3600 მ სიმაღლეზე, ხოლო წალკის მთიანეთში – 1900 მ.

საქართველოს სამხრეთ მთიანეთში გვხვდება მთის და მდელის მნიშვნე-

ლოვანი სისქის შავმიწა ნიადაგი.

VII. აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის სტეპებზე და უდაბნოში გვხვდება შავმიწა წაბლისფერი ნიადაგი.

შავმიწა ნიადაგი გვხვდება გარე კახეთის ზეგანზე – სამგორის, გარეჯის, შირაქის სტეპებში, ხოლო მდელის შავმიწა – ალაზნის ველის მარჯვენა ნაპირზე, სამხრეთ ოსეთში და სხვ.

წაბლისფერი ნიადაგი გვხვდება მშრალი სტეპების ზონაში, ხოლო ღია წაბლისფერი ნიადაგი გვხვდება ელდარის სტეპებში, აღმოსავლეთ ზეგანზე, ქვემო ტარიბანაში, იორის ხეობებში და სხვ.

VIII. ნეშომპალა-სულფატური და დამარილიანებული მიწები გავრცელებულია სამგორის ველზე, მდ, იორის მარცხენა ნაპირზე, შირაქის სტეპებში და სხვ.

დამარილიანებული ნიადაგები გვხვდება მდინარეების ალაზანს, იორსა და მტკვარს შორის, სოღანლულის და მარნეულის ვაკეზე.

IX. მთის შავმიწა ნიადაგი გავრცელებულია სამხრეთ საქართველოში – წალკის, დმანისის და ჯავახეთის ვულკანურ ზეგანზე – 1300÷2100 მ სიმაღლეზე, რომლებიც იყოფა სამ ქვეტიპად: ტიპური, კარბონატული და გამოტუტებული ნიადაგები, რომელთა შორისაა მდელისებური შავმიწა, თიხოვანი და მძიმე თიხოვანი ნიადაგები.

X. ნაცრისფერ-წაბლისფერი და მდელის წაბლისფერი ნიადაგი გვხვდება აღმოსავლეთ საქართველოში – თრიალეთის ქედზე, მდინარეების მტკვრის, მაშავერას, ხრამის აუზებში და ახალქალაქის ქვაბულში, ახასიათებს მცირე სიმქისე და თიხნარი შემადგენლობა.

მდელის ყავისფერი ნიადაგები გამოირჩევა მნიშვნელოვანი სისქით, გავრცელებულია მდ. მტკვრის მარჯვენა ნაპირზე, დიდმის, გორის, მუხრანის და საგურამოს ვაკეზე.

XI. მთის ქანებზე, სადაც განლაგებულია მწირი საძოვრები, გავრცელებულია საქართველოს სხვადასხვა ტერიტორიაზე.

#### 1.4. მიწის მსხვილი არხების და მათი განლაგების ტერიტორიების ბუნებრივი პირობების დახასიათება

საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულია ხუთი მიწის არხი, რომელთა ხარჯი  $Q > 20 \text{ მ}^3/\text{წ}$  და შვიდი – ხარჯით  $20 \text{ მ}^3/\text{წმ} > Q > 10 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ . მათ შორის ორი – მაშველის – ( $Q = 20 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ) და კუხის – ( $Q = 13,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ) მიწის არხი განლაგებულია საქართველოს დასავლეთ, ხოლო დანარჩენი ხუთი – საქართველოს აღმოსავლეთ ტერიტორიაზე (ცხრ. 1.11, ნახ. 1.6).

აღმოსავლეთ საქართველოს ყველაზე მსხვილი არხები – ალაზნის ზემო და ქვემო არხი, ხარჯით  $Q = 24 \text{ მ}^3/\text{წ}$ ., სამგორის არხები – ხარჯით  $Q = 21.7 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ , ბეტონითაა მოპირკეთებული, რომელთა ტერიტორია განსხვავდება შემდეგი თავისებურებებით.

##### ალაზნის არხების ტერიტორია.

მთავარი კავკასიონის კახეთის ქიმი, რომელიც განლაგებულია ალაზნის ვაკის აღმოსავლეთ ნაწილიდან 15-20 კმ დაშორებაზე, მალღება მასზე 2000-2500 მ. ცივ-გომბორის ქედი (ცივის და მანავის ცივის მწვერვალებს შორის) მალღება ვაკის დასავლეთ ნაწილზე 1200-1400 მ, ხოლო გურჯაანის მახლობლად – მცირდება 650-700 მ-მდე. ვაკის ბოლო ნაწილი, რომლის აბსოლუტური სიმაღლეა 200 მ, განლაგებულია გარე კახეთის ზეგანის საფეხურზე, რომლის სიმაღლეა 430-650 მ.

ალაზნის ველი ვრცელდება ჩრდილოეთ-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ, განსხვავდება თავისი ოროგრაფული სტრუქტურით და მიმართულებით, თანდათანობითი ჩაძირვით კასპიის ზღვის ღრმა დეპრესიაში.

ალაზნის ველის სიგრძე 160 კმ-ია, მისი სიგანე ჩრდილო-დასავლეთით 5 კმ-ია, შემდეგ იგი ფართოვდება სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ და წნორთან მისი სიგანე 35 კმ-ია.

მდ. ალაზანი სათავეში მთავარი კავკასიის კახეთის ფერდობებისკენ უფრო ახლოსაა, შემდეგ შუა ნაწილში თელავი-გურჯაანთან მიედინება მარცხენა და მარჯვენა შენაკადების შუაში, ხოლო შემდეგ წნორის რაიონში იგი მარჯვნივ

იხრება გარე კახეთის ზეგანისკენ, სადაც მარჯვენა სანაპიროს სიგანე მცირდება 3-4 კმ-მდე.

ჭაურასთან, სადაც ვაკე თითქმის ჰორიზონტალურია, მდინარე ნელა მიედინება კლაკნილ კალაპოტში, სადაც ნაპირები ძლიერ ციცაბოა, ფსკერი – დალექილია და მდინარე ემსგავსება ვაკის ტიპს, კლაკნილობის კოეფიციენტი  $K_j = 1.9 \div 2.1$ .

ალაზნის ქვედა არხზე ჩამოკიდებული ტერიტორიის სიგრძე 83 კმ-ია. მისი სიგანე ცვალებადია, სათავე ნაწილში პირველი 19 კმ მანძილზე მისი სიგანე 2,5 კმ-ია, ქვედა ნაწილში მისი სიგანე იზრდება 7,5÷8,0 კმ-მდე, ხოლო მისორთან -- 11 კმ, რის შემდეგ მასივის სიგანე მცირდება 3 კმ-მდე.

მასივის დამახასიათებელი თავისებურებაა – დასახლებული პუნქტების არარსებობა, ხოლო ბაკურციხის შემდეგ მასივის ტერიტორია საერთოდ არ არის დასახლებული და წარმოადგენს მილარის სტეპს.

მარჯვენა სანაპიროს ფართია 1120 კმ<sup>2</sup>, მათ შორის ალაზნის ზედა არხზე ჩამოკიდებული ფართობი – 505 კმ<sup>2</sup>-ია და 540 კმ<sup>2</sup> – რეაბილიტირებულ ალაზნის ქვედა არხზე. დანარჩენი ფართობი საკომანდო ზონის გარეშეა.

მთელი ეს ვაკე რელიეფური პირობებით და ჰიფსომეტრული მდებარეობით მორფოლოგიურად იყოფა დახრილ ვაკედ და დაბლობად. დახრილი ვაკე უერთდება ცივ-გომბორის ქედს და უკავია მდ. ალაზნის მარჯვენა ნაპირი. ვაკის ეს ნაწილი რთული რელიეფით ხასიათდება, სადაც შეიმჩნევა მრავალი ხევი და შენაკადების გამოტანის კონუსი. რელიეფის დამახასიათებელი ელემენტებია ძველი ტერასების ნარჩენები. ვაკის დახრილობა მნიშვნელოვანია  $i = 0.03 \div 0.06$ .

ალაზნის ქვემო სარწყავი სისტემის მასივი ძირითადად იმყოფება ვაკისებურ ნაწილში. მასივის დახრილობა ცვლადია, სათავეში – ბაკურციხის წყალსაგდებთან დახრილობის მნიშვნელობა  $i = 0.009 \div 0.004$ , ხოლო ბოლოში –  $i = 0.014 \div 0.025$ . განივი მიმართულების დახრილობის ცვლილება – უფრო კანონზომიერია: მისი მნიშვნელობა მცირდება ვაკიდან დაბლობისკენ ბაკურციხის წყალსაგდებიდან და მაგისტრალური არხის ტრასირების რაიონებს აქვს

მნიშვნელოვანი დახრილობა –  $0,021 \div 0,033$ , ხოლო არხისგან 1-2 კმ ქვემოთ დახრილობა მცირდება  $0,004 \div 0,009$ -მდე და ალაზნის ზონაში –  $0,001 \div 0,002$ .

რელიეფის ცვლილების ასეთი ხასიათი დამოკიდებულია ჰიდრორელიეფის ფორმაზე და მიწისქვეშა წყლების განლაგებაზე და წარმართავს მოსარწყავი მასივის დამარილიანების ბალანსს.

ვაკის სწორი ტერიტორია ხშირად ირღვევა მიკრორელიეფის დადებითი და უარყოფითი ელემენტებით. რელიეფის დადებით ფორმებს განეკუთვნება დაბალი ლოკალური ამაღლებები – ყორღანები (სამარხები), რომლებიც ხშირად გვხვდება ალაზნის ვაკის შუა, უფრო ხშირად – სტეპის ნაწილში.

რელიეფის უარყოფითი ფორმებია – ბუნებრივი და ხელოვნური სადინარების კალაპოტები და ბრტყელი ტაფისებრი ჩაღრმავებები. ბუნებრივ სადინარებს ძირითადად მიეკუთვნება ხევების კალაპოტები.

როგორც წესი, ხევების კალაპოტები აქ ფართო და ღრმაა, მათი სიღრმე 3-4 მ-ს აღწევს. რელიეფის ასეთი ფორმები გვხვდება დასაწყის ნაწილში, ბაკურციხის წყალსაგდებამდე.

მასივის შუა ნაწილი, ისევე როგორც მილარის სტეპი, გადაკვეთილია ძველი მდინარეებით, ხევებით, კოლექტორებით და ძველი სარწყავი ქსელით, რომლებიც უსისტემოდ კვეთს ვაკეს და ხელს უწყობს ღრმა ეროზიის განვითარებას, გამოწვეულს ნიადაგ-გრუნტების იოლი გარეცხვით, მიწის არხების მოუპირკეთებლობით და მდ. ალაზანში ირიგაციული და მიწისქვეშა წყლების გადაშვების საშუალებების არარსებობით.

ღია საკოლექტორო-წყალსაგდები და ხევების ქსელი ძირითადად დიაგონალურადაა ორიენტირებული, ზოგი ადგილებში – მდ. ალაზნის გასწვრივ, რითაც ართულებს ტერიტორიის მორწყვას.

ბუნებრივი ხევები, რომლებიც კვეთს მილარის (ოლეს) სტეპს, ფაქტობრივად გადაფორმირებული მცირე ხევების ჩამონადენის კოლექტორებია.

საქართველოს სოფლის მეურნეობისათვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ალაზნის ქვემო სარწყავ სისტემას, რომელიც ერთ-ერთი უდიდესია არა მარტო კახეთის რეგიონის, არამედ საერთოდ საქართველოს სარწყავ სისტემათა შორის. აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ ალაზნის ქვემო სარწყავი სისტემა რწყავს

აღმოსავლეთ საქართველოს იმ რეგიონის ფართობებს, სადაც კლიმატური პირობების მიხედვით, მორწყვის გარეშე საერთოდ შეუძლებელია სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მნიშვნელოვანი მოსავლის მიღება და ამგვარად სისტემის კომანდობის არეში მოქცეული ფართობებისათვის, მორწყვა სასოფლო-სამეურნეო წარმოების აუცილებელ პირობას წარმოადგენს.

ალაზნის ველზე სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მორწყვას ჯერ კიდევ შუა საუკუნეებიდან მიმართავდნენ. არსებობს ისტორიული მონაცემები, რომ XII საუკუნეში იმ ფართობებზე, სადაც დღეისათვის ალაზნის ქვემო სარწყავი სისტემა ფუნქციონირებს, მსხვილი სარწყავი სისტემა არსებობდა.

ალაზნის სარწყავი სისტემის მშენებლობა 1931 წელს იყო დაწყებული, როდესაც აშენდა სათავე ნაგებობა, მაგისტრალური არხი, ძირითადი გამანაწილებლები და რამდენიმე კოლექტორი, რომლებიც დაუმთავრებლად იყო შესული ექსპლუატაციაში. პირობითად ითვლებოდა, რომ სისტემას ექვემდებარებოდა საირიგაციოდ მომზადებული 21.0 ათასი ჰა.

შემდგომ, 1932-1935 წლებში სისტემის მშენებლობის სამუშაოები გრძელდებოდა, რაზეც ყოველწლიურად იხარჯებოდა თანხები.

1940 წელს შედგა მისი რეკონსტრუქციის და მშენებლობის დამთავრების გეგმა, რომლის მეშვეობით მოირწყებოდა 33 593 ჰა, მიწების დამარილიანების და დაჭაობების საწინააღმდეგო ღონისძიებების ჩატარებით.

1940-1944 წლებში, სამამულო ომის გამო, სამუშაოები შეწყვეტილი იყო, ხოლო 1946 წ. - ნაწილობრივ განახლდა ალაზნის სარწყავი სისტემის რეკონსტრუქცია, რომელიც დამთავრდა 1950 წელს და ირწყვებოდა 26 440 ჰა ფართობი.

შემდგომში, სარწყავ სისტემაზე არაერთხელ ჩატარდა სარეკონსტრუქციო სამუშაოები, რომელთაგან განსაკუთრებით აღსანიშნავია 1983 წელს დაწყებული სამუშაოები. ეს სამუშაოები ითვალისწინებდა სარწყავი სისტემის ახალი სათავე ნაგებობის მოწყობას, გამანაწილებელი არხებისა და სარწყავი ქსელის რეკონსტრუქციას, ახალი სარწყავი ფართობების ათვისებას. სამწუხაროდ, ქვეყანაში შექმნილი ეკონომიკური პრობლემების გამო, ამ სარეკონსტრუქციო სამუშაოთა

დასრულება ვერ მოხერხდა. 80-იანი წლების მონაცემებით სარწყავი სისტემის მომსახურების ფართობმა შეადგინა 47.0 ათასი ჰა, თუმცა შემდგომ წლებში, ქვეყანაში შექმნილი მიმდევარ ეკონომიკური მდგომარეობის, სატუმბი სადგურების წყობიდან გამოსვლის და სარწყავი სისტემების რეაბილიტაციისა და ექსპლუატაციისათვის საჭირო ხარჯების ნაკლებობის გამო, ადგილი ჰქონდა სისტემის სარწყავი ფართობის კლებას. 2000-იანი წლებისათვის, საექსპლუატაციო სამმართველოს მონაცემებით, სარწყავი სისტემით ირწყვებოდა 32.6 ათასი ჰა.

სარწყავი სისტემა იღებს წყალს სათავე ნაგებობიდან, რომელიც აგებულია მდ. ალაზანზე, სოფ. კონდოლთან. აღნიშნულ სათავე ნაგებობაზე, მსოფლიო ბანკის ფინანსირებით, მიმდინარეობს სარეაბილიტაციო სამუშაოები (ნახ. 1.9)



ნახ. 1.9. ალაზნის და სამგორის სარწყავი სისტემების სქემა

ზემო სამგორის ს.ს. 1 სამგორის ზემო მაგისტრალური არხი (ბეტონის, სარეაბილიტაციო);

2 სამგორის ქვემო მაგისტრალური არხი (ბეტონის, სარეაბილიტაციო);

ქვემო სამგორის ს.ს. 3 სამგორის მარცხენა მაგისტრალური არხი (ბეტონის, სარეაბილიტაციო);

4 სამგორის მარჯვენა მაგისტრალური არხი (ბეტონის, სარეაბილიტაციო);



- ალაზნის ს.ს. 5 ზემო ალაზნის მაგისტრალური არხი 78.177 კმ  
(ბეტონის, სარეაბილიტაციო);
- ალაზნის ს.ს. 6 ქვემო ალაზნის მაგისტრალური არხი (არსებული,  
მთლიანად მიწის, მიმდინარეობს რეაბილიტაცია) 92.0 კმ

ალაზნის ქვემო მაგისტრალური არხის სრული სიგრძე შეადგენს 91.2 კმ-ს. მაგისტრალური არხი გადის თელავის, გურჯაანის, სიღნაღისა და დედოფლისწყაროს რაიონების ტერიტორიაზე. არხის კალაპოტი მთელ სიგრძეზე მიწისაა. არხის ტრასაზე მრავლადაა ჰიდროტექნიკური ნაგებობები: დიუკერები, აკვედუკები, ღვარსაშვებები, ხიდები, გალერეა და წყალგამშვებები. არხის 32-ე კმ-ზე, სოფ. ვეჯინთან მოწყობილია 5 მგვტ სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგური, რომლის საჭიროების გამო სარწყავი სისტემის მაგისტრალურ არხში წყალი მიედინება არასავეგეტაციო პერიოდშიც და ამგვარად, წელიწადში არხის ფუნქციონირების ხანგრძლივობა შეადგენს 10 თვეს, რაც ზრდის არხის ნატანით დალევის ინტენსივობას. ამჟამად სარწყავი სისტემის მაგისტრალური არხის საწყის, 39.7 კმ სიგრძის უბანზე, მსოფლიო ბანკის დაფინანსებით, 2000 წელს დამუშავებული, პირველი (მოსამზადებელი) ეტაპის სარეაბილიტაციო სამუშაოების დეტალური პროექტის მიხედვით, მიმდინარეობს სარეაბილიტაციო სამუშაოები, რაც სათავე ნაგებობაზე მიმდინარე სარეაბილიტაციო სამუშაოებთან ერთად, მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს სარწყავი სისტემის ტექნიკურ მდგომარეობას, სარწყავი არხების წყალგამტარობას და ფართობების წყალუზრუნველყოფას. მიმდინარე სამუშაოები მოიცავს სოფლების: ჩუმლაყის (283 ჰა) და ბაკურციხე-კოლაგის (843 ჰა) ფართობებზე პირველი რიგის გამანაწილებელი არხების რეაბილიტაციას. ამავე პროექტში შეტანილი იყო გასაწმენდი სამუშაოების ჩატარება ქვემო ალაზნის მაგისტრალური არხის სარეაბილიტაციო მონაკვეთზე, მაგრამ ამ სამუშაოების ჩატარება ჯერ-ჯერობით შეჩერებულია. აუცილებელია ამ სამუშაოების ჩატარება რეაბილიტაციის ბოლო ეტაპზე.

ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემის რეაბილიტაციის შემდგომი ეტაპების სამუშაოებით განსაზღვრულია II რიგის, ღია და დახურული გამანაწილებლების რეაბილიტაცია ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემის შემადგენლობაში შემავალ,

მაგისტრალური არხის საწყის 39.7 კმ-იან მონაკვეთზე ჩამოკიდებული 7440 ჰა ფართობზე. ჩატარებულ საერთაშორისო ტენდერში გამარჯვების შემდეგ, აღნიშნული რეაბილიტაციის მუშა პროექტის დამუშავების უფლება მოიპოვა სააქციო საზოგადოება „საქწყალპროექტმა“. აღნიშნული რეაბილიტაციისათვის საჭირო დეტალური პროექტების დამუშავება განსაზღვრულია განხორციელდეს სამ ეტაპად. დამუშავებული მუშა პროექტების მიხედვით მიმდინარეობს სარეაბილიტაციო სამუშაოებიც, რომლებზეც ტექნიკური ზედამხედველობა ასევე დაკისრებული აქვს ტენდერში გამარჯვებულ ორგანიზაციას, სააქციო საზოგადოება „საქწყალპროექტს“.

შემდგომი სარეაბილიტაციო სამუშაოები, რომლის მიხედვითაც არსებული ტექნიკური დავალების შესაბამისად, გათვალისწინებულია II რიგის გამანაწილებელი ღია და დახურული ქსელის რეაბილიტაცია 2554 ჰა ფართობზე, სოფლებში: ახაშენი – 617 ჰა, ჩუმლაყი – 1159 ჰა, ვეჯინი – 478 ჰა.

**სარეაბილიტაციო ტერიტორია** წარმოადგენს ალაზნის მარჯვენა მხარის მიმდებარე, საშუალოდ 800-100 მ სიგანის ზოლს, ფართობი ხასიათდება მნიშვნელოვანი ქანობით, რომელიც მიმართულია მაგისტრალური არხიდან მდ. ალაზნისკენ. ამ ზოლის ფარგლებში, დიდი ქანობის (0.01-0.03) გამო, მაგისტრალური არხის მართობულად გამდინარე II რიგის სარწყავი, მიწის კალაპოტიანი არხები საჭიროებს გარეცხვის საწინააღმდეგო მოპირკეთებას. აღნიშნული ზოლის შემდეგ, მდ. ალაზნთან მიახლოებისას, ფართობის ქანობი თანდათან მცირდება 0.001-0.004-მდე. ფართობი რელიეფი ამ ქვედა ზოლში წყნარი და თანაბარია, თუმცა დანაწევრებულია ცალკეული ხევებით, რომელთაგან ზოგიერთი დაღრმავებულ კოლექტორებს წარმოადგენს. ფართობის რელიეფი, ძირითადად, მასზე თვითდინებით ზედაპირული მორწყვის ჩატარების საშუალებას იძლევა. ზოგიერთ მასივში, ძირითადად, ფართობის ქვედა, მდ. ალაზნის მიმდებარე ნაწილში, მეტად მცირე ქანობის გამო, სარწყავი წყლის თვითდინებით განაწილება გართულებულია, რაც იწვევს ამ მასივების დახურული ქსელით მორწყვის აუცილებლობას.

**სამგორის არხების ტერიტორია.** სამგორის სარწყავი ტერიტორია მდებარეობს მდ. მტკვრისა და იორის შუა დინებების აუზებში – იალნო-გომბორის, გარეჯის, მამაზხევის მთებს შორის. სარწყავი რაიონი ტერასებითა და ხეობებითაა გაყოფილი. ესენია:

მარტყოფის, ორხევის, ჯეირანის, ზედა ყარაიაზის, სამგორის ველის, მულანლოს, საგარეჯოს, ბადიაურის და ვაკე-ნაომარის ხეობები.

მარტყოფის ხეობა – სამკუთხედის ფორმისაა, რომლის ფუძეა სოფლები – ახალსოფელი, მარტყოფი, ნორიო, ხოლო წვერო – მდ. მარტყოფის წყლის და საცხენისის წყლის შეერთების ტერიტორია. ხეობის საშუალო სიმაღლეა 740 მ. იგი მთლიანად ირწყვება ზედა მაგისტრალური არხიდან (ნახ. 1.9).

ორხევის ხეობაც სამკუთხედის ფორმისაა, რომლის ერთი გვერდი მახათა-ტახტა-ლილოს მაღლობია, მეორე გვერდი – მდ. ლოჭინის კალაპოტი, მესამე გვერდი – მდ. მტკვრის კალაპოტი, ქ. თბილისიდან მდ. ლოჭინის სათავემდე. ხეობის საშუალო სიმაღლეა 520.0 მ. ირწყვება ორივე მაგისტრალური არხიდან.

სამგორის ველი მდებარეობს წალმიანის, ვაზიანის, აზამბრურის მაღლობების და მდ. იორს შორის. სამგორის ველი პოლიგონის ფორმისაა, საშუალო სიმაღლე 750.0 მ-ია. ირწყვება ზედა მაგისტრალური არხიდან.

ჯეირანის ხეობა – პოლიგონის ფორმისაა, მდებარეობს ორხევი ხეობის აღმოსავლეთ ნაწილში და შემოიფარგლება მდ. ლოჭინით, ვაზიანის, დალდგან-კლიჯა-ჭატმას ზეგნებით და მდ. მტკვრით. ხეობის საშუალო სიმაღლეა 450.0 მ. ირწყვება ზედა და ქვედა მაგისტრალური არხებით.

ყარაიაზის სტეპი – თანაბარი ზედაპირის რაიონია, მდ. მტკვრისკენაა დახრილი. საშუალო სიმაღლე 350.0 მ-ია.

სამგორის კლიმატი მშრალია, ზაფხული – ცხელი, შემოდგომა – თბილი და ხანგრძლივია, ზამთარი – რბილი, გაზაფხული თბილია.

საშუალო წლიური ტემპერატურა  $+12\div 13.5^{\circ}\text{C}$ . ზაფხულში მაქსიმალური ტემპერატურა  $+37^{\circ}$ , ზამთარში –  $-9^{\circ}$ . ტერიტორია არასაკმარისი ტენიანობით ხასიათდება – 500 მმ.

რაიონის საერთო ტერიტორია მთიანია და ტყითაა დაფარული, სამხრეთით იგი ვაკისებურია და დასერილია ხრამებით, რომელთა მეშვეობით წარმოებს დრენირება.

აქ უპირატესად რბილი და ფხვიერი ქანებია, რომლებიც იოლად ირეცხება.

სარწყავი ტერიტორია წარმოადგენს ალუვიურ ტერასებს, რომელთა შორის სამგორის ველი უძველესია, რასაც ადასტურებს ალუვიური, ხრემოვანი და ქვიშოვანი

დანალექები, რომლებიც ხშირად მჭიდრო კონგლომეტრატშია ჩაცემენტებული. სამგორის ველის ზედა საფენი ხრეშოვანი და თიხოვანი ნატანითაა დაფარული.

მდ. მტკვარი სამგორის მთავარი არტერიაა, რომლის ალიუვი გვხვდება 25 კმ-ის მანძილზე.

მდ. იორის ხეობა დასაწყისში აქვს ვიწრო და ღრმა მთის ხეობის ფორმა, შემდგომ იგი გადადის თიანეთის ვაკეში, მასში ჩამდინარე ორი შენაკადით – კუსნოთი და სალომით, მთავრდება სიონის ხეობით, სადაც სიონის წყალსაცავია შექმნილი.

მდ. ლოჭინის ხეობა სამგორის სარწყავით ორ ნაწილადაა გაყოფილი. მდ. ლოჭინი – მდ. საცხენისის, მარტყოფის და ნორიოთაა შექმნილი 1200-1400 მ სიმაღლეზე დელიუვის წარმოშობის მიწებზე, რომელთა ხარჯია 30 ლ/წმ.

ძლიერი წვიმის დროს მდ. ლოჭინი დიდდება, მაგრამ მისი წყლები მოსარწყავად ვერ გამოიყენება მისი ციკაბო ნაპირების გამო. მიდამო წარმოშობილია ნალექოვანი ქანებით, ქვიშოვანი და თიხოვანი გრუნტებით.

სარმატის იარუსი ტერიტორიის აღმოსავლეთ ნაწილშია გაბატონებული და მინერალიზებული თიხებით და სარმატის ქვიშაქვითაა წარმოდგენილი.

მიოცენის ქვედა და ოლიგოცენის დანალექები ცივ-გომბორის ტურნესის და ტახტების ქედებითაა წარმოდგენილი. ამ ტიპის დანალექები მერგელის ლურჯი და ცისფერი თიხებითაა წარმოდგენილი. მდ. იორის ტერასები, ლოჭინის და საცხენისის დანალექები ალუვიური, დელუვიური და ელუვიური წარმოშობისაა.

სამგორის რაიონი ღარიბია გრუნტის წყლით, რაც ნალექების სიმცირითაა განპირობებული. მათი წარმოშობის მიხედვით წყაროები შეიძლება დავყოთ შემდეგ ჯგუფებად:

- მდ. მტკვრის ტერასის გრუნტის წყლები;
- მდ. ორხევის, თათრის-ხევის, პარაკანთ-ხევის გრუნტის წყლები.

სამგორის სარწყავი სისტემის უმთავრესი ნაწილებია თბილისის და სიონის წყალსაცავები, რომელთა მოცულობა, შესაბამისად, 308.0 მლნ. მ<sup>3</sup> და 325.0 მლნ. მ<sup>3</sup>-ია.

სამგორის ზედა არხის სიგრძე 39 კმ-ია, მისი ნაწილი გვირაბის სახითაა ხაზნის და წალმიანის ქედებს ქვეშ. არხის ტრასაზე გვხვდება ხრეშოვანი და თიხოვანი დანალექები. სამგორის ზედა მაგისტრალური არხის სათავე ნაგებობა სოფ. პალდოდან 2

კმ-ზეა. მისი მდებარეობა მაგისტრალური ზედა არხის ტრასის სიმაღლითაა განპირობებული. მის შემადგენლობაშია – ბარაჟი, გამრეცხი შლიუზი გამყვანი არხით, ავანკამერა, სალექარი.

სამგორის ზედა არხი, ტოპოგრაფიული პირობების მიხედვით, იყოფა ორ ნაწილად – დასაწყისი 13 კმ-იანი ნაწილი და თბილისის ზღვაში გადაშვების ნაწილი.

დასაწყისი ნაწილი ძირითადად გვირაბებითაა წარმოდგენილი. სამგორის ველზე გამოსვლისას, საცხენისის ვარდნილის შემდეგ, არხის ფერდები ბეტონითაა მოპირკეთებული. საცხენისის ვარდნილი (129 მ) გამოყენებულია ჰიდრო-ელექტროსადგურისათვის, რომლის შემდეგ არხის შედარებით წყნარი მონაკვეთია. მდ. მარტყოფთან (მეორე ვარდნილთან, 36 მ) მდებარეობს მარტყოფის და შემდგომ თეთრი-ხევის (119 მ) ელექტროსადგურები. არხი ამ მონაკვეთში რამდენიმე გვირაბით, მილსადენით, აკვედუკით და ღარებითაა აღჭურვილი.

სამგორის ქვედა მაგისტრალური არხი იკვებება თბილისის ზღვის წყლით; არხის სიგრძე 53 კმ-ია, ხარჯი – 11-25 მ<sup>3</sup>/წმ. არხი გვირაბებით, აკვედუკებით, მილსადენებით, ღარებით და დიუკერებითაა აღჭურვილი

## თავი 2. მიწის არხების ფუნქციონირების საიმედოობის შეფასება

### 2.1. არხების საიმედო ფუნქციონირების დასადგენად საიმედოობის თეორიის გამოყენების მეთოდის საფუძვლები

საიმედოობის თეორიის მეშვეობით შეიძლება არხების და მათი კონსტრუქციული ელემენტების საიმედო ფუნქციონირების და მოწყვლადობის ხარისხის შეფასება [143].

ჩვენ შემთხვევაში სისტემა – ეს არხია, ხოლო ელემენტები – მისი კონსტრუქციული ნაწილები.<sup>1)</sup>

ექსპლუატაციის ყველა ოპერაციისათვის დროის განსაზღვრულ ინტერვალში საიმედოობა შეიძლება განისაზღვროს, როგორც არხების მთლიანად, ისევე მისი

<sup>1)</sup> ზოგიერთ ანგარიშებში სისტემად შეიძლება წარმოვიდგინოთ მაგისტრალური არხი, ხოლო ელემენტებად – გამანაწილებელი არხები.

ცალკეული ელემენტების შეუფერხებელი მუშაობის შესაძლებლობა. საიმედოობის პრობლემის შესწავლის დროს ჩნდება საიმედოობის რაოდენობრივი შეფასების საჭიროება, რომლის მნიშვნელობა – განსაზღვრული ქმედების მოცემულ პირობებში შესრულების ალბათობაა.

არხების საიმედოობის კოეფიციენტი – ეს ის ალბათობაა, რომ არხი იმუშავებს მოცემული ხანგრძლივობის დროის ინტერვალში.

არხების საიმედოობის ძირითადი კრიტერიუმები იყოფა ორ ჯგუფად:

– *არააღდგენადი* – მაგისტრალური არხი მთლიანად დაინგრევა (ე.ი. ფუნქციონირების პროცესში იგი არ ექვემდებარება რემონტს) და *აღდგენადი* – მისი ელემენტები (ფერდობები, სათავე ნაგებობა, სალექარი, გამანაწილებელი არხები და სხვ.) ექვემდებარება რემონტს.

განვიხილოთ *აღდგენადი* სისტემის – მაგისტრალური არხის – საიმედოობის კრიტერიუმები.

არხების *უმტყუნო* (წესიერი) მუშაობის *ალბათობა*  $P(t)$  ნიშნავს იმას, რომ არხი ინახავს თავის ნორმალურ ქმედითუნარიანობას განსაზღვრული დროის ( $t$ ) განმავლობაში ექსპლუატაციის მოცემულ პირობებში, ანუ დროის მოცემულ ინტერვალში ქმედების მოცემული რეჟიმის პირობებში არ მოხდება არცერთი მტყუნება:

$$P(t) = P(T > t), \quad (2.1)$$

სადაც  $T$  – არხის უწყვეტი უმტყუნო მუშაობის დროა.

არხის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა დროის კლებადი ფუნქციაა, ანუ რაც უფრო მეტია დროის მოცემული მონაკვეთი, მით უფრო ნაკლებია ალბათობის მნიშვნელობა.

სტატისტიკური მონაცემების თანახმად, *არხის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა* განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\bar{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} < 1, \quad (2.2)$$

სადაც  $N_0$  – არხის ელემენტების რიცხვია გამოცდის დასაწყისში;  $n(t)$  – არხის მტყუნებადი ელემენტების რიცხვი ( $t$ ) დროის განმავლობაში,  $\bar{P}(t)$  – არხის უმტყუნო მუშაობის სტატისტიკური შეფასება.

ანალოგიურად, *არააღდგენად სისტემებში მტყუნების ალბათობა* (უწყესიერო მუშაობის ალბათობა, არასაიმედოობა) იქნება:

$$Q(t) = P(T \leq t);$$

$$\bar{Q}(t) = \frac{n(t)}{N_0}; \quad Q(t) = 1 - P(t); \quad (2.3)$$

დროის ნებისმიერი ( $t$ ) მომენტისათვის:

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (2.4)$$

არხის *მტყუნების სიხშირე* – ეს არის მწყობრიდან გამოსული ელემენტების რიცხვის შეფარდება გამოსაცდელი ელემენტების პირველადი რიცხვთან დროის ერთეულში ამ ელემენტების არაადგენადობის პირობით:

$$\bar{a}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (2.5)$$

სადაც  $n(\Delta t)$  – მტყუნებადი (მწყობრიდან გამოსული) ელემენტების რაოდენობა დროის ინტერვალში  $\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)$ -დან  $\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$ -მდე.

არხის *მტყუნების სიხშირე* – არის მისი ელემენტების უმტყუნო მუშაობის დროის ალბათობის სიმკვრივე (ან განაწილების კანონი) პირველ მტყუნებამდე:

$$a(t) = 1 - P'(t) = Q'(t); \quad Q(t) = \int_0^t a(t) dt, \quad (2.6)$$

$$P(t) = \int_0^t a(t) dt. \quad (2.7)$$

მტყუნების სიხშირე მოიცავს შემთხვევითი მოვლენის – არხის უმტყუნო მუშაობის დროის მთელ ინფორმაციას.

არხის *მტყუნების ინტენსივობა* – დროის მოცემულ მონაკვეთში მტყუნებადი და დროის იმავე მონაკვეთში არხის გამართულად მომუშავე ელემენტების შეფარდებაა, რომლის სტატისტიკურ გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{საშ}} \Delta t}, \quad (2.8)$$

სადაც  $N_{\text{საშ}} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$ ;  $\Delta t$  ინტერვალში გამართულად მომუშავე არხის ელემენტების

საშუალო რიცხვია;  $N_i$  – არხის ელემენტების რიცხვი, რომლებიც გამართულად

მუშაობს  $\Delta t$  ინტერვალის დასაწყისში;  $N_{i+1}$  – არხის ელემენტების რიცხვი, რომლებიც გამართულად მუშაობს  $\Delta t$  ინტერვალის ბოლოს.

ალბათობის განსაზღვრებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}. \quad (2.9)$$

(2.9)-ს გამოყენებით ვღებულობთ *არხის უმტყუნო მუშაობის ალბათობას*:

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]. \quad (2.10)$$

ეს გამოსახულება არხების *საიმედოობის ძირითადი განტოლებაა*.

თუ მტყუნების ინტენსივობა მუდმივია, ანუ  $\lambda(t) = \lambda = const$ , მაშინ  $P(t) = e^{-\lambda t}$ .

არხის ნორმალური ექსპლუატაციის შემდეგ, დროის ( $t$ ) მომენტში ჩნდება ცვეთის მტყუნება. ამ მომენტის შემდეგ მტყუნების ინტენსივობა მატულობს. არხის ნორმალური მუშაობის პროგნოზისათვის საჭიროა არხის უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროის ცოდნა.

არხის უმტყუნო მუშაობის *საშუალო დრო* უმტყუნო მუშაობის დროის *მათემატიკური მოლოდინია*, არხის მუშაობის პირველ მტყუნებამდე:

$$T_{\text{ბაშ}} = \int_{-\infty}^{+\infty} t a(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (2.11)$$

ან

$$\bar{T}_{\text{ბაშ}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (2.12)$$

სადაც  $t_i$  – არხის  $i$ -ური ელემენტის უმტყუნო მუშაობის დროა;  $N_0$  – გამოსაცდელი ელემენტების რაოდენობა.

არხის მტყუნებადი ელემენტების რაოდენობის ( $n_i$ ) მონაცემების არსებობის შემთხვევაში ( $t$ ) დროის თითოეულ მონაკვეთში მუშაობის საშუალო დრო პირველ მტყუნებამდე განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$\bar{T}_{\text{ბაშ}} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i t_{\text{ბაშ}i}}{N_0}, \quad (2.13)$$



სადაც  $t_{bsi} = \frac{t_{i-1} + t_i}{2}$ ,  $m = \frac{t_k}{\Delta t}$ ;  $t_{i-1}$  –  $i$ -ური ინტერვალის საწყისი დროა;  $t_i$  –  $i$ -ური ინტერვალის დასრულების დრო;  $t_k$  – დრო, რომლის განმავლობაში ყველა ელემენტი გამოვიდა წყობიდან;  $\Delta t - t_i - t_{i-1}$  – დროის ინტერვალი.

განხილული კრიტერიუმები გამოიყენება **აღდგენადი** სისტემების (მაგალითად, მაგისტრალური არხის) პირველ მტყუნებამდე (შეფერხებამდე). მაშასადამე, **მაღალი საიმედოობა – ეს მტყუნების დაბალი ინტენსივობაა**.

განვიხილოთ **აღდგენად სისტემათა** საიმედოობის ძირითადი მაჩვენებლები. აღდგენად სისტემად იგულისხმება ისეთი სისტემა, რომლის ფუნქციონირება მტყუნების შემდეგ შეიძლება აღდგეს აუცილებელ აღსადგენ სამუშაოთა განხორციელების შემდეგ.

აღდგენადი სისტემის **უმტყუნო მუშაობის ალბათობა** დროის ინტერვალში 0-დან  $t_0$ -მდე სტატისტიკურად განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$\bar{P}(t_0) = \frac{N(t_0)}{N(0)} = 1 - \frac{n(t_0)}{N(0)}, \quad (2.14)$$

სადაც  $\bar{P}(t_0)$  – უმტყუნოდ მომუშავე ელემენტების რაოდენობის ფარდობაა დროის  $t_0$  მომენტამდე გამართულად მომუშავე ელემენტების რაოდენობაზე დროის საწყის მომენტში ( $t = 0$ );  $N(t_0)$  – გამართულად მომუშავე ელემენტების რაოდენობა  $t_0$  დროის მომენტში, ანუ უმტყუნო ელემენტთა რაოდენობა  $t_0$  დროის საჭირო ინტერვალში;  $N(0)$  – მტყუნებული ელემენტების რაოდენობა  $t_0$  დროის მომენტისათვის.

მაშასადამე, **ალბათობა განისაზღვრება** დამოკიდებულებით:

$$P(t_0) = P(\theta, t_0) = P\{\theta \geq t_0\} = 1 - F(t_0), \quad (2.15)$$

სადაც  $\theta$  – სისტემის ქმედების შემთხვევითი დროა პირველ მტყუნებამდე;  $F(t_0)$  – შემთხვევითი სიდიდის განაწილების ფუნქცია;  $P(t_0)$  – იმის ალბათობა, რომ ელემენტი უმტყუნოდ იმუშაებს  $t_0$  დროის საჭირო ინტერვალში, ანუ იმის ალბათობა, რომ ელემენტის ქმედების შემთხვევითი დრო შეფერხებამდე იქნება უფრო მეტი, ვიდრე ელემენტის ქმედების  $t_0$  დროის საჭირო ინტერვალი.

**მტყუნების პარამეტრი** – დროის ერთეულში მტყუნებული ელემენტების

რაოდენობის და ელემენტების საერთო რაოდენობის შეფარდებაა, მისი სტატისტიკური გამოსახულებაა:

$$\omega(t) = \frac{n(\Delta t)}{N\Delta t}, \quad (2.16)$$

სადაც  $n(\Delta t)$  – მტყუნებადი ელემენტების რაოდენობაა  $\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)$ -დან  $\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$

მომენტამდე;  $N$  – ელემენტების რაოდენობა;  $\Delta t$  – დროის ინტერვალი.

აღდგენადი და არააღდგენადი ელემენტების რაოდენობრივი მახასიათებლების გამაერთიანებელი განტოლება მეორე ხარისხის ე.წ. ვოლტერის ტიპისაა:

$$\omega(t) = a(t) + \int_0^t \omega(\tau)a(t-\tau)d\tau \quad (2.17)$$

ან

$$\omega(S) = \frac{a(S)}{1-a(S)}; \quad a(S) = \frac{\omega(S)}{1+\omega(S)}. \quad (2.18)$$

( $t$ ) დროის მანძილზე არხის უსაფრთხო მუშაობის ალბათობა – ეს იმის ალბათობაა, რომ ( $t$ ) დროის განმავლობაში არ მოხდება ავარია:

$$P_{\text{უსაფრთხო}}(t) = P(t_i > t). \quad (2.19)$$

არხის უსაფრთხო მუშაობის ალბათობის მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს მუშაობის უმტყუნო ალბათობის ანალოგიით:

$$P_{\text{უსაფრთხო}}(t) = \frac{n(t)}{N_0}, \quad (2.20)$$

სადაც  $n(t)$  –  $t$  დროის განმავლობაში არხის უავარიოდ მომუშავე ელემენტების რაოდენობაა;  $N_0$  – ელემენტების საერთო რაოდენობა.

არხების შეუფერხებლად მუშაობის შეფასებისას მტყუნების ინტენსივობა მუდმივია ( $\lambda = const$ ), ამიტომ მტყუნების დრო, როგორც წესი, განაწილების ექსპონენციალურ კანონს ექვემდებარება:

$$P_c(t) = l^{-\lambda_c t} = l^{-\frac{t}{T_{s\&g;c}}}; \quad \lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i; \quad (2.21)$$

$$a_c(t) = \lambda_c l^{-\lambda_c t}; \quad T_{s\&g;c} = \frac{1}{\lambda_c}. \quad (2.22)$$

არხის კომპლექსის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა  $P_{კომპლ}(t)$ , შემთხვევითი და დამოუკიდებელი შემთხვევების გამრავლების წესის თანახმად, შეიძლება დადგინდეს შემდეგი გამოსახულებიდან:

$$P_{კომპლ}(t) = P_{წყშ}(t) \cdot P_{წყა}(t) \cdot P_{არხო}(t) \dots P_{საბ}, \quad (2.23)$$

სადაც  $P$  – არხის ცალკეული ელემენტების უმტყუნო მუშაობის ალბათობა;  $P_{წყშ}(t)$  – წყალმიმღების;  $P_{წყა}$  – წყალამღების;  $P_{არხო}$  – არხის;  $P_{საბ}$  – საბოლოო ნაგებობის.

