

საქართველოს სახელმწიფო სასოფლო-სამეურნეო უნივერსიტეტი

ლატავრა ჯავახიშვილი

ჰიდრომელიორაციულ სისტემებში ფილტრაციული ხარჯის

განსაზღვრის თეორიული და პრაქტიკული ასპექტები

აგროინჟინერიის დოქტორის

აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

63. 3 __ სასოფლო-სამეურნეო მელიორაციაში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: დავით გუბელაძე
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
პროფესორი

თბილისი 2008 წ.

შესავალი

თემის აქტუალურობა – საირიგაციო ბუნებრივ-ტექნიკური სისტემების ფუნქციონირების ეფექტურობას ცალსახად განსაზღვრავს ფილტრაციული ხარჯის სააგარიშო პარამეტრი, ანუ როგორც მას უწოდებენ ფილტრაციული დანაკარგები, რომელიც წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენების შეფასებისათვის ერთერთ ძირითად კრიტერიალურ მაჩვენებელს წარმოადგენს.

ჰიდროტექნიკური, სამელიორაციო თუ ენერგეტიკული დანიშნულების ბუნებრივ გეოტექნიკურ პირობებში გამავალი წყალგამტარი არხებიდან ფილტრაციული ხარჯის განსაზღვრის თეორიული მოდელი რეალიზებულია მხოლოდ იზოტროპული წყალჟონვადი გარემოსათვის, რაც მნიშვნელოვნად ზღუდავს მისი გამოყენების არეს. ფილტრაციული ფაქტორი ლოკალური აგროეკოსისტემის წყლის ბალანსის ფორმირებაში პერმანენტულად მონაწილე აქტიური კომპონენტია და ის საფუძვლად უდევს სარწყავი ნორმის დადგენას, რაც თავის მხრივ განსაზღვრავს სარწყავი სისტემის მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პროექტების სახარჯთაღრიცხვო ღირებულებას, კაპიტალდაბანდებას, უკუგების ვადებს და ა.შ.

სარწყავი მიწათმოქმედების ინტენსიფიკაციის პირობებში თანამედროვე მეცნიერული კონცეფციების მიხედვით, დანაკარგების კატეგორიას მიეკუთვნება სარწყავი წყლის ყველა ის რაოდენობა, რომელიც აღემატება ევაპოტრანსპირაციას. ფილტრაციული დანაკარგების განსაზღვრა აუცილებელია, არა მხოლოდ მისი რაოდენობრივი შეფასების

თავლსაზრისით, არამედ იმ უდიდესი როლით, რომელიც მას გააჩნია გრუნტის წყლის რეჟიმზე.

უკანასკნელი ერთი საუკუნის განმავლობაში, თითქმის ყველა ფილტრაციული გაანგარიშებანი ეყრდნობა დარსის ხაზოვან კანონს, რომელიც ამავე დროს ფართოდ გავრცელებული მოდელირების ელექტრო-ჰიდროდინამიკური ანალოგიის საფუძველს წარმოადგენს.

ფილტრაციული პროცესების კანონზომიერებათა შესწავლამ, თეორიული და გამოყენებითი ჰიდრომექანიკის ერთერთი უმნიშვნელოვანესი ნაწილი შეადგინა. მიუხედავად ამისა მიღებულ შედეგები ვერ უზრუნველყოფს ფილტრაციული დანაკარგების პროგნოზის მაღალ საიმედოობას, რადგან არსებული საანგარიშო სქემები არ ითვალისწინებს ნიადაგ-გრუნტის სტრუქტურულ-ფუნქციონალური ჰიდროფიზიკის მახასიათებელთა ფართო კომპლექსს.

ზედაპირულ-მოლეკულური ეფექტები, წარმოშობილი წყლის ელექტრო-ქიმიური ურთიერთქმედების მექანიზმით თიხიანი გრუნტის მინერალური ნაწილაკების ჰეტეროგენულ ზედაპირებთან, იწვევს რეოლოგიური ინდექსების რადიკალურ ცვლილებას, რაც ინტეგრალურად აისახება ფილტრაციული ხარჯის სიდიდეში.

აღსანიშნავია ისიც, რომ სამელიორაციო სისტემებში ფილტრაციული ხარჯები ხშირად მიზეზი ხდება მეორადი, შეუქცევადი დაჭაობება-დამლაშება მოვლენების წარმოშობისა, რაც ყველაზე თვალსაჩინოდ გამოხატავს ტექნოგენური ფაქტორის უარყოფით ზეგავლენას გარემოს ეკოლოგიურ წონასწორობაზე.

ფილტრაციული დანაკარგების რაოდენობრივი შეფასების საკითხი დიდი ხანია გასცდა ვიწრო უწყებრივ ჩარჩოებს და ის გადაეჯაჭვა ჩვენი

პლანეტის გლობალურ ეკოლოგიურ-დათბობის ტენდენციის პრობლემას, რომლის მეცნიერული ახსნის საფუძველია ჰიდროგეოლოგიური ფონის ინტენსიური ცვალებადობის თანმდევი სათბურის ეფექტის წარმოშობა. სწორედ ამის გამო სადისერტაციო ნაშრომი განსაკუთრებით დიდ აქტუალურობას იძენს.

კვლევის მიზანი – სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მიზანია, სხვადასხვა ტიპის მიწის წყალდამჭერი ნაგებობების ტანიდან, წყალგამტარ და სარწყავი არხებიდან ფილტრაციული ხარჯის განსაზღვრა, შეტბორილი და შეუტბორავი ჰიდროგეოლოგიური სქემებისათვის. ძირითად ჰიდროგეოლოგიურ პარამეტრებს, ფილტრაციის კოეფიციენტსა და კაპილური აწევის სიმაღლეს შორის კორელაციური კავშირის დადგენა. სტრუქტურულ-ფუნქციონალური ჰიდროფიზიკის გავლენის შესწავლა ფოროვანი წყლის რეოლოგიურ მაჩვენებელზე, ინფილტრაციული დაუმყარებელი პროცესის ფუნქციონალური დამოკიდებულების სასაზღვრო პირობის ადაპტაცია კონკრეტულ ჰიდროგეოლოგიურ საანგარიშო სქემასთან.

თავისუფალი დეპრესიის წირების ინვარიანტობის შეფასება წყალგამტარობის კოეფიციენტთან კავშირში, სხვადასხვა სტრუქტურულ მინერალოგიური შედგენილობის ნიდაგ-გრუნტების ფილტრაციული მდგრადობის კრიტერიუმების განსაზღვრა და მათი გამოყენების არის დადგენა.

ფილტრატების როლი გრუნტის წყლის რეჟიმზე. ფილტრაციის სიჩქარის და შესაბამისად ხარჯის განსაზღვრა საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებით. განზოგადებული საანგარიშო მოდელის ანალიზი და ფილტრაციული დანაკარგების განსაზღვრა ინტეგრალური-რეოლოგიური

ინდექსების გათვალისწინებით, რომლებიც რადიკალურად ცვლიან დეპრესიის წირის კონტურებს და უზრუნველყოფენ სააკუმულაციო ზონის შევსების დროის პერიოდის პროგნოზის შედარებით მაღალ საიმედოობას.

ეკრანის ტანში არსებული ხვრელებიდან (ნაპრალეებიდან) ფილტრაციული დანაკარგების განსაზღვრის ჰიდრავლიკური მოდელის რეალიზაცია სხვადასხვა ტიპის სამოსებისა და კონსტრუქციებისათვის.

ზოგადი კანონზომიერების დადგენა ლიოსისებური გრუნტებისათვის ჯდენის დეფორმაციის ფიზიკური რაობისა და მოდელირების არსებული კრიტერიუმების გამოყენების საფუძველზე. მრავალშრიანი ფილტრაციული გარემოს წყალგამტარობის მახასიათებლის განსაზღვრა საშუალო შეწონილი მეთოდით.

ანაკრები რკინა-ბეტონის ელიფსური ფორმის ღარული და სხვა ტიპის კონსტრუქციების ტემპერატურული ციკლური დეფორმაციის განსაზღვრის ტრივიალური საანგარიშო სქემა და მოვლენის ფიზიკური არსის გათვალისწინებით ნარჩენი დეფორმაციების სიდიდის განსაზღვრა. არხის სამოსისა და ფუძის გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტებს შორის თანაფარდობის მიხედვით ვაკუუმეტრული ეფექტის გათვალისწინება ფილტრაციული ხარჯის რაოდენობრივი განსაზღვრისას.

პოლიმერული, ფილტრაციის საწინააღმდეგო აფსკების დამცავ-მიმტვირთავი გრუნტის პრიზმის მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტის განსაზღვრა.

თავისუფალი ფილტრაციის შემთხვევაში გრუნტის წყლის სარკის ზედაპირზე წარმოშობილი “ბორცვის” დინამიკის პროგნოზი.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები – განხილილია ფილტრაციის კანონზომიერების შესწავლის სამართლიანობა დარსის ხაზოვანი კანონის

საფუძველზე ნიუტონისებური სითხეებისათვის. დამტკიცებულია ბერნულის განტოლების ენერჯის მუდმივობის კანონის მიხედვით დეპრესიის მრუდის ინვარიანტობა ფილტრაციის კოეფიციენტთან კავშირში.

დადგენილია დარსის კანონის გამოყენების ზედა და ქვედა საზღვარი. დადგენილია ფილტრაციის კოეფიციენტსა და კაპილარულ პოტენციალს შორის ცალსახა ფუნქციონალური კავშირი. კორექტირებულია ფილტრაციის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულება ფორიანობისა და ეფექტურ დიამეტრთან კავშირში ფორების ბმული წყლით წყალშევსების ხარისხის ინდექსის შესაბამისად.

შემოთავაზებულია ფოროვანი წყლის ძვრის საწყისი წინაღობის გათვალისწინებით სიჩქარის განაწილების საანგარიშო დამოკიდებულება მაღალ-დისპერსიულ თიხა ნიადაგ-გრუნტების ფართო კლასისათვის.

აპროქსიმირებულია ინფილტრაციული სიჩქარის ცვალებადობის მრუდი ექსპონენციალურ ფუნქციასთან.

ჩატარებულია კრიტიკული ანალიზი და დადგენილია სუფოზიურად არამდგრადი გრუნტების წონასწორობის ძირითადი კრიტერალური მახასიათებლები.

დასაბუთებულია, ფილტრაციის ერთერთი ძირითადი რეოლოგიური ინტეგრალური მახასიათებლის ე. წ. საწყისი გრადიენტის ექსპერიმენტული განსაზღვრის აუცილებლობა ფილტრაციული გაანგარიშების საიმედოობის გაზრდის მიზნით.

გამოვლენილია რკინა-ბეტონის კონსტრუქციებში პირაპირების ურთიერთ ძვრის დეფორმაციის გარდუვალობა ციკლური ტემპერატურული რეჟიმის ზემოქმედებით.

გაკეთებულია ზოგიერთი შენიშვნები თავმოყრილი ფილტრაციის კერების წარმოშობაზე და დასახულია მათი ლიკვიდაციის კონკრეტული ღონისძიებები.

მეცნიერული სიახლე – ჩატარებული კვლევის შედეგად მიღებულია შემდეგი მეცნიერული სიახლეები:

- ენერჯის კანონის საფუძველზე, დამტკიცებულია, რომ ქვიშოვანი ტიპის გრუნტებში დეპრესიის მრუდის მოხაზულობა არ არის დამოკიდებული ფილტრაციის კოეფიციენტზე.
- შემოთავაზებულია დეპრესიის მრუდის ანალიზური დამოკიდებულება ფილტრაციის საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებით.
- მიღებულია, ხაზოვანი ფილტრაციის ზედა და ქვედა ზღვარის საანგარიშო კრიტერიუმები.
- მრავალშრიანი გრუნტისათვის განსაზღვრულია ფილტრაციის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილი სიდიდე სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით.
- დასაბუთებულია ჰიდრავლიკურად უხელსაყრელესი არხის კვეთიდან ფილტრაციული ხარჯის ოპტიმალურობა.
- მიღებულია არხებიდან ფილტრაციის ხარჯის და გრუნტის წყლის რეჟიმის პროგნოზის საანგარიშო მოდელი საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებით.
- შემოთავაზებულია პოლიმერული აფსკის გრუნტის მიმტვირთავი პრიზმის მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის საანგარიშო დამოკიდებულება.

- მიღებულია რკინა-ბეტონის ღარებისათვის კონსტრუქციული გადაწყვეტის სქემა პირაპირების ჰიდროლოლაციის უზრუნველსაყოფად.

ნაშრომის აპრობაცია – სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები მოხსენებული იყო: ახალგაზრდა მეცნიერთა და ასპირანტთა სამეცნიერო კონფერენციებზე ქ. თბილისი (1998-2000 წწ.); საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტის ჰიდროტექნიკისა და საინჟინრო ეკოლოგიის, სასოფლო-სამეურნეო ჰიდროტექნიკური მელიორაციის კათედრების გაფართოვებულ სხდომებზე (2001-2002 წწ.);

პუბლიკაცია – სადისერტაციო ნაშრომის ცალკეული თეორიული და პრაქტიკული ხასიათის საკითხებმა ასახვა ჰპოვა სამ სამეცნიერო ნაშრომში.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა – სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავის, ძირითადი დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან. ნაშრომი მოიცავს 131 გვერდს, რომელშიც შედის 32 ნახაზი და 2 ცხრილი.

თავი 1. ფილტრაციის ძირითადი საანგარიშო პარამეტრები

1.1 ფილტრაციის კოეფიციენტი და მისი

1.2 განსაზღვრის მეთოდები

ფილტრაციის კოეფიციენტი წარმოადგენს ერთერთ ძირითად ჰიდრაულიკურ საანგარიშო პარამეტრს, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება ფილტრაციული სიჩქარე და ხარჯი. ფილტრაციის

სიჩქარესა და ჰიდრავლიკურ ქანობს შორის კავშირი აისახება დარსის ხაზოვანი კანონით, რომლის აღმოჩენამ დასაბამი მისცა მისი გამოყენების ფართო შესაძლებლობას მრავალრიცხოვანი ამოცანების გადასაწყვეტად, საინჟინრო პრაქტიკისათვის მისაღები სიზუსტით ნიადაგ-გრუნტების მრავალფეროვან კატეგორიებზე.

საჭიროა აღინიშნოს რომ, დარსის ემპირიულმა დამოკიდებულებამ თავისი ვერიფიკაცია გაიარა გრუნტების მრავალსახეობასა და ნიუტონური სითხეების ფართო კლასზე და გასული საუკუნის ბოლომდე რჩებოდა უნივერსალურ კანონად. იშვიათია ასეთი გამონაკლისი და “ბედი” ემპირიული კანონებისა რომლებმაც მოიპოვეს აღიარება. ამ მხრივ ის ერთ რანგში არის წარმოდგენილი კულონის ცნობილ ხახუნის კანონთან.

ჩვენ აქ არ შევჩერდებით ამ კანონის გამოყენების ფართო შესაძლებლობაზე და მისი გავრცელების არეალზე. მხოლოდ აღვნიშნავთ რომ, მისი გამოყენება იზღუდება ისეთი ფოროვან-კაპილარულ ტანებში ფილტრაციული პროცესების შესასწავლად რომლებიც ხასიათდებიან განვითარებული ხვედრითი კინეტიკური ზედაპირით და შესაბამისი ზედაპირულ-მოლეკულური მოვლენების მრავალრიცხოვანი ეფექტებით. ეს განპირობებულია იმით რომ, მთლიანად იცვლება ფილტრაციის ჰიდროდინამიკური სურათი და ის იძლევა თვისობრივად განსხვავებულ შედეგებს რომელთა ასახვაც არსებული ე.წ. ნიუტონური სითხის წინააღობის რეოლოგიური შკალით შეუძლებელია.

ფილტრაციის კოეფიციენტი თავის თავში აფოკუსირებს ნიადაგ-გრუნტის თვისებათა ფართო კომპლექსს [53]. ამ პარამეტრის განსაზღვრა შესაძლებელია ექსპერიმენტის ჩატარების გზით სათანადო ხელსაწყო დანადაგარებზე, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან

კონსტრუქციული გაფორმებით. აქვე აღვნიშნავთ რომ, ყველაზე სრულყოფილად მიიჩნევა ამ პარამეტრის განსაზღვრა საველე-ექსპერიმენტული ცდებით. ვინაიდან, ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე დიდ გავლენას ახდენს მრავალრიცხოვანი ფაქტორები, რომლებიც უშუალო კავშირშია მეტეოკლიმატურ და მასთან კორელაციაში მყოფ სხვა ფაქტორებთან.

ჩვენ საჭიროდ მიგვაჩნია ზოგიერთი თეორიული კანონზომიერებების გავრცელების აუცილებლობა ფილტრაციული ძრაობაზე. თუ განვიხილავთ წყლის მოძრაობას ჰორიზონტალურ ან ვერტიკალურ ცილინდრულ მილში რომელშიც მოთავსებულია გრუნტის ნიმუში მაშინ დამყარებული მოძრაობისათვის შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ენერჯის შენახვის კანონი, ბერნულის განტოლების მიხედვით

$$Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} = const \quad (1.1.1)$$

სადაც Z – გეომეტრიული სიმაღლე, მანძილი საფარდი სიბრტყიდან განსახილველ წერტილამდე;

ρ – სითხის სიმკვრივე, კგ/მ³;

g – სიმძიმის ძალის აჩქარება, მ/წმ²

p – წნევა, პა;

u – სიჩქარე, მ/წმ;

$\frac{p}{\rho g}$ – პიეზომეტრიული დაწნევა, მ;

$\frac{u^2}{2g}$ – სიჩქარის ექვივალენტური დაწნევა, მ;

თუ ნაკადი მოძრაობს წინაღობის გარეშე მუდმივი სიჩქარით, მაშინ მილის ნებისმიერ კვეთის ვერტიკალზე, მისი ყოველი წერტილისათვის

(1.1.1) განტოლების ყველა წევრების ჯამი ერთი და იგივე მუდმივი სიდიდეა.

მრავალრიცხოვანმა ექსპერიმენტმა სითხის მოძრაობაზე კაპილარულ-ფოროვან სხეულებში, აჩვენა რომ, ორ ადგილზე წერტილს შორის დაწნევათა სხვაობა განსაზღვრავს ფილტრაციული ნაკადის სიჩქარეს. ასევე დადგენილია რომ, ნიადაგ-გრუნტის მრავალი სახეობისათვის ფილტრაციის სიჩქარესა და პიეზომეტრულ ქანობს შორის კავშირი ხაზოვანი კანონით გამოიხატება:

$$V = kI = -k \frac{dh}{dl} \quad (1.1.2)$$

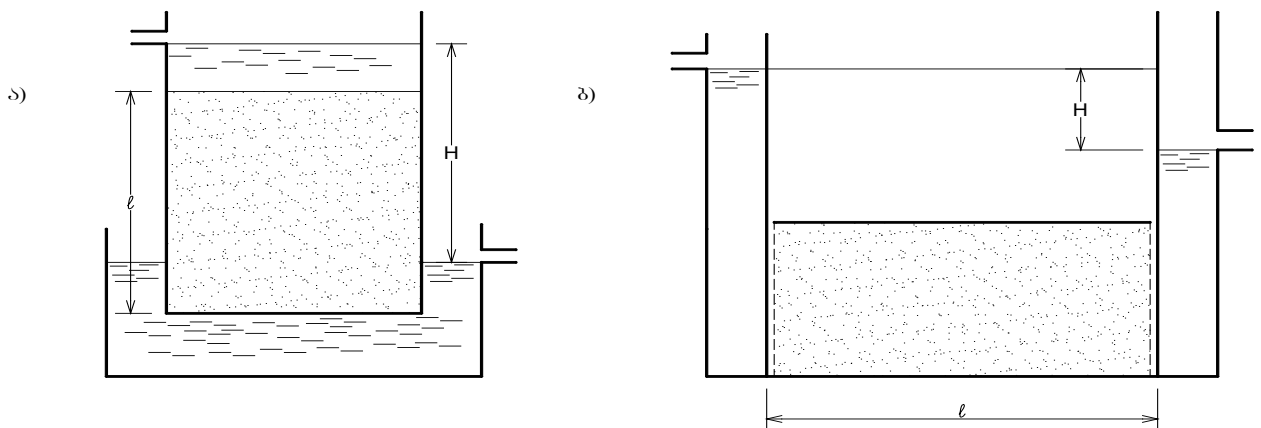
სადაც k – ფილტრაციის კოეფიციენტი, მ/წმ;

$I = -\frac{dh}{dl}$ – ჰიდრავლიკური ქანობი ანუ დაწნევის გრადიენტი;

h – დაწნევათა სხვაობა, მ;

l – ფილტრაციის გზა, მ;

ფილტრაციის ხაზოვანი კანონის ექსპერიმენტისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ ნახ 1. მოყვანილი უმარტივესი სქემებით.



ნახ. 1 ფილტრაციის ხაზოვან კანონზე ცდის უმარტივესი სქემები

საანგარიშო სქემის მიხედვით ჰიდრავლიკური ქანობი I აიღება როგორც, ფარდობა დაწნევათა H სხვაობისა ფილტრაციის გზის სიგრძეზე ℓ , რის შესაბამისად ფილტრაციის სიჩქარე გამოიხატება:

$$V = k \frac{H}{\ell} \quad (1.1.3)$$

საჭიროა აღინიშნოს რომ, რომ, მკვრივ თიხებსა და მძიმე თიხნარების ფორებში მოთავსებული წყლის გარკვეული ნაწილი იმყოფება მოლეკულურად ბმულ მდგომარეობაში, რომელიც არ გადასცემს წნევას ჰიდროსტატიკური კანონით და ამიტომ ფილტრაციული დინება იწყება მხოლოდ მაშინ, როცა დაწნევის გრადიენტის სიდიდე გადააჭარბებს, ე.წ. ჭეშმარიტი ფიზიკური საწყისი გრადიენტის მნიშვნელობას. ამ შემთხვევაში ფილტრაციის აპროქსიმირებული სიჩქარე ხაზოვან კანონთან, შეიძლება გამოვხატოთ შემდეგნაირად:

$$V = -k \left(\frac{dh}{d\ell} + I_0 \right) = k(I - I_0) \quad (1.1.4)$$

ნიადაგ-გრუნტის ექსპერიმენტული ნიმუშის ფილტრაციის კოეფიციენტი განისაზღვრება:

$$k = \frac{Q\ell}{\omega H} \quad (1.1.5)$$

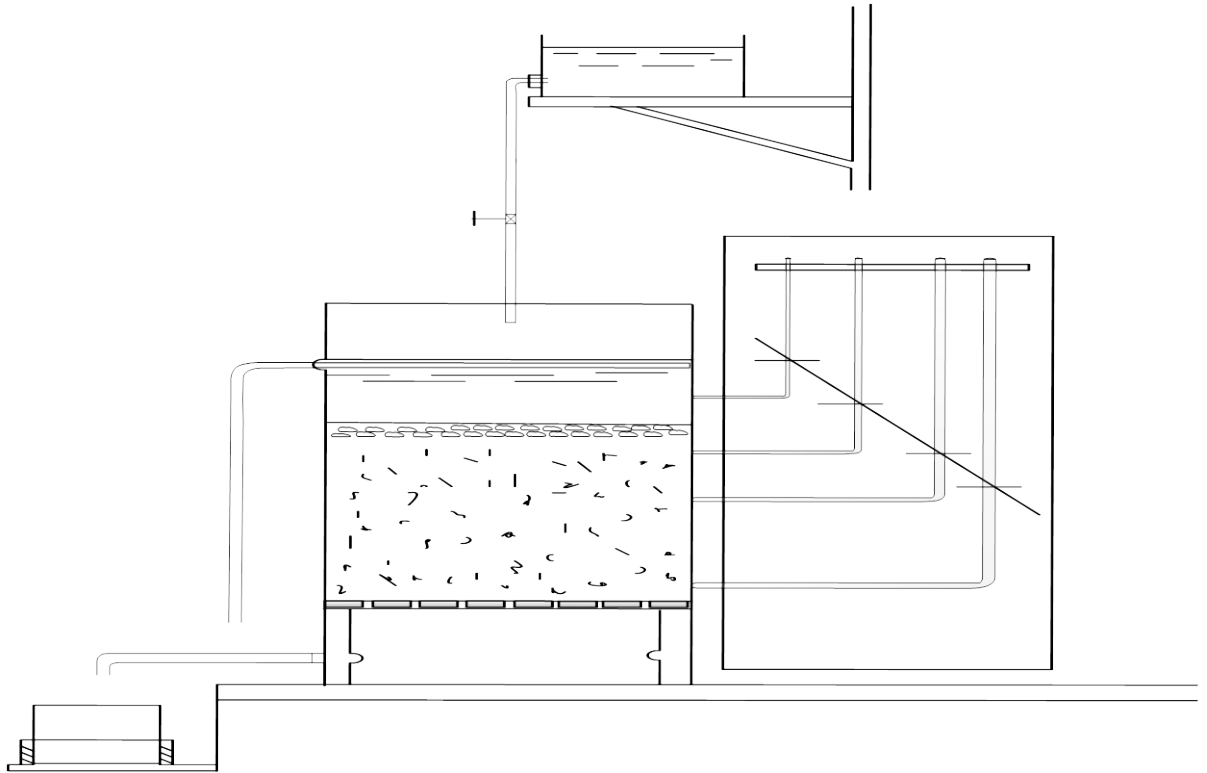
სადაც Q – ფილტრაციის ხარჯი, გამავალი გრუნტის ნიმუშის

განივკვეთის ფართობზე (ბრუტო), მ³/წმ;

H – დაწნევათა სხვაობა ზედა და ქვედა ბიეფებს შორის, მ;

ω – ნიმუშის განივკვეთის ფართობი, მ²;

ფილტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის ლაბორატორიულ პირობებში, გამოიყენება უფრო სრულყოფილი, პიეზომეტრებით აღჭურვილი ხელასწყო ნახ. 2.



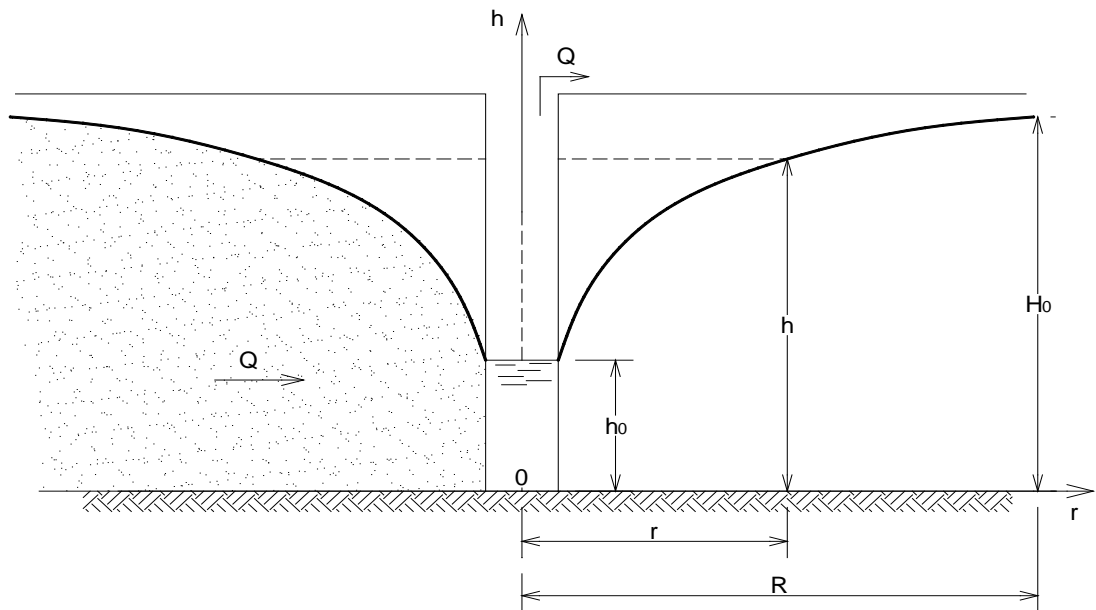
ნახ. 2 ფილტრაციის კოეფიციენტის საზომი ხელსაწყო

საველე პირობებში ფილტრაციის კოეფიციენტის დასადგენად გამოიყენება სხვადასხვა ხელსაწყო დანადგარები რომელთა აღწერილობა დეტალურად მოცემულია სპეციალურ ლიტერატურაში [2.12.44.54.77.94].

ფილტრაციის კოეფიციენტის საორიენტაციო მნიშვნელობის დადგენისათვის საველე ბუნებრივ პირობებში ლითოლოგიური ჭრილიდან ხდება ნიმუშების აღება (დაურღვეველი სტრუქტურით), რომელთა გამოცდაც ხდება ზემოთ მითითებულ ხელსაწყოზე. მაგრამ ეს მეთოდი ნაკლებად საიმედოა, რადგან მიღებულმა შედეგებმა ამ მახასიათებლის მიხედვით შეიძლება მოიცვას ლოკალური უბნების გარდა ფილტრაციის ფართო არეალიც. ამის გარდა ხშირად ფილტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის იყენებენ ჭაურიდან წყლის ამოქაჩვის მეთოდს, რომელიც იძლევა გაცილებით საიმედო შედეგებს. აქ ჩვენ მოგვყავს

მხოლოდ სრულყოფილი ჭაურიდან წყლის ამოქაჩვის საანგარიშო სქემა ნახ.

3.



ნახ. 3. ჭაბურღილის დებიტის საანგარიშო სქემა

გრუნტის წყლის ნაკადის მოძრაობა შეიძლება ჩავთვალოთ პარალელურ ბრტყელ ჭავლიან მოძრაობად. განვიხილავთ სიმეტრიულ ღერძიან ნაკადის მიდინებას ჭაბურღილთან რომლის რადიუსია r . განვსაზღვრავთ ცილინდრულ ზედაპირზე ნებისმიერად აღებული ცოცხალი კვეთის შესაბამის ხარჯს, რომელიც ტოლი იქნება:

$$Q = 2\pi r h k \frac{dh}{dr} \quad (1.1.6)$$

ცვლადთა განცალგებით მივიღებთ შემდეგი სახის დიფერენციალურ განტოლებას:

$$\frac{Q}{k2\pi} \cdot \frac{dr}{r} = h \cdot dh \quad (1.1.7)$$

განტოლება (1.1.7)-ის ინტეგრებით r -დან R -მდე საზღვრებში, მივიღებთ:

$$\frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{R}{r_0} = \frac{H_0^2 - h_0^2}{2} \quad (1.1.8.)$$

საიდანაც

$$Q = \pi k \frac{H_0^2 - h_0^2}{\ln \frac{R}{r_0}} \quad (1.1.9.)$$

(1.1.9)-ის მიხედვით განისაზღვრება ჭაბურღილის დებიტი. ცხადია, სხვადასხვა რეჟიმით წყლის ამოქაჩვის შემთხვევაში, (1.1.9)-ის გამოყენებით, ადვილად გავიგებთ ფილტრაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობას (წყალშემცველი შრის აღებული სიმძლავრისათვის).

(1.1.7) განტოლების ინტეგრებით საზღვრებში $r \div r_0$ და $h \div h_0$, ადვილად მიიღება დეპრესიის მრუდის ამსახველი განტოლება:

$$h = \sqrt{h_0^2 + 0,73 \frac{Q}{k} \lg \frac{r}{r_0}} \quad (1.1.10)$$

ეს უკანასკნელი საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ კაპილარული ქობის სიმძლავრე, რომელიც პარალელურად გადაადგილდება დეპრესიის წირთან ერთად. ვინაიდან, წყალგაჯერების (აერაციის) ზონა გავლენას ახდენს გრუნტის დეფორმაციულ-სიმტკიცობრივ მახასიათებლებზე ამიტომაც, ინფორმაცია გრუნტის წყლის მდებარეობაზე შესაძლებლობას იძლევა ვივარაუდოთ რიგი მოვლენების უთუო წარმოშობა. [4.74.110].

სპეციალურ კვლევებში დაფიქსირებულ იქნა დეპრესიის მრუდის ცვალებადობა ატმოსფერული წნევისათან კავშირში [26.84]. ატმოსფერული წნევის შემცირებისას გრუნტის წყლის დონის აწევა შეიძლება აიხსნას როგორც, ჰაერის ბუშტულაკების მოცულობის მომატებით (იზობარული პროცესი). საჭიროა აღინიშნოს რომ, ფილტრაციის კოეფიციენტი, მუდმივი წნევის პირობებშიც, განიცდის დროში ცვალებადობას ფიზიკურ-ქიმიური

და ბიოლოგიური ფაქტორების ზემოქმედებით. ფილტრაციის კოეფიციენტის, ნაცვლად მაღალი სიბლანტის სითხეებისათვის (ნავთობპროდუქტები) განიხილება სხვა მახასიათებელი, რომელსაც უწოდებენ გამტარობის კოეფიციენტს და ის გამოხატება შემდეგნაირად:

$$k_0 = k \frac{\mu}{\rho g} = k \frac{V}{g} \quad (1.1.11)$$

სადაც k_0 – გამტარობა, მ²;

V – კინემატიკური სიბლანტე, მ²/წმ;

μ – დინამიკური სიბლანტე, პა.წმ;

ფილტრაციის კოეფიციენტი, არსებული კონცეფციების მიხედვით დამოკიდებულია ფორიანობაზე, რაც მიგვაჩნია არ პასუხობს პროცესის ფიზიკურ არსს, რადგან ერთი და იგივე ფორიანობის მაგრამ, განსხვავებული გარნულომეტრიული შედგენილობის ნიადაგ-გრუნტებისათვის შესაბამისად, ფილტრაციის კოეფიციენტები რამდენიმე რიგით განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. მიუხედავად ამისა, ქრონოლოგიურ ინტერესს წარმოადგენს ფილტრაციის კოეფიციენტის შემდეგი სახის დამოკიდებულება [84].

$$k = \beta \frac{d^2}{\mu} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \quad (1.1.12)$$

სადაც β – მუდმივი კოეფიციენტი;

d – ეფექტური დიამეტრი, მ;

n – ფორიანობა;

(1.1.12) მიხედვით ფილტრაციის კოეფიციენტი მუდმივი d და n შემთხვევაში ფორიანობის ცალსახა ფუნქციას წარმოადგენს. თუმცა საგულსხმოა ისიც რომ, ეფექტური დიამეტრის d -ს ქვეშ იგულისხმება

გრანულომეტრიულ-კუმილაციური მრუდიდან აღებული უზრუნველყოფის, რაღაც გარკვეული მნიშვნელობის შესაბამისი მარცვლის ზომა. მიღებულია რომ, წყალგამტარი “ხვრელის” ზომა სტრუქტურული ნიადაგ-გრუნტისათვის შეადგენს მარცვლის დიამეტრის $0,18 \div 0,22$ ნაწილს ანუ საშუალოდ $0,2$ [29.68.75.90] ეფექტური დიამეტრი ღია კალაპოტების გრუნტებისათვის აიღება 5% -იანი უზრუნველყოფით ან კიდევ შესაბამისად არაერთგვაროვნების კოეფიციენტის მიხედვით (ირიბი მეთოდი) [8.32.43]. ყველა ეს განმარტება პირობითია და ვერ გამოხატავს ფოროვანი ურთულესი ლაბირინთული სისტემის რეალურ სტრუქტურულ-აქსონომეტრიულ სურათს. ხშირად ეფექტური დიამეტრის ნაცვლად აიღება უშუალოდ საშუალო მარცვლის ზომა. დიამეტრის ასეთი გრდაცია ძნელად აიხსნება ნარევი ზომების განაწილების ალბათურ-სტატისტიკური განაწილების კანონზომიერებით, თუმცა დადასტურებულია ისიც რომ, ღვარცოფის ნარევისათვის რომელთა შედგენილობა აღემატება $0,002$ მ-ს. ფიქტიური მოდელის ერთი და იგივე განლაგებისათვის არ არის დამოკიდებული მარცვლის ზომაზე. ეს შედეგი მიღებულია ნარევის ანალიზიდან რომლის მიხედვითაც აღნიშნული გრდაცის ფრაქციები იძლევიან ერთი და იგივე კუთრ წონას, რაც მიუთითებს ფორიანობის ერთი და იგივე რიცხვით მნიშვნელობაზე, რადგან თვით ფორიანობა კუთრი წონის ფუნქციაა [63].

აღნიშნულიდან გამომდინარე, უმჯობესია ვისარგებლოთ არა ფორიანობის მაჩვენებლით არამედ ხვედრითი ზედაპირით. რაც თავის მხრივ წარმოადგენს ინდიკატორს ფილტრაციის ხაზოვანი კანონისაგან გადახრის გამოსავლენად. ეს ეხება დარსის კანონიდან გადახრის როგორც ზედა ასევე ქვედა საზღვარს. ერთგვაროვანი არაბმული გრუნტისათვის

ხაზოვანი კანონი სამართლიანია რეინოლდსის კრიტერიუმისათვის როდესაც მისი რიცხვითი მნიშვნელობა ნაკლები ან ტოლი R_{ed} -სიდიდეზე.

$$R_e = \frac{\rho VR}{\mu} \leq R_{ed} \quad (1.1.13)$$

R_{ed} - რიცხვის მნიშვნელობა მერყეობს სხვადასხვა ავტორთა [48.70.82.101] მიხედვით $3 \div 10$ -ის ფარგლებში. მსხვილმარცვლოვანი გრუნტებისათვის სიჩქარესა და გრადიენტს შორის კავშირი ხშირად გამოიხატება მეორე რიგის პოლონომით:

$$I = aV + bV^2 \quad (1.1.14)$$

ან კიდევ

$$V = cI^x \quad (1.1.15)$$

(1.1.14) და (1.1.15) ფორმულებში შემავალი მუდმივები a, b, c, x ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში განისაზღვრებიან ცდების მონაცემების მიხედვით. ფხვიერი გრუნტების უმრავლესობისათვის, დარსის კანონისაგან გადახრას, ადგილი აქვს მშთანთქმელ ჭაბურღილიდან ნაკადის მიდინების მცირე მანძილით დაშორების ზონაში [30], რაც აიხსნება ქანების ბუნებრივი სტრუქტურის რღვევით, ბურღვისა და სუფოზიური პროცესების განვითარების გამო.

აქვე საჭიროა აღინიშნოს რომ, ფოროვან-კაპილარულ სხეულებში ზოგადად სითხის მოძრაობა აისახება არა ნიუტონისებრი სითხეებისათვის დამახასიათებელი ხაზოვანი კანონით, არამედ რეოლოგიური შკალის შვედო-ბინგამის ბლანტ-პლასტიკური მოდელით. ამ შემთხვევაში, სამართლიანია (1.1.4.) - დამოკიდებულება, ხოლო ქვედა ზღვარი ლიმიტირებულია შემდეგი კრიტერიუმით [2]

$$I_0 = A \cdot k^{-0.5} \quad (1.1.16)$$

სადაც, k – ფილტრაციის ინტერპოლირებული კოეფიციენტი,

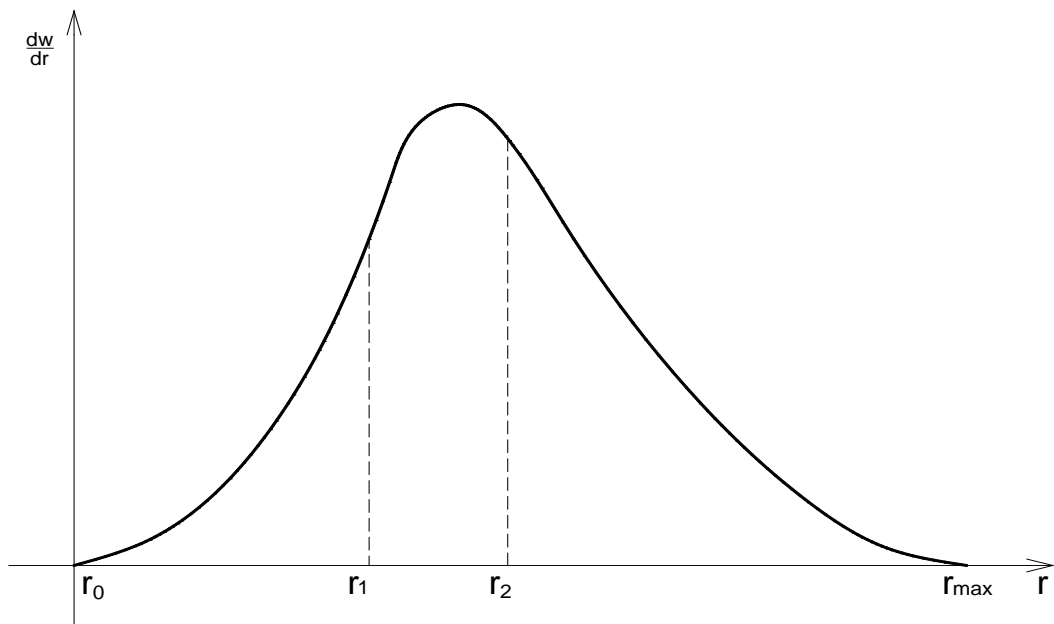
განსაზღვრული არეში – $I > I_0$

A – ექსპერიმენტული კოეფიციენტი ტოლი $1,7 \cdot 10^{-4} (\text{მ/წმ})^{1/2}$;

ფილტრაციის ხაზოვანი კანონის გამოყენების ქვედა ზღვარი ასევე შეიძლება დადგენილ იქნეს ირიბი მაჩვენებლის მიხედვით. კერძოდ, წყალგამტარი “არხის” განივკვეთის ზომა ნაკლები 10^{-6} მ. [9.11.69]. ჰიდრაულიკური “ხვრელის” ასეთი ზომა შეიძლება ჩაითვალოს მიკრო და მაკრო სტრუქტურის გამმიჯნავ კრიტერიუმად. არსებობს როგორც ნარევის დიამეტრის განაწილების კუმულაციური მრუდეები, ასევე ფორების დიფერენციალური განაწილების მრუდეები მათი რადიუსის მიხედვით. თუ ორდინატთა ღერძზე ჩვენ დავიტანთ ფორების მოცულობას W_i სხეულის ერთეულ მოცულობაში ხოლო, აბსცისათა ღერძზე – კაპილარის რადიუსს, მაშინ მივიღებთ ფორების განაწილების ინტეგრალურ მრუდს. დაწყებული კაპილარის რადიუსის რაღაც მნიშვნელობიდან (მინიმალური). ფორების მოცულობა იზრდება დიდი რადიუსის არეში, მრუდი ხდება მდორე და კვეთს W_{max} -ს რომლის მნიშვნელობაც მიიღება იმ ფორების მოცულობათა ჯამით რომელთა რადიუსები მოთავსებულია $I_0=I_{max}$ შორის. აქვე მივუთითებთ რომ r_0 იმ კაპილარის რადიუსია, რომელიც იწვევს წყლის გადაყვანას კვაზი მყარი თვისებებით აღჭურვილ სითხის კატეგორიაში. dw/dr წარმოებულს და ფორის რადიუს შორის დამოკიდებულებას წარმოვადგენთ ფორების განაწილების შემდეგი დიფერენციალური კავშირით:

$$\frac{dw}{dr} = f(r) \quad (1.1.17)$$

თვალსაჩინოებისათვის ნახ.4 მოცემული რადიუსის მიხედვით ფორების დიფერენციალური განაწილების საილუსტრაციო მრუდი.



ნახ. 4 რადიუსის მიხედვით ფორების განაწილების დიფერენციალური მრუდი

მრუდის ქვემოთ მოქცეული ფართობი გვაძლევს საძიებელ ინტერვალში ფორების მოცულობების ჯამს ამიტომ ყველა ფორების ჯამური მოცულობა მთელი სხეულის ერთეულ მოცულობაში გვაძლევს:

$$W_{\max} = \int_{r_0}^{r_{\max}} \frac{dw}{dr} dr = \int_{r_0}^{r_{\max}} f(r) dr \quad (1.18)$$

ამ განტოლების მიხედვით შესაძლებელია ასევე განვსაზღვროთ ფოროვანი სხეულის მაქსიმალური წყალტევადობა რომელიც საშუალებას იძლევა დავადგინოთ მეტად მნიშვნელოვანი ჰიდროფიზიკური პარამეტრი ზღვრული წყალტევადობის სახით. ეს უკანასკნელი განსაზღვრავს ნიადაგ-გრუნტებში კერძოდ კი, აქტიურ შრეში პროდუქტიული წყლის მარაგს,

ამასთან ერთად ირიბად ის გამოდგება ფილტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის არასრულად წყალგაჯერებული გრუნტისათვის.

წყალგამტარობის განსაზღვრისათვის აერაციის ზონაში მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ შემდეგი სახის დამოკიდებულება [5]:

$$k_w = k \left(\frac{w - w_0}{n - w_0} \right)^{3.5} = k \left(1 - \frac{p}{n - w_0} \right)^{3.5} \quad (1.1.19)$$

სადაც p – დახშული ჰაერის მოცულობა, მ³;

w_0 – მაქსიმალურ-მოლეკულური წყალტევადობა, მ³;

k_w – კაპილარული წყალგამტარობის კოეფიციენტი მ/წმ;

დამოკიდებულება (1.1.19) მიუთითებს იმაზე რომ ფილტრაციის კოეფიციენტი იცვლება ფორების სხვადასხვა კატეგორის წყლით შევსების მაჩვენებლის შესაბამისად

მიუხედავად იმისა, რომ ფილტრაციის ხაზოვანი კანონის გამოყენების არე საკმაოდ ვრცელია ჰიდრომელიორაციის პრაქტიკული საკითხების გადაწყვეტისათვის, ის მაინც არათავსებადია პოტენციური ძრავის თეორიულ კონცეფციებთან, რომლის ასახვაც ხდება წინააღობის არანიუტონური მოდელით. დღეისათვის, ყველაზე ეფექტურად შეიძლება მივიჩნიოთ, მაქსიმალური მოლეკულური წყალტევადობის, შედარებით ადვილად მოპოვებადი მაჩვენებლის მიხედვით იმ პარამეტრების განსაზღვრა, რომლებიც უშუალოდ ცვლიან, როგორც მთლიან ფოროვანი სივრცის გეომეტრიულ-სტრუქტურულ აღნაგობას, ასევე ცალკეული წყალგამტარი არხების განივკვეთის ზომებს და ამის შედეგად ფილტრაციულ-კაპილარული მოვლენები გადაჰყავთ თვისობრივად ახალ კანონზომიერებაში. ამის შესაბამისად შეიძლება (1.1.3) დამოკიდებულება

ნიადაგ-გრუნტების იდეალურ მოდელზე დაყრდნობით წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$k_w = \alpha \frac{n_0^3}{(1-n_0)^2} \quad (1.1.20)$$

სადაც, $n_0 = n(1-\varphi)$, ხოლო φ – ფორიანობის ბმული წყლით შევსების ხარისხი. (1.1.20) დამოკიდებულება ანალოგიურია ფორმულისა (1.1.19).

არხის ფილტრაციული დანაკარგების განსაზღვრის ფორმულაში ფიგურირებს კაპილარული პოტენციალის განმსაზღვრელი პარამეტრი, რომელიც რაოდენობრივად ცვლის ფილტრაციული ხარჯის სიდიდეს, აღსანიშნავია რომ, კაპილარული პოტენციალი, რომელიც შეიძლება გამოიხატოს კაპილარული აწევის სიმაღლით, საჭიროა განისაზღვროს თერმოდინამიკური წონასწორობისა და ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების ფონზე.

1.2. ნიადაგ-გრუნტებში კაპილარული მოვლენები და მისი პოტენციალის განსაზღვრა

კაპილარული პოტენციალის განსაზღვრა ბუნებრივ სორბენტებში კერძოდ, ნიადაგ-გრუნტებში თანამედროვეობის ერთ-ერთი აქტუალური ამოცანაა. ის ერთნაირად საინტერესოა როგორც გრუნტმცოდნეობის, გრუნტების მექანიკის, ჰიდროგეოლოგიის, ნიადაგმცოდნეობის და სხვა მომიჯნავე დარგებისათვის. ინტერესს აძლიერებს ისიც რომ, კაპილარული ეფექტი თავის მრავალფეროვანი გამოყენებითი ასპექტით სულ სხვადასხვა როლს ასრულებს ამათუ იმ კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტაში.

ამ მოვლენის შესწავლისადმი მიძღვნილია მრავალრიცხოვანი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები [36.38.42.52.53.69.75.79.85.91.109.].

ადსორბციული და კაპილარობის თეორია დიდ ხნის განმავლობაში ვითარდებოდა ურთიერთ დამოუკიდებლად და მკვეთრად უპირისპირდებოდა ერთმანეთს. ადსორბციული თეორია პიონერული ლანგმიურის კვლევებით, გაცილებით გვიან ჩამოყალიბდა ლაპლასის თეორიასთან შედარებით, ამიტომაც, უნდა ვივარაუდოთ მათი ურთიერთ დაშორება.

ჩვენ მიგვაჩნია რომ, სორბციული ძალები, როგორც განსაზღვრული ზედაპირული პოტენციური ენერჯით, რომლის რიგც ელექტრომაგნიტურ და იონური ძალური ზემოქმედების ეფექტის გამოხატულება მნიშვნელოვნად აღემატება კაპილარულ ძალებს. ამის დასადასტურებლად, არ არის საჭირო დამატებითი არგუმენტების მოყვანა და საკმარისია ისიც რომ სორბციული ძალები ფიზიკო-ქიმიური კავშირების შედეგია, ხოლო კაპილარული – ფიზიკურ-მექანიკური და წყალბად-კავშირების ბმების.

სამელიორაციო დანიშნულების არხებიდან ფილტრაციის პროცესების მიმდინარეობა სხვადასხვა სტადიაზე, გულისხმობს კაპილარული ძალების მოქმედების დომინირებას, ფილტრაციის გრადიენტის ჩამოყალიბებაში. სწორედ ამის გამო, კაპილარობა სხვადასხვა რაკურსით მოითხოვს კონკრეტულ შეფასებას ყოველი ჰიდროგეოლოგიური სქემისათვის.

შეიძლება დავასკვნათ რომ, მიუხედავად მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული და თეორიული ნაშრომებისა, არ არის დღემდე მიღწეული კაპილარობის ფიზიკური არსის ახსნა და ის იმყოფება

შესწავლის სტადიაში. დღეისათვის არ არსებობს სრულყოფილი საანგარიშო მოდელი, რომელიც საშუალებას მოგვცემდა დაგვედგინა ზოგადი კანონზომიერება წყლის გადაადგილებისა კაპილარულ-ფოროვან სისტემებში და კერძოდ, ნიადაგ-გრუნტებში. ეს უნდა აიხსნას როგორც პროცესში მონაწილე მრავალრიცხოვანი ფაქტორების რაოდენობრივი შეფასების მიუღწევლობით ასევე, მოვლენის ფიზიკის სქემატიზაციით.

კაპილარული პოტენციალის განსაზღვრისათვის ანუ კაპილარული აწევის სიმაღლის დასადგენად ანალოგიურად პოტენციური ენერჯისა გრავიტაციულ ველში გამოიყენება ლაპლასის ცნობილი დამოკიდებულება:

$$h_j = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \Theta \quad (1.2.1)$$

სადაც h_j - აწევის სიმაღლე, მ;

σ - ზედაპირის დაჭიმულობის კოეფიციენტი, ნ/მ;

ρ - წყლის სიმკვრივე, კგ/მ³;

r - კაპილარის რადიუსი, მ;

Θ - დასველების კუთხე (ჰიდრაულიკური მაჩვენებელი);

(1.2.1) დამოკიდებულებიდან ჩანს, რომ ფიზიკური კონსტანტების მუდმივობის შემთხვევაში, მოცემული დასველების კუთხის შესაბამისად კაპილარული აწევა უკუპროპორციულია კაპილარის განივკვეთის ზომის (რადიუსის) და ემორჩილება ჰიპერბოლურ კანონს. თუმცა, საველე და ლაბორატორიული ექსპერიმენტების მონაცემები მიუთითებენ ამ კანონის საპირისპირო ხასიათზე. იმ შემთხვევაში როდესაც მენისკის სიმრუდის რადიუსი ტოლია კაპილარის გეომეტრიული რადიუსის მაშინ Θ კუთხე უდრის ნულს.

ასეთი სრულყოფილი დასველების შემთხვევაში კაპილარის აწევის სიმაღლე იანგარიშება ე. წ. ლაპლას-ჟიურენის ფორმულით:

$$h_3 = \frac{2\sigma}{\rho g r} \quad (1.2.2)$$

აქვე საჭიროა აღინიშნოს რომ, დამოკიდებულება (1.2.2) არ დასტურდება მაღალდისპერსიულ ნიადაგ-გრუნტებში და აწევის სიმაღლე არა თუ მიისწრაფის უსასრულობისაკენ, არამედ – პრაქტიკულად ის ნულს უტოლდება. ასვე ექვემ დგება კაპილარული პოტენციალის უსასრულო ზრდაც, იმ რეალური მონაცემების ანალიზის საფუძველზე, რომლის მიხედვითაც კაპილარული აწევა ატმოსფერულ წნევასთან ცალსახა კავშირში იმყოფება. ჩნობილია, ისიც რომ კაპილარი, როგორც არაიზოლირებული თერმოდინამიკური სისტემა დაკავშირებულია ატმოსფეროსთან და ამიტომაც ყველა უმარტივესი მოდელები კაპილარული წნევას წარმოადგენენ შემდეგი სახით:

$$p_3 = p_{at} - \rho g h_3 \quad (1.2.3)$$

სადაც, p_3 - კაპილარში სითხის წნევა;

p_{at} - ატმოსფერული წნევა, $p_{at}=10^5$ პა (ბარი), მეორე მხრივ ეს არის წნევა რომელსაც ანვითარებს 10მ სიმაღლის წყლის სვეტი ფუძეზე, ანუ სხვანაირად $p_3=0$. რადგან ამ შემთხვევაში $p_{at} = \rho g h_3$

ასეთი “წნევი“-ს პირობებში წყალს არ შეუძლია თხიერ აგრეგატულ მდგომარეობაში არსებობა. რაც იმას ნიშნავ რომ, იწყება ე. წ. “ცივი” დუღილი, ამ შემთხვევაში ჩვენ შეგვიძლია განვიხილოთ, კაპილარში წნევა როგორც ვაკუუმეტრული რაც იწვევს წყლის აორთქლებას კაპილარიდან. ამის დასადასტურებლად გამოდგება ზიარჭურჭლად გაერთიანებული ორი სხვადასხვა დიამეტრის კაპილარიდან წყლის აორთქლების დინამიკა.

კერძოდ, სანამ არ დაცლის წყლისაგან დიდი ზომის კაპილარს მცირე ზომის კაპილარი მანადე მცირე ზომის კაპილარში არსებობს მენისკის საწყისი მდებარეობის დონე. საბოლოოდ შეიძლება დავასკვნათ რომ, კაპილარული აწევის ზღვარი არ აღემატება 10 მ-ს. და ამიტომ, ლაპლასის ჰიპერბოლური დამოკიდებულება უნდა შეიცვალოს ისეთი მრუდით, რომელსაც ექნება მაქსიმუმი.

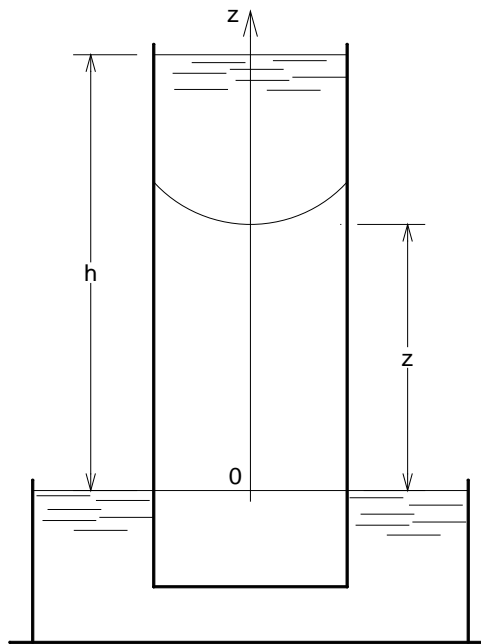
შემჩნეულია ასევე მცირე ზომის კაპილარები იწვევენ წყლის ისეთ მოდიფიკაციას რომ მათი თვისებები უახლოვდებიან კვაზი მყარი სხეულის თვისებებს და ავლენენ სრულ ანომალიას ფიზიკური კონსტანტების კრიტიკული მნიშვნელობების მიმართ. ეს ნიშნავს იმას რომ გარკვეული ზომის კაპილარში და ეს ზომა პასუხობს ორთქლის დრეკადობის ისეთ ცვლილებებს, რომელიც თვისობრივად ზღვარს დებს მიკრო და მაკრო კაპილარულ სისტემებს შორის. დღეისათვის საზომად ანუ კრიტიკულ მნიშვნელობად აიღება კაპილარების ზომა სიდიდით $10^{-7} \div 10^{-6}$ მ, რაც მრავალ მეცნიერულ შრომაშია მითითებული [69.75.107.115].

მიკრო სამყაროში პროცესების ანომალურ ცვლილებებზე მსჯელობა მოცემულია მომდევნო პარაგრაფებში. ამჯერად კაპილარულ შესწავლას გავავრცელებთ მხოლოდ ნიუტონის სითხეებზე და წარმოვადგენთ ზოგიერთი ახლებურ ინტერპრეტაციას იმ მოვლენებზე, რომლებიც კაპილარულ გადაადგილებასა და წონასწორობის გაბატონებულ შეხედულებებს ეხება.

ქვემოთ მოგვყავს ზოგიერთი სქემები რომლებიც თეორიულ დასაბუთებას წარმოადგენს ემპირიული ფაქტებისას და საკმაოდ გავრცელებულია პრაქტიკაში. დავუშვათ რომ, წყლის გადაადგილება იდეალური გრუნტის მოდელის ცალკეულ კაპილარში სწარმოებს ცვლადი

გრადიენტით რომელიც განისაზღვრება როგორც სხვაობა კაპილარული აწევის მაქსიმალურ სიმაღლესა და მენისკის მდებარეობის მიმდინარე კოორდინატს შორის. ნახ. 5-ის მიხედვით ფილტრაციის ხაზოვანი კანონის შესაბამისად სიჩქარის ცვალებადობა გამოითვლება:

$$v = kI = k \frac{h_3 - z}{z} \quad (1.2.4)$$



ნახ. 5 კაპილარული სიჩქარის საანგარიშო მოდელი

თუ გავითავლისწინებთ რომ ცალკეულ კაპილარში ჭეშმარიტი საშუალო სიჩქარე დაკავშირებულია ფოროვან სხეულში ფილტრაციის სიჩქარესთან შემდეგი დამოკიდებულებების მიხედვით:

$$v = vn = \frac{dz}{dt} n \quad (1.2.5)$$

სადაც n -ფორიანობა, მაშინ (1.2.4.) და (1.2.5.) -ის შეჯერებით გვექნება

$$\frac{dz}{dt} = \frac{k}{n} \cdot \frac{h_3 - z}{z} \quad (1.2.6)$$

$$dt = \frac{n}{k} \cdot \frac{h_0 - z}{z} \quad (1.2.7)$$

(1.2.7)-ის დიფერენცირებული განტოლების ინტეგრება სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით $z=0$, $t=0$ გვამძლევს:

$$t = \frac{n}{k} h_0 \left(\ln \frac{h_0}{h_0 - z} - \frac{z}{h_0} \right) \quad (1.2.8)$$

კაპილარში სითხის გადადგილების საშუალო სიჩქარე განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით [85].

$$v = \frac{\rho g r^2}{8\mu} \left(\frac{2\sigma}{\rho g r z} - 1 \right) \quad (1.2.9.)$$

ცნობილი დამოკიდებულებების გამოყენებით, ფილტრაციის კოეფიციენტისა და კაპილარული აწევის სიმაღლის განსაზღვრისათვის სრულყოფილი დასველების შემთხვევაში:

$$k = \frac{\rho g}{8\mu} \quad \text{და} \quad h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

(1.2.9) დამოკიდებულება შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახის:

$$v = \frac{k}{n} \left(\frac{h_0}{z} - 1 \right) \quad (1.2.10)$$

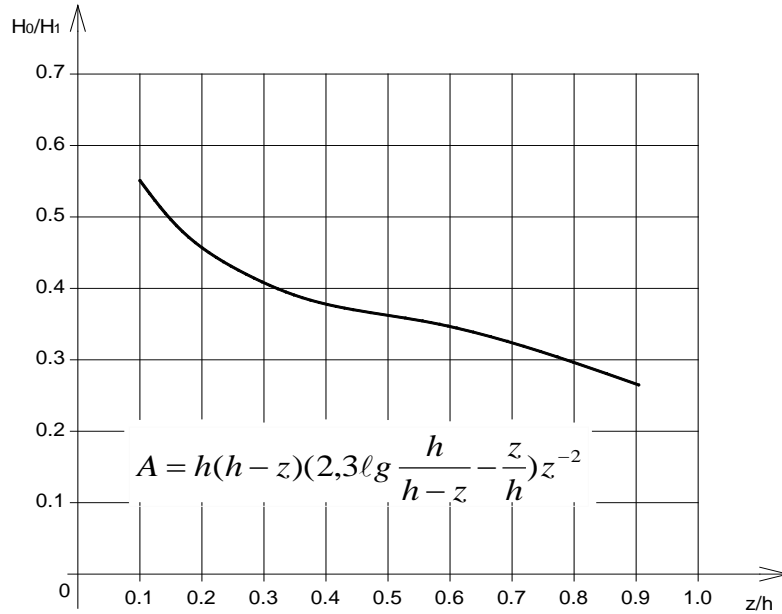
ანუ

$$t = \frac{n}{k} \cdot \frac{z^2 - h_0 z}{z} \quad (1.2.11)$$

შემდგომი გარდაქმნების საფუძველზე (1.2.8) და (1.2.10) შეიძლება მივიყვანოთ სახემდე, რომლებიც შეიცავენ ერთი და იგივე პარამეტრებს. ამ დამოკიდებულებათა რიცხობრივი შეადრებისათვის გამოვიყენოთ კრიტერიუმი, მოცემულია შემდეგი თანაფარდობის სახით:

$$\beta = \frac{h_3(h_3 - z) \left(\frac{h_3}{h_3 - z} 2,31g - \frac{z}{h_3} \right)}{z^2} \quad (1.2.12)$$

(1.2.12) ფუნქციის ცვალებადობის ხასიათი წარმოდგენილია ნახ. 6-ზე.



ნახ. 6 გადახრის ცვალებადობა ფარდობით სიმაღლის მიხედვით

ნახაზზე ნაჩვენებია β -კრიტერიუმის ცვალებადობა შეიძლება აპროქსიმირებულ იქნას i -იური რიგი პოლინომით. გრაფიკიდან ჩანს რომ, კაპილარული ფარდობითი აწევის სიმაღლის ცვალებადობისას დიაპაზონში $0,1 \div 0,7$ ფარგლებში, შედეგები გამოთვლილი შესაბამისი საანგარიშო დამოკიდებულებით განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან 2-3-ჯერ, თუმცა, ისინი ფიზიკური არსის გათვალისწინებით პრინციპიალურად სწორად ასახავენ კაპილარული დინამიკის მოვლენას.

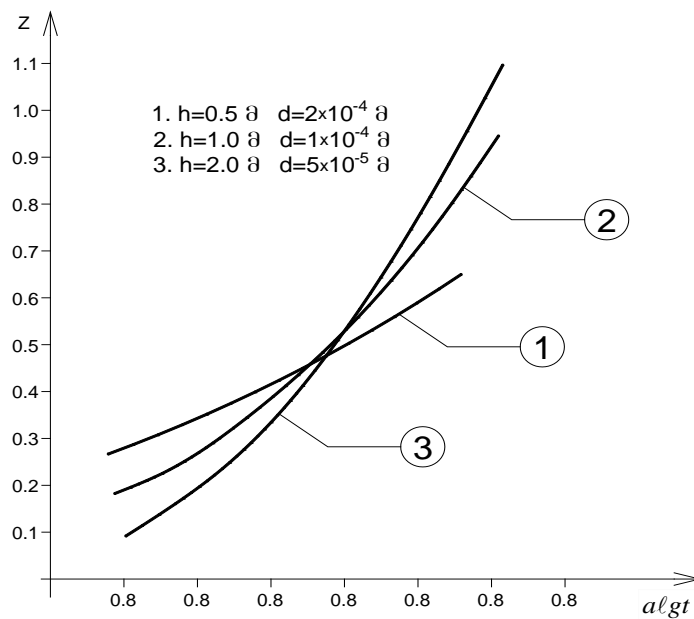
ამ ეტაპზე ჩვენ არ ვეხებით ბუნებაში არსებულ მრავალრიცხოვან კაპილარული მოვლენების გამოვლინებას რომლებიც უკავშირდებიან ზედაპირულ-მოლეკულური და ფაზური გარდაქმნების პროცესებს და

მოითხოვენ ცალკე თეორიულ შესწავლას. (1.2.8)-დამოკიდებულების გარდაქმნით გვექნება:

$$t = ah_j^3 \left(2,311g \frac{h_j}{h_j - z} - \frac{z}{h_j} \right) \quad (1.2.13)$$

სადაც $a=nk$

ამ დამოკიდებულებით გამოთვლილი შედეგები აპილარული აწევის სიმაღლის ცვალებადობით დიაპაზონში (0,5÷2,0)მ, ფარდობით კოორდინატებში გრაფიკულად ილუსტრირებულია ლოგარითმულ ანომორფოზაზე ნახ.7



ნახ. 7 კაპილარული აწევის სიმაღლე დროში

ადვილი დასანახია რომ, მსხვილმარცვლოვან გრუნტებში საწყის სტადიაში გადაადგილების სიჩქარე მეტია ვიდრე წვრილ დისპერსიულში. პროცესის ბოლოს მოძრაობის სიჩქარის დაცემა ანალიზურად პასუხობს კაპილარული აწევის მაქსიმალური სიმაღლის მიღწევას უსასრულო დროში და განაპირობებს მარალდისპერსიულ გრუნტებში სიჩქარის გაზრდას, რაც

დღემდე არ აღნიშნულა სპეციალურ ლიტერატურაში. ასეთი დასკვნა შეიძლება მივიჩნიოთ სავსებით ლოგიკურად კაპილარული გადაადგილების ბუნების თავისებურებებით, რაც ასახულია საანგარიშო დამოკიდებულებით და ეთანადება პროცესის მსვლელობის სასაზღვრო პირობებს. აქვე საჭიროა აღინიშნოს რომ, მრავალრიცხოვან ექსპერიმენტალური მონაცემების განზოგადების ბაზაზე მოხდა (1.2.8) ვერიფიკაცია [81] და დაისახა გზები მისი შემდგომი სრულყოფისათვის ზედაპირულ-მოლეკულური ეფექტების გათვალისწინებით.

საჭიროა აღინიშნოს რომ, ფილტრაციის კოეფიციენტის დადგენა შედარებით ადვილია მარტივი ექსპერიმენტების ჩტარების გზით იმ დროს როდესაც კაპილარული აწევის სიმაღლის განსაზღვრა უკავშირდება დროში გაჭიმულ ექსპერიმენტებს, რომლებიც არცთუ მაღალი საიმედოობის შედეგებით გამოირჩევიან [36].

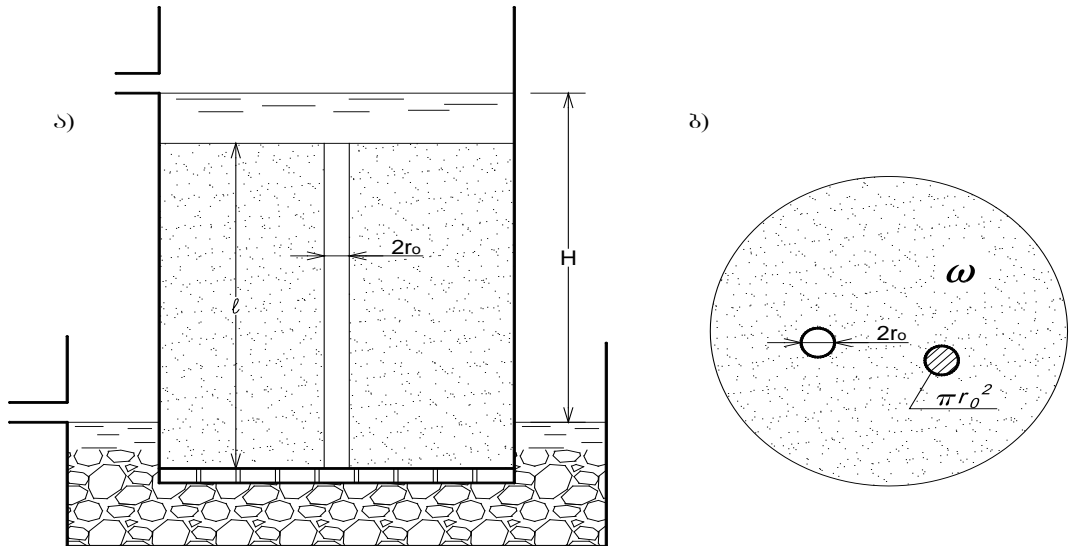
ჩვენ მიგვაჩნია რომ, საორიენტაციო განსაზღვრისათვის კაპილარული აწევის სიმაღლე როგორც ძირითადი საანგარიშო პარამეტრების დადგენა შესაძლებელია მოხდეს ფილტრაციის კოეფიციენტისა და ამ პარამეტრებს შორის კორელაციური კავშირის დამყარების საფუძველზე.

1.3. ფილტრაციის კოეფიციენტსა და კაპილარული აწევის სიმაღლეს შორის ფუნქციონალური კავშირის დამყარება

წყლის გადაადგილების და წონასწორობის კანონზომიერებათა შესწავლის მიზნით ფოროვან კაპილარულ ჰიდროფილურ სისტემებში გამოიყენება სხვადასხვა სტრუქტურულ გეომეტრიული მოდელები. მათი მიზნობრივი დანიშნულებაა რეალური-ფიზიკური პროცესების მოდელირება ისეთი სქემების საფუძველზე, რომლებიც ძირითად ნიშანთვისებას რეალურად დაახასიათებენ ამათუ იმ ფაქტორის მადომინირებელი გავლენის ჩარჩოებში.

ფილტრაციის პროცესი მრავალმხრივი ცვლადი ფაქტორების თანამონაწილეობით გაოიხატება რომელიმე ინტეგრალური პარამეტრის განსაზღვრაში. ასეთ პარამეტრად მიჩნეულია ფილტრაციის კოეფიციენტის სახით დამყარებული რეჟიმის შესატყვისი მახასიათებლი და ის ადეკვატურად აკმაყოფილებს ხაზოვანი ფილტრაციის კანონზომიერების დაცვიას მოთხოვნების სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით. ცალკეული ექსპერიმენტები ყოველთვის იძლევიან ემპირიული განზოგადების საშუალებას რომლებიც სამართლიანია მხოლოდ ექსპერიმენტების ჩატარების კონკრეტული პირობების საზღვრებში და ისინი, ხშირად, მოკლებულია სხვა უფრო ზოდადი კანონზომიერების შესწავლის აუცილებლობას. აქედან გამომდინარე ჩვენ საჭიროდ მიგვაჩნია შემოვიტანოთ ისეთი მოდელის ჩამოყალიბების აუცილებლობა, რომელიც მეტნაკლებად მისაღები სქემატიზაციით ასახავს ფილტრაციის რეალურ ფიზიკურ სურათის აღწერის შესაძლებლობას. ნახ. 8 მოცემულია

ფილტრაციაზე ნიაგად-გრუნტის იდეალური მოდელის რალიზაციის სქემა.



ნახ. 8 ნიაგად-გრუნტის იდეალური სტრუქტურული მოდელი _
ფილტრაციის საანგარიშო სქემა

ვუშვებთ, რომ ელემენტარულ მილში მოძრაობა თანაბარია და ემორჩილება წინააღობის კანონს:

$$\tau = \pm \mu \frac{du}{dr} \quad (1.3.1)$$

სადაც τ _ ძვრის მხები კუთრი ძალა, პა;

μ _ სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტი, პა.წმ

u _ სიჩქარე მილის განივკვეთის ცენტრიდან r მანძილით დაშორებულ წერტილში, მ/წმ;

r _ პოლარული კოორდინატი, მ;

თანაბარი ძრაობის ძირითადი განტოლებიდან

$$\tau = \rho g R I = \rho g \frac{r}{2} I$$

სადაც ρ – სითხის სიმკვრივე, კგ/მ³;

g – სიმძიმის ძალის აჩქარება მ/წმ²;

R – ჰიდრაულიკური რადიუსი, მ;

$I=H/\ell$ – დაწნევის საშუალო გრადიენტი;

H – მოქმედი დაწნევა, ხვედრითი პოტენციური ენერგია, მ;

ℓ – ფილტრაციის გზა, მილის სიგრძე, მ;

შერჩეულ კოორდინატთა სისტემა შესაბამისად შეიძლება დავწეროთ:

$$\rho g \frac{r}{2} I = -\mu \frac{du}{dr} \quad (1.3.2)$$

საიდანაც მივიღებთ შემდეგი სახის დიფერენციალურ განტოლებას:

$$du = -\frac{\rho g I}{2\mu} r dr \quad (1.3.3)$$

ამ განტოლების იტეგრება, სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით $r=r_0$, $u=0$ გვაძლევს სიჩქარეთა განაწილების კანონს:

$$u = \frac{\rho g I}{4\mu} (r_0^2 - r^2) \quad (1.3.4)$$

უწყვეტობის პირობის თანახმად ელემენტარულ მილში გამავალი ხარჯი განისაზღვრება:

$$q = \int_{r=0}^{r=r_0} u 2\pi r dr = \frac{\rho g \pi}{2\mu} I \int_{r=0}^{r=r_0} (r_0^2 - r^2) r dr = \frac{\pi \rho g}{8\mu} I r_0^4 \quad (1.3.5)$$

თუ ცილინდრული ნიმუშის ღერძის ორთოგონალური განივკვეთის სიბრტყეში ნახ. 8. ბ), განლაგებულია x რაოდენობის წყალგამტარი მილები, მაშინ მათი ჯამური ხარჯი ტოლი იქნება qx , ხოლო ნიმუშის ტანში (ფორებში) გასული ფილტრაციული ხარჯი კი გამოთვლება:

$$Q = kI\omega \quad (1.3.6)$$

სადაც ω - ნიმუშის განივკვეთის ფართობი, მ².

ზემოთ აღწერილი, ნიადაგ-გრუნტის იდეალური მოდელის შემზღვევადი პირობა, ელემენტარული მილების ჯამური ხარჯი უდრის ნიმუშის ფილტრაციული ხარჯს, ე.ი. $Q=qx$, გვამღვეს:

$$kI\omega = \frac{\pi\rho g}{8\mu} r_0^4 x \quad (ა)$$

სადაც,
$$k = \frac{\rho g}{8\mu} r_0^2 \frac{\pi r_0^2 x}{\omega} \quad (ბ)$$

$\pi r_0^2 x$ არის ყველა მილის განივკვეთის ჯამური ფართობი, რომლის ნიმუშის განივკვეთის მთლიან ფართობთან თეორიული კვლევების თანახმად [84], რიცხობრივად ტოლია მოცულობითი ფარდობითი ფორიანობის. ამის მიხედვით

$$k = \frac{\rho g}{8\omega} r_0^2 n \quad (1.3.7)$$

თუ კაპილარში აწევის ფორმულაში (1.2.1) მივიღებთ, რომ $r=r_0$, და განვსაზღვროთ r_0 -ს გვექნება:

$$r_0 = \frac{2\sigma \cos\Theta}{\rho g h_3} \quad (1.3.8)$$

სათანადო გარდაქმნების ჩატარების (1.3.7) და (1.3.8) ფორმულების კომბინაცია გვამღვეს:

$$h_3 = \frac{2\delta\sqrt{n}}{\sqrt{8\rho g\mu}} \frac{\cos\Theta}{\sqrt{k}} \quad (1.3.9)$$

თუ მივიღებთ ფიზიკური კონსტანტების ტაბულურ მნიშვნელობაც 20°C ტემპერატურაზე და აგრეთვე $n \approx 0,35$, მაშინ (1.3.9) დამოკიდებულება მიიღებს საანგარიშო სახეს:

$$h_3 = \frac{0,01\cos\Theta}{\sqrt{k}} \quad (1.3.10)$$

სრული დასველების შემთხვევაში და ფიზიკური კონსტანტების მნიშვნელობისათვის: $\sigma=0,075\text{ნ/მ}$; $\rho=10^3\text{კგ/მ}^3$; $\mu=10^{-3}\text{პა}\cdot\text{წმ}$; (1.3.10) ფორმულის გამოყენება შეზღუდულია k -ს ცვალებადობით დიაპაზონში $(1,0\div 4,0)10^{-6}\text{მ/წმ}$, რომელსაც შეესაბამება მილის რადიუსი $r=(0,5\div 1,0)10^{-6}\text{მ}$.

სრულყოფილი დასველების შემთხვევაში $\cos\Theta=1$ კაპილარული აწევის სიმაღლე იქნება

$$h_3 = \frac{0,01}{\sqrt{k}} \quad (1.3.11)$$

დამოკიდებულება (1.3.11) პირველ მიახლოებით, საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ ფილტრაციის კოეფიციენტის მიხედვით, კაპილარული აწევის საორიენტაციო მნიშვნელობა, რომელიც მიღებული სქემატიზაციის პირობებში გამორიცხავს ზედაპირულ-მოლეკულური მოვლენების როლს ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების მექანიზმის ფორმირებაში.

ამის გარშემო დატალური ანალიზი მოცემული იქნება დისერტაციის მომდევნო ნაწილში. აქვე დავძენთ, რომ წამოჭრილ საკითხთან უშუალო კავშირშია ჰიდროდინამიკური (ფილტრაციული) წნევის ძალის რაოდენობრივი შეფასება.