საიმედოობის თეორიის თვალსაზრისით მიმდევრობითი ეწოდება ელემენტების ისეთ კავშირს, როცა ერთი ელემენტის წყობიდან გამოსვლა იწვევს მთელი სისტემის დარღვევას (გათიშვას).

მაშინ, მტყუნების ინტენსივობის გამოყენებით, ფორმულა (2.23) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$P_{კომპლ}(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda_{წყშ}(t) dt\right) \exp\left(-\int_0^t \lambda_{წყა}(t) dt\right) \dots \exp\left(-\int_0^t \lambda_{საბ}(t) dt\right). \quad (2.24)$$

ასეთი სახის გამოსახულება საშუალებას იძლევა გამოითვალოს უმტყუნო მუშაობის ალბათობა ნებისმიერი  $\lambda_i(t)$  კანონისათვის, ე.ი. ექსპლუატაციის ყველა ეტაპზე.

მაგალითად, არხის უმტყუნო გამტარუნარიანობის ალბათობა იქნება  $q_{\min}$ -დან  $q_{ხღვრ}$ -მდე გამტარუნარიანობის ალბათობის საზღვრებში, ე.ი.

$$q(t) = 1 - R(t) = P(q_{\min} \leq q \leq q_{ხღვრ}) \quad (2.25)$$

სადაც  $R(t)$  – მტყუნების ალბათობა.

$q_{\min}$ -ის საორიენტაციო მნიშვნელობა დგინდება წყალსამეურნეო ბალანსის მიხედვით, ხოლო ზღვრული მნიშვნელობა – არხის გეომეტრიული მაჩვენებლების: განივკვეთისა და წყლის ჰორიზონტიდან არხის ქიმის სიმაღლის მიხედვით.

აღსანიშნავია, რომ არხების საიმედოობის გაზრდა მიიღწევა როგორც თვით არხის, ასევე მისი ცალკეული ელემენტების საიმედოობის გაზრდით.

რადგან არ შეიძლება დაიშვას მიმდევრობითი ერთმანეთი არხის (რომელიც რეზერვის გარეშე შენდება) წყობიდან გამოსვლა, ამიტომ მისი ელემენტების საიმედოობა საკმაოდ მაღალი უნდა იყოს.

## 2.2. მიწის არხების საიმედო ფუნქციონირების კვლევა დაძველების და ხანგრძლივობის გათვალისწინებით

მე-20 საუკუნის მეორე ნახევარში უხვადაა სხვადასხვა ნაგებობათა ავარიების (დაზიანებების) მაგალითები, რომელთა შორისაა კაშხლები, არხები და სხვა ჰიდრონაგებობები. ავარიების ძირითადი მიზეზია **დაძველება**. აკად. ც. მირცხულავას და რიგი მკვლევარების კვლევები გვიჩვენებს, რომ კაშხლების ავარიები ყველაზე მასშტაბურია [13,132,145,185,204,216,232,255]. კვლევების ანალიზით გამოვლინდა ავარიების მთავარი მიზეზები: სუფოზია – 55%, ქიმზე გადმოდინება – 14% და სხვა ფაქტორები – 7%. მაშასადამე, დომინირებს დაძველებასთან დამოკიდებული პროცესები, თუ, რა თქმა უნდა, გამოვრიცხავთ ექსტრემალური სიტუაციებით გამოწვეულ ავარიებს.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ერთ-ერთი უმთავრესი ელემენტი – არხებია, რომლებიც, ისევე როგორც კაშხლები, აგრეთვე ექვემდებარება ავარიებს. ყველაზე მეტი ავარიები აღინიშნება მიწის არხებზე.

### 2.2.1. მიწის არხების წყობიდან გამოსვლის მიზეზების ანალიზი

მიწის არხების ნორმალური ფუნქციონირება ძირითადად დამოკიდებულია მისი კალაპოტის მდგრადობაზე, რომელზეც მოქმედებს შემდეგი ფაქტორები: წყლის სიმღვრივე, გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, გეოლოგიური პირობები, ნატანის რაოდენობა, არხის მცენარეებით გაბარდვა, ქარისმიერი და სხვადასხვა საგნების გადაადგილებით გამოწვეული ტალღები, არხის კლაკნილობა, მიწისქვეშა წყლების დონე, ფილტრაციის და ინფილტრაციის ხარისხი, ეროზია (ფერდების ჩამორეცხვა), ნაპირების მდგრადობა, არხების ფსკერის ჯდენადობა, გრუნტის ამობურცვა, არხის შევსების და დაცლის რეჟიმი, ლითონის ნაწილების შრომისუნარიანობის დაკარგვა – კოროზიის და მასალების დაღლილობის შედეგად, ტემპერატურის და რადიაციის გავლენა, დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობა, მიკრობზარების გაჩენა, გარემოს კოროზიული ზემოქმედება, არხების დეტალების ეროზიული ცვეთა ნატანიანი ნაკადით, არმატურის ცვეთა, კავიტაცია და სხვ.

დაშლის, ეროზიის, ცვეთის და ნგრევის პროცესების განვითარების საბოლოო შედეგია ავარიები (მტყუნება).

საქართველოს მიწის არხებზე განვითარებული დეფორმაციები გამოწვეულია როგორც ობიექტური (ქვეყნის მძიმე სოციალურ-ეკონომიკური მდგომარეობა), ისე სუბიექტური (არასწორი დაპროექტება და ექსპლუატაცია) მიზეზებით.

ახალი და რეაბილიტირებული არხების შექმნა უნდა ეყრდნობოდეს ექსპლუატაციის გარანტირებულ ვადებს. არხების ექსპლუატაციის პროცესში არ უნდა განვითარდეს ისეთი დეფორმაციები, რომლებიც შეცვლის მათ დაპროექტებულ პარამეტრებს.

მიწის არხებში განვითარებული დეფორმაციების ზოგადმა ანალიზმა აჩვენა, რომ **დომინირებს ეროზიული პროცესები**. ამიტომ მიწის არხების ფუნქციონირების საიმედოობის უზრუნველყოფის გადაწყვეტა მნიშვნელოვანია.

მიწის არხებში ეროზიული პროცესების პროგნოზირების კვლევებს მიეძღვნა მრავალი ნაშრომი, მაგრამ მათი უტყუარი გადაწყვეტა მაინც აქტუალურ საკითხად რჩება.

რადგან წყლის ნაკადის და მიწის არხების გრუნტების ურთიერთქმედების მეტად რთული მექანიზმი წყლისმიერი ეროზიის პროცესების თანამედროვე კლასიფიკაციის თანახმად, მიეკუთვნება „**ირიგაციულ**“ პროცესებს [85,139,183, 209], ამიტომ შემდგომში ჩვენ ამ ტერმინოლოგიას გამოვიყენებთ.

ირიგაციული ეროზიის განვითარების საფუძველია – მყარი ნაწილაკების მოწყვეტა, გადაადგილება და დალექვა, რომელიც განისაზღვრება ჰიდრომექანიკის და ჰიდროლოგიურ-მორფომეტრული კანონებით [39,116 და სხვ.]. კალაპოტური ეროზიის პროგნოზის მორფომეტრული მეთოდები მრავალ ნაშრომშია განხილული [10,11,12,17,29,98,118,130,164,208 და სხვ.].

ჰიდრომექანიკური მეთოდების მეშვეობით განიხილება მოძრავი წყლის და გრუნტის ჰიდრომექანიკური ურთიერთქმედების მექანიზმი, რომლის შედეგად დგინდება შესაბამისი ჰიდრაულიკური და კალაპოტის დეფორმაციების განტოლებები. ეროზიული პროცესების განტოლებების სისტემის შეკვრისათვის გამოიყენება სხვადასხვა ჰიპოთეზები და ნატანის ხარჯისა და ნაკადის არაგამრეცხი სიჩქარეების

დამოკიდებულებები.

კალაპოტების გარეცხვის პროცესების და ირიგაციული ეროზიის განტოლებების სისტემები, როგორც წესი, შედგება წყლის მოძრაობის ან ორფაზიანი – წყალი-შეტივტივებული ნატანის დიფერენციალური განტოლებებისგან, თხევადი და მყარი ფაზების ბალანსის განტოლებებისგან [36,38,47,100,124]. ასეთი მიდგომა, როგორც წესი, გამოიყენება წვრილმარცვლოვანი ერთგვაროვანი არაბმული გრუნტებისათვის და ამოიხსნება სუფთა ნაკადის მოძრაობის ჰიდრავლიკური განტოლებების მეშვეობით (სენ-ვენანის და შეზის განტოლებები) არადეფორმირებად კალაპოტებში ნატანის ბალანსის განტოლების და მყარი ხარჯის ანგარიშისათვის [24,61,98,116,120,122,167] – არაბმული გრუნტებისათვის და ბმული გრუნტებისათვის – აკად. ც. მირცხულავას მიერ შემოთავაზებული დამოკიდებულებებით [143].

ფერდობების ზედაპირის, ხრამების ირიგაციული ეროზიის ჰიდრომექანიკური მიმართულება მრავალი ნაშრომითაა წარმოდგენილი [71,73,74,86,139,142, 176,209,228 და სხვ.].

ჰიდროტექნიკური ნაგებობებით განპირობებული ადგილობრივი გარეცხვები განხილულია შემდეგ ნაშრომებში: [9,22,23,27,48,66,119,120,139,151,165,168, 171,181,199,203,211,213,254,257].

ირიგაციული არხების შექმნის დინამიკის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ საქართველოში მათი მშენებლობის ისტორია საკმაოდ მდიდარია. რაც შეეხება ბოლო პერიოდს – რევოლუციური მოვლენების დაწყებამდე (1992 წ.) ქვეყანაში მოქმედებდა 500-მდე არხი (დანართი, ცხრ. 1). საქართველოს სამელიორაციო სისტემების მართვის დეპარტამენტის მონაცემებით დღეს მოქმედებს მხოლოდ 29 არხი!

*არაბმული გრუნტების* არხების წყობიდან გამოსვლის მიზეზებია – გარეცხვა და კალაპოტის დალექვა. ნაწილაკების ადგილიდან დამვრა და მათი წყლის ნაკადით გადაადგილება – რთული პროცესია. ნაწილაკზე წყლის ნაკადის მოქმედი ძალა განიცდის უეცარ ცვლილებას, რაც განპირობებული ნაკადის ტურბულენტური მოძრაობით, სიჩქარის პულსაციით, მოქმედი ნაკადის სიღრმით, კალაპოტის სიმქისით და შეტივტივებული ნატანის რაოდენობით.

ნაკადის გარეცხვის უნარი იზრდება პულსაციის გაზრდით.<sup>7)</sup> ნაკადში ნატანის კოლოიდურ მდგომარეობაში არსებობა, ერთის მხრივ, ამცირებს სიმქისეს და ამით იზრდება ლამინარული შრე, რის შედეგადაც ნაკადის გარეცხვის უნარი მცირდება, მეორეს მხრივ, შეტივნარებული ნაკადი ამაგრებს გრუნტის არაბმულ ჩონჩხს, რის შედეგადაც იზრდება არხის კალაპოტის გარეცხვისადმი წინააღმდეგობა.

რიგი კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ნაკადის გარეცხვისუნარიანობა იზრდება პულსაციის გაზრდით (კვეთში სხვადასხვა საშუალო სიჩქარის დროს) [120]; კოლოიდურ მდგომარეობაში ნატანი, ერთის მხრივ, ზრდის გარეცხვისუნარიანობას, მეორეს მხრივ, ნატანიანი ნაკადი ამაგრებს არაბმული გრუნტის ჩონჩხს და ამით იზრდება მისი გარეცხვისადმი წინააღმდეგობა; წვრილნაწილაკებიან არაბმულ გრუნტებში ( $d < 0.2$  მმ) შეიძლება წარმოიქმნას შეჭიდულობის ძალები, რომლებიც ზრდის არაბმული გრუნტების წინააღმდეგობას [146]. აქედან გამომდინარე, არაბმულ გრუნტებში ზემოთ განხილული ფაქტორების გაუთვალისწინებლობა დაუშვებელია.

**ბმული გრუნტების** გარეცხვის პროცესები უფრო რთულია [115,135,136,139-144,146,147,149]. მიკროკინოგადაღებების მეშვეობით ბმული გრუნტების გარეცხვის პროცესის შესწავლისას დადგენილია გარეცხვის მრავალფაქტორიანი (გრუნტის შემადგენლობა, სტრუქტურული თავისებურებანი, ტენიანობა, შეჭიდულობა, ქიმიური რეაქციები, ბიოლოგიური ფაქტორები, წყლის სისუფთავე, თვით არხის კლაკნილობა, ასაკი, აგრეგატების მოწყვეტის ინტენსიურობა, რომელიც განსაზღვრავს ნაპრალების რაოდენობასა და ზომებს, წყლით მონაცვლეობითი დასველება და გაშრობა, გაყინვა და გაღებობა და სხვ.) პროცესების დამოკიდებულება [143].

## 2.2.2. მიწის არხების დაძველების და ხანგრძლივობის

### კანონზომიერების კვლევა

კვლევებმა, რომლებიც ჩატარებულია აკად. ც. მირცხულავას მიერ კაშხლების ავარიების და ნგრევის მიზეზების გამოვლინებისათვის, გვიჩვენა, რომ წყლით გამოწვეული ეროზიული პროცესები – ფილტრაცია და სუფოზია – მადომინირებელი პროცესებია, რომელთა რაოდენობა შესაბამისად შეადგენს 16% და 55%-ს, რაც

<sup>7)</sup> პულსაციის გაზრდა შეიძლება ზედაპირის სიმქისის გაზრდით.

ნაგებობების დაძველების შედეგია [137,145,148].

თუ გავითვალისწინებთ არხების და კაშხლების მუშაობის ანალოგიურობას, მაშინ არხების დაძველების პროცესი შეესაბამება კაშხლების დაძველების პროცესს, რასაც ეყრდნობა ქვემოთ მოყვანილი ჩვენი კვლევები.

ანალიზმა გვიჩვენა, რომ წყობიდან გამოსულ არხებში დომინირებს მოძველებული არხები. აქ მხედველობაში გვაქვს არხები, რომელთა ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა 30-40 წელზე მეტია, თუმცა, თუ გადავხედავთ არხების მშენებლობის ისტორიას, დღესაც მოქმედებს არხები, რომლებიც შექმნილია რამდენიმე ასეული წლის წინ.

კაშხლების ავარიების მიზეზების ანალოგიურად, არხების ავარიების 50% განპირობებულია დაძველებით – გარეცხვით, დალექვით, ფილტრაციით, სუფოზიით, ნაპრალების შექმნით, ლითონის ნაწილების კოროზიით და სხვა ფაქტორებით.

ნაშრომის ამ ნაწილში შევეცადეთ *პირველი მიახლოებით* აღვწეროთ არხების დაძველება და დაძველების ზემოქმედების მიახლოებითი შეფასება არხების ექსპლუატაციის ხანგრძლივობაზე. ამ ამოცანის გადაწყვეტა შეიძლება არხების ექსპლუატაციის მონაცემების დამუშავებით დემოგრაფიის და საიმედოობის თეორიის მათემატიკური მეთოდების გამოყენების საშუალებით [145].

როცა ვლაპარაკობთ *არხის ხანგრძლივობაზე* – ჩვენ ვგულისხმობთ ობიექტის შრომისუნარიანობის შენარჩუნების თვისებას მისი ზღვრული მდგომარეობის დაწყებამდე.

არხების ნორმალური ფუნქციონირების განჭვრეტის საფუძველი – დაძველების კანონზომიერებანია, რომლის მეშვეობით ფასდება მასალების დაზიანებების ხარისხი. ამ პროცესის ტიპური მაგალითია მასალების ცვეთის კანონები, რომელთა მეშვეობით შეიძლება დადგინდეს ცვეთის პროცესის ინტენსიურობა ან ცვეთის სიდიდე დროსთან დამოკიდებულებაში.

სხვადასხვა ობიექტების და მათი ელემენტების ხანგრძლივობის და შენარჩუნების საშუალო ვადა მასალების ფიზიკური დაძველების პროცესებითაა განპირობებული, ხოლო ობიექტის საკმაოდ მნიშვნელოვანი ფუნქციონირების ბოლოს ობიექტის ზღვრული მდგომარეობა ყალიბდება მასალების დეგრადაციის შეუქცევადი



პროცესებით. ამიტომ, ობიექტის მდგომარეობის შეფასებისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ მასალების და თვით ობიექტის **ფიზიკური დაძველების ინტენსივობა**, რომელიც განაპირობებს ობიექტის წყობიდან გამოსვლის მიზეზებს.

დაკვირვებების საშუალებით დადგინდა, რომ არხების დაძველების პროცესში მათი შემადგენელი ელემენტების ფუნქციებში და სტრუქტურაში ხდება მნიშვნელოვანი ცვლილებები, რომელთა საფუძველია ასაკობრივი დეგრადაციის პროცესი.

დაძველებული ობიექტების (არხების) წყობიდან გამოსვლის მიზეზებია ენდოგენური (შიდა წარმოშობის) ფაქტორები, რომლებიც ასაკობრივი ცვლილებების შედეგია, ესენია: ნაპრალები, ჯდენა, გაჟონვა, ლითონის ნაწილების კოროზია, ფიზიკურ-მექანიკური შიდა პროცესები და ეგზოგენური (გარე წარმოშობის) ფაქტორები, ესენია: შიდა და გარე გარემოს აგრესიულობა, კონსტრუქციების დეფორმაციები, ტემპერატურის ზემოქმედება, ექსპლუატაციის პირობები და სხვ.

**არხების დაძველება** – ეს დროში დეგრადაციის პროცესების ერთობლიობის მიმდინარეობაა, რომელიც განპირობებულია შიდა და გარე ფაქტორების მოქმედებით, რისი საბოლოო შედეგია ობიექტის წყობიდან გამოსვლა.

ამასთან დაკავშირებით მიგვაჩნია, რომ არასასურველი შედეგის (**მტყუნების დადგომის რისკი იზრდება არხების ასაკის (ფუნქციონირების ხანგრძლივობის) ზრდასთან ერთად.**

რა თქმა უნდა, მოყვანილი მასალა საბოლოოდ არ წყვეტს არხების დაძველების და ხანგრძლივობის პრობლემას, მითუმეტეს, რომ დროთა განმავლობაში ჩნდება ობიექტების წყობიდან გამოსვლის ახალი მონაცემები.

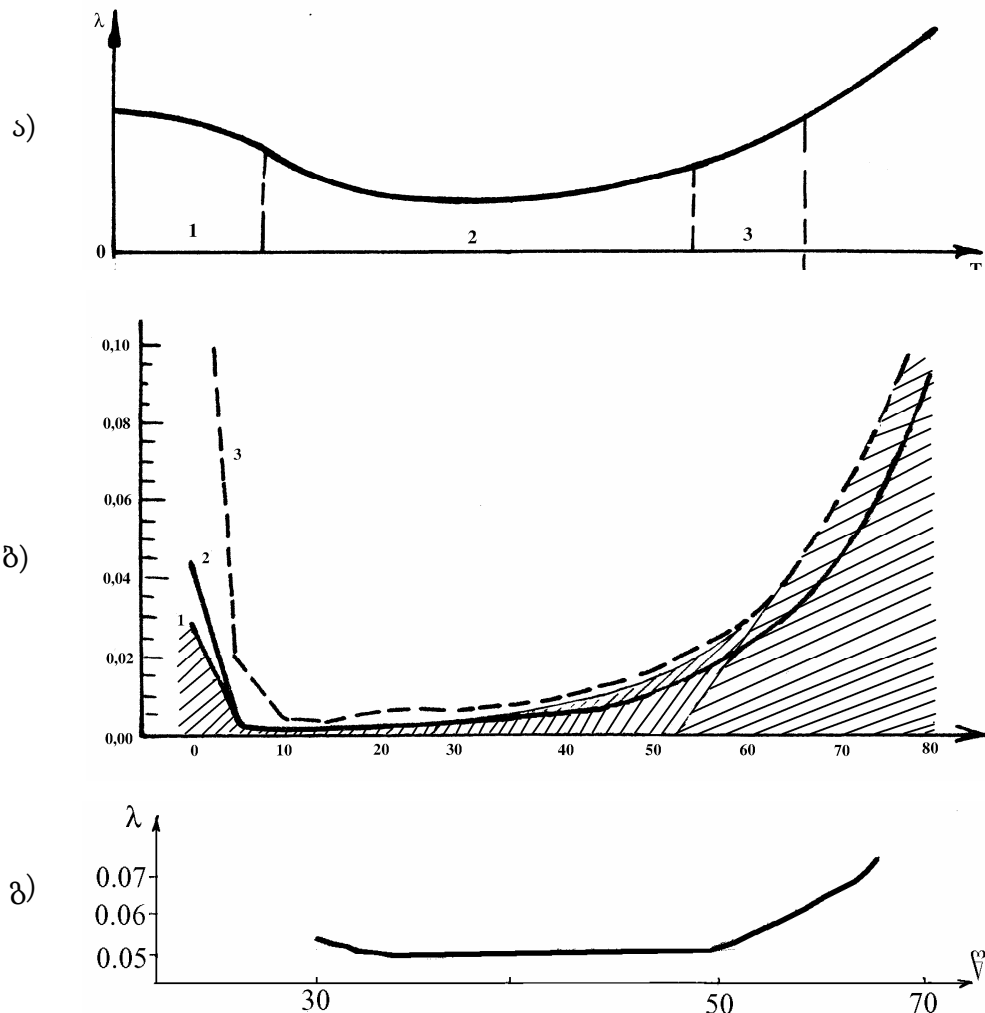
ჰიდროტექნიკური ნაგებობების, კერძოდ, კაშხლების, არხების დაძველების და ადამიანის დაბერების პროცესების მსგავსობაზე მიუთითებს აკად. ც. მირცხულავას კვლევები [141, 145] (ნახ. 2.1).

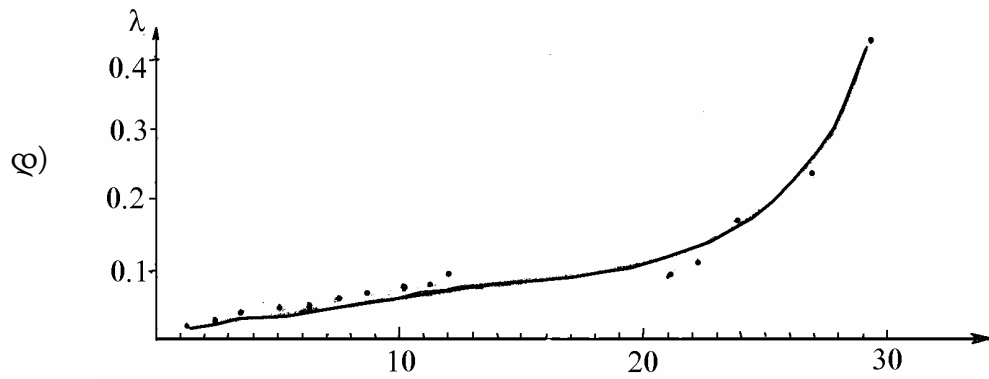
დიდი ხანია შემჩნეულია, რომ რაც უფრო ასაკოვანია ადამიანი (დაძველებულია კაშხალი ან არხი), მით უფრო მეტია საფრთხე, რომ იგი მოკვდეს (ადამიანი), გამოვიდეს წყობიდან (არხი, კაშხალი) [31,49,65,145,148]. თუ გავაანალიზებთ ადამიანის, ცხოველის, ჰიდროტექნიკური ნაგებობის დაძველების (დაბერების) პროცესებს – აღმოჩნდება მრავალი საერთო თვისება, რომელთა მეშვეობით დროთა განმავლობაში ვითარდება

ფუნქციონალური ელემენტების ცვეთა, რის შედეგადაც იზრდება მტყუნების ინტენსივობა და მთავრდება დაძველების (დაბერების) პერიოდი. სიკვდილიანობისა და ჰიდროტექნიკური ობიექტების, კერძოდ, არხების ასეთი ანალოგიურობა ჭეშმარიტია, რადგან საიმედოობის თეორიის თანახმად ნებისმიერი რეზერვირებადი სისტემა – ესაა სისტემა, რომელიც აუცილებლად ძველდება (ბერდება) და ხასიათდება მტყუნების ინტენსივობის ზრდით დროში [20,26].

ჰიდროტექნიკური ობიექტების და ადამიანთა დაძველების (დაბერების) პროცესების მსგავსება ფუნდამენტურია [19,31,57,65,132,145,216,255].

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების წყობიდან გამოსვლის მრუდები ექსპონენციალურია (მტყუნების ინტენსივობა – მუდმივია) [132,204,216,255].





ნახ. 2.1. სხვადასხვა სისტემების საიმედოობის მრუდები

- ა) ტიპური მრუდი: 1 – მუშაობის დასაწყისი; 2 – მუშაობის ნორმალური პერიოდი; 3 – ცვეთის პერიოდი
- ბ) ადამიანთა (მამაკაცების) სიცოცხლის ხანგრძლივობის მრუდი: 1 – 1984÷1985 წწ.; 2 – 1958÷1959 წწ.; 3 – 1926÷1927 წწ. [145];
- გ) კაშხლების ფუნქციონირების მრუდი [145];
- დ) ბეტონის ფილებით მოპირკეთებული არხების ფუნქციონირების მრუდი [იორდანიშვილი კ.თ., 2005]

თვით არხების და მათი ელემენტების ფუნქციონირების ხანგრძლივობის და დაძველების პროცესის პროგნოზი შეიძლება განხორციელდეს ორი მიდგომით: თეორიული და სტატისტიკური მონაცემების გამოყენებით. აქ უნდა აღვნიშნოთ, რომ თანამედროვე ეტაპზე არხების ფუნქციონირების ხანგრძლივობა ინდუქციურია, მონაცემები განზოგადებულია ცხრილების სახით და შემდეგ ირჩევა ფორმულები. იმ შემთხვევაში, თუ არ არსებობს სანდო მონაცემები არხების ფუნქციონირებისა (რადგან ჩვენ არ ვფლობთ სანდო სტატისტიკურ ინფორმაციას რიგი არხების ფუნქციონირების შესახებ), საჭიროდ მიგვაჩნია მათემატიკური სტატისტიკის თანამედროვე მეთოდის – სამყაროს შეცნობადობის გამოცდილების გამოყენება. აქვე უნდა აღვნიშნოს, რომ მონაცემებს უნდა ჰქონდეს ერთგვაროვანი და უსასრულო „ერგოდიული“ ხასიათი. რადგან ეს პირობა არ სრულდება, ამიტომ ვიყენებთ მათემატიკური სტატისტიკის არატრადიციულ მეთოდებს – ბუტსტრებ-მეთოდს, სტატისტიკური კვლევების მეთოდს (მონტე-კარლოს მეთოდი) და საექსპერტო შეფასების მეთოდს [212].

სიკვდილიანობის ასაკობრივი დინამიკის და ეკოლოგიური პრობლემების შესწავლისათვის გამოიყენება სიკვდილიანობის ცხრილი<sup>1)</sup> (ცხრ. 2.1)

ქალების სიკვდილიანობის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობის მონაცემები (1958-1959 წწ.) [31]

ასაკი (წელი) $x$	რაოდენობა, რომელნიც აღწევენ $x$ ასაკს (წელი) $l_x$	სიკვდილის ალბათობა $g_x$	$x$ ასაკამდე ცხოვრების ალბათობა $P_x$	სიკვდილის რაოდენობა $x$ ასაკიდან $(x+1)dx$ ასაკამდე
0	100 000	0.03677	0.96323	3677
1	96 323	0.00827	0.99178	797
2	95 526	0.00372	0.99628	355
3	95 171	0.00217	0.99783	207

ადამიანთა სიკვდილიანობის და ტექნიკური სისტემების, კერძოდ, კაშხლების [145] და არხების ელემენტების მტყუნების განაწილების მრუდები გომპერცის კანონს და მის სხვადასხვა მოდიფიკაციებს ექვემდებარება (ნახ. 2.1) [26,31,41,57,232].

გომპერცის ფორმულას აქვს შემდეგი სახე [65]:

$$Y = A \cdot e^{-B \cdot I^{R_a}}, \quad (2.26)$$

სადაც  $Y$  – დაბერებული (დაძველებული) ობიექტების რაოდენობა;  $I$  – შემდეგი თაობის რაოდენობა;  $A$  – ობიექტების თავდაპირველი რაოდენობა;  $R$  – შეცდომების დაგროვების სიჩქარის დამახასიათებელი პარამეტრია.

ობიექტების მნიშვნელოვანი რაოდენობის შემთხვევაში ფუნქციის ინტეგრალი შეიძლება ასეთი სახით ჩაიწეროს:

$$D = \int_0^t e^{-B \cdot I^{R_t}} dt \quad (2.27)$$

ანუ

$$K = \int_0^t (1 + e^{-B \cdot I^{R_t}}) dt \quad (2.28)$$

რომლის მეშვეობით შეიძლება დადგინდეს ობიექტის წყობიდან გამოსვლის სიჩქარე.

ორგანიზმის დაბერების მოდელი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც *პარალელურ ელემენტთა სისტემა*, რომელთა რაოდენობა ექსპონენციალურად მცირდება მინიმუმამდე, ხოლო *მიმდევრობითი ელემენტების სისტემა* გვაძლევს საშუალებას, მივიღოთ გომპერცის ფუნქციის განაწილება ექსტრემალური მნიშვნელობებისათვის [20,42].

<sup>\*)</sup> უფრო სწორად, „სიცოცხლის ცხრილი“ (life table)

დაძველების (სიკვდილიანობის) ინტენსივობა (დემოგრაფიაში – სიკვდილის ძალა) გომპერცის მიხედვით იქნება:

$$\mu_x = b \cdot C^x, \quad (2.29)$$

სადაც  $\mu_x$  – დაძველების ინტენსივობა;  $x$  – ასაკი.

მაიკჰემის მიერ მოდიფიცირებულ გომპერცის ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$\mu_x = a + b \cdot C^x. \quad (2.30)$$

დაძველების (სიკვდილიანობის) საერთო ინტენსივობა შეიძლება ასეთი სახით წარმოვიდგინოთ:

$$\mu_x = \frac{-dN(x)}{N(x)dx} = const + f(x), \quad const \geq 0, \quad f(x) \geq x; \quad (2.31)$$

სადაც  $\mu_x$  – სიკვდილიანობის ინტენსივობა ( $x$ ) ასაკისათვის;  $N(x)$  – ელემენტების (მაცხოვრებლების) რაოდენობა ( $x$ ) ასაკამდე.

პირველ შესაკრებს სიკვდილიანობის ინტენსივობის *ფონური კომპონენტი* ეწოდება, რომელიც შეიძლება მოხდეს ექსტრემალურ სიტუაციაში (კატასტროფები, უბედური შემთხვევები და ა.შ.). სხვა დანარჩენი სიტუაციები – სიკვდილიანობის ინტენსივობის ასაკობრივი კომპონენტი. მაშინ სიკვდილიანობის ინტენსივობის ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\mu_x = -\frac{l'(x)}{l_x} = -[\ln l_x]' \quad (2.32)$$

$$a + b \cdot c^x = \left[ ax + \frac{b}{\ln c \cdot C^x} \right]' \quad (2.33)$$

$$[\ln l_x]' = -\left( ax + \frac{b}{\ln c \cdot C^x} \right)' \quad (2.34)$$

რადგან ორი გამოსახულების ნამრავლი ტოლია, ამიტომ ეს გამოსახულებები განსხვავდება ერთნაირი  $l_x k$  მნიშვნელობით.

მაშინ:

$$[\ln l_x]' = \ln k - ax - \frac{b}{\ln c} C^x. \quad (2.35)$$

დავუშვათ, რომ:

$$-a = \ln S \text{ და } \frac{b}{\ln c} = \ln z \quad (2.36)$$

მაშინ:

$$\ln l_x = \ln k + x \ln S + c^x \ln z \quad (2.37)$$

ლოგარითმებიდან გადასვლის შემდეგ გვექნება:

$$l_x = k S^x Z^{c^x} \quad (2.38)$$

სადაც  $l_x$  – ობიექტების რაოდენობაა ( $x$ ) წლამდე;  $k$ ,  $S$ ,  $Z$ ,  $C$  – სტატისტიკური მონაცემების მეშვეობით განსაზღვრული პარამეტრები.

$t_1$ -დან  $t_2$ -მდე ინტერვალში დაბადებული ( $x$ ) ასაკამდე ცოცხალი ობიექტების რაოდენობა იქნება:

$$l_x = \int_{t_1}^{t_2} f(x, \tau) d\tau. \quad (2.39)$$

მსგავსი პრაქტიკული ამოცანების ამოხსნა ადვილდება კინგ-ჰარდის მეთოდით [41]. ამ მიდგომის მთავარი არსი შემდეგში მდგომარეობს – განსახილველი მწკრივი იყოფა ოთხ ასაკობრივ ერთნაირ ჯგუფად [145]. დამოკიდებულების საბოლოო სახეა:

$$\ln S = \frac{l}{t^2} [\Delta l_i + c^{x l h c} + 2 \ln(c^l - 1) + \ln(-z) - \ln(c - 1)] \quad (2.40)$$

$$\ln k = \frac{l}{t} \left[ I - \frac{t}{2} (2x - t - 1) \ln S - c^x \left( \frac{c^t - 1}{c - 1} \right) \ln z \right] \quad (2.41)$$

გომპერც-მაიკჰემის განტოლების ადამიანისათვის გამოყენების ზღვრებია 20÷80 წელი. პრობლემის ასეთი გადაწყვეტა გამოყენებულია კაშხლების დაძველების და ფუნქციონირების ხანგრძლივობის გამოსათვლელად. მიღებული შედეგები საკმაოდ კარგ თანხმობაშია რეალობასთან [145], ამიტომ არხების დაძველების პროგნოზი ჩავატაროთ ამ მეთოდის გამოყენებით.

ჩვენ შემთხვევაში სიკვდილი შეესაბამება არხის წყობიდან გამოსვლას. ერთ-ერთი მთავარი ეტაპია – არხების წყობიდან გამოსვლის (მტყუნების) ცხრილის შედგენა.

სტატისტიკური უტყუარი დაკვირვებების მეშვეობით, რომელიც ჩატარდა ზემო სამგორის სარწყავი სისტემის არხებზე ბეტონის ფილების წყობიდან გამოსვლაზე [193],

შევადგინეთ მტყუნების ცხრილი, რომლის სტრიქონები, ზემოთ მითითებული კლასიფიკაციის თანახმად, დაყოფილია ოთხ ასაკობრივ ერთნაირ ჯგუფად (ცხრ. 2.2), სადაც  $l_i$  – მათი აშენების დღიდან ( $t$ ) წლამდე ფუნქციონირებადი ფილების რაოდენობაა, რომლის მნიშვნელობაც მცირდება მათი წყობიდან გამოსვლით;  $l_0$  – ფილების რაოდენობა დასაწყისში;  $l_1, l_2 \dots l_n$  – ფილების რაოდენობა 1, 2... $n$  წლის შემდეგ;  $d_i$  – ( $t$ ) წლიდან ( $t+1$ ) წლამდე წყობიდან გამოსული ფილების რაოდენობა;  $P_i$  – მტყუნებამდე ფილების ფუნქციონირების საიმედოობა ( $t$ ) წლიდან ( $t+1$ ) წლამდე. ეს მაჩვენებელი გვიჩვენებს, თუ ფილების რა ნაწილი აღწევს ( $t+1$ ) ასაკამდე;  $g_i$  – მტყუნების ალბათობა – გვიჩვენებს, თუ ( $t$ ) ასაკის ფილების რა ნაწილი გამოდის წყობიდან ( $t+1$ ) ასაკამდე;  $L_i$  – ფილების რაოდენობა, რომლებიც აგრძელებს ფუნქციონირებას ( $t$ )-დან ( $t+1$ ) წლამდე;  $l_i^0$  – მომავალი ფუნქციონირების საშუალო ხანგრძლივობა.

$$l_0^0 = \frac{\int_0^{\omega} l_t dt - \sum_0^{\omega} L_t}{l_0} \quad (2.42)$$

სადაც  $\omega$  – ობიექტის ფუნქციონირების ზღვრული ასაკია.

ცხრილის მტყუნების მაჩვენებლების დამოკიდებულება განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$\begin{aligned} d_t &= l_t - l_{t+1} \\ P_t &= \frac{l_{t+1}}{l_t} = \frac{l_t - d_t}{l_t} \\ P_t + g_t &= 1 \\ L_t &= \int_t^{t+1} l_t d_t \cong \frac{1}{2}(l_t + l_{t+1}) \end{aligned} \quad (2.43)$$

ერთი წლის მანძილზე მტყუნების ალბათობის ინტენსივობა შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ფორმულით:

$$g_t = \frac{d_t(1 - W_t)}{l_t - 0.5d_tW_t} \quad (2.44)$$

სადაც  $W_t$  – ( $t$ ) ასაკის ობიექტების წყობიდან გამოსვლის წილია.

ზემო სამგორის სარწყავი სისტემის არხების ელემენტების  
(ბეტონის ფილები) მტყუნების ცხრილი ( $l_0 = 500$  ფილა)

არხის ასაკი წლებ ში, (t)	ფუნქციონირებადი ბეტონის ფილების რაოდენობა (t) ასაკამდე, $l_i$	წყობიდან გამოსული ბეტონის ფილების რაოდენობა (t) ასაკიდან (t+2) ასაკამდე, $d_i$	წყობიდან გამოსული ბეტონის ფილების საერთო რაოდენობა (t) ასაკიდან (t+2) ასაკამდე, $\sum d_i$	მტყუნების (წყობიდან გამოსვლის) ალბათობა, $g_i = d_i/l_i$  $g_i$	ფუნქციონირების ალბათობა (t) ასაკიდან ასაკამდე, $P_i = \frac{l_i - d_i}{l_i}$	მტყუნების (წყობიდან გამოსვლის) ინტენსივობა, $\lambda_i = \frac{2}{1 - P_i}$	წყობიდან გამოსვლის (მტყუნების) ინტენსივობის ფორმულა, $\lambda(t) = a e^{bt}$
1	2	3	4	5	6	7	8
2	500	16	16	0.0320	0.968	0.0325	$\lambda(t) = a e^{bt}$
4	484	18	34	0.037	0.9628	0.0377	
6	466	19	53	0.0407	0.9592	0.0415	$\lambda(t) = 0.03$
8	427	21	74	0.0491	0.9508	0.0503	$\lambda(t) = a e^{bt}$
10	426	21 <sup>)</sup>	95	0.0492	0.9507	0.0504	
12	405	22	117	0.0543	0.9456	0.0558	$\lambda(t) = 0.03$
14	383	24	141	0.0626	0.9373	0.0646	
16	359	26 <sup>)</sup>	167	0.0724	0.9276	0.0752	$\lambda(t) = a e^{bt}$
18	333	28 <sup>)</sup>	195	0.0841	0.9159	0.0878	
20	305	31 <sup>)</sup>	226	0.1016	0.8984	0.1070	$\lambda(t) = 0.04$
22	274	34 <sup>)</sup>	260	0.1241	0.8759	0.1323	
24	240	39	299	0.1625	0.8375	0.1769	$\lambda(t) = a e^{bt}$
26	201	47 <sup>)</sup>	346	0.2338	0.7662	0.2648	
28	154	65	411	0.4221	0.5779	0.5350	$\lambda(t) = 0.05$

\*) წყობიდან გამოსული ფილების რაოდენობა ითვლება ფუნქციონირებადი 500 ფილიდან.

**ფონური კომპონენტის განსაზღვრა** – უძველესი ამოცანაა. ამიტომ მტყუნების ინტენსივობის მაჩვენებლების შეფასებისათვის გამოვიყენოთ გომპერც-მეიკჰემის ფორმულის ტილეს მოდიფიცირებული ფორმულა [41]:

$$\lambda(t) = a e^{bt} \tag{2.45}$$

სადაც  $\lambda(t)$  – არხების მტყუნების (წყობიდან გამოსვლის) ინტენსივობაა, რომელშიც

$$\lambda(t) = \frac{2g_i}{1 + P_i} \tag{2.46}$$



სადაც  $t$  – ასაკია,  $g_t$  – ( $t$ )-დან ( $t+1$ )-მდე სიკვდილის ალბათობა;  $P_t$  – ( $t$ )-დან ( $t+1$ )-მდე სიცოცხლის ალბათობა.

თუ გვეცოდინება  $g_t$  და  $P_t$  ორი ასაკისათვის, შეიძლება გავიგოთ  $a$  და  $b$ . განტოლების ამოხსნის შემდეგ შეიძლება გამოითვალოს  $g_t$ .

**მაგალითი.** გამოვიანგარიშოთ არხის წყობიდან გამოსვლის ინტენსივობა ტილეს ფორმულით, ცხრ. 2.2-ში მოცემული არხის ფუნქციონირების მონაცემების მეშვეობით.

$$\begin{aligned} \text{გვაქვს: } g_2 &= \frac{16}{500} = 0.0320; & g_8 &= \frac{21}{427} = 0.0491; \\ P_2 &= \frac{500 - 16}{500} = 0.968; & P_8 &= \frac{427 - 21}{427} = 0.9508; \\ \lambda_2 &= \frac{2 \cdot 0.0320}{1 + 0.968} = 0.0325; & \lambda_8 &= \frac{2 \cdot 0.0491}{1 + 0.9508} = 0.0503. \end{aligned}$$

განტოლებების სისტემის ამოხსნა  $a$  და  $b$ -ს მიმართ გვაძლევს:

$$ae^{2a} = 0.0325; \quad be^{8b} = 0.0503; \quad \text{საიდანაც } a = 0.0306 \text{ და } b = 0.0373.$$

მაშასადამე, ცხრ. 2.2-ის პირველი სამი მონაცემისათვის წყობიდან გამოსვლის ინტენსივობა შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი განტოლებით:

$$\lambda(t) = ae^{bt}, \quad \lambda(t) = 0.0306e^{0.0372t} \quad (2.47)$$

მონაცემები ყველა ინტერვალისათვის და ასაკისათვის მოყვანილია ცხრ. 2.2-ში.

აპრიორული და რაოდენობრივი საანგარიშო მონაცემების შედარებამ გვიჩვენა, რომ საანგარიშო სქემები ადეკვატურად წარმოგვიდგენს არხების ფუნქციონირების ხანგრძლივობას  $t = 20$  წლამდე (როდესაც არხების ფუნქციონირების ალბათობა და შესაბამისად, მტყუნების (წყობიდან გამოსვლის) ინტენსივობა უმნიშვნელოდ იცვლება); 20 წლის შემდეგ ბეტონის ფილებით მოპირკეთებული არხების მტყუნების (წყობიდან გამოსვლის) ინტენსივობა იზრდება და უახლოვდება დაძველებული (ანუ დაბერებული) ობიექტების რიგს.