ნახ.8 მოცემული საანგარიშო სქემის მიხედვით, ჰიდროდინამიკური წნევის ძალა შეიძლება წარმოვადგინოთ ორი მდგენელით: ერთი – წინალობის ძალა მოდებულია კედელზე ნაკადის გადაადგილებისას და მეორე – ჰიდროსტატიკური წნევის ძალა. ჰიდროდინამიკური ძალის ასეთი დიფერენცირებული შეფასება პირველად შემოთავაზებულ იქნა ნაშრომში [15.18.20].

წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც ნაკადის თანაბარი ლამინარული მოძრაობის შემთხვევაში ტოლია მამოძრავებელი ძალის, ელემენტარული მილისათვის განისაზღვრება:

$$T_i = \rho g R I \pi r_0 \ell \quad (1.3.12)$$

თუ გავითავალისწინებთ რომ, ჰიდრაულიკური რადიუსი დაწნევიანი მოძრაობისათვის $R=r_0/2$ ხოლო ფორიანობა $n = \frac{\pi r_0^2 x}{\omega}$, მაშინ წინააღმდეგობის ჯამური ძალა:

$$T = T_i x = \rho g n w I \quad (1.3.13)$$

სადაც $w = \omega \ell$ – ფორიანობის სხეულის მოცულობა.

მეორე კომპონენტი ჰიდროსტატიკური წნევის ძალის სახით F , შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგნაირად:

$$F = \rho g H (\omega - \pi r_0^2 x) = \rho g H \omega \left(1 - \frac{\pi r_0^2 x}{\omega} \right) = \rho g I w (1 - n) \quad (1.3.14)$$

ზემოთ მიღებული განმარტების თანახმად, ჰიდროდინამიკური წნევის ძალა D , განისაზღვრება, როგორც ხახუნის წინააღმდეგობისა და ჰიდროსტატიკური წნევის ძალების ჯამი, ანუ

$$D = T + F = \rho g n w I + \rho g (1 - n) w I = \rho g w I \quad (1.3.15)$$

მიღებულია, რომ ჰიდროდინამიკური წნევის ძალა მოდებულია სხეულის მთელ მოცულობაზე და მისი სიდიდე დამოკიდებულია მხოლოდ ჰიდრაულიკურ ქანობზე. უახლესი კვლევებით დამტკიცებულ იქნა, რომ სხეულის დისპერსიულობის ხარისხისა (რასაც თან ახლავს ზედაპირული მოვლენების წარმოშობა სხვადასხვა ენერგეტიკული პოტენციალით) და შესაბამისად წყალგამტარი “ხვრელები”-ს ზომების შემცირებით, კრიტიკულ მნიშვნელობამდე ხდება ჰიდროდინამიკური

წნევის ძალის ტრანსფარმაცია და ის მოცულობითი (მასიური) ძალის კატეგორიიდან გადადის ზედაპირულში [62.76].

ჰიდროდინამიკური წნევის ძალა უდიდეს როლს ასრულებენ ქანების სუფოზიური მდგრადობის შეფასებაში, მისი გათვალისწინება მნიშვნელოვნად ზრდის ნიადაგ-გრუნტის ეროზიის რაოდენობრივი პროგნოზის საიმედოობას, თუმცა მოითხოვს (1.3.14) საანგარიშო დამოკიდებულებებს კორექტირებას ფიზიკურ-ქიმიური მექანიკის პოზიციებიდან. ეს უპირველეს ყოვლისა ეხება მაღალდისერსიულ სისტემებში. და კერძოდ, თიხიან ნიადაგ-გრუნტების ბუნებრივ სორბენტებში. განვითარებული კინეტიკური ზედაპირით, ზედაპირულ-მოლეკულური ეფექტების წარმოშობასა და რიგი ანომალიების ფიზიკური რაობის ახსნას, რომელთა გათვალისწინებაც აუცილებელი ხდება ფილტრაციული დანაკარგების განსაზღვრისათვის საირიგაციო სისტემების სხვადასხვა რგოლებში.

თავი 2. სტრუქტურულ-ფუნქციონალური ჰიდროფიზიკის გავლენა ნიადაგური წყლის კატეგორიაზე

2.1. თიხა ნიადაგ-გრუნტების სტრუქტურული თავისებურებანი და დისპერსიულობის ჰიდროფიზიკური მახასიათებლები

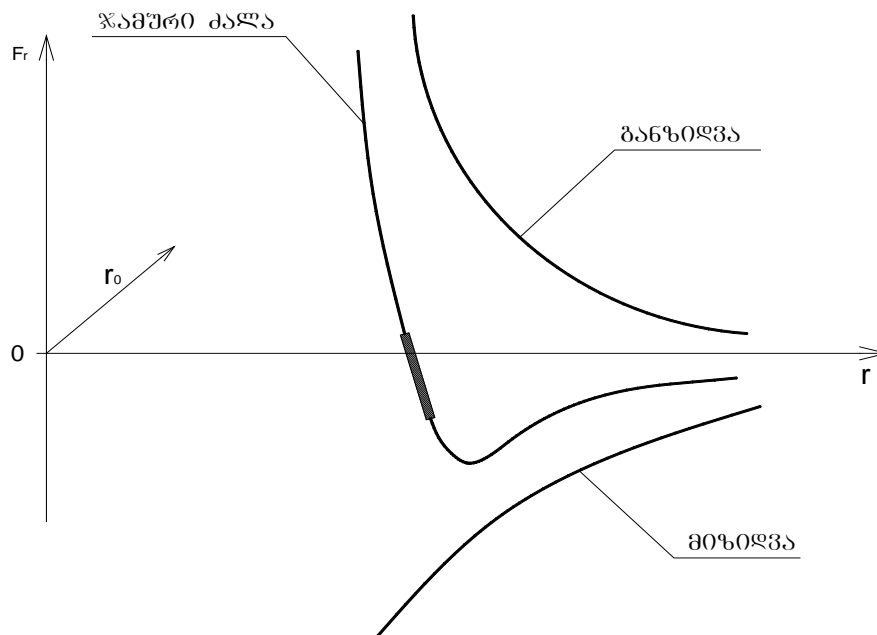
ნიადაგ-გრუნტების სტრუქტურული თვისებების და ჰიდროფიზიკური მახასიათებლების განხილვა უპირველეს ყოვლისა, განპირობებულია იმ თვისობრივ-ხარისხობრივი ცვლილებებით რაც მიმდინარეობს მრავალ კომპონენტთან ტანებში ფილტრაციული

პროცესების ფორმირებისას. დღემდე არსებული თითქმის ყველა საანგარიშო მეთოდი და თეორიული კონცეფციები ეფუძნებიან დარსის ხაზოვან კანონს და მთლიანად უგულებელყოფენ სტრუქტურის გათვალისწინების აუცილებლობას დისპერსიულობის ხარისხთან ერთად. თვით ტერმინოლოგიური თალსაზრისით გავრცელებულ სტრუქტურულ-ტექსტურული ცნებები გარკვეულწილად კრიტიკულ შეფასებას იმსახურებენ და ვერ გამოხატავენ მოვლენის არსს [26.94]

ნიადაგ-გრუნტის მიკრო და მაკრო სტრუქტურა არის იმდენად საინტერესო რამდენადაც ის განსაზღვრავს თავის შესატყვისს, ამა თუ იმ საანგარიშო პარამეტერს, წარმოშობილს ზედაპირულ მოლეკულურ ეფექტების ხარჯზე, თიხიან ნიადაგ-გრუნტებში შემავალი და პროცესების წარმმართველი ახალი კომპონენტების წარმონაქმნების რაოდენობრივ თანაფარდობას, საბაზისო კომპონენტებთან ურთიერთკავშირში.

დისპერსიული ფიზიკური ტანის ცალკეულ ნაწილაკებს შორის მოქმედი სხვადასხვა ენერგეტიკული ველების ძალური ურთიერთქმედებისას სტაციონალურად წარმოიქმნება მისი ინტეგრალური ფიზიკურ-მექანიკური და ზოგჯერ ფიზიკურ-ქიმიური ნიშანთვისებები. ამასთან ერთად, სასაზღვრო შრესთან ან მის “შემოგარენში” წყლის ადსორბციულ თხელ აფსკებში ენერგო-ქიმიური პოტენციალი განსხვავდება ფოროვანი სითხის ელექტროლიტური პოტენციალისაგან თავისუფალ მოცულობაში.

ზემოთ აღნიშნული “განსოლვის” ეფექტი განსაკუთრებით თავლსაჩინოთ შეიძლება წარმოვადგინოთ ფიზიკის კურსში სათანადოდ იტერპტერირებული მოდელის მიხედვით [31.49].



ნახ. 9 ნაწილაკების უთრირთქმედების ძალის სიდიდე მათ ცენტრებს შორის მანძილის მიხედვით

მოლეკულების ურირთმიახლოვებით თავდაპირველად ჭარბობს მიზიდვის ძალები, მაგრამ რაღაც r მანძილზე მათ ცენტრებს შორის განზიდვის ძალები იმდენად ინტენსიურად მატულობს, რომ უტოლდებიან მიზიდულობის ძალების მოდულურ მნიშვნელობას. შემდგომი მაიხლოვებისას განზიდვის ძალები მნიშვნელოვნად აღემატებიან მიზიდვის ძალებს. განსოლვის ეფექტების აღმოჩენა მიუხედავად მისი მყარ სხეულებში მოყვანილი მაგალითისა უკავშირდებოდა წყლის განსაკუთრებულ ანომალურ თვისებებს სასაზღვრო შრეში. ამის შესაბამისად ახსნილ იქნა მონტმორილონითის ტიპის თიხებში გაჯირჯვების ეფექტი, ხოლო შემდგომში ფილტრაციის კოეფიციენტის ცვალებადობის ახსნამ ზედაპირული ეფექტებისა და დისპერგაციის ხარისხის დინამიკის შეფასებაში საფუძველი დაუდო ახალი

მიმართულების კვლევებს, რომელთა ანალიზიც მოცემულია მომდევნო პარაგრაფში.

მოლეკულური ურთიერთქმედების ენერჯის სიდიდე ერთეულ ფართზე კოაგულაციის პროცესში შეიძლება გამოთვლილ იქნეს ორი ერთგვაროვანი ტოლი რადიუსის მქონე სფერული ნაწილაკისათვის [47]

$$u_{\text{ა}} = \frac{ar}{12R} \quad (2.1.1)$$

სადაც a – მუდმივი კოეფიციენტი (გამაკერი მუდმივა);

h – ნაწილაკებს შრებს შორის უმოკლესი მანძილი, მ;

ხოლო სფეროსა და სიბრტყისათვის

$$u_{\text{ა}} = \frac{ar}{6R} \quad (2.1.2)$$

ორი უსასრულო ბრტყელი δ სისქის მქონე ფირფიტისათვის

$$u_{\text{ა}} = \frac{a\delta}{12\pi h^2}, \quad \delta \gg h \quad (2.1.3)$$

და

$$u_{\text{ა}} = \frac{a\delta}{12\pi h^2}, \quad \delta \ll h \quad (2.1.4)$$

(2.1.1) და (2.1.4) ფორმულების დიფერენცირება მანძილით h გვაძლევს მიზიდვის ძალის სიდიდეს. ეს ფორმულები შეიძლება გამოვიყენოთ აგრეთვე დისპერსიულ გარემოში ურთიერთქმედების ანალიზისათვის. მხოლოდ საჭიროა განსოლვის წნევა წარმოვიდგინოთ ორი კომპონენტით. ერთი – ცენტრებს შორის მანძილით, ხოლო მეორე – ნაწილაკის ზედაპირზე იონური ელექტრომაგნიტური ველის მუხტის გათვალისწინებით. ამ ძალის სიდიდე უთიერთპარალელური ფირფიტებისათვის შეიძლება გამოთვლილ იქნეს შემდეგი დამოკიდებულების საფუძველზე.

$$u_i = \frac{64nT_e}{\wp} \exp(-\wp h) \left(\frac{\exp\left(\frac{ze\psi_0}{kT}\right) - 1}{\exp\left(\frac{ze\psi}{kT_e}\right) + 1} \right) \quad (2.1.5)$$

სადაც n – იონების კონცენტრაცია;

T_e – ბროუნის (თერმული) მოძრაობის ენერგია;

\wp – დეზაის რიცხვი;

h – ნაწილაკებს შორის მანძილი;

z – იონების ვალენტობა;

e – ელექტრონის მუხტი;

ψ – ნაწილაკის ზედაპირის პოტენციალი;

ორი სფერულ ნაწილაკისათვის r რადიუსით მივიღებთ:

$$u_i = \frac{\epsilon r \psi_0^2}{2} \ln(1 + e^{-\wp h}), \wp r \gg 1 \quad (2.1.6)$$

სადაც ϵ – დისპერსიული გარემოს დიელექტრიკული მუდმივა.

როცა $\wp r \ll 1$ -ზე, მაშინ,

$$u_i = \frac{\epsilon r \psi_0^2}{h + 2r} \exp(-\wp h) \quad (2.1.7)$$

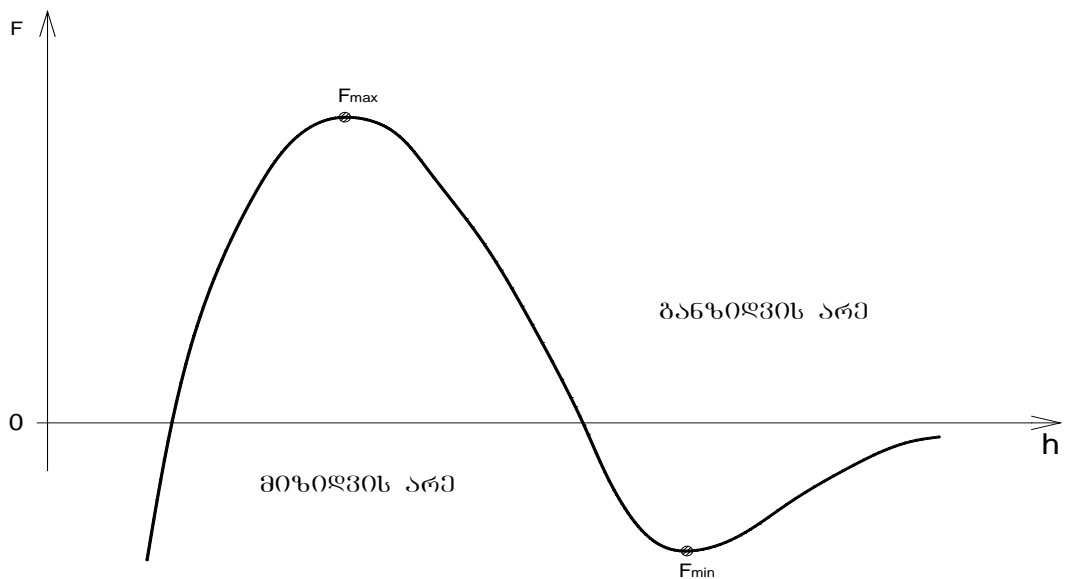
მიზიდვის ძალის ამ კომპონენტის გასაგებად ვახდენთ (2.1.5) და (2.1.7) დიფერენცირებულს h მანძილით.

საინტერესოა აღინიშნოს რომ, მრავალ ორგანულ-მინერალური კოლოიდებს, ჰუმუსის ზოლებს (სუსპენზიებს), სხვადასხვა ბაქტერიებს ახასიათებთ ხისტი (მუდმივი) ელექტრული მომენტი ათასი და ზოგჯერ მილიონი დეზაის ტოლი.

მეცნიერების მიღწევების დღევანდელ ეტაპზე მიღებული, რომ დიპოლური მომენტების არსებობით ნაწილაკის უთიერთმიზიდულობის

ძალა პირდაპირპროპორციულია დიპოლური მომენტის კვადრატისა და უკუპროპორციულია ნაწილაკების მანძილის მეოთხე ხარისხისა.

გამხლეჩი ძალის ერთ-ერთ კომპონენტს წარმოადგენს აგრეთვე გამყოფი ზედაპირის სასაზღვრო შრეში სითხის სპეციფიკური აგრეგატული მდგომარეობა. ნაწილაკებს შორის ძალზე მცირე მანძილით დაშორების შემთხვევაში მოქმედებას იწვევს განზიდვის ძალები, რომლებიც განპირობებულია ე.წ. ბორნის ეფექტით – ელექტრული ველების გარსების ურთიერთქმედებით. ამასთანავე, საჭიროა, აღინიშნოს, რომ შეიძლება მოხდეს ნაწილაკების “შეწებება”, მათი გამყოფი შრის პლასტიკური თვისებების გამო. განზიდვისა და მიზიდვის ძალების ინტეგრალური სიდიდის ცვალებადობა ნაწილაკებს შორის მანძილის მიხედვით, შეიძლება გამოიხატოს ნახ. 10 ნაჩვენები მრუდით.



ნახ. 10 ორი დისპერსიული ნაწილაკის ურთიერთქმედების ჯამური ძალის ცვალებადობის მრუდი

F – ურთიერთქმედების ჯამური ძალა, ნ; h – ნაწილაკებს შორის მანძილი, მ; F_{max} – განზიდვის ბარიერი (მაქსიმუმი), ნ; F_{min} – მიზიდვის ბარიერი (მინიმუმი), ნ;

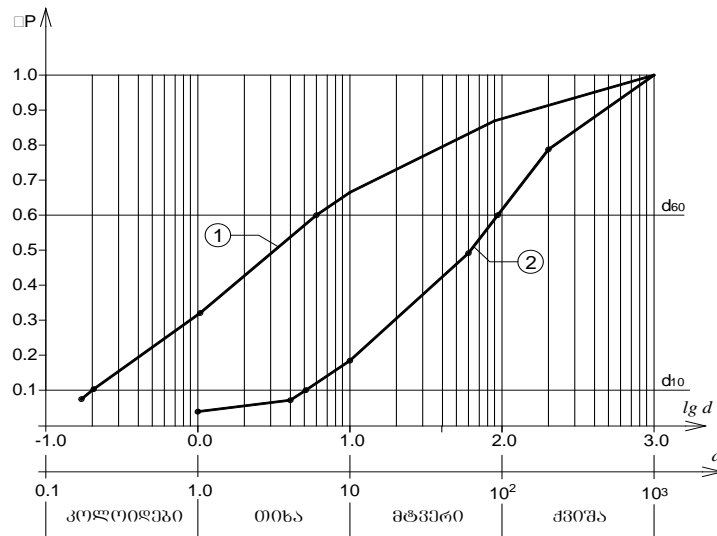
მოცემული მრუდის დამახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს მინიმუმის არსებობა შედარებით დიდ მანძილზე ნაწილაკების დაშორებისა. სისტემის ასეთი მდგომარეობა განსაზღვრავს ნაწილაკების უთიერთფიქსაციას დაშორების დიდ მანძილზე. ამასთანავე, მინიმუმის “ღრმულ-”ში ნაწილაკის ყოფნის არსებობა გაინ-საზღვრება განზიდვის ბარიერის აპლიკატის F_{max} და მინიმუმის F_{min} ”სიღრმით” (დიდი დაშორების აგრეგაცია). აღწერილი სქემა დისპერ-სიული ჰიდროფილური სისტემებისა, კარგად მიესადაგება კაოლინის ტიპის თიხა მინერალებს. განზიდვის ბარიერის გადალახვის შემდეგ მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური ურთულესი პროცესის ინტეგრალური შემდეგი გამოიხატება ნაწილაკების ინტენსიურ კოაგულაციაში (შეწებება) F ძალის პირველი მინიმუმის ზონაში, რაც მიუთითებს გარკვეულ ანომალიაზე. ამის შესახებ არ არსებობს ერთიანი შეხედულება კოლოიდების მდგრადობისა და კოაგულაციის შესახებ [16].

ცნობილია, რომ ადსორბცია, ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერების ფუძეზე დისპერგაციის ერთგვაროვნებით, ფილტრაციის დაბალი ხარისხით ხასიათდება. ფილტრაციულ-კაპილარულ თვისებათა კომპლექსის ფორმირებაში, განსაკუთრებით დიდ როლს თამაშობს დანაწევრების (დისპერგაციის) ხარისხი. ეს მახასიათებლის რაოდენობრივი ცვლილებების შესაბამისად იწვევს თვისობრივ ცვლილებას, რასაც კონკრეტული გაანგარიშებისათვის ნიადაგ-გრუნტის მელიორაციული მახასიათებლის განსაზღვრისასა ჯეროვანი ყურადღება არ ექცევა. ძირითად საანგარიშო პარამეტრად გვევლინება აგრეგატული ანალიზის შედეგად მიღებული კუმულაციური მრუდის ე. წ. ეფექტური დიამეტრი, რომელიც დაბალი საიმედოობით გამოხატავს ნარევის ერთგვაროვნებას და

ახასიათებს უხეში ინტერპოლაციის თვისება. ნიადაგ-გრუნტების შემადგენელი ნაწილაკების კოაგულაცია – შეწებების პროცესი წარმოშობს სხვადასხვა დიამეტრის მქონე მიკროაგრეგატებს. ჩვეულებრივად, მიკროაგრეგატების ქვედა ზღვრულ მნიშვნელობად მიღებულია $0,25 \cdot 10^{-3}$ მ და სავარაუდოა, რომ მისი სიდიდის ასეთი რიგი უკავშირდება ნიადაგის მაღალნაყოფიარებას და აგრეგატის წყალმედეგობის უნარს.

ნიადაგ-გრუნტები მექანიკური დატვირთვების ზემოქმედებით (ციკლური პროცესები: დასველება-გამოშრობა, გაყინვა-გაღობა, ფესვთა სისტემის განვითარება, მიკრო ფაუნა და ფლორა), განსაზღვრავს მაკრო აგრეგატების ფორმირებას, რომელთა ზომები $(2,5 \div 7,0) \cdot 10^{-4}$ მ ფარგლებში მერყეობს. სხვადასხვა ნიადაგებისათვის არცთუ ისე იშვიათად, მაღალნაყოფიერებას 2-3მმ ფრაქციის არსებობით განსაზღვრავენ [28.75].

მაშასადამე, ნიადაგ-გრუნტის სტრუქტურა წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მახასიათებელს, რომელიც განსაზღვრავს ნიადაგის წყალჰაეროვან და თერმულ რეჟიმს, რაც თავის მხრივ, კორელირებულია ფილტრაციულ-კაპილარულ თავისებურებასთან. ეს უკანას-კნელი, განაპირობებს აქტიურ შრეში პროდუქტიული წყლის მარაგს, მის დინამიკას და ასევე ზედაპირული ჩამონადენის ფორმირებას. ნახ. 12-ზე მოცემულია მექანიკური და მიკროაგრეგატული მრუდები.



ნახ. 11 ნიადაგ-გრუნტის მექანიკური და მიკროაგრეგატული შედგენილობა: 1_ მექანიკური; 2_ აგრეგატული;

ნიადაგ-გრუნტების სტრუქტურულ შედგენილობაზე წარმოადგენას იძლევა სტრუქტურის მახასიათებელი კოეფიციენტის სახით, რომელიც განისაზღვრება მაკროაგრეგატების $0,25 \cdot 10^{-3} \text{ მ}$. დიაპაზონში მოქცეული ფარქციის წონის ფარდობით ნიადაგის დარჩენილი ნაწილის წონასთან. ცხადია, იგი მოიცავს ფრაქციების ცვალებადობის შემდეგ არეს $<0,25 \cdot 10^{-3} \text{ მ}$. და $>7 \cdot 10^{-3} \text{ მ}$.

ბუნებრივ პირობებში წყლის დამანგრეველი მოქმედება ნიადაგის სტრუქტურაზე გამოიხატება ელექტროლიტის კონცენტრაციისა და მისი შედგენილობის ცვლილებით, რაც განაპირობებს ნაწილაკების კოაგულაციის და მათ ურთიერთშეწებებას. ასევე აგრეგატის მექანიკურ რღვევის ერთ-ერთი ძირითადი აგენტია ნიადაგში არსებული დახშული ჰაერის ბუშტულაკები.

ნიადაგ-გრუნტის სტრუქტურის რღვევა, ამ ფაქტორის მიხედვით ემყარება ემპირიულ გამოცდილებას. ასე მაგალითად, ეროზიის

შესამცირებლად სამელიორაციო პერიოდულად მოქმედ მოუპირკეთებელ არხებში წინასწარ ახდენენ მისი კალაპოტის კაპილარულ დატენიანებას, რის შედეგადაც მნიშვნელოვნად მცირდება საწოლის ეროზია და ნატანის ტრანსპორტირება. მრავალმხრივი ექსპერიმენტული შესწავლა ამ საკითხისა განხილულია [45.73]. რღვევის ფიზიკის არსი ჩვენი შეხედულებით შეიძლება აიხსნას შემდეგი პირობითი, წარმოსახვითი მოდელის საფუძველზე: წყლის ზემოქმედება თიხის მინერალური ნაწილაკების ზედაპირზე ანვითარებს ძალურ ზემოქმედებას 10^5 ბარი წნევის ფარგლებში. წარმოშობილი სორბციული (ადსორბციული) წყლის ფენა (მონომოლეკულური ან რამოდენიმე მოლეკულის ტოლი სისქის შრე) იძენს ახალ თვისებას, რომელიც რადიკალურად განსხვავებულია წყლის ჩვეულებრივი ფიზიკური თვისებისაგან თავისუფალ მდგომარეობაში. მოდიფიცირებული წყლის ანომალური მახასიათებლებისა და მისი ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლის შესწავლას ეძღვნება ცნობილ მეცნიერთა მრავალი შრომები [37.46.68.109].

ადსორბციული ანუ ზედაპირული სორბცია თანამედროვე ფიზიკურ-ქიმიური მექანიკის პოზიციებიდან გულისხმობს ნივთიერების კონცენტრაციის შეცვლას ორი ფაზის გამყოფ ზედაპირზე. ადსორბციის თეორიის ფუძემდებლის ლენგმიურის მიხედვით, პროცესის არსი განხილულია მრავალ შრომაში და ძირითადად ის ემაყარება შემდეგ პოსტულატებს: ადსორბენტის (სორბენტის) ზედაპირი, ენერგეტიკული თვალსაზრისით დისკრეტულია, რომელზედაც განლაგებულია ადსორბციული ცენტრები. მათი რიცხვი განისაზღვრება ნაწილაკების რაოდენობით (მოლეკულები, ატომები, იონები), არაკომპენსირებული

მოლეკულათაშორის ძალებით, რის ხარჯზეც ხდება მიზიდვა (ადსორბირება) ადსორბტივის ნაწილაკებისა.

რადგან ხასიათი კოვალენტური ძალების მოქმედების გავრცელების მანძილისა, თეორიულად შეზღუდულია ერთი მოლეკულის დიამეტრის ზომით, რომლის ადაპტაციით, წყლის კატეგორია, ნიადაგ-გრუნტების ფორებში, არ არის კლასიფიცირებული, ამიტომ პრაქტიკული საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტისას მისი მაჩვენებელი ინდექსის განსაზღვრაც ლიმიტირებულია სათანადო სტანდარტებით და ნორმატიული მითითებებით.

2.2. ზედაპირულ-მოლეკულური ეფექტების გავლენა ფილტრაციის რეოლოგიურ მახასიათებელზე

რეოლოგია ნიშნავს ძველი ბერძნული სემანტიკიდან “დინებას” მაგრამ მან მრავალი სინონიმი გააერთიანა და ხშირად პარამეტრებსაც რომლების მონაწილეობენ სითხის ამსახველ მოძრაობის განტოლებებში რეოლოგიურს უწოდებენ. ასე მაგალითად: რეოლოგიურ მაჩვენებლად შეიძლება მივიჩნიოთ სიბლანტე, ფილტრაციის კოეფიციენტი, ჰიდრაულიკური ქანობი და რაც ჩვენთვის ყველაზე საინტერესოა ძვრის საწყისი წინაღობა გამოხატული ე.წ. საწყისი ფიზიკური გრადიენტის სახელწოდებით. როგორც ცნობილია ამ პარამეტრის ფიზიკურ არსზე ცალკეულ მკვლევართა შეხედულება ურთიერთგანსხვავებულია და ხშირად მიაწერენ სხვადასხვა წარმოშობის ძალებთან უშუალო კავშირს.

საკითხის კვლევის ჰიდრავლიკურმა მეთოდებმა ვერ გამოავლინა მისი რაოდენობრივი შესწავლის აუცილებლობა და მოვლენის გარკვეული სქემატიზაციით ჩაიწერა მხოლოდ აპროქსიმირებული ხაზოვანი კანონი ფილტრაციის სიჩქარესა და ჰიდრავლიკურ ქანობს შორის. ამ პარამეტრის თეორიული და განსაკუთრებით ექსპერიმენტალური შესწავლა დაკავშირებულია შრომებთან [3.17.29.50.62.88.92].

საჭიროა აღინიშნოს რომ, ყველა დღემდე არსებული ფილტრაციული ხარჯების ე.წ. ფილტრაციული დანაკარგების გაანგარიშება მრავალფეროვანი ჰიდროდინამიკური ამოცანების გადაწყვეტისას (ფილტრაცია: არხებიდან, კაშხლებიდან, ზღუდარებიდან, ჰიდროტექნიკური ნაგებობათა ფუძეებიდან და ა.შ.) უპირატესად ემყარება ფილტრაციის ხაზოვანი კანონის გამოყენებას და თუ ცალკეულ შემთხვევაში ის აისახება რომელიმე პროცესის კანონზომიერების განსაზღვრაში მხოლოდ ფორმალურ ხასიათს ატარებს.

არსებული წარმოდგენების მიხედვით ანომალური ფილტრაცია და მათი შორის ფილტრაციის ე.წ. საწყისი გრადიენტი ემყარება პოსტულატს, რომლის მიხედვითაც, სითხეს თვისუფალ მოცულობაში გააჩნია წინაღობა, ძვრის დეფორმაციის მიმართ. ამის შესაბამისად არანიუტონური სითხეები გარდაისახება შვედო-ბინგამის ბლანტ-პლასტიკური სითხის მოძრაობის მოდელში და თვის თავად უგულვებელყოფს ადსორბციული შრის კედლიდან დაშორების მანძილისაგან დამოუკიდებლად ძვრის წინაღობის სიდიდეს.

არხებიდან ფილტრაცია ნებისმიერი ჰიდროგეოლოგიური სქემისათვის და ლითოლოგიური ჭრილისათვის ეფუძნება ფილტრაციის ხაზოვანი კანონის გამოყენებას. ყველაზე ტრივიალური მოდელი

ფილტრაციის ანომალიის შესასწავლად ემყარება ნიადაგ-გრუნტის სისტემის წყალგამტარი “არხის” საშუალო დიამეტრის განსაზღვრას რომელიც თავის მხრივ გრანულომეტრიული შედგენილობის ფუნქციას წარმოადგენს.

სტრუქტურულ-გეომეტრიული მოდელები ხშირ შემთხვევაში მხოლოდ ფორიანობას განსაზღვრავენ ორი უკიდურესი კუბიკური და ჰექსოგონალური განლაგებისათვის და ისეთი იდეალური გეომეტრიული ფორმებისათვის როგორცაა: სფერო ან კუბი.

ჩვენ ზემოთ მივუთითეთ რომ სხვადასხვა ცდები სხვადასხვა შენარევებზე იძლევიან შედეგებს, რომელთა მიხედვითაც 2 მმ-ზე უფრო დიდი ნაწილაკებისათვის არ შეინიშნება ფორიანობის დამოკიდებულება მარცვლების ზომებისაგან.

ასევე სავარაუდოა რომ, ინვარიანტობის შენარჩუნების ალბათობა თითქმის თეორიულად და პრაქტიკულად გამორიცხულია მაღალ-დისპერსიულ ნიადაგებში. დისპერსიულობის ხარისხის ზრდა თიხა მინერალების ჰეტეროგენულ ზედაპირზე წარმოშობს სხვადასხვა ბუნების ენერგეტიკულ ველებს, რომლებიც განაპირობებენ ადსორბციული ბმული წყლით აფსკების თავისუფალი წყლისაგან განსხვავებული ანომალური თვისებებით ფორმირებას. აფსკების კონტრაქცია სასაზღვრო შრეში, მათ ანიჭებთ კვაზი მყარი სხეულებისათვის დამახასიათებელ იდენტურ თვისებებს [38.68.86.87.109]. ეს უკანასკნელი, განსაზღვრავს რეოლოგიური თვისებების ფართო გამას და შესაბამისად თიხა ნიადაგ-გრუნტებში ფილტრაციული პროცესის ბლანტ-პლასტიკური დეფორმაციის მათემატიკური მოდელით წარმოსახვის შესაძლებლობას. ამასთანავე ზოგი მეცნიერი [55.114]. მიუთითებს რომ, მიკროფოროვანი სივრცის

მოუწესრიგებლობა და ჩონჩხის მარცვლების ქაოსური განლაგება გვაიძულებს განვიხილოთ ფოროვანი მასა როგორც სივრცე, რომელშიც მოძრაობს სითხე იმის გაუთავლისწინებლად რომ ნაწილი ამ სივრცისა დაკავებულია ფაქტიურად მყარი ნივთიერების მარცვლებით. ასეთი წარმოდგენების საფუძველზე მიღებული კანონზომიერებანი არასრულყოფილად ასახავენ ფილტრაციის უთულებსი პროცესის ფიზიკურ არსს.

ზედაპირის სასაზღვრო შრეში წარმოშობილი ადსორბციული შრის მონომოლეკულური ნაწილი თავის მხრივ ორიენტაციას ახდენს მასთან მიმდებარე წყლის მოლეკულების მიერ წარმოშობილი დიფუზიური გარსზე, რომლის საზღვრებშიც მთლიანად ამოიწურება ელექტრო-მოლეკულური ურთიერთქმედების ენერგია მყარ ნაწილაკებსა და წყალს შორის.

რიგი სპეციალისტების შეხედულებით წარმოდგენა ჰიდრატაციულ შრეზე შეესაბამება გრუნტმცოდნეობაში მიღებულ ცნებას ჰიგროსკოპიული ბმული წყლის შესახებ, ხოლო დიფუზიურ გარსზე – აფსკური წყლის კატეგორიის მიხედვით [64]. [

რიგ კვლევებში [91.113], აღნიშნულია, რომ თვით ადსორბციულ შრეში წყლის მოლეკულები მუდმივ მოძრაობაში იმყოფებიან და ისინი ასრულებენ მხოლოდ ბრუნვით მოძრაობას ფიქსირებული ცენტრების მიმართ. ზედაპირული მოვლენების განსაკუთრებული ეფექტის გათვალისწინება თანაბრად აისახება როგორც წყლის რეოლოგიურ მაჩვენებელზე, ასევე ფორების გეომეტრიული სტრუქტურების ცვალებადობაზე. რომელთა გათვალისწინებაც რადიკალურად ცვლის ფილტრაციის ჰიდრომექანიკურ სურათს.

აქედან გამომდინარე, მიღებული მუშა ჰიპოთეზის თანახმად ზედაპირულ-მოლეკულური ძალების განსაკუთრებული ეფექტი გამოიხატება თიხა გრუნტებში საწყისი გრადიენტის გამოვლენაში, რომელიც განპირობებულია მოლეკულურად ბმული წყლის ნიადაგ-გრუნტის ფორმებში არსებობით და ხასიათდება წყლისაგან განსხვავებული რეოლოგიური თვისებებით.

სავსებით ლოგიკურად შეიძლება მივიჩნიოთ საწყისი გრადიენტის განსაზღვრა მაქსიმალურ-მოლეკულური წყალტევადობის მიხედვით, ასეთი სახის დამოკიდებულება წარმოდგენილია შემდეგი სახით [55]

$$I_0 = \alpha \frac{\varphi}{1 - \varphi} \quad (2.2.1)$$

სადაც α – ექსპერიმენტული კოეფიციენტი;

φ – ფორმების შევსების ხარისხი მაქსიმალურ მოლეკულაში წყლის კატეგორიით, რომელიც განისაზღვრება სტანდარტული მეთოდის გამოყენებით.

საწყისი გრადიენტი როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ მრავალ ექსპერიმენტულ კვლევებში იქნა გამოვლენილი. მაგრამ, რადგან ის ვერ აკმაყოფილებს სასაზღვრო პირობებს ამიტომ საჭირო გახდა მისი შეცვლა.

ჩვენ მიგვაჩნია რომ, საწყისი გრადიენტის გათვალისწინება რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრისას მნიშვნელოვან წვლილ შეიტანს ფილტრაციული დანაკარგების პროგნოზის საიმედოობის გაზრდაში. ამასთან ერთად გარკვეულწილად ის ხელს შეუწყობს ურთულესი პროცესის ფიზიკური არსის საბოლოო გაშიფვრას. მრავალრიცხოვანმა ექსპერიმენტებმა [40] დაადასტურა რომ, საწყისი გრადიენტი მეტად მგრძნობიარე პარამეტრია მრავალრიცხოვან გარემო

ფაქტორებთან კავშირში. საკმაოდ ორიგინალური და უნიკალური ცდებით ამ პარამეტრის შესწავლისათვის ერთ მთლიან სიმძლავრის ნიადაგ-გრუნტის მონოლითზე დეტალურად აღწერილია ნაშრომში [58.87.111].

ჩვენ მომავალ კვლევებში გვაინტერესებს ამ პარამეტრის რეოლოგიურ შკალაზე მისი “ადგილი”-ს პოვნა. ამისათვის საჭიროა შევხვით ამ პარამეტრის განსაზღვრას ნახევრად ემპირიული მონაცემების ბაზაზე. კერძოდ, თანაბარი ძარობის განტოლებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ რომ:

$$I_0 = \frac{2\tau_0}{\rho g r} P \quad (2.2.2)$$

ამ შემთხვევაში იგულისხმება რომ, მოძრაობა მილში წყდება და წყალგამტარი არხის მთელი კვეთი შევსებულია მტკიცედ ბმული კატეგორიით. τ_0 წარმოადგენს ძვრისადმი საწყის წინაღობას და ის სპეციალური ცდების მონაცემებით განისაზღვრება საშუალო მნიშვნელობის სიდიდით ტოლი $5 \cdot 10^{-3}$ პა. [17.79]. მიუხედავად იმისა რომ, ეს მცირე სიდიდეა და თითქმის არავითარ გავლენას არ ახდენს ჰიდრომექანიკურ კანონზომიერებაზე ღია ნაკადებში, საგულისხმოა რომ, მისი არა აბსოლუტური მნიშვნელობა არამედ τ_0/r განსაზღვრავს I_0 სიდიდეს. ეს ნათლად მეტყველებს იმაზე თუ რა დიდი მნიშვნელობა გააჩნია ზედაპირული მოვლენების გათვალისწინებას მიკრო პროცესების შეფასებაში.