ამ გამოსახულების მეშვეობით შეიძლება განვსაზღვროთ არხების ფუნქციონირების ასაკიც ( $t$ ). თუ ჩავთვლით, რომ ადამიანის სიკვდილი და არხების წყობიდან გამოსვლა (მტყუნება, დანგრევა) – ანალოგიური მოვლენებია, შეიძლება დაახლოებით დავადგინოთ დაძველებადი არხების, რომლებიც ფუნქციონირებს ( $t$ ) ასაკამდე,

წყობიდან გამოსვლის ალბათობა ( $g_i$ ); ფუნქციონირების ალბათობა ( $t$ )-დან ( $t+1$ ) ასაკამდე და სხვა მაჩვენებლები [20,26,141].

მიღებული მტყუნების ინტენსივობის  $\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$  მონაცემების საშუალებით, თუ

გვეცოდინება ალბათობის მონაცემების ფუნქციონალური დამოკიდებულება, შეიძლება დადგინდეს დანარჩენი სამი ფუნქცია:

1. არხების უმტყუნო ფუნქციონირების ალბათობა 0-დან ( $t$ )-მდე ( $t_a$  ინტერვალში):

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}; \quad (2.48)$$

2. არხების მტყუნების ალბათობა:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}, \quad (2.49)$$

სადაც  $Q(t)$  – ალბათობის ფუნქციაა, რომელიც განისაზღვრება, როგორც საპირისპირო მოვლენის ალბათობა, ხოლო მისი დროის გრაფიკი – გადარჩენის მრუდია.

3. არხების მტყუნების განაწილების სიმჭიდროვე:

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lambda(t) e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (2.50)$$

შესაძლებელია გრაფიკული მეთოდის გამოყენებაც [41].

ასეთი ანგარიში შეიძლება ჩატარდეს არხების სხვადასხვა დეფორმაციებისათვის და კერძოდ, მიწის არხებში გარეცხვისა და დალექვისათვის, თუ, რა თქმა უნდა, გვექნება დაკვირვებების რიგი (რამდენიმე წლის მაინც).

ამრიგად, ნაშრომის ამ ნაწილში მტკიცდება მათემატიკური მეთოდების, კერძოდ, დემოგრაფიის და კაშხლების დაძველების (დაბერების) საიმედოობის თეორიის გამოყენების ნაყოფიერება არხების შესწავლისათვის.

მიგვაჩნია, რომ არხების დაძველების პროცესის ასეთი წარმოდგენა ხელს შეუწყობს იმ ღონისძიებების დამუშავებას, რომლებიც შეაფერხებს დაძველების (დაბერების) მექანიზმს და ამით გაზრდის არხების უმტყუნო ფუნქციონირების ხანგრძლივობას.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენ არ გვაქვს პრეტენზია და იმის ილუზია, რომ

არხების დაძველების პრობლემა მთლიანად გადაწყვეტილია. საბოლოო გადაწყვეტისთვის საჭიროა არხებში მიმდინარე სხვა დეფორმაციების მონაცემები წლების მანძილზე და პრობლემის განხილვა მათ ერთობლიობაში, რაც ჩვენი კვლევების შემდეგ ეტაპს წარმოადგენს.

### **თავი 3. მთიან და მთისწინა რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების კალაპოტების ეროზიული პროცესების თავისებურებანი**

#### **3.1. ბმული და არაბმული გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები**

მოკლედ განვიხილოთ ბმული და არაბმული გრუნტების განმასხვავებელი თვისებების თანამედროვე მონაცემები, რომელთა ცოდნა აუცილებელია შემდეგ თავებში გარეცხვის პროცესების განსახილველად.

##### **3.1.1. არაბმული გრუნტების ზოგადი მონაცემები**

არაბმული გრუნტები – ბუნებრივი წარმოშობის მარცვლოვანი გრუნტებია, რომელთაც არ გააჩნია შეჭიდულობის ძალები. არაბმული გრუნტები წარმოიშობა გამოფიტვის, დენუდაციის, ამოფრქვეული და ნალექოვანი ქანების ეროზიისას.

არაბმული გრუნტები იყოფა ორ ჯგუფად – მსხვილად დანაწევრებული და ქვიშისებური.

მსხვილად დანაწევრებული გრუნტები გვხვდება ელუვიალურ, გრავიტაციულ, მეწყრულ, პროლუვიალურ, ალუვიალურ, დელტურ, ზღვის და ყინულოვან დანალექებში. მდინარით ტრანსპორტირებული ნატანი არაბმული გრუნტია.

მსხვილად დანაწევრებული გრუნტების ფრაქციათა კლასიფიკაცია მოყვანილია ცხრილში 3.1 [123].

ცხრილი 3.1

მარცვლების და ნატეხების კლასიფიკაცია სიმსხოსა და სიგლუვის მიხედვით

მარცვლები და ნატეხები		ზომა, მმ
გლუვი	არაგლუვი	
ხრეში	ხვინჭიანი	2–40

კენჭები	ღორღი	40–200
კაჭარი	ქვები და ლოდები	≥ 200

გრუნტების ნაწილაკების კლასიფიკაცია სიმსხოს მიხედვით, ГОСТ 12536-79-ის თანახმად, მოყვანილია ცხრილებში 3.2 და 3.3.

ცხრილი 3.2

### გრუნტების ნაწილაკების კლასიფიკაცია

ფრაქცია	ნაწილაკის ზომა, მმ	ფრაქცია	ნაწილაკის ზომა, მმ
კაჭარი, ლოდები, ქვები	> 60	მტვრისებური:	
კენჭი, ღორღი	60–10	მსხვილი	0.05–0.01
ხრეში, ხვინჯა	10–2	წვრილი	0.01–0.005
ქვიშისებური:		თიხისებური	< 0.005
მსხვილი	2–0.5		
საშუალო	0.5–0.25		
წვრილი	0.25–0.10		
თხელი	0.10–0.05		

ცხრილი 3.3

მსხვილნამსხვრევანი და სილისებური გრუნტების კლასიფიკაცია სიმსხოთი და პროცენტული შემადგენლობის მიხედვით

გრუნტი	ნაწილაკების შემადგენლობა	
	სიმსხო, მმ	მშრალი გრუნტის მასის %
მსხვილნამსხვრევანი:	> 200	> 50
კაჭარული	> 10	> 50
კენჭოვანი	> 2	> 50
ხრეში	> 2	> 25
ქვიშა:		
ხრეშისებური	> 0.5	> 50
მსხვილი	> 0.25	> 50
საშუალო სიმსხოსი	> 0.1	≥ 75
წვრილი	> 0.25	> 50
მტვრისებური	> 0.1	< 75

გრუნტების ნაწილაკების სიმჭიდროვე წარმოადგენს მშრალი გრუნტის მასის ფარდობას ამავე გრუნტის მყარი ნაწილის მოცულობასთან. სიმჭიდროვე განისაზღვრება ჰიდრომეტრული მეთოდით (ГОСТ 5181-78).

ნატანების ნარევი ხასიათდება ფრაქციების საშუალო დიამეტრით:

$$d_{\text{საშ}} = \sum d_i p_i / 100, \quad (3.1)$$

სადაც  $d_i$  – ფრაქციის საშუალო არითმეტიკული სიმახვილი;  $p_i$  – ამ ფრაქციის პროცენტული შემადგენლობა მასის მიხედვით.

არაბმული გრუნტებიდან ყველაზე ხშირად გვხვდება ქვიშოვანი გრუნტები. ქვიშოვან გრუნტებს მიეკუთვნება ნაწილაკები დიამეტრით 0.05÷2 მმ, რომელთა შორის მნიშვნელოვნად მსხვილია ნაწილაკები დიამეტრით 1.0÷2.0 მმ, მსხვილი –0.5÷1.0 მმ, საშუალო – 0.25÷0.5 მმ, წვრილი – 0.10÷0.25 მმ და მნიშვნელოვნად წვრილი – 0.05÷0.10 მმ დიამეტრით. ქვიშაში შეინიშნება აგრეთვე ხრეშოვანი ნაწილაკები (>2.0 მმ) და 0.05 მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის ნაწილაკები.

გრანულომეტრული შემადგენლობის მიხედვით ქვიშოვანი გრუნტები იყოფა ჯგუფებად, რომელთა კლასიფიკაცია СНиП II-15-74-ის მიხედვით მოყვანილია ცხრილში 3.4.

ცხრილი 3.4

ქვიშის კლასიფიკაცია СНиП II-15-74-ის მიხედვით

ქვიშის სახეობა	ნაწილაკების შემადგენლობა
ხრეშოვანი	(> 2.0 მმ) > 25%
მსხვილი	(> 0.5 მმ) > 50%
საშუალო სიმახვილი	(> 0.25 მმ) > 50%
წვრილი	(> 0.10 მმ) > 75%
მტვრისებური	(> 0.10 მმ) < 75%

როგორც წესი, ქვიშაში ჭარბობს (99%-მდე)  $\text{SiO}_2$ , თიხამიწა, რკინის, კალციუმის და მაგნიუმის ჟანგი, აგრეთვე ალუმოსილიკატები და ა.შ.

ქვიშის სიმკვრივე, როგორც წესი, იცვლება 2620-დან 2700 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე. ქვიშების მოცულობითი მასა დამოკიდებულია მათ სიმკვრივეზე, ფორიანობაზე და სინოტივეზე. ქვიშოვანი გრუნტების მოცულობითი მასა განისაზღვრება ბუნებრივი სინოტივისა და ფორიანობისას, მშრალ მდგომარეობაში და წყალში ყოფნის დროს.

ქვიშების ბუნებრივი სინოტივე მერყეობს მაქსიმალური ჰიგროსკოპულობიდან სრულ ნაჯერობამდე.

ქვიშების ფორიანობა მერყეობს 20-დან 55%-მდე. მათში ჭარბობს კაპილარული ფორები, რომელთა ზომაა 0.2÷100 მმკ. ფორების საშუალო ზომა მერყეობს 88 მმკ-დან მონოდისპერსიულ ქვიშებში, 42 მმკ-მდე მძიმე ქვიშნარებში.

ფხვიერი ნაწილაკებს, რომელთაც იდეალური სფეროს ფორმა აქვს, შეიძლება ჰქონდეს ფხვიერი (ფორიანობა – 47.7%) და მკვრივი (ფორიანობა – 25.9%) აღნაგობა.

ქვიშები იყოფა ფხვიერ ( $M = (l_{\max} - l_{\text{გუნებრ.}}) / (l_{\max} - l_{\min}) = 0 \div 0.33$ ) და მკვრივ ( $M = 0.68 \div 1.0$ ) ქვიშებად, სადაც  $l_{\max}$  და  $l_{\min}$  შესაბამისი ფორიანობის კოეფიციენტებია.

ქვიშებს გააჩნია მცირე ბმულობა, რაც შეიძლება აიხსნას ნაწილაკების შეჭიდულობის, კაპილარული ბმულობის და მარილების მაცემენტირებელი თვისებებით.

ქვიშების ნაწილაკების ფორმა შემდეგია: გაბრტყელებული, მრგვალი, გაბრტყელებულ-ცილინდრული და ცილინდრული. ნაწილაკების ფორმა ხასიათდება იზომეტრულობის  $(l + c)/b$ , გაბრტყელებულობის  $(l + b)/2c$ , სფერულობის და მომრგვალებულობის კოეფიციენტით, სადაც  $l$  – ნაწილაკის სიგრძეა,  $b$  – სიგანე,  $c$  – სისქე.

ქვიშების შიგა ხახუნის კუთხე (ნაწილაკებისათვის დიამეტრით  $d = 0.0052 \div 0.0192$  დიუმი) შეიძლება განისაზღვროს Gipson-ის დამოკიდებულებით [256]:

$$\text{tg } \varphi = kd^{0.125} \gamma_1^{0.19} r_1^{0.25}$$

სადაც  $\varphi$  – შიგა ხახუნის კუთხეა წყალში;  $d$  – ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი (დიუმებში);  $\gamma_1$  – ნაწილაკების ხვედრითი წონა წყალში;  $r_1$  – ნაწილაკების უფრო დიდი დიამეტრის შეფარდება ნაკლებზე;  $k = 0.92$ .

Simons-ის მიერ შემოთავაზებულია ცხრილი შიგა ხახუნის კუთხის დასადგენად (ცხრ. 3.5) [256].

ცხრილი 3.5

შიგა ხახუნის კუთხის მნიშვნელობები

მედიანური დიამეტრი (დიუმებში)	კუთხე (გრადუსებში, °)		
	ხორკლიანი ნაწილაკები	ნაწილაკები ძლიერი ხორკლიანობით	მრგვალი ფორმის ნაწილაკები
0.01	32.0	31.4	29.2
0.05	34.5	32.9	29.5
0.10	36.6	33.8	29.5
0.50	40.0	37.5	32.5

1.00	40.8	39.1	34.8
5.00	42.0	41.2	38.3
10.00	42.2	41.5	39.2

СНП II-15-74-ის მიხედვით ძვრის წინააღმდეგობის მაჩვენებლები და ქვიშების დეფორმაციის მოდულები მოყვანილია ცხრილში 3.6.

მსხვილნამსხვრევებიანი ქანები ხასიათდება ნაწილაკების პეტროგრაფიული, მინერალური და გრანულომეტრული შემადგენლობით, ფორიანობით, ზომით, შრეების ფორმით და მასივში განაწილებით.

წყლის ნაკადში ნაწილაკის ძირითადი მახასიათებელია თავისუფალი ვარდნის სიჩქარე – ანუ ჰიდრავლიკური სიმსხო. ამ მაჩვენებლის დადგენის მეთოდის და მისი მნიშვნელობები მოყვანილია სპეციალურ ლიტერატურაში.

კალაპოტის სიმქისე (ხორკლიანობა) მჭიდროდაა დაკავშირებული ნატანის გეომეტრიულ ზომებთან. სიმქისის და ნატანის სიმსხოს დამოკიდებულება მრავალი მკვლევარის მიერაა გამოკვლეული (ცხრ. 3.7) [5,13,25,58,59,63,64,69, 80,81,82,98,106,160,164,165,187,196,205,210,214,223,225,239,243,246,253].

ცხრილი 3.6

ქვიშების ხვედრითი შეჭიდულობის ნორმატიული  $C^H$  (მპა), შიგა ხახუნის კუთხის  $\varphi^H$  (°) და დეფორმაციის მოდულის  $E$  (მპა) მნიშვნელობები

ქვიშის სახეობა	მახასიათებელი	გრუნტის მახასიათებელი ფორიანობის კოეფიციენტის დროს			
		0.45	0.55	0.65	0.75
მსხვილი	$C^H$	0.002	0.001	–	–
	$\varphi^H$	43.0	40.0	38.0	–
	$E$	50.0	40.0	30.0	–
საშუალო სიმსხოს	$C^H$	0.003	0.002	0.001	–
	$\varphi^H$	40.0	38.0	35.0	–
	$E$	50.0	40.0	30.0	–
წვრილი	$C^H$	0.006	0.004	0.002	–
	$\varphi^H$	38.0	36.0	32.0	28.0
	$E$	48.0	38.0	28.0	18.0
მტვრისებური	$C^H$	0.006	0.005	0.004	0.002
	$\varphi^H$	36.0	34.0	30.0	26.0
	$E$	39.0	13.0	18.0	11.0

კლასიკური ჰიდრავლიკის ფორმულები გამოიყენება კვადრატული არის (AB-ს მარჯვნივ) ან ნაკადის ტურბულენტური მოძრაობის მთელ არეში (ნახ. 3.1, ცხრ. 3.7).

ანგარიშებში რვა ტიპის სიმქისის კოეფიციენტის მახასიათებელია: შეზის კოეფიციენტი –  $C_g$  (მ<sup>1/2</sup>/წმ); ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტი  $\lambda_r$  (უგანზომილებო); სიმქისის კოეფიციენტი განგილიე და კუტერის მიხედვით –  $n_i$  (უგანზომილებო); წრფივი სიმქისე –  $\varepsilon$  (მმ); სიმქისის კოეფიციენტი –  $K$  (უგანზომილებო);

ცხრილი 3.7

ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტების დადგენის არსებული ძირითადი დამოკიდებულებების ქრონოლოგიური კრებსითი ცხრილი

№	ავტორი	წელი	ფორმულა	ხორკლიანობის ფაქტორი	გამოყენების საზღვრები
1	2	3	4	5	6
1.	მანინგი, შტრიკლერი	1923	$\frac{C_g}{\sqrt{g}} = 6.67 \left( \frac{R}{d_{50}} \right)^{1/6}$	$d_{50}^{1/6} = \frac{n_i \sqrt{g}}{0.15}$	კვადრატული არე
2.	უილიამსონი	1933	$n_i = 0.031H^{1/6}$		—, —
3.	ენოროზი ვ.ს.	1955	$\frac{C_g}{\sqrt{g}} = 3.16 \left( \frac{l}{n} \right)^{1/2} \left( \frac{R}{n_i} \right)^{1/8}$	$\left( \frac{n_i}{l} \right) = 0.1$ ფსკერის სიმკვრივის მახასიათებელი	—, —
4.	პავლოვსკი	1964	$C_g = \frac{1}{n_i} R^y$ , სადაც $R < 1$ , $y = 1.3 \sqrt{n_i}$	$n_i$ – განგილიე და კუტერის სკალით	—, —
5.	მანინგი	1964	$C_g = \frac{1}{n_i} R^{1/6}$	—, —	—, —
	მოსტკოვი მ.ა.	1964	$n_i = 0.049 \Delta^{1/6}$	$y = 1/6$ , $m_0 = 6.5$	—, —
	ფორგეიმერი	1964	$n_i = 0.06 \Delta^{1/5}$		—, —
	გონჩაროვი	1964	$n_i = 0.044 \Delta_1^{1/6}$	$\Delta_1 = 0.7 d_{5\%}$	—, —
6.	განგილიე და კუტერი	1964	$C_g = \frac{23 + \frac{1}{n_i}}{1 + 23 \frac{n_i}{\sqrt{R}}}$	—, —	—, —



ცხრილი 3.7 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6
7.	ზახმეტიევი, ფედოროვი, აგროსკინი	1964	$C_g = \frac{1}{n_i} + 17.72 \lg R$	— „ —	— „ —
8.	სნიშენკო	1964	$\sqrt{\frac{2}{\lambda_r}} = \frac{C_g}{\sqrt{g}} = \sqrt{\frac{l}{n + 0.33l}}$	$\frac{n_i}{l} = 0.1$	— „ —
9.	შტრიკლერი [რაუზი, 1967]	1967	$n_i = \frac{0.15}{\sqrt{g}} \Delta^{1/6}$		— „ —
10.	ტალმაზა კროშკინი	1968	$n_i = (0.05 \div 0.16) H^{1/6+1/3}$		— „ —
11.	აშშ	1969	$\frac{C_g}{\sqrt{g}} = 6.67 \left( \frac{R}{d_{65}} \right)^{1/6}$	$d_{50}^{1/6} = \frac{n_i \sqrt{g}}{0.15}$	— „ —
12.	ზნამენსკი	1969	$\lambda_r = (2H/\delta)/\text{Re}^\gamma$	$H/\delta = (d/\Delta)^{0.75}$	— „ —
13.	აბუ ალამი, კენედი	1969	$\lambda_r = f ct \left( \frac{U}{\sqrt{g} d_{50}}, \frac{R}{d_{50}} \right)$		— „ —
14.	ლოვერა კენედი	1969	$\lg \sqrt{\frac{2}{\lambda_r}} = \lg \frac{C}{\sqrt{g}} = 0.49 +$		— „ —
15.	ალტშული	1970	$C_g = 20 \lg \frac{R}{\varepsilon + 0.385 \nu / \sqrt{g}}$ ; $C_g = 20 \lg \frac{h}{\varepsilon}$ ; $C_g = 20 \lg \frac{2}{100i}$	$\varepsilon = 0.143 \Delta$ ; $\Delta = 0.7d$ ; $\Delta = (2/n)^6$	ტურბულენტური მოძრაობის მთელ არეში
16.	ალტშული უვინ ტეინი	1973	$C_g = 14.8/i^{1/6} - 26$		

ცხრილი 3.7 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6
17.	სენტრუკი	1973	$n_i = 0.041 d_{50}^{1/5}$ ; $n_i = 0.038 d_{90}^{1/6}$	$d - \theta$	
18.	ზეგჯა (პოლონეთი)	1979	$\frac{1}{\lambda_r} = 4 \lg \frac{R}{\Delta} + 4.25$	$\Delta = \left( \frac{2}{3} \div 1 \right) / d$	
19.	ზეგჯა (პოლონეთი) გრიშანიანი	1979	$\frac{2}{\sqrt{\lambda_r}} = \frac{C_g}{\sqrt{g}} = 5.66 \lg \frac{R}{1.6d}$	$d_{50} \leq 1.5 \theta$	

20.	ლიმერინოსი	1980	$n_i = \frac{0.113H^{1/6}}{1.16 + 2.0011g(H/d)}$	$d < 84\%$ (მმ) მასის მიხედვით	
21.	შტერენლიხტი, ფოლად-ზადე	1980	$n_i = 6.1\sqrt{g} \lg \frac{1.83R}{\sigma_{Hb}}$	$\sigma$ - ხორკლიანობის სტატისტიკური მაჩვენებელი	
22.	ჟელეზნიაკოვი	1981	$C_g = \frac{1}{n_i} + 2.3 \frac{\sqrt{g} + C}{K_{\max} + K_m}$	განვილიე და კუტერის სკალით	
23.	აკანი, აკილტოპუ	1983	$\lambda_r = \frac{0.223}{Re^{0.25}} + 382 \left( \frac{\Delta}{H} \right)^{1.3}$	— „ —	$Re = 2000 \div$
24.	ალტშტული	1983	$C_g = 25 \left( \frac{R}{\varepsilon + 0.025/(Ri)} \right)^{1.1}$	$\varepsilon$ - სიმქისის პარამეტრი	ტურბულენტურ ი მოძრაობის მთელ არეში
25.	აკანი, აკილტოპუ	1983	$\lambda_r = \frac{24}{Re} + 10501 \left( \frac{\Delta}{H} \right)^{3.82}$	$\Delta$ - სიმქისის პარამეტრი, მმ	$Re < 2000$
26.	ოსპანოვი	1984	$\lambda_r = (1.4 \div 1.6) 10^2$	$n_i = 0.02$	$Re > 6500$
27.	ოსპანოვი	1984	$\lambda_r = 126/Re$	— „ —	$Re \leq 6500$

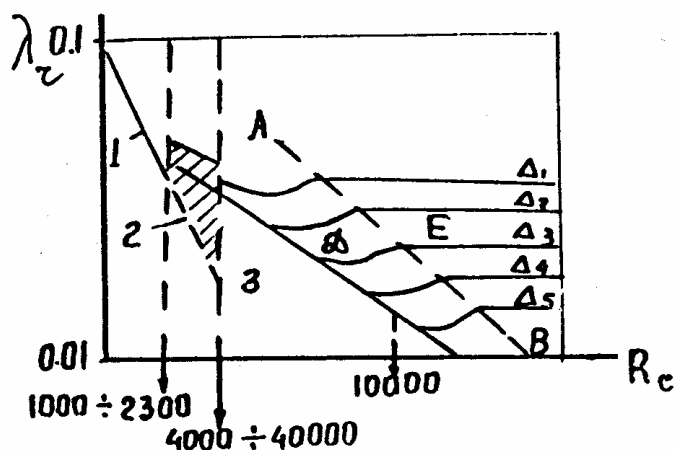
ცხრილი 3.7 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6
28.	ალტუნინი, ლარიონოვა	1987	$C_g = 2.05\sqrt{g}(B/H)^{0.57} (1/n_i)$	$n_i = f(B/H)$	$i = (1.26 \div 2)$ $i = (2 \div 10) 10^2$
29.	შტრიკლერი	1988	$1/n_i = 21.1/d_{bs}^{1/6}$	$d_{bs}$	შერეული არე
30.	მილერი	1988	$1/n_i = 26.0/d_{90}^{1/6}$	$d_{90}$	— „ —
31.	გლადკი- გავორა	1988	$1/n_i = 54.58/d_{bs}^{4.58d_{bs}}$	$d_{bs}$	— „ —
32.	პოლონეთი	1988	$1/n_i = 2.9/d_{bs}^{1.6} i^{1.3}$	$d_{bs}$	— „ —
33.	დებოლსკი გუბელაძე	1990	$\lambda = \frac{\alpha^2 \Delta^2}{\varepsilon} \left( \frac{1}{50} + \frac{3.6}{Re^{215}} + \right)$	$\varepsilon = f(d_{bs})$	ფილტრაციული ნაკადი
34.	მესხელი	1990	$\lambda = 10^{0.511g^2 R}$	$d_{50} \leq 0.38$ მმ	$R = 3.2 \cdot 10^4$
35.	აივაზიანი	1992	$\lambda = a + KI^x R^z$	$\Delta/R = const$	შერეული არე

36.	კუზნეცოვი გლაზუნოვი	1996	$n = 0.05\Delta^{0.17} + 0.065 e^{-1\Delta, \text{ მ}}$	$Re < 300,$ $V > 0.3$ მ/წმ
37.	სადკოვსკი	1996	$n_i = 0.044\Delta^{1/6};$ $\lg \lambda/2\lambda = 2\lg(\Delta/h)$	$Re \geq 300,$ $V > 0.3$ მ/წმ

$\Delta$  – ნაკადის სიღრმე,  $d_{60}$  – ხორკლიანობის ელემენტის დიამეტრი. სიმქისის გეომეტრიული სიმაღლე –  $\Delta$  (მმ); სიმქისის ერთეულოვანი კოეფიციენტი –  $k$  (უგანზომილებო), რომელთა შორის დამოკიდებულება, მარტივი გარდაქმნების შემდეგ, შეიძლება ასე გამოისახოს, (ცხრ. 3.8):

$$n_i = \frac{R^{1/6} \sqrt{\lambda_r}}{2\sqrt{2g}}; n_i = \frac{0.17}{\sqrt{g}} \frac{R^{1/6}}{\lg \frac{11R}{\Delta}}; K_1 = 1.35K; k = \frac{\sqrt{R}}{V} = \frac{\sqrt{di}}{V}; C_g = \frac{1}{n_i} R^{1/6} \quad (3.2)$$



ნახ. 3.1. ნიკურამის გრაფიკის სქემა

(აღნიშვნები:  $\Delta_r = \frac{\Delta}{d}$ ,  $\Delta$  – სიმქისის გეომეტრიული სიმაღლე;  $d$  – ნაკადის სიღრმე; 1 – ლამინარული რეჟიმის არე; 2 – გარდამავალი რეჟიმის არე; 3 – გლუვი კალაპოტის არე;  $D$  – წინაღობის არე კვადრატულობამდე;  $E$  – წინაღობის კვადრატულობის არე)

თუ ნაკადის სიჩქარე  $V > 0.3$  მ/წმ, მაშინ, პავლოვსკის ფორმულის თანახმად, სიმქისის კოეფიციენტი დამოკიდებულია ხორკლიანობის ელემენტის სიმაღლეზე.  $V < 0.3$  მ/წმ შემთხვევაში სიმქისის კოეფიციენტი დამოკიდებულია ნაკადის სიჩქარეზე.

არსებული ფორმულების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ შეზის კოეფიციენტი ( $C_g$ ), ძირითადად, დამოკიდებულია ჰიდრავლიკურ რადიუსზე ( $R$ ) და სიმქისის კოეფიციენტზე ( $n_i$ ), რომლის მნიშვნელობაც კონკრეტულ შემთხვევაში ძნელად დასადგენია.

ანალიზმა გვიჩვენა, რომ კალაპოტის ფიზიკური მდგომარეობა ხასიათდება კალაპოტის სიმქისით, რომელიც დამოკიდებულია ხორკლიანობის შვერილების

სიმაღლეზე. მაგალითად, თუ  $n_i$ -ს გამოვთვლით ფორმულით  $C_g = \frac{1}{n_i} R^{1/6}$ , მაშინ

სიმქისის კოეფიციენტი დამოკიდებულია კალაპოტში ნაკადის მოძრაობის სხვა წინააღმდეგობებზე.

ცხრილი 3.8

სიმქისის კოეფიციენტების დამოკიდებულება ( $C_{\sigma}$  – შეზის კოეფიციენტი,  $m^{1/2}/\sqrt{\sigma}$ );  $\lambda_r$  – სიმქისის ჰიდრავლიკური კოეფიციენტი;  $K, K_1$  – სიმქისის კოეფიციენტი;  $n_i$  – სიმქისის კოეფიციენტი განვილიე და კუტერის მიხედვით;

$\varepsilon$  – წრფივი სიმქისე, მმ

№	$R(d)$ $\sigma$	$i$	$n=0.011$ $K_1=1.09$ $K=0.80$ $\varepsilon=0.30$		$n=0.014$ $K_1=1.00$ $K=0.74$ $\varepsilon=1.00$		$n=0.02$ $K_1=0.80$ $K=0.59$ $\varepsilon=6.00$		$n=0.03$ $K_1=0.70$ $K=0.51$ $\varepsilon=20.0$		$n=0.04$ $K_1=0.60$ $K=0.44$ $\varepsilon=30.0$		$n=0.05$ $K_1=0.50$ $K=0.37$ $\varepsilon=40.0$	
			$C_{\sigma}$	$\lambda_r$	$C_{\sigma}$	$\lambda_r$	$C_{\sigma}$	$\lambda_r$	$C_{\sigma}$	$\lambda_r$	$C_{\sigma}$	$\lambda_r$	$C_{\sigma}$	$\lambda_r$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.	0.30	0.1	74.4	0.014	58.4	0.023	40.9	0.047	27.3	0.105	20.4	0.188	16.4	0.294
2.	0.34	0.1	76.0	0.013	59.7	0.022	41.8	0.044	28.7	0.105	20.9	0.178	16.7	0.285
3.	0.38	0.1	77.4	0.013	60.8	0.021	42.6	0.043	28.4	0.097	21.3	0.172	17.0	0.271
4.	0.42	0.2	78.7	0.012	61.8	0.020	43.3	0.041	28.9	0.094	21.6	0.169	17.3	0.263
5.	0.46	0.2	79.9	0.012	62.8	0.019	43.9	0.040	29.3	0.091	22.0	0.163	17.6	0.256
6.	0.50	0.2	81.0	0.011	63.6	0.019	44.5	0.039	29.7	0.089	22.3	0.158	17.8	0.250
7.	0.60	0.3	83.5	0.011	65.6	0.018	45.9	0.037	30.6	0.084	23.0	0.149	18.4	0.232
8.	0.70	0.3	85.7	0.010	67.3	0.017	47.1	0.035	31.4	0.079	23.6	0.140	18.6	0.222
9.	0.80	0.3	87.6	0.010	68.8	0.016	48.2	0.033	32.1	0.076	24.1	0.135	19.3	0.210
10.	0.90	0.1	89.3	0.009	70.2	0.015	49.1	0.032	32.8	0.072	24.6	0.129	19.7	0.204
11.	1.00	0.1	90.9	0.009	71.4	0.015	50.0	0.031	33.3	0.070	25.0	0.126	19.9	0.200
12.	1.2	0.1	93.7	0.008	73.6	0.01	51.5	0.029	34.4	0.067	25.8	0.117	20.6	0.185
13.	1.4	0.2	96.2	0.008	75.6	0.013	52.9	0.028	35.3	0.062	26.0	0.112	21.2	0.175
14.	1.6	0.2	98.3	0.008	77.2	0.013	54.1	0.026	36.1	0.060	27.0	0.108	21.6	0.169
15.	1.8	0.2	100.3	0.007	78.8	0.012	55.1	0.025	36.8	0.058	26.7	0.106	21.0	0.161
16.	2.0	0.3	102.0	0.007	80.2	0.012	56.1	0.024	37.0	0.056	28.1	0.099	22.5	0.156
17.	2.4	0.3	105.2	0.007	82.7	0.011	57.8	0.023	38.6	0.053	28.9	0.090	23.2	0.147

ცხრილი 3.8 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
18.	2.8	0.3	108.0	0.006	84.8	0.010	59.5	0.022	39.6	0.050	29.7	0.089	23.7	0.140
19.	3.5	0.1	112.0	0.006	88.0	0.010	61.6	0.020	41.1	0.046	30.8	0.082	24.6	0.129
20.	4.5	0.1	116.8	0.005	91.8	0.009	64.2	0.019	42.8	0.042	32.1	0.076	25.7	0.119

21.	5.0	0.1	118.9	0.005	93.4	0.009	65.4	0.018	13.6	0.041	32.7	0.073	26.1	0.114
-----	-----	-----	-------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------

სადაც  $C_g = \frac{1}{n_i} R^{1/6}$ ,  $K_1 = \frac{0.12}{\sqrt{ni}}$  [162];  $K = f(\Delta)$  [СНИП, 1982],  $\lambda_r = \frac{8g}{C_g^2}$ ;

$$\varepsilon = \frac{25R - 0.025\sqrt{Ri}}{C_g} \quad [14]$$

კალაპოტის ფსკერის წინაღობის და მორფოლოგიური შვერილების დამოკიდებულების არარსებობის გამო  $n_i = f(\Delta)$  ფორმულების გამოყენება სტატიკურად წონასწორული კალაპოტებისათვის შეზღუდულია [60,152]. ასეთივე მდგომარეობაა  $n_i = f(H)$  ფორმულებისათვისაც [246]. გამოკვლევებმა შესაძლებელი გახადა სიმქისის კოეფიციენტის დადგენა არხის ექსპლუატაციის რეჟიმის გათვალისწინებით. ეს რეჟიმებია:

- *სტატიკურად მდგრადი რეჟიმი* – შეესაბამება ნაკადის არაგამრეცხ სიჩქარეს;
- *კვაზი-დინამიკური გარდამავალი რეჟიმი* – ფორმირდება სტატიკურიდან დინამიკურ მდგრადობაში გადასვლისას. წვრილი ღარაკების შექმნით და ფსკერული ნატანის გატანით, სანაპირო დეფორმაციები არ აღინიშნება;
- *დინამიკურად მდგრადი რეჟიმი* – ფორმირდება ძირითადად არხის სწორხაზოვან კალაპოტში, სადაც ხდება ფსკერული ნატანის ტრანსპორტირება მსხვილი ღარაკების და მცირე კვლების მეშვეობით, ნაკადის წრფივობის შენარჩუნებით. სანაპირო დეფორმაციები არ აღინიშნება;
- *არამდგრადი რეჟიმი* – ხასიათდება ნაკადის ცვალებადობით.

განხილულ რეჟიმებს შეესაბამება ე.წ. „შილდის პარამეტრი“ ( $f$ ) [251], რომლის მეშვეობითაც ფასდება ფსკერული ნატანის ნაწილაკების მდგრადობა:

$$Hi = f d, \quad (3.3)$$

სადაც  $f$  განსაზღვრავს კალაპოტში გრუნტის ნაწილაკების მდგომარეობას (სტატიკურად მდგრადი კალაპოტის ზონაში  $f = 0.074$ ; კალაპოტის ზღვრული მდგრადობის ზონაში  $f = 0.10$ ; კალაპოტის კვაზიდინამიკურად მდგრად ზონაში ნატანის მოძრაობის დასაწყისისას  $f = 0.13$  და ნატანის მასობრივი მოძრაობის დასაწყისისას  $f = 0.30$ ; დინამიკურად მდგრადი კალაპოტის წრფივ ზონაში  $f = 0.20 \div 0.42$  და კლაკნილ

ზონაში  $f = 0.42 \div 1.00$ ; კალაპოტის არამდგრად ზონაში  $f > 1.0$ ).

ნათელია, რომ თუ  $f > 0.74$ , მაშინ ხდება როგორც ნატანის ტრანსპორტირების, ისე კალაპოტის სიმქისის ზრდა.

დღეისათვის არხების დაპროექტებისას ხელმძღვანელობენ СНиП II-52-74-ით და წვრილ ქვიშოვან გრუნტებში, როგორც წესი,  $n = 0.020 \div 0.03$ .

**ალაზნის არხის** დაპროექტებისას სხვადასხვა უბნებზე მიღებულია  $n_i = 0.025 \div 0.030$  (СНиП II-52-74), რაც შეესაბამება ნატანის ინტენსიურ მოძრაობას და განეკუთვნება კალაპოტის დინამიკურად მდგრადი რეჟიმის ზღვარს ( $f = 0.42$ ).

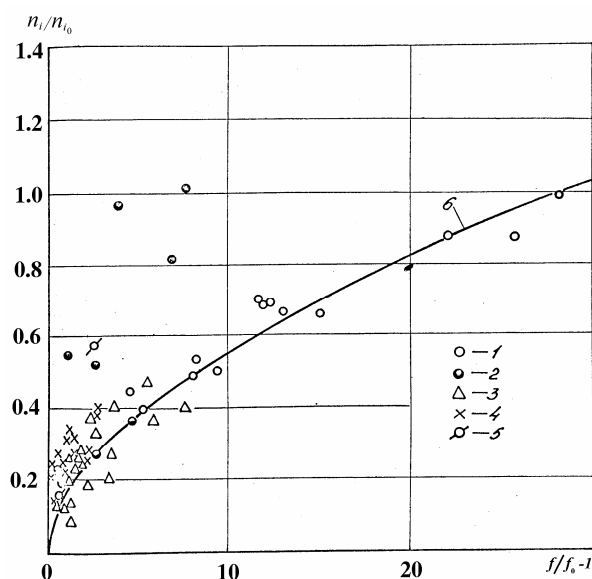
აქედან გამომდინარე, არ შეიძლება სიმქისის კოეფიციენტის დანიშვნა არხში ექსპლუატაციის რეჟიმის გაუთვალისწინებლად, რადგან არხში შეიძლება წარმოიქმნას გეგმიური დეფორმაციები.

რაც შეეხება  $n_i = 0.020$  მნიშვნელობის სიმქისის კოეფიციენტის გამოყენებას *თიხოვანი გრუნტების* არხებში, ეს გამართლებულია, რადგან ასეთ არხებში არაგამრეცხი სიჩქარის მნიშვნელობა მეტია, თუმცა ნაკადის დინამიკური ღერძი გამრუდებულია და არ ემთხვევა არხის გეომეტრიულ ღერძს.

მთიან ზონაში, სადაც არხის კალაპოტი, როგორც წესი, ხასიათდება კენჭოვანი და ხრეშოვანი გრუნტებით და სადაც  $f > 2,2$ , სიმქისის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეიძლება გამოვსახოთ ასეთი სახით [შუა აზიის მდინარეების მაგალითზე] (ნახ. 3.2):

$$n_i = n_{i0} \left[ 1 + 0.16 \left( \frac{f}{f_0} - 1 \right)^{0.54} \right], \quad (3.4)$$

ე.ი. ამ შემთხვევაში სიმქისის კოეფიციენტის დანიშვნა შეიძლება მხოლოდ ნაკადის შესაბამისი რეჟიმისათვის.



ნახ. 3.2.  $\frac{n_i}{n_{i0}} = f\left(\frac{f}{f_0}\right)$  გრაფიკი შუა აზიის მდინარეთა კალაპოტის ხრეშოვანი

და კენჭოვანი გრუნტებისათვის. 1 – მდ. პსკემი; 2 – მდ. ნარინი; 3 – მდ. ჩატკალი; 4 – მდ. ასა; 5 – მდ. ჩუ; 6 – 2.11 ფორმულით მიღებული მრუდი მთიანი და მთისწინა ზონებისათვის.

ჰიდრავლიკური წინაღობის ალბათურ-სტატისტიკური ხასიათის გამო ყურადღება საჭიროებს კვლევები, რომლებიც ჩატარებულია კალაპოტის სიმქისის სტატისტიკური მაჩვენებლების ( $\sigma_{Hb}$ ) გათვალისწინებით (ცხრ. 2.7) [160].

ცალკე უნდა აღინიშნოს კვლევები, რომლებიც ეძღვნება სიმქისის გაძლიერებული კოეფიციენტის დანიშვნას სწრაფმავალში [7,97,112,159,171,230]. ამ კვლევების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ გაძლიერებული ხორკლიანობის გამოყენება სიჩქარის მნიშვნელოვნად შემცირების საშუალებას იძლევა.

განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს სიმქისის კოეფიციენტის კვლევები წყალსაცავების, ზღვისა და მსხვილი არხების ნაპირებზე ტალღების აგორებისას, რომელთა შედეგები მოყვანილია სპეციალურ ლიტერატურაში.

### 3.1.2. ბმული გრუნტების ზოგადი მონაცემები<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> ბმული გრუნტების ძირითადი მახასიათებლების ანალიზი ჩატარებულია არსებული ლიტერატურიდან [Мирцхулава Ц.Е., 1988; Сергеев Е.М., 1959, 1971]

ბმული გრუნტების (თიხა, თიხნარი, ქვიშნარი) ნაწილაკები ერთმანეთთან დაკავშირებულია პლასტიკური (წყალ-კოლოიდური) და ხისტი (ცემენტაციურ-კრისტალიზებული) კავშირებით. მათი წინააღმდეგობა წყვეტაზე განპირობებულია მათი შეჭიდულობით (ბმულობის ძალებით).

თიხოვანი გრუნტები ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული და მიწის ქერქის ნალექი ქანების 65-82%-ს შეადგენს. ისინი გვხვდება სხვადასხვა ასაკის დანალექებში.

სტრუქტურული ბმების ხასიათის მიხედვით ქანები შეიძლება დაიყოს: – ქანებად ცემენტაციური ხისტი კავშირით (მასიური კრისტალური – მაგმატური და მეტამორფული), ამ ჯგუფს მიეკუთვნება აგრეთვე ფხვიერი ნალექი ქანები – ბმული (თიხოვანი) და არაბმული (ქვიშნარი).

თიხოვანი გრუნტები – პოლიდისპერსიული სისტემები, შედგენილი სხვადასხვა სიმსხოს ნაწილაკებით. ამ ქანებში შეინიშნება ქვიშოვანი და მტვრისებრი ნაწილაკებიც. აქტიური როლი თიხოვან გრუნტებში უკავია ნაწილაკებს, რომელთა დიამეტრი ნაკლებია 0.002 მმ-ზე და რომელთა რაოდენობა 30%-ზე მეტია.

თიხოვან გრუნტებს გააჩნია დამახასიათებელი შეჭიდულობა და პლასტიკურობა. თიხები წარმოიქმნება მთის ქანების ქიმიური გამოფიტვის შედეგად. როგორც წესი, თიხა ტრანსპორტირდება უშუალოდ წყლის ნაკადით, მისი დალექვა ხდება შესაბამის ჰიდრაულიკურ პირობებში.

**სტრუქტურა** – თიხოვანი გრუნტების ძირითადი მახასიათებელია, რომელიც განაპირობებს მათ წინაღობას გარეცხვისადმი. გრუნტების სტრუქტურა დამოკიდებულია წყლის ქიმიური შემადგენლობაზე, თიხის მინერალიზაციაზე და დალექვის პროცესში ქანების ფორმირების ხასიათზე.

სტრუქტურა ხასიათდება ელემენტების ზომით, ფორმით, სტრუქტურული ელემენტების ზედაპირის ხასიათით; ტექსტურა – ხასიათდება ამ ელემენტების სივრცეში განლაგებით. ტექსტურა განაპირობებს ქანების არაერთგვაროვნების ხარისხს და სტრუქტურული ელემენტების ორიენტაციას.

პირობითად შეიძლება გამოვყოთ მაკრო, მეზო და მიკროტექსტურები, რომელთა კვლევა შეიძლება ვიზუალურად, პოლარიზებული და ელექტრონული მიკროსკოპით და რენტგენო-სტრუქტურული მეთოდით.



ცხადია, რაც უფრო ნაკლებია ნაწილაკების ზომა (დიამეტრი), მით მეტია მათი ზედაპირის ფართი და შესაბამისად, მეტია მიზიდულობის ძალა, რომლის მეშვეობითაც კოლოიდური და თიხოვანი ნაწილაკები ეწებება ერთმანეთს. თიხოვანი გრუნტების მახასიათებელი თავისებურებაა – აგრეგირება.

**ბმულობა** – ბმული (თიხოვანი) გრუნტების უმთავრესი მაჩვენებელია. გრუნტების ბმულობის ფორმირებაში უმთავრესი როლი უკავია ე.წ. ვან-დერ-ვაალსის მიზიდულობის ძალებს, რომლებიც განპირობებულია ელექტროქიმიური ძალებით. დადებითი და უარყოფითი ელექტრონული მუხტების არსებობა განაპირობებს თიხოვანი გრუნტების სტაბილიზაციას.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ თიხოვანი გრუნტების (კაოლინური ელემენტების შრეების) ბმულობა განპირობებულია წყალბადით, კათიონური კავშირებით, სხვადასხვა ელემენტების ქიმიური ცემენტაციის ძალებით და ა.შ. როგორც წესი, ელექტრონული ძალები უფრო სუსტია, ვიდრე ვან-დერ-ვაალსის. გრუნტების პლასტიკურობაზე, გაჯირჯვებაზე, წებოვნობასა და დაღობაზე მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ახდენს კათიონების შემადგენლობა. 0.002 მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის ნაწილაკები ხასიათდება მნიშვნელოვანი კოაგულაციით, გაჯირჯვებით, წებოვნებით.

თიხოვანი ფრაქციები შეიძლება დავყოთ მსხვილ (0.001÷0.002 მმ), წვრილ (0.0002÷0.001 მმ) და თიხოვან-კოლოიდურ (0.000001÷0.0002 მმ) ფრაქციებად.

თიხოვანი გრუნტების *ფიზიკური თვისებები* განაპირობებს მათ წინააღმდეგობას სხვადასხვა დეფორმაციებისადმი. მათი მთავარი თვისებებია:

– თიხოვანი გრუნტის სიმჭიდროვე (გრუნტის მასის და ფორებში წყლის მასის ჩათვლით და გრუნტის მოცულობის შეფარდება), რომლის მნიშვნელობაა 2700÷2780 კგ/მ<sup>3</sup>. თიხოვანი ნაწილაკები დაფარულია შებმული წყლის აპკით, რომლის სიმკვრივე ერთზე მეტია, რის გამოც თიხის სიმკვრივე 5÷10%-ით მატულობს;

თიხოვანი გრუნტების სინოტივე (გრუნტში წყლის მასის და მშრალი გრუნტის მასის შეფარდება) – მერყეობს 5-დან 100%-მდე. თიხოვანი გრუნტების სინოტივე (სრული წყალგაჯერებისას) დამოკიდებულია მათ ფორიანობაზე – რაც მეტია ფორიანობა, მით მეტია სინოტივე. კოლოიდების დაძველებას, როგორც წესი, მოჰყვება გრუნტის სინოტივის შემცირება;

თიხოვანი გრუნტების მოცულობით მასა მერყეობს 1350÷1900 კგ/მ<sup>3</sup> ფარგლებში,

ძლიერ მკვრივი თიხებისათვის –  $1750 \div 2300$  კგ/მ<sup>3</sup>, რაც დამახასიათებელია წყლის დონის ქვემოთ განლაგებული გრუნტებისათვის;

თიხოვანი გრუნტების დასველებისას ხდება მათი გაჯირჯება, ხოლო გამოშრობისას – დაჯდომა. ამ თვისებით შეიძლება აიხსნას დიდი სიღრმიდან ამოღებული თიხოვანი გრუნტის მოცულობითი მასის შემცირება;

**გრუნტის ჩონჩხის მოცულობითი მასა** – მნიშვნელოვანი საანგარიშო მახასიათებელი, რომლის მნიშვნელობა მკვეთრად არ იცვლება გრუნტის სინოტივის შეცვლისას;

**თიხების ფორიანობა** – მერყეობს  $30 \div 60\%$ -ის ფარგლებში. ფორების მცირე ზომების გამო ისინი მთლიანად დაკავებულია ფიზიკურად დაკავშირებული წყლით. ამიტომაც, რომ თიხები პრაქტიკულად წყალგამტარია. თიხების წყალგამტარობა ძირითადად დამოკიდებულია ფორების ზომაზე – რაც უფრო დიდია ფორები, მით მეტია წყალგამტარობა და შესაბამისად, უფრო ჩქარა ხდება გრუნტის გამჭიდროება.

გრუნტების შემსწავლელ მეცნიერებაში მიღებულია **აქტიური ფორიანობის** ცნება – ესაა ფორების მოცულობა, რომლის ცვლილების გამო ხდება დეფორმაცია.

**სინოტივის ხარისხი** (წყალგაჯერების ხარისხი, შეფარდებითი სინოტივე) – გრუნტის ფორებში წყლისა და აირის შეფარდებითი შემადგენლობის მაჩვენებელია. გრუნტებში განასხვავებენ თავისუფალ, ატმოსფეროსთან დაკავშირებულ და მშრალი ნაწილაკებით ადსორბირებულ აირებს. თიხების სინოტივის ხარისხი გრუნტის წყლების დონის ქვემოთ მერყეობს 0.8-დან 1.0-მდე. როგორც კვლევებმა გვიჩვენა, სინოტივის ხარისხი განაპირობებს თიხოვანი გრუნტების გარეცხვის პროცესს.

**წყალ-ფიზიკურ თვისებებს** მიეკუთვნება **ჰიგროსკოპული სინოტივე** და **ტენ-ტევადობა**: ჰიგროსკოპული მაქსიმალური, მოლეკულური მინიმალური, კაპილარული და სრული.

ჰიგროსკოპული სინოტივე მჭიდროდ დაკავშირებული წყლის ორთქლიდან ადსორბირებული წყლის მასის და 1 კგ მშრალი გრუნტის შეფარდებაა. მნიშვნელოვანი ჰიგროსკოპულობით გამოირჩევა მონტმორილონიტური თიხები (12-16%), კაოლინები (3-4%).

**მაქსიმალური ჰიგროსკოპულობა** შეესაბამება გრუნტის სინოტივეს, თუ ჰაერში წყლის ორთქლის შეფარდებითი სინოტივე აღწევს 100%-ს. მონტმორილონიტურ

თიხებში მაქსიმალური ჰიგროსკოპულობა 43%-ს აღწევს, კაოლინებში – 12%-ს, ჰიდროქარსოვან თიხებში – 15%-ს.

გარეცხვის პროცესის შესწავლისას აუცილებელია *სრული ტენტევადობის* ცოდნა, რომელიც შეესაბამება ფორების მოცულობის წყლით მთლიანად შევსებას.

თიხოვან არამაკროფორიან გრუნტებში სრული და კაპილარული ტენტევადობა პრაქტიკულად ერთნაირი მნიშვნელობისაა.

გრუნტის გარეცხვის პროცესების შესწავლისას აუცილებელია ვიცოდეთ ბმული გრუნტების *პლასტიკური თვისებები*. გრუნტების პლასტიკური კონსისტენცია შეზღუდულია სინოტივის ზედა და ქვედა პლასტიკურობის  $W_L$  და  $W_p$  ზღვრით. თიხოვან გრუნტებში  $W_p$ -სას შეიმჩნევა კაპილარული წყლის, ხოლო  $W_L$ -სას – ოსმოსური და თავისუფალი წყლის არსებობა.

გამარილიანებულ თიხოვან გრუნტებს მცირე პლასტიკურობა გააჩნია. პლასტიკურობა დამოკიდებულია აგრეთვე გრუნტის მინერალურ და გრანულომეტრულ შედგენილობაზე, რაზეც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია პლასტიკურობის სიდიდე და ზედა და ქვედა ზღვარი.

თიხოვანი ქანების შემადგენლობისა და მათი პლასტიკურობის კავშირი ხასიათდება კოლოიდური აქტივობის ( $A_K$ ) და ჰიდროფილურობის ( $K$ ) მაჩვენებლებით.

$A_K$  – პლასტიკურობის მაჩვენებლის და თიხის ფრაქციის შემადგენლობის შეფარდებაა. მისი სიდიდის მიხედვით თიხოვანი გრუნტები იყოფა მაღალაქტიურ ( $A_K > 1.25$ ), ნორმალური აქტივობის ( $A_K = 0.75 \div 1.25$ ) და არააქტიურ ( $A_K < 0.75$ ) გრუნტებად [143].

$K$  – ჰიდროფილურობის მაჩვენებელი განისაზღვრება პლასტიკურობის ზედა მაჩვენებლის და თიხოვანი ნაწილაკების შეფარდებით.

პლასტიკურობის მაჩვენებელი გამოიყენება გრუნტების გრანულომეტრული კლასიფიკაციის მიახლოებითი შეფასებისას. СНП II-15-74-ში ისინი დაყოფილია პლასტიკურობის მაჩვენებლის მიხედვით ქვიშნარებად ( $0.01 \div 0.07$ ), თიხნარებად ( $0.07 \div 0.17$ ) და თიხებად ( $0.17$ ). უფრო დაწვრილებითი მონაცემი მოყვანილია ცხრ. 3.9-ში.

თიხოვანი გრუნტების ფიზიკური მდგომარეობა განპირობებულია მათი სინოტივით, რომლის მნიშვნელობის მიხედვით თიხოვანი გრუნტების შეიძლება იყოს

მყარ, პლასტიკურ ან დენად მდგომარეობაში. სინოტივის მომატება იწვევს გრუნტის დენად მდგომარეობაში გადასვლას.

სინოტივის (კონსისტენციის) მაჩვენებლის მიხედვით თიხოვანი გრუნტების მდგომარეობა ხასიათდება დენადობის ( $W_L$ ) და პლასტიკურობის ქვედა ზღვრის ( $W_P$ ) მნიშვნელობებით. პლასტიკურობის ქვედა ზღვარი ( $W_P$ ) ახლოსაა მაქსიმალურ მოლეკულურ წყალტევადობასთან ( $W_L$ ).

ცხრილი 3.9

გრუნტების გრანულომეტრული კლასიფიკაცია

გრუნტი	გრუნტის სახეობა	პლასტიკურობის მაჩვენებელი	ქვიშოვანი და ხრეშოვანი ნაწილაკების (0.04÷4 მმ) შემადგენლობა, %
თიხა	მძიმე	>0.35	–
	მსუბუქი	0.24÷0.35	–
თიხნარი	მძიმე	0.18÷0.24	>35
	საშუალო	0.14÷0.18	>40
	მსუბუქი	0.10÷0.14	>45
მტვრისებური თიხნარი	მძიმე	0.18÷0.24	<35
	საშუალო	0.14÷0.18	<40
	მსუბუქი	0.10÷0.14	<45
ქვიშნარი	მძიმე	0.06÷0.10	>50
	მსუბუქი	0.06	>50
მტვრისებური ქვიშნარი	მძიმე	0.06÷0.10	<50
	მსუბუქი	<0.06	<50

სტრუქტურული ბმების სინოტივის და სიმტკიცის მიხედვით თიხოვან გრუნტებს გააჩნია სხვადასხვა პლასტიკური კონსისტენცია ( $L_L$ ), რომლის მნიშვნელობა დგინდება დამოკიდებულებით:

$$L_L = (W - W_P) / (W_L - W_P), \quad (3.5)$$

სადაც  $W$ ,  $W_P$  და  $W_L$  – შესაბამისად, გრუნტის სინოტივე, პლასტიკურობის ქვედა და ზედა ზღვრებია.

$L_L$  მაჩვენებლის მიხედვით თიხოვან გრუნტებს ახასიათებს შემდეგი მდგომარეობები (СНП II-15-74): მყარი –  $L_L < 0$ ; პლასტიკური  $0 < L_L < 1$ ; დენადი –  $L_L > 1$ .

თიხოვანი გრუნტების სინოტივის ზღვრული მნიშვნელობების სხვაობას პლასტიკურობის რიცხვს ( $I_P$ ) უწოდებენ.

ქვიშნარების პლასტიკურობის რიცხვი –  $I_P = 0.01 \div 0.17$ ; თიხნარების –  $I_P = 0.07 \div 0.17$ , თიხების –  $I_P > 0.17$ .

კონსისტენციის მახასიათებელი ( $L_L$ ) ახასიათებს თიხოვანი გრუნტების შემდეგ მდგომარეობებს: მყარი –  $L_L > 0$ ; ნახევრად მყარი  $0 \leq L_L < 0.25$ ; ძნელადპლასტიკური –  $0.25 \leq L_L \leq 0.50$ ; რბილპლასტიკური –  $0.50 < L_L \leq 0.75$ ; დენადპლასტიკური –  $0.75 < L_L \leq 1.0$ .

თიხოვანი გრუნტების დენადობის და პლასტიკურობის მაჩვენებლები განისაზღვრება სტანდარტული კონუსის მეთოდით – გაგლინვა 3 მმ ან ზონარად.

გრუნტების გაჯირჯვებულ კლასს მიეკუთვნება კრიტერიუმები:  $[(l_0 - L_L)/(1 + l_0)] < (-0.3)$ , სადაც  $l_0$  და  $L_L$  – ბუნებრივი სტრუქტურის და პლასტიკურობის ზედა ზღვრის მქონე გრუნტების ფორიანობის კოეფიციენტებია.

გრუნტის *მექანიკური თვისებები* დამოკიდებულია გრუნტების შემადგენლობაზე და აგებულებაზე, ე.ი. მინერალების შემადგენლობაზე, კრისტალურ აგებულებაზე, ნაწილაკების აგრეგაციაზე, მაკროსტრუქტურის და ტექსტურის თვისებებზე. მექანიკური თვისებები ვლინდება ძირითადად შეკუმშვის და ძვრის წინააღობის სახით. მათ უდიდესი მნიშვნელობა აქვთ თიხების სიმტკიცის და მდგრადობის შეფასებისას.

ბმული გრუნტების ძვრის ზღვრული წინააღობა (კულონის კანონი) – ნორმალური წნევის ( $\sigma$ ) პირველი ხარისხის ფუნქციაა:

$$\tau = C + f\sigma \quad (3.6)$$

სადაც  $f$  – შიგა ხახუნის კოეფიციენტი,  $C$  – შევიწროების კოეფიციენტი.

თიხის გრუნტების ძვრის წინააღობა დამოკიდებულია გრუნტის სინოტივეზე, სიმჭიდროვეზე, შემადგენლობაზე, აგებულების თავისებურებებზე, წნევის აწევის ტემპებზე და ა.შ. სიმჭიდროვის, თიხოვანი ნაწილაკების და მინერალების, კოლოიდური აქტივობის ზრდით იზრდება ძვრის წინააღობაც.

მაშასადამე, თიხოვანი გრუნტების ბმულობა ბუნებრივი დამახასიათებელი თვისებაა, რომელიც განაპირობებს სიმტკიცის თვისებებს.

გრუნტების ბმულობა განპირობებულია ნაწილაკების ურთიერთმიზიდულობით საკუთარი ძალების ველის მეშვეობით (ე.წ. ადსორბცია).

ამრიგად, კვლევების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ბმული გრუნტების შეჭიდულობის ძალები განპირობებულია მოლეკულურ-კონტაქტური, ცემენტაციური, სტრუქტურულ-კოლოიდური და მექანიკური კავშირებით.

გრუნტის წყვეტაზე წინააღობის შეფასებისათვის საჭიროა წყვეტაზე მათი

ხვედრითი შეჭიდულობის ( $C_p$ ) ცოდნა. ეს პარამეტრი განისაზღვრება თიხოვანი გრუნტებისაგან დამზადებული ძელაკის გამოცდით. შეჭიდულობის მიახლოებით მნიშვნელობის დადგენა შეიძლება ცხრილებიდან 3.10 და 3.11 (СНиП II-15-74).

ცხრილი 3.10

თიხოვანი გრუნტების შეჭიდულობის ( $C$ )  $10^5$  პა მნიშვნელობები

გრუნტი	საანგარიშო შეჭიდულობა, $C$ , $10^5$ პა
თიხა, თიხნარი:	
მცირე სიმკვრივის	0.01
საშუალო სიმკვრივის	0.05
მკვრივი	0.15
ძლიერ მკვრივი	0.30

ცხრილი 3.11

თიხოვანი გრუნტების ხვედრითი შეჭიდულობის ( $C_p$ )  $10^5$  პა და შიგა ხახუნის კუთხის ( $\varphi$ ) მნიშვნელობები

თიხების სახეობანი და კონსისტენციის ნორმატიული მნიშვნელობების ზღვარი	გრუნტის მახასიათებელი	გრუნტის მახასიათებლები ფორიანობის კოეფიციენტის ( $I$ ) შესაბამისად						
		0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	1.05
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ქვიშნარი 0...0.25	$C_p$	0.15	0.11	0.08	–	–	–	–
	$\varphi$	30	29	27	–	–	–	–
0.25...0.75	$C_p$	0.13	0.09	0.06	0.03	–	–	–
	$\varphi$	28	26	24	21	–	–	–
თიხნარი 0...0.25	$C_p$	0.47	0.37	0.31	0.25	0.22	0.19	–
	$\varphi$	26	25	24	23	22	20	–
0.25...0.5	$C_p$	0.39	0.34	0.28	0.23	0.18	0.15	–
	$\varphi$	24	23	22	21	19	17	–
0.5...0.75	$C_p$	–	–	0.25	0.20	0.16	0.14	0.12
	$\varphi$	–	–	19	18	16	14	12
თიხა 0...0.25	$C_p$	–	0.81	0.68	0.54	0.47	0.41	0.36
	$\varphi$	–	21	20	19	18	16	14

ცხრილი 3.11 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.25...0.5	$C_p$	–	–	0.57	0.50	0.43	0.37	0.32
	$\varphi$	–	–	18	17	16	14	11
0.5...0.75	$C_p$	–	–	0.45	0.41	0.36	0.33	0.29
	$\varphi$	–	–	15	14	12	10	7

### 3.2. მიწის არხებში არაგამრეცხი სიჩქარის პროგნოზის არსებული მეთოდების ანალიზი

მიწის არხების გარეცხვის პროცესები – ნაწილაკების ძვრა, გადაწევა და გადაადგილება – რთული მოვლენაა. ნაკადის უნარი – მოწყვიტოს და გადაადგილოს გრუნტის ნაწილაკები (ეროზია) დამოკიდებულია თვით ნაწილაკების ფიზიკურ თვისებებზე და წყლის ნაკადის პარამეტრებზე.

ნაკადის მნიშვნელოვანი სიჩქარეებისას ფსკერის ნაწილაკები იწყებს მოძრაობას, ხოლო შეტივტივებული ნატანი ნაკადს მოაქვს; ნაკადის არასაკმარისი სიჩქარის დროს შეტივტივებული და ფსკერული ნატანის ნაწილაკები ფსკერზე ილექება.

მიწის არხების დაპროექტებისას უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა არაგამრეცხი (დასაშვები) და არადამლექი სიჩქარეების დანიშვნა. ამ დროისათვის ამ საკითხების გადასაწყვეტად დაგროვილია უამრავი ლიტერატურული მასალა პუბლიკაციების, რეკომენდაციების და ნორმატივების სახით.

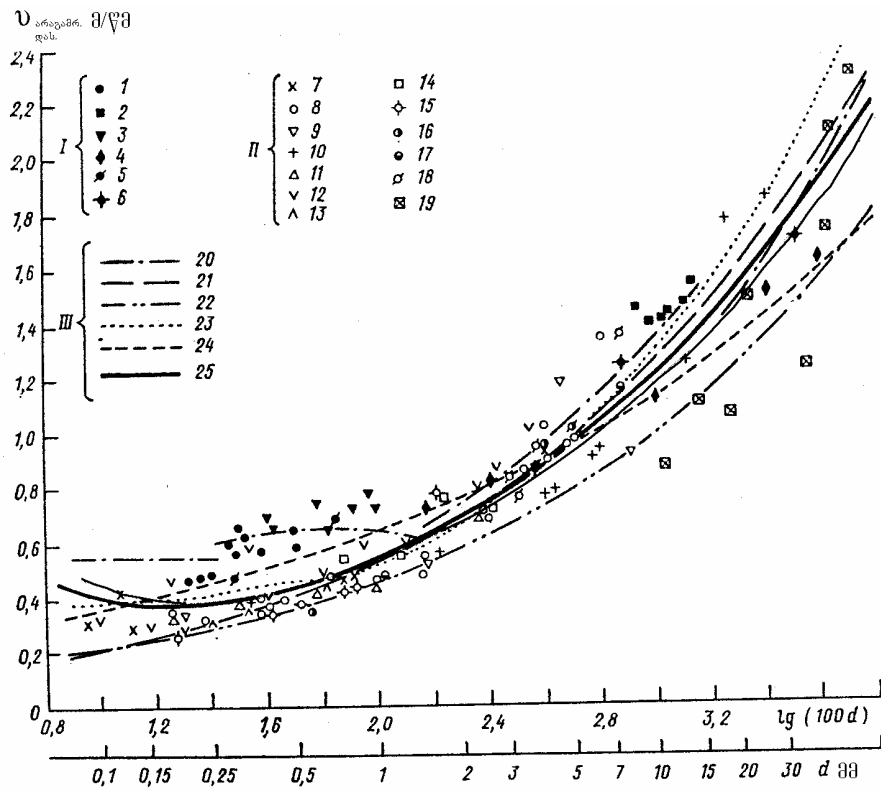
### 3.2.1. მიწის არხებში არაგამრეცხი სიჩქარის პროგნოზის არსებული მეთოდების ანალიზი არაბმული გრუნტებისათვის

არაგამრეცხი სიჩქარის მნიშვნელობების დადგენისას ჩვენ ვსარგებლობდით ნაკადის იმ საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობით, რომელიც შეესაბამება გრუნტის ზღვრული წონასწორობის პირობებს. ვ.ს. კნოროზის და ც.ე. მირცხულავას კვლევებში არაგამრეცხი სიჩქარეა ორი სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობა, რომლებიც, თავის მხრივ, შეესაბამება პირველ და მასობრივ მოძრაობას [106,146]. ასეთი მიდგომა აადვილებს მათ ანალიზს და შედარებებს.

არაბმული გრუნტებისათვის არაგამრეცხი (დასაშვები) სიჩქარის საანგარიშო მეთოდების კრების, რომელთაც გააჩნია მეცნიერული მნიშვნელობა, მოყვანილია ცხრილში 3.12 [10-12,39,40,52,58-61,68,84,99,104,105,107,113,120,126-128,136,139,143,146,149,190,191,201,207 და სხვ.].

მოცემულ კრებაში არაა განხილული უამრავი სხვა მონაცემი, რომელსაც მხოლოდ ისტორიული მნიშვნელობა გააჩნია.

სხვადასხვა ავტორების მიერ შემოთავაზებული ფსკერული არაგამრეცხი სიჩქარის საანგარიშო მეთოდების გრაფიკული შედარება მოცემულია ნახ. 3.3-ზე.



ნახ. 3.3. დასაშვები (არაგამრეცხი) სიჩქარეების შედარება არაბმული გრუნტებისათვის ( $H=1$  მ) [Мирцхулава Ц.Е., 1988]

*ნატურული მონაცემები (I):* 1 – მდ. ოკაზე; დესნაზე, ვიჩეგდაზე (Трофимов Г.И.); 2 – მდ. ანგარაზე; 3 – მდ. ვოლგაზე; 4 – Листван Л.Л.; 5 – Пучкуров А.Ф.; 6 – არხებზე; III (გურია I, გაზიონი, აიმ I, იამგი) ტაჯიკეთში.

*ლაბორატორიული მონაცემები (II):* 7 – ც. მირცხულავა, რ. დანელია; 8 – Кнороз В.; 9 – Студеничников Б.; 10 – Гончаров В.; 11 – Ревяшко С.; 12 – Великанов М., Бочков Н.; 13 – Беракян А.; 14 – Пушкарев Г.; 15 – ნანკინის ლაბორატორია; 16 – Доу Го-Жень; 17 – Хо-Му-Тань; 18 – Муйер-Петер; 19 – ახალი ზელანდიის მონაცემები.

*თეორიული მონაცემები (III):* 20 – Леви И.И.; 21 – Гончаров В.Н.; 22 – Шамов Г.И.; 23 – Кнороз В.С., Алтунин С.Т., Мирцхулава З.Ц., Альтштуль А.Д.; 24 – Студеничников Б.И.; 25 – Мирцхулава Ц.Е.

ცხრილი 3.12

ნაკადის არაგამრეცხი სიჩქარის განსაზღვრის დამოკიდებულებების ქრონოლოგიური კრებში არაბმული გრუნტებისათვის

№	წელი	ავტორი	ფორმულა	ფაქტორების აღნიშვნა და გამოყენების საზღვრები
1	1753	Brams	$v_{\text{გრ}} = k \cdot m^{1/6}$	$k$ – ემპირიული კოეფიციენტი $m$ – ნაწილაკების მასა
2	1816	Du Buat L.	$v_0 = A_1 \sqrt{\gamma_{\text{გრ}} - 1} \sqrt{gd}$	$\gamma_{\text{გრ}}$ – ნატანის მოცულობითი წონა



1	2	3	4	5
3	1871	Sunjen	$v_0 = k\sqrt{d}$ $\left( v_0 = \sqrt{\frac{8gr(\gamma_{\text{პრ}} - \gamma_{\text{ფ}})f}{3\xi\gamma_{\text{ფ}}}} \right)$	$k = 5.0$ ; $r, d$ – ნაწილაკების რადიუსი და დიამეტრი; $f = 0.8$ – ხახუნის კოეფიციენტი; $\xi$ – საბრჯენის კოეფიციენტი
4	1885	Ery	$v_0 = \sqrt[5]{\frac{G}{A}}$	$G$ – ნაწილაკების წონა
5	1919	Exner F.	$v_0 = 0.23 \div 0.76$ $v_0 = 1.53 \div 1.81$ $v_0 = 1.81 \div 6.1$	ქვიშა ხრეში მყარი ნატანი
6	1919÷1926	Fertier S. Scobey F. აშშ	$v_0 = 0.45 \div 0.76$ $v_0 = 1.14 \div 1.83$	ქვიშა ხრეში
7	1931	მაკავევი ვ.მ.	$v_0 = \sqrt{\frac{\alpha d + \alpha_1(H_{\text{მოკირფ.}} + g)}{g}}$	
8	1939	გველესიანი ლ.გ.	$v_{\text{არაბმრ.}} = \frac{\lg \frac{8.8H}{d}}{\lg \frac{1.2D + d}{d}} \sqrt{\frac{2g(\gamma_{\text{პრ}} - \gamma_{\text{ფ}})}{2.}}$	
9	1946	ზურღალი ი.ო.	$v_0 = \sqrt{\frac{ad + b\chi H}{g}}$	$\chi = \frac{\omega_{\text{კონტ.}}}{\omega}$ ; $b = \frac{\beta_2 \alpha_1}{f_1}$
10	1950	ორლოვი ი.ი.	$v_0 = 0.0063C_{\text{შ}} \sqrt{d(\sigma - 1)}$	$C_{\text{შ}}$ – შეზის კოეფიციენტი; $\sigma$ – ნატანის ხვედრითი წონა; $d_{\text{ბაშ}} < 0.2$ მმ;
11	1951	ზამარინი ე.ა.	$v_0 = (0.95 \div 1.15)^{2+R} \sqrt{R}$ $v_0 = (1.4 \div 2.0)^n \sqrt{R}$	ხრეში – $d = 0.5 \div 1.5$ სმ; კენჭი – $d = 5 \div 15$ სმ
12	1951	გონჩაროვი ვ.ნ.	$v_{\text{არაბმრ.}} = 4.2R^{0.2} \sqrt{(d + 0.0)}$ $v_{\text{არაბმრ.}} = \left( \frac{d_{\text{ბაშ}}}{d_{\text{max}}} \right)^{0.2} v_{\text{კრ.}}$	ერთგვაროვანი გრუნტი არაერთგვაროვანი გრუნტი
13	1954	რუბინშტეინი ა.ლ.	$v_0 = 1.4\sqrt{gd} \sqrt{\frac{\gamma_{\text{პრ}} - \gamma_0(1 + I_{\text{შ}})}{\gamma_0}}$	$I_{\text{შ}}$ დაწნევის გრადიენტი
14	1949÷1956	ეგიაზაროვი ი.ვ.	$v_0 = \sqrt{\frac{2f_0}{\lambda}} \sqrt{\rho'g\sqrt{d}}$	$f_0$ – კალაპოტის წინაღობის კოეფიციენტი; $\lambda$ – ნაკადის ჰიდრაულიკური წინაღობის კოეფიციენტი

1	2	3	4	5
15	1956	Sundborg A.	$v_z = 5.751g \left( \frac{30.2z}{k_s} \right) \sqrt{2\gamma_{\rho}}$	$k_s = d$ – ძირის სიმაღლის სიმაღლე
16	1953÷1962	კნოროზი ვ.ს.	$v_0 = \frac{0.23}{\sqrt{\lambda_R}} \sqrt{\rho'gd}$ $v_0 = \frac{0.37}{\text{Re}_*^{0.158} \sqrt{\lambda_R}} \sqrt{\rho'gd}$ $v_0 = \frac{0.445}{\sqrt{\lambda_R}} v^{0.136} (\rho'g)^{0.432}$	კვადრატული არისათვის გარდამავალი არისათვის $\rho'$ – ნაკადის ფარდობითი სიმკვრივე გლუვი არისათვის $\text{Re}_* = v_0 d / \nu$ ; $\text{Re}_* = 25$
17	1955	ველიკანოვი მ.ა.	$v = \sqrt{\frac{15d + 6}{g}}$	$d = 0.1 \div 5.0$ მმ; $v$ – ნატანის ძვრის საწყისი სიჩქარე
18	1959 1958	შამოვი გ.ი. მოსტკოვი მ.ა.	$v_0 = (3.7 \div 6.0) d^{1/3} H^{1/6}$ $v_0 = (3.7 \div 6.0) d_{u\text{შ}}^{1/3} H^{1/6}$	ერთგვაროვანი ნატანისათვის არაერთგვაროვანი ნატანისათვის $d > 0.2$ მმ
19	1962	გონჩაროვი ვ.მ.	$v_{\rho} = \lg \left( \frac{6.15H}{\Delta} \sqrt{\frac{2g(\gamma_{\rho})}{\alpha\gamma}} \right)$ $v_{\text{მოწყ.}} = \lg \left( \frac{8.8H}{d} \sqrt{\frac{2g(\gamma_{\rho})}{1.75}} \right)$ $v_{\text{არაგამრ.}} = \lg \left( \frac{8.8H}{d} \sqrt{\frac{2g(\gamma_{\rho})}{3.5\gamma}} \right)$	$v_{\rho}$ – საშუალო არამდგრადი ( $v_{\text{არაგამრ.}}$ ) და მოწყვების ( $v_{\text{მოწყ.}}$ ) სიჩქარე
20	1963	Kennedy J.	$v_0 = \alpha h_0^\beta$	$\alpha = 0.23 \div 0.67$ ; $\beta = 0.52 \div 0.64$ ; $h_0$ – ნაკადის სიღრმე
21	1964	სტუდენიშნიკოვი ბ.ი.	$v_0 = 0.9 \sqrt{\frac{\gamma_{\rho} - \gamma_0}{\gamma_0}} \sqrt{g(Hd)}$ $v_0 = 1.15 \sqrt{g} \sqrt{1 + 3\rho^{2/3}} (Hd)$	სუფთა ნაკადისათვის ნატანიანი ნაკადისათვის; $\rho$ – ნაკადის სიმკვრივე
22	1968	ლევი ი.ი.	$v_0 = 1.4 \sqrt{gd} \ln \frac{H}{7d}$ $v_0 = 1.4 \sqrt{gd} \ln \frac{H}{7d_{\text{ბაშ}}} \left( \frac{D_{\text{მა}}}{d_{\text{ბა}}} \right)$	$\frac{H}{d} = 10 \div 1000$ ; ერთგვაროვანი ნატანისათვის არაერთგვაროვანი ნატანისათვის

1	2	3	4	5
23	1970	შა იუი-ცინი	$v_0 = 24.8 \frac{d^{5/8}}{\omega^{1/4}} R^{1/5}$	$\omega$ – ნატანის ჰიდრავლიკური სიმსხო; $R$ – ჰიდრავლიკური რადიუსი
24	1970	Bogardi J.	$v_0 = 22.9^{4/9} \sqrt{\gamma_{\rho\sigma} - \gamma_0}$	
25	1970	Mavis F.	$v_0 = 0.5d^{4/3} \sqrt{\gamma_{\rho\sigma} - \gamma_0}$	
26	1972, 1979	ალტუნინი ვ.ს.	$v_0 = fH^x d^{0.5-x}$	$f' = f_0 N_6^{1-x} N_d \frac{\sqrt[3]{\rho'd}}{(1+x)},$ $N_d = v_{ვსკრ.} / v_{დინამ.};$ $x = (v_{ხედავ.} - v_{პერტ.}) / v_{პერტ.}$
27	1974	იბად-ზადე ი.ა.	$v_{ღაბ} = \sqrt{\frac{2K_u(\rho_{\rho\sigma} - \rho_0)}{K_n + K_{II}F\rho_0}} gd$	$\eta = K_u F(K_n + K_{II}F);$ $K_n = 0.4 \div 0.45;$ $K_{II} = 0.25K_n;$ $F = 0.19d(0.52d^{1/2} - 0.00)$
28	1976	კოროტკოვი ვ.ი.	$v_0 = \left( 1.2 \sqrt{\frac{gd(\rho_{\rho\sigma} - \rho_0)}{\rho_0}} \right)$	$x = \frac{1}{7};$ $Re = d\sqrt{gd}/v \leq 100$
29	1981	მაგომედოვა ა.ვ.	$v_{აქ0} = 1.41v_0$	არაერთგვაროვანი გრუნტებისათვის $v_{აქ0}$ – აქტუალური არაგამრეცი სიჩქარე; $v_0$ იანგარიშება ც. მირცხულავას დამოკიდებულებით (1988)
30	1957÷1988	მირცხულავა ც.ი.	$v_{არაგამ. ფსკ.} = 1.25 \sqrt{\frac{2m}{0.44\rho_0 n} [(\rho_{\rho\sigma} - \rho_0)]}$ $v_{არაგამ. საშ.} = \left( 1g \frac{8.8H}{d} \right) \sqrt{\frac{2m}{\theta_1 \mu \rho_0 n} [(\rho_{\rho\sigma} - \rho_0)]}$	$m$ – მუშაობის კოეფიციენტი; $n$ – გადატვირთვის კოეფიციენტი; $C_{ნორმ. y}$ – არაბმული გრუნტების სიმტკიცე წყვეტაზე; $K_2$ – ერთგვაროვნობის კოეფიციენტი
31	1983	მირცხულავა ზ.ც.	$v_{არაგამ. ფსკ.} = 0.342C_{\sigma} \sqrt{m[(\rho_{\rho\sigma} - \rho_0)]}$	$C_{\sigma}$ – შეხის კოეფიციენტი

არაგამრეცი სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებების სხვაობის მიზეზების ანალიზმა გვიჩვენა მკვლევარების მიერ ფაქტორების არასრული გათვალისწინება, ფსკერული ნაწილაკების ზღვრული წონასწორობის სუბიექტური შეფასება, სიჩქარეების არასრული შესწავლა და გაუმჯობესებული ხელსაწყოების არარსებობა.

არაგამრეცი სიჩქარის ვრცელი კვლევების საფუძველზე, რომელიც ჩატარებული

აკად. ცოტნე მირცხულავას მიერ, შემოთავაზებულია არაგამრეცი სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულება წვრილნაწილაკებიანი გრუნტის შეჭიდულობის ძალებისა და გადატვირთვის კოეფიციენტის გათვალისწინებით, რომლის მეშვეობით შესაძლებელი გახდა არაგამრეცი სიჩქარის მნიშვნელობის სიზუსტის 30%-ით გაზრდა (ნახ. 3.3) [143].

არაგამრეცი სიჩქარეების შესწავლისათვის აკად. ც. მირცხულავას ხელმძღვანელობით ჩატარებული მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების ძირითადი თავისებურებაა – ჩქაროსნული მიკროფილმის გადაღება ნაკადის სტრუქტურის დარღვევის გარეშე [143].

არაბმული გრუნტების საანგარიშო ფორმულებს აქვს შემდეგი სახე:

$$v_{\text{არაგამ. ფსკ.}} = 1.25 \sqrt{\frac{2m}{0.44\rho_0 n} [(\rho_{\text{გრ}} - \rho_0)gd + 2C_{yH}^H K]} \quad (3.7)$$

$$v_{\text{არაგამ. საშ.}} = \left( \lg \frac{8.8H}{d} \right) \sqrt{\frac{2m}{0.44\rho_0 n} [(\rho_{\text{გრ}} - \rho_0)gd + 2C_{yH}^H K]} \quad (3.8)$$

სადაც  $v_{\text{არაგამ. ფსკ.}}$  და  $v_{\text{არაგამ. საშ.}}$  ნაკადის დასაშვები არაგამრეცი ფსკერული და საშუალო სიჩქარეებია, მ/წმ;

$m$  – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრავს კოლოიდურ მდგომარეობაში მყოფი ნატანის ზემოქმედებას ნაკადის გამრეცხუნარიანობაზე და განისაზღვრება СНиП 2,06,03-85;

$n$  – გადატვირთვის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება ნაკადის სიჩქარეების პულსაციური თვისებებით გამოწვეულ გამრეცხუნარიანობის ცვლილებებს და იანგარიშება ფორმულით:

$$n = \left( \frac{U_{\Delta \max}}{\bar{U}_{\Delta}} \right)^2 \quad (3.9)$$

ნაკადის კინემატიკური სტრუქტურის მონაცემების არარსებობის დროს კი:

$$n = 1 + \frac{1}{0.3 + [v^2/(gd)^3]^{1/3}} \quad (3.10)$$

(პრაქტიკული ანგარიშისათვის –  $n \approx 4.0$ ).

$C_{yH}^H$  – არაბმული გრუნტების  $d_{\text{ბაშ}} < 0.25$  მმ დადლილობის სიმტკიცეა წყვეტაზე,

რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$C_{yH}^H = 8\rho_0 v (gv)^{1/3} / d_{საშ} , \quad (3.11)$$

სადაც  $v$  – სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი;  $\rho_{გრ}$  – გრუნტის ხვედრითი წონა;  $\rho_0$  – წყლის ხვედრითი წონა;  $d$  – ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი;  $K$  – შეჭიდულობის ძალის ერთგვაროვნობის კოეფიციენტი.

ც.ე. მირცხულავას, ზ.ც. მირცხულავას, ი.ი. ლევის, ვ.ნ. გონჩაროვის, ვ.ს. კნოროზის კვლევების შედარებამ გვიჩვენა მათი დამაკმაყოფილებელი თანხმობა (ნახ. 3.3)

### 3.2.2. მიწის არხებში არაგამრეცი სიჩქარის პროგნოზირების არსებული მეთოდების ანალიზი ბმული გრუნტებისათვის

არაგამრეცი სიჩქარის პროგნოზი ბმულ გრუნტებში განპირობებულია ურთიერთდაკავშირებული ფაქტორებით – არხის კალაპოტის გრუნტების წინაღობის მაჩვენებლებით; დატვირთვის ხასიათით (ჰიდრავლიკური პარამეტრებით); მუშაობის საერთო პირობებით, რაც თავის მხრივ, ხასიათდება გრუნტის სიმტკიცის მაჩვენებლების ცვლადობით, არაერთგვაროვნობით და განზნევიით.

ბმულ გრუნტებში არაგამრეცი სიჩქარის დადგენის საკითხებზე მრავალი მკვლევარი მუშაობდა [21,28,35,46,59,76,83,84,120,130,139,145,146,149,158,201, 202,205,236,239,240,247,249,258] (ცხრ. 3.13).

ცხრილი 3.13

ნაკადის არაგამრეცი სიჩქარის განსაზღვრის დამოკიდებულებების ქრონოლოგიური კრებები ბმული გრუნტებისათვის ( $d < 0.2$  მმ)

№	წელი	ავტორი	ფორმულა
1	1914	Kennedy R.	$v_{საშ} = 0.545H^{0.64}$ მ/წმ
2	1916	Gilbert K.	$v_{დასაშ} = 0.08 \div 0.11$ მ/წმ
3	1919	Exner F	$v_{დასაშ} = 0.61 \div 1.53$ მ/წმ
4	1919-26	Fortier S., Scobey	$v_{დასაშ} = 0.53 \div 1.53$ მ/წმ
5	1962	Гончаров В.Н.	$v_{დასაშ} = 0.96\sqrt{gd^{0.4}}(d + 0.0014)^{0.6} \left(\frac{R}{d}\right)^{0.2}$ მ/წმ

6	1962-88	მირცხულავა ც.ე.	$v_{დასაშ} = 1.25 \sqrt{\frac{2m}{2.6\rho_0 n} [(\rho_{გრ} - \rho_0)gd + 1.25C_y^H K]}_{ა/წმ}$
---	---------	-----------------	------------------------------------------------------------------------------------------------

აქ არ მოგვყავს ამ საკითხებზე არსებული ლიტერატურის დეტალური ანალიზი, რადგან იგი საკმაოდ სრულადაა განხილული აკად. ც. მირცხულავას ფუნდამენტურ მონოგრაფიაში [143].