თუ ფიზიკურ კონსტანტებს შევიტანთ (2.2.2)-ში, მხოლოდ 10^{-6} მ რადიუსი იძლევა საწყისი გრადიენტის მნიშვნელობას, რომელიც უდრის ერთს. რიგ კვლევებში მითითებულია რომ, მისი მნიშვნელობა ხშირად ათსაც კი უტოლდება. ეს იმას ნიშნავს რომ, ჩვენ შეგვიძლია ვივარაუდოთ

(2.2.1) _ შემთხვევაში ფოროვანი სისტემა მთლიანად ბმული წყლით არის შევსებული. ასეთივე წარმატებით შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნა მიკროფოროვან სისტემაში პოლარული სითხეები ქმნიან ისეთ “სიმტკიცე”-ს, რომელთა აფსკების რღვევა პრაქტიკულად მოქმედი გრადიენტებით არ შეიძლება “წარეცხილ” იქნას. ამასთან დაკავშირებით ზოგიერთი მკვლევარები მიუთითებენ რომ, თუ ფორების ზომა ნაკლებია $5 \cdot 10^{-3}$ მ-ზე მაშინ მთლიანად ლიკვიდირდება კაპილარული ძალები და სორბციული ძალების მოქმედებით წყდება ჰიდროსტატიკური წნევის გადაცემა [9].

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ მაღალ-დისპერსიულ თიხა ნიადაგ-გრუნტებში ფილტრაციული კანოზომიერება შეიძლება აისახოს რეოლოგიურ შკალაზე ნახ 12. 4-ე მრუდის მიხედვით.

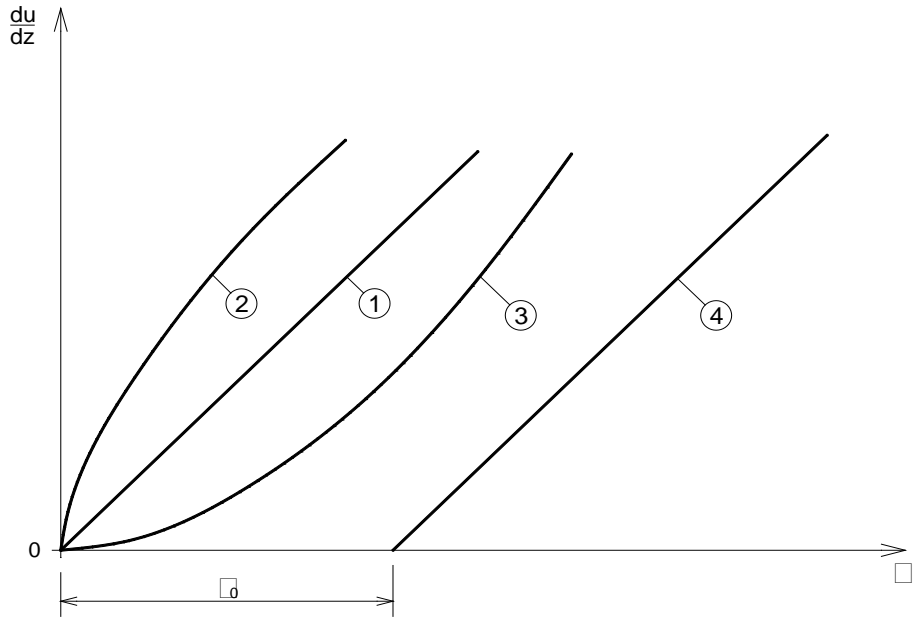
$$\tau = \tau_0 \pm \mu \frac{du}{dz} \quad (2.2.3)$$

სადაც τ _ ძვრის საწყის წინაღობაკგ/მ³;

μ _ სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტი, პა.წმ;

u _ ძვრის დეფორმაციის სიჩქარე მ/წმ;

z _ განსახილველ წერტილის კოორდინატი, ათვლილი ხახუნის სკონტაქტო სიბრტყიდან.



6

ნახ. 12 დეფორმაციის სიჩქარესა და მხებ ძაბვას შორის დამოკიდებულება

- 1- ნიუტონური სითხეები $\eta=const, \tau_0 =0$; 2-დილატანსია $\eta \neq const, \tau_0=0$; 3- ფსევდოპლასტიკა $\eta \neq const, \tau_0 =0$; 4-ბლან-პლასტიკური $\tau_0 \neq 0, \eta=const$

(2.2.3) ისეთი სტრუქტურული სხეულის ძვრის დეფორმაციის ანალოგს, რომელიც ხასიათდება ნაწილაკებს შორის ხახუნის წინააღმდეგობით და ამასთანავე მათ შორის შეჭიდულობით. ასეთი ბლანტ-პლასტიკური რეოლოგიური მრუდი ხასიათდება კრიტიკული წერტილებით: პერიოდულად სტრუქტურული კავშირების რღვევა-აღდგენა (ტიქსოტროპია) ან კიდევ რელაქსაცია (შესუსტდება) სწორედ ამის გამო, აუცილებელია საანგარიშო მოდელის ადაპტაცია ფილტრაციული პროცესების კანონზომიერებასთან ყოველი კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტისას.

თუ მოვახდენთ (2.2.3) განტოლების ინტეგრირებას, მაშინ 10
 რადიუსის მქონე მილისათვის სიჩარე განისაზღვრება:

$$V = \frac{\rho g}{8\mu} r_0^2 \left(I - \frac{8}{3} \cdot \frac{\tau_0}{\rho g r_0} \right) \quad (2.2.4)$$

ფჩხილებში მოთავსებული გამოსახულების მეორე წევრი წარმოადგენს საწყისი გრადიენტს და ის განსხვავდება თეორიულად მიღებული I_0 -ისაგან ფორმულა (2.2.2) მუდმივი-კოეფიციენტის მნიშვნელობით. თუ გავითავლისწინებთ წარმოდგენილი იდეალური მოდელის გამოყენებით მიღებულ ფილტრაციის სიჩქარის გამოსახულებას,

$$V = k(I - I_0) \quad (2.2.5)$$

ანალოგიური დამოკიდებულება მიღებულია ჰიდროდინამიკური გადაწყვეტის შემთხვევაში [16]

$$V = kI \left[\left(1 - \frac{4}{3} \frac{I_0}{I} + \frac{1}{3} \left(\frac{I_0}{I} \right)^4 \right) \right] \quad (2.2.6)$$

ფაქტიურად (2.2.6) ფორმულა ემთხვევა ჩვენს მიერ მიღებულ (2.2.5) დამოკიდებულებას. უნდა ვივარაუდოთ რომ ზოგადი აპროქსიმაციით ფილტრაციის სიჩქარე შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად:

$$V = k(I - I_0)^x \quad (2.2.7)$$

მაგრამ ხაზოვანი უბნისათვის ჩვენ ვისარგებლებთ (2.2.7) დამოკიდებულებით როცა ხარისხის მაჩვენებელი x მიიღება ერთის ტოლად. ასევე საჭიროა გავითვალისინოთ ისიც რომ, ფილტრაციის კოეფიციენტი შეიცვლება დარსის ხაზოვანი კანონიდან მიღებული ექსპონენციალური კანონით.

2.3. ინფილტრაციული პროცესების კვლევა და მისი აღწერის ანალიზური მეთოდები

ინფილტრაციული პროცესები დამახასიათებელია ნებიესმიერ ნიადაგ-გრუნტში წყალშეჭონვის საწყისი სტადიისათვის და ის გამოხატულია ძრაობის დაუმყარებელი რეჟიმით რომლის ანალიზური ასახვა თეორიული გზით უკავშირდება გარკვეულ სიძნელეებს.

წყლის რესურსების მართვის ინფორმაციული უზრუნველყოფა გულისხმობს ყველა დინამიკურ ურთიერთკავშირში მყოფი ფაქტორის გათვალისწინებით პროცესის კანონზომიერების აღწერას, რომელთა შორის შეიძლება გამოყოფილ იქნას ძირითადი განმსაზღვრელი კომპონენტები. ამ თავლსაზრისით განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება სისტემის ბლოკში, მორწყვა-წყალმოთხოვნილება რომლის საბაზისო პარამეტრად აღებულია პროდუქტიული წყლის მარაგი ნიადაგის აქტიურ შრეში [81].

სწორედ ამის გამო მორწყვის ნორმის დადგენისათვის, წყლის ეფექტურად გამოყენებული მაჩვენებლის განსაზღვრა ,ძირითადადსწარმოებს ინფილტრაციული სიჩქარის ცვალებადობის გათვალისწინებით. აღსანიშნავია რომ, ნიადაგ-გრუნტის ფორებში ტენიანობის სიდიდე არათუ განსაზღვრავს პროდუქტიული წყლის ჭეშმარიტ მახასიათებელს არამედ წამოადგენს წყლის სხვადასხვა კატეგორიის ფუნქციას რომლებიც არ მონაწილეობენ წყალმოთხოვნილების რეჟიმის დადგენაში. ამასთან ერთად ეს მახასიათებელი ვერ პოულობს ასახვას კვების წყაროსთან და მის დინამიკასთან კავშირში და ასევე არ

გამოხატავს ნიადაგ-გრუნტის სტრუქტურულ-ფუნქციონალურ თავისებურებებს. ამის გამო ხშირად ირღვევა კორელაციური კავშირი ნიადაგის ტენიანობასა და დაგროვილ ბიომასას შორის. დღეისათვის არ არსებობს სხვა უფრო სრულყოფილი მეთოდი, ვიდრე ინფილტრაციული წყალშთანთქმის მახასიათებელი განისაზღვრა, რომელიც დაკავშირებულია როგორც კვების წყაროსთან ასევე ნიადაგ-გრუნტის ფილტრაციულ-კაპილარულ თვისებებთან.

ეს განაპირობებს დიდ ინტერესს ინფილტრაციული პროცესის შესწავლისადმი რომელიც მეტ-ნაკლები წარმატებით წარმოდგენილია ფუნდამენტურ შრომებში [19.57.99].

ნაშრომში [45] შესწავლილია არა მარტო ინფილტრაციის კინამატიკა არამედ სრულყოფილი მეთოდოლოგიური ცდების ჩატარებით სავსე პირობებში მიღებულია ემპირიული დამოკიდებულებანი, რომლების გამოხატავენ ზედაპირული-მოლეკულური ეფექტების განიველირებას ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერებების (ზ.ა.ნ.) სხვადასხვა კომპოზიციების გამოყენებით.

ნაშრომში [61] გაზოგადოებულია მრავალი წლის თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევის მასალები ნიადაგის აერაციის შრეში წყლის “კაპილარული” შექონვის თაობაზე. მოცემულია განსხვავებული ჰიდრაულიკური ინტერპრეტაციით ნატურალური ექსპერიმენტების ჩატარების ტექნიკური საშუალებანი და მეთოდები, როგორც დაწინეიანი ასევე უდაწნეო ინფილტრაციული წყალგაჟონვის პირობებში.

მითითებულია რომ, ნიადაგის როგორც ფიზიკური ტანის კავშირი ამ მახასიათებელთან ავლენს მაღალ დამყოლობას და უმნიშვნელო თითქმის შეუმჩნეველი ზემოქმედება ერთი და უფრო მაღალი რიგითაც ცვლის

ინფილტრაციის რაოდენობრივ მაჩვენებელს. პროცესში მონაწილე მრავალრიცხოვანი ფაქტორების ცვალებადობა ძირითადად დაკავშირებულია კლიმატური პირობების და შესაბამისი თერმოდინამიკური წონასწორობის ჩამოყალიბებაზე [21].

ნიადაგის წყალგაჯერება – რაც ხშირად დამოკიდებულია მორწყვის ტექნოლოგიაზე, განსაზღვრავს ნიადაგის ტანში წყლის ფრონტის გავრცელების სიჩქარესა და მიმართულებას, კაპილარული ან გრავიტაციული ენერგეტიკული ველების ერთობლივი მოქმედებით.

მორწყვის პროცესი ყოველთვის მიმდინარეობს დაუმყარებული რეჟიმის ანალოგიურად მაგრამ საანგარიშო დამოკიდებულებებში მიღებულია სქემატიზაცია, რის გამოც, ინფილტრაციის არასტაციონალური რეჟიმი გაიგივებული სტაციონალურთან, რაც გამოწვეულია პროცესში მონაწილე მრავალრიცხოვანი ფაქტორების რაოდენობრივი შეფასების დეფიციტით.

თეორიული და პრაქტიკული ღირებულების კვლევები ზედაპირული მორწყვის პირობებში შეთანაწყობილი წყალგაჟღენთავსთან მრავალი მეცნიერის შრომებში აისახა [1.4.19.97]. მაგრამ ბოლო დროის კვლევებიდან განსაკუთრებით გამოირჩევა მორწყვის კალასიკური თეორიის განზოგადობისა და სქემატიზაციის საფუძველზე შემოთავაზებული საანგარიშო დამოკიდებულებანი [14.100]

ნიადაგში ფორების არასრული წყალშევსების შემთხვევაში სიჩქარის დინამიკა გატენიანების სიღრმის ცვალებადობისას ძირითადად გამოიხატება შემდეგი ფორმულით:

$$V_i = k_i I = \frac{k_1}{t^\alpha} \quad (2.3.1.)$$

სადაც V_t – წყლის შექონვის სიჩქარე დროის ნებისმიერ მომენტში;
 k_t – წყალგამტარობის კოეფიციენტი;
 I – დაწნევის გრადიენტი;
 k_z – წყალგამტარობის კოეფიციენტი, დროის პირველ ერთეულში;
 α – ხარისხის მაჩვენებელი, რომელიც ნიადაგის თვისებებისა და მისი საწყისი ტენიანობის მიხედვით იცვლება 0,3÷0,8 ფარგლებში

t – ინფილტრაციის დრო;

როგორც (2.3.1) ფორმულიდან ჩანს სიჩქარის ცვალებადობა დამოკიდებულია გრადიენტზე ან კიდევ დროზე. ეს თითქმის შეუთავსებელია ჩვენს წარმოდგენებთან სტაციონალური ფილტრაციის ხაზოვან კანონთან. რადგან დაწნევის გრადიენტი ამ შემთხვევაში მუდმივი სიდიდეა და მკაცრად განისაზღვრება განსახილველ კვეთებს შორის პიეზომეტრული წნევების სხვაობით ანუ ჰიფსომეტრიული მდგომარეობით. ამასთან განსხვავებით ინფილტრაციული წყალშთანთქმის ფიზიკური სურათის წარმოდგენა გრადიენტით გულისხმობს მის ცვალებადობას რომელიც გამოიხატება დამოკიდებულებით:

$$I = \frac{h + z + h_3 - h_0}{z} \quad (2.3.2)$$

სადაც h – წყლის ფენის სისქე ნიადაგ-გრუნტის ზედაპირზე (დაწნევიანი ინფილტრაცია), მ;

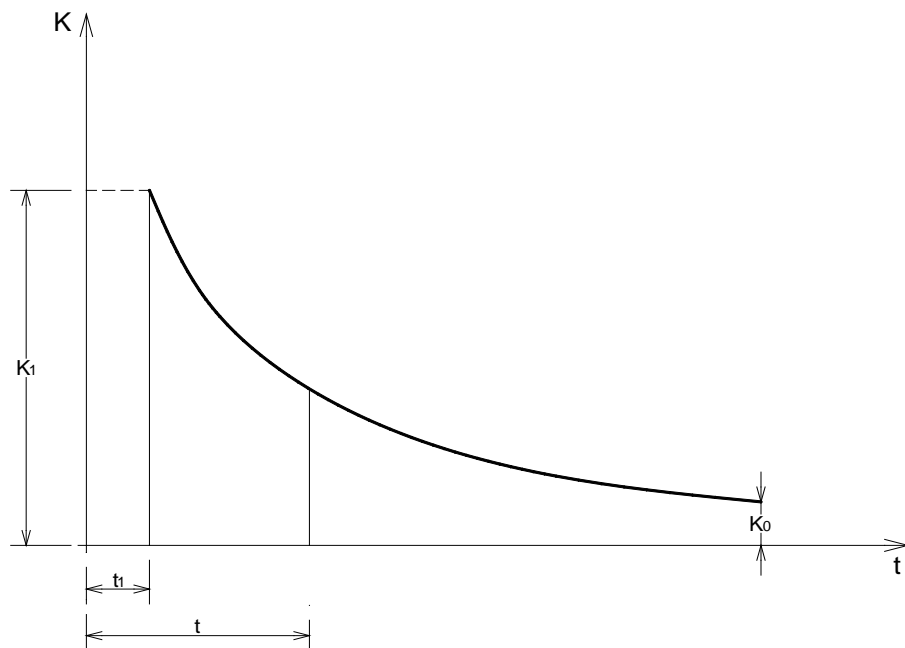
h_3 – კაპილარული აწევის სიმაღლე (პოტენციური ენერგია), მ;

h_0 – ჰაერის ჭარბი პნევმატური წნევის ექვივალენტი, მ;

z – ნიადაგის შრეში წყლის ფრონტის გადაადგილების კოორდინატი, ათვლილი ნიადაგის ზედაპირიდან;

ბუნებრივია გეომეტრიული პარამეტრის, დროს პარამეტრით ჩანაცლება გულისხმობს მათ შორის გარკვეულ კავშირს ინფილტრაციის სხვადასხვა სტადიაზე.

ხშირად ფილტრაციის სიჩქარე გაიგივებულია ან ინფილტრაციის პირობით კოეფიციენტთან, რაც არაკორექტულია და ანალიზური თავლსაზრისით მიუღებელი. ნახ. 13-ი გამოხატავს წყალგამტარობის სიჩქარის დამოკიდებულებას დროში სადაც სიჩქარე გაიგივებულია წყალგამტარობის კოეფიციენტთან. ეს ცხადია, სავსებით არასწორია და ის მხოლოდ აკმაყოფილებს ერთადერთ პირობას, რომლის მიხედვითაც ფილტრაციის კოეფიციენტი ტოლია სიჩქარის, როდესაც გრადიენტი უდრის ერთს.



ნახ. 13 წყალგამტარობის დინამიკის საილუსტრაციო მრუდი

(2.3.1) ფორმულის მიხედვით როცა, $t=0$, მაშინ $V_{t=\infty}$ ამიტომ გაუმართლებელია ფიზიკური კონსტანტის სახით ან კიდევ მრუდის პარამეტრად ავიღოთ v_t , რაღაც მნიშვნელობა ერთეულ დროში. ინტეგრება ხდება იმ დროის შუალედში, რომელიც ფიქსირდება წყალმიწოდების

ხანგრძლივობის შესაბამისად და ჩაჟონვის საშუალო სიჩქარე გამოითვლება შემდეგნაირად

$$\bar{V}_t = \frac{1}{t_0} \int_0^t \frac{k_1}{t^\alpha} dt = \frac{k_1}{1-\alpha} t^{-\alpha} = k_0 t^{-\alpha} \quad (2.3.3)$$

მოცემული ნიადაგისათვის k_0 სიჩქარე ფილტრაციის გასაშუალებელი კოეფიციენტია და უდრის

$$k_0 = \frac{k_1}{1-\alpha} \quad (2.3.4)$$

როგორც ნახ. 13-დან ჩანს k -წარმოადგენს დარსის კოეფიციენტს და ნიშნავს რომ, ცალკეული ექსპერიმენტების პირობებში კონკრეტულ ნიადაგ-გრუნტებზე ის აიღება ფილტრაციის კოეფიციენტის ტოლად ანუ სხვანაირად ამ შემთხვევაში ინფილტრაციული ხარჯი პრაქტიკულად მუდმივი სიდიდეა.

(2.3.4) დამოკიდებულება ხშირად გამოიყენება ზედაპირული მორწყვის ტექნოლოგიების პირობებში. რათა განსაზღვრულ იქნას წყლის რაოდენობა შეჟონილი ნიადაგში, წყალმიწოდებიდან მის შეწყვეტამდე.

ნაშრომში [103] შემოთავაზებულია ზედაპირული ჩამონადენის ნახევრად-ემპირიული ინფილტრაციული თეორია. რომელიც ეფუძნება ორ ძირითად კრიტერიალურ პირობას:

პირველი – არსებობს რაღაც მაქსიმალური ზღვრული წყალშოჟონვის სიჩქარე რომლითაც ნიადაგს შეუძლია შთანთქას ისე რომ, პროცესის დაუმყარებელი რეჟიმის ამ სტადიაში გრავიტაციული ძალების გავლენა შეიძლება უგულვებელყოფილ იქნა. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ წყლის რაოდენობა რომელსაც ნიადაგი შთანთქავს პროცესის დროის პირველ ერთეულში, ზოგიერთი მეცნიერის მიერ [5.56.78] მიჩნეულია საანგარიშო პარამეტრად, რომელიც სინამდვილეში ფილტრაციის კოეფიციენტისაგან

განსხვავებით არ წარმოადგენს ფიზიკურ მუდმივას. მიუხედავად ამისა ნიადაგის წყალშთანთქმის უნარი გამოსახულია რაღაც მუდმივი კოეფიციენტის სახით და ხშირად გამოიყენება როგორც საანგარიშო პარამეტრი ინფილტრაციული მოდელის აღწერისათვის.

მეორე – როგორც კი, წარმოიშობა დიდი თუ მცირე წყალშემკრები ზედაპირიდან წყლის ლოკალური ჩამონადენი მაშინვე მყარდება, ფუნქციონალური კავშირი წყლის დაკავების სიღრმესა და (ე.ი. წყლის ის რაოდენობა რომელიც გროვდება ნიადაგის ზედაპირზე) ზედაპირული ჩამონადენის (წყალშემკრებ კოლექტორთან მიდინება) სიჩქარეს შორის.

ასევე არამართებულად მიგვაჩნია ჰიპოტეზა [59.60.61.98.103] იმის შესახებ რომ, ზედაპირული ჩამონადენი არ არის მოსული ატმოსფერული ნალექების ფუნქცია, თუმცა მიჩნეულია რომ, ნებისმიერ მცირე ინტენსივობის ნალექებმაც კი უნდა წარმოშვას ზედაპირული ჩამონადენი, რაც არ ემთხვევა ექსპერიმენტების მონაცემებს. ეს უკანასკნელი შეხედულებაც არ შეიძლება სრულყოფილად მივიჩნიოთ რადგან არ მარტო ნალექების რაოდენობა და ინტენსივობა არამედ მიწის ზედაპირის ქანობი, ნიადაგის სააკუმულაციო ფენის სიმკვრივე, ტენიანობის მაჩვენებელი და გრუნტის წყლის რეჟიმი განაპირობებს ზედაპირული ჩამონადენის ფორმირებას.

აღსანიშნავია რომ, წყალშთანთქმის პროცესი არასტაციონალურ ხასიათს ატარებს და ინტენსივობა დროის ფუნქციაა. რაც ირიბად შეიძლება გამოხატულ იქნას ფილტრაციის ამთუ იმ საანგარიშო სქემისათვის გეომეტრული პარამეტრების მიხედვით. მისი განსაზღვრისათვის არსებობს ნახევრად-ემპირიული და ემპირიული დამოკიდებულებანი, რომლებიც ვერ ითვალისწინებენ რეალურად მიმდინარე პროცესების ფიზიკო-

მექანიკურ სურათს და ასევე არ პასუხობენ სასაზღვრო პირობების ამათუ იმ კონკრეტულ ჰიდროგელოგიურ სქემაში. ამ მხრივ ყურედლებას იმსახურებს პროცესის ამსახველი პარამეტრის შემდეგი სახის ინტერპოლირებული დამოკიდებულება

$$V_t = \bar{V} - (\bar{V} - V_0)e^{-at} \quad (2.3.5)$$

სადაც V_0 – ინფილტრაციის სიჩქარე როცა $t=0$, მ/წმ; ;

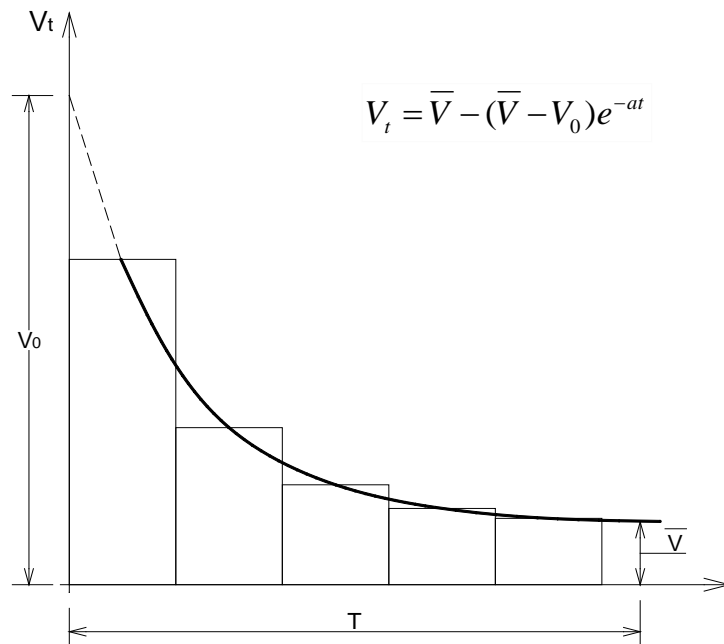
\bar{V} – ინფილტრაციის სიჩქარე როცა $t \rightarrow \infty$, მ/წმ;

e – ნეპერის რიცხვი;

a – ექსპერიმენტული კოეფიციენტი, რომელიც გამო-ხატავს ინფილტრაციის ცვალებადობის ხასიათს ნიადაგ-გრუნტის წყალგამტარობის თვისებებთან კავშირში;

t – პროცესის მიმდინარეობის დრო, წმ;

დამოკიდებულება (2.3.5) თავლსაჩინოებისთვის შეიძლება წარმოვადგინოთ ნახ. 14 ნაჩვენები მახასიათებელი მრუდით.



ნახ. 14 ინფილტრაციის სიჩქარის ცვალებადობა დროში

წარმოდგენილი განმარტება გულისხმობს იმას რომ, ფილტრაციულ სიჩქარესა და დროს შორის დამოკიდებულება საშუალებას იძლევა განისაზღვროს “ფილტრაციის” კოეფიციენტის მნიშვნელობა ნებისმიერი დროის მომენტისათვის როგორც წერტილში წარმოებული. ეს ნიშნავს რომ, ჩვენ ვამყარებთ კავშირს ისეთივე ანალოგიით ფილტრაციის კოეფიციენტსა და დროს შორის როგორც მყარდება ამავე პარამეტრთან სიჩქარის შესაბამისად ე.ი. მხები გავლებული მრუდის რაღაც წერტილში არის პარალელური t დერძის ანუ წარმოებული არის ნულის ტოლი. სხვანაირად, წარმოებულის ნულთან ტოლობა ნიშნავს რომ, ფილტრაცია (ინფილტრაცია) არის მუდმივი სიდიდე.

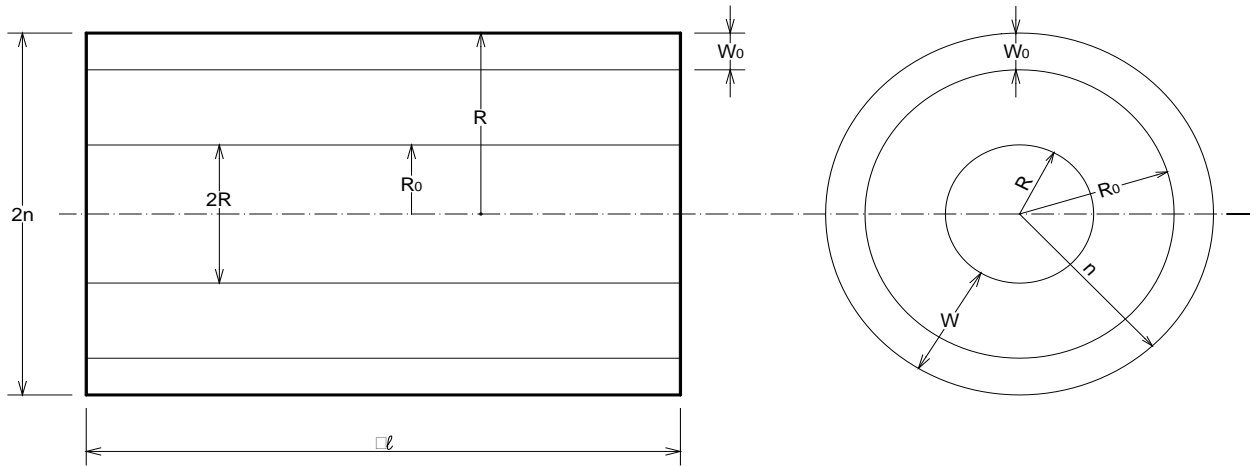
არსებობს ასევე ფორმალური ანლოგია ინფილტრაციისა და წყლის კაპილარულ გადაადგილებას შორის. როცა ეს უკანასკნელი ფილტრაციული მოდელისაგან განსხვავებით გადაადგილდება გრავიტაციული ძალების საწინააღმდეგოდ, მაშინ როდესაც ინფილტრაციის პროცესის ინტენსივობას აძლიერებს გრავიტაციული ძალები.

ინფილტრაციული პროცესი თავისი ბუნებით დაუმყარებელი ძრაობაა, რომელსაც შეიძლება მრავალი ფაქტორი განაპირობებდეს მაგრამ, აერაციის ზონაში ნიადაგ-გრუნტების ინფილტრაცია დამოკიდებულია ფორებში ჰაერის ორთქლის არსებობაზე.

აქვე შევნიშნავთ რომ ატმოსფერული წნევის ცვალებადობა გავლენას ახდენს ჭაურში წყლის დონის სიღრმეზე. ასევე არსებული ორთქლის ბუმტულაკების დრეკადობა დამოკიდებულია ატმოსფერულ წნევაზე რომლებიც ხშირ შემთხვევაში არა თუ ზღუდავენ წყლის გადაადგილებას

ფოროვან სხეულებში არამედ მთლიანად გამორიცხავენ ფილტრაციულ დინებას.

ნაშრომში [2.79.112] მოცემული საანგარიშო მოდელი ეყრდნობა ნახ. 15-ს.



ნახ 15. ინფილტრაციის კოეფიციენტის საანგარიშო მოდელი

საანგარიშო სქემის მიხედვით მილის ცენტრალურ ნაწილში მოთავსებული ღრუტანიანი “მორი” R_1 რადიუსი რომელიც შევსებულია დახშული ჰაერით. ცილინდრული რგოლი შეზღუდულია რადიუსებით R_0 და R_1 , $R_0 - R_1$ სივრცე შევსებულია მოძრავი ბლანტი სითხით. აქ მიღებულია აღნიშვნები: w_0 არის ბმული წყლის წილი საერთო ფორიანობის მოცულობიდან; რეალური წყალტევადობა შეადგენს w -ს; w -წარმოადგენს ბუნებრივ პირობებში წყალტევადობას, დახშული ჰაერის მოცულობის ჩათვლით.

თუ აღვნიშნავთ რომ ფორების არასრული წყალშევსების პირობებში ფილტრაციის კოეფიციენტი არის k_w მაშინ გვექნება რომ $w_0=w$ შესაბამისად $k_w=0$. ეს პირობა ცალსახად მიუთითებს რომ ბმული წყალი არ

მონაწილეობს ფილტრაციის პროცესში და ის მკვიდრად არის მიერთებული მონერალურ ზედაპირთან. ხოლო როდესაც w არის n ტოლი მაშინ $k_w = k$ სადაც k არის ჩვეულებრივი ფილტრაციის კოეფიციენტი სრული წყალშევსების პირობებში. ზოგად შემთხვევაში $k_w = \beta k$ მიღებული სიჩქარის განაწილების პროფილი საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ბლანტი სითხისათვის სიჩქარე შემდეგი სახის დამოკიდებულებით

$$u = -\frac{\Delta p}{4\nu\Delta\ell} r^2 + a \ln r + b \quad (2.3.6)$$

სადაც u – დინების სიჩქარე წერტილში, რომელიც გრძივად დაშორებულ მალის გრძივი ღერძიდან და r მანძილით;

Δp – დაწნევათა სხვაობა ორ კვეთს შორის;

ν – სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი, მ²/წმ;

a, b – ინტეგრების მუდმივები;

ჩვენ შემთხვევაში ზემოთ აღნიშნული სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით გვექნება

$$u = \frac{\Delta p}{4\nu\Delta\ell} \left(R_0^2 - r^2 + 2R_1^2 \ln \frac{r}{R_0} \right) \quad (2.3.7)$$

მთლიანი ხარჯი განისაზღვრება

$$Q = 2\pi \int_{R_1}^{R_0} u r dr \quad (2.3.8)$$

საიდანაც ვღებულობთ

$$Q = \frac{\pi\Delta p}{8\nu\Delta\ell} \left[(R_0^2 - R_1^2)(R_0^2 - 3R_1^2) + 4R_1^4 \ln \frac{R_0}{R_1} \right] \quad (2.3.9)$$

ფარდობითი ტენიანობის მაჩვენებელი (ბმული წყლის გათვალისწინებით) განისაზღვრება

$$\varphi = \frac{w - w_0}{n - w_0} = 1 - \frac{n - w}{n - w_0} \quad (2.3.10)$$

როგორც ნახ. 15 ჩანს $\frac{n-w}{n-w_0} = \frac{\pi R_1^2}{\pi R_0^2}$ ანუ,

$$\frac{R_1}{R_0} = \sqrt{\frac{n-w}{n-w_0}} = 1-\varphi \quad (2.3.11)$$

ამის შესაბამისად შეიძლება განისაზღვროს β როგორც φ ფუნქცია და ის ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\beta = \varphi(3\varphi - 2) - 2(1 - \kappa)^2 \cdot \lg(1 - \varphi)$$

$$\beta \approx \varphi^m$$

ცდის მონაცემებთან შედარებით დადგენილი იქნა m -ის მნიშვნელობა ტოლი $m=3,5$ ზოგადი თეორიული გადაწყვეტის შედეგად m მნიშვნელობა აიღება $3 \div 4$ [65]. ანალოგიური დამოკიდებულება ბმული წყლით ტენიანობის ხარისხის შესაბამისად მიღებულ იქნა ნაშრომში [51]. ზემოთ განხილულ ამოცანაში (საწყისი გრადიენტის განსაზღვრისას) საანგარიშო მოდელში განვიხილავთ ადსორბციული წყლის არეში “კედლიდან” დაშორების მანძილის შესაბამისად ძვრის წინააღობის ცვლად სიდიდეს. რომელიც განსხვავდება ტრადიციულად მიღებული კონცეფციებისაგან წინააღობის ერთი და იგივე მნიშვნელობით. აქვე შევნიშნავთ რომ, დასმული ამოცანის ჩარჩოებში მოვლენის ფიზიკური არსის გათვალისწინებით, უფრო მართებულია მილის ცენტრალური “ღრუტანიანი მორის” მოცულობა წარმოვადინოთ შევსებული ბმული წყლის კატეგორიით.

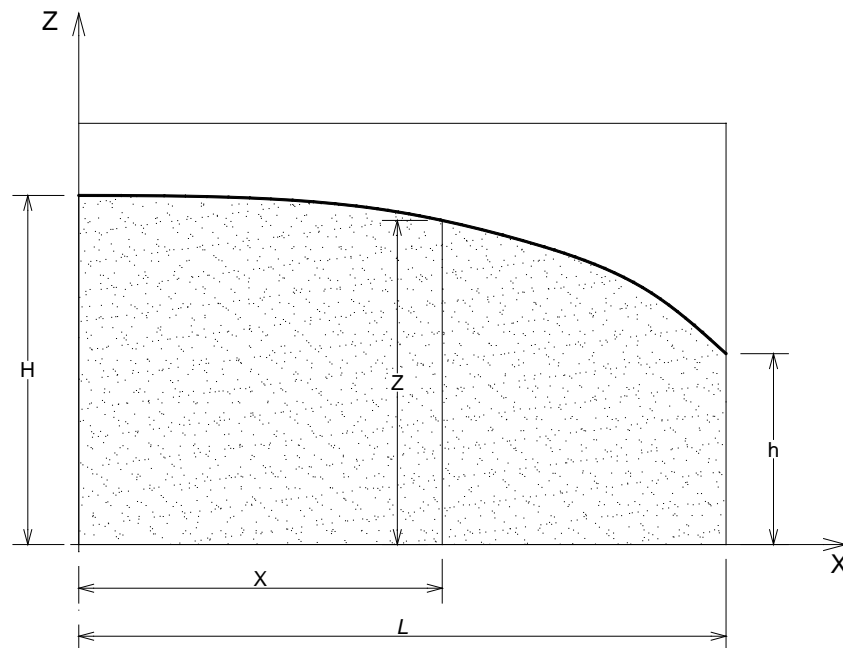
მიღებული საანგარიშო ფორმულები გამოყენებულია პერიოდულად მოქმედ არხებიდან ფილტრაციული ხარჯის გაანგარიშებისათვის და ასევე კაპილარულ ქობში ტენიანობის ვერტიკალურად განაწილების შესაფასებლად.

თავი 3. თავისუფალი ფილტრაციის დეპრესიის წირები და ნიადაგ-გრუნტის ფილტრაციული მდგრადობის კრიტერიუმები

3.1 მიწისქვეშა ღია ნაკადების დეპრესიის წირები

მრავალრიცხოვანი კვლევები თავისუფალი ფილტრაციული ნაკადების აღწერისათვის, ვერ იძლევა პასუხს, დეპრესიის ფორმების ინვარიანტობაზე, ფილტრაციის კოეფიციენტისაგან დამოკიდებულებით დინების ლამინარული რეჟიმის პირობებში.

მსჯელობის გამარტივების მიზნით განვიხილავთ სწორკუთხა პროფილის მიწის ზღუდას წყალგაუმტარ ჰორიზონტალურ ფუძეზე ნახ. 16.



ნახ. 16 თავისუფალი ფილტრაციის სანგარიშო სქემა

ნებისმიერი კვეთისათვის, საფარდი სიბრტყის მიმართ შეიძლება დავწეროთ ბერნულის განტოლება

$$z + \frac{\alpha V^2}{2g} = const \quad (3.1.1)$$

მიწის ნაგებობებში კერძოდ - კაშხლები, ზღუდარები, მიწის დამბები და სხვა, უმრავლეს შემთხვევაში ფილტრაციული ნაკადის გრადიენტი არ აღემატება ერთს. ამის გამო შეიძლება, მივიღოთ, რომ სიჩქარე, ფილტრაციის ხაზოვანი კანონის თანახმად, რიცხვობრივად ტოლია ფილტრაციის კოეფიციენტის ან ნაკლებია მასზე.

თუ წარმოვიდგენთ რომ ზღუდარი გახორციელებულია ორი სხვადასხვა გრუნტისაგან, რომელთა ფილტრაციის კოეფიციენტებს შორის თანაფარდობა განსხვავდება ათასჯერ და უფრო მეტადაც. მაგრამ ერთ-ერთი მათგანის არ აღემატება 0,001 მ/წმ. რაც ზემოთ დადგენილი კრიტერიუმის მიხედვით, შეესაბამება ლამინარული დინების რეჟიმს, მაშინ ცხადია (3.1.1) გამოსახულების მეორე წევრი $\alpha V^2/2g$ აღმოჩნდება მაღალი რიგის მცირე, სიდიდე პირველ წევრთან შედარებით.

ორ სხვადასხვა კვეთისათვის (3.1.1) ანალოგიურად გვექნება

$$\left. \begin{aligned} z_1 + \frac{\alpha V^2}{2g} &= const \\ z_2 + \frac{\alpha V^2}{2g} &= const \end{aligned} \right\} \quad (3a)$$

მოცემულ შემთხვევაში, ზემოთ მიღებული დაშვებით გვექნება რომ $z_1 = z_2 = const$. ასეთი ტრივიალური მოდელის გამოყენებით მარტივად მივიღებთ, რომ ერთი და იგივე კვეთში ორი სხვადასხვა მასალისაგან შესრულებულ ზღუდარებში ფილტრაციის თავისუფალი ზედაპირის კოორდინატები ურთიერთ ტოლია, ანუ სხვანაირად თავისუფალ

ზედაპირზე წერტილში სიმრუდის რადიუსები არ არის დამოკიდებული ფილტრაციის კოეფიციენტზე, ე.ი. ინვარიანტულია ამ პარამეტრის მიმართ. სინამდვილეში, როგორც შემდგომმა კვლევებმა დეპრესიის მრუდის მოხაზულობა დამოკიდებულია ნიადაგ-გრუნტის ფილტრაციულ მახასიათებელზე.

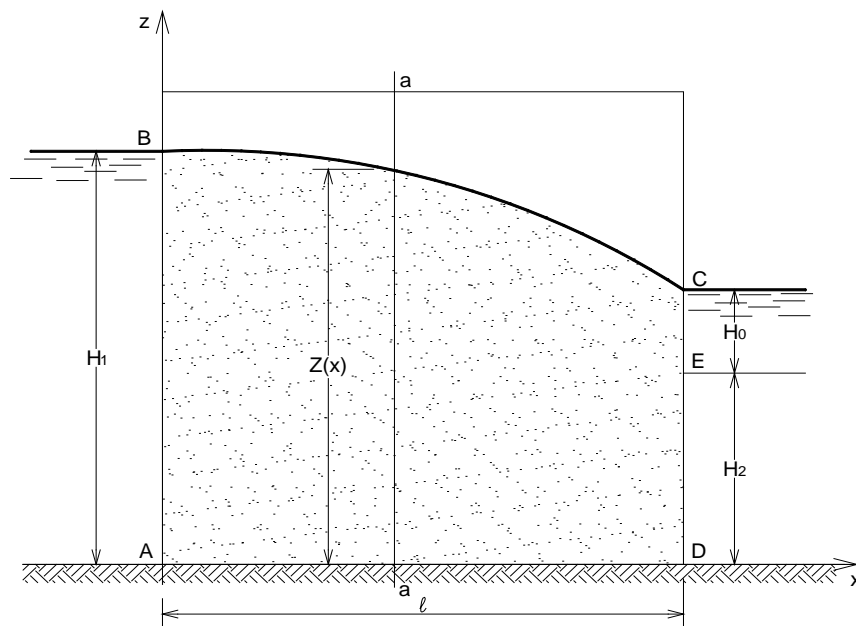
პირველად ნაშრომში [23] შეფასებულ იქნა კაპილარული პოტენციალის გავლენა თავისუფალი ზედაპირის ჰიფსომეტრულ მდგომარეობაზე (სამუშაო ჰიპოტეზაზე დაყრდნობით) რომლის მიხედვითაც კაპილარული ქობის “ტრანზიტი” მიმდინარეობს ფილტრაციის ძირითად ნაკადთან ერთად.

თავისუფალი ზედაპირის ამსახველი მრუდის ფორმის (სიმრუდის) შეცვლა კაპილარული პოტენციალის ზემოქმედებით იწვევს ქვედა ბიეფის ფერდობზე გამოყოფის სიმაღლის გაზრდას და შესაბამისად ცვლის ფერდოს მდგრადობის პირობებს. თანამედროვე ემპირიულ-თეორიულ კონცეფციებზე დაყრდნობით, ზედაპირულ-მოლეკულური მოვლენები შეიძლება მივაკუთვნოთ ისეთი მძლავრი ფაქტორების რიგს, რომლებიც რადიკალურად ცვლიან დეპრესიის მოხაზულობას და ასხვას პოულობენ ინტეგრალურ-რეოლოგიურ ინდექსებში, კერძოდ კი, ე.წ. ფილტრაციის საწყისი ჭეშმარიტი ფიზიკური გრადიენტის მაჩვენებელში.

ღია მიწისქვეშა ნაკადების დეპრესიის წირების ინვარიანტობა ნიადაგ-გრუნტის თვისებისაგან დამოუკიდებლად, ზემოთ მოყვანილი ჰიდრომექანიკური უხეში მოდელის საფუძველზე, არ შეიძლება სამართლიანად მივიჩნიოთ ფილტრაციის კოეფიციენტის, როგორც ძირითადი ინტეგრალური მახასიათებლის, მისი ცვალებადობის გათვალისწინების გარეშე მთელ დიაპაზონში, თუნდაც იმის გამო, რომ

თეორიულად ყოველთვის არსებობს, ნებისმიერი ფოროვანი სხეულის წინაღობის ხაზოვანი კანონიდან გადახრის ალბათური შესაძლებლობა.

ზოგადად ფილტრაციის პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტისას უდიდესი მნიშვნელობა გააჩნია ფილტრაციის არის განსაზღვრას, რომლის ერთერთ სასაზღვრო კონტურს წარმოადგენს დეპრესიის მრუდი. როგორც ერთერთი ეკვიპოტენციალური ზედაპირი. იმისათვის, რომ გამოვავლინოთ რაოდენობრივი განსხვავება თავისუფალი ზედაპირის ამსახველ მრუდებს შორის საწყისი გრადიენტის მონაწილეობით და მის გარეშე თავდაპირველად მოვიყვანოთ მიწის ზღუდარის მაგალითზე, ფილტრაციული ნაკადის მოძრაობისა და ქვედა ბიეფში გამოჟონვის საანგარიშო სქემას [108]. ნახ.17 წარმოდგენილია მიწის ზღუდარი AB და CD ფერდობებით წყალგაუმტარ ჰორიზონტალურ ფუძეზე AD სიგრძით l . წყლის სიღრმე ზედა ბიეფში H_1 , ხოლო ქვედაში H_2 . საჭიროა განისაზღვროს მოძრაობის ჰიდრომექანიკური ელემენტები და მათ შორის გამოჟონვის ინტერვალი H_0 .



ნახ. 17 მიწის სწორკუთხა პროფილის ზღუდარში ფილტრაციის საანგარიშო
სქემა

თავდაპირველად საჭიროა გადავწყვიტოთ ზღუდარში გამავალი ფილტრაციული ხარჯის ამოცანა. დაუშვათ გვაქვს, დამყარებული ძრაობა სიჩქარის პოტენციალით $f(x,z)$ და თავისუფალ ზედაპირზე BC შესრულებულია წნევების მუდმივობის პირობა:

$$f(x,z)+kz=0 \tag{3.1.2}$$

თუ თავისუფალი ზედაპირის ორდინატს აღვნიშნავთ $z=z(x)$ მაშინ თავისუფალი ზედაპირზე გვექნება შემდეგი სახის იგივეობა:

$$f(x,z(x))+kz(x)=0 \tag{3.1.3}$$

AB ფერდოს გასწვრივ სიჩქარე პოტენციალისათვის გვექნება

$$f(0,z)=-kH_1 \tag{3.1.4}$$

ხოლო გამოჟონვის უბნისათვის

$$f(\ell,z)=-kH_2 \tag{3.1.5}$$

გამოჟონვის ინტერვალში AE , საჭიროა შესრულდეს პირობა $f(\ell,z)+kz=0$ ხვედრითი ხარჯი ზღუდარის ნებისმიერად ალებულ $a-a$ კვეთში ცხადია გამოითვლება

$$q = \int_0^{z(x)} \frac{du}{dx} dz \tag{3.1.6}$$

განვიხილავთ ინტეგრალს

$$I(x) = \int_0^{z(x)} f(x,z) dz \tag{3.1.7}$$

და ვადგენთ (3.1.7)-ის წარმოებულს

$$\frac{dI}{dx} = \int_0^z \frac{du}{dx} dz + f(x, z) \frac{dz}{dz} \quad (3.1.8)$$

(3.1.2)-ის გათვალისწინებით, შიძლება დავწეროთ

$$q = \frac{dI}{dx} - f(x, z) \frac{dz}{dz} = \frac{dI}{dz} + kz \frac{dz}{dz} \quad (3.1.9)$$

ამ განტოლების ამოხსნით გვაძლევს

$$qx = \int_0^z f(x, z) dz + \frac{kz^2}{2} + c \quad (3.1.10)$$

თუ გავითავალისწინებთ, რომ $x=0$, $z=H_1$, მივიღებთ

$$0 = \int_0^{H_1} f(0, z) dz + \frac{kH_1^2}{2} + c \quad (3.1.11)$$

(3.1.10) და (3.1.9) განტოლების ურთიერთ გამოკლებით და (3.1.4) განტოლების გათვალისწინებით, გვექნება

$$qx = \int_0^z f(x, z) dz + \frac{k(z^2 + H_1^2)}{2} \quad (3.1.12)$$

(3.1.5) გამოყენებით, როცა $x=\ell$ (3.1.12) გამოსახულებაში იძლევა წარმოვადინოთ შემდეგი სახით

$$\int_0^{H_2+H_0} f(\ell, z) dz = - \int_0^{H_2} kH_2 dz - k \int_{H_2}^{H_2+H_0} z dz = -kH_2^2 - \frac{k}{2} [(H_2 + H_0)^2 - H_2^2] \quad (3.1.13)$$

და საბოლოოდ

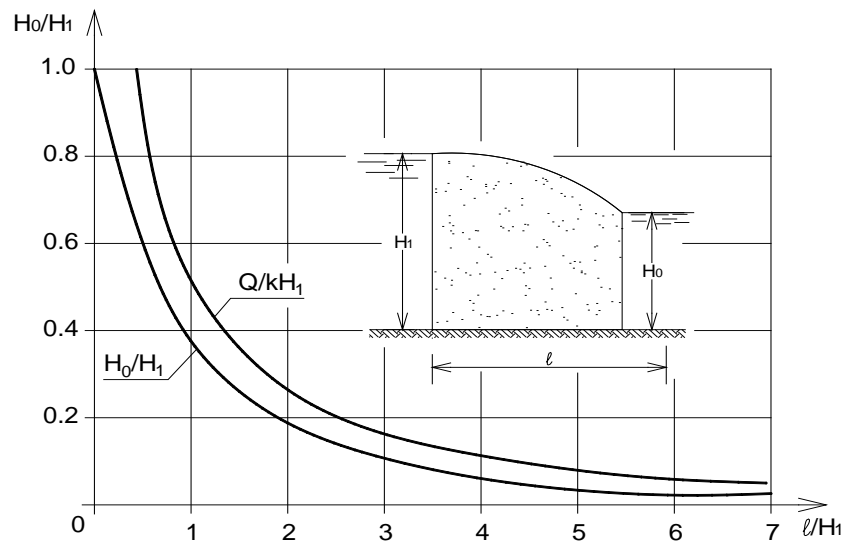
$$q\ell = -kH_2^2 - \frac{k}{2} [(H_2 + H_0)^2 - H_2^2] + k \frac{(H_2 + H_0)^2 + H_1^2}{2} \quad (3.1.14)$$

საიდანაც

$$q = \frac{k(H_1^2 - H_2^2)}{2\ell} \quad (3.1.15)$$

ამ დამოკიდებულებაში საერთოდ ამოვარდა გამოჟონვის სიმაღლე H_0 რომლის განსაზღვრა თეორიულადც კი დღემდე გადაუჭრელ ამოცანას წარმოადგენს. სიძნელეები რომელიც უკავშირდება გამოჟონვის ზონაში სიჩქარეთა პიდროგრაფის აგებას უნდა აიხსნას A წერტილში წნევის დუალური ბუნებით, რადგან ერთის მხრივ ის ნაკადის არეს, ხოლო მეორე მხრივ კი ატმოსფეროს ეკუთვნის.

ზღუდარის ფილტრაციული გაანგარიშების სქემა ჰიდრო-მექანიკური გადაწყვეტის საფუძველზე [84.95] ილუსტრირებული ნახ.18.



ნახ. 18 ზღუდარში ფილტრაციული ხარჯისა და თავისუფალი ზედაპირის საანგარიშო სქემა

დასმული ამოცანის გადაწყვეტა გაცილებით რთულია (თუ ეს საერთოდ შესაძლებელია) საანგარიშო სქემაში ფილტრაციის ინტეგრალური პარამეტრის საწყისი გრადიენტის ჩართვით. ამ შემთხვევაში, ცხადია ადგილი აქვს გადახრას ფილტრაციის ხაზოვანი კანონისაგან, რომლსაც ემყარება საანგარიშო სქემის უმრავლესობა ფოროვან გარემოში ძირითადი ჰიდრომექანიკური პარამეტრების გაანგარიშებისათვის.

დეპრესიის მრუდის ანალიზური განსაზღვრა მოცემულია საანგარიშო სქემაში იგულისხმება, რომ ქვედა ბიეფში წყლის სიღრმე $H_2=0$ და $h_2+H_0=h$, ხოლო $H_1=h$ ნებისმიერად აღებულ კვეთში ხვედრითი ხარჯი, სიჩქარის სიდიდე ხაზოვანი უბნისათვის, ტოლია

$$q = kz(I - I_0) \quad (3.1.16)$$

ან

$$q = -kz \left(\frac{dz}{dx} + I_0 \right) \quad (3.1.17)$$

(3.1.17)-ის ინტეგრება გვაძლევს

$$x = -\frac{1}{I} \left[z - \frac{q}{kI_0} \ln \left(\frac{q}{kI_0} + z \right) \right] + c \quad (3.1.18)$$

სასაზღვრო პირობის თანახმად $x=0$, $z=H$ მივიღებთ

$$c = \frac{1}{I} \left[H - \frac{q}{kI_0} \ln \left(\frac{q}{kI_0} + H \right) \right] \quad (3.1.19)$$

და საბოლოოდ გვექნება

$$x = \frac{H-z}{I} - \frac{q}{kI_0^2} \ln \frac{\frac{q}{kI_0} + H}{\frac{q}{kI_0} + z} \quad (3.1.20)$$

(3.1.16)-ის გათვალისწინებით (3.1.20) დამოკიდებულება მიიღებს შემდეგ სახეს

$$x = \frac{H-z}{I_0} - \frac{z(I-I_0)}{I_0^2} \ln \left(1 + \frac{H-I}{z} \cdot \frac{I_0}{I} \right) \quad (3.1.21)$$

როცა $I=I_0$ მაშინ დეპრესიის “მრუდი” განისაზღვრება

$$x = \left(1 - \frac{z}{H} \right) \ell = \frac{H-z}{I_0} \quad (3.1.22)$$

ამ გამოსახულებიდან შეიძლება განისაზღვროს წყალგაჯერების ზღვრული ზედაპირის “კვალი”.

ანალიზი გვიჩვენებს რომ, (3.1.20) დამოკიდებულება განიცდის წყვეტას, როცა $I_0=0$ და როგორც ეს მოსალოდნელი იყო არ გადადის დიუპიუსის განტოლებაში. ვინაიდან ფილტრაციული არე წარმოადგენს განუზღვრელობას, რადგან გვაქვს ერთი განტოლება ორი უცნობით – დაყვანილი ხარჯი q/k და გამოჟონვის სიმაღლე h , ამიტომ საჭიროა დამატებითი პირობების შემოტანა. ამის გამო, დეპრესიის მრუდის განსაზღვრისათვის საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებით ვიძლევიტ სათანადო ინტერპრეტაციას. თუ მხედველობაში მივიღებთ რომ, საწყის გრადიენტის გავლენით ეცემა დეპრესიის მრუდი და ამასთანავე მცირდება ფილტრაციული ხარჯი, ხოლო თავისუფალი ზედაპირი შეიძლება ჩაიწეროს მეორე რიგის პარაბოლით, მაშინ ნებისმიერ სადაწნეო წახნაგიდან x მანძილით დაშორებულ კვეთში ხვედრითი ხარჯი განისაზღვრება

$$q = k \left(\frac{H - z}{x} - I_0 \right) \frac{H + z}{2} \quad (3.1.23.)$$

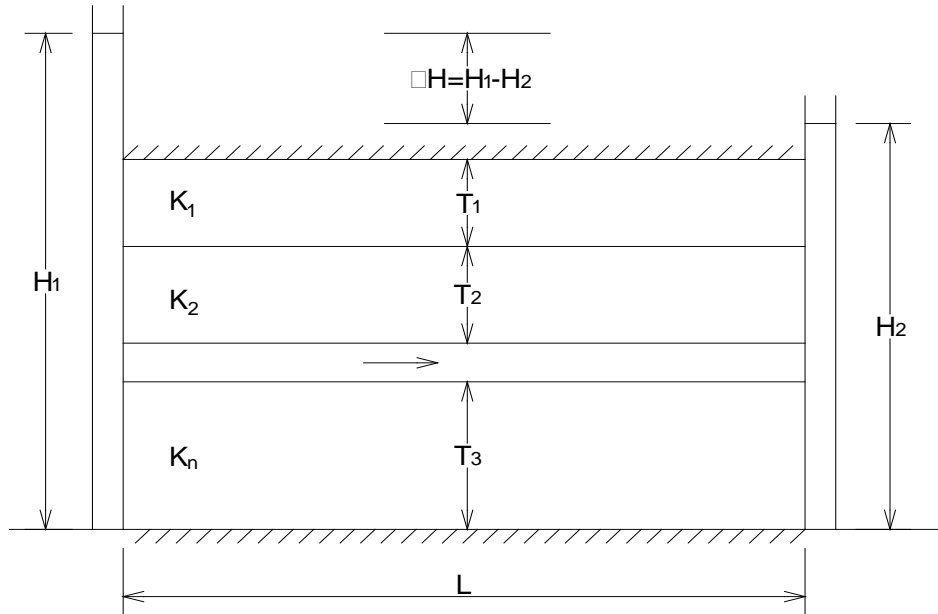
საიდანაც

$$x = \frac{H^2 - z^2}{2q/k + I_0(H + z)} \quad (3.1.24.)$$

ეს უკანასკნელი დამოკიდებულება შეიძლება გამოყენებულ იქნას პრაქტიკული საიჟინრო ამოცანების გადაწყვეტისას დეპრესიის მრუდის ასაგებად ფილტრაციის საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებით. როცა $I_0=0$, ის გადადის დიუპიუსის განტოლებაში. აგრეთვე შევნიშნავთ რომ ანალიზური თვალსაზრისით (3.1.24) უფრო მკაცრია (3.1.20) შედარებით და გამორიცხავს გაანგარიშების სირთულეს.

პარქტიკაში ხშირია შემთხვევები, რიდესაც ფილტრაციის არე არ წარმოადგენს ერთგვაროვან იზოტროპიულ გარემოს და ის შედგება სხვადასხვა ფილტრაციული თვისებების მქონე შრეებისაგან, რომლებიც

განლაგებულნი არიან ნაკადის მოძრაობის ვექტორის პარალელურად ან კიდევ მის მართებულად. განვიხილავთ ნახ. 19 ნაჩვენები ფილტრაციულ დინებას შრეების განლაგების გასწვრივ (ბრყელი ამოცანის პირობებში).



ნახ 19 ფილტრაცია შრეების გასწვრივ

გრუნტი წარმოდგენილია ჰორიზონტალურად განლაგებული ურთიერთპარალელური შრეებით, რომელთა სიმძლავრეებია: T_1, T_2, \dots, T_n , ხოლო ფილტრაციის კოეფიციენტები შესაბამისად: k_1, k_2, \dots, k_n , პირველ და ბოლო შრეს ზღუდავს წყალგაუმტარი სხეულის ზედაპირები. განშრეების მიმართულებით ცალკეულ შრეში გამავალი ხარჯი ერთეულ სიგანეზე გამოითვლება

$$q_i = -k_i \frac{H_2 - H_1}{L} \quad (3.1.25)$$

სადაც H_1, H_2 – დაწნეების საწყისი და ბოლო კვეთები;

L – ფილტრაციის გზა.

ფილტრაციის ხვედრითი ხარჯის ნაკადის მთელ სიგრძეზე

$$Q = \sum k_i T_i \frac{H_1 - H_2}{\ell} \quad (3.1.26)$$

თუ Q ხარჯს გავყოფთ განიკვევთის ფართზე მივიღებთ ფილტრაციის სიჩქარეს V ერთეულ სიგანეზე ცოცხალი კვეთის ფართობი Ω რიცხობრივად უდრის ნაკადის სიღრმეს

$$\Omega = 1 \sum_{i=1}^n T_i = T \quad (3.1.27)$$

ამიტომ ფილტრაციული ნაკადის საშუალო სიჩქარე იქნება

$$V = \frac{\sum k_i T_i}{T} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (3.1.28)$$

ამ

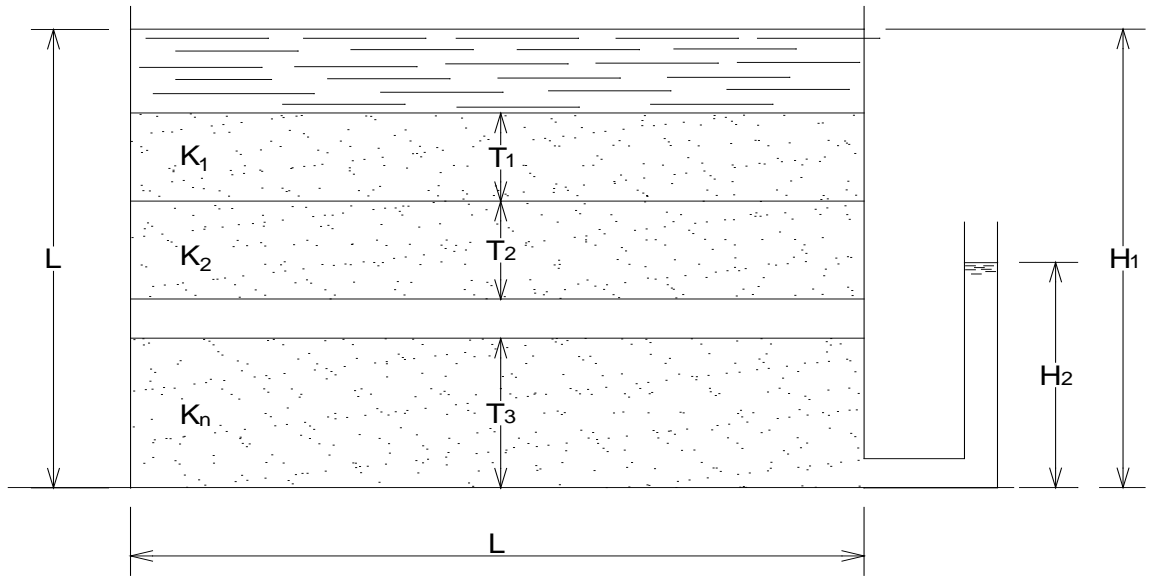
$$V = k \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (3.1.29)$$

სადაც

$$k = \frac{\sum k_i T_i}{T} \quad (3.1.30)$$

k - შეიძლება ვუწოდოთ ექვივალენტური ფილტრაციის კოეფიციენტი, რომელიც არის ცალკეული შრეების მიხედვით ფილტრაციის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილი მნიშვნელობა. მრავალშრიან გარემოში ფილტრაცია მიმდინარეობს ისე როდგორც ერთგვაროვან გრუნტებში, გასაშუალებელი შეწონილი ფილტრაციის კოეფიციენტით.

ახლა განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც გრუნტის შრეები განლაგებულია ფილტრაციული ნაკადის მიმართველი ვექტორის ორთოგონალურად. დაუშვათ რომ, ფილტრაცია ისეთივე თვისებების გრუნტში მიმდინარეობს, როგორც იყო წინა შემთხვევაში, მაგრამ მოძრაობის სიჩქარე განშრეების მიმართულებასთან ვერტიკალზე, ადგენს მართ კუთხეს. საანგარიშო სქემა ნაჩვენებია ნახ. 20-ზე.



ნახ. 20 ფილტრაცია შრეების მართობულად

ზედა პირველი შრის ზედაპირზე დაწნევა უდრის H_1 ხოლო ქვედა შრეში – დაწნევა არის H_2 . გრუნტის გამყოფ ზედაპირზე დაწნევა ალვნიშნით შესაბამისად h_1, h_2, \dots, h_n , ისე რომ i შრის ფუძეზე დაწნევა იყოს h_i .

ცალკეული შრეებისათვის ვსარგებლობთ ფილტრაციის ხაზოვანი დარსის კანონით და სიჩქარეს ყოველ i შრეში ალვნიშნავთ v_i ჩვენს შემთხვევაში გვექნება

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= -k \frac{h_1 - H_1}{\ell_1} \\ V_i &= -k_i \frac{h_i - H_{i-1}}{\ell_i} \\ V_n &= -k_n \frac{h_n - H_{n-1}}{\ell_n} \end{aligned} \right\} \quad (3.1.31)$$

ყველა ეს V_1, V_i, V_n სიჩქარეები ერთმანეთის ტოლია, რადგან წყალი ითვლება უკუმშვად სხეულად, ხოლო მოძრაობა ერთგანზომილებიანია, ამიტომ უწყვეტობის განტოლება ყველა კვეთში იძლევა სიჩქარის

მნიშვნელობის მუდმივობას. თუ ერთმანეთს გავუტოლებთ (3.1.31) გამოსახულებას, მივიღებთ $n-1$ განტოლებას, $n-1$ უცნობით h_1, h_2, \dots, h_{n-1} . ქვემოთ მოყვანილი განტოლებიდან პირველი მათგანის იგივეობა ავიღეთ გამოთვლების გასამარტივებლად:

$$\begin{aligned} \alpha_1(h_1 - H_1) &= \alpha_1(h_1 - h_1), \\ \alpha_2(h_1 - H_1) &= \alpha_1(h_2 - h_1), \\ \alpha_3(h_1 - H_1) &= \alpha_1(h_3 - h_2), \\ &\dots\dots\dots \\ \alpha_n(h_1 - H_1) &= \alpha_1(H_2 - h_{n-1}), \end{aligned}$$

სადაც $\alpha = \ell_i / k_i$, თუ შევკრებთ ამ განტოლების მარჯვენა და მარცხენა ნაწილებს ცალცალკე, მივიღებთ

$$(\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n)(h_1 - H_1) = \alpha_1(H_2 - H_1)$$

შესაბამისად უველა v_i -სათვის გვექნება

$$v_i = -\frac{h_1 - H_1}{\alpha_1} = -\frac{H_2 - H_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n} \quad (3.1.32)$$

ნებისმიერი შრისათვის სიჩქარის საერთო გამოსახულება იქნება

$$V = \frac{H_1 - H_2}{\frac{\ell_1}{k_1} + \frac{\ell_2}{k_2} + \dots + \frac{\ell_n}{k_n}} \quad (3.1.33)$$

შეიძლება სიჩქარის ეს გამოსახულება დავიყვანოთ გრუნტის ნებისმიერ შრემდე, ასე მაგალითად ზედა პირველი შრისათვის ის ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$V = k_1 \frac{H_1 - H_2}{L}, L = \ell_1 + \frac{k_1}{k_2} \ell_2 + \dots + \frac{k_1}{k_n} \ell_n \quad (3.1.34)$$

L წარმოადგენს ექვივალენტურ ან ფილტრაციის გზის დაყვანილ სიგრძეს. შესაძლებელია (3.1.34) ფორმულის სხვანაირი ინტერპრეტაცია, თუ გავითავლისწინებთ რომ,

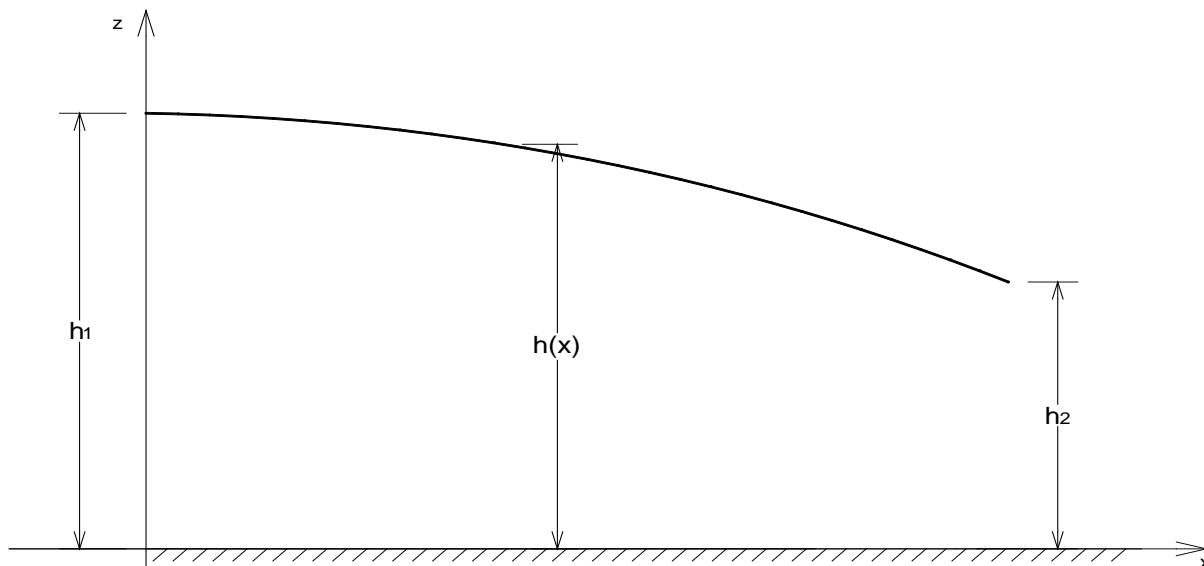
$$\frac{\ell_1}{k_1} + \frac{\ell_2}{k_2} + \dots + \frac{\ell_n}{k_n} = \frac{L}{k} \quad (3.1.35)$$

მაშინ

$$V = k \frac{H_1 - H_2}{L}, k = \frac{L}{\frac{\ell_1}{k_1} + \frac{\ell_2}{k_2} + \dots + \frac{\ell_n}{k_n}} \quad (3.1.36)$$

აქ k ფილტრაციის დაყვანილი კოეფიციენტი, რომელიც იძლევა ისეთივე სიჩქარეს, რასაც არაერთგვაროვანი გრუნტის სიმძლავრე (სისქე), ერთგვაროვანი შრისათვის მიღებული სიჩქარით, რომლის სისქე არაერთგვაროვანი შრის საერთო სიგრძის ტოლია.

გრუნტის წყლის ძრაობის ამოცანას წყალგამტარ შრეზე განვიხილავთ ნახ.21 მოცემულ სქემის მიხედვით



ნახ. 21 ფილტრაციის ბრტყელი ამოცანა წყალგამტარ შრეზე სათავიდან x მანძილით დაშორება კვეთში, ხვედრითი ხარჯი

$$q = -kh \frac{dh}{dx} \quad (3.1.37)$$

ამ განტოლების ინტეგრება, (x_1, h_1) და (x_2, h_2) წერტილების კოორდინატების ჩასმა და სათანადო გარდაქმნები გვაძლევს

$$q = \frac{k(h_1^2 - h_2^2)}{2(x_2 - x_1)} \quad (3.1.38)$$

გრუნტის წყლების მოძრაობის თეორიაში სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელი მხედველობაში არ მიიღება, მაგრამ შეიძლება მივუთითოთ ვერტიკალური სიჩქარეების გათვალისწინების მიახლოებით მეთოდზე. თუ უწყვეტობის განტოლებას

$$\frac{du}{dx} + \frac{d\omega}{dz} = 0 \quad (3.1.39)$$

გავაინტეგრებთ z -ით და მხედველობაში ვიქონიებთ, რომ u არის ფუნქცია, მხოლოდ x -ის, განსაზღვრული განტოლებით $H = -k \frac{dh}{dx}$ და როცა $z=0$, ვერტიკალური სიჩქარე უდრის ნულს, მაშინ გვექნება

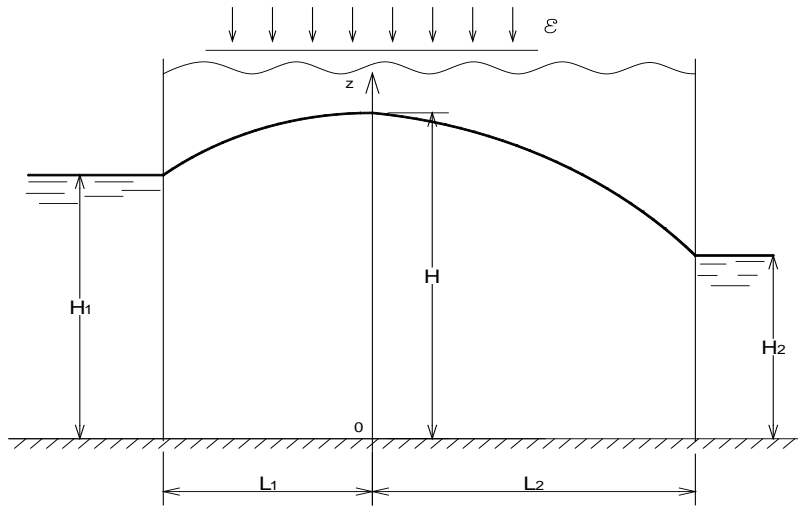
$$w = -\int_0^z \frac{du}{dx} dz = k \int_0^z \frac{d^2 h}{dx^2} dz \quad (3.1.40)$$

რადგან $\frac{d^2 h}{dx^2} = -\frac{q^2}{k^2 h^3}$, ამიტომ $w = -\frac{q^2 z}{kh^3}$, თავისუფლად ზედაპირზე, სადაც $z=h$, გვექნება

$$w = -k \frac{q^2}{kh^2} = -k \left(\frac{q}{kh} \right)^2 \quad (3.1.41)$$

აქედან ჩანს, რომ წყალგაუმტარ შრეზე ვერტიკალური სიჩქარე უარყოფითია და მისი სიდიდე სიმაღლის პროპორციულია.

ახლა შევისწავლოთ თავისუფალი ზედაპირი, როდესაც ხდება იფილტრაცია ან აორთქლება. დაუშვათ რომ, ფილტრაცია მიმდინარეობს გრუნტის სწორკუთხა მასივში ნახ. 22.



ნახ. 22 თავისუფალი ზედაპირი ინფილტრაციის პირობებში

წყლის აუზიდან სიღრმით H_1 გადადინება ხდება აუზში წყლის სიღრმით H_2 , ხოლო თავისუფალ ზედაპირზე შემოედინება ინფილტრაციული ხარჯი.

ანალიზურად მიღებულია [10]

$$z^2 + \frac{\xi}{k} x^2 = H_2 \quad (3.1.42)$$

თუ მივიღებთ $x=-L_1, h=H_1$ და $x=-L_2, h=H_2$ ამიტომ შესაბამისად გვექნება დამოკიდებულება

$$\left. \begin{aligned} H_1^2 + \frac{\xi}{k} L_1^2 &= H^2 \\ H_2^2 + \frac{\xi}{k} L_2^2 &= H^2 \end{aligned} \right\} \quad (3.1.43)$$

თუ აღვნიშნავთ წყალმიმღებს შორის მანძილს L -ით მაშინ გვექნება

$$L_1 + L_2 = L \quad (3.1.44)$$

ორი განტოლება (3.1.43) და (3.1.44), რომეშიც შედის L_1, H_1 და H_2 საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ L_1, L_2 და H .

ანალოგიურად შეიძლება გადავწყვიტოთ საკითხი აორთქლების შემთხვევაში, მაგრამ შემდეგი ანალიზური თვალსაზრისით მკვეთრად განსხვავებულია.

3.2. ნიადაგ-გრუნტების ფილტრაციული მდგრადობის კრიტერიუმები

გრუნტის წონასწორობის პირობების დადგენა მიწისქვეშა ნაკადების ზემოქმედებით საინჟინრო გეოლოგიისა და გრუნტმცოდნეობის ერთერთი ძირითადი ამოცანაა.

მეწყერის წარმოშობა ხშირ შემთხვევაში დაკავშირებულია გრუნტის მასიდან ფილტრაციული ნაკადების მიერ წვრილი ფრაქციების გამოტანასთან. გარკვეულ პირობებში მიწისქვეშა ნაკადები მაღალი გრადიენტებით იწვევენ გრუნტის ტანიდან მცირე ნაწილაკების მექანიკურ სუფოზიას და ამ პროცესის პროგრესიული განვითარება წარმოადგენს საშიშროებას ნაგებობის ფუძის გამორეცხვისათვის, რაც არცთუ ისე იშვიათად ავარიული დეფორმაციების წარმოშობის მიზეზი ხდება.

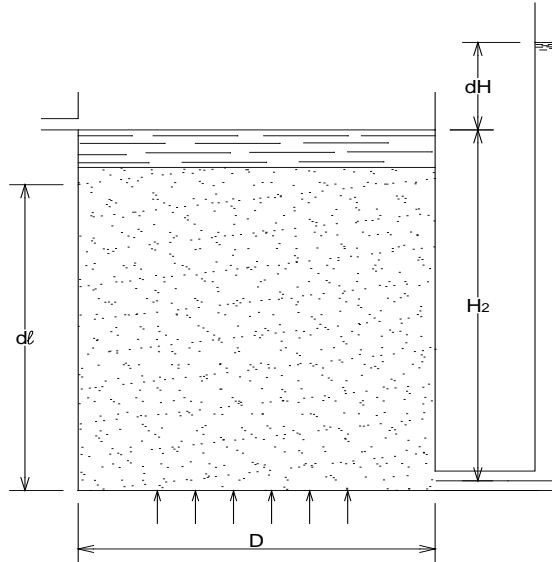
სუფოზიისადმი დიდ დამყოლობა ახასიათებთ ისეთ გრუნტებს, რომელთა შემადგენელი ნაწილაკები არ არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული ბმულობის ძალებით, ასე მაგალითად, წვრილმარცვლოვანი ქვიშები. მაგრამ, საჭიროა მხედველობაში ვიქონიოთ, რომ ბუნებრივ პირობებში, განსაკუთრებით წვრილი ქვიშის ფრაქციებისასიათდებიან ურთიერთშეჭიდულობის თვისებებით, რაც განპირობებულია წყლის თხელი აფსკების “ცემენტაციის” უნარით, გამყოფ ზედაპირზე ელექტრო-ქიმიური პოტენციალის წარმოშობის გამო, [39.48].

სედიმენტაციის პროცესის წვრილი ქვიშების იწვევს მათ “შემკვრივებას” ისეთი ხარისხით, რომ ფორებში არსებული მოდიფიცირებული წყალი მონოლითურობას ანიჭებს გრუნტის მასას [67.71.72.96]. ეს კარგად ჩანს ესპერიმენტებში, კერძოდ წვრილფრაქციული ქვიშის შინაგანი ხახუნის კუთხის მაგალითზე. მაშრალ მდგომარეობაში, ქვიშის ნაყარის ზედაპირზე კვალი კასეტაში სწორი ხაზით აისახება და საკმარისია მისი დასველება, რომ მკაფიოდ გამოიხატოს, კედელთან შეხების წერილიდან ზედაპირის მრუდხაზოვანი უბანი. ეს მიანიშნებს, ბმულობის ხვედრითი ძალის არსებობაზე, იმის ანალოგიურად, რაც ახასიათებთ ბმული სტრუქტურულ-მარცვლოვან სისტემებს.