არსებული ლიტერატურის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ თუ არაბმული გრუნტებისათვის არსებობს რეკომენდაციები, რომელთა მეშვეობით შესაძლებელია ამ საკითხების გადაწყვეტა საინჟინრო ამოცანებისათვის საკმარისი სიზუსტით, გასული საუკუნის 70-იან წლებამდე ბმულ გრუნტებში არაგამრეცხი სიჩქარეები განისაზღვრებოდა ტექნიკური ნორმებით, ფაქტორთა მცირე რაოდენობის გათვალისწინებით. ბმული გრუნტების განსაკუთრებით რთული თვისებების გამო არაგამრეცხი სიჩქარეების საიმედო საანგარიშო დამოკიდებულებები არ არსებობდა. ამ მიმართულების კვლევების თვით კორიფეიც კი – აკად. ც. მირცხულავა ასე აფასებდა ამ მდგომარეობას: „...возможность надежно описать размыв связного грунта с помощью известных показателей так ограничен, что вряд ли в ближайшее время следует ожидать строгого теоретического решения данной проблемы“ [Мирцхулава Ц.Е., 1988, стр. 98]. ამიტომ საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის ინსტიტუტში აკად. ც. მირცხულავას ხელმძღვანელობით ჩატარებულ იქნა ვრცელი ექსპერიმენტები ბმული გრუნტების ყველა შესაძლო თვისებების გათვალისწინებით, როგორცაა: შემადგენლობა, თვისებები, წარმოშობა, გეოგრაფიული გავრცელება, ფიზიკური და ქიმიური მაჩვენებლები, გრუნტის წინააღობა. კვლევებში გამოყენებულ იქნა ამიერკავკასიის რეგიონის, ურალის, შუა აზიის, მოსკოვის ოლქის გრუნტები. კვლევებმა განაპირობა უნიკალური სპეციალური ლაბორატორიის და დანადგარების შექმნა, სადაც ხდებოდა სხვადასხვა ტერიტორიის დამახასიათებელი მონოლითების კვლევა [139,140,143,146,149]. შემოთავაზებული დამოკიდებულებების უნიკალურობა ძირითადად განპირობებულია მთელი რიგი ფაქტორების გათვალისწინებით. ესენია: განსაზღვრული დიამეტრის თიხოვანი ნაწილაკების რაოდენობა, შეჭიდულობა, პლასტიკურობა, ფორიანობა, ტენტევადობა, მოწყვეტილი ნაწილაკების ზომა, წყლისა და გრუნტის კუთრი მასა, შიგა ხახუნის კუთხე, ჯდომის

მოდული, რამაც განაპირობა კიდევ ამ მიმართულების კვლევების საბოლოო დასრულება. ამ სკოლის ერთ-ერთი მიმართულების მკვლევარის მიერ შემოთავაზებულია ბმული გრუნტების არაგამრეცი სიჩქარის განმსაზღვრელი დამოკიდებულებები, როცა გრუნტის პლასტიკურობა  $W_p = 10 \div 15$ , რომელთაც აქვთ შემდეგი სახე [Мирцхулава З.Ц., 1985]:

$$v_{\text{არაგამრ. ფსკერული}} = 1.25 \sqrt{\frac{2m}{2.6\rho_0 n} [(\rho_{\text{გზ}} - \rho_0)gd + 1.25C_y^H K]} \quad (3.12)$$

$$v_{\text{არაგამრ. საშ.}} = 1g \frac{8.8H}{d} \sqrt{\frac{2m}{2.6\rho_0 n} [(\rho_{\text{გზ}} - \rho_0)gd + 1.25C_y^H K]} \quad (3.13)$$

ხოლო მაღალპლასტიკური თიხოვანი გრუნტებისათვის ( $W_p > 15$ ):

$$v_{\text{არაგამრ. ფსკერული}} = 1.25 \sqrt{\frac{2m}{1.54\rho_0 n} [(\rho_{\text{გზ}} - \rho_0)gd + 1.25C_y^H K]} \quad (3.14)$$

$$v_{\text{არაგამრ. საშ.}} = 1g \frac{8.8H}{d} \sqrt{\frac{2m}{1.54\rho_0 n} [(\rho_{\text{გზ}} - \rho_0)gd + 1.25C_y^H K]} \quad (3.15)$$

სადაც  $C_y^H$  – ბმული გრუნტის ნორმატიული შეჭიდულობაა და იანგარიშება ფორმულით:

$$C_y^H = 0.035C_{\text{ლაბ}}^H \quad (3.16)$$

სადაც  $C_{\text{ლაბ}}^H$  – შეჭიდულობის ის მნიშვნელობაა, რომელიც განისაზღვრება ლაბორატორიული კვლევების მეშვეობით.

თუ წყლის ნაკადი არ შეიცავს ნატანის დიდ რაოდენობას, როგორც ეს ხდება სარწყავი არხების შემთხვევაში, შეიძლება მიღებულ იქნეს, რომ  $m=1$ ;  $d$  – ბმული გრუნტის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრია და მისი მნიშვნელობა განისაზღვრება მოცემული ბმული გრუნტის გრანულომეტრული შედგენილობის ლაბორატორიული ანალიზის საფუძველზე.

#### თავი 4. მთიან რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების ჰიდრავლიკური გაანგარიშების ოპტიმიზაცია

#### 4.1. სისტემური ანალიზის გამოყენება მიწის არხების დეფორმაციების გამომწვევი ფაქტორების შესწავლისას

მიწის არხებში დეფორმაციების პროცესების შემსწავლელ დარგში დღეისათვის დაგროვილია ანგარიშის სხვადასხვა მეთოდები, თუმცა ამ ნაშრომებში არ არის ფაქტორების რაოდენობრივი შეფასების ერთნაირი მიდგომა. იზრდება საანგარიშო ფორმულების რაოდენობა. საჭიროა დაგროვილი ცოდნის სინთეზი და ფაქტორების ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა.

ამ პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია სისტემური ანალიზის, საექსპერტო შეფასებების, ფაქტორული და კორელაციური ანალიზის მეთოდების მეშვეობით [142].

##### საექსპერტო შეფასებების გამოყენების მეთოდური საფუძვლები

საექსპერტო შეფასებების მეთოდი (დელფის მეთოდი) გამოყენებულია განხილულ პრობლემასთან დაკავშირებით შემდეგი მიმართულებით: ექსპერტთა ჯგუფის ორგანიზაცია; თვით ექსპერტიზის ჩატარება უნივერსალური ანკეტის მეშვეობით, რომელიც ითვალისწინებს კომპიუტერზე დამუშავების შესაძლებლობას; ექსპერტიზის შედეგების ანალიზი და დამუშავება განზოგადებული აზრის ჩამოსაყალიბებლად; ექსპერტიზის შედეგების ქულების მეშვეობით შეფასების პროგრამის შედგენა [142].

ფაქტორების საექსპერტო შეფასება ჩატარდა 2 ეტაპად:

- სხვადასხვა მკვლევართა მიერ გამოქვეყნებული მასალების ანალიზი და განზოგადება ფაქტორების მახასიათებლების მიხედვით;
- ამავე მკვლევარების (ექსპერტების) უშუალო გამოკითხვა ამავე საკითხებთან დაკავშირებით.

კვლევის პირველ ეტაპზე დამუშავებულია არაგამრეცხი სიჩქარეების ანგარიში ყველა არსებული რეკომენდაცია (იხ. თავი 2) და შეძლებისდაგვარად, შედგენილია სრული ბიბლიოგრაფია. ყოველი სალიტერატურო წყაროს განხილვის საფუძველზე ჩატარებულია ფაქტორების შესახებ მონაცემთა ამოკრეფა, შედგენილია მატრიცები, რომელთა სვეტებში ჩამოთვლილია პუბლიკაციების ავტორები და გამოცემის წელი, ქრონოლოგიური თანმიმდევრობით, სტრიქონებში – პუბლიკაციებში ნახსენები ყველა ფაქტორის სრული ნუსხა და გამოყენების ზღვრები.

მეორე ეტაპზე (ექსპერტების უშუალო გამოკითხვა) შედგა გამოკითხვის



ანკეტები, რომელთა სტრიქონებში შედის პროცესის ყველა ფაქტორი, გამოყოფილი ლიტერატურის ანალიზის დროს; სვეტებში – ფაქტორების ჯგუფები, განხილულ ობიექტზე ზემოქმედების ხარისხის მიხედვით.

განსახილველი ობიექტის ფაქტორების ქულებით შეფასებისათვის, მათი ზემოქმედების ხარისხის მიხედვით, მიღებულია შემდეგი სქემა: ძლიერი ზემოქმედება – 5; საშუალო ზემოქმედება – 3; სუსტი ზემოქმედება (პრაქტიკულად არ მოქმედებს პროცესზე) – 1. ამრიგად, ფაქტორების ზემოქმედების ხარისხი ფასდება მათი სამ ჯგუფად დაყოფით. ფაქტორების ამ სამი ჯგუფის საზღვრებად მიღებულია შემდეგი: I ჯგუფი – 4 ქულაზე მეტი; II ჯგუფი – 2÷4 ქულა; III ჯგუფი – 2 ქულაზე ნაკლები.

რადგან გამოკითხვის დროს არ იყო საშუალება უშუალო კონტაქტი გვექონოდა ავტორებთან (ქვეყანაში შექმნილი სიტუაციის ან ავტორების სიცოცხლის ანაქრონიზმის გამო), ამიტომ მათი დასკვნები შედგენილია მით მიერ შემოთავაზებული ფორმულების საფუძველზე. როგორც წესი, ფორმულა დგება სქემის მიხედვით; პირველ ადგილზე იწერება ძირითადი მოქმედი ფაქტორი, მის შემდეგ ნაკლები დატვირთვის ფაქტორი და ა.შ. ეს პრინციპი საფუძვლად დაედო ჩვენს კვლევებს. ყოველი ფაქტორის რაოდენობრივი ზემოქმედება, რომელიც ეჭვს იწვევდა, შემოწმებულ იქნა მისი ზემოქმედების ხარისხის ანგარიშით.

ექსპერტთა აზრის რანჟირება შესაძლებლობას გვაძლევს გამოვრიცხოთ უმნიშვნელო ფაქტორები და შევქმნათ სისტემის მიახლოებითი მათემატიკური მოდელი.

ექსპერტთა აზრის დამთხვევის ხარისხი დადგენილია კონკორდაციის კოეფიციენტის საფუძველზე, რომელიც ახასიათებს ექსპერტთა აზრის ერთსულოვნებას და მათ შემთხვევითობას:

$$K = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(n^3 - n) - n \sum_{i=1}^n T_i} \quad (4.1)$$

სადაც  $S$  – კვადრატთა ჯამის გადახრა;  $m$  – ექსპერტთა რაოდენობა;  $n$  – მატრიცის რანგის ყოველ სტრიქონში  $i$ -ური ნიშნის რანგების რიცხვი;  $T_i$  – რანგების საშუალო გადახრა ჯამიდან.

ფაქტორების ექსპერტული შეფასების მეთოდი აპრიორულ ხასიათს ატარებს.

უფრო ზუსტი პასუხი შეიძლება მივიღოთ ფაქტორული ანალიზის მეთოდის გამოყენებით, კომპლექსური კორელაციური ანალიზის მეთოდთან ერთად.

### ფაქტორული ანალიზის გამოყენების მეთოდური საფუძვლები

მე-20 საუკუნის დასაწყისიდან საკმაოდ ინტენსიურად ვითარდებოდა სტატისტიკური კვლევების ახალი სფერო – ფაქტორული ანალიზი [Ожухин Я., 1976].

ჰიდრაულიკაში პირველად ფაქტორული კორელაციურ ანალიზთან კომპლექსში გამოყენებულ იქნა გრუნტების გარეცხვის კვლევებში, რომელიც ჩატარებულია აკად. ც. მირცხულავას ხელმძღვანელობით.

ფაქტორული ანალიზის ძირითადი არსი ჩამოვყალიბეთ შემდეგი სახით: მოვლენები კვლევების გარკვეულ სფეროში, მიუხედავად მათი ცვალებადობისა, შეიძლება აღიწეროს ფუნქციონალური ერთეულების, პარამეტრების ან ფაქტორების შედარებით მცირე რიცხვით.

ჩვენ შემთხვევაში მრავალფაქტორიანი სიდიდე (მაგალითად, ნაკადის არა-გამრეცხი სიჩქარე) წარმოდგენილია, როგორც ( $Y$ ) ფუნქცია, დამოკიდებული რიგ ფაქტორებზე. ( $Y$ )-სა და ფაქტორებს შორის დამოკიდებულება მოყვანილია ცხრილის სახით.

ფაქტორების გამოყოფის პროცესი ხდება კორელაციის კოეფიციენტების მატრიცის შედგენით. შემდეგ დგება სიმეტრიული რედუცირებული კორელაციური მატრიცა, რის შემდეგ ვადგენთ რედუცირებულ ფაქტორულ მატრიცას.

გამოყენებულია ფაქტორული ანალიზის თეორემა – კორელაციის რედუცირებული მატრიცა ტოლია რედუცირებული ფაქტორული და ტრანსპორტირებული მატრიცების ნამრავლის:

$$R = F \cdot \dot{F} \quad (4.2)$$

და განტოლება

$$r_{ab} = r_{ac_1} \cdot r_{bc_1} + r_{ac_2} \cdot r_{bc_2} + \dots + r_{ac_n} \cdot r_{bc_n} \quad (4.3)$$

ეს განტოლება ძირითადია ცვლადი  $a$  და  $b$  სიდიდეების ( $r_{ab}$ ) არაკორელაციური ( $c$ ) ფაქტორების შემთხვევაში, რომელიც საერთოა ორივე ცვლადისათვის და წარმოადგენს ყოველი ფაქტორისა და ცვლადის დატვირთვების ნამრავლის ჯამს. კორელაცია  $r_{ac_1}$  და  $r_{bc_1}$  – ( $a$ ) და ( $b$ ) ცვლადების ( $c_1$ ) ფაქტორის დატვირთვებია,  $r_{ac_2}$  და

$r_{bc_2}$  – (a) და (b) ცვლადების ( $c_2$ ) ფაქტორის დატვირთვაა, და ა.შ.  $r_{ac_n}$  და  $r_{bc_n}$  – წარმოადგენს ( $c_n$ ) ფაქტორის დატვირთვებს.

რედუცირებული მატრიციდან რედუცირებულ ფაქტორულ მატრიცაზე გადასვლა ხდება ტერსტოუნის მეთოდით, რომელსაც მრავალფაქტორულ ანალიზში „ცენტროიდული“ მეთოდი ეწოდება.

მათემატიკური გამოთვლების, ფაქტორული მატრიცის გეომეტრიული ინტერპრეტაციის, კოორდინატების სისტემის ბრუნვის და ფაქტორული მატრიცის ანალიზის შემდეგ მიღებული სიდიდეები შეტანილ იქნა სპეციალურ ფაქტორულ მატრიცაში, მათი შეცვლის პროცესში მიღებული ალგებრული ნიშნების გათვალისწინებით. მიღებულ ფაქტორულ რედუცირებულ მატრიცაში სვეტების რიცხვის განსაზღვრავს საერთო ფაქტორების რიცხვს, ხოლო ყოველი ფაქტორის სხვადასხვა ცვლადის დატვირთვა (ერთი ცვლადის ყველა ფაქტორის დატვირთვები) განსაზღვრავს ფაქტორული მატრიცის სტრიქონს. შემდგომში დადგინდა მიღებული ფაქტორების თვისებები.

აქტიური ფაქტორების რაოდენობა განისაზღვრება ტერსტოუნის ფორმულით:

$$m = \frac{2n + 1 - \sqrt{8n + 1}}{2} \quad (4.4)$$

სადაც  $n$  – ტესტების რაოდენობაა.

მიღებულ რედუცირებულ ფაქტორულ მატრიცაში სვეტების რიცხვი განსაზღვრავს, თუ რამდენი საერთო ფაქტორია საჭიროა, რათა გამოვლინდეს ყველა კორელაცია გამოსაკვლევი სერიის ცვლადებს შორის, ხოლო იმას, თუ როგორია ყოველი ფაქტორის დატვირთვა სხვადასხვა ცვლადისათვის (ყველა ფაქტორის დატვირთვა ერთი ცვლადისათვის) – განსაზღვრავს მატრიცის სტრიქონები.

ამის შემდეგ დგინდება მიღებული ფაქტორების თვისებები ფაქტორული ანალიზის დროს გამოყენებული ყველა მონაცემის მიხედვით.

ამრიგად, ფაქტორული ანალიზის გამოყენება საშუალებას იძლევა გამოვლინდეს ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც განაპირობებს გრუნტების გამორეცხვის პროცესს.

საინჟინრო ნაგებობების დაპროექტებისას ყოველთვის არაა იმის შესაძლებლობა, რომ გათვალისწინებულ იქნეს ყველა მოქმედი ფაქტორი. საკმარისია გვეჩვენოს

პირველი სამი-ოთხი ფაქტორის კრებული, რათა პრაქტიკისათვის საკმარისი სიზუსტით გამოვითვალეთ პროგნოზირებადი სიდიდე.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ ფაქტორული ანალიზი არ გვაძლევს ყოველი მოქმედი ფაქტორის რაოდენობრივ შეფასებას. ამ კითხვაზე პასუხს იძლევა ის კორელაციური ანალიზის მეთოდი, რომელიც აღწერილია ქვემოთ.

### კორელაციური ანალიზის გამოყენების მეთოდური საფუძვლები

კორელაციური ანალიზი ტარდებოდა შემდეგი პროგრამით:

– სტატისტიკური გამოთვლები, რომლებიც განსაზღვრავს დაკვირვებების რაოდენობის საკმარისობას, შესაძლებელი ცდომილებების სტატისტიკურ ამონაკრებს, ამოსარჩევი ფაქტორების სიზუსტის შეფასებას;

– თითოეული ფაქტორის ზემოქმედების განსაზღვრა.

სანამ შევუდგებოდეთ ანგარიშს, ჩვენი აზრით, აუცილებელია დადგინდეს, არის თუ არა მაჩვენებლის მნიშვნელობების გადახრები შემთხვევითი. წევრების მცირე რაოდენობის დროს გაზომვების ცდომილებებმა შეიძლება გავლენა მოახდინოს დისპერსიის სიდიდეზე და ანგარიში არ იქნება ობიექტური. ამიტომ მოყვანილია ანგარიში, რის საფუძველზეც დადგენილია დაკვირვებების რაოდენობის საკმარისობა და, აქვს თუ არა ადგილი შემთხვევით ცდომილებებს. უხეში, სისტემატური და შემთხვევითი ცდომილებების გამორიცხვა ჩატარებულია ცნობილი ტაქსონების გამოყენებით [143].

ფაქტორული ანალიზი შესაძლებლობას გვაძლევს ფაქტორების მნიშვნელობების რანჟირებას რიგის მიხედვით, მაგრამ რაოდენობრივი ზემოქმედების გარეშე: რიგი ფაქტორები (თვისებები) გამოირჩევა დომინირებული მნიშვნელობით, რიგი ფაქტორები – პროცესზე სუსტი ქმედებით.

ცალკეული ფაქტორის (თვისების) ზემოქმედების ხარისხი მოცემულ კვლევებში განისაზღვრება წონითი კოეფიციენტების მეშვეობით [72].

წონითი კოეფიციენტები იანგარიშება ფორმულით:

$$\omega_i = \frac{1}{\sigma_i^2 \left( \sum_{n=1}^N \frac{1}{\sigma_n^2} \right)} \quad (4.5)$$

სადაც  $\omega_i$  – წონითი კოეფიციენტია, რომელიც ახასიათებს  $i$ -ური ფაქტორის „წონას“ (მნიშვნელობას) ( $M$ ) კოორდინატის განსაზღვრული მნიშვნელობისას (მისი მნიშვნელობა  $<1$ );  $\sigma_n^2$  – ( $n$ ) თვისების მაჩვენებლის დისპერსიის განაწილება, რომელიც ტოლია:

$$\sigma_n^2 = \bar{f}_n^2 - (\bar{f}_n)^2 = \frac{1}{L_1} \sum_{L=1}^{L_1} f_e^2 - \left( \frac{1}{L_1} \sum_{L=1}^{L_1} f_{en} \right)^2 \quad (4.6)$$

სადაც  $f_e$  ( $F$ ) კლასის მე- $(e)$  წევრია;  $f_{en}$  – ( $F$ ) კლასის მე- $(e)$  წევრის მე- $(n)$  კოორდინატი (ფაქტორი, თვისება);  $L_1$  – კლასის წევრების (ანალოგების) რაოდენობა;  $f_n^2$  – მაჩვენებლების კვადრატების საშუალო მნიშვნელობა;  $(\bar{f}_n)^2$  – ( $n$ ) თვისების მაჩვენებლის საშუალო მნიშვნელობის კვადრატი.

(4.5) დამოკიდებულებას საფუძვლად უდევს პრინციპი: წონითი კოეფიციენტის უფრო დიდი მნიშვნელობის მქონე წევრებს ახასიათებს დისპერსიის მცირე მნიშვნელობა.

ამრიგად, არაგამრეცხ სიჩქარეზე მადომინირებელი ფაქტორების არჩევა ტარდება სისტემური ანალიზის ტაქსონების მეშვეობით:

– აპრიორული – ექსპერტული შეფასების და ფაქტორული ანალიზის

მეთოდებით;

– რაოდენობრივი – კორელაციური ანალიზის მეშვეობით მოქმედი ფაქტორების ზეგავლენის ხარისხის გამოვლენით.

#### 4.2. მთიან რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების არაგამრეცხი სიჩქარის ოპტიმიზაცია

როგორც არაგამრეცხი სიჩქარის ანგარიშის არსებული მეთოდების ანალიზმა გვიჩვენა, არაბმული (ცხრ. 3.12) და ბმული (ცხრ. 3.13) გრუნტებისათვის ფაქტორების რაოდენობა მნიშვნელოვანია. დაპროექტების პრაქტიკაში საკმარისია პირველი სამი-ოთხი მადომინირებელი ფაქტორის გათვალისწინება და მათ საფუძველზე არაგამრეცხი სიჩქარეების მნიშვნელობების დადგენა. ამიტომ არაგამრეცხი სიჩქარეების ანგარიშის ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტას ეძღვნება ჩვენი შემდგომი კვლევები.

#### 4.2.1. არაგამრეცხი ფსკერული სიჩქარის ოპტიმიზაცია

##### არაბმული გრუნტებისათვის

არაბმული გრუნტების გარეცხვაზე მოქმედი ფაქტორების აპრიორული დახასიათებისათვის ვადგენთ რანგების მატრიცას (ცხრ. 4.1), რომელიც შედგენილია არაგამრეცხი სიჩქარის არსებული კვლევების კრებებითი ცხრილის (ცხრ. 3.12) მეშვეობით.

ცხრილი 4.1

არაბმული გრუნტების გარეცხვაზე მოქმედი ფაქტორების აპრიორული რანჟირებული

##### რანგების მატრიცა

ექსპერტების რაოდენობა ცხრ. 3.12-ის მიხედვით	$x_2$ ( $\rho_{\beta\sigma}$ )	$x_3$ ( $\rho_0$ )	$x_1$ ( $d$ )	$x_4$ ( $i$ )	$x_9$ ( $m$ )	$x_7$ ( $n$ )	$x_5$ ( $C_y^H$ )	$x_8$ ( $C_{\beta}$ )	$x_6$ ( $K_2$ )	$x_{10}$ ( $H$ )
$\sum_{i=1}^m = 31$	26	26	31	15	5	10	14	10	13	9

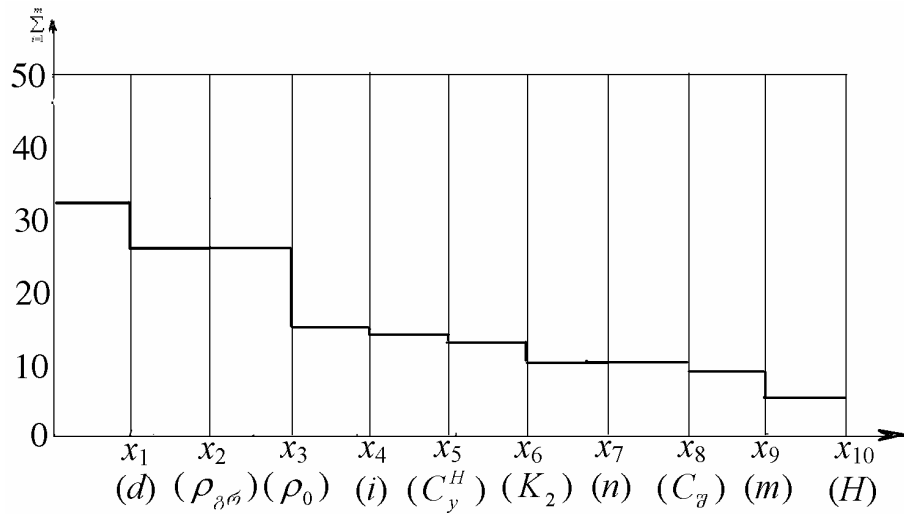
სადაც  $\rho_{\beta\sigma}$  ( $x_2$ ) – გრუნტის სიმკვრივეა;  $\rho_0$  ( $x_3$ ) – წყლის სიმკვრივე;  $d$  ( $x_1$ ) – ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი;  $C_y^H$  ( $x_5$ ) – არაბმული გრუნტის დაღლილობის ნორმატიული სიმტკიცე წყვეტაზე;  $K_2$  ( $x_6$ ) – შეჭიდულობის ძალების მაჩვენებლების გადახრის ალბათობა ( $K_2 = 0.05 \div 0.75$ , ძირითადად –  $K_2 = 1.0$ );  $m$  ( $x_9$ ) – მუშაობის კოეფიციენტი ( $m = 1.4$ );  $n$  ( $x_7$ ) – გადატვირთვის კოეფიციენტი ( $n = 1.0$ );  $C_{\beta}$  ( $x_8$ ) – შეზის კოეფიციენტი;  $i$  ( $x_4$ ) – არხის ქანობი;  $H$  ( $x_{10}$ ) – ნაკადის სიღრმე.

ექსპერტების შეფასების ურთიერთთანხმობის ხარისხი დადგენილია კონკორდაციის კოეფიციენტის ( $K$ ) მეშვეობით, რომელიც გვიჩვენებს სპეციალისტების (ცხრ. 3.12) ურთიერთთანხმობის შემთხვევითობას და გამოითვლება (4.1) ფორმულით. ჩვენ შემთხვევაში  $K = 0.86$ , რაც მეტყველებს სპეციალისტების შეფასების არც თუ ისე ცუდ კანონზომიერებაზე.

როგორც ფაქტორების ანალიზმა გვიჩვენა, მადომინირებელი ფაქტორებია:  $d$ ;  $\rho_{\beta\sigma}$ ;  $\rho_0$ ;  $i$ ;  $C_y^H$ . გამოვლენილი ფაქტორების აპრიორული დიაგრამა მოყვანილია ნახ. 4.1-ზე.

ზემოთ დადგენილი ოთხი კოორდინატის (მადომინირებელი ფაქტორების) მეშვეობით მიღებული გარეცხვის პროცესების არსებული კვლევების მონაცემები მოყვანილია ცხრ. 4.2-ში [12,13,136].

აპრიორული კვლევების შედეგად გამოყოფილი ოთხი მადომინირებელი ფაქტორის მეშვეობით არაბმული გრუნტების არაგამრეცხი სიჩქარეების ნორმალური განაწილების მისაღებობის დასადგენად ორივე გამოყოფილი კლასისათვის ჩატარებული ცენტრალური მომენტების განაწილების ანგარიში (ცხრ. 4.3).



ნახ. 4.1. არაბმული გრუნტების არაგამრეცხი ფსკერული სიჩქარის რანგების სამუშალო აპრიორული დიაგრამა

ცხრილი 4.2

ფსკერული არაგამრეცხი სიჩქარის არსებული ექსპერიმენტული კვლევების კრებში არაბმული გრუნტებისათვის

№	ფაქტორი <sup>1)</sup>	$d$ , მმ ( $x_1$ )	$\rho_{გრ}$ , ტ/მ <sup>3</sup> ( $x_2$ )	$i$ ( $x_4$ ) <sup>2)</sup>	$U_{არაგამრ. ფსკ.}$ მ/წმ	კლასი
1	2	3	4	5	6	7
1	Альтшуль А.Д., 1970	0.10	2.65	0.003	0.118	I
2		0.14	2.50	0.003	0.127	I
3	ზ. მირცხულავა, 1983	0.19	2.65	0.003	0.130	I
4	Альтшуль А.Д., 1970	0.40	2.65	0.005	0.152	I
5		0.56	2.65	0.006	0.166	I
6		1.0	2.65	0.10	0.248	I
7	Алтунин С.Т., 1975	6.2	2.54	0.0045	0.480	I
8		6.2	2.54	0.0055	0.560	I
9		6.2	2.54	0.037	0.570	I
10		6.2	2.54	0.040	0.630	I
11	Алтунин С.Т., 1975	6.2	2.54	0.024	0.560	I

1	2	3	4	5	6	7
12		6.2	2.54	0.020	0.570	I
13	ზ. მირცხულავა, 1983	8.5	2.52	0.017	0.710	II
14		8.5	2.52	0.0085	0.710	II
15	Алтунин С.Т., 1975	8.5	2.52	0.0066	0.890	II

ცხრილი 4.2 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
16	Алтунин С.Т., 1975	8.5	2.52	0.0041	0.860	II
17		20.0	2.52	0.0366	0.180	II
18		20.0	2.52	0.0518	1.00	II
19		20.0	2.52	0.0601	0.930	II
20	ზ. მირცხულავა, 1983	20.0	2.52	0.0885	1.00	II
21		20.0	2.52	0.113	1.09	II
22		20.0	2.52	0.146	1.04	II
23		20.0	2.52	0.174	1.13	II
24	Альтшуль А.Д., 1970	0.22	2.65	0.00074	1.08	II

<sup>7</sup> ცხრილში მოტანილია მხოლოდ სამი ავტორის (ზ. მირცხულავა, 1983; Алтунин С.Т., 1975; Альтшуль А.Д., 1970) კვლევების შედეგები, რომელთა გამოსახულებებში უშუალოდაა შეყვანილი არხის დახრილობა ( $\rho$ ), თუმცა, როგორც აღნიშნეთ 3.2.1-ში, მკვლევართა რაოდენობა, რომელთა აზრიც ემთხვევა ერთმანეთს – მეტია.

<sup>8</sup>  $X_3$  ფაქტორის (წყლის სიმკვრივე) მნიშვნელობა  $X_3 = \rho_0 = 1 \text{ ტ/მ}^3$ .

ცხრილი 4.3

არაგამრეცხი სიჩქარეებისათვის ცენტრალური მომენტების და განაწილების ნორმალური კანონის მისაღებობის ანგარიში (არაბმული გრუნტებისათვის)

№	ცენტრალური მომენტების საანგარიშო ფორმულები	საანგარიშო მომენტების მნიშვნელობები	
		I კლასი	II კლასი

1	2	3	4
1	$\mu_1 = \frac{\sum m_i (x_i - \bar{x})^2}{m}$	$\mu_1 = 0.09$	$\mu_1 = 0.01$
2	$\mu_2 = \frac{\sum m_i (x_i - \bar{x})^3}{m}$	$\mu_2 = 0.03$	$\mu_2 = 0.0012$
3	$\mu_3 = \frac{\sum m_i (x_i - \bar{x})^4}{m}$	$\mu_3 = 0.00008$	$\mu_3 = 0.000012$
4	$\frac{\mu_2^2}{\mu_1^2} \approx 0$	$\frac{\mu_2^2}{\mu_1^2} \approx 0.1$	$\frac{\mu_2^2}{\mu_1^2} \approx 0.014$
5	$\frac{\mu_3^2}{\mu_1^2} \approx 0$	$\frac{\mu_3^2}{\mu_1^2} \approx 0.00001$	$\frac{\mu_3^2}{\mu_1^2} \approx 0.0000009$

ამრიგად, ცენტრალურ მომენტების მნიშვნელობა ადასტურებს სიხშირეების ნორმალურ განაწილებას და გამოსაყვანი ფორმულის დამაკმაყოფილებელ სიზუსტეს.

ანგარიში (I კლასისათვის)



ამოვწეროთ I კლასის წევრთა კოორდინატები (ფაქტორები) ( $x = f(d; \rho_{\rho}; i)$ )

$$\begin{aligned} f_1 &= f(0.10; 2.65; 0.003); & f_5 &= f(0.56; 2.65; 0.006); & f_9 &= f(6.2; 2.54; 0.037); \\ f_2 &= f(0.14; 2.5; 0.003); & f_6 &= f(1.0; 2.65; 0.010); & f_{10} &= f(6.2; 2.54; 0.040); \\ f_3 &= f(0.19; 2.65; 0.003); & f_7 &= f(6.2; 2.54; 0.0045); & f_{11} &= f(6.2; 2.54; 0.024); \\ f_4 &= f(0.40; 2.65; 0.005); & f_8 &= f(6.2; 2.54; 0.0055); & f_{12} &= f(6.2; 2.54; 0.020). \end{aligned}$$

დავადგინოთ მაჩვენებლების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობები და საანგარიშო კლასის მაჩვენებლების საშუალო მნიშვნელობების კვადრატები:

$$\bar{f}_1^2 = \frac{1}{12} [0.1^2 + 0.14^2 + 0.19^2 + 0.4^2 + 0.56^2 + 1.0^2 + 6.2^2 \cdot 6] = 19.34;$$

$$\bar{f}_2^2 = \frac{1}{12} [2.65^2 + 2.5^2 + 2.65^2 \cdot 4 + 2.54^2 \cdot 6] = 6.67;$$

$$\begin{aligned} \bar{f}_3^2 &= \frac{1}{12} [0.003^2 \cdot 3 + 0.005^2 + 0.006^2 + 0.01^2 + 0.0045^2 + 0.0055^2 + 0.037^2 + 0.04^2 + \\ &+ 0.024^2 + 0.02^2] = 0.0008; \end{aligned}$$

$$(\bar{f}_1)^2 = \left[ \frac{0.1 + 0.14 + 0.19 + 0.40 + 0.56 + 1.0 + 6.2 \cdot 6}{12} \right]^2 = 10.82$$

$$(\bar{f}_2)^2 = \left[ \frac{2.65 + 2.5 + 2.65 + 2.65 + 2.65 + 2.65 + 2.54 \cdot 6}{12} \right]^2 = 6.66$$

$$(\bar{f}_3)^2 = \left[ \frac{0.003 \cdot 3 + 0.005 + 0.006 + 0.1 + 0.045 + 0.0055 + 0.037 + 0.04 + 0.024}{12} \right]^2 = 0.00169$$

შესაბამისი კოორდინატების დისპერსიის მაჩვენებლები:

$$\sigma_1^2 = 19.34 - 10.82 = 8.52; \quad \sigma_2^2 = 6.67 - 6.66 = 0.01; \quad \sigma_3^2 = 0.0008 - 0.000169 = 0.00069$$

მაშინ:  $\sum_{n=1}^3 \frac{1}{\sigma_n^2} = 1666.0$ . წონითი კოეფიციენტების მნიშვნელობები ტოლია:

$$\omega_1 = \frac{1}{\sigma_1^2 \sum_{n=1}^3 \frac{1}{\sigma_n^2}} = \frac{1}{8.52 \cdot 1666.0} \approx 0.00006;$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\sigma_2^2 \sum_{n=1}^n \frac{1}{\alpha_n^2}} = \frac{1}{0.01 \cdot 1666.0} \approx 0.06;$$

$$\omega_3 = \frac{1}{\sigma_3^2 \sum_{n=1}^n \frac{1}{\alpha_n^2}} = \frac{1}{0.00063 \cdot 1666.0} \approx 0.9$$

ანალოგიური ანგარიში ჩატარდა მეორე კლასისათვის, რომლის შედეგები მოყვანილია ცხრ. 4.4-ში.

ცხრილი 4.4

არაბმული გრუნტების არაგამრეცხ სიჩქარეებზე მოქმედი ფაქტორების წონითი კოეფიციენტების მნიშვნელობები კლასების მიხედვით

ფაქტორები	წონითი კოეფიციენტის მნიშვნელობა	
	I კლასი	II კლასი
$d$	0.00006	0.003
$\rho_{გრ}$	0.06	0.21
	0.9	0.78
$i$		

წონითი კოეფიციენტის მნიშვნელობების ანალიზმა გვიჩვენა:

- ორივე კლასში ფაქტორების მნიშვნელობა ერთნაირია;
- შედარებით პრიორიტეტული წონითი მნიშვნელობის მატარებელია არხის დახრილობა ( $i$ ).

**შესაძლო ცდომილებების შეფასება.** კვლევის მონაცემების *მცირე რაოდენობის გამო* შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ცდომილებებს, რომლებიც გავლენას მოახდენს დისპერსიის მნიშვნელობაზე და შედეგი არ იქნება ობიექტური. ამიტომ ჩასატარებელია *მონაცემების საკმარისობის შეფასება* მათი გენერალური ერთობლიობის ყოველი წევრისათვის. სარწმუნო ალბათობის მნიშვნელობაა  $P = 0.95$ , ხოლო  $\tau$ -ს ტაბულირებული მნიშვნელობაა  $\tau = 2.4$  [141]. შესაძლო ცდომილებების შესაფასებლად საჭირო კომპონენტების კრებსი მოყვანილია ცხრ. 4.5-ში.

ცხრილი 4.5

შესაძლო ცდომილებების საანგარიშო კომპონენტების კრებსი

№	კომპონენტის ფორმულა	№	კომპონენტის ფორმულა
---	---------------------	---	---------------------

1	$\bar{U}_{ფსკ.}^{\text{არაგამრ.}} = \frac{\sum_1^n \bar{U}_{ფსკ.}^{\text{არაგამრ.}}}{m}$	4	საიმედოობის ხარისხის კრიტერიუმი $U_{ფსკ.} / \sigma_{\bar{x}}$
2	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n m_i (x_i - \bar{x})^2}{\nu}}$	5	$x_{\min} = \bar{x} - t \sigma$ $x_{\max} = \bar{x} + t \sigma$
3	$\sigma_{\bar{x}} = \pm \sigma / \sqrt{m}$	6	$\tau = 2.2$ $\left\{ \begin{array}{l} \nu = m - 1 = 21 \\ P = 0.95 \end{array} \right.$
		7	$P_p = \frac{100 \tau \sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}}$

შესაძლო ცდომილებები იყოფა სამ სახეობად [Мирцхулава Ц.Е., 1974]: უხეში, სისტემატური და შემთხვევითი.

უხეში ცდომილებების გამორიცხვა შეიძლება, თუ  $\frac{\bar{x}}{\sigma_{\bar{x}}} > K = 3$ . ჩვენ შემთხვევაში

$$\frac{\bar{x}}{\sigma_{\bar{x}}} > 3 \text{ ორივე კლასისათვის (ცხრ. 4.6)}$$

სისტემატურ ცდომილებებს, მიუხედავად მათი გამოვლინების სიძნელისა, ალბათ ადგილი არ ჰქონია, რადგან ჩვენ გამოვიყენეთ ცნობილი მკვლევარების მასალა, ხოლო მათი რაოდენობის საიმედოობა დადასტურებულია  $\tau = 2.2$  ფუნქციის ტაბულირებული და  $P = 0.95$  სარწმუნო ალბათობის მნიშვნელობებისას სტიუდენტის ცხრილიდან [75] კვლევების მცირე რაოდენობისათვის  $\nu=11$ .

შემთხვევითი ცდომილებების მიზეზებია – ცვლადობა. შემთხვევითი ცდომილებების დამახასიათებელი თვისებაა – კვლევების შედეგების დამოუკიდებლობა, რაც განაპირობებს ცდომილებების თანაბარი სიხშირით განაწილებას. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ასეთი ცდომილებების ჯამი ნულის ტოლია.

ცდომილებების თეორიის გამოყენება ჰიდრომელიორაციული კვლევებისას არ წარმოადგენდა ჩვენ მიზანს, – იგი დეტალურადაა განხილული აკად. ც. მირცხულავას ფუნდამენტურ შრომაში [141]. ჩვენი მიზანია ამ თეორიის გამოყენება, რომლის მეშვეობით ჩატარებულია შემთხვევითი ცდომილებების შეფასება (ცხრ. 4.6). შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა: ხარისხის საშუალო მნიშვნელობის საიმედოობა I კლასში



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	0.1÷0.3	0.2	6	-0.32	-1.92	0.61	0.4	1.04	0.3	0.0	-	1.06	2.2	0.6	49.	4.4	0.19
										9	0.26			6	5		8
I	0.3÷0.5	0.4	1	-0.30	-0.30	0.09	0.4	1.04	0.3	0.0	-	1.06	2.2	0.6	49.	4.4	0.19
										9	0.26			6	5		8
I	0.5÷0.7	0.6	5	+0.2	+1.30	0.34	0.4	1.04	0.3	0.0	-	1.06	2.2	0.6	49.	4.4	0.19
				6						9	0.26			6	5		8
II	0.7÷0.8	0.7	2	-0.20	-0.40	0.08	0.8	0.12	0.1	0.0	0.65	1.09	2.2	0.2	7.6	29	0.06
		5					7			3				2			6
II	0.8÷0.9	0.8	2	-0.10	-0.20	0.02	0.8	0.12	0.1	0.0	0.65	1.09	2.2	0.2	7.6	29	0.06
		5					7			3				2			6
II	0.9÷1.1	1.0	8	+0.0	+0.40	0.02	0.8	0.12	0.1	0.0	0.65	1.09	2.2	0.2	7.6	29	0.06
		0		5			7			3				2			6

– ერთგვაროვნობის კოეფიციენტი  $K = 0.5$  [Самедов Р.Д., 1981];

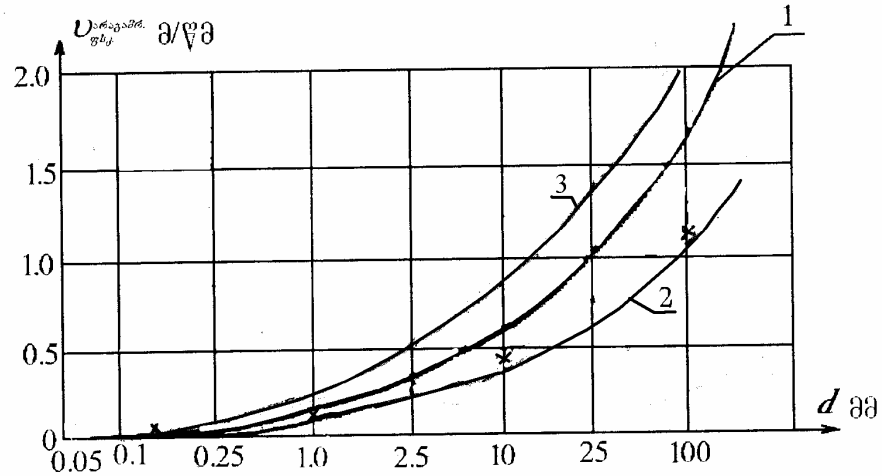
– თავისუფალი ვარდნის აჩქარება  $g = 9.8$  მ/წმ<sup>2</sup>

მაშინ, (4.8) დამოკიდებულების და ჩამოთვლილი მნიშვნელობების გათვალისწინებით, შესაბამისი გარდაქმნების შემდეგ (4.7) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$v_{ფსკ.}^{არაგამრ.} = 0.342 \left( \frac{14.8}{i^{1/6} - 26} \right) \sqrt{\frac{1.4[(\rho_{გრ} - \rho_0)d] + 1.91 \cdot 1.43 \cdot 0.5/9.8}{1000 \cdot 2.4}} \quad (4.9)$$

$$v_{ფსკ.}^{არაგამრ.} = (0.121i^{-1/6} - 0.213) \sqrt{(\rho_{გრ} - \rho_0)d + 0.14}$$

ავტორის მიერ შემოთავაზებული ფსკერული არაგამრეცი სიჩქარეების და არსებული მეთოდებით მიღებული მნიშვნელობების შედარება ადასტურებს მის სამართლიანობას (ნახ. 4.2).



ნახ. 4.2. ფსკერული არაგამრეცი სიჩქარეების მნიშვნელობების შედარება  
(არაბმული გრუნტებისათვის) ( $H = 1.0$  მ)

1 – ც. მირცხულავა; 2 – კ. იორდანიშვილი; 3 – ზ. მირცხულავა  
X – ალაზნის არხის მონაცემები

უმნიშვნელო განსხვავება, რომელიც შეიგრძნობა ნაწილაკების დიამეტრის გაზრდით (ნახ. 4.2), არხების დაპროექტებისას დასაშვებია. ჩვენი დასახული ამოცანა – ანგარიშის ოპტიმიზაცია დაპროექტებისათვის საკმარისი სიზუსტით – შესრულებულია.