ამის გამო, ხშირია არა თუ ადგილი აქვს ნაწილაკების გამოტანას, არამედ არ ხდება ჰიდროსტატიკური წნევის გადაცემა, ირღვევა ჰიდრავლიკური კავშირი და გრუნტის მთელი შრე იწყებს შეტივნარებას, ანალოგიურად ღრუტანიანი მყარი გარსებისა არქიმედეს ძალის ზეგავლენით. ასეთი საკითხების და კონკრეტული ამოცანების განხილვა სპეციალური კვლევის საგანს წარმოადგენს და ჩვენ შემოვიფარგლებით მხოლოდ იმის აღნიშვნით, რომ მას უმალო კავშირი გააჩნია საწყისი გრადიენტის წარმოშობის მექანიზმთან. ამიტომ ჩვენ განვიხილავთ, მხოლოდ ისეთი ფხვიერი გრუნტებს, რომელთა შემადგენელი მყარი მარცვლების წონასწორობა დამოკიდებულია მათ წონაზე და ჰიდროდინამიკური (ფილტრაციული) ძალის ურთიერთქმედებაზე.

როგორც აღვნიშნეთ ფხვიერი გრუნტის ტანიდან ნაწილაკების გამოტანის ალბათობა დამოკიდებულია თვით ნაწილაკების (აგრეგატების) საკუთარ წინაზე და ფილტრაციული ნაკადის მოქმედი გრადიენტის სიდიდეზე.

განვიხილოთ, გრადიენტის რაღაც ელემენტარული მოცულობის წონასწორობა ნახ. 23 ნაჩვენები სქემის მიხედვით.



ნახ. 23 აღმავალი ნაკადით გრუნტის შეტივანარების საანგარიშო სქემა

დაუშვათ რომ, ზემოთ მიმართული ნაკადის dl მანძილზე დაწნევის კარგვა შეადგენს dH , მაშინ მოქმედი გრადიენტი ტოლი იქნება $I = \frac{dH}{dl}$,

ხოლო შემატივანარებელი ძალა

$$dF = d\omega \cdot dH\gamma_0 \quad (3.2.1)$$

სხეულის ელემენტარული მოცულობის წონა წყალში, შემატივანარებელი ძალის გათვალისწინებით ტოლი იქნება

$$dG = d\omega \cdot dl(\gamma - \gamma_0)(1 - n) \quad (3.2.2)$$

(3.2.1) და (3.2.2) მიღებულია აღნიშვნები γ_1 გრუნტის კუთრი წონა აბოლუტურად მშრალ მდგომარეობაში (ნიმუში გამომშრალი ელექტრო ღუმელში 104⁰c); γ_0 წყლის კუთრი წონა, n - მოცულობითი (ფარდობითი) ფორიანობა, რომელიც გამოითვლება: $n = \frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma}$, სადაც γ -გრუნტის კუთრი

წონა ფორების გარეშე. ზვრული წინასწორობის პირობა, (3.2.1) და (3.2.2) ფორმულების გამოყენებით გამოითვლება შემდეგნაირად

$$d\omega dH\gamma_0 = d\omega d\ell(\gamma - \gamma_0)(1 - n) \quad (3.2.3)$$

საიდანაც კრიტიკული გრადიენტის მნიშვნელობა, რომელიც შეესაბამება გრუნტის ზღვრულ წონასწორულ მდგომარეობას განისაზღვრება

$$I_{კრ} = I = \frac{dH}{d\ell} = \frac{(\gamma - \gamma_0)(1 - n)}{\gamma_0} \quad (3.2.4)$$

დანაღეჯი ქანებისათვის და კერძოდ გრუნტების უპირატესი უმრავლესობისათვის γ იცვლება $(2,65 \div 2,75)10^4 \text{ნ/მ}^3$, ანუ საშუალოდ ჩონჩხის კუთრი წონა აიღება $2,7 \cdot 10^4 \text{ნ/მ}^3$ ხოლო წყლის კუთრი წონა ჩვეულებრივად – $1,0 \cdot 10^4 \text{ნ/მ}^3$.

გრუნტის ფაქტიური მოდელისათვის, სფერული ფორმის მარცვლების კუბიკური (ფაშარი) და ჰექსაგონალური (მჭიდრო) განლაგებისათვის, შესაბამისად ფორიანობა n რიცხობრივად ტოლია 0,276 და 0,48 ან შეიძლება ავიღოთ $0,3 \div 0,5$ ფარგლებში.

ამის გათვალისწინებით გრუნტის კუთრი წონა წყალში – $\gamma_{წყ} = (\gamma - \gamma_0)(1 - n)$ იცვლება $(0,8 \div 1,2)10^4 \text{ნ/მ}^3$, აქედან გამომდინარე გრადიენტის რიცხვითი მნიშვნელობის ერთთან მიახლოებაში, გრუნტი შეიძლება აღმოჩნდეს შეტივნარებული და გამოტანილი ჰიდრომექანიკური (ფილტრაციული) ძალის ზემოქმედებით.

დარსის ხაზოვანი კანონის თანახმად

$$V_{კრ} = k I_{კრ} = k \frac{(\gamma - \gamma_0)(1 - n)}{\gamma_0} \quad (3.2.5)$$

თუ მივიღებთ, რომ $\gamma_{\text{ფ}} = (\gamma - \gamma_0)(1 - n) = \gamma_0$, რაც ნიშნავს, $\gamma_{\text{ფ}}$ ავიღეთ $(0,8 \div 1,2) \cdot 10^{45} / \text{მ}^3$, მნიშვნელობის საშუალო სიდიდის $\sim 1,0 \cdot 10^{45} / \text{მ}^3$. ტოლად, რაც იგივეა ის უდრის γ_0 -ს, მაშინ (3.2.5)-ის მიხედვით, გვექნება

$$V_{\text{კრ}} = k \quad (3.2.6)$$

ე.ი. კრიტიკული სიჩქარე რომელიმე ერთგვაროვანი გრუნტისათვის უხეში მიახლოებით, რიცხობრივად ტოლია ფილტრაციის კოეფიციენტის. მიღებული შედეგები ეფუძნება წყალში ნაწილაკის წონის შედარებას მოქმედ დაწნევასთან, მაგრამ ხშირად საჭიროა ასევე გათვალისწინებულ იქნას ნაწილაკის ზომაც. ამ უკანასკნელი ფაქტორის გავლენა ასახულ იქნა წონასწორობის შემდეგ კრიტერიუმში [83].

$$I_{\text{კ}} = \bar{d} \quad (3.2.7)$$

სადაც \bar{d} – ნაწილაკის საშუალო დიამტრი, რომელიც მერყეობს $0,25 \cdot 10^{-3} \div 1,0 \cdot 10^{-3}$ მ-ის ფარგლებში. ბუნებრივ პირობებში ასეთი მაღალი ექვივალენტური სიჩქარე შეიძლება დაფიქსირდეს ფერდობზე მისქევა ნაკადის გამოჟონვის ზონაში. ასეთ მდგომარეობაში შეიძლება აღმოჩნდეს გრუნტის ნაწილაკები როდესაც ხელოვნურად ირღვევა ნაკადის რეჟიმი, განსაკუთრებით სადაწნეო ნაგებობის მხარეზე ქვედა ბიეფში, სადაც ჰიდრავლიკური გრადიენტი ყოველთვის გაზრდილია. ანალო-გიურ პირობებში იმყოფებიან მსხვილმარცვლოვანი, მაგალითად ხრეში-სა და წვრილი ქვიშის საკონტაქტო ზონები. ჩვეულებრივად ასეთი შრეებისათვის ინდივიდუალურად ინიშნება დასაშვები სიჩქარეები გრანულომეტრიული შედგენილობის კუმულაციური მრუდის მიხედვით. კონტაქტის ზონაში დასაშვები სიჩქარე განისაზღვრება მსხვილი გრანულის შესაბამისად და ის შეიძლება იყოს კრიტიკულ სიდიდეზე მაღალი წვრილი ნაწილაკებისათვის. ეს საკითხი როგორც გვიჩვენებს ჰიდროტექნიკური

მშენებლობის პრაქტიკა, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გრუნტის ზღუდარების აგებისას, როცა ტექნიკო-ეკონო-მიკური მაჩვენებლებით და სამუშაოთა წარმოების დაჩქარების მიზნით გამოიყენება არა გრანულირებული მდინარის ნატანი. ანალოგიური მი-ზეზით, დაბალი გრადიენტების (შესაბამისად დაბალი ფილტრაციული სიჩქარეების) შემთხვევაში შეიძლება დაიწყოს უმცირესი ნაწილაკების მექანიკური სუფოზია არაბმული (ფხვიერი) გრუნტის ტანიდან.

ცალკეული ნაწილაკების გამოტანის საკითხი დღეისათვის არ შეიძლება გადაწყვეტილად ჩაითავლოს და ის კვლევის სტადიაში იმყოფება. მიუხედავად ამისა ექსპერიმენტული მონაცემების ალბათურ-სტატისტიკური დამუშავებით დადგენილია გარკვეული ემპირიული კავშირი კრიტიკულ სიჩქარესა და გრუნტის ფრაქციების გასაშუალებელ ზომებს შორის გოლდშტეინი. სპეციალურ კვლევებში მიღებული შედეგები, შეიძლება მართებულად მივიჩნიოთ მხოლოდ ანალოგიური გრანულომეტრიული შედგენილობისა და ნაგებობის ისეთი ფრაგმენტებისათვის, რომლებიც ერთი და იგივე სასაზღვრო პირობებით იზღუდებიან. კრიტიკული სიჩქარის საიმედო მნიშვნელობის დასადგენად აუცილებელია, ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში სპეციალური ცდების ჩატარება.

კვლევებმა აჩვენა რომ თაბაშირის გრუნტების მდგრადობა განისაზღვრება მისი თვისებების კომპლექსით, რომელთა შორის განსაკუთრებული მნიშვნელობა გააჩნია გრუნტის სიმკვრივესა და დამარილიანების ხარისხს. სუფოზიური მდგრადობის თვალსაზრისით თაბაშირიანი გრუნტი დაყოფილია ორ ტიპად:

1. მდგრადი გრუნტები, თაბაშირიანი შეცულობით 10%-მდე აბსოლუტურად მშრალი გრუნტის წონიდან, როცა თაბაშირი შედის ბმული წყლისა და ჩონჩხის შორისეთების სივრცეში სუფოზიურად არამდგრადი გრუნტები, თაბაშირის შეცულობით, მშრალი გრუნტის წონიდან 10%-მდე რაოდენობით და მყარი სედიმენტაციის სახით განლაგებულია ჩონჩხის შორისეთებში. პირველი ტიპის გრუნტებში თაბაშირის გამოტანა იწვევს ფილტრაციის კოეფიციენტის გაზრდას. ეს ურთულესი პროცესი მიმდინარეობს სამ ეტაპად: ინტენსიური, შენელებული და სტაციონალური.

2. გრუნტის მეორე ტიპში უკვე პირველ სტადიაზე შეინიშნება მექანიკური სუფოზია. ფილტრაციის თავმოყრილი (შეყურსული) გზით და შემდგომი შიგა “გარეცხვით”. ამასთან ერთად ფილტრაციის კოეფიციენტის გაზრდა, რომელიც ეთანადება მექანიკური სუფოზიის საწყის სტადიას და აღინიშნება შემცირების ტენდენციით თაბაშირის კონცენტრაციის ზრდის კვალობაზე.

3. თაბაშირის განმარილიანების დროის განსაზღვრისათვის მიღებულია შემდეგი დამოკიდებულება

$$t = \frac{Q}{\omega H} \left[\frac{\ell}{k_0} + \frac{cQ}{2P_0\omega} \left(\frac{1}{k_s} - \frac{1}{k_0} \right) \right] \quad (3.2.8)$$

სადაც t – ფილტრაციის დრო;

Q – ფილტრაციული ხარჯი;

ω – განივკვეთის ფართობი;

k_0 – საწყისი ფილტრაციის კოეფიციენტი;

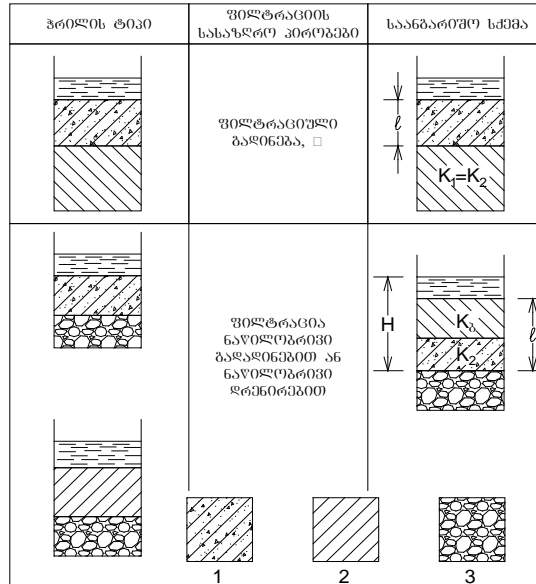
ℓ – ფილტრაციის გზა;

P_0 – მარილის კონცენტრაცია;

c _ თაბაშირის ხსნადობა;

k_b _ სრული განმარილიანების ფილტრაციის კოეფიციენტი;

ფილტრაციის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ 24.



ნახ. 24 შრეების განლაგება და ფილტრატის ჰიდროგეოლოგიური სქემა

შრის პირობითი აღნიშვნა: 1 _ თაბაშირიანი; 2 _ წყალმდევეი; 3 _ დრენირებული;

თაბაშირით დამარილიანების მაღალი ხარისხით (სავარაუდო 10% მეტი) D k_0 შედარებით გაცილებით დიდია, ამიტომ $1/k_b$ ამიტომ პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის (3.2.8) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$t = \frac{Q}{k\omega H} \left(\ell - \frac{cQ}{2P_0\omega} \right) \quad (3.2.9)$$

ფილტრაცია უსასრულობაში, როცა ხარჯი პრაქტიკულად მუდმივია, გამოტუტვის ხანგრძლივობა განისაზღვრება

$$t = \frac{Q}{k_0\omega H} \left(\ell - \frac{cQ}{2P_0\omega} \right) \quad (3.2.10)$$

მოყვანილი ფორმულები საშუალებას იძლევიან განვსაზღვოთ ფილტრაციის კოეფიციენტის ცვალებადობა დროის გარკვეულ

ინტერვალში და აგრეთვე გამოვთვალოთ განმარტივების სიმძლავრე. ასევე შეიძლება განვსაზღვროთ თაბაშირის რაოდენობა, რომელიც ავსებს მარილების მარაგს გრუნტის წყალში.

აქ ჩვენ განვიხილეთ მარილების ხსნადობა ფილტრაციული ნაკადის უშუალო კონტაქტით მონერალური ნაწილაკების ზედაპირებთან. მაგრამ ამასთანავე ბუნებაში მიმდინარეობს გამოტუტვის პროცესი არა უშუალოდ შეხებით ნაკადისა ნაწილაკებთან, არამედ მიმდინარეობს თვითნებური დიფუზია გრუნტის სხვადასხვა უბნებში მარილების კონცენტრაციის გრადიენტით, რაც იწვევს მყარი ნაწილისა და ფოროვანი წყლის შემადგენლობის ცვალებადობას.

დიფუზიური ხსნადობა განსაკუთრებით მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ თიხებში, რომლებიც შეიცავენ ბმული და იმობილიზაციური წყლის დიდ რაოდენობას და ხასიათდებიან მეტად დაბალი წყალგამტარობით. მათში ხსნადი მარილის გადატანა ფილტრაციისას, იმავე რიგის ან უფრო ნაკლები დიფუზიასთან შედარებით. დიფუზიური გადატანის პროცესი აიწერება ერგანზომილებიანი დინებისათვის შემდეგი კანონით [79.94]

$$dm = -D \frac{dc}{dl} S dt \quad (3.2.11)$$

სადაც m – დიფუნდირებული ნივთიერების რაოდენობა;

dc/dl – კონცენტრაციის გრადიენტი;

s – კვეთის ფართობი;

t – დუფუზიის ხანგრძლივობა;

D – დიფუზიის კოეფიციენტი;

დიფუზიის კოეფიციენტი ყოველი გრუნტის სახეობისათვის დგინდება ექსპერიმენტულად (3.2.11) განტოლების მიხედვით სასაზღვრო პირობების შესაბამისად თიხა ნიადაგ-გრუნტისათვის პლასტიკური კონსისტენციით. მიუხედავად გრანულომეტრიული-მინერალოგიური შედგენილობისა და სიმკვრივისა, დიფუზიის კოეფიციენტი შემდეგი რიგისაა $(5\div 10)10^{-13}\text{მ}^2/\text{წმ}$, ტენიანობის დონეზე ეცემა $10^{-16}\text{მ}^2/\text{წმ}$ ამიტომ პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტისას მხედველობაში არ მიიღება. ასეთი ზოგადი ხასიათის დასკვნები მხოლოდ ხარიხობრივად ახასიათებენ გრუნტებში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების ფართო გამას და მათ მხოლოდ ფენომენოლოგიური დანიშნულება გააჩნია. საირიგაციო მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პრაქტიკისათვის გაცილებით დიდი მნიშვნელობა აქვს იმ პროცესების შესწავლას რომლებიც მიმდინარეობს გრუნტების დასველებისას და გამოიხატება განსაკუთრებული ტიპის დეფორმაციებში ე.წ. ჯდენადობა. ხშირად ჯდენადობა გაიგივებულია მექანიკური ან ქიმიური სუფოზიის პროცესთან, თუმცა შეიძლება ითქვას ამ პროცესებს შორის გარკვეული ანალოგია არსებობს დეფორმაციის რაოდენობრივი შეფასების თვალსაზრისით. ასე მაგალითად, თუ წარმოვიდგენთ რომ ფუნდირებული ნაგებობა იწვევს გრადიენტების და შესაბამისად ფილტრაციის სიჩქარის შეცვლას, ნაკადის ცოცხალი კვეთის შემცირების ხარჯზე, მაშინ როცა სიჩქარე ან გრადიენტი გადააჭარბებს (3.2.6) და (3.2.7) ფორმულებით განსაზღვრულ სიდიდეს, მოცემული გრანულომეტრიული შედგენილობის გრუნტისათვის, ცხადია, დეფორმაციის პროგნოზი დროში სავსებით შესაძლებელი ხდება.

სხვადასხვა სახის დეფორმაცია, სხვადასხვა კატეგორიის გრუნტებისათვის, და მათ შორის ზედაპირული ეროზიაც, როგორც წესი,

მიმდინარეობს მდორედ, დამოკიდებულია მეტეოროლოგიურ ფაქტორებზე, მაგრამ ცალსახად უკავშირდება წყალთან პასიურ ურთიერთქმედებას [106].

სტრუქტურულ არამდგრად ჯდენადი გრუნტების ფიზიკო-მექანიკურ თვისებათა თავისებურებანი განაპირობებენ მათ ქცევას დატვირთვების ზემოქმედებით. გრუნტები დამატებითი დატვირთვების ზემოქმედებით, შეიძლება აღმოჩნდნენ სტრუქტურულად არამდგრად მდგომარეობაში და წინამდებარე პროცესში წარმოშობილი კავშირების სრული ლიკვიდაციით განიცადონ მნიშვნელოვანი ჯდენა. ჩვეულებრივი ლიოსისებური გრუნტების სიმტკიცობრივ-დეფორმაციული შეფასება ხდება ფარდობითი ჯდენის მაჩვენებლით, რომელიც გამოიხატება შემდეგნაირად

$$\xi = \frac{h_p - h_p'}{h_p} \quad (3.2.12)$$

სადაც h_p – დაუშლელი სტრუქტურის გრუნტის ნიმუშის სიმაღლე, რომლის გამოცდაც ხდება P წნევის ქვეშ, P ხოლო წარმოადგენს გარეგანი და ბუნებრივი წნევების ჯამს.

h_p' – ნიმუშის სიმაღლე, რომელზედაც მოქმედებს სტრუქტურის მრღვევი, რომელიმე ფაქტორი, კერძოდ, კი წყალი თუ $\xi \geq 0,2$, მაშინ ასეთი გრუნტები მიეკუთვნებიან ჯდენად, სტრუქტურულად არამდგრად გრუნტების კატეგორიას.

გარეგანი წნევების ცვალებადობისას (0,4÷0,5)მპა და უფრო მეტი, ფარდობითი ჯდენის მაჩვენებლი წნევისაგან დამოკიდებულებით გამოიხატება

$$\xi = \frac{\beta}{E_0} P^m \quad (3.2.13)$$

სადაც β – პროპორციულობის კოეფიციენტი;

E_0 – გრუნტის დეფორმაციის მოდელი;

m – ხარისხის მაჩვენებელი;

მცირე წნევების შემთხვევაში, ფარდობითი ჯდენა შეიძლება საინჟინრო პრაქტიკისათვის მისაღები სიზუსტით აღწერილ იქნას ხაზოვანი ფუნქციით, ე.ი.

$$\xi = a + bP \quad (3.2.14)$$

სადაც a – საწყისი პარამეტრი ლიოსისებური გრუნტების ჯდენის კოეფიციენტი;

b – წრფივი კავშირის საკუთხო კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს ფარდობით კომპრესიას ჯდენის პროცესში;

ჯდენადი გრუნტების კომპრესიული მრუდების მიხედვით, ადვილად განისაზღვრება

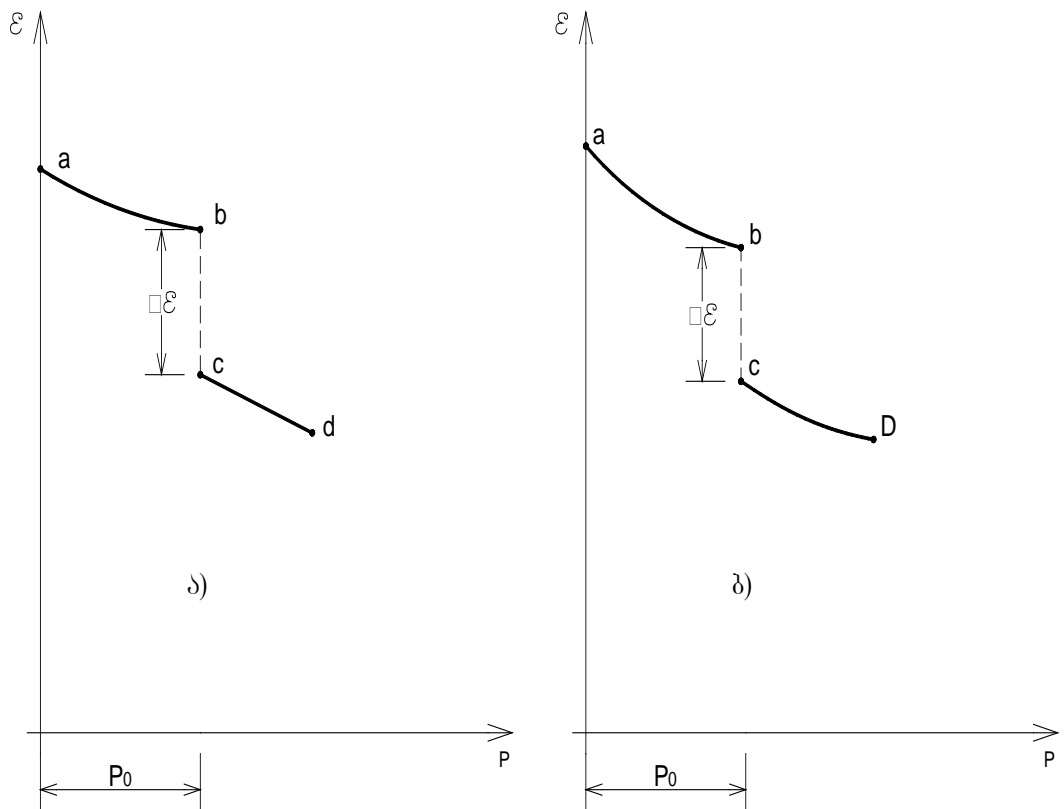
$$\xi = \frac{\Delta l}{1 + l_0} \quad (3.2.15)$$

სადაც, l_0 – გრუნტის საწყისი ფორიანობის კოეფიციენტი (ჯდენაზე);

Δl – გრუნტის ფორიანობის კოეფიციენტის ცვალებადობა

ჯდენის პროცესში;

გრუნტების გამოცდისას ჯდენაზე, ორი სხვადასხვა წნევების პირობებში, ადვილად დგინდება (3.2.16.) განტოლების a და b პარამეტრები. სტურქტურულად არამდგრად გრუნტებს ახასიათებთ ნახ 25 ნაჩვენები ფუნქციის წყვეტა (განმსაზღვრელი ფაქტორებზე მოქმედებით).



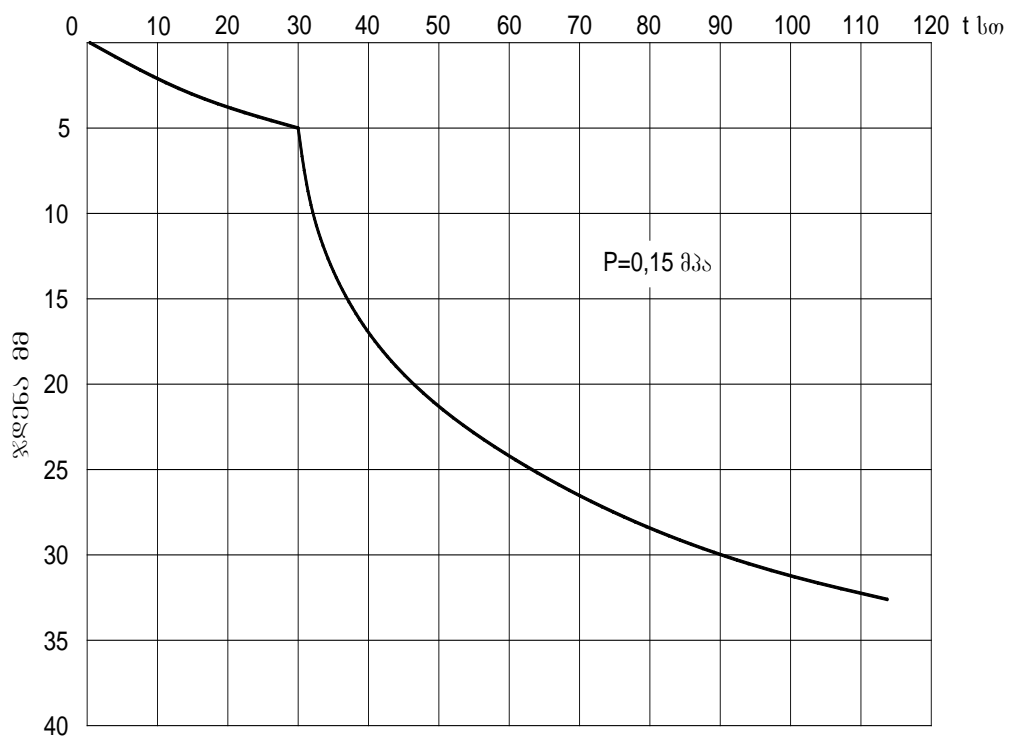
ნახ. 25 სტრუქტურულ არამდგრადი გრუნტების კომპრესია

a _ დატვირთვის ქვეშ; *b* _ ვიბრაციით;

როგორც ნახაზიდან ჩანს ჯდენადი გრუნტებს ახასიათებთ, ჩვეულებრივისაგან განსხვავებით, ფორიანობის ნახტომისებრი ცვალებადობა. კომპრესიულ მრუდებზე გამოვყოფთ სამ უბანს: *ab* _ გრუნტის კუმშვა ხდება სტრუქტურის დაურღვევლად; *bc* _ გრუნტის ჯდენა და *cd* _ გრუნტის კუმშვა დაურღვეველი სტრუქტურული კავშირებით. ამასთანავე უდიდესი ჯდენა გვაქვს მეორე *cd* უბანში. სწორხაზოვანი უბანი გამოხატავს დრეკად, ხოლო მრუდხაზოვანი ნარჩენ დეფორმაციას.

ლიოსისებური გრუნტების ჯდენადობა შეიძლება განისაზღვროს, როგორც კომრესიული ერთღერძა ოდომეტრზე, ასევე საცდელი დატვირთვის ქვეშ, წყლის შეწონვი, რომელიც იწვევს ჯდენის

დეფორმაციის მკვეთრ, ნახტომისებურ ზრდას. აქვე საჭიროა მივუთითოთ იმაზეც, რომ თიხებისათვის მდგრადი სრტუქტურული, ხისტი (არაწყალკოლოიდური) კავშირებით, წყლით დასველებისას, მკვეთრი ჯდომა არ შეინიშნება, მაგრამ გარკვეული გადახრა მონოტონურისაგან მაინც ფიქსირდება. ნახ. 25 მოცემულია ლიოსისებური გრუნტის ჯდენის დინამიკა [106].

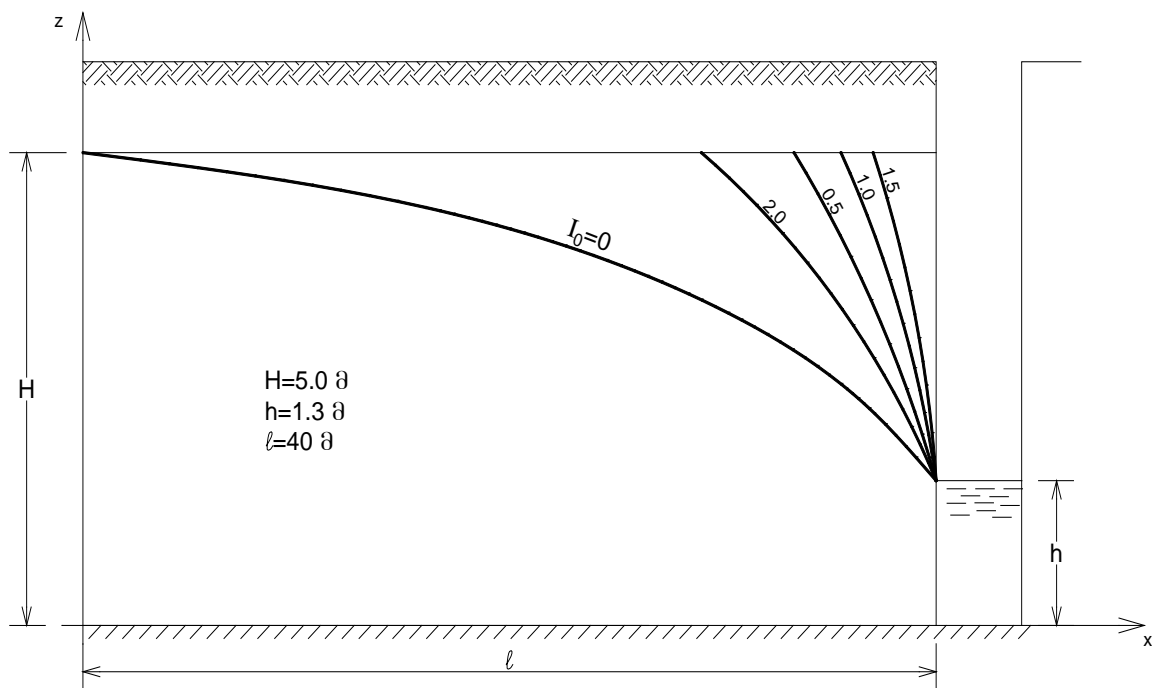


ნახ. 26 ლიოსისებური გრუნტის ჯდენის დინამიკა

ლიოსისებური გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებათა კომპლექსის ცვალებადობა, როგორც არაერთხელ აღვნიშნეთ ზემოთ, წყლის გავლენით ჯდენის პროცესში საკმაოდ მკვეთრია, კერძოდ გრუნტის წინაღობა ძვრის დეფორმაციისადმი მცირდება რამდენიმე რიგით (შინაგანი ხახუნის კუთხე 1,5÷2,0_ჯერ, ბმულობის ხვედრითი ძალა 10 ჯერ), რაც განაპირობებს გრუნტის მზიდუნარიანობის დაქვეითებას და ამობურცვის პროცესების განვითარებას.

ნაგებობათა ფუძეების ჯდენის საწინააღმდეგო პასიურ ღონისძიებებს მიეკუთვნება ფუნდირება ჯდენადი შრის გავლით (თუ ეს ტექნიკურად შესაძლებელია), რაც ძირითადად ხიმინჯოვანი საძირკვლის მოწყობით ხორციელდება - სიღრმით 10-მდე. ჯდენის აღკვეთის აქტიურ ღონისძიებებს მიეკუთვნება ქიმიური მეთოდების, კერძოდ სილიკაცია, ან რაც დღეისათვის საკმაოდ პოპულარულია ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერების გამოყენება ფორების შესავსებად. ამა თუ იმ ტექნოლოგიური მეთოდების გამოყენება, გრუნტის თვისებების რეჟიმის თვისებაზე, სათანადო რეაგენტების ბაზაზე უკავშირდება კონკრეტული ჰიდოგეოლოგიური პირობებში ფილტრაციის კანონზომიერების შესწავლას.

ერთერთ ღონისძიებად მიჩნეულია თავისუფალი დრენირების მეთოდი მაგრამ მისი ეფექტურობა საკმაოდ დაბალია. ამის საილუსტრაციოდ მოვიყვანთ კონკრეტულ გაანგარიშებას (3.1.24) ფორმულის მიხედვით. მივიღოთ $q/k=0,3$ მ, $h=1,0$ მ, $H=5,0$ მ, $l=40$ მ $I_0=0 \div 1,5$ გაანგარიშების შედეგები ილუსტრირებულია ნახ. 27



ნახ. 27 დეპრესიის მრუდის დაცემა საწყისი გრადიენტის მიხედვით

აქ ჩვენ არ შევუდგებით მრავალრიცხოვანი მეთოდების განხილვას, მხოლოდ ავნიშნავთ, რომ ბუნებრივ-ტექნიური ჰიდრომელიორაციული სისტემების ნორმალური ექსპლუატაცია, შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნას მხოლოდ და მხოლოდ ფილტრაციული პროცესების კვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგების რეალიზაციით, რაც თავისუფლად გულისხმობს და განაპირობებს მინიმალური ფილტრაციული ხარჯების ან კიდევ როგორც მას ეძახიან ფილტრაციულ დანაკარგებს მთელ სისტემაში.

თავი. 4 არხებიდან ფილტრატების გავლენა გრუნტის წყლის რეჟიმზე

4.1. ფილტრაციული ხარჯების განსაზღვრა მოსახულ კალაპოტიან არხებიდან

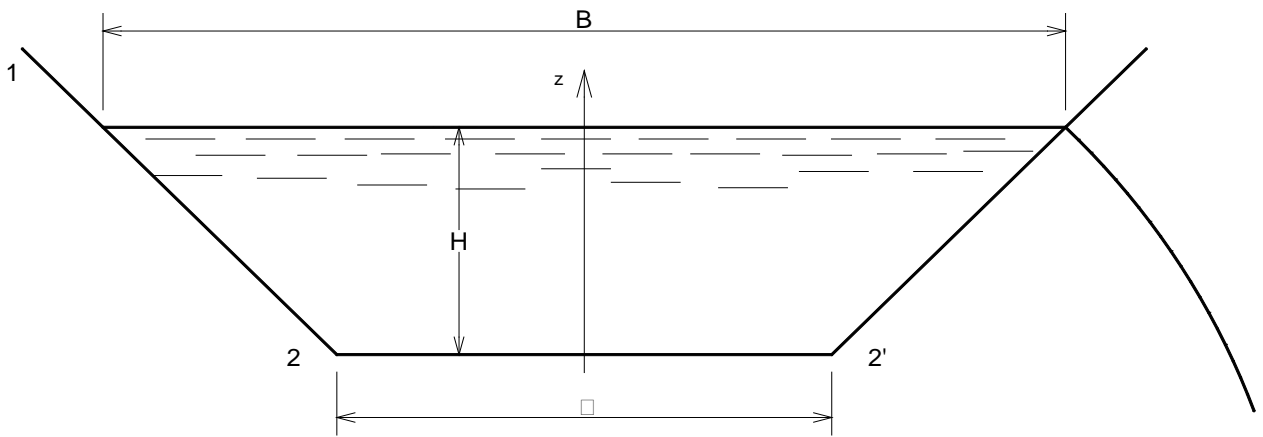
მელიორაციული სისტემების მშენებლობისა და პროექტირებისას ნიადაგ-გრუნტში ტენიანობის დინამიკისა და გრუნტის წყლის რეჟიმის პროგნოზი ემყარება წყლის ბალანსის მეთოდის გამოყენებას.

მუდმივმოქმედ წყალმიმყვან არხებიდან ფილტრაციის ზოგადი ჰიდრომექანიკური გადაწყვეტა, შეუტბორავი (თავისუფალი) ჰიდროგეოლოგიური სქემისათვის პირველად მოცემულ იქნა შრომაში [24], რომელიც შემდგომში წარმოდგენილ იქნა განსხვავებული ინტერპრეტაციით [89].

ასევე შეტბორილი ჰიდროგეოლოგიური სქემისათვის [5,] არხში უსასრულოდ მცირე წყლის სიღრმით რეალიზებული იქნა ტრაპეციული

კვეთის არხიდან ფილტრაციული ხარჯის განსაზღვრა. ეს საანგარიშო მოდელი ანალოგიურია ინფილტრაციის კინემატიკური სურათის და შეესაბამება მიწისქვეშა ნაკადების თავისუფალი ზედაპირიან ნაკადების დაუმყარებელ რეჟიმს.

ნაშრომში [105] კომბინირებულ იქნა შეუტბორავი (თავისუფალი) და შეტბორილი (წყალგაუჟერებელი) სქემების ერთობლიობა, ყველა დანარჩენი ჰიდროგეოლოგიური სქემების ინტეგრაციით და მიღებული შედეგები კომპლექსური პოტენციალის ფუნქციის გამოყენებით დაექვემდებარა ანალიზურ გადაწყვეტას. საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ 28-ზე



ნახ 28 ტრაპეციონალურ არხიდან ფილტრაციის საანგარიშო სქემა
კომპლექსური პოტენციალი გამოხატულია შემდეგნაირად:

$$\omega = \phi + i\psi = -\frac{Q}{\pi}\Omega = -\frac{Q}{\pi}(\phi + i\psi) \quad (4.1.1)$$

ე.ი.

$$\begin{aligned}\phi &= -\frac{\pi}{Q}\varphi \\ \psi &= -\frac{\pi}{Q}\psi\end{aligned}\quad (4.1.2)$$

სადაც Φ და Ψ – დინების წირების და თანაბარდაწნევიანი ზედაპირების პოტენციალი;

Q – სრული ფილტრაციული ხარჯი არხის სველი პერიმეტრიდან, მ³/წმ;

Q_2 მონაკვეთიდან ხარჯი აღნიშნულია Q -თი, ხოლო 0 წერტილში Ψ და Ψ_0 ამიტომ,

$$\psi_0 = \frac{\pi Q_1}{Q} \quad (4.1.3) \text{ თავისუფალი ზედაპირის}$$

გასწვრივ $\omega = -kz$ და $\Omega = \frac{k\pi z}{Q}$, ხოლო X განისაზრვრება შემდეგი

დამოკიდებულების თანახმად

$$X = \frac{4MQ}{\pi k} \left\{ \lambda \sin Q \left[\ell^\eta + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \frac{\ell(2n+1)^\eta}{(2n+1)^2} \right] - \frac{1}{4} \left[\ell^\eta - 2\ell^\eta + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \frac{\ell(2n-1)^\eta}{(2n-1)^2} \right] \right\} + \frac{Q}{2K} \quad (4.1.4)$$

სადაც $\eta = \frac{k\pi z}{Q}$ – დინების წირების და თანაბარდაწნევიანი

ზედაპირების პოტენციალი;

k – ფილტრაციის კოეფიციენტი;

a და n – მუდმივი კოეფიციენტები;

Q – სრული ფილტრაციული ხარჯი არხის სველი პერიმეტრიდან, მ³/წმ;

როცა - $z=0$, $X=b/2$ მაშინ,

$$B = \frac{Q}{k} - \frac{8\mu Q}{\pi k} \left\{ \lambda \sin Q \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n}{(2n+1)^2} \right] - \frac{1}{4} \left[2 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \frac{1}{(2n-1)^2} \right] \right\} \quad (4.1.5)$$

ხოლო,

$$h = \frac{4\mu Q}{\pi k} \left\{ \lambda \sin Q \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n a_n}{(2n+1)^2} \right] - \frac{1}{4} \left[2 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \frac{1}{(2n-1)^2} \right] \right\} \quad (4.1.6)$$

სათანადო გარდაქმნების გამოყენებით ფორმულირების საბოლოოდ მიიღება

$$Q = \mu_o k(B + 2h) \quad (4.1.7)$$

სადაც μ_o – კოეფიციენტი, რომელიც აიღება სათანადო ცხრილებიდან;

მოყვანილი თეორიული გადაწყვეტა ემყარება მათემატიკური ფიზიკის ამოცანის ფორმალიზაციას და ის მართებულია მხოლოდ ფოროვანი ტანისათვის, რომლის ფილტრაციის კონტურები აკმაყოფილებს სასაზღვრო პირობებს.

თავისუფალი ფილტრაციის საანგარიშოდ ა. კოსტიაკოვის მიერ, შემთავაზებულია შემდეგი სახის ფორმულა

$$Q = k\ell(b + 2h_o \sqrt{1+m^2}) \quad (4.1.8)$$

ნ. პავლოვსკის მიხედვით:

$$Q = k\ell(b + 2h_o) \quad (4.1.9)$$

ბ. რიზენკამფის მიხედვით:

$$Q = k\ell\mu(B + 2h_o) \quad (4.1.10)$$

ხოლო μ განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით

$$\frac{1}{\mu} = 1 - \frac{1}{1,5(1+B/2h_o)} + \frac{1}{D(1+B/2h_o)^3}$$

$$(4.1.11)$$

სადაც D -აიღება 4.1 ცხრილის მიხედვით

ცხრილი 4-1

| | | | |
|-----|---|-----|---|
| m | 1 | 1,5 | 2 |
|-----|---|-----|---|

| | | | |
|----------|-------|-------|-------|
| <i>d</i> | 0,354 | 0,205 | 0,131 |
|----------|-------|-------|-------|

ნ. ვერიგინის მიხედვით:

$$Q = k\ell(B + Ah_0) \quad (4.1.12)$$

ზემოთ მოყვანილ ფორმულებში და შემდგომშიც მიღებული გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები Q - ფილტრაციული ხარჯი ℓ სიგრძის არხიდან; B - წყლის სიღრმე არხში; m - ფერდოს დახრილობის კუთხე; μ - კოეფიციენტი, რომელიც ასევე დამოკიდებული B/h_0 და m .

A კოეფიციენტის მნიშვნელობა $m=1,5$ და $4 < B/h_0 < 18$

ცხრილი 4-2

| <i>B/h₀</i> | <i>A</i> | <i>B/h₀</i> | <i>A</i> | <i>B/h₀</i> | <i>A</i> |
|------------------------|----------|------------------------|----------|------------------------|----------|
| 4 | 2.25 | 9 | 3.12 | 14 | 3.56 |
| 5 | 2.50 | 10 | 3.23 | 15 | 3.63 |
| 6 | 2.72 | 11 | 3.32 | 16 | 3.69 |
| 7 | 2.87 | 12 | 3.40 | 17 | 3.75 |
| 8 | 3.00 | 13 | 3.48 | 18 | 3.80 |

ფილტრაციული დანაკარგების განსაზღვრა კაპილარული ძალების გათვალისწინებით ემყარება ჰიპოთეზას [23], რომლის თანახმად ფილტრაციულ ნაკადში ჩართულია კაპილარული ქობი. და გადაწყვეტა ძირითადად მიღებულია ტრაპეციული არხის განივკვეთებისათვის, თუმცა ავტორები თვლიან, რომ მიღებული შედეგების გამოყენება შესაძლებელია სხვა ფორმის არხებისთვისაც.

საანგარიშო დამოკიდებულებას B/h_0 მცირე მნიშვნელობისა აქვს შემდეგი სახე [24]:

$$Q = k\ell(B + A\bar{h}) \quad (4.1.13)$$

სადაც A - კოეფიციენტი განისაზღვრება B/h_0 - თანაფარდობიდან, ხოლო \bar{h} მნიშვნელობა მიიღება ტოლი

$$\bar{h} = h_0 + \alpha h_3 \quad (4.1.14)$$

სადაც $\alpha = 0,75 \div 1,0$

ნ. ვერიგინის და ბ. რიზენკამფის მონაცემების შედარება გვაძლევს, რომ კაპილარული ძალები ვერიგინის მიხედვით უმნიშვნელოა, კაპილარულ ძალების გათვალისწინებით ფილტრაციული დანაკარგები განისაზღვრება [56]

$$Q = kl(b + 2\beta h_0 \sqrt{1+m^2}) \quad (4.1.18)$$

სადაც β - შემასწორებელი კოეფიციენტი ითავლისწინებს ფერდობის გვერდით წყალშთანთქმას და ის აიღება $1,1 \div 1,4$ ფარგლებში ეს კოეფიციენტის მნიშვნელობა მით მეტია, რაც უფრო მაღალია გრუნტის კაპილარული პოტენციალი.

ცნობილია რომ, წყალგამტარობა ნაწილობრივ შევსებული ზონაში, მკვეთრად განსხვავდება გრუნტის წყლების მოძრაობისაგან. არხებიდან თავისუფალი ფილტრაციისათვის საანგარიშო ფორმულებში საჭიროა შეტანილ იქნას სათანადო კორექტივები:

დანაკარგების განსაზღვრისათვის მიზანშეწონილია კაპილარული წყალგამტარობის შეცვლა გამტარობით, სრული წყალგაჯერების პირობებში რადგან წყალგამტარობა გაცილებით მცირეა სრული წყალშებორვის ზონაში, ამიტომ საანგარიშო დამოკიდებულებაში მაქსიმალური კაპილარული აწევის სიმაღლის შეყვანა, იძლევა ფილტრაციული დანაკარგების გაზრდილ სიდიდეს.

ამის გამო საანგარიშო დამოკიდებულებაში კაპილარული აწევის სიმაღლი საჭიროა შეიცვალოს ე.წ. დაყვანილი სიმაღლით $\alpha \cdot h_3$, სადაც $\alpha \approx 0,3$. შეასაბამისად გვექნება

$$Q = k\ell' \left(b + 2\beta h_0 \sqrt{1+m^2} \right) \quad (4.1.19)$$

მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული მონაცემების შედარებამ საანგარიშო დამოკიდებულებებთან (მათ შორის ლაბორატორიულმაც) აჩვენა რომ ყველაზე უკეთ პასუხობს ფილტრაციული დანაკარგების ხარჯის განსაზღვრას ქვემოთ მოყვანილი დამოკიდებულება

$$Q = k\ell \left[1 + (0,5h_3 / B) \right] (B + 2h_0) \quad (4.1.20)$$

ყველა ეს შემთხვევა თეორიულ გადაწყვეტას ან კიდევ უფრო ზუსტად ნახევრად ემპირიულს მიეკუთვნება, მაგრამ ისინი ნაკლებად ადაპტირებული არიან კონკრეტულ პირობებთან. უპირველეს ყოვლისა ეს ეხება ფილტრაციული გარემოს იზოტროპულობას, მონოშრიანობას. ამას ემატება ისიც არ არის მხედველობაში მიღებული თიხა ნიადაგ-გრუნტებში ზედაპირულ-მოლეკულური ეფექტების როლი ფილტრაციული დინების კანონზომიერებათა ფორმირებაში და ამიტომაც პროცესის აღწერა რომელიმე უნივერსალური ფენომენოლოგიური განტოლებით შეუძლებელი ხდება.

ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ბუნებრივ-გეოტექნიკურ კალაპოტში გამავალი არხებიდან ფილტრაციის საანგარიშო ჰიდრავლიკური მოდელი [13], ემყარება დაშვებას, რომლის მიხედვითაც ფილტრაციული ნაკადი უპირატესად მოძრაობს გრავიტაციული ძალის გავლენით და უგულებელყოფილია სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი, რაც გულისხმობს რომ არხის ფსკერიდან გარკვეულ მანძილამდე ექვიპოტენციური ზედაპირი მკვეთრად ჰორიზონტალურია, ხოლო

დინების წირები მისი ორთოგონალური. ამასთან ერთად, ჩვენ მივიღეთ ჰიპოთეზა, რომლის მიხედვითაც ჰიდრავლიკურად უხელსაყრელესი არხის განივკვეთი ხასიათდება ცოცხალი კვეთის ფართობის მაქსიმუმით, რომელსაც შეესაბამება სველი პერიმეტრის მინიმალური მნიშვნელობა, ამიტომაც ასეთი არხიდან ფილტრაციული ხარჯი სავარაუდოდ უნდა იყოს მინიმალური, თუმცა ასეთ დაშვებას, რაიმე თუნდაც ლოგიკური დასაბუთების გარეშე არ იზიარებს რიგი მკვლევარი [57.83] .

ქვემოთ მოყვანილი გაანგარიშებანი ძირითადად გამოხატავენ დამყარებელი ფილტრაცია: ნაკადის მოძრაობა ვერტიკალური მიმართულებისაა და სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი ნულის ტოლია, ხოლო დეპრესიის თავისუფალ ზედაპირზე “განლაგებული” კაპილარული ქობი გავლენას არ ახდენს ფილტრაციული ხარჯის სიდიდეზე.

ტოლფერდა ტრაპეციული არხის განივკვეთის ფართობი, რომელიც მიიღება ცოცხალი კვეთის ფართობის ტოლად, გამოითვლება

$$\omega = h^2(\beta + m) \tag{4.1.21}$$

ხოლო სველი პერიმეტრი

$$\chi = h(\beta + 2\sqrt{1+m^2}) \tag{4.1.22}$$

(4.1.21) და (4.1.22) ფორმულებში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

- ω - ცოცხალი კვეთის ფართობი, მ²;
- h - წყლის სიღრმე, მ;
- β - b/h ფარდობითი სიგანე;
- b - არხი ფუძის სიგანე, მ;
- m - ფერდის დახრის კოეფიციენტი;
- χ - სველი პერიმეტრი, მ;

იმისათვის, რომ გამოვხატოთ ჰიდრავლიკურად უხელსაყრელესი კვეთი არხის მახასიათებელი პერიმეტრებით, ცხადია უნდა ვიპოვოთ (4.1.21) და (4.1.22) ფუნქციების მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები, რაც ნიშნავს, რომ უნდა შესრულდეს პირობები: $\frac{d\omega}{d\beta} = 0$ და

$$\frac{df}{d\beta} = 0$$

(4.1.21) და (4.1.22) გაწარმოებით და მოყვანილი პირობის დაცვით მივიღებთ

$$\frac{d\omega}{d\beta} = 2h\beta \frac{dh}{d\beta} + h^2 + 2mh \frac{dh}{d\beta} = 0 \quad (4.1.23)$$

$$\frac{df}{d\beta} = \beta \frac{dh}{d\beta} + h + 2\sqrt{1+m^2} \frac{dh}{d\beta} = 0 \quad (4.1.24)$$

(4.1.23) და (4.1.24) განტოლებათა სისტემის ამოხსნით გვექნება, რომ ჰიდრავლიკურად უხელსაყრელესი კვეთისათვის

$$\beta = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1+m^2} - m). \quad (4.1.25)$$

ანგარიშის შემდგომი ეტაპი მოიცავს ისეთი ვირტუალური სწორკუთხა კვეთის გაზარიტების შერჩევას, რომელსაც ექნება ისეთივე გამტარუნარიანობა, რაც გააჩნია რეალურ ტრაპეციულ არხს, წყლის ნაკადის თანაბარი ძრავის შემთხვევაში, ხარჯი შეიძლება გამოვთვალოთ უწყვეტობის პირობიდან

$$Q = \omega V = h^2(b + mh)C\sqrt{RI} \quad (4.1.26)$$

სადაც

- C - შეზის კოეფიციენტი, მ^{0.5}/წმ;
- R - ჰიდრავლიკური რადიუსი;
- I - ჰიდრავლიკური ქანობი, რომელიც თანაბარი ძრავის

შემთხვევაში აიღება არხის ფსკერის ქანობის ტოლად.

თუ მივიღებთ, რომ

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (4.1.27)$$

სადაც

n - ხორკლიანობის კოეფიციენტი, მაშინ შეიძლება დავწეროთ

$$Q = \frac{1}{n} h(b + mh) R^{\frac{2}{3}} \sqrt{I} \quad (4.1.28.)$$

ვირტუალური სწორკუთხა კვეთისათვის, რომლის სიგანეა h , განსაზღვრული ჰიდროდინამიკური ბადის მიხედვით თავისუფალი ფილტრაციის ზონაში, ხოლო h_0 წყლის სიღრმე არხში, გამტარუნარიანობა განისაზღვრება

$$Q_0 = \frac{1}{n} b_0 h_0 R_0^{\frac{2}{3}} \sqrt{I} \quad (4.1.29)$$

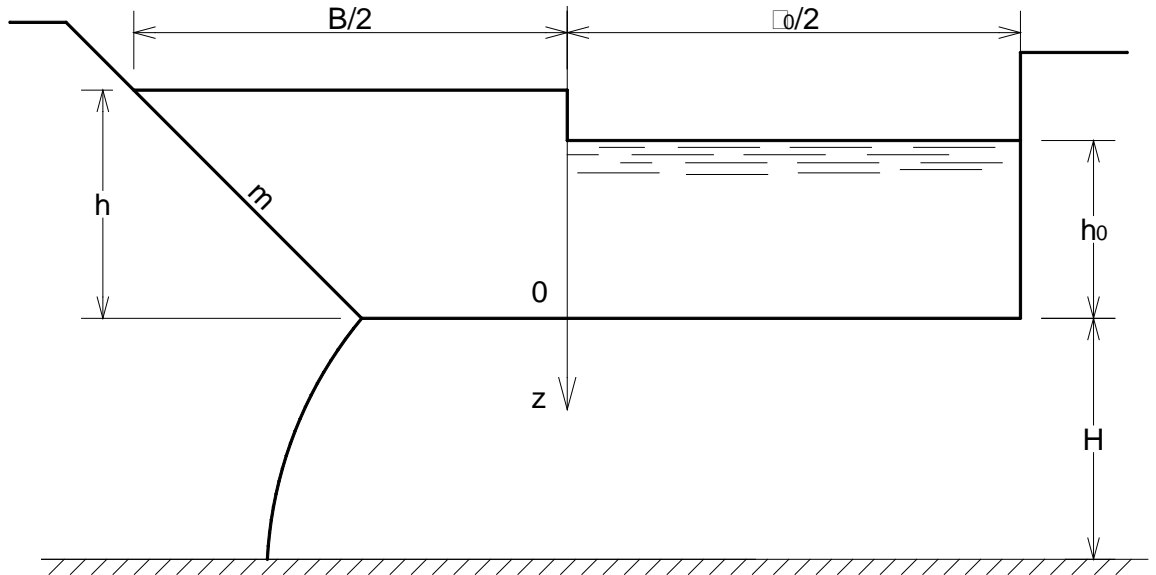
(4.1.25)-ის გათვალისწინებით, (4.1.28) და (4.1.29) გამოსახულებათა ურთიერთ გატოლებით და სათანადო გარდაქმნებით, რომელიც ასევე მოიცავს ჰიდრავლიკური რადიუსების ცხადი სახით წარმოდგენას, მივიღებთ

$$\frac{(b_0 h_0)^{\frac{5}{3}}}{(b_0 + 2h_0)^{\frac{2}{3}}} = ah^{\frac{8}{3}} \quad (4.1.30)$$

$$\text{სადაც } a = \frac{(2\sqrt{1+m^2} - m)^{\frac{5}{3}}}{(1+m^2 + \sqrt{1+m^2} - m)^{\frac{2}{3}} \sqrt[3]{4}}$$

განტოლებიდან (4.1.30) კონკრეტული მონაცემებისათვის, შერჩევის წესით ან კიდევ სათანადო გრაფიკების შედგენით a კოეფიციენტის მიხედვით ადვილად განისაზღვრება h_0 სიდიდე. წინასწარ ჩატარებული

განგარიშების შემდეგ ფილტრაციის დინების სურათი შეიძლება წარმოვიდგინოთ ნახ. 29 მოცემული სქემის მიხედვით



ნახ. 29 ვერტიკალური არხის განივკვეთის საანგარიშო სქემა

ფილტრაციის პროცესის საწყის სტადიაში, ანუ გრუნტის ფორების წყალშევსებამდე წყლის გადაადგილებაში ერთდროულად მონაწილეობს როგორც გრავიტაციული, ასევე კაპილარულ-ოსმური და სხვა კატეგორიის ძალები. ფილტრაციული ხარჯის განსაზღვრისათვის დაუმყარებელი რეჟიმის ამ სტადიაზე ფილტრაციის სიჩქარე შეიძლება გამოვხატოთ როგორც გრადიენტის ფუნქცია, ან კიდევ სიჩქარე – ფუნქცია დროის. პირველ შემთხვევაში ფილტრაციის ხვედრითი ხარჯი განისაზღვრება

$$q = K_0 \frac{Z + h_0 + \sum h}{Z} b_0 \quad (4.1.31)$$

მეორე შემთხვევაში

$$q = K_r b_0 \quad (4.1.32)$$

K_t -ს განსაზღვრისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ რომელიმე განტოლებით, ან კიდევ ჩვენ მიერ აპროქსიმირებული შემდეგი სახის დამოკიდებულებით [35]

$$K_t = K_0 + (K' - K_0) \exp(-\alpha t) \quad (4.1.33)$$

(4.1.31), (4.1.32) და (4.1.33) დამოკიდებულებებში გამოყენებული გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები: q – ფილტრაციის ხვედრითი ხარჯი არხის სიგრძის ერთეულზე; K_0 – ფილტრაციის კოეფიციენტი; Z – კოორდინატი, აღებული არხის ფსკერიდან განსახილველ კვეთამდე; h_0 – წყლის სიღრმე არხში; $\sum h$ – ყველა ზედაპირული ძალების დაწნევათა ჯამი; h – ვირტუალური სწორკუთხა არხის საანგარიშო სიგანე; K_t – ინფილტრაციის კოეფიციენტი, K' – ინფილტრაციის კოეფიციენტი დროეს საწყისი მომენტისათვის; α – ექსპერიმენტული კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს მოცემულ გრუნტს; t – ფილტრაციის დაუმყარებელი პროცესის მიმდინარეობის დრო.

ხვედრითი ხარჯი (4.1.31)-ის მიხედვით Z -ის ზრდასთან ერთად მცირდება, ანუ რაც უფრო დიდ სიღრმეზე გადაადგილდება ფილტრაციის ნაკადის ფრონტი, მით უფრო მცირდება გრადიენტი. (4.1.32) ფორმულის მიხედვით ხვედრითი ხარჯის ცვალებადობა აისახება (4.1.33) კანონით, რაც ნიშნავს რომ t ზრდასთან ერთად მცირდება K_t და ის უახლოვდება K_0 . მაშასადამე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ დაუმყარებელი ფილტრაციული რეჟიმის პირობებში ხარჯი გრადიენტის, ან კიდევ დროის ფუნქციაა, თუმცა ზემოთ წარმოდგენილი ინტერპრეტაციით ადვილი მისახვედრია, რომ გრადიენტიც დროის ფუნქციაა და ის მუდმივი ხდება, როცა გრუნტის ფორების წყალგაჯერებასთან ერთად ფილტრაციული ნაკადის ფრონტი დაეყრდნობა გრუნტის წყლის სარკის ზედაპირს.

ფილტრაციის გაანგარიშების შემდგომი ეტაპი პირობითად ეფუძნება დამყარებული რეჟიმის საანგარიშო მოდელს, რომლის თანახმად $\sum h$ პოტენციალი ნულის ტოლია და Z გაუტოლდება არხის ფსკერიდან გრუნტის წყლის ზედაპირამდე H მანძილს.

ფილტრაციის სიჩქარე ნებისმიერ დროის მომენტისათვის შეიძლება ვიანგარიშოთ

$$\frac{dz}{dt} = K_0 \frac{h_0 + Z}{Z} \quad (4.1.34)$$

დიფერენციალური განტოლების (4.1.34) ინტეგრირება სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით $t=0, Z=0$ გვაძლევს

$$t = \frac{1}{k_0} \left(Z + h_0 \ln \frac{h_0}{h_0 + Z} \right) \quad (4.1.35)$$

ფილტრაციული ნაკადის გადაადგილებით სასუალო სიჩქარე $Z=H$ სიმძლავრეზე (მანძილზე) ტოლი იქნება

$$\bar{V} = K_0 \frac{H}{H + h_0 \ln \frac{h_0}{h_0 + H}} \quad (4.1.36)$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ გრადიენტის მნიშვნელობა ერთზე მეტია, რადგან ერთზე ნაკლები რიცხვის ლოგარითმი უარყოფითი სიდიდეა და ეს თავის მხრივ ნიშნავს, რომ თავისუფალი ფილტრაციის რეჟიმი ზემოთ განხილულ საანგარიშო სქემაში შესაბამისი სასაზღვრო პირობებით არ ფიქსირდება. მიუხედავად ამისა, საინჟინრო პრაქტიკისათვის მისაღები სიზუსტით შეიძლება დროის გარკვეულ ინტერვალში გავიგოთ ფილტრაციული ხარჯი და შესაბამისი გრუნტის წყლის დონის ცვალებადობა. ცხადია, გრუნტის წყლის დონის თავისუფალი ზედაპირის მოხაზულობა და “ბორცვის” სიგრძის რადიუსი

დამოკიდებული იქნება გრუნტის ფილტრაციულ თვისებებზე. სიჩქარე \bar{v} თანდათან იზრდება და თეორიულად მიისწრაფვის უსასრულობისაკენ, ამიტომ სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობას განვსაზღვრავთ წინასწარ დანიშნული ΔH -სათვის.

ვირტუალური კვეთის მეთოდი საშუალებას იძლევა რეალური გეოტექნიკური და ჰიდროგეოლოგიური პირობებისათვის გათვალისწინებით მოვახდინოთ ფილტრაციული დანაკარგების პროგნოზი ე.წ. საწყისი ჭეშმარიტი ფიზიკური გრადიენტის გათვალისწინებით.

სადისერტაციო ნაშრომის შეზღუდული ფორმატის გამო ჩვენ არ შევძლებით ფილტრაციის დაუმყარებელ რეჟიმს (თუმცა მისი ანალოგია გამოხატულია სხვა სქემებში) და განვიხილავთ ფილტრაციას საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებით ნახ. 29.

ფილტრაციის სიჩქარეს, ვერტიკალური დაღმავალი მიმართულებით საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებით, აღვწერთ შემდეგი დიფერენციალური განტოლებით

$$\frac{dV}{dt} = k \left(\frac{H}{z} - I_0 \right) \quad (4.1.37)$$

სადაც H – აერთიანებს გრავიტაციულ-კაპილარულ, ოსმური, ელექტრო-ქიმიური და სხვა პოტენციალს,მ;

k – ფილტრაციის კოეფიციენტი, მ/წმ²;

I – საწყისი გრადიენტი, რომელიც დამოკიდებულია გრუნტის შრის მინეროლოგიასა და დისპერგაციის ხარისხზე;

t – დრო, წმ;

ჩვენ გვაინტერესებს მხოლოდ საწყისი გრადიენტის გავლენის შეფასება დამყარებული ფილტრაციის რეჟიმზე, ამოტომ კონკრეტულ შემთხვევაში მათემატიკური ფორმალიზაციის გარეშე, (4.1.37) განტოლების ნაცვლად, წინააღობის ხაზოვანი კანონის ფარგლებში, პროცესის არწერისათვის ვადგენთ შემდეგი სახის დიფერენციალურ განტოლებას

$$\frac{dz}{dt} = k \left(\frac{h_0 + z}{z} - I_0 \right) \quad (4.1.38)$$

(4.1.38)-ის ინტეგრება, სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით გვაძლევს

$$t = \frac{1}{k(1-I_0)^2} \left[z(1-I_0) + \ln \frac{h_0}{h_0 + z(1-I_0)} \right] \quad (4.1.39)$$

როცა $I_0=0$ მაშინ (4.1.39) ფორმულა მიიღებს სახეს

$$t = \frac{1}{k} \left(z + h_0 \ln \frac{h_0}{h_0 + z} \right) \quad (4.1.40)$$

$$t = \frac{h_0}{k} \left(\eta + \ln \frac{1}{1+\eta} \right) \quad (4.1.41)$$

$$\text{სადაც, } \eta = \frac{z}{h_0}$$

ან

$$t = \frac{h_0}{k} [\eta - \ln(1+\eta)] \quad (4.1.42)$$

(4.1.42) განტოლების გამოყენებით შეიძლება განისაზღვროს აერაციის ზონის წყალშევსების დროს, ხოლო დროის პროგნოზი საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებით გამოთვლილი (4.1.39)-ის მიხედვით, ცხადია აღემატება (4.1.42)-ით გაანგარიშების და ის მნიშვნელოვან წილად დამოკიდებული იქნება I_0 -ის სიდიდეზე.

მიღებული შედეგი გარკვეულ წვლილს შეიტანს ფილტრაციული დანაკარგების რაოდენობრივ განსაზღვრაში, რომლის საიმედოობაც

უკავშირდება ინტეგრალური ჰიდროფიზიკური პარამეტრის საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებას საანგარიშო ჰიდრომექანიკურ მოდელში.

4.2. წყალდამჭერ სამოსიან არხებიდან ფილტრაციის გავლენა გრუნტის წყლის რეჟიმზე

ფილტრაციას ეკრანირებულ არხებიდან ახასიათებთ გარკვეული სპეციფიკა, როგორც გრუნტის ქვედებულ შრეებში ასევე თვით სამოსის ტანში. ფილტრაციის პროცესის ცალკეულ სტადიებს, მათ ფორმირებას და ხანგრძლივობას განსაზღვრავს ეკრანისა და ქვედებული გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტების თანაფარდობა.

აერაციის ზონაში წყლის მოძრაობა გრუნტის ფოროვან სივრცეში შეუტბორავი საანგარიშო სქემისათვის, როცა დაცულია პირობა

$$\frac{k}{k_{\text{გვ}}} > \frac{h_0 + \Delta + h_3}{\Delta} \quad (4.2.1)$$

მიმდინარეობს ფოროვანი წყალგამტარი ხვრეტების არა სრული შევსებით (ე.წ. წვეთური ფილტრაცია). აქ Δ -ეკრანის სისქე, k და $k_{\text{გვ}}$ შესაბამისად ეკრანისა და ქვედებული გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი. h_3 გრუნტის კაპილარული-ვაკუუმური სიმაღლე და h_0 წყლის სიღრმე არხში. როცა განსხვავება ეკრანისა და გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტებს შორის უმნიშვნელოა, მაშინ ფილტრაცია აერაციის ზონაში მიმდინარეობს ფორების სრული შევსებით. ამ

შემთხვევაში ფილტრაცია ეკრანირებულ არხებიდან შეიძლება განვიხილოთ როგორც ფილტრაცია არხიდან ორშრიან გრუნტებში.

ფილტრაციული წყლის ის ნაწილი რომელიც არ შედის პაკეტშორისეთებში და აფსკების სისქეში, ძირითადად გადაადგილება გრავიტაციული ძალის გავლენით. ამ წყალის გადაადგილების კანონზომიერება, შეიძლება ასახულ იქნას დიფერენციალური განტოლებით

$$\frac{dz}{dt}(w - w_0) = V = k \frac{h_0 + \Delta + h_d}{\Delta} \quad (4.2.2)$$

თუ გავითავლისწინებთ, რომ სიჩქარე ასევე შეიძლება გამოვხატოთ [5]

$$V = k \left(\frac{w - w_0}{n - w_0} \right)^3 \quad (4.2.3)$$

მაშინ (4.2.2)-ს ინტეგრებით, აერაციის ზონაში გაჟონვისათვის საჭირო დრო გამოითვლება

$$t = \mu \frac{H_0^3}{V} \sqrt{\frac{V}{k}} \quad (4.2.4)$$

სადაც μ – ტენიანობის დეფიციტი;

n – ფორიანობა (მოცულობითი);

w_0 – მოლეკულური-მოცულობითი ტენიანობა (ზმულ

მდგომარეობაში მყოფი წყლის მოცულობის ფარდობა

მთლიან მოცულობასთან);

k – ფილტრაციის კოეფიციენტი ფორების სრული

წყალშევსების პირობებში

H_0 – მანძილი გრუნტის წყლის ზედაპირიდან არხის ფსკერის

ნიშნულამდე. (4.2.2) განტოლებიდან ვღებულობთ:

$$w - w_0 = \mu \sqrt[3]{\frac{V}{k}} \quad (4.2.5)$$

ტენიანობის დეფიციტი წყალშეჭონვის შემდეგ იქნება

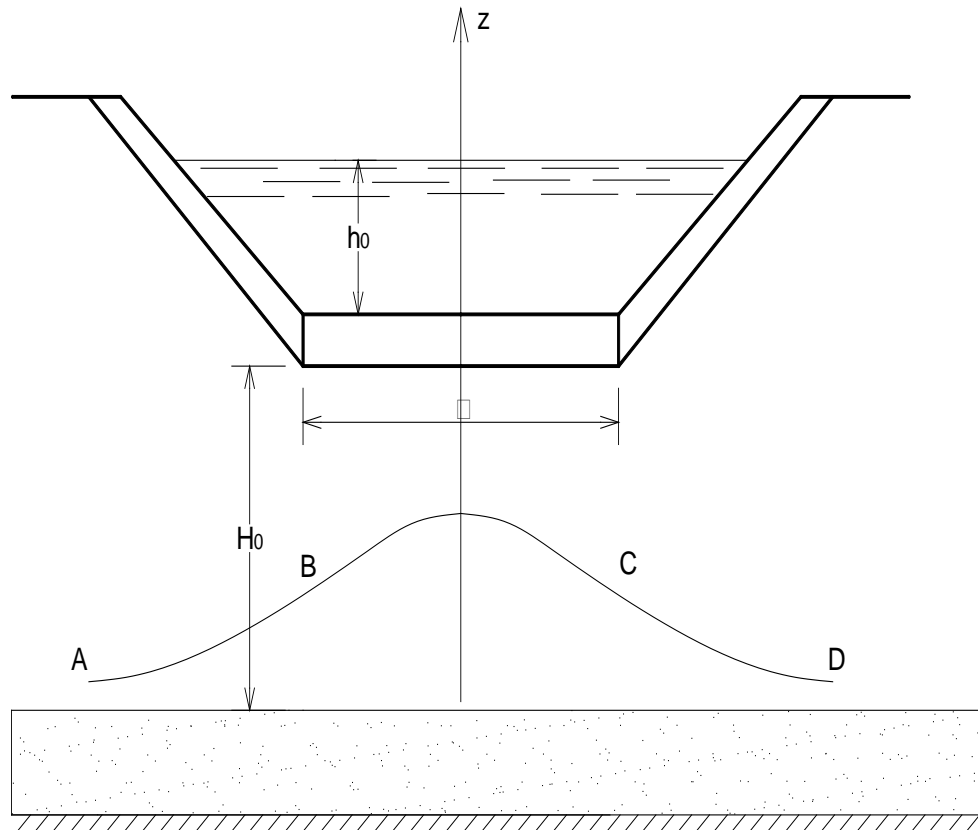
$$\mu_w = n - w = \mu \left(1 - \sqrt[3]{\frac{V}{k}} \right) \quad (4.2.6)$$

ვინაიდან ინფილტრაციის ნაკადის ფრონტის პირველ ფაზაში ვერ აღწევს გრუნტის წყლის სარკის ზედაპირამდე, ამიტომ გრუნტის წყლის აწევა ამ პერიოდში არ ხდება. მას შემდეგ, რაც ინფილტრაცია მიაღწევს გრუნტის წყლის თავისუფალი ზედაპირის დონეს, იწყება მეორე ფაზა – გრუნტის წყლების აწევის ფაზა.

სამოსიდან ფილტრაციის ამ პერიოდში ჯერ კიდევ უშუალო ჰიდრაულიკური კავშირი არ მყარდება არხიდან წყალგაჯერებისა და გრუნტის წყალს შორის. ფილტრაციული ხარჯი ამ სტადიაზე პრაქტიკულად მუდმივია და ის გამოითვლება შემდეგი დამოკიდებულების მიხედვით

$$Q = k_{\text{ფი}} \left[\frac{b(h_0 - \Delta)}{\Delta} + 2h_0 m + \frac{h_0^2}{\Delta} \sqrt{1 + m^2} \right] \quad (4.2.7)$$

ინფილტრაციის გავლენით Hbc უბანზე ხდება გრუნტის წყლის დონის აწევა და გაშლა ნახ. 30.



ნახ 30 ეკრანირებულ არხიდან ფილტრაცია

ამასთანავე არხიდან ინფილტრაციის შედეგად გრუნტის წყლის აწევა ხდება მომიჯნავე უბნებზეც ab და Hcd , სადაც ინფილტრაცია არ არის. გრუნტის წყლისაგან თანდათანობითი შეტბორვა არხის გარე კონტურზე მნიშვნელოვან ზომებს აღწევს, რომელიც დამოკიდებულია წყალშემცველ შრეში ბუნებრივი დრენირების უბნის არსებობაზე. გრუნტის წყლის დონის აწევა და გაშლა გაგრძელდება სანამ არ დამყარდება ტოლობა ინფილტრაციულ ჩამონადენსა და გრუნტის შრეში წყლის გვერდით გაშლას შორის. როცა ეს თანაფარდობა მიიღწევა, გრუნტის წყლის მოძრაობა სტაბილური ხდება.

ფილტრაციული ნაკადის გაშლის გაანგარიშებისათვის, აუცილებელია, საწყის პირობად მივიღოთ დეპრესიის მრუდის განტოლება

წინა (პირველი) სტადიის გაშლის საბოლოო არეალის შესაბამისად, რაც გამოიხატება შემდეგი ფუნქციის სახით

$$u(x,t) = u_0 + \frac{\xi t}{2\mu} \left[\varphi(x) \frac{x+b}{2\sqrt{at}} - \varphi(t) \frac{x-b}{2\sqrt{at}} \right] \quad (4.2.8)$$

ფილტრაციული პარამეტრების შემდეგი გაანგარიშება ხორციელდება სპეციალური ცხრილების, სხვადასხვა სქემების (შეტბორილი, თავისუფალი, შერეული) ადაპტაციით კომპრეტული ამოცანის პირობებთან [22.25] ცნობილია, რომ არხის ეკრანიდან ფილტრაციული ნაკადის სიჩქარე გაცილებით ნაკლებია, ბუნებრივი გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტზე. თუ აღვნიშნავთ k_0 და k_Δ ფილტრაციის კოეფიციენტებს ბუნებრივი გრუნტისა და ეკრანისას, ხოლო h და Δ არხში წყლის სიღრმე და სამოსის სისქე, მაშინ გამოსვლისას ანუ გრუნტში ფილტრაციული წყლის შესვლისას სიჩქარე ტოლი იქნება

$$V = k_\Delta \frac{h_0 + \Delta}{\Delta} \quad (4.2.9)$$

ხოლო პირობიდან $v < k_0$ გვექნება

$$\frac{k_0}{k_\Delta} > 1 + \frac{h_0}{\Delta} \quad (4.2.10)$$

არხის პერიოდულად მუშაობის შემთხვევაში ეს ამოცანა გაცილებით გართულებულია იმითაც რომ, არხის ფსკერის ქვემოთ წარმოშობილი გრუნტის წყლის ბორცვის გამლა-აწევის ციკლური პროცესის ფონზე ხდება ფილტრაციული ნაკადის პარამეტრების ფორმირება. თვით პროცესი, როგორც თვისობრივად ისე რაოდენობრივად მკვეთრად განსხვავდება ფილტრაციული პროცესისაგან – არხი სამოსის გარეშე, როცა დასველების სტადიის ხანგრძლივობა (დრო) გამოითვლება დამოკიდებულებით

$$t = \frac{\mu}{k_0} \left[H_0 - (h_0 + h_3) \ln \left(1 + \frac{H_0}{h_0 + h_3} \right) \right] \quad (4.2.11)$$

სადაც μ – აქტიური ფორიანობის კოეფიციენტი;

k_0 – გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტი;

H_0 – არხში წყლის ჰორიზონტი, ათვლილი გრუნტის წყლის
სარკის ზედაპირიდან;

h_3 – კაპილარული აწევის სიმაღლე;

h_0 – არხში წყლის სიღრმე;

მოპირკეთებული არხის შემთხვევაში მოცემული ამოცანა დაყვანება
შენდეგი სახის დიფერენცირებული განტოლების ამოხსნაზე

$$\frac{dH}{dt} = \frac{d^2H}{dx^2} + \frac{V}{\mu} \quad (4.2.12)$$

სასაზღვრო პირობებისათვის

$$H(x, 0) = f(x)$$

$$\frac{dH(0, t)}{dx} = \frac{du(00, t)}{dx} \quad (4.2.13)$$

(4.2.12)-ის ზოგადი ამონახსნი

$$F(t) = \frac{1 - 4i^2 \ell z f \lambda}{\lambda^2}, \lambda = \frac{b}{2\sqrt{at}} \quad (4.2.14)$$

ლინეარიზაციის სხვადასვა მეთოდის გამოყენება, საშუალებას იძლევა
დავადგინოთ დროის ხანგრძლივობა, როცა გრუნტის წყლის დონე
მიაღწევს არხის ფსკერს.

ყოველი კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტისას შეიძლება
გამოყენებულ იქნას ერთიანი უნიფიცირებული ტრივიალური საანგარიშო
სქემა, რომელიც ადეკვატურად პასუხობს განსახილველი სისტემის
სტატიკური წონასწორობის პირობებს.