რადგან შემოთავაზებული დამოკიდებულება გამოყვანილია ექსპერიმენტების შედეგებიდან, ამიტომ მათი გადაყვანა ნატურაში ხდება მასშტაბური კოეფიციენტის მეშვეობით, რომლის მნიშვნელობა, შესაბამისი მაგალითით, მოყვანილია ქვემოთ.

შემოთავაზებული მოდელის გამოყენების საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ მაგალითი.

**ანგარიშის მაგალითი** (არაბმული გრუნტებისათვის). საწყისი მონაცემები:

1. არხი გაყვანილია ერთგვაროვანი სიძსხოს წვრილმარცვლოვან არაბმულ გრუნტებში;
2. ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი –  $d = 0.12$  მმ =  $0.00012$  მ;
3. გრუნტის სიმკვრივე –  $\rho_{გრ} = 2650$  კგ/მ<sup>3</sup>;
4. წყლის სიმკვრივე –  $\rho_0 = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>;
5. არხის ქანობი –  $i = 0.01$ .

საჭიროა დაპროექტებისათვის საკმარისი სიზუსტით ვიანგარიშით დასაშვები არაგამრეცხი ფსკერული სიჩქარე.

**ანგარიში.** ჩავსვათ მოცემული სიდიდეები შემოთავაზებულ (4.9) ფორმულაში:

$$\begin{aligned} v_{\text{fsk.}}^{\text{aragamr.}} &= (0.121i^{-1/6} - 0.213)\sqrt{(\rho_{\text{gr}} - \rho_0)d + 0.14} = \\ &= (0.121 \cdot 0.01^{-1/6} - 0.213)\sqrt{(2650 - 1000)0.00012 + 0.14} = 0.047 \text{ მ/წმ} \end{aligned}$$

#### 4.2.2. არაგამრეცხი ფსკერული არაგამრეცხი სიჩქარის ოპტიმიზაცია

##### ბმული გრუნტებისათვის

ბმული გრუნტების გარეცხვაზე მოქმედი მრავალი ფაქტორის (ცხრ. 3.13) აპრიორული დახასიათება გაანალიზებულია ფაქტორული ანალიზის მეშვეობით ამიერკავკასიის გრუნტების 200-მდე ნიმუშის მონაცემების გამოყენებით, რომელიც შესრულებულია საქართველოს წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის ინსტიტუტში გასული საუკუნის 80-იან წლებში აკად. ც. მირცხულავას ხელმძღვანელობით [161]. მოქმედ ფაქტორებს შორისაა: 1 – თიხოვანი ნაწილაკების რაოდენობა,  $P_{0.05}$ , რომელთა დიამეტრი ნაკლებია 0.05 მმ-ზე; 2 – თიხოვანი ნაწილაკების რაოდენობა,  $P_{0.01}$ , რომელთა დიამეტრი ნაკლებია 0.01 მმ-ზე; 3 – შეჭიდულობა ციტოვიჩის მიხედვით ( $C_y^H$ ), კგ/სმ<sup>3</sup>; 4 – პლასტიკურობის ზედა ზღვარი ( $W_g$ ), %; 5 – პლასტიკურობის რიცხვი ( $M_p$ ); 6 – ფორიანობის კოეფიციენტი ( $I$ ); 7 – მაქსიმალური მოლეკულური ტენტევალობა ( $M_m$ ), %; 8 – მოწყვეტილი ნაწილაკების დიამეტრი ( $d$ ), მმ; 9 – გრუნტის და წყლის ხვედრითი წონების სხვაობა ( $\rho_{\text{gr}} - \rho_0$ ) კგ/მ<sup>3</sup>; 10 – ხახუნის შიდა კუთხე ( $\phi$ ); 11 – ჯდენის მოდული ( $E$ ), მმ/მ.

კორელაციის კოეფიციენტების მატრიცის, რედუცირებული კორელაციური მატრიცის, სიმეტრიული რედუცირებული კორელაციური მატრიცის და რედუცირებული ფაქტორული მატრიცის შედგენის შემდეგ ჩამოყალიბდა თერთმეტი ტესტის საბოლოო ფაქტორული მატრიცა, რომელთა პირველი ხუთი ტესტის ( $C_y^H, W_g, I, d, P_{0.01}$ ) წონითი კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. 4.7-ში.

## წონითი კოეფიციენტების მნიშვნელობები

№	ტესტები (ფაქტორები)	წონითი კოეფიციენტის მნიშვნელობა, (ა)
1	შეჭიდულობა, ( $C_y^H$ , პა)	0.35
2	პლასტიკურობის ზედა ზღვარი ( $W_g$ , %)	0.15
3	ფორიანობის კოეფიციენტი ( $l$ )	0.14
4	მოწყვეტილი ნაწილაკების დიამეტრი ( $d$ )	0.14
5	თიხოვანი ნაწილაკების რაოდენობა, რომელთა დიამეტრი 0.01 მმ-ზე ნაკლებია ( $P_{0.01}$ )	0.12

ფაქტორების ანალიზმა აჩვენა, რომ ბმული გრუნტების გარეცხვაზე მოქმედებს შემდეგი მადომინირებელი ფაქტორები: შეჭიდულობა ( $C_y^H$ ), პლასტიკურობის ზედა ზღვარი ( $W_g$ ), ფორიანობის კოეფიციენტი ( $l$ ), მოწყვეტილი ნაწილაკების დიამეტრი ( $d$ ) და იმ თიხოვანი ნაწილაკების რაოდენობა ( $P_{0.01}$ ), რომელთა დიამეტრი ნაკლებია 0.01 მმ-ზე.

დანარჩენი ექვსი ფაქტორის (თიხოვანი ნაწილაკების  $P_{0.001} < 0.05$  მმ რაოდენობა, პლასტიკურობის რიცხვი, მოლეკულური ტენიანობის მაქსიმალური მნიშვნელობა  $M_m$  (%), სხვაობა გრუნტისა და წყლის კუთრ წონებს შორის ( $\rho_{gr} - \rho_0$ ) კგ/მ<sup>3</sup>; ხახუნის შიდა კუთხე ( $\varphi$ ), ჯდენის მოდული ( $E$ ) მმ/მ) ზემოქმედება თიხოვანი გრუნტების გარეცხვაზე – მცირეა, ამიტომ პრაქტიკული ანგარიშებისათვის ზემოთ ჩამოთვლილი ხუთი ფაქტორი საკმარისია.

ბმული გრუნტების სიმკვრივე  $\rho_{gr} = 2700 \div 2780$  კგ/მ<sup>3</sup> და ფაქტორული ანალიზის თანახმად, ( $\rho_{gr} - \rho_0$ )-ის ზემოქმედება ეროზიის პროცესზე უმნიშვნელოა, ამიტომ მივიღოთ:  $\rho_{gr} - \rho_0 = 1740$  კგ/მ<sup>3</sup>.

რადგან განსაზღვრული გრუნტი ხასიათდება  $C_y^H$  შეჭიდულობით, შესაბამისი პლასტიკურობის მნიშვნელობით ( $W$ ), ფორიანობის კოეფიციენტით ( $l$ ) და თიხოვანი ნაწილაკების რაოდენობით ( $P$ ), – ამიტომ ეს მახასიათებლები საანგარიშო ფორმულებში არ შედის. მაშასადამე, ფაქტორული ანალიზის მეთოდის გათვალისწინებით, ანგარიშში ფიგურირებს: შეჭიდულობა ( $C_y^H$ ); მოწყვეტილი ნაწილაკების დიამეტრი ( $d$ ); მუშაობის



პირობების კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობაა  $m=1$ ;  $n$  - გადატვირთვის კოეფიციენტის ნორმალური მნიშვნელობა, რომელიც განსაზღვრავს სიჩქარეების პულსაციურ თვისებებს;  $n_{\rho}$  - მისი შეცვლილი მნიშვნელობა, რომელიც დამოკიდებულია ნაწილაკების ამოწევაზე ტურბულენტური რეჟიმის დროს, როდესაც  $n=4.0$ . თუ  $d > 1.5$  მმ  $n=4.0$ ;  $n=1 + \frac{1}{0.3 + (v^2/gd^3)^{1/3}} \rightarrow 1.0$  თუ  $d \rightarrow 0$ ;  $n_{\rho} = 4.3$

თუ  $d > 1.5$  მმ [143]. მაშასადამე, პრაქტიკულ ანგარიშებში შეიძლება მივიღოთ  $\frac{n}{n_{\rho}} \approx 1$ .

ბმული გრუნტების არაგამრეცი ფსკერული სიჩქარის გამოსახულების ოპტიმიზაციისათვის გამოვიყენოთ ზ. მირცხულავას და პ. ტულუმის მიერ შემოთავაზებული დამოკიდებულება, რომლითაც შესაძლებელია არხის ქანობის ( $i$ ) გათვალისწინება (შეზის კოეფიციენტის ( $C_{\eta}$ ) მეშვეობით [136, 192]:

$$v_{\text{ფსკ.}}^{\text{არაგამრ.}} = 0.342C_{\eta} \sqrt{\frac{m[g(\rho_{\text{გრ}} - \rho_0)d + 1.9C_y^H \cdot K]}{\rho_0 n_{\rho} g}} \quad (4.10)$$

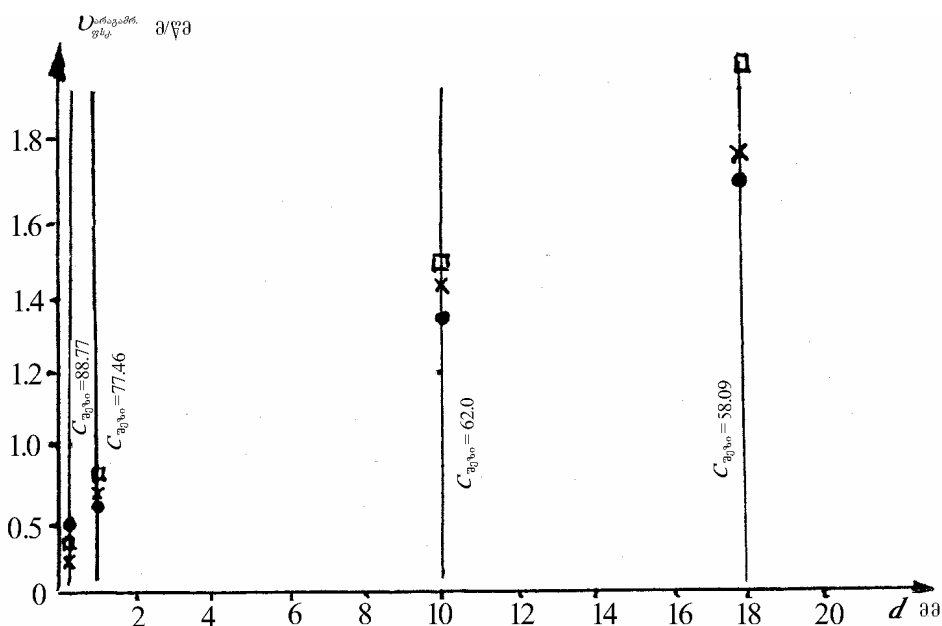
სადაც  $C_{\eta}$  - შეზის კოეფიციენტი.

როგორც წესი, მსგავსობის თეორიის ხერხები გამოიყენება, თუ გამოსაკვლევი პროცესის ყველა პარამეტრი არ არის ცნობილი. აქ არ შეიძლება არ აღვნიშნოთ, რომ ეს მეთოდი, რომელიც გამოყენებულია ზ. მირცხულავას მიერ არაბმული გრუნტებისათვის, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ბმული გრუნტებისთვისაც, თუ, რა თქმა უნდა, არ ველოდებით ანგარიშის მაღალ სიზუსტეს.

ზემოთ მოყვანილი გადაწყვეტილებების გათვალისწინებით ფორმულა (4.10) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$v_{\text{ფსკ.}}^{\text{არაგამრ.}} = 0.222C_{\eta} \sqrt{d + 0.00011C_y^H \cdot K} \quad (4.11)$$

(4.11) ფორმულის ანგარიშის შედარება სხვა მკვლევარების ფორმულებთან უმნიშვნელო სხვაობას იძლევა (ნახ. 4.3).



ნახ. 4.3. დასაშვები (არაგამრეცხვი) სიჩქარეების შედარება ბმული გრუნტებისათვის ( $C_y^H = 0.9$ ). 1 – • ვ. კნოროზი; 2 – × ზ. მირცხულავა; 3 – □ კ. იორდანიშვილი (ფ-ლა 4.11)

მაშასადამე, განსხვავება, რომელიც შეიმჩნევა ნაწილაკების დიამეტრის გაზრდისას, არხების დაპროექტებისათვის დასაშვებია. ჩვენი დასახული ამოცანა – ანგარიშის ოპტიმიზაცია დამპროექტებლებისათვის საკმარისი სიზუსტით – შესრულებულია.

შემოთავაზებული რეკომენდაციები არაგამრეცხვი სიჩქარის დასადგენად არაბმული და ბმული გრუნტებისათვის გათვალისწინებულია ტაშისკარისა და ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემის რეაბილიტაციისას.

ჩვენ შემდგომ გამოკვლევებში დასახული გვაქვს სიჩქარეების ოპტიმიზაცია ნაკადის სიღრმის სხვადასხვა დონისათვის.

### 4.3. არაბმულ გრუნტებში არხების კალაპოტების გარეცხვის პროცესის კვლევა საველე პირობებში

გრუნტების გარეცხვის პროცესის სწორი ინტერპრეტაციისათვის და ჩვენს მიერ შემოთავაზებული (4.9) დამოკიდებულების საიმედო გამოყენებისათვის საჭირო გახდა შემოწმება საველე პირობებში, რაც განხორციელდა აღმოსავლეთ საქართველოს ქვემო ალაზნის მიწის არხზე. ამორჩეული იქნა ის უბნები, სადაც ნაკადი დინამიკურ

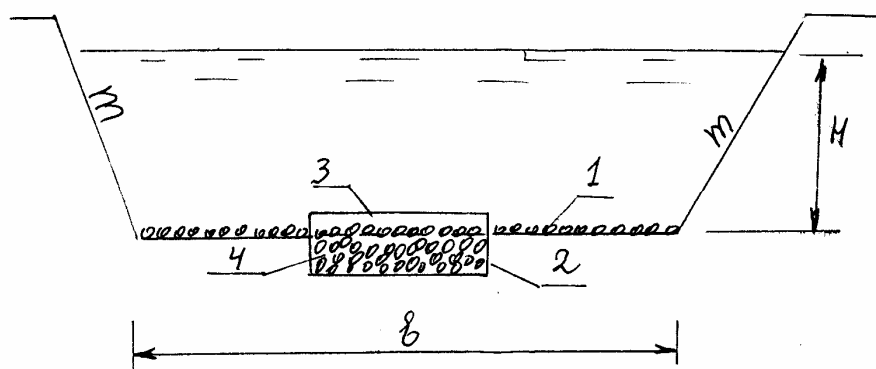
წონასწორობაშია.

ნატურული კვლევების ძირითადი ამოცანებია: ფსკერის ნაწილაკების ძვრის დასაწყისი ფიქსირება; ერთნაირი სიმსხოს ფსკერის ნაწილაკებისათვის არაგამრეცი სიჩქარის ფიქსირება და გაზომვა; ნაკადის კინემატიკური მაჩვენებლების ფიქსირება.

კვლევები ტარდებოდა არხებში სიღრმის, ქანობის და ფსკერული გრუნტის ნაწილაკების დიამეტრების ფიქსაციით (ნახ. 4.4).

საველე პირობებში ჩატარებულმა კვლევებმა საშუალება მოგვცა თავიდან ავიცილოთ მასშტაბური ეფექტით გამოწვეული დამახინჯება. ბუნებრივ პირობებში აღებული გრუნტი თავსდებოდა ბოლო კასეტებში, შესაბამისი ზომებით (300×150×100 მმ).

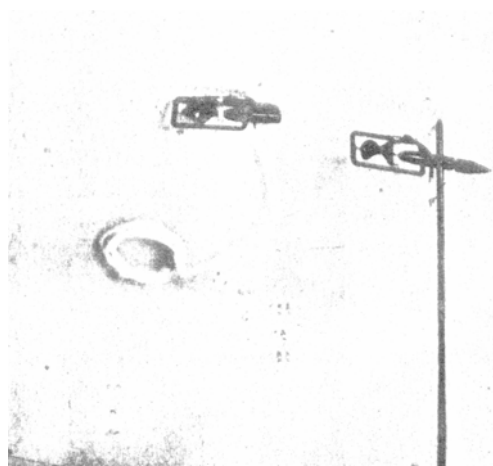
ცდები ტარდებოდა იდენტური პირობებისათვის: გრუნტი რკინის კასეტებში ერთნაირად იყო დატკეპნილი და წყალში ჩადება და ამოღება ერთდროულად ხდებოდა (იხ. 1). მიწის არხის კალაპოტის მდგრადობა განისაზღვრება მისი მორფომეტრული და ჰიდრავლიკური ფაქტორების ერთობლიობით. როგორც წესი, საველე პირობებში ნატანის მასობრივი გადატანა ხდება წყალდიდობების დროს, როდესაც წყალი მღვრია, მაგრამ ამ პერიოდში ვიზუალური დაკვირვება შეუძლებელია, ამიტომ კვლევები ჩატარდა არხში სუფთა წყლის დინების დროს, გრუნტის ერთგვაროვანი შემადგენლობისას. გრუნტის ერთგვაროვნობა მიიღწეოდა სტანდარტული საცრების გამოყენებით. გრუნტის ნაწილაკები, რომლებიც წინასწარ იჟლინთებოდა წყლით და იტკეპნებოდა, თავსდებოდა რკინის კასეტებში, რომლებიც ჰერმეტიკულად იხურებოდა. შემდეგ კასეტები თავსდებოდა კალაპოტის ფსკერში წინასწარ ამოთხრილ ორმოში, რომლის სიმაღლე კასეტის სიმაღლის ტოლი იყო. შემდგომ, უკვე წყალში, სახურავი სცილდებოდა და ტარდებოდა ვიზუალური დაკვირვებები.



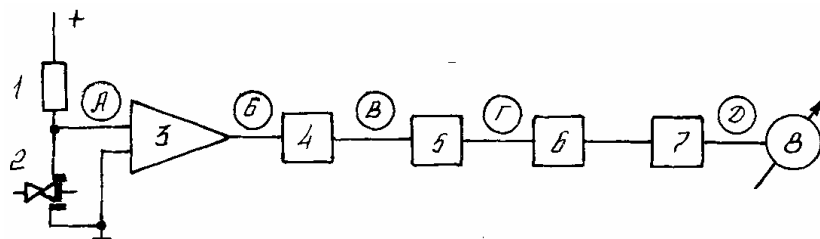
ნახ. 4.4. ნატურული ცდების სქემა. 1 – არხის ძირის ნაწილაკები; 2 – კასეტა (ყუთი); 3 – კასეტის სახურავი; 4 – ერთნაირი სიმახლობის ნაწილაკები კასეტაში

სიჩქარის გაზომვა ხდებოდა მიკროტრიალას მეშვეობით (ნახ. 4.5, 4.6, 4.7), რომლის ტექნიკური მახასიათებლებია:

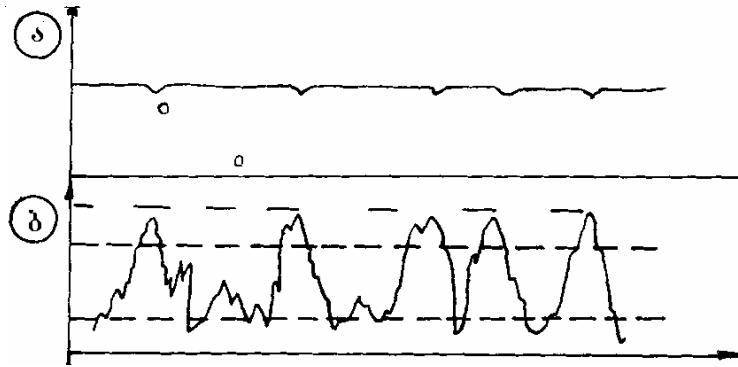
1. მყისიერი და გასაშუალებული სიჩქარის გაზომვა;
2. მიკროტრიალას X-6, X-7 ტიპის გამოყენებისას სიჩქარის დიაპაზონია 0.005÷2.2 მ/წმ;
3. მიკროტრიალას ბრუნვის სიხშირის დიაპაზონი – 10÷250 იმპულსი/წ;
4. გამღიერების კოეფიციენტი – 60÷1000;
5. გასაზომი სიგნალების დიაპაზონი – MB5÷5000;
6. მაქსიმალური ცდომილება  $\leq 5\%$ .



ნახ. 4.5. მიკროტრიალას ფოტო



ნახ. 4.6. სიჩქარის გასაზომი მოწყობილობის ბლოკ-სქემა



ნახ. 4.7. ძაბვის ოსცილოგრამა

მოწყობილობა მუშაობს შემდეგი სქემით: სიგნალი, რომელიც მიიღება წინაღობიდან (1), რაც, თავისთავად, მიკროტრიალას დატვირთვაა, ძლიერდება გამაძლიერებლით (3) და მიეწოდება შმიდტის ტრიგლერს (4), რომლის საშუალებით გამოიყოფა მიკროტრიალას ბრუნვის სიხშირე. ფორმირატორი (5) აფორმირებს მუდმივი ხანგრძლივობის იმპულსს, რის განმავლობაშიც დენის იმპულსის გენერატორი (6) უზრუნველყოფს დენის მუდმივობას (სტაბილურობას) ინტეგრატორის (7) დატვირთვისას, რაც უზრუნველყოფს გაზომვების მკაცრ წრფივობას. ინტეგრატორის დატვირთვაა ისრიანი მოწყობილობა (8), რომლითაც ცდების ჩატარების დროს ფიქსირდებოდა კასეტებში მოთავსებული გრუნტის ნაწილაკების გარეცხვის პროცესის დასაწყისი, გრუნტის შესაბამისი სიმკვრივის, დიამეტრის, კალაპოტის ქანობის და სიღრმის მნიშვნელობებისას. პარალელურად სპეციალური მზომი ნემსით ფიქსირდებოდა ნაკადის სიღრმე (H). მიკროტრიალას საშუალებით იზომებოდა ნაკადის სიჩქარე, როგორც ფსკერზე, ისე ნაკადის ვერტიკალზე. ცდის მონაცემების მოყვანილია ცხრ. 4.8-ში.

ცხრილი 4.8

საველე ცდების მონაცემები და მათი შედარება სხვადასხვა მკვლევარის მონაცემებთან  
(არაბმული გრუნტებისათვის)

№	ცდების ადგილმდებარეობა	ნაკადის სიღრმე, H, მ	ფსკერის დაქანება, i	გრუნტის სახეობა კალაპოტის ფსკერზე	ფსკერული ნაწილაკის საშუალო დიამეტრი, d მმ	ფსკერული არაგამრეცი სიჩქარე V <sub>ფსკ</sub> (ცდებით)	V <sub>ფსკ</sub> , მ/წმ, ფორმულა (4.9)-ის მიხედვით	ც.ი. მირცხულავა, 1967	ზ.ც. მირცხულავა, 1983	ვ.ს. კნოროზი, 1962	ვ.ნ. გონჩაროვი, 1962
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ალაზნის არხი	1.0	0.01	ხრეში	0.12	0.05	0.47	0.05	0.05	0.04	0.05
2	ალაზნის არხი	1.0	0.01	ხრეში	1.00	0.10	0.12	0.15	0.18	0.12	0.15
3	ალაზნის არხი	1.0	0.01	ხრეში	2.50	0.30	0.25	0.30	0.50	0.32	0.32
4	ალაზნის არხი	1.0	0.01	ხრეში	10.00	0.40	0.34	0.60	0.80	0.62	0.50
5	ალაზნის არხი	1.0	0.01	ხრეში	100.0	1.10	1.04	1.6	2.0	1.7	1.30

ცდების მონაცემების შედარება ჩვენს მიერ გამოყვანილ (4.9) და რიგი მკვლევარების მიერ შემოთავაზებულ დამოკიდებულებებთან ადასტურებს დამაკმაყოფილებელ შესაბამისობას.

#### 4.4. მთიან რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების ქიმის ნიშნულის პროგნოზი ქარისმიერი ტალღების გათვალისწინებით

არსებული ნორმების თანახმად [СНиП 2.06.04-82] არხის ფერდის ქიმის ნიშნული მასში წყლის მაქსიმალური დონიდან დგინდება ქვემოთ მოყვანილი ცხრილის მიხედვით (ცხრ. 4.9), რომლის მნიშვნელობა დასაბუთებულია ქარით გამოწვეული ტალღის სიმაღლით.

ცხრილი 4.9

მიწის არხის ფერდის ქიმის შემადგენელი მაქსიმალური დონიდან

წყლის ხარჯი არხში, მ <sup>3</sup> /წმ	ქიმის შემადგენელი, მ
<1	0.2
1-10	0.3
10-30	0.4

30-50	0.5
50-100	0.6

თუ მხედველობაში მივიღებთ იმ გარემოებას, რომ მაგალითად, ზემო ალაზნის I რიგის მაგისტრალურ არხზე წყლის მაქსიმალური ხარჯია 24 მ<sup>3</sup>/წმ, მაშინ მიწის არხში СНИП-ის მიხედვით შემადღება არ უნდა აღემატებოდეს 0.4 მ. ძლიერი ქარის დროს ( $V > 25$  მ/წმ) არხის სიგრძეზე ქარსაცავი ზოლის უქონლობის გამო, არხის ქიმზე შეინიშნება წყლის გადადინება, რაც განსაკუთრებით ხშირია არხის მოხვევის მონაკვეთებზე.

ბოლო ათი წლის განმავლობაში ქვეყანაში შექმნილი პოლიტიკური, სოციალური და ეკონომიკური მდგომარეობის, აგრეთვე ბუნებრივი დამანგრეველი პროცესების გამო, კერძოდ, ქარისმიერი ტალღების მოქმედების არგათვალისწინებით, რიგი არხები გამოსულია მწყობრიდან.

საქართველოს მიწების მეცნიერულად დასაბუთებული მელიორაცია უნდა განხორციელდეს ახალი არხების შექმნით და არსებული არხების რეაბილიტაციით. როგორც წესი, არხების დაპროექტება ხდება ტალღური დატვირთვის გაუთვალისწინებლად. ასეთი ანგარიში ტარდებოდა მსხვილი არხებისათვის, როგორცაა რუსეთის და შუა აზიის არხები, რომელთა სიგანე 200 მ-ს აღემატება. საქართველოს ბუნებრივ პირობებში და წყლის მცირე რესურსების გამო, ფუნქციონირებს და ალბათ შეიქმნება ისეთი არხები, რომელთა სიგანე არ აღემატება 20 მ-ს. ამიტომ ამ ნაწილში მოყვანილია შეზღუდული სიგანის არხებში ქარისმიერი ტალღების პარამეტრების პროგნოზის მეთოდი.

#### 4.4.1. არხში ქარისმიერი ტალღების გენერაცია

არხებში ქარისმიერი ტალღების წარმოქმნა შესწავლილია რიგი კვლევების საფუძველზე, სადაც დაკვირვებები ჩატარებულია ვიწრო წყალსაცავებზე [18,96,133,203,233], ისე დისკრეტული მონაცემების საფუძველზე მარიინის და ალაზნის მაგისტრალურ არხებზე.

არხებში ტალღების გენერაციის პროცესი უნდა მივაკუთვნოთ წყლის ე.წ. „ღრმა წყალს“, სადაც სრულდება პირობა  $H \geq 0.6\lambda$  ( $H$  – წყლის სიღრმე,  $\lambda$  –  $H/\lambda$  ტალღის სიგრძე).

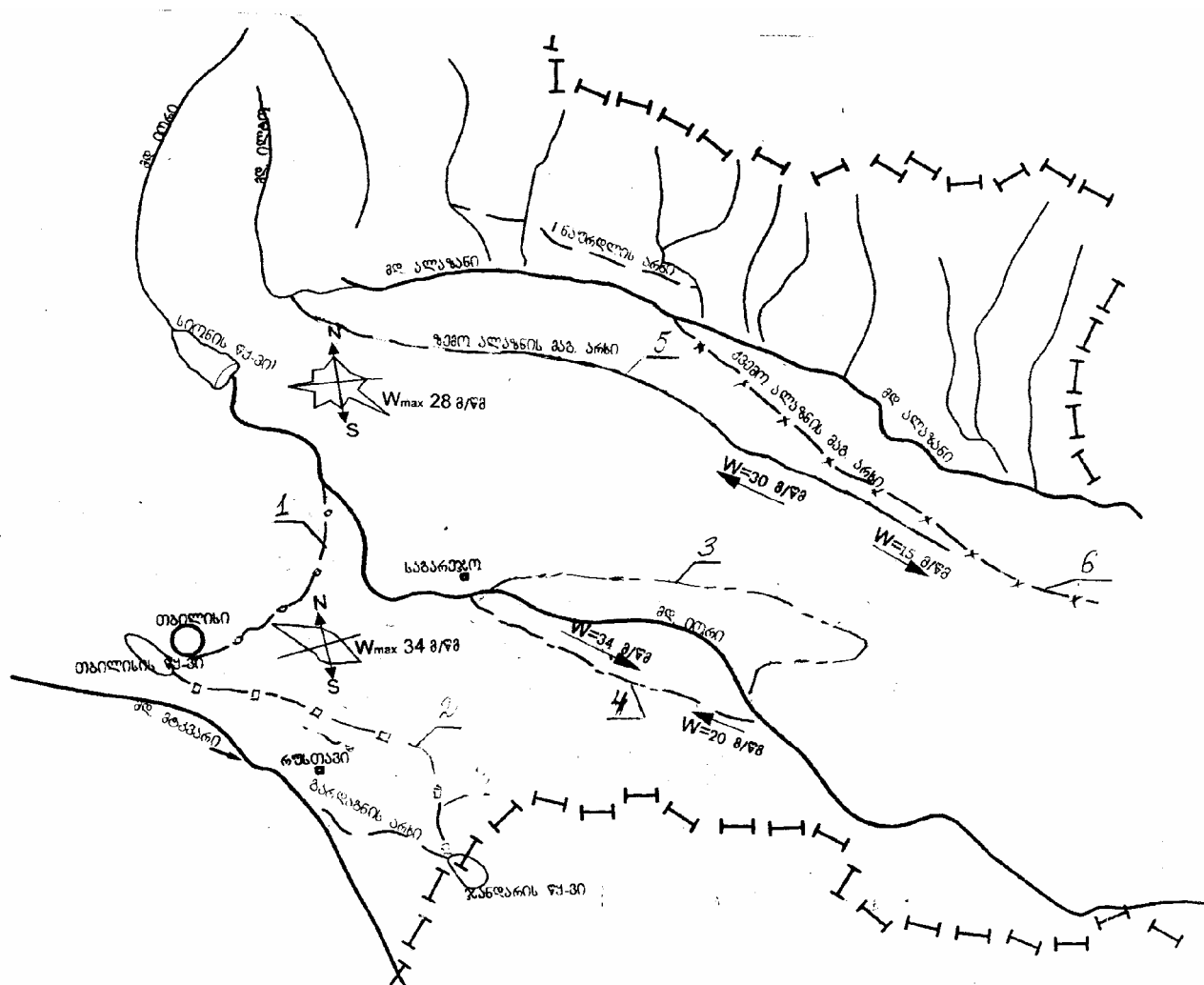
აღმოსავლეთ საქართველოს მთიანი რეგიონების ვიწრო წყალსაცავებში ტალღების განვითარება რთულდება ქარის გაქანების მცირე სიგრძის გამო [88] არხებში, ისევე, როგორც მთის ვიწრო წყალსაცავებში, წარმოქმნილი ქარისმიერი ტალღები განპირობებულია შემდეგი ფაქტორებით: ტალღის გაქანების სიგრძით, არხში წყლის სიღრმით და ქარის სიჩქარით.

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულ არხებზე შეიმჩნევა დასავლეთის, სამხრეთ-დასავლეთის, ჩრდილო-დასავლეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულების ქარები. ქარის მაქსიმალური მნიშვნელობა  $W = 26 \div 35$  მ/წმ. (ნახ. 4.8).

არხის გრძივი ღერძის და მაქსიმალური ტალღების მიმართულების დამთხვევისას არხში შეიძლება წარმოიქმნას მნიშვნელოვანი სიდიდის ტალღები.

დინების დამთხვევისას ტალღის სიმაღლე ( $h$ ) მცირდება, ხოლო სიგრძე ( $\lambda$ ) – იზრდება. შემხვედრი დინება ხელს უწყობს ტალღის სიგრძის შემცირებას, ხოლო ტალღის სიმაღლე იზრდება.





ნახ. 4.8. აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ძირითადი არხების განლაგება

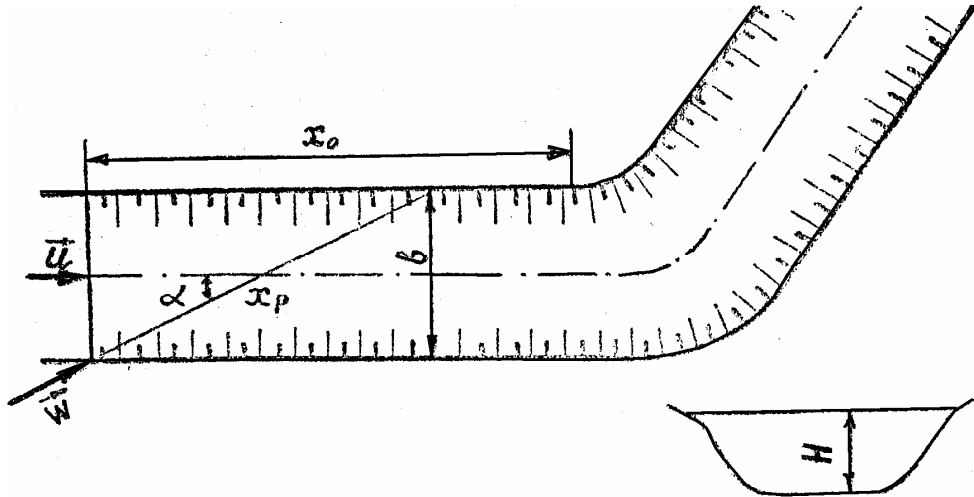
ქარის მიმართულების აღნიშვნით

- ზემო სამგორის ს.ს. 1 სამგორის ზემო მაგისტრალური არხი;
- 2 სამგორის ქვემო მაგისტრალური არხი;
- ქვემო სამგორის ს.ს. 3 სამგორის მარცხენა მაგისტრალური არხი;
- 4 სამგორის მარჯვენა მაგისტრალური არხი;
- ალაზნის ს.ს. 5 ზემო ალაზნის მაგისტრალური არხი 78.177 კმ  
(ბეტონის, სარეაბილიტაციო);
- ალაზნის ს.ს. 6 × ქვემო ალაზნის მაგისტრალური არხი (არსებული,

არხში ტალღის საშუალო და მოცემული უზრუნველყოფის სიმაღლის, სიგრძის და პერიოდის ანგარიშისათვის საჭიროა შემდეგი ფაქტორები:  $W$  – ქარის სიჩქარე;  $a$  – ქარის გენერალური მიმართულება არხის ღერძის მიმართ;  $H$  – არხში წყლის სიღრმე;  $b$  – არხის სიგანე;  $x_0$  – არხის სწორხაზოვანი მონაკვეთის სიგრძე;  $U$  – ნაკადის საშუალო

სიჩქარე. არხში ქარის გაქანება ( $x_p^1$ ) განისაზღვრება შემდეგნაირად (ნახ. 4.9):

$$x_p^1 = \begin{cases} x_0, & \alpha = 0^\circ, 180^\circ \\ \frac{b}{\sin \alpha}, & 0^\circ < \alpha < 180^\circ \end{cases} \quad (4.12)$$



ნახ. 4.9. არხში ქარისმიერი ტალღების გენერაციის ამოცანის სქემა

გაქანების ეფექტური სიგრძე ( $x_p$ ) განისაზღვრება გრაფიკის მეშვეობით (ნახ. 4.10).  $(b/x_0)$ -ის გამონაგარიშებული მნიშვნელობის მეშვეობით განისაზღვრება ( $x_p/x_p^1$ ) და ( $x_p$ ).

დინებაზე გაქანების ეფექტური სიგრძე განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით [96,203]:

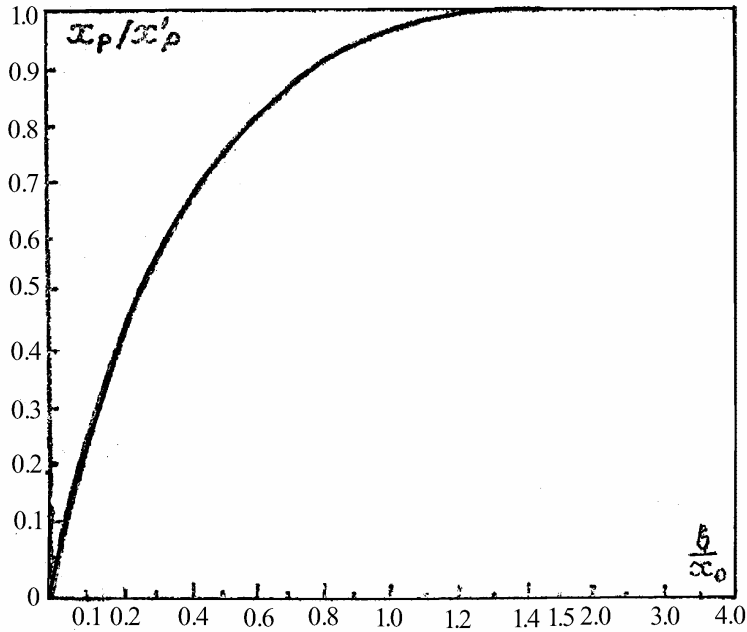
$$\frac{X_p}{x_p} = \frac{\int_{x_H^1}^{x_k^1} \left[ 0.0348 \left( \frac{X_p}{x_p} \right)^{0.0354} \left( \frac{U |\cos \alpha|}{W} \right)^{-1} x^{0.354} \pm 1 \right]^{-1} dx}{44.52 \frac{U |\cos \alpha|}{W} (x_k^1)^{0.646} - 0.069} \quad (4.13)$$

სადაც  $x^1 = gx_p/W^2$ .

განტოლება 4.13 ამოიხსნება მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდით, „+“ ნიშანი შეესაბამება თანამგზავრულ, ხოლო „-“ ნიშანი – მოპირდაპირე დინებას. ინტეგრირების საზღვრები მრიცხველში განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$x_k^1 = \frac{g x_p}{W^2} \tag{4.14}$$

$$x_k^1 = \begin{cases} 0.016 & \text{თანამგზავრული დინების დროს} \\ 1.32 \cdot 10^4 \left( \frac{U |\cos \alpha|}{W} \right)^{2.825} \left( \frac{X_p}{x_p} \right)^{-1} & \text{მოპირდაპირე დინების დროს} \end{cases}$$



ნახ. 4.10. გაქანების ეფექტური სიგრძის  $x_p/x_0$  და  $b/x_0$  დამოკიდებულება

თუ მოპირდაპირე დინების დროს  $x_k^1 \leq x_H^1$ , მაშინ დინების მიმართულებით გავრცელებული ქარისმიერი ტალღების მნიშვნელობა მცირეა.

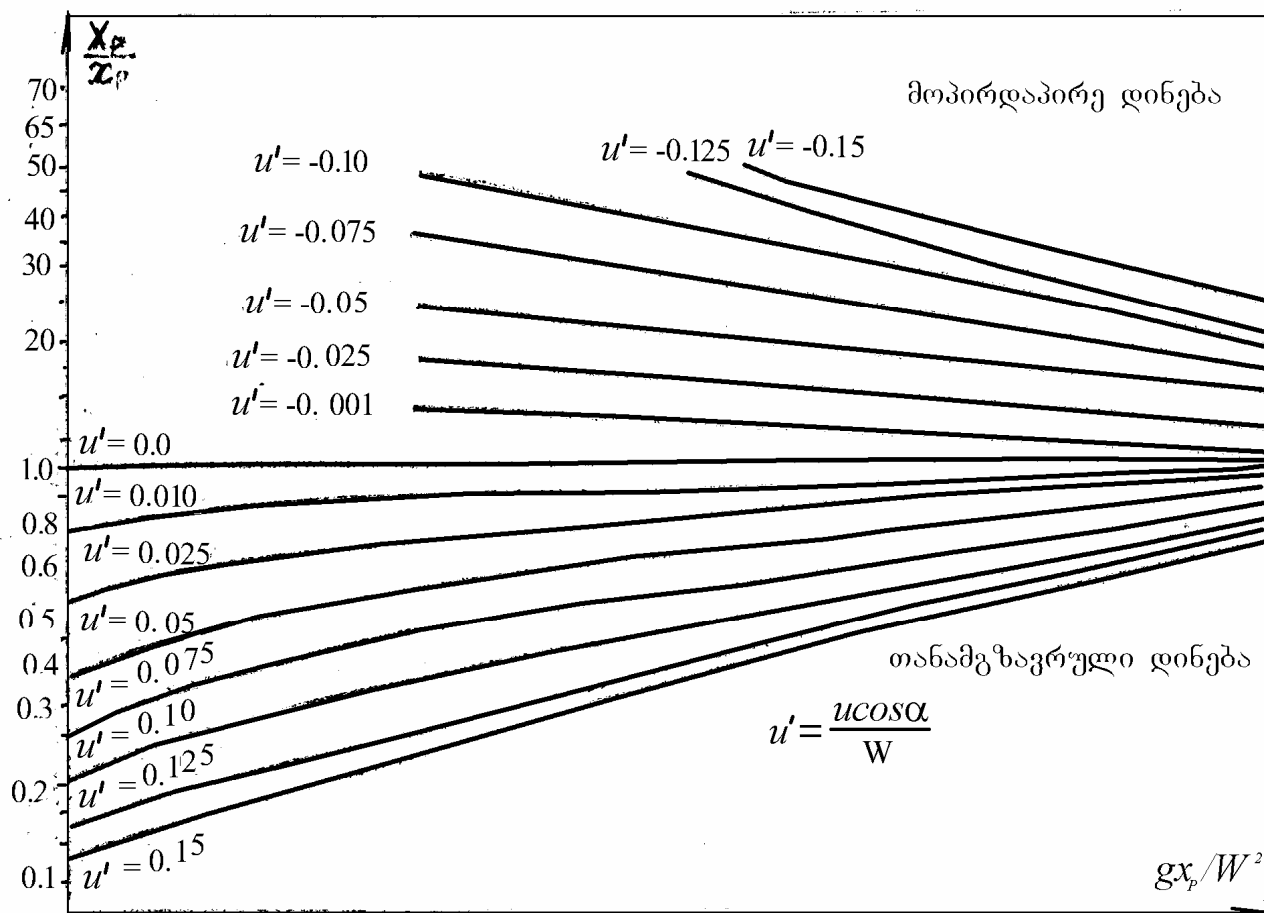
$X_p$ -ს ანგარიში ადვილდება ნომოგრამის გამოყენებით (ნახ. 4.11).

ქარისმიერი ტალღების საბოლოო სიმაღლე არხში ( $\bar{h}$ ) განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$\frac{g\bar{h}}{W^2} = 0.0017 \left( \frac{gX_p}{W^2} \right)^{0.669} \operatorname{th} \left[ 58.82 \frac{\left( \frac{gH}{W^2} \right)^{0.8}}{\left( \frac{gX_p}{W^2} \right)^{0.669}} \right] \tag{4.15}$$

ქარისმიერი ტალღების საშუალო პერიოდი ( $\bar{t}$ ) განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$\frac{g\bar{\tau}}{W} = 2.04 \cdot 2\pi \left( \frac{g\bar{H}}{W^2} \right)^{0.529} \quad (4.16)$$



ნახ. 4.11. ეფექტური გაქანების განსაზღვრა არხში დინების მხედველობაში მიღებით

ტალღების საშუალო სიგრძე –  $\bar{\lambda} = \bar{C} \cdot \bar{\tau}$ , სადაც  $\bar{C}$  – საშუალო ფაზური სიჩქარეა:

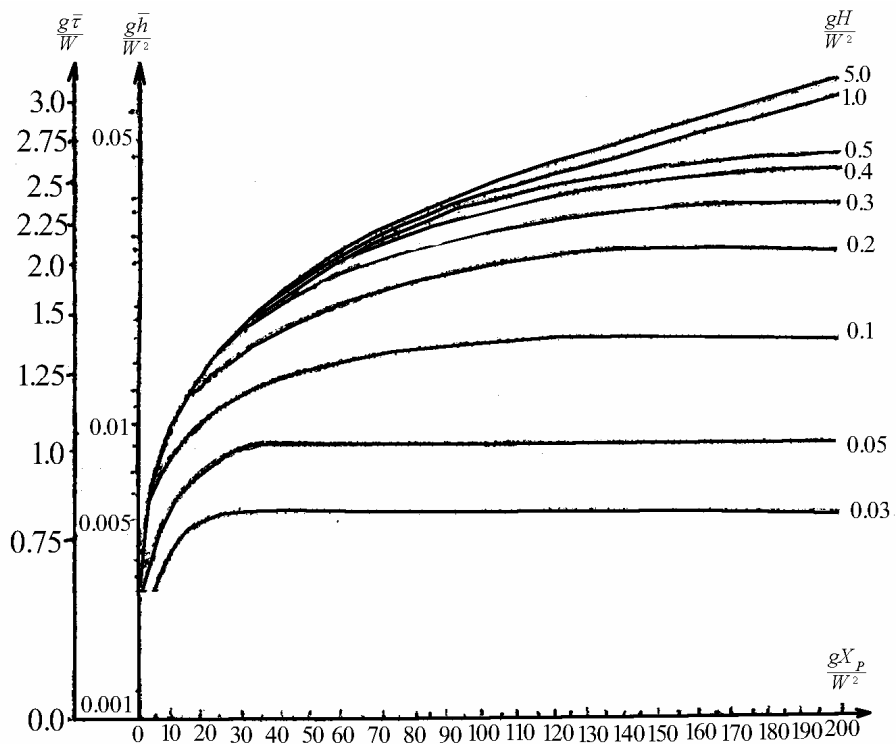
$$\bar{C} = \frac{g\bar{\tau}}{2\pi} th \frac{2\pi H}{\bar{C}\bar{\tau}} \quad (4.17)$$

$\bar{h}$ ,  $\bar{\tau}$  და  $\bar{C}$  -ს საანგარიშო ნომოგრამები მოყვანილია ნახ. 4.12 და 4.13-ზე (მცირე გაქანების პირობებში  $\frac{gX_p}{W^2} < 200$ ). არხში ( $i$ ) უზრუნველყოფის ტალღის სიმაღლე ( $h_i$ ) განისაზღვრება ნომოგრამით (ნახ. 4.14).

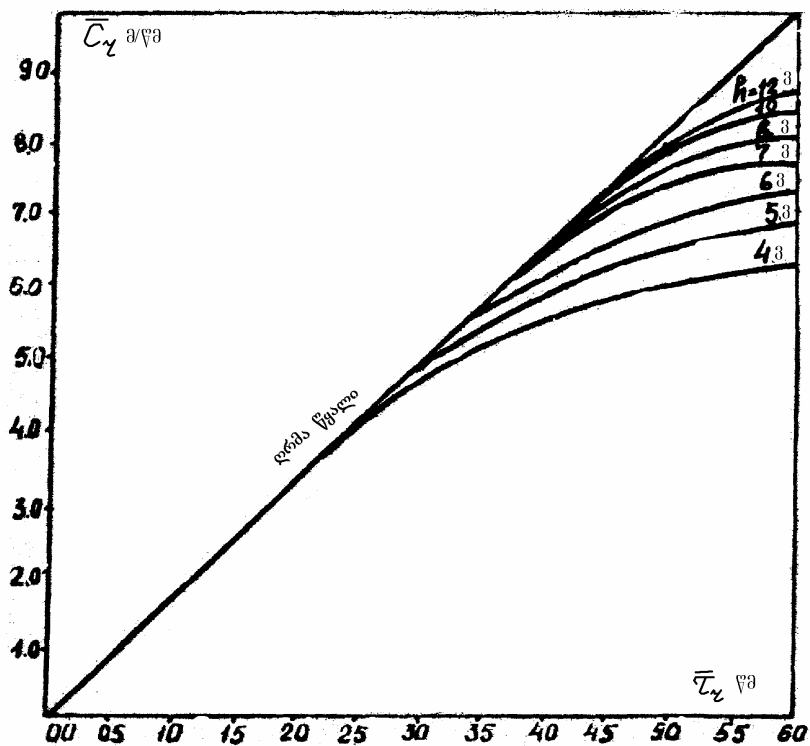
არხში ( $i$ ) უზრუნველყოფის ტალღის სიგრძე იანგარიშება ფორმულით:

$$\lambda_i = k_\lambda \bar{\lambda} \quad (4.18)$$

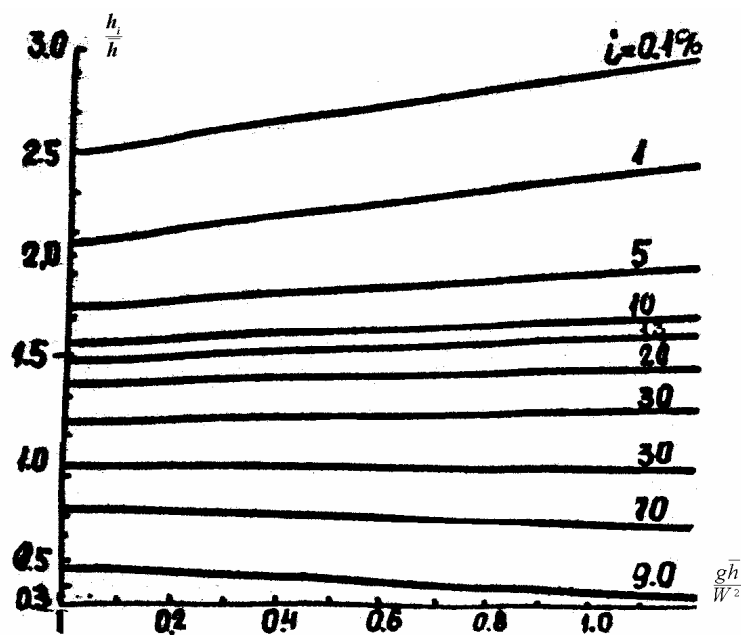
სადაც  $k_\lambda$  – უზრუნველყოფის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა აიღება ცხრილიდან (ცხრ. 4.10).



ნახ. 4.12. ტალღის საშუალო სიმაღლის  $\bar{h}$  და პერიოდის  $\bar{\tau}$  ანგარიშის ნომოგრამა მცირე გაქანების პირობებში



ნახ. 4.13. ფაზური სიჩქარის საანგარიშო ნომოგრამა



ნახ. 4.14. (ი) უზრუნველყოფის ტალღის სიმაღლის საანგარიშო ნომოგრამა

ცხრილი 4.10

ტალღის სიგრძის უზრუნველყოფის კოეფიციენტის მნიშვნელობები

$I, \%$	1.0	5.0	10.0	20.0	50.0
$k_\lambda$	2.24	1.88	1.68	1.41	1.25

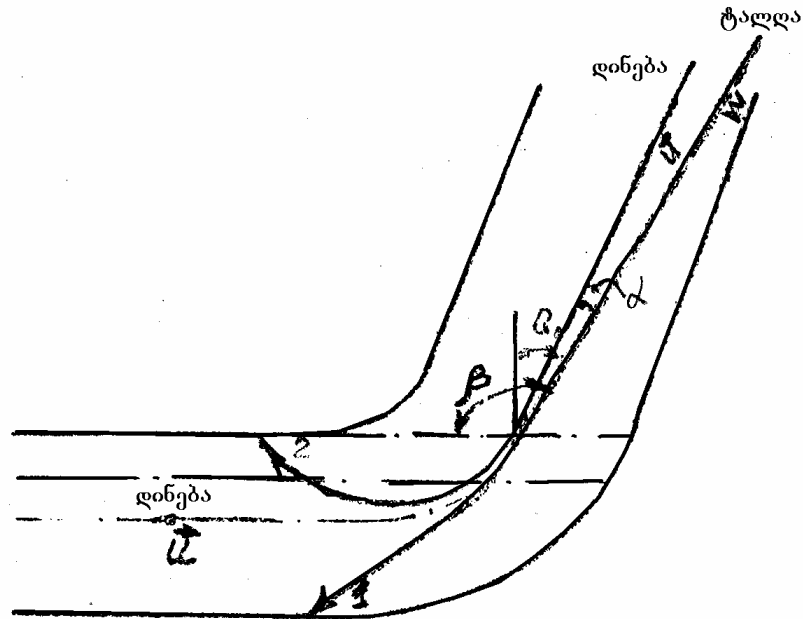
#### 4.4.2. არხის მოხვევის მონაკვეთზე ტალღების რეფრაქცია

იმის გამო, რომ მთიანი რეგიონების არხები გამოირჩევა ციცაბო ფერდობებით, ტალღის ტრანსფორმაციის ანგარიში, როგორც წესი, არ ტარდება. ამიტომ შეიძლება მივიღოთ, რომ არხის ფერდობებზე ტალღის ტრანსფორმაციას ადგილი არ აქვს.

არხის მოხვევის მონაკვეთზე ტალღები განიცდის რეფრაქციას, რისი გათვალისწინებაც აუცილებელია ფერდზე დატვირთვის ანგარიშისათვის.

ანგარიში იწარმოება არხის მოხვევის შესასვლელთან ტალღის დადგენილი სიმაღლისა ( $h_0$ ) და პერიოდისათვის ( $t_0$ );  $\alpha$  – ქარის გენერალური მიმართულება სწორხაზოვან მონაკვეთზე არხის შესასვლელთან. არხი იყოფა შრეებად, სადაც სიღრმე ( $H$ ) და დინების სიჩქარე ( $U$ ) ითვლება მუდმივად, შრის სიგანე  $\approx (2-3)\lambda$ , სადაც ( $\lambda$ ) ტალღის სიგრძეა.

ტალღის მიმართულება და დინების კუთხე ( $\theta$ ) განისაზღვრება გეომეტრიულად – მოცემული ( $\alpha$ ) და ( $\beta$ ) მნიშვნელობებისათვის (ნახ. 4.15).



ნახ. 4.15. ტალღის რეფრაქციის სქემა არხის მოხვევის მონაკვეთზე.

1 – რეფრაგირებული ტალღის მიმართულება; 2 – ანარეკლი ტალღის მიმართულება)

ტალღების სიმაღლე ( $h$ ) შრეში, რომელშიც ნაკადის სიჩქარეა ( $U$ ) და ( $H$ ) – შრის სიღრმეა, განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\frac{h}{h_0} = \left( \frac{\sin 2\theta}{\sin 2\theta} \right)^{1/2} \left( \frac{1 + G_0}{1 + G_1} \right)^{1/2} \quad (4.19)$$

სადაც

$$G_0 = \frac{2(k_{x_0}^2 + k_{y_0}^2)^{1/2} H}{sh[(k_{x_0}^2 + k_{y_0}^2)^{1/2} H]} \quad (4.20)$$

$$G_1 = \frac{2(k_x^2 + k_y^2)^{1/2} H}{sh[(k_x^2 + k_y^2)^{1/2} H]} \quad (4.21)$$

$$k_{y_0} = k_{x_0} \operatorname{ctg} \theta \quad (4.22)$$

$$\theta = \operatorname{arctg} \left( \frac{k_{x_0}}{k_y} \right) \quad (4.23)$$

დადგენილი პარამეტრები არხის საანგარიშო შრეში, სადაც ( $U$ ) ნაკადის სიჩქარეა,  $H$  – სიღრმე, მოწმდება ტალღის დამსხვრევამდე, რაც ხდება ცნობილი პირობისათვის

$$\frac{h}{\lambda} < 0.7.$$

მაშასადამე, არხის შემდეგ საანგარიშო შრეში გამოანგარიშებული პარამეტრების ( $h, \lambda, \theta$ ) სათავე პარამეტრებია.

**ანგარიშის მაგალითი.** არხის სიღრმე –  $H = 3.0$  მ, არხის სიგანე –  $b = 20.0$  მ, ქარის სიჩქარე –  $W = 25$  მ/წმ, რომლის გენერალური მიმართულებაა არხის ღერძის გასწვრივ, თანამგზავრული დინების სიჩქარე  $U = 0.7$  მ/წმ. განვსაზღვროთ ტალღის საშუალო პარამეტრები არხის 2 კმ-იან სწორხაზოვან მონაკვეთზე.

წრფივი გაქანება

$$x_p^1 = x_0 = 2000 \text{ მ.}$$

ვანგარიშობთ  $b/x_0 = 20/2000 = 0.01$ . გრაფიკის (ნახ. 4.10) მეშვეობით ვეძებთ  $x_p/x_p^1 = 0.05$  და ვანგარიშობთ გაქანების ეფექტურ სიგრძეს:

$$x_p = 2000 \cdot 0.05 = 100 \text{ მ.}$$

უგანზომილებო პარამეტრებია:

$$U^1 = \frac{U \cos \alpha}{W} = 0.028, \quad \frac{g x_p}{W^2} \approx \frac{9.8 \cdot 100}{25^2} = 1.56.$$

ნახ. 4.11-ზე ვეძებთ გაქანების ფარდობით სიგრძეს თანამგზავრული დინების შემთხვევაში:

$$\frac{X_p}{x_p} = 0.6.$$

დინებაზე შესაბამისი გაქანების ეფექტური სიგრძე იქნება:

$$X_p = 0.6 \cdot 100 = 60 \text{ მ.}$$

ვანგარიშობთ უგანზომილებო სიღრმეს და უგანზომილებო გაქანების სიგრძეს:

$$\frac{g d}{W^2} \approx 0.047, \quad \frac{g W_p}{W^2} = \frac{9.8 \cdot 60}{25^2} = 0.91.$$

შესაბამისი მრუდებით(ნახ. 4.12) ვანგარიშობთ ტალღის საშუალო სიმაღლეს და პერიოდს:

$$g \bar{h} / W^2 = 0.004, \quad g \bar{\tau} / W = 0.75,$$

საიდანაც ტალღის საშუალო სიმაღლე  $\bar{h}$  და პერიოდი  $\bar{\tau}$ :



$$\bar{h} = 0.25 \text{ მ}, \bar{\tau} = 1.87 \text{ წმ.}$$

ნახ. 4.13-ის მეშვეობით ვნახულობთ ფაზური სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობას:

$$\bar{C} = 0.5 \text{ მ/წმ.}$$

ტალლის სიგრძეა:

$$\bar{\lambda} = 0.5 \cdot 1.87 = 0.935 \text{ მ.}$$

ტალლის პერიოდი:

$$\bar{\tau} = \frac{\lambda \tau}{\lambda + U \tau} = \frac{0.93 \cdot 1.87}{0.97 + 0.7 \cdot 1.87} = 0.7 \text{ წმ.}$$

დინების გარეშე ანგარიშის შედეგებია:

$$\frac{gx_p}{W^2} = \frac{9.3 \cdot 60}{625} = 0.9; \quad g\bar{h}/W^2 = \frac{9.8 \cdot \bar{h}}{625} = 0.0045.$$

აქედან  $h = 0.37 \text{ მ} > 0.3 \text{ მ}$  (СНП-2.06.04-82).

მაშასადამე, თუ მიწის არხის ფერდის შემალღება СНП-2.06.04-82-ის მიხედვით შეადგენს 0.3 მ-ს, მაშინ არხის ქიმიდან, რომლის ნიშნული არხში წყლის ზედაპირიდან 0.3 მ-ზე ნაკლებია – შესაძლებელია წყლის გადადინება.

#### 4.5. მიწის არხების ანგარიშის ოპტიმიზაცია

ზემოთ განხილული კვლევების ანალიზის საფუძველზე მიწის არხების ოპტიმიზირებული ანგარიში შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სქემით.

არხების გაანგარიშებისას მოცემულია გრუნტების ძირითადი მახასიათებლები; ნაკადის დინება (როგორც წესი, მიღებულია დამყარებული, თანაბარი, რომელიც განეკუთვნება წინაღობის კვადრატულ არეს). გასაანგარიშებელია არხის ქანობი და არხის ისეთი კვეთი (რაც შეიძლება მცირე), რომელიც თავიდან აგვაცილებს მიღებული კვეთის დეფორმაციას. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად საჭიროა ვიცოდეთ მაქსიმალურად დასაშვები (არაგამრეცხი) სიჩქარე ( $V_{\text{დახ.არეგამ}}$ ), ნაკადის სიღრმე ( $H$ ), წყლის ხარჯი ( $Q$ ), რომელთა მნიშვნელობების საფუძველზე, შეზის ფორმულის მეშვეობით შეიძლება დავადგინოთ კვეთის ფართი და არხის ქანობი.

ამ ამოცანის ყველაზე ოპტიმალური ვარიანტია: დასაშვები სიჩქარის გამოთვლის წინ დავადგინოთ მოსალოდნელი სიმქისის კოეფიციენტი ( $n$ ) და შემდეგ დადგინდეს დასაშვები არაგამრეცხი სიჩქარე ( $V_{\text{დახ.არეგამ}}$ ), ქანობი ( $i$ ) და კვეთი ( $w$ ). უმჯობესია, თუ

$V_{\text{დას.არაკამ}}$  სიჩქარის გამოთვლის დროს გამოყენებული იქნება შეზის კოეფიციენტი –  $C_{\text{შ}}$ .

არხების დაპროექტების საკითხებზე არსებული ლიტერატურის [10,11,62, 103,115,118,175,190,197, СНиП 2,06,03,85] საფუძველზე შედგენილია მიწის ირიგაციული არხების დაპროექტების ძირითადი ანგარიშის ეტაპები: მოცემული ხარჯის ( $Q$  მ<sup>3</sup>/წმ), სიმქისის კოეფიციენტის ( $n$ ) და არხის კალაპოტის გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების საფუძველზე დგინდება მიწის არხების ძირითადი ზომები ( $H$  – არხის სიღრმე,  $b$  – არხის ძირის სიგანე;  $m$  – ფერდების დახრილობა;  $i$  – ქანობი). შემდეგ დგინდება:

– არხის ფერდობების ქანობი ( $m = \text{ctg } \alpha = 1/i$ ), ინიშნება კალაპოტის გრუნტის შემადგენლობის გათვალისწინებით:  $m = 0.5 \div 2.5$ ;

– არხის ფსკერის სიგანის ( $b$ ) წყლის სიღრმესთან ( $H$ ) შეფარდება ინიშნება  $m$ -ის გათვალისწინებით:  $\beta = \frac{b}{H} = (0.4 \div 3.8)$  (ტრაპეციოდალური კვეთი);

– არხის ქანობი ( $i$ ) უზრუნველყოფს მასში წყლის დასაშვებ სიჩქარეს:

$$V_{\text{არადამლექი}} < V_{\text{დას}} < V_{\text{არაგამრეცხი}}, \quad (4.24)$$

სადაც  $V_{\text{დას}}$  – არხში წყლის სიჩქარეა;  $V_{\text{არადამლექი}}$  – არხში წყლის არადამლექი სიჩქარე;  $V_{\text{არაგამრეცხი}}$  – არხში წყლის დასაშვები არაგამრეცხი სიჩქარე ბმული და არაბმული გრუნტებისათვის, რომლის მნიშვნელობა დაპროექტების და პრაქტიკის სიზუსტით იანგარიშება ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ფორმულებით ბმული და არაბმული გრუნტებისათვის.

არხში წყლის თანაბარი მოძრაობისას ხარჯი და ქანობი განისაზღვრება შეზის ფორმულით:

$$Q = \omega \cdot V_{\text{დას}}, \quad (4.25)$$

$$V_{\text{დას}} = C_{\text{შ}} \sqrt{Ri}; \quad (4.26)$$

სადაც  $\omega$  – ცოცხალი კვეთის ფართობია (მ<sup>2</sup>);  $C_{\text{შ}}$  – შეზის კოეფიციენტი, იანგარიშება

მანინგის ფორმულით –  $C_{\text{შ}} = \frac{1}{n} R^{1/6}$ ;  $n$  – სიმქისის კოეფიციენტი;  $R$  – ჰიდრაულიკური

რადიუსი  $R = \omega / \chi$ ;  $\chi$  – არხის სველი პერიმეტრია.

არხის ფსკერი მდგრადი იქნება გარეცხვისადმი, თუ მასში ფსკერული სიჩქარე ნაკლებია არაგამრეცხ სიჩქარეზე:

$$V_{ფსკ.} < V_{არაგამრ.ფსკ.} \quad (4.27)$$

ანუ

$$C_{\vartheta} \sqrt{Ri} < 0.222 C_{\vartheta} \sqrt{d + 0.00011 C_y^H K} \quad (4.28)$$

საიდანაც

$$i < \frac{0.048(d + 0.00011 C_y^H K)}{R}. \quad (4.29)$$

განვიხილოთ (4.29) ფორმულის გამოყენება კონკრეტულ მაგალითზე:

საპროექტო არხის პარამეტრებია:  $i_{ფაქტ.} = 0.002$ ;  $R = 1.0$  მ; ნაკადი სუფთაა, კოლოიდური ნატანის გარეშე; ბმული გრუნტის კონსისტენცია  $0.25 < I \leq 0.5$ ; ფორიანობის კოეფიციენტი  $l = 0.80$ ;  $C_y^H = 540$ ;  $\rho_{გრ} = 2700$  კგ/მ<sup>3</sup>;  $\rho_0 = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>;  $d = 0.000004$  მ;  $K = 0.93$ .

დასაშვები ქანობის მნიშვნელობა (4.29)-ის მიხედვით იქნება:

$$i_{საანგ.} < \frac{0.048(0.000004 + 0.00011 \cdot 540 \cdot 0.93)}{1} = 0.003.$$

მაშასადამე,  $i_{საანგ.} > i_{ფაქტ.}$ , რაც უზრუნველყოფს არხის მდგრადობას გარეცხვისადმი. გარეცხვას ადგილი ექნება, თუ არხის ქანობი  $i > 0.003$ .

ტაშისკარის მაგისტრალური არხის განივკვეთის ფორმების (მართკუთხა, ტრაპეციული) ძირის სიგანის და ქანობების ხშირი ცვალებადობის გამო (იშვიათობას არც უკუქანობები წარმოადგენს) სარეაბილიტაციო უბნის მთელ სიგრძეზე ( $l = 63.8$  კმ), შეირჩა 49 საანგარიშო წერტილი, რომელთა ფსკერის ნიშნულებიდან გამომდინარე, დაინიშნა საშუალო ქანობი ( $i$ ) და ამ უბნებს შორის კალაპოტის ფსკერის სიგანე ( $b$ ). ტილიანას დიუკერის გამოსასვლელი სათავიდან შაქმაქეთის დიუკერის შესასვლელ სათავემდე ჰიდრავლიკური გაანგარიშება მოიცავს ტაშისკარის სარწყავი სისტემის მაგისტრალური არხის 12.5 კმ-იან მონაკვეთს. მაგისტრალური არხი დაყოფილია სხვადასხვა სიგრძის უბნებად. თითოეული უბნისათვის მოცემულია: სიგრძე ( $l$ ), არხის

ქანობი ( $i$ ), საწყისი და ბოლო კვეთების გეომეტრიული პარამეტრები (ფსკერის სიგანე –  $b$ , ფერდების დახრილობა –  $m$ ). ანგარიში ტარდება მაგისტრალურ არხში ნაკადის თანაბარი მოძრაობისათვის. სტანდარტული საფეხუროვანი მეთოდით 7.5 მ<sup>3</sup>/წმ და 4.0 მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯებისათვის. არხის საანგარიშო უბნის ბოლო კვეთში წყლის საწყის დონედ მიღებულია შაქმაქეთის დიუკერის უქმი წყალსაგდების ქიმის ნიშნული 704.06 (წყლის სიღრმე დიუკერის შესასვლელ სათავესთან  $H - 1.85$  მ).

საანგარიშო ფორმულები:

$$H_I = H_{II} + h_f, \quad (4.30)$$

სადაც –  $H_I$  და  $H_{II}$  სრული დაწნევაებია ორ მეზობელ კვეთში:

$$H_I = Z_I + \alpha V_I^2 / 2g, \quad (4.31)$$

$$H_{II} = Z_{II} + \alpha V_{II}^2 / 2g. \quad (4.32)$$

დანაკარგები ხახუნზე:

$$H_f = i_f \Delta l. \quad (4.33)$$

ხახუნის ქანობი  $i_f$  იანგარიშება მანინგის ფორმულით:

$$i_{f1} = \frac{n_1^2 V_1^2}{2.22 R_1^{4/3}}; \quad i_{f2} = \frac{n_2^2 V_2^2}{2.22 R_2^{4/3}}; \quad (4.34)$$

წყლის ზედაპირის ნიშნული კვეთში:

$$j = H + z + \alpha, \quad (4.35)$$

სადაც:  $H$ ,  $V$ ,  $z$  – შესაბამისად, საანგარიშო კვეთში წყლის ნაკადის სიღრმე, სიჩქარე და არხის ფსკერის ნიშნულია;  $\Delta l$  – არხის სიგრძე ორ მეზობელ კვეთს შორის;  $n$  – არხის მოსახვის სიმქისის კოეფიციენტი;  $\alpha$  – ენერჯის კოეფიციენტი;  $a$  – მარაგი, რომლის მნიშვნელობა იანგარიშება ქარის მნიშვნელობის და არხის მოხვევის კუთხის საფუძველზე.

ანგარიშის შედეგად განსაზღვრულია თითოეულ კვეთში სიღრმე ( $H$ ) და ფსკერის ნიშნულები ( $z$ ), რომელთა მიხედვით აიგება არხში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის მრუდი. საანგარიშო მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მაქსიმალური ხარჯის გავლის პირობებშიც კი მაგისტრალურ არხში წყლის დონე არ აღემატება 1.85 მ, ხოლო მინიმალური დონე 1.36 მ-ს შეადგენს.

მაგისტრალურ არხში თითოეული წყალგამშვები ნაგებობის კვეთში საანგარიშო ხარჯის მისაღებად საჭიროა წყლის დონის ნიშნული. პროექტი ითვალისწინებს შემტობორავი ნაგებობის მოწყობას. რა თქმა უნდა, გასათვალისწინებელია, რომ იგივე ფუნქცია შეიძლება შეასრულოს ფარებმა.

ქვემო ალაზნის სარეაბილიტაციო მიწის არხის ჰიდრავლიკური ანგარიში ანალოგიურად ჩატარდა.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული რეკომენდაციები გათვალისწინებული იყო ტამისკარის და ქვემო ალაზნის არხების რეაბილიტაციისას (იხ. ცნობა დანართში).

#### 4.6. მიწის არხებში კალაპოტმაფორმირებელი და ტალღური პროცესების მოდელირების საფუძვლები

##### 4.6.1. კალაპოტმაფორმირებელი პროცესების მოდელირება

ღია ნაკადების ჰიდრავლიკის ამოცანების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი ამოხსნა შესაძლებელია პროცესების მოდელირების გზით, რომლის საფუძველია ნატურისა და მოდელის პირობებისათვის განტოლებების შედგენისას მათი იგივეობის პირობის დაცვა.

ნატურისა და მოდელის პირობებისათვის მსგავსების ცნობილ ფორმულებს აქვს შემდეგი სახე:

$$Re = \frac{vl}{\nu} = idem - \text{რეინოლდსის კრიტერიუმი} \quad (4.36)$$

განსაზღვრავს ინერციისა და ხახუნის ძალების ფარდობას;

$$Eu = \frac{\rho v^2}{P} = idem - \text{ეილერის კრიტერიუმი} \quad (4.37)$$

განსაზღვრავს დაწნევისა და ინერციის ძალების ფარდობას;

$$We = \frac{\sigma}{l_p} = idem - \text{ვებერის კრიტერიუმი}; \quad (4.38)$$

$$St = \frac{l}{vt} = idem - \text{სტრუხალის კრიტერიუმი} \quad (4.39)$$

ითვალისწინებს ნაკადის მოძრაობის არასტაციონარულობის გავლენას მის სიჩქარეზე;

$$\text{Fr} = \frac{v^2}{g^* l} = \text{idem} - \text{ფრუდის კრიტერიუმი}, \quad (4.40)$$

სადაც  $v$  – ნაკადის სიჩქარეა;  $l$  – გეომეტრიული ზომა (სიგრძე ან სიმაღლე);  $P$  – დაწნევა;  $t$  – დრო;  $\nu$  – სითხის მოლეკულარული სიბლანტე;  $g^*$  – სიმძიმის ძალის აჩქარების პროექცია ღერძზე, რომლის გასწვრივაც ხდება სითხის მოძრაობა;  $\rho$  – სითხის სიმკვრივე;  $\sigma$  – ზედაპირული დაჭიმვა.

რეინოლდის, ფრუდისა და ეილერის კრიტერიუმები, როგორც ცნობილია, გამომდინარეობს ნიუტონის მეორე კანონიდან:

$$f = m \frac{dv}{dt}, \quad (4.41)$$

სადაც  $f$  – ძალაა,  $m$  – მასა.

გარდა აღნიშნული კრიტერიუმებისა, გამოიყენება მოდიფიცირებული კრიტერიუმები:

$$\text{Ga} = \frac{l^3 \rho_0^2 g}{\mu^2} = \text{idem} - \text{გალილეის კრიტერიუმი} \quad (4.42)$$

ხასიათდება მოლეკულური ხახუნის და სიმძიმის ძალების ფარდობით;

$$\text{Ar} = \frac{l^3 g}{v^2} \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \text{idem} - \text{არქიმედეს კრიტერიუმი} \quad (4.43)$$

ახასიათებს სიმძიმის ძალის, ამომგდები ძალისა და ხახუნის ძალის ფარდობას;

$$\text{Ly} = \frac{\text{Re}^3}{\text{Ar}} = \text{Re Fr} \frac{\rho_0}{\rho - \rho_0} = \text{idem} - \text{ლიაშჩენკოს კრიტერიუმი} \quad (4.44)$$

ახასიათებს ხაზოვან ზომას.

$$\text{Ri} = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \frac{gl}{v^2} = \text{idem} - \text{რიჩარდსონის კრიტერიუმი}. \quad (4.45)$$

ისეთი რთული პროცესის მოდელირება, როგორცაა ნაკადის ფსკერთან ურთიერთქმედება, რომელიც მრავალ პარამეტრზეა დამოკიდებული, შესაძლებელია მხოლოდ ყველაზე არსებითი ფაქტორების მსგავსებით, ხოლო ყველა დანარჩენი (არაარსებითი) ფაქტორი ავტომოდელურ არეშია, ე.ი. დამახინჯების გარეშე.

მოდელზე გრუნტის გარეცხვის საფუძვლად ვთვლით, რომ მასში გრუნტის

გარეცხვის სიღრმე ნატურაში გარეცხვის იდენტური ნაწილია, მაშინ ფსკერული ( $V_{ფსკ}$ ) და არაგამრეცი სიჩქარეების ( $V_{არაგამრ.}$ ) ფარდობა ნატურაში და მოდელზე ერთნაირი იქნება [143]:

$$V_{ფსკ}^{ნაბ} / V_{არაგამრ.}^{ნაბ} = V_{ფსკ}^{მოდ} / V_{არაგამრ.}^{მოდ} = idem \quad (4.46)$$

საიდანაც გამომდინარეობს გარეცხვის პროცესის მსგავსება.

**ანგარიში არაბმული გრუნტებისათვის.**

არაბმულ გრუნტებში არაგამრეცი ფსკერული სიჩქარის განსაზღვრის ჩვენს მიერ შემოთავაზებული დამოკიდებულება (4.9), მადომინირებელი ფაქტორების გათვალისწინებით, შემდეგნაირად შეიძლება გამოვსახოთ:

$$V_{ფსკ}^{არაგამრ.} = (0.121i^{-1/6} - 0.213) \sqrt{(\rho_{გრ.} - \rho_0) + 0.14}. \quad (4.46')$$

მაშინ დამოკიდებულება (4.46), (4.9)-ის გათვალისწინებით, შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\left. \begin{aligned} & \frac{V_{ფსკ}^{ნაბ}}{(0.121i_{ნაბ}^{1/6} - 0.213) \sqrt{(\rho_{გრ.ნაბ.} - \rho_{0ნაბ.}) + 0.14}} = \\ & = \frac{V_{ფსკ}^{მოდ}}{(0.121i_{მოდ}^{1/6} - 0.213) \sqrt{(\rho_{გრ.მოდ.} - \rho_{0მოდ.}) + 0.14}} \end{aligned} \right\} \quad (4.47)$$

სადაც  $\rho_{0ნაბ.} = \rho_{0მოდ.} = 1000$  კგ/მ<sup>3</sup>,  $\rho_{გრ.ნაბ.} = \rho_{გრ.მოდ.} = 2650$  კგ/მ<sup>3</sup>.

ანგარიშის ჩატარების შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{V_{ფსკ}^{ნაბ}}{0.121i_{ნაბ}^{1/6} - 0.213} = \frac{V_{ფსკ}^{მოდ}}{0.121i_{მოდ}^{1/6} - 0.213}. \quad (4.48)$$

$$\text{აქედან} \quad V_{ფსკ}^{ნაბ} = V_{ფსკ}^{მოდ} \frac{0.121i_{ნაბ}^{1/6} - 0.213}{0.121i_{მოდ}^{1/6} - 0.213}, \quad (4.49)$$

სადაც  $\frac{0.121i_{ნაბ}^{1/6} - 0.213}{0.121i_{მოდ}^{1/6} - 0.213} = \varepsilon_i$  ქანობით გამოწვეული მასშტაბური ეფექტია.

მაშინ ფსკერული სიჩქარე ნატურაში, ლაბორატორიული კვლევების გამოყენებით, მიიღებს სახეს:

$$V_{ფსკ}^{ნატ} = V_{ფსკ}^{მოღ} \varepsilon_i \quad (4.50)$$

ქანობით გამოწვეული მასშტაბის ეფექტის ( $\varepsilon_i$ ) მნიშვნელობა შეიძლება მივიღოთ  $\varepsilon_i = 0.5$ , რაც დაფუძნებულია ლაბორატორიის პირობების გამო, სადაც, როგორც წესი,

$$\text{ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მასშტაბების შეფარდება } \varepsilon_i = \frac{y_{მოღ}}{x_{მოღ}} \bigg| \frac{y_{ნატ}}{x_{ნატ}} = \frac{1}{2}.$$

მაშინ ფსკერული არაგამრეცხი სიჩქარე ნატურაში, მოდელის პირობების გათვალისწინებით, (თუ მოდელზე გამოცდილია გრუნტის დაურღვეველი ნიმუშები), შეიძლება დავადგინოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$V_{ფსკ}^{ნატ} = 0.5V_{ფსკ}^{მოღ} \quad (4.51)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $V_{ფსკ,დასაშფ.}^{ნატ} = 1.4V_{ფსკ,დასაშფ.}^{ნატ}$  [143], მივიღებთ:

$$V_{ფსკ,დასაშფ.}^{ნატ} = 0.36V_{ფსკ,გარეცხ.}^{ნატ}, \quad (4.52)$$

რაც, პრაქტიკულად, შეესაბამება აკად. ც. მირცხულავას მიღებულ მნიშვნელობას [143].

**ანგარიში ბმული გრუნტებისათვის.**

იდენტური ანგარიში ტარდება ბმულ გრუნტების შემთხვევაში. ოპტიმიზირებული (4.11) გამოსახულების გამოყენებით ვღებულობთ:

$$\left. \begin{aligned} & \frac{V_{ფსკ}^{ნატ}}{0.222C_{ფ}^{ნატ} \sqrt{d^{ნატ.} + 0.00011C_y^{H^{ნატ.}} K^{ნატ.}}} = \\ & = \frac{V_{ფსკ}^{მოღ}}{0.222C_{ფ}^{მოღ} \sqrt{d^{მოღ.} + 0.00011C_y^{H^{მოღ.}} K^{მოღ.}}} \end{aligned} \right\} \quad (4.53)$$

ბმული გრუნტებისათვის მახასიათებელი  $C > 0.02 \cdot 10^5$  პა. თუ მივიღებთ, რომ  $K_{ნატ.} = K_{მოღ.}$  და უგულებელვყოფთ (4.53) გამოსახულებაში ფესვქვეშა გამოსახულების პირველი წევრს, მივიღებთ:

$$\frac{(V_{ფსკ}^{ნატ})^2}{(C_{ფ}^{ნატ})^2 C_y^{H^{ნატ}}} = \frac{(V_{ფსკ}^{მოღ})^2}{(C_{ფ}^{მოღ})^2 C_y^{H^{მოღ}}}. \quad (4.54)$$



საიდანაც

$$\left(V_{ფსკ}^{ნაბ}\right)^2 = \left(V_{ფსკ}^{მოღ}\right)^2 \frac{\left(C_{ფ}^{ნაბ}\right)^2 C_y^{H^{ნაბ}}}{\left(C_{ფ}^{მოღ}\right)^2 C_y^{H^{მოღ}}}, \quad (4.55)$$

სადაც  $\varepsilon_c = \frac{C_y^{H^{ნაბ}}}{C_y^{H^{მოღ}}} = 0.58$  გრუნტის დალილობის ზღვრების ფარდობაა, რაც ამ

ფაქტორის მასშტაბური კოეფიციენტია [143].

$$\varepsilon_{ფ} = \frac{C_{ფ}^{ნაბ}}{C_{ფ}^{მოღ}} = 0.7 \text{ ხორკლიანობის მასშტაბური ეფექტი, რომლის მნიშვნელობა}$$

დგინდება წინაღობის განტოლების გარდაქმნით (მანინგის განტოლება) და ჰიდრავლიკური რადიუსის და ვერტიკალური მასშტაბების ტოლობის გათვალისწინებით.

მაშინ გამოსახულება (4.55) მიიღებს სახეს:

$$\left(V_{ფსკ}^{ნაბ}\right)^2 = 0.58 \cdot 0.7 \left(V_{ფსკ}^{მოღ}\right)^2 = 0.41 \left(V_{ფსკ}^{მოღ}\right)^2, \quad (4.56)$$

ან

$$V_{ფსკ}^{ნაბ} = 0.61 V_{ფსკ}^{მოღ}. \quad (4.57)$$

თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ  $V_{ფსკ.არაგამრ.} = 1.4 V_{ფსკ.დასაშ.}$  [143], მაშინ მივიღებთ:

$$V_{ფსკ.არაგამრ.}^{ნაბ} = 0.4 V_{ფსკ.გაგრხ.}^{მოღ}. \quad (4.58)$$

როგორც ვხედავთ, (4.52) და (4.58) გამოსახულებებში მასშტაბური კოეფიციენტების მნიშვნელობა ბმული და არაბმული გრუნტებისათვის უმნიშვნელოდ განსხვავდება.

#### 4.6.2. ტალღური პროცესების მოდელირება

არხებში ზედაპირული ტალღების მოდელირების სქემა, როდესაც ნაპირები წყალგაუმტარი ფერდობებითაა გამაგრებული, დაფუძნებულია იმ ვარაუდზე, რომ ტურბულენტური სიბლანტის კოეფიციენტის მნიშვნელობა რიგით მეტია მოლეკულური სიბლანტის კოეფიციენტზე. ამასთან, რეინოლდსის რიცხვი ასე ჩაიწერება:

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu} = \frac{c \cdot h}{2\nu} > 10 Re = 5000, \quad (4.59)$$

სადაც  $c$  – ტალღის გავრცელების სიჩქარეა, რომლის მნიშვნელობაც მოდელზე 1.5 მ/წმ ნაკლებია;  $v$  – ტალღების ორბიტალური სიჩქარე;  $\nu$  – მოლეკულური სიბლანტე, რომლის მნიშვნელობაც ექსპერიმენტში არ აღემატება 0.013 სმ<sup>3</sup>/წმ.

ამრიგად, მოლეკულური სიბლანტე შეიძლება არ იქნა მიღებული მხედველობაში, თუ მოდელზე ტალღების სიმაღლე  $h > 10000 \frac{V}{c}$ , საიდანაც ტალღის მინიმალური სიმაღლე  $h = 1$  სმ. მაგრამ ექსპერიმენტებში, როგორც წესი,  $h_{\max} > 5$  სმ. ამრიგად, ისეთი მოდელის გამოყენება, რომელშიც რეინოლდსის კრიტერიუმი განმსაზღვრელია, არაა აუცილებელი.

ეილერის კრიტერიუმიც არაა განმსაზღვრელი, რადგან იგი ერთის მნიშვნელობას იღებს ( $Eu = 1$ ), როცა დაწნევა განისაზღვრება მხოლოდ სიჩქარეებით, ან გადადის ფრუდის კრიტერიუმში, როცა დაწნევა განისაზღვრება მხოლოდ სიმძიმის ძალით. ვებერის კრიტერიუმი ასევე არ არის განმსაზღვრელი, რადგან როდესაც ტალღის სიგრძე მეტია 8 სმ-ზე – ზედაპირული დაჭიმვა შეიძლება არ იქნეს მიღებული მხედველობაში (ექსპერიმენტებში, როგორც წესი, ტალღის სიგრძე  $\geq 8$  სმ).

ამრიგად, არხებში ტალღების მოდელირების განმსაზღვრელია სტრუხალის და ფრუდის კრიტერიუმები:

$$\frac{a_v \cdot a_t}{a_l} = 1; \frac{a_v^2}{a_l} = 1, (g \approx 1.0), \quad (4.60)$$

სადაც  $a_v = \frac{V_{\text{ნაბ}}}{V_{\text{მოღ}}}$ ,  $a_t = \frac{t_{\text{ნაბ}}}{t_{\text{მოღ}}}$ ,  $a_l = \frac{l_{\text{ნაბ}}}{l_{\text{მოღ}}}$  – ტალღების სიჩქარული, დროითი და ხაზოვანი

მახასიათებლების ნატურის და მოდელის მნიშვნელობების მასშტაბური გადამყვანი კოეფიციენტებია, რომელთა მნიშვნელობები მუდმივია.

მაშინ ტალღის ელემენტების ნატურული მნიშვნელობები (4.60) გამოსახულებიდან იქნება:

$$t_{\text{ნაბ}} = \sqrt{a_l} t_{\text{მოღ}}; l_{\text{ნაბ}} = a_l \cdot l_{\text{მოღ}}; V_{\text{ნაბ}} = \sqrt{a_l} V_{\text{მოღ}} \quad (4.61)$$

### ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები

1. პრაქტიკული მნიშვნელობის მქონე საინჟინრო და კერძოდ, საინჟინრო ირიგაციული

ამოცანების გადაწყვეტა დაკავშირებულია მიწის არხების შექმნასთან, რომლებიც მთის რეგიონებში გამოირჩევა მნიშვნელოვანი ქანობით და დინების სიჩქარით. მრავალფაქტორიანი კვლევების ჩატარება საველე და ლაბორატორიულ პირობებში ძვირადღირებული და ურთულესი ამოცანაა, ამიტომ ასეთი რთული პროცესების გადაწყვეტას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება.

2. საქართველოს „წყლის მარაგის“ ნაწილის – „წყლის რესურსების“ – სახით მელიორაციული გამოყენება დამოკიდებულია რიგ პირობებზე, რომელთა ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ დასავლეთ საქართველოში მელიორაციის ძირითადი მიმართულებაა ამოშრობა, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში – მორწყვა.
3. არხების დაძველების დასადგენად ჩატარებულმა კვლევებმა საშუალება მოგვცა განვსაზღვროთ არხების ფუნქციონირების ხანგრძლივობა. რა თქმა უნდა, ამ კვლევებს მიახლოებითი ხასიათი აქვს, მომავალი გვიჩვენებს, თუ რამდენადაა საიმედო გამოყენებული მეთოდიკა.
4. რადგან ბმული და არაბმული გრუნტების მრავალრიცხოვანი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების და მთის რეგიონებში განლაგებული მიწის არხების ფსკერის მნიშვნელოვანი ქანობის გამო მათში არაგამრეცხი სიჩქარის დანიშვნა საინჟინრო პრაქტიკაში ურთულესი ამოცანაა, ამიტომ წარმოდგენილ ნაშრომში ამ ამოცანების ამოხსნა განხორციელებულია სისტემური ანალიზის გამოყენებით. სახელდობრ, აპრიორული მეთოდების – საექსპერტო შეფასების, ფაქტორული ანალიზის და რაოდენობრივი მეთოდების – კორელაციური მეთოდის გამოყენებით.
5. მიწის არხებში არაგამრეცხი სიჩქარის პროგნოზის არსებული მეთოდების სისტემური ანალიზით გამოვლინდა მოქმედი ძირითადი ფაქტორების აპრიორული და რაოდენობრივი მაჩვენებლები, რომელთა გენერალური ერთობლიობის მცირე მონაცემებისათვის ჩატარებულია საკმარისობის შეფასება.
6. ბმულ და არაბმულ გრუნტებში განლაგებული მიწის არხების კალაპოტის არაგამრეცხი სიჩქარის შემოთავაზებული ოპტიმიზირებული დამოკიდებულებების შედარება, როგორც საველე მონაცემებთან, ისე არსებულ მეთოდებთან, ადასტურებს მათ სამართლიანობას. მათი გამოყენება გათვალისწინებულ იქნა ტაშისკარისა და ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემების რეაბილიტაციისას.

7. არხებში ქარისმიერი ტალღების გენერაციაზე ჩატარებულმა კვლევებმა დაადასტურა ქარის ძალისა და მიმართულების გათვალისწინების აუცილებლობა.
8. მოყვანილია არხებში ტალღური და კალაპოტფორმირების პროცესების მოდელირების კანონები, რომელთა ძირითადი დებულებებია – ფრუდის და სტრუხალის კრიტერიუმების გამოყენების მიზანშეწონილობა ტალღური პროცესების მოდელირებისას, ხოლო კალაპოტფორმირების პროცესების მოდელირება ტარდება ბმული და არაბმული გრუნტების ძირითადი თვისებების გათვალისწინებით.

### გამოყენებული ლიტერატურის სია

1. **Абальянц С.Х.** Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах –Л.: Гидрометеоиздат, 1981, 240 с.
2. **Абальянц С.Х.** Аварии земляных плотин //Гидротехническое строительство, 1971, №1, с 46-48.
3. **Абальянц С.Х.** Аварии, повреждения и ремонт гидротехнических сооружений в СССР //Аннотированный библиографический указатель отечественной литературы за период 1930-1968 гг., ВНИИГ, Л., 1981.
4. **Абальянц С.Х.** Аварии и повреждения больших плотин - М.: Энергоатомиздат, 1986, 128 с.
5. **Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И.** Гидравлика, М.-Л.: Госэнергоиздат, 1954, 484 с.
6. **Агроскин И.И. Штеренлихт Д.В.** Уточненная формула для коэффициента Шези //Гидротехника и мелиорация, №9, 1965, с. 32-35.
7. **Айвазян О.М.** Новые исследования и новая методика гидравлического расчета быстротоков с усиленной шероховатостью //ГТС, №6, 1996.
8. **Алкоева А.Б., Доненберг В.М., Квасова И.Г.** Условия предельной устойчивости частиц несвязного грунта на дне углубленного потока и их оценка //ВНИИГ, т. 126, 1978, с. 22-29.
9. **Алибеков А.К.** Прогноз местных деформаций русла у опор на свайных фундаментах.

Автореферат дис. канд. техн. наук., Л., 1988, 24 с.

10. Алтунин В.С. Деформация русла каналов - М.: Колос, 1979.
11. Алтунин В.С. Мелиоративные каналы в земляных руслах - М.: Колос, 1979, 180 с.
12. Алтунин С.Т. Базуков И.А. Вопросы формирования и расчета русел при водозаборе // Труды Института сооружений АНУзССР, Ташкент, 1955, вып. 7, с. 5-106.
13. Альтшуль А.Д. Гидравлическое сопротивление - М.: Недра, 1970, 180 с.
14. Альтшуль А.Д., У-Вин-Тейн. О формуле Шези // Гидротехническое строительство, №1, Л., 1973.
15. Аннаев С.Е. Деформация русла Каракумского канала // Гидротехника и мелиорация, 1996, №10.
16. Апхазова И.С. Озера Грузии, Тбилиси: Мецниереба, 1975, 181 с.
17. Артамонов К.Ф., Крошкин А.Н., Талмаза В.Д. Методические указания по расчету устойчивых аллювиальных русел горных рек при проектировании гидротехнических сооружений - М., 1972, 64 с.
18. Аташанов А., Масс И., Кантаржи И.Г. Волны в больших каналах // Водные ресурсы, №1, 1988, с. 60-70.
19. Барабанова Е.А. Причины повреждения плотин гидроузлов как фактор риска и их последствия для населения // Известия: серия географическая, №6, 1994, с. 61-67.
20. Барлою Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности (пер. с англ. И.Ушакова) - М.: Наука, 1985.
21. Башкиров Г.С. О распределении скоростей по вертикали турбулентного потока // Гидравлика и гидротехника, Киев: Техника, 1966, с. 16-20.
22. Бегам Л.Г., Лиштван Л.Л., Муромов В.С. Деформация подмостовых русел - М., 1970, 199 с.
23. Беляшевский Н.Н., Пивовар Н.Г., Калантыренко И.И. Расчеты нижнего бьефа за водосборными сооружениями на нескольких основаниях - Киев, 1973, 292 с.
24. Бернарнский Н.М. Речная гидравлика - М.-Л., 1933, 148 с.
25. Богомолов А.И., Михайлов К.А. Гидравлика - М.: Стройиздат, 1972, 648 с.
26. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций - М.: Машиностроение, 1990.
27. Большаков В.А., Бухин М.Н., Радченко Т.П. Расчет местного размыва у мостовых опор

- для условий предгорных и горных участков рек Украинских Карпат // Гидравлика и гидротехника - Киев, 1973, вып. 16, с. 111-116.
- 28. Бурлай И.Ф.** О начальной скорости донного влечения // Метеорология и гидрология, 1946, №6, с. 51-57.
- 29. Бухин М.Н.** Методические указания по прогнозированию перестроения русел предгорных участков рек при регулировании их защитно-регуляционными сооружениями типа полузапруд - Киев, 1974, 24 с.
- 30. Бухин М.Н., Онищук В.В.** К вопросу определения неразмывающих скоростей потока для русел, сложенных из неоднородных несвязных грунтов // Мелиорация и водное хозяйство - Киев, 1975, вып. 35, с. 73-83.
- 31. Валентей Д.И., Кваша А.Ю.** Основы демографии. М., Мысль, 1989.
- 32. Варазашвили Н.Г., Гобечиа Г.Н.** Особенности формирования водного хозяйства горных регионов - Тбилиси: Мецниереба, 1996, 234 с.
- 33. Варазашвили Н.Г., Иорданишвили И.К.** Водохранилища Закавказья // Книга 1, Водохранилища СССР, ч. 1, М. ЦБНТИ : Госконцерн, Водстрой, 1991, 62 с.
- 34. ვართახიშვილი მ., საქართველოს მელიორაციული ფონდების თანამედროვე მდგომარეობის შესახებ** // შრ. კრებული, საქჰიდროეკოლოგია თბილისი, 1999, გვ. 43-45.
- 35. Васильев О.Ф., Лятхер В.М.** Гидравлика // Механика в СССР за 50 лет, т.2, М.: Наука, 1970, с. 709-790.
- 36. Васильев О.Ф.** Динамика потока гидросмеси на деформационном ложе // Известия АН СССР ОТМ, 1958, №10, с. 34-39.
- 37. Вахушти-Царевич.** География Грузии - Тифлис, 1994.
- 38. Векслер А.Б.** Основные уравнения одномерного руслового потока в размываемом русле // Известия ВНИИГ, Л., 1969, т. 90, с. 169-170.
- 39. Великанов М.А.** Динамика русловых потоков - М., 1954, т.1, 322 с.; 1955, т.2, 323 с.
- 40. Великанов М.А.** Русловый процесс - М.: Физматгиз, 1958, 396 с.
- 41. Венецкий И.Г.** Математические методы в демографии - М.: Статистика, 1971.
- 42. Венецкий И.Г.** Вероятностные методы в демографии - М.: Финансы и статистика, 1981.

43. Викулова Л.И. Начальная стадия формирования искусственных русел в песчаных грунтах // Динамика и термика речных потоков - М.: АН СССР, 1972.
44. Владимиров Л.А., Шакарашвили Д.И., Габричидзе Г.И. Водный баланс Грузии - Тбилиси: Мецниереба, 1974, 182 с.
45. Водные ресурсы Закавказья, ГИМИЗ, 1988.
46. Войнович П.А., Дементьев М.А. Об уравнении размыва // Известия НИИГ, 1932, т.6, с. 80-102.
47. Войнич-Сяноженцкий Т.Г. Гидродинамика устьевых участков рек и взморий бесприливных морей // Труды ЗакНИГМИ, Л., 1972, вып. 46 (52), 203 с.
48. Вызго М.С. О местном размыве за горизонтальным креплением падающей струей // Гидротехническое строительство, №5, 1954, с. 16-18.
49. Гаврилов Л.А. Математическая модель старения животных // ДАН СССР, № 238, с. 24-49.
50. გაგომიძე შ., ხელიძე გ. ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემის სათავე ნაგებობების რეაბილიტაციისათვის. კალაპოტური პროცესები, სამილსადენო ტრანსპორტისა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ჰიდრავლიკის და ჰიდროენერგეტიკის საკითხებზე საერთაშორისო კონფერენციის შინაარსი - სტუ., თბილისი, 2000, გვ. 113-115.
51. Ган К. Известие древних греческих и римских писателей о Кавказе (от Гомера до 6-го столетия Р.Х.), Тифлис, 1884.
52. Гвелесиани Л.Г. К вопросу исследований придонных наносов // Метеорология и гидрология, 1939, №6, с. 4-8.
53. Гегешидзе М.К. Орошаемое земледелие в Грузии - Тбилиси, 1962.
54. Герарди И.А., Зарубаев Н.В., Турсупов А.А. Опыт проектирования и строительства крупных каналов // Труды ЛПИ, 1976, №351.
55. Глушков В.М. О прогнозировании на основе экспертных оценок // Кибернетика, №2, 1969.
56. გობეჩია გ., ჩიკვაძე თ. ჰიდრომელიორაციის როლი და მნიშვნელობა ქვეყნის აგრო-სასურსათო უსაფრთხოებაში, დარგის განვითარების პოლიტიკა, სტრატეგია და ძირითადი მიმართულებები. ეკოლოგიური მდგრადობა, უსაფრთხოება, საიმედოობა, საქჰიდროეკოლოგია, თბილისი, 2003, გვ. 18-23.

57. **Гогоберидзе М.И.** Научные основы постановки натуральных наблюдений на плотинах – Тбилиси: Мецниереба, 1980.
58. **Гончаров В.Н.** Нормы допускаемых неразмывающих скоростей //Гидротехническое строительство, 1936, №5, с. 5-18.
59. **Гончаров В.Н.** Движение наносов - М.-Л.: ОНТИ, 1938, 322 с.
60. **Гончаров В.Н.** Основы динамики русловых потоков - Л.: Гидрометеоиздат., 1954, 452 с.
61. **Гончаров В.Н.** Динамика русловых потоков - Л.: Гидрометеоиздат, 1962, 374 с.
62. **Гришанин К.В.** Динамика русловых потоков - Л.: Гидрометеиздат, 1979, с. 282-283.
63. **Гришанин К.В.** Теория руслового процесса - М.: Транспорт, 1972, 215 с.
64. **Гришанин К.В.** Устойчивость русел рек и каналов - Л.: Гидрометеиздат, 1974, 142 с.
65. **Гродзинский Д.М., Войтенко В.П.** и др. Надежность и старение биологических систем - Киев: Наукова думка, 1987.
66. **Гунько Ф.Г., Попова К.С., Климова М.М.** Местные размывы русел в нижних бьефах водосбросов - Л.: 1974, 61 с.
67. **Данилов Б.Г.** Исторический обзор развития ирригации Закавказья //Бюллетень ЗакНИИВХ, №8, Тбилиси, 1931.
68. **Дебольский В.К.** К исследованию размывающих скоростей руслового потока //Труды МИИТ, 1968, вып. 319, с. 78-87.
69. **Дебольский В.К., Котков В.М.** и др. Образование и развитие песчаных гряд при движении взвесенесущих потоков в неразмываемых границах // Водные ресурсы, 1977, №13, с. 18 - 22
70. **Дебольский В.К., Котков В.М.** и др. Демографические процессы и их закономерности. М.: Мысль, 1986г.
71. **Джгереная Р.Т.** Прогноз интенсивности смыва почвы при бороздковом поливе //Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними, вып. 5, Тбилиси, 1976, с. 24-28.
72. **Джонсон Н., Лион Ф.** Статистика и планирование экспериментов в технике и науке //Методика обработки данных - М.: Мир, 1970, с. 99-183.
73. **Дизингоф Г.И., Судобичер В.Г.** Численное решение задачи о смыве почвы со склонов. Теоретические основы противоэрозионных мероприятий - т. 1, Одесса, 1979, с. 89-90.
74. **Дохнадзе Г.П.** К вопросу прогноза продольного профиля оврагов //Эрозионные и



- селевые процессы и борьба с ними - вып. 2, М., 1973, с. 51-56.
75. **Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В.** Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть) - М.: Техтеориздат, 1955.
76. **Егиазаров И.В.** О расходе влекомых наносов //Изв. АН АрмССР, 1949, с. 2, №5, с. 321-338.
77. **Егиазаров И.В.** К определению начальной влекущей силы транспорта наносов //Известия АН АрмССР - Физико-математические, естественные и технические науки, 1950, с. 11-15.
78. **Егиазаров И.В.** Общее уравнение предельной транспортирующей способности потока для несвязных наносов // ДАН СССР, 1956, т. 107, №4, с. 7-12.
79. **Егиазаров И.В.** Сопоставление методов расчета расхода наносов с измерениями в природе // Методика изучения и использования водных ресурсов, М., 1964, с. 5-23.
80. **Железняков Г.В.** Гидравлическое обоснование методов речной гидрометрии. М.: изд-во АН СССР, 1950, 164 с.
81. **Железняков Г.В.** Пропускная способность русел каналов и рек - Л.: Гидрометеиздат, 1981, 264 с.
82. **Железняков Г.В., Дебольский В.К.** О зависимости расхода наносов от критерия их подвижности // Труды МИИТ, 1968, вып. 288, с. 19-30.
83. **Жордания Т.Г.** Влажность как один из основных факторов, определяющих размываемость связных грунтов // Труды ГрузНИИГиМ, 1957, вып. 18-19, с. 494-508.
84. **Замарин Е.А.** Транспортирующая способность и допускаемые скорости течения в каналах - Изд. 2-е, М.-Л.: Госстройиздат, 1951, 46 с.
85. **Заславский М.Н.** Эрозиоведение - М., 1987, 376 с.
86. **Звонков В.В.** Водная и ветровая эрозия - М., 1963, 174 с.
87. **Ибад-Заде Ю.А.** Движение наносов в открытых руслах - М.: Стройиздат, 1974, 191 с.
88. **Иорданишвили И.К.** Особенности развития внутриводоемных процессов на горных водохранилищах // Водные ресурсы, т. 27, №6, М., 2002, с. 678-686.
89. **Иорданишвили К.Т. Иорданишвили И.К.** О инженерном расчете неразмывающей скорости в ирригационных каналах из связных грунтов // Почвоведение, 2005. (в печати).

90. **Иорданишвили К.Т. Вартанов М.В. Джугели З.Е. Иорданишвили И.К. Цанава Л.** История развития ирригационной мелиорации в Грузии // Почвоведение, 2005. (в печати).
91. **იორდანიშვილი კ.** მიწის არხების ჰიდრავლიკური გაანგარიშების მეთოდების გაუმჯობესება // მოამბე, 2005. (იბეჭდება)
92. **იორდანიშვილი კ., ვართანოვი მ., იორდანიშვილი ი., ჯუღელი ზ., ცანავა ლ.** სარწყავი მელიორაციის განვითარება საქართველოში // მეცნიერება და ტექნოლოგიები, 31-3, 2006, გვ. 134-140.
93. **იორდანიშვილი. კ.** საქართველოს წყლის რესურსების განვითარება და ჰიდრომელიორაციაში გამოყენება // სამ. შრ. კრ. „წყალსამეურნეო და ჰიდრომელიორაციული ობიექტების მდგრადობა, საიმედოობა და ეკოლოგიური უსაფრთხოება“ საქჰიდროეკოლოგია, 2005, გვ. 79-86.
94. **Иорданишвили К.Т.** Характеристики гидрологического режима горных водохранилищ Грузии // Динамика и термика рек и водохранилищ и прибрежной зоны морей - ИВМ РАН. - М, 2005.
95. **Каналы систем водоснабжения и ирригации** // Рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов - М.: Стройиздат, 1972.
96. **Кантаржи И.Г., Цивцивадзе Н.Ш., Акмурадов Х.А.** Гидравлика ветровых волн в каналах - под редакцией Масса Е.И., изд-во ТГУ, Тбилиси, 1984.
97. **Каплинский С.В.** Водотоки усиленной шероховатости в гидроэлектростроительстве - М.-Л.: Гидроэнергоиздат, 1950.
98. **Караушев А.В.** Теория и методы расчета речных наносов - Л.: Гидрометеиздат, 1977, 292 с.
99. **Кереселидзе Н.Б.** Теоретический критерий плановой устойчивости речных русел и каналов // Гидротехническое строительство в горных условиях - Тбилиси, ГрузНИИЭГС, 1974, вып. 2, с. 40-52.
100. **Кереселидзе Н.Б.** Некоторые вопросы устойчивости течения потока в деформационном русле и устойчивости граничных поверхностей (ложе русла) // Известия ТНИСГЭН, Тбилиси, 1967, т. 17, с. 3-20.

101. Киквидзе Я.А. Земледелие и земледельческий культ в древней Грузии -Тбилиси, 1976.
102. Киквидзе Я.А. Орошение в древней Грузии - Тбилиси, 1976.
103. Киселев П.Г. и др. Справочник по гидравлическим расчетам - М.: Энергия, 1972, 312 с.
104. Кнороз В.С. Неразмывающая скорость для мелкозернистых грунтов //Гидротехническое строительство, 1953, №8, с. 11-18.
105. Кнороз В.С. Образование естественной отмытки при размыве русла //Гидротехническое строительство, 1956, №20, с. 17-19.
106. Кнороз В.С. Неразмывающая скорость для несвязных грунтов и факторы ее определяющие // Известия ВНИИГ, 1959, т.59, с. 95-115.
107. Кнороз В.С. Естественная отмытка русел, образованных материалами неоднородной крупности // Известия ВНИИГ, 1962, т. 70, с. 21-51.
108. Кнороз В.С. Неразмывающие (предельные) скорости разнозернистых по крупности материалов // Известия ВНИИГ, 1962, т. 71, с. 19-38.
109. Кнороз В.С. Влияние микрошероховатости русла на его гидравлические сопротивления // Известия ВНИИГ им. В.Е.Веденеева, 1959, т.62, с. 75-96.
110. Ковда В.А. Опыт оросительных мелиораций // Мелиорация почв в СССР, М.: Наука, 1971.
111. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса - Л., 1987, 272 с.
112. Копалиани З.Д. Турбулентная структура и гидравлическое сопротивление русел с повышенной шероховатостью //Эрозионно-селевые явления и некоторые смежные проблемы, Грузгидроэкология, 2001, с. 109-110.
113. Коротков В.Е. К выводу обобщенной формулы неразмывающей скорости несвязных грунтов // Гидротехническое строительство, 1976, №10, с. 27-28.
114. Кузнецов М.С. Противозерозионная стойкость почв - изд-во МГУ, 1981, 136 с.
115. Кузнецов Ю.М. Мелиоративные каналы в легкоразмываемых грунтах - М.: Колос, 1977.

116. Кузьмин И.А. Объект изучения и развития взглядов на русловые процессы в инженерном деле //Труды гидропроекта - М., 1973, вып. 30, с. 6-14.
117. Лабзовский Н.А. Расчет элементов волн на поверхности потока //Гидрофизические исследования озер - Л.: Наука, 1973.
118. Лапшенков А.М. и др. Каналы систем водоснабжения и ирригации. Рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов - М.: Стройиздат, 1972.
119. Латышенков А.М. Вопросы гидравлики искусственно сжатых русел. М., 1960, 216 с.
120. Леви И.И. Динамика русловых потоков, изд.-е 2-е, М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957, 204 с.
121. Леви И.И. Инженерная гидрология - М.: Высшая школа, 1968, 198 с.
122. Леви И.И. Движение речных потоков в нижних бьефах ГЭС-ий. М.-Л., 1955, 226 с.
123. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов - М., Недра, 1980, 272 с.
124. Лятхер В.М., Милитеев А.Н. Расчет русловых деформаций //Материалы международного симпозиума «ЭВМ ГЭС - 73», Л., 1973, с. 41-67.
125. Лятхер В.М., Прудовский А.М. Гидравлическое моделирование - М.: Энергоатомиздат, 1984, 392 с.
126. Магомедова А.В. Результаты исследования размыва неоднородных по крупности несвязных грунтов //Сообщения АНГрузССР, 1967, XL, VIII, №1, с. 134-138.
127. Магомедова А.В. Вероятностный метод учета влияния разнородности при расчете размыва отложений у водозаборов //Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1968, вып. 39, с. 210-215.
128. Магомедова А.В. Учет неоднородности несвязных грунтов при установлении допускаемых (неразмывающих) скоростей водного потока в каналах // Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними, вып. 6, Тбилиси, ГрузНИИГиМ, 1978, с. 77-85.
129. Магомедова А.В. Эрозионные процессы в руслах рек и каналов - М.: изд. Всесоюзного заочного политехнического института, 1990, 202 с.
130. Маккавьев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне - М.: Изд-во АН СССР, 1955, 280 с.
131. Маккавьев В.М. К теории турбулентного режима и взвешивания наносов – Изд-во ГГИ, №32, 1931, с. 5-26.
132. Малаханов В.В. Техническая диагностика грунтовых плотин - М.:Энергоиздат, 1990,

- 122 с.
- 133. Масс Е.И.** Исследование структуры открытых бурных потоков с помощью лазерных измерителей. /В кн.: Защита морских берегов. М., 1978, с. 46-59.
- 134. Метревели Г.С.** Водохранилища Закавказья - Л.: Гидрометеиздат, 1985, 131с.
- 135. Мирцхулава Ц.Е.** О процессе размыва русел в связных грунтах. //Тр. III Всесоюз. Гидрологического съезда. – Л.: Гидрометеиздат, 1957, с. 53-54.
- 136. Мирцхулава З.Ц.** Анализ неразмываемости русел, сложенных из несвязных грунтов // Доклады ВАСХНИЛ, 1983, №6, с. 44-45.
- 137. Мирцхулава Ц.Е.** Аварии: уроки, прогноз, меры по безопасности функционирования объектов гидротехники - М., 1990.
- 138. Мирцхулава Ц.Е.** Безопасность плотин: состояние, проблемы, пути решения //Мелиорация и водное хозяйство, 1989, №10, с. 11-18.
- 139. Мирцхулава Ц.Е.** Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии - М.: Колос, 1970, 240 с.
- 140. Мирцхулава Ц.Е.** Методы установления размывающих скоростей для связных грунтов //Труды конференции по гидротехнике, 1959, С 1-15, (г. Брно, Чехословацкий политехнический институт)
- 141. Мирцхулава Ц.Е.** Надежность гидромелиоративных сооружений // М.: Колос, 1974.
- 142. Мирцхулава Ц.Е.** О возможностях и перспективах системного анализа при оценке устойчивости почв и эрозии // Доклады ВАСХНИЛ, №12, 1975.
- 143. Мирцхулава Ц.Е.** Основы физики и механики эрозии русел // Гидрометеиздат, Л., 1988, 303 с.
- 144. Мирцхулава Ц.Е.** О надежности крупных каналов - М., 1981, 318 с.
- 145. Мирцхулава Ц.Е.** Оценка надежности плотин и других сооружений с учетом интенсивности старения // Современные проблемы водного хозяйства и инженерной экологии, Тбилиси, 1999, с. 80-100.
- 146. Мирцхулава Ц.Е.** Размыв русел и методика оценки их устойчивости - М.: Колос, 1967, 180 с.
- 147. Мирцхулава Ц.Е.** Ранняя техническая диагностика, условия надежности работы

- сооружения // Гидротехника и мелиорация, 1980, №11 .
- 148. Мирцхулава Ц.Е.** Риск, как рисковать разумно (примеры с решениями), на груз. языке, Тбилиси, 1993, 208 с.
- 149. Мирцхулава Ц.Е.** Указания по определению допускаемых (неразмывающих) скоростей водного потока для связных грунтов и облицовок // МСХ СССР, 1962, 34 с.
- 150. Мирцхулава Ц.Е.** Экологические нарушения (предсказания риска нарушения, меры по снижению), Тбилиси, 1993.
- 151. Михалев М.А.** Гидравлический расчет потоков с поворотом. - Л., 1971, 184 с.
- 152. Мостков М.А.** Очерк о русловом процессе //АН СССР, М., 1958.
- 153. მურვანიძე ჯ., რეხვიაშვილი ი.** სარწყავი მასივების თანამედროვე მელიორაციული მდგომარეობის შეფასება //„ეროზიულ-ღვარცოფული მოვლენები და ზოგიერთი მომიჯნავე პრობლემები“ – საქჰიდროეკოლოგია , თბილისი, 2001, გვ. 159-166.
- 154. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) // СНИП 2.06.04-82, М., Стройиздат, 1983.**
- 155. Никитин И.К.** Сложные турбулентные течения и процессы теплопереноса - Киев: Наукова думка, 1980, 238 с.
- 156. Окунь Я.** Факснерный анализ - М.: Статистика, 1976.
- 157. Орлов И.Я.** О движении донных наносов и определенных значениях влекущей силы и скорости // Гидротехника и мелиорация, №11, 1950.
- 158. Павловский Н.Н.** Гидравлический справочник - М.: ОНТИ, 1937, 890 с.
- 159. Пикалов Ф.И.** Быстротоки с искусственной шероховатостью //Труды НГиМ, т. XIII, 1935, с. 473-477.
- 160. Плетнева Е.В., Полад-Заде А.П., Штеренлихт Д.В.** Связь гидравлических сопротивлений со статистическими характеристиками рельефа дна //Гидротехника и мелиорация, 1980, №5, с. 25-28.
- 161. Пурцеладзе Л.Д.** Оценка сопротивляемости размыву глинистых грунтов с использованием факторного анализа // Доклады ВАСХНИЛ, 1980, с. 38-48.
- 162. Пышкин Б.А.** Вопросы динамики берегов водохранилища - Киев, 1963, 332 с.
- 163. Рауз Х.** Механика жидкости - М.: Стройиздат, 1967, 340 с.

164. Ржаницин Н.А. Руслоформирующие процессы рек - Л., 1985, 262 с.
165. Россинский К.И. Дебольский В.К. Речные наносы - М., 1980, 216 с.
166. Россинский К.И., Кузьмин И.И. Балансовый метод расчета деформаций дна потока //Труды Гидропроекта, М., 1964, вып. 12, с. 265-271.
167. Россинский К.И., Кузьмин И.И. Деформации русел реки Волги в месте возведения перемычек Куйбышевского и Сталинградского гидроузлов //Труды Гидропроекта - М., 1958, вып. 1, с. 30-48.
168. Ротгенбург И.С., Вольков В.С., Поляков М.П. Мостовые переходы - М., 1977, 328 с.
169. Рубинштейн А.Л. Совместное влияние фильтрационного и руслового потока на величину размывающей скорости // Известия ВНИИГ, 1954.
170. Руководство по определению допускаемых размывающих скоростей водного потока для различных грунтов при расчете каналов //ВТР-П-25-80, М.: Минводхоз МССР, 1981, 58 с.
171. Румянцев И.С. Исследование кинематической структуры наносов и переформирований дна на участках подводных переходов дюкерного типа //Автореф. дис. канд. техн. наук - М., 1970, 20 с.
172. რუსთაველი შ. ვეფხისტყაოსანი – თბილისი: მეცნიერება, 1975, 411 გვ.
173. სამელიორაციო სისტემების მართვის დეპარტამენტის ფონდები - თბილიიŒ, 2005.
174. Самедов Р.И. О расчетах крупных каналов // Гидротехника и строительство, 1981, №5, с. 11-16.
175. Самедов Р.И. Таблицы и номограммы для расчета земляных каналов - Баку, 1977.
176. Самоян В.Г., Петросян Н.А., Гамбарин А.О. К вопросу разработки научных основ прогнозирования ирригационной эрозии // Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними - вып. 5, 1976, с. 96-100.
177. Селяметов Н.Б. Гидравлические исследования быстротоков трапецеидального сечения усиленной шероховатости //Труды САНИРИ, вып. 87, Ташкент, 1957, с. 3-9.
178. Сергеев Е.М. Общее грунтоведение – М.: Изд-во МГУ, 1959, 280 с.
179. Сергеев Е.М. и др. Грунтоведение – М.: Изд-во МГУ, 1971, 596 с.
180. Сиамашвили А.Р. Об учете влияния формы поперечного сечения каналов при уста-

- новлении допускаемых (неразмывающих) скоростей потока //Сообщ. АН ГССР, 1986, т. 123, №2, с. 353-356.
- 181. Студеничников Б.И.** Размывающая способность потока и методика русловых расчетов - М., 1964, 183 с.
- 182. СНиП 2.06.03-85** Мелиоративные системы и сооружения - М., 1986, с. 14-17.
- 183. Соколев С.С.** Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними - М., 1960, т.2, 248 с.
- 184. Соколовский В.Г.** Устойчивые формы поперечных сечений водоотводящих каналов - М.- Рига, 1957.
- 185. Соловьева З.И.** Безопасность гидротехнических сооружений //Гидротехническое строительство, 1993, №5, с. 14-17.
- 186. Схема развития и размещения объектов водохозяйственного и мелиоративного строительства на период до 2010 года** - Грузия, Тбилиси, Грузгипроводхоз, 1991.
- 187. Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н.** Гидроморфометрические характеристики горных рек - Фрунзе: Кыргызстан, 1968, 204 с.
- 188. Теплов В.И.** Лабораторное исследования изменения элементов ветровых волн в зависимости от скорости течения и скорости ветра // Труды ГГИ, №263, 1980.
- 189. Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений** //Деривационные каналы гидроэлектростанций, т.2 Приложения, М.: Госэнергоиздат, 1948, 86 с.
- 190. Троицкий В.П.** Основные положения проектирования и гидравлического расчета крупных земляных необлицованных каналов // Труды ЛПИ, 1976, №35, с. 18-24.
- 191. Трофимов Г.И.** О неразмывающей скорости для песчаных грунтов // Гидротехническое строительство, 1956, №2, с. 8-12.
- 192. ტულუში ჰ.** მიწის კალაპოტიანი არხების მდგრადობის უზრუნველყოფა რთული რელიეფის პირობებში //ღვარცოფული და მომიჯნავე პრობლემებისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო კონფერენციის შრომები. საქჰიდროეკოლოგია, თბილისი, 2001, გვ. 209-212.
- 193. ტულუში ჰ.** მოპირკეთებული არხების საიმედოობის მაჩვენებლების დადგენა



- სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე //წყალთა მეურნეობის და საინჟინრო ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები, საქწყალეკოლოგია, თბილისი, 1999, გვ. 147-150.
- 194. Уложения царя Вахтанга** //Сборник законов царя Вахтанга VI, под редакцией Д.З.Бакрадзе, Тифлис, изд-во Френкеля, 1887г.
- 195. Утнелов И.Д.** Исторический очерк о выработке правил о пользовании водами для орошения земель в закавказском крае // ЦГИА Грузии, Ф-365, д. 476
- 196. Учинчус А.А.** Каналы и сооружения на них - М.: Госстройиздат, 1953, 186 с.
- 197. Учинчус А.К.** Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов – М.: Стройиздат, 1965.
- 198. Факторович М.Э., Векслер А.Б. и др.** Сопоставление методов расчета общих трансформаций русла нижних бьефов гидроулова // Труды координационных совещаний по гидротехнике, Л., 1967, с. 11-26.
- 199. Федорец А.А.** Влияние естественной отмостки на формирование воронок размыва //Труды Киевского политехнического института, т. 46, Киев, 1963.
- 200. Филлипс О.М.** Динамика верхнего слоя океана – Л.: Гидрометеиздат, 1980.
- 201. Хальфин Ф.Н.** Размываемость связных грунтов – М.: Гидротехническое строительство, 1954, №4, с. 28-32.
- 202. Хортон Р.Е.** Эрозионные развития рек и водосборных бассейнов - М.-Л.: Изд-во иностр. лит-ры, 1948, 158 с.
- 203. Цивцивадзе Н.М.** Лабораторные исследования местного размыва у оголовков буюв //Защита морских берегов - М., 1979, с. 181-191.
- 204. Чоговадзе Г.Н., Гогоберидзе М.И., Какауридзе Р.Г. Микашвили Ю.Н., Мирцхулава Д.Ц.** Анализ основных факторов, вызывающих инциденты и аварии на плотинах, оценка показателей надежности гидротехнических сооружений, 1980, №7.
- 205. Чоу В.Т.** Гидравлика открытых каналов - М.: Стройиздат, 1969, 464 с.
- 206. Чугаев Р.Р.** Гидравлика - М.: Энергия, 1975, 599 с.
- 207. Шамов Г.И.** Речные насосы - Л.:Гидрометеиздат, 1959, 378 с.
- 208. Шатберашвили П.А.** Закономерности береговой эрозии меандрирующих рек. //Эрози-

- онные и селевые процессы и борьба с ними - М., 1975, вып. 4, с. 99-101.
209. **Швеба Г.И.** Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка - Л., 1974, 183 с.
210. **Штеренлихт Д.В.** Гидравлика - М.: Энергия, 1985, 510 с.
211. **Эристави З.К.** Исследование местного размыва русел у обтекаемых потоком опор в несвязных и связных грунтах // Автореф. дис. канд. техн. наук, Тбилиси, 1966, 20 с.
212. **Эфрон Б.** Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа (Пер. с англ. под ред. М.П.Адлера) - М.: Финансы и статистика, 1988.
213. **Ярославцев И.А.** Расчет местного размыва у мостовых опор // Сообщение ЦНИИС, №80, М., 1956, 16 с.
214. **Alem A.M., Kennedy I.E.** Friction factors for flow in from general physics - U.S. Geol. Survey, 1966, p.42.
215. **Back P.A.** Dam safety legislation in the USA. Intern. Water Power and Dam Construct., 1993, No 8, p.24 – 27.
216. **Back P.A.** Designing safety into dams. Intern. Water Power and Dam Construct., 1990, vol. 42, No 2, p. 11-12.
217. **Back P.A.** Deterioration of dams and reservoirs: examples and their analysis. ICOLD, 1983.
218. **Back P.A.** Four Major dam failure re-examined. Intern. Water Power and Dam Construct., 1985, vol. 37, No 11.
219. **Back P.A.** Internal erosion is a major cause of UK earth dam failures. Intern. Water Power and Dam Construct., 1985, vol. 37, No 5, p.6.
220. **Bogardi I.** Sediment transport in alluvial streams - Budapest, Ackad KISDO, 1970.
221. **Du Buat L.G.** Principes d'hydraulique - Paris. France, 1816.
222. **Einstein H.A.** Bed-load transportation in mountain greek. - US Dept. of Agric., Soil Conservation Service, 1944.
223. **Einstein H.A.** Barbarossa #4, River Channel roughness, - Trans., ASCE, 1952, 117 p. 1121-1132.
224. **Exner F.** Zur Theorie der Flussmäander. - Sitzungsber. Akad. Wissen-schaften Wien. Math. - hat. Kl. Wien, 1919, Bd 129.
225. **Engelund F.** Hydraulic resistance of alluvia. 92, #2, p. 315-326.

226. **Francis J.R.** Dudgeon C.R. An experimental study of wind-generated waves on a water currents, *Quart. J.Roy. Meteorol. Soc.*, 93, 247, 1967.
227. **Fortier S., Scobey F.C.** Permissible canal velocities. - *Trans. ASCE*
228. **Gilbert K.G.** The transportation of debris by running water. - *U.S. Geol. Survey Proc.*, 1914, p. 85.
229. **Jonsson J.G.** Scovgaard O., Wave refraction across a shearing current, *Proc. 16<sup>th</sup> Coast. Eng. Conf. #4*, 1979, v.1.
230. **Jonsson J.G. And Jacobsen T.S.** Set-down and Set-up in a Refraction Zone. Report 29. 13-22. Institute of Hydrodynamics and Hydraulics Engr. Techn. Univ. of Denmark, 1973.
231. **Foster G.R., Meyer L.D.** A closed - form soil erosion equalizations for upland areas. *Sedimentation*. Forl Collins. Colorado, 1971, p.12.
232. **Gompertz B.** On nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philos. Trans. Royal Soc., London* - 1925, No 115, p.513-585.
233. **Kato H., Tsuruya H., Doi T. Miyaraki Y.** Experimental study of wind waves generated on water currents (2<sup>nd</sup> report), *Report of the port and harbour research inst.*, vol. 15, No 4, Dec. 1976.
234. **Kato. H. Tsuruya H., Terakawa H.** Experimental study of wind waves generated on water currents (3<sup>rd</sup> report), *Wave forecasting method and its experimental confirmation*, *Report of the port and harbors research inst.*, vol. 20, N3. Sept. 1981.
235. **Kennedy J.F.** The mechanics of dunes and antidunes in errodible bed channels. *J.Fluid Mech.*, 1963, v.16, p.521-544.
236. **Lacey C.** Stable channels in alluvium. *Proc. Inst. Civil Eng.*, 1930, v. 229.
237. **Lane E.W.** Stable channels in erodible material. *Proc. ASCE*, 1935, v. 61.
238. **Lane E.W.** Progress report on studies of the design of the stable channels by the Bureau of Reclamation. *Proc. ASCE*, 1953, v.79, N 280.
239. **Laursen E.M.** The total sediment load of streams. *J.Hudr.Div.Proc.ASCE*, 1958, 84, No 1, p. 1-36.
240. **Laursen E.M.** The application of sediment transport mechanics of stable channel design.

- J.Hydraul.Div.Proc.ASCE, 1956, v.82.
- 241. Masch F.** Erosion of cohesive sediments. J.Hydraul.Div.Proc.ASCE, 1968, v.9H, NHY4.
- 242. Mavis F.F.** The transportation of detritus by flowing water. Univ.Iowa, 1937, Stand. Eng.Bull.
- 243. Mayer - Peter E., Muller R.** Formulas for bed-load transport. Intern. Assoc. Hydraul. Res. 3<sup>rd</sup> Meeting, Stockholm, 1948.
- 244. Mirtskhoulava Ts.E.** Reliability of Hydro-Reclamation installation. A.A.Balkema, 1987.
- 245. Mirtskhoulava Ts.E.** Research needs in dam safety (Conference Report. Part two). Intern. Water Power and Dam Constr., 1992, No 7, p. 49-51.
- 246. O'Brein M.P.** Review of the theory of turbulent flow and its relation to sediment transportation. Trans. Amer. Geoph. Union, 1933, v.14.
- 247. Partheniadys E., Paaswell R.E.** Erodibility of channels with cohesive boundary. J.Hydraul. Div., Proc. ASCE, 1970, HY3 H56, p.755-771.
- 248. Peregrin D.H., Johnsson J.G.** Interaction of waves and currents, Miscellaneous Rep., N83-6, US Army Corps of Engineers, Coastal Eng. Res. Center, March, 1983.
- 249. Raudkivi A.J.** Loose boundary hydraulics. N.Y.: Pergamon Press, 1976.
- 250. Rice S.C.** Mathematical analysis of random noise. BSTI 24, 1945, No 2.
- 251. Sciolds A.** Anwendung der Ahnlichkeitsmechanik und der Turbulenz orchung auf die Geschiebewegung. Preussische Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin, 1936, H 26, S. 245.
- 252. Senturk F.A.** A new category of bed configuration. Antiripples. Proc., 15 congress of the JAHR. Istanbul. Turkey, 1973.
- 253. Sharma H.D., Varshney D.V.** Bad form friction in alluvial channels - Irrigation and Power, 1974, vol. 31, #4, p.425-435.
- 254. Shen H.W.** Scour near piers. River Mechanica. Fort Collins. Colorado, 1971, p.23.
- 255. Silvera A.** - Some consideration on the durability of dams. Intern. Water Power and Constr., 1990, vol. 4, No 2, p. 19-29.
- 256. Simons D.B., Senturk F.** Sediment transort technology. Water Resources Public., Fort Collins, 1977.

- 257. Straube G.** Die Kolkbildung hinter unter strömten Wehren. Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schiffar. Wasser - Gundban, #9, Berlin, 1963.
- 258. Sundborg A.** The river Klareilven study of pluvial processes. Geografisk. Annaler, Stokholm, 1956, v. 38, N 2-3, p. 125-316.
- 259. Sundborg A.** The bed configuration and roughness of alluvial streams. Task Commitive of JSCE. Proc. JSCE, 1973, #20, p. 65-91.
- 260. Vanoni V.A.** Fifty years of sedimentation. J.Hydraul. Eng. 1990, v. 110, #18.