ფილტრაციის საწინააღმდეგო ბეტონის სამოსი, ანაკრები თუ მონოლითური, უმთავრესად, შედგება ცალკეული სექციებისაგან (ფილების ან ბლოკების სახით), რომლებიც ერთმანეთისაგან დაშორებულია ისეთი მანძილით, რომელიც უზრუნველყოფს სამშენებლო ან ტემპერატურული ნაკერების მოწყობისა და მონტაჟის სამუშაოების ჩატარებას. გეოლოგიური და კლიმატური პირობების შესაბამისად მონოლითური ბეტონის სისქე აიღება $0,1 \div 0,2$ მ, ხოლო ანაკრები რკინაბეტონის ფილებისათვის – $0,7$ მ-ის ფარგლებში. ანაკრები კონსტრუქციები უზრუნველყოფენ სამუშაოთა წარმოების სრულ მექანიზაციას, მაგრამ მნიშვნელოვნად იზრდება სამშენებლო ნაკერების რაოდენობა, რომელთა სრული ჰერმეტიზაცია პრაქტიკულად თითქმის შეუძლებელია. ამის გამო, ხშირად მოპირკეთებისათვის უპირატესობა ენიჭება მონოლითურ ბეტონს.

საირიგაციო არხების მშენელობისა და ექსპლუატაციის პრაქტიკაში გამოყენება ხისტი ან დეფორმირებული (მუშაობის პირობების მიხედვით), სხვადასხვა კონსტრუქციის ნაკერები, განხორციელებული მრავლფეროვანი ჰიდროსაიზოლაციო მასალებისაგან. ყველაზე უმარტივეს ნაკერს (პირაპირების შეერთებას), წარმოადგენს ორ მომიჯნავე სექციას შორის არსებული ღრეჩო, შეცსებული რომელიმე ელასტიკური მასალით, რომელიც სექციის გაფართოება-შეკუმშვისას არ განიცდის სიმტკიცის რღვევას და ინარჩუნებს ჰერმეტიზაციის სტაბილურობას.

ნაკერების ჰერმეტიზაციისათვის გამოიყენება სხვადასხვა მარკის პოლიმერული პასტები ან კიდევ დაბალი სიმტკიცის და შედარებით მცირე ხანმძლეობის ტრადიციული მასალები. ამასთანავე, არსებობს პროფილირებული ელასტიური საფენები, მაღალი სიმტკიცობრივ-დეფორმაციული მაჩვენებლებით, თუმცა მათი მასშტაბური გამოყენება

გარკვეულწილად შეზღუდულია მაღალი ღირებულების გამო. გასული საუკუნის 60-იან წლებში ფართო გამოყენებას პოულობს ფილტრაციის საწინააღმდეგო ეკრანები, პოლიმერული ფირების (აფსკების) ბაზაზე. მათ ახასიათებთ დეფორმაციისადმი სრული დამყოლობა და თითქმის შეუცვლელია თვითჯდომადი გრუნტის ფუძეზე. პოლიმერულ მასალებზე რადიაციული ზემოქმედებით, მკვეთრად ამცირებს მათ ხანმძლეობას. ხშირად, ამ მასალისაგან შესრულებულ ფილტრაციის საწინააღმდეგო ეკრანს გრუნტის გარკვეული სისქის დამცველი შრით ან კიდევ ბეტონის ფილებით, ამ ტიპის სამოსებს, კერძოდ გრუნტ-აფსკურს ახასიათებს თითქმის იგივე ნაკლოვანებანი, რაც მოუპირკეთებელ არხებს, გარეცხვისადმი წინააღმდეგობის დაბალი უნარი, მიწის დამცავ-მიმტვირთავი შრის დაცურება, დალექვის ინტენსივობის გაზრდა, მცენარეული საფარის გაძლიერება და ა.შ. ასეთი ტიპის სამოსებზე დაკვირვების მასალების მონაცემების ანალიზი მიუთითებს, რომ ფილტრაცია 10-ჯერ და უფრო მეტადაც კი მცირდება, ანაკრები და მონოლითური ბეტონის სამოსებთან შედარებით.

როგორც არხების ექსპლუატაციის გამოცდილება აჩვენებს, რომ ბეტონის სამოსის მწყობრიდან გამოსვლა ძირითადად გამოწვეულია ფუძის დეფორმაციით, რაც უშალოდ კავშირშია სამოსის ტანიდან და ნაკერებიდან ფილტრაციული ნაკადის გრუნტებზე აქტიურ ზემოქმედებასთან. მოპირკეთებული უბნების მნიშვნელოვან დეფორმაციას წინ უსწრებს ლოკალური “დეფექტების” წარმოშობა, საიდანაც გაჟონილი წყალი იწვევს ფუძის არათანაბარ ჯდენას [86.72.].

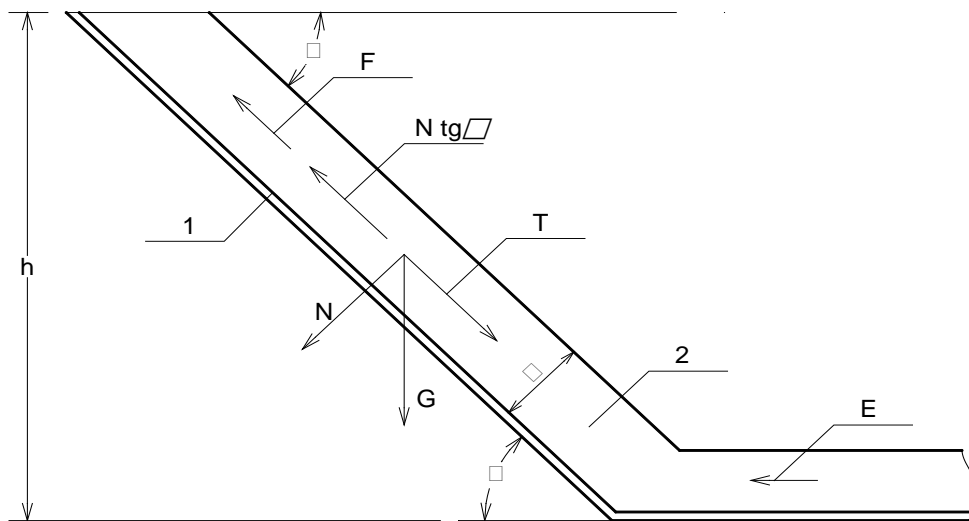
ფილტრაციის საწინააღმდეგო ბეტონის სამოსზე ზემოქმედებას ახდენს: წყლის ჰიდროდინამიკური წნევის ძალა, ტალღური, ცინულოვანი,

თერმული და ბიოლოგიური ფაქტორები, ფუძის დეფორმაციები და შემთხვევითი მექანიკური დაზიანებები. ბეტონით მოპირკეთებული არხებიდან ფილტრაციის ნაკადის გზებია: ნაპრალები თვით ბეტონის ტანსა და ნაკერებში.

ფილტრაციული დანაკარგების რაოდენობრივი განსაზღვრა, როგორც მოსაპირკეთებელი მასალების ტანებიდან ასევე ნაპრალებიდან და პირაპირებიდან, სათანადო ემპირიული და თეორიული მეთოდების გამოყენებით, ფართოდ აისახა მთელ რიგ მეცნიერულ შრომებში [ახელიშვილი, ალიმოვი, ბზიავა, ტულუში].

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ დანაკარგების სიდიდეს ძირითადად განსაზღვრავს, კონსტრუქციული ელემენტების ჩაწყობისა და პირაპირების შეერთების სქემები. აქედან გამომდინარე, ფილტრაციული დანაკარგების განსაზღვრა წყალგამტარის ყოველ კონკრეტულ უბანზე საჭიროა, იმ საანგარიშო სქემების შესაბამისად რომელიც ყველაზე მეტად არის ადაპტირებული რეალურ პირობებთან და ყველაზე უკეთ ასახავს მიმდინარე ფილტრაციული პროცესის კინემატიკურ სურათს.

მდგრადობის კოეფიციენტის განსაზღვრის ვაწარმოებთ ნახ. 31 მოყვანილი საანგარიშო სქემის მიხედვით



ნახ. 31 გრუნტის მიმტვირთავი შრის მდგრადობის კოეფიციენტის საანგარიშო სქემა

პოლიმერული აფსკი; 2- დამცავი გრუნტის შრე

წყლის წნევის ძალა დამცავი შრის ზედაპირის მართობულად გათვალისწინებულია არქიმედეს შემატივნარებელ ძალაში, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება დამცავი შრის კუთრი წონა წყლის გარემოში. ძალა F წარმოადგენს დამცავი შრის ელემენტარულ ნაკვეთებზე მოქმედი ჰიდროსტატიკური წნევების სხვაობით გამოწვეულ ჯამურ სიდიდეს. ამ ძალის ფიზიკური არსის განსაზღვრავს შეხედულებას, რომლის თამახმად სხეულის წონასწორობა, უფრო სწორად მდგრადობის ხარისხი მშრალ ფერდოზე უფრო დაბალია ვიდრე წყლის გარემოში (ცხადია იგულისხმება რომ დასველება არ ცვლის ხახუნუს კოეფიციენტის სიდიდეს).

დამცავი შრის წონასწორობის პირობა ნახ. 31 მოყვანილი საანგარიშო სქემის მიხედვით ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$T \leq N \operatorname{tg} \rho + F + E \cos \beta \quad (4.2.15)$$

მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი განისაზღვრება

$$k = \frac{N \operatorname{tg} \rho + F + \cos \beta}{T} \quad (4.2.16)$$

ცხადია, როცა $k=1$, მაშინ გვაძლევს ზღვრული წონასწორობა, $k<1$, წონასწორობა დარღვეულია, ხოლო $k>1$ ყოველთვის გვაქვს მგრადობა სხვადასხვა ხარისხით, იმის შესაბამისად თუ რამდენად აღემატება მარაგის კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდე ერთიანს.

დამცავი გრუნტის შრის წონა

$$G = \frac{h \cdot \Delta \cdot \gamma}{\sin \beta} \quad (4.2.17)$$

შესაბამისად

$$N = G \cos \beta = h \Delta \gamma \cdot \operatorname{ctg} \beta \quad (a)$$

$$T = G \sin \beta = h \Delta \gamma \quad (b)$$

$$F = \frac{ah}{\Delta \sin \beta} \quad (c)$$

$$E = \frac{\Delta}{2h} \lambda \cos \beta = \frac{\Delta}{2h} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cos \beta \quad (d)$$

(a), (b), (c), (d), ჩასმით ფორმულაში (4.2.16) მივიღებთ

$$k = \frac{\operatorname{tg} \rho}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{a}{\Delta \lambda \sin \beta} + \frac{\Delta}{2h} \lambda \cos \beta \quad (4.2.18)$$

სადაც ρ – აფსკსა და გრუნტს შორის ხახუნის წინააღობის კუთხე;

β – ფერდოს დახრის კუთხე;

a – წინააღობის ხვედრითი ძალა კონტაქტის სიბრტყეში;

Δ – დამცავი შრის სისქე;

γ – გრუნტის კუთრი წონა წყალში;

h – წყლის სიღრმე არხში;

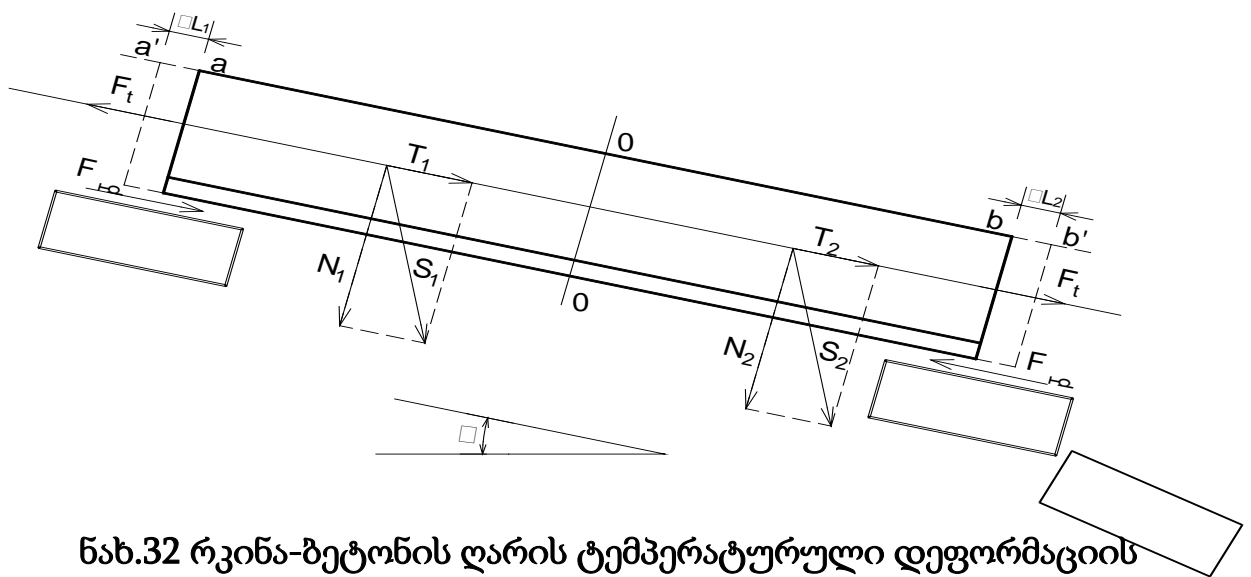
ამგვარად, მარაგის კოეფიციენტი ზოგადად a -ს აღებულ მნიშვნელობაზე მცირდება Δ -ს გაზრდასთან ერთად, რადგან

ჩვეულებრივად პრაქტიკაში გავრცელებული ზომებისათვის მესამე წევრის გავლენა (4.2.18) განტოლებებში შეიძლება უგულებელვყოთ.

მოყვანილი ანგარიშის მეთოდი, მხოლოდ შეიძლება გავრცელდეს კონკრეტულ სამოსის კონსტრუქციაზე და ისიც მდგრადობის საორიენტაციო პროგნოზირებისათვის.

საჭიროა აღინიშნოს რომ, ჯერ კიდევ იმ დროისათვის ნაკლებად იყო შესწავლილი სითხის მოძრაობა ხვრელებში და ასევე არ იყო გაშიფრული წყალგამტარი არხების განივკვეთის ზომების შემცირებასთან ერთად ზედაპირულ-მოლეკულური ეფექტების როლი ანომალური წყლის ფორმირებასა და რეოლოგიური ინდექსების ჩამოყალიბებაში. შემდგომი დროის შრომებში მრავალშრიანი იერარქიული მოდელისათვის გარკვეული თეორიული ასპექტები ამ საკითხის გაშუქებაში ასახვა ჰპოვა შრომებში [7.6.66.93].

ამ საკითხებზე ცალკე საჭიროა ყურადღების გამახვილება და შევიზღუდებით იმ სპეციფიკური დეფორმაციის კინემატიკური სურათის ახსნით რომელიც დამახასიათებელია ანაკრები რკინაბეტონის ღარებისათვის ცვლადი ციკლურ-ტემპერატურული დეფორმაციის პირობებში. ამ მიზნით ჩვენ განვიხილავთ ტემპერატურული დეფორმაციის სპეციფიკურ მექანიზმის ღარს, როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე სტატიკურად რკვევადი ძელის საანგარიშო სქემას ნახ.32.



**ნახ.32 რკინა-ბეტონის ღარის ტემპერატურული დეფორმაციის
საანგარიშო სქემა**

ნახ.32-ზე მოცემულია ანაკრები რკინაბეტონის ღარის თერმული ნიშანცვლადი კუმშვა-გაფართოების დეფორმაციის პრინციპიალური საანგარიშო სქემა. დავუშვათ რომ, რკინაბეტონის ღარი იწყებს ღერძულ გაფართოებას. მაშინ მისი ბოლოები მიიღებს რაღაც ΔL_1 და ΔL_2 წაგრძელების (ნაზრდს). თუ წარმოვიდგენთ რომ მარცხენა და მარჯვენა ტორსები ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით გადაადგილდებიან მაშინ გაფართოების ციკლის პროცესი ანუ მისი დამთავრების მომენტში ღეროს 0-0 კვეთი აღმოჩნდება თავის პირველ მდგომარეობაში დაფიქსირებული და პირობითად 0-0 კვეთს ვუწოდებთ ნეიტრალურს.

განვიხილავთ ღეროს ნახევარი სიგრძის “ბლოკს”, კერძოდ, მარცხენა ნახევარზე მოქმედებს გადაადგილების მიმართულების საწინააღმდეგო მიმართულების სიმძიმის ძალის T_1 მდგენელი, ხოლო მარჯვენა ნაწილში გადაადგილების თანდამთხვეული მიმართულების იგივე სიდიდის მხები T_2 მდგენელი.

ჰუკის კანონიდან ადვილად შეიძლება დავადგინოთ გადაადგილების (დეფორმაციის) სიდიდე როგორც მარცხენა ისე მარჯვენა ტორსებზე და შევაფასოთ მათ შორის განსხვავება. რადგან გაფართოვების დროს T_2 ემთხვევა გამაფართოვებელი F_0 ძალის მიმართულებას, ამიტომ Δl_2 მეტი იქნება Δl_1 –ზე, რადგან, ამ შემთხვევაში F_0 აკლდება T_1 . სწორედ ამის გამო, საყრდენების საწყისი წერტილებიდან გაფართოების შემთხვევაში b წერტილი აღმოჩნდება უფრო მეტად დაშორებული a^1 წერტილთან შედარებით. თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ $T_1 = T_2$ მაშინ სხვაობა Δl_2 და Δl_1 სიდიდეებს შორის დრეკადი დეფორმაციის არეში ტოლი იქნება

$$\Delta l = \frac{2T_1 \ell}{ES} = \frac{2T_2 \ell}{ES} \quad (4.2.19)$$

სადაც ℓ – ღეროს სიგრძე, მ;

E – დრეკადობის მოდული, პა;

S – პირობითი კოჭის განივკვეთის ფართობი, მ²;

გაფართოების პროცესის დამთავრების შემდეგ, ტემპერატურის დაცემის გამო იწყება კუმშვა, რომლის შედეგად ზემოთ აღნიშნული ძალებისა დეფორმაციის პროცესი ნიშანცვლადი ხდება და მივიღებთ ნარჩენ დეფორმაციას გარკვეული Δ სიდიდით. რომელიც წარმოადგენს $\Delta l_1^1 - \Delta l_2^2 = \Delta$ და სხვანაირად საწყისი წერტილიდან მარჯვენა ტორსით უფრო მეტად იქნება გადაადგილებული რაღაც Δ მანძილით შედარებით მარცხენა ტორსთან. საბოლოოდ მივიღებთ ერთი გაფართოებით კუმშვის ციკლში, ღარი იქნება “გადაცურებული” მარჯვენა მხარეზე ქანობის მიმართულებით Δl სიდიდით. ციკლის მრავალჯერადი განმეორების შემთხვევაში ცხადია დატოვებს ღერო საყრდენის კონტურს. რაც გამოიწვევს საბოლოოდ უკვე დაწყებული პირაპირების დეფორმაციის ფილტრაციის თავმოყრილი

ნაკადის წარმოშობას. ეს უკანასკნელი არის ავარიულ მდგომარეობაში რომლის დროსაც დანაკარგი არ შეიძლება შეფასდეს როგორც ფილტრაციული. ამასთან ერთად, ადგილი ექნება წყლის თავისუფალი ნაკადის ზემოქმედებით ფუძის გამორეცხვას სხვადასხვა ინტენსივობით რაც განპირობებული იქნება გრუნტების სახესხვაობაზე. დეფორმაციის ასეთი სახე მრავლად არის დაფიქსირებული ღარულ სარწყავ სისტემებზე და მათი აღმოჩენა ვიზუალურადაც ადვილი ხდება. განხილული მაგალითის შემთხვევაში დავადგინეთ, ყველაზე ტრივიალური საანგარიშო სქემით, დეფორმაციის მექანიზმის გამოყენება თუ როგორ შეიძლება მივალწიოთ ავარიის თავიდან აცილებას.

ერთ-ერთ საშუალებად შეიძლება გამოვიყენოთ პირაპირების მოწყობა არა საყრდენებზე არამედ კონსოლების ბოლოებში. ამ შემთხვევაში სიმძიმის ძალის ვერტიკალური მდგენელები უზრუნველყოფენ წონასწორობის პირობებს ჯამური მომენტის ნულთან ტოლობით.

ჩვენს მიერ წარმოდგენილი დეფორმაციის პრინციპიალური მექანიზმი [41] საშუალებას იძლევა მაღალი საიმედოობით დავაგეგმაროთ ანაკრები ღარების კონსტრუქციები, ან კიდევ მაღალ სვეტებიანი საყრდენების დრეკადობის (მოქნილობის) გაზრდით, პირაპირებს შეერთებით, წყალგაუმტარი საფენების მონტაჟით. ცხადია, ტემპერატურული დეფორმაციების პროცესის შესწავლა დიდ აქტუალურობას იძენს და ზრდის ფილტრაციული დანაკარგების პროგნოზის საიმედოობას.

ძირითადი დასკვნები

1. დადგენილია ფილტრაციის სიჩქარესა და გრადიენტს შორის ხაზოვანი ფუნქციონალური კავშირის მართებულობა, მხოლოდ ქვიშოვანი გრუნტებისა და ნიუტონური სითხეების წინააღმდეგობის რეოლოგიური შკალისათვის.
2. თეორიულად ინტერპრეტირებულია დეპრესიის წირის ინვარიანტობა გრუნტების ფილტრაციის კოეფიციენტთან კავშირში.
3. დადგენილია ფილტრაციის ხაზოვანი კანონის გავრცობისა და გამოყენების არის ზედა და ქვედა საზღვარი სათანადო კრიტერიალური მაჩვენებლის სახით.
4. მიღებულია თავისუფალი დეპრესიის ზედაპირის წირის საანგარიშო დამოკიდებულება საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებით.
5. მრავალშრიანი წყალშემცველი სიმძლავრისათვის შემოთავაზებულია ჰიდრომექანიკური საანგარიშო მოდელი რომლის მიხედვითაც, განმესაზღვრება ფილტრაციის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილი სიდიდე.
6. ჰიპოთეტურად დასაბუთებულია ჰიდრაულიკურად უხელსაყრელესი არხის კვეთიდან ფილტრაციული ხარჯის ოპტიმიზაცია.
7. შემოთავაზებულია ვირტუალური არხიდან ფილტრაციული ხარჯისა და გრუნტის წყლის რეჟიმის პროგნოზის საანგარიშო მოდელი ფილტრაციის საწყისი გრადიენტის გათვალისწინებით.
8. განსაზღვრულია გრუნტის შემადგენარეული კრიტიკული ჰიდრაულიკური ქანობის მნიშვნელობა და დადგენილია შესაბამისი

გრუნტის მარცვლის ზომა ზღვრული წონასწორობის უზრუნველყოფისათვის.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Абелишвили Г.В., Кацарова Т.Е., Терлецкая М.Н. – О роли фильтрационных параметров грунтов в расчёте прогноза режима грунтовых вод. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 35, ВНИИГ, 1967, с. 373-381.
2. Абелишвили Г.В., К вопросу установления закономерности фильтрации воды в глинистых грунтах, Труды ГрузНИИГиМ «Вопросы гидромелиорации» вып 27, Т., 1969, с. 201-206.
3. Абелишвили Г.В., Практический приём учёта начального градиента напора при фильтрационных расчётах. Сборник научных трудов ВНИИГиМ «Вопросы гидромелиорации в Грузии» 31 вып. М., 1974 с. 5-7.
4. Аверьянов С.Ф. фильтрация из каналов и её влияние на режим грунтовых вод «Колос», М. 1982, 237с.
5. Аверьянов С.Ф., Зависимость водопроницаемости почво-грунтов от содержания воздуха, ДАН/СССР, Т. 19. №2, 1959, с. 141-144
6. Алимов А.Г., Эффективность и надёжность облицовок оросительных каналов. Ж. Гидротехника и Мелиорация, №4. 1982. с. 18-23
7. Алтунин В.С., Бородин В.А., Ганков В.Г., Защитные покрытия оросительных каналов «Агрометеоиздат», М., 1988. 160с.
8. Алтунин С.Т., Регулирование русел рек М., Сельхозиздат, 1962, 271с.
9. Ананьев В.П., Передельский Л.В., Инженерная геология и гидрогеология. Изд. «Высшая школа», М., 1980, 270с.

10. Аравин В.И., Вопросы исследования неустановившейся и асимметричной фильтрации при помощи вязкостной аналогии. Изд. ВНИИГ, Т., 1978, с 204-213.
11. Аравин В.И., Нумеров С.Н., Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. М., Гостехиздат, 1965, 616с,
12. Астапов К.В., Мелиоративное почвоведение, Сельхозгиз, М., 1958, 357с.
13. Бзиава. К.Г., Гидравлическая модель расчёта фильтрации из естественных каналов, Сб, научных трудов Груз.ГАУ, Т. XXIX, Т., 2004, с. 143-146
14. Бзиава. К.Г., Определение фильтрационных потерь в периодически действующих оросительных каналах. Сб. научных трудов Груз. ГАУ, Т. III Т., 1998. с. 224-233
15. Бурлай И.Ф. О начальной скорости донного влечения, Ж. Метеорология гидрология, 1956, №6, с. 51-57
16. Бондаренко Н.Ф., физические основы мелиорации почв, Л., «Колос», 1975, 258с.
17. Бондаренко Н.Ф., Исследование стабильности фильтрационного потока во времени . «Почвоведение», №7, 1971, с. 70-74.
18. Бондаренко Н.Ф.,. Нерпин С.В. Методика исследования аномалий фильтрационных процессов. В книге «Новые методы измерения и приборы для гидравлических исследований». М., 1961, с. 268-271.
19. Будаговский А.Н. Впитывание воды в почву. Изд. АН СССР, 1955, 140 с.
20. Бер Я., Засловский Д.И., Ирмен С.Н. Физико-математические основы фильтрации воды. Изд-во «Мир». М., 1971, 452 с.
21. Будыко М.И. Испарение в естественных условиях. Гидрометеоиздат.Л.,1948, 136 с.

22. Васильев С.В., Веригин Н. Н., Глейзер Б. А., Разумов Г.А., Рудаков В.К., Саркисян В.С., Шержуков Б.С. Методы – Фильтрационных расчётов гидромелиоративных систем. Изд. «Колос», М., 1970, 440с.
23. Ведерников В.В. Теория фильтрации и её применение в области ирригации и дренажа. М-л., Гросстроиздат, 1949, 248 с.
24. Ведерников В.В. Учёт влияния капиллярности грунта на фильтрацию из каналов, ДАН СССР. 28, №5, 1950, с 408-410.
25. Веригин Н.Н., О фильтрации из каналов в сухой грунт. док. АН СССР 79, №4, с. 581-584
26. Веригин Н.Н., Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидротехники. Изд. АН СССР, отд. техн. Н, №10, 1953, с. 1369-1382.
27. Веригин Н.Н., Шержуков Б.С. Диффузия и массообмен при фильтрации жидкости в пористых средах. «Развитые теории фильтрации за 50 лет. М., 1969, с. 237-313.
28. Вершинин П.В., – Почвенная структура и условия её формирования. М., изд. АН СССР, 1968, 188 с.
29. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М., «Высшая школа», 1978. 447 с.
30. Гиринский Н.К., Определение коэффициента фильтрации по данным откачек при неустановившихся дебите и понижениях М., Гостеологоиздат, 136 с.
31. Гольдштейн М.Н., Механические свойства грунтов (Основные компоненты грунта и их взаимодействие) М., 1973, 323 с.
32. Гончаров В.Н., Основны динамики русловых потоков. Л., Гидрометеоздат, 1954, 454 с.
33. Губеладзе Д.О., Влияния руслового потока на подрусловое фильтрационное течение. АСХН Грузии,Т., 1991 с.165

34. Губеладзе Д.О., Исследование модели канала при наличии фильтрации. -В сб.: "Рациональное использование водных ресурсов и повышение эксплуатационных характеристик гидромелиоративных систем".- Тбилиси :Груз.СХИ,1987.с.59-68.
35. Джавахишвили Л.Г., Влияние изменчивости реологических индексов воды на фильтрационную скорость в капиллярно пористых телах Сб, научных трудов «Проблемы аграрной науки», ГГАУ, Т. XXXVI, 2006, с. 110-113. (На грузинском языке).
36. Гуменский Б.М., Лабораторные методы исследований грунтов. Изд. Иаркомхоза РСФСР, М-Л, 1938. 319 с.
37. Дерягин Б.В., Колясев Ф.И., Об основных закономерностях движения воды в почве при различном увлажнении. Ж. «Гидротехника и мелиорация» №2, М., 1950, с.3-12.
38. Дерягин Б.В., Упругие свойства тонких слоев воды. «ЖФХ» Т,3, вып 1, 1972, с. 29-42.
39. Дерягин Б.В., Сольватные слои как особые граничные фазы на основе прямых методов исследования - «Труды всесоюзной конференции по коллоидной химии»,. 1982 с. 26-52
40. Джавахишвили Л.Г., Фильтрация из естественных ложи-русл каналов с учетом начального градиента. Сб, научных трудов «Проблемы аграрной науки», ГГАУ, Т. XXXVI, 2006, с. 114-116. (На грузинском языке).
41. Джавахишвили Л.Г., Прогноз прочностно-деформационных характеристик конструкции облицовок ирригационных каналов. Сб, научных трудов «Проблемы аграрной науки», ГГАУ, Т. VI, #2, 2006, с. 102-104. (На русском языке).
42. Долгов С.И., Исследования подвижности почвенной влаги и её доступности для растений М.-Л. Изд-во АН СССР, 1948, 238с.

43. Егиазаров И.В., Транспортирующая способность открытых потоков, АН СССР, ОТН, №2, 1956. с 85-90.
44. Емцев Б.Т., Техническая гидромеханика М., «Машиностроение», 1978, 468с.
45. Жордания Т.Г., Иттриев Л.А., Исследования грунтополимерных экранов для противofильтрационной защиты оросительных каналов. Тр. ГрузНИИГиМ вып 3. М., 1974. с. 29-31
46. Злочевская Р.И., О природе изменения свойств связанной воды в глинах под действием повышающихся температур и давлении «Вестник МГУ, серия геол.» 1977 №3, с. 56-70
47. Зонтаг Г., Штрэнге К., Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. Пер. с немецкого Л., «Химия», 1973. 152с
48. Исстомина В.С., Фильтрационная устойчивость грунтов. «Госстройздат», М., 1957, 135с.
49. Кабардин О.Ф., Физика, справочные материалы. М. «Просвещение», 1991, 368с.
50. Кацарава Т.Е., К вопросу учёта поверхностных сил при движении воды в капиллярах. Труды Груз. НИИГиМ, вып. 26, Т., 1968, с. 123-128
51. Кацарава Т.Е., Сулава Э.С., Учёт реологической характеристики при расчёте горизонтального дренажа. Сообщения АН Груз. СССР, 60, №1 1970 с. 161-164.
52. Кацарава Т.Е., О механизме процесса фильтрационно-капиллярного передвижения влаги в набухающих почво-грунтах. Труды ГрузНИИГиМ, «Вопросы гидромелиорации» вып. 29, 1972, с. 267-280.
53. Качинский И.А., Физика почвы М., «Высшая школа», 1965. 324с.
54. Кереселидзе Д.А., К вопросу определения коэффициента Фильтрации тяжёлых глинистых грунтов в натуральных условиях. Тр. ГрузНИИГиМ, вып. 29, Т., 1972, с. 281-287
55. Кереселидзе Д.А., Абелишвили Г.В., К вопросу методики определения водопроницаемости глинистых почво-грунтов в полевых условиях.

Материалы межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. Вып. II, М, 1972, с. 334-342

56. Костяков А.Н., Избранные труды. Сельхозгиз, М., Т.1, 1961, 807с.
57. Костяков А.Н., Фаворин Н.И., Аверьянов С.Ф., Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. Изд. АН СССР, М., 1956, с. 28-35
58. Котов А.Н., Нерпин С.В., Водоупорные свойства глинистых почво-грунтов и природа начальных градиентов фильтрации. Изд. АН СССР, ОТН, №9, 1958, с. 106-109
59. Круашвили И.Г., Критические скорости течения в земляных каналах при наличии Фильтрации. Труды Груз. СХИ, «Орошение земель в горных условиях Грузии», 1985, с. 53-58
60. Круашвили И.Г., Губеладзе Д.О., Влияние фильтрации на кинематическую структуру придонного слоя водного потока.-Материалы Все-союзной конференции молодых специалистов, строительство ГЭС в высокогорных условиях.Цхалтубо,1986,с.80-81.
61. Кулик В.Я., Инфильтрация воды в почву. М., «Колос», 1978, 82с.
62. Купрейшвилит Ш.З., и др. – Экспериментальное исследование начального градиента Фильтрации в высокодисперсных глинистых сорбентах. Проблемы аграрных наук, Тр. XXII.Т. 2005. с. 164-167.
63. Кухалашвили Э.Г., К оценке гранулометрического состава селевого потока. Респ. научная конференция, «Водохозяйственное строительство и мелиорация в Грузии», Т., 1981, с. 18-19
64. Лебедев А.В., Почвенные и грунтовые воды. Изд. 4. М.-Л., АН СССР, 316с.
65. Лейбензон Л.С., Движение природных жидкостей а газов в пористой среде. М., Л., Гостехиздат, 1957, 224с.
66. Ломизе Т.М., Фильтрация в трещиноватых породах. М.-Л., Госэнергоиздат, 127с.

67. Ломизе Г.М., Движения воды в щелях. Издания академии наук Армянской ССР. 1947. 70с.
68. Лыков А.В., Михайлов Ю., А. Теория тепло и массопереноса. М.–Л., Госэнергоиздат, 1963. 535с.
69. Лыков А. В., Явления переноса в капиллярно пористых телах. Гос. издат. ТТЛ, М., 1954, 245с.
70. Магомедова А.В., Расчёт транспортирующей способностей при водной эрозии несвязанных грунтов. Гидротехника и мелиорация, №5 1979, с 49- 52
71. Маслов Н. Н. Котов М, Ф. Инженерная геология. Изд. Литературы по строительству. М., 1971. с. 339
72. Мирцхулава Ц.Е., О надёжности крупных каналов. М., «Колос», 1981, 320с.
73. Мирцхулава Ц.Е., Инженерные методы расчёта и прогноза водной Эрозии. М., «Колос», 1970, 240с.
74. Мирцхулава Ц.Е., Надёжность гидромелиоративных сооружений» М., Колос, 1974, 286 с.
75. Мичурини Б.Н., Энергетика почвенной влаги. Гидрометиздат, Л., 1975, 139с
76. Мебониа Н.А. Трансформация гидродинамической силы давления с учётом поверхностно молекулярного эффекта. Проблемы Аграрных наук. Тбилиси. Сб. научных трудов, XXXII.с. 164-167
77. Насберг В.М., Вопрос о Фильтрации при нагнетании в ненасыщенных водой грунт. Изд. АН СССР, Отд. техн. н., №9 с. 1415-1429
78. Натальчук М.Ф., Ахмедов Х.А., Ольгаренко В., И. Эксплуатация гидромелиоративных систем. М., «Колос», 1983, 275с.
79. Нерпин С.В., Чудовский А.Ф., Энорго и массобмен в системе растение-почва-воздух. Гидрометеиздат Л., 1975, 358с.

80. Нумеров С.Н., Решение задач о Фильтрации без промежутков высачивания и инфильтраций или испарения воды со свободных поверхностей. Прик. мат. и мех 4, №1, с. 75-86
81. Одилавадзе Т.В., Кинематика капиллярного передвижения влаги в почво-грунтах. Изв. Армянской сельхоз. Академии, 2005, с. 69-71.
82. Павловский Н.И., Движение подземных вод. М.Л. Изд. АИСССР, 2, 1956, 771с.
83. Павловский Н.И., Неравномерное движение грунтовых вод (дальнейшее развитие вопроса). Л., 1932, 80с.
84. Полубаринова-Кочина П.Я., Теория движения грунтовых вод. Изд. «Наука», М., 1977, 663с
85. Порхаев А.П., Коллоидный журнал 11. 346, 1949 с. 18-25
86. Пурцеладз Л.Д., Оценка надёжности устойчивости размываемых оснований с помощью теории распознавания образов. В кн. Оценка и обеспечение надёжности гидротехнических сооружений. ВНИИГ иМ. Б. Е. Веденеева. 1981.
87. Пхакадзе П.С., Определение междренних расстояний в условиях глинистых почв Колхиды. Вопросы в Грузии, вып. 30, М., 1973, с. 50-61.
88. Рельтов Б.Ф., Чураев Р.Р., Вяземский О. В. О давлений воды на основание гидротехнического сооружения . Изв. ВНИИГ иМ, 41, с. 18-39
89. Ризенкамф. Б.К., Гидравлика грунтовых вод. 4.3. труды Саратовского университета, 15, №5 с. 3-93
90. Роде А.А., Основы учения о почвенной влаге Т.1, Л., Гидрометеиздат 1965, 664 с
91. Роде А.А., Водный режим почв и его регулирование, М., Изд-во АНСССР, 1963 , 115с.

92. Роза С.А., О роли начального градиента в процессах Фильтрации через растворимые горные породы. Сб. «Растворение и выщелачивание горных пород», ВОДГЕО, 1957, с. 97-110.
93. Саттаров М.А., Некоторые модели Фильтрации в пористых средах. ДАН СССР, 1972, Т. 203 №1 с. 54-57
94. Сергеев Е.М., Грунтоведение. Изд. МГУ, 1983, 389с.
95. Сулаберидзе Р.Б., Кацарова Т.Е., К вопросу инвариантности форм свободных поверхностей и величин гидродинамического давления фильтрационных потоков. Гр. ГрузСХИ т.ХС, 1974, с. 263-268
96. Тевзадзе В.И., Расчётные модели плотности селевой смеси и объёма селевых выносов. Г. Г. А. У. Юбилейный том, Т., 1999, с. 383-386
97. Терлецкая М.Н., Каналы в водонеустойчивых грунтах аридной зоны. «Колос» М., 1983, 94с
98. Тугуши Г. Е , Тугуши П. Г, Обобщение и развитие теории поверхностного стока атмосферных осадков в связи с решением ряда проблемных задач в мелиорации Тр. ГГАУ, Т., 1998, с. 197-220
99. Тугуши Г. Е. – Определения расстояния между собирательными каналами и осушительной сети, с учётом проведения некоторых агро-мелиоративных мероприятия. «Проблемы аграрной науки», Юбилейный сборник, Т., 1999, с. 353-360
100. Тугуши П.Г., К вопросу исследования надёжности противофильтрационных облицовок. В сб. «Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними», Т., 1980, с. 122-127
101. Угинчус А.А., Гидравлические и технико-экономические расчёты каналов. «Стройиздат», М., 1965, 274с.
102. Хлебников С.Г., Разумовская М.Р., Потери воды на Фильтрацию через трещины в бетонной одежде канала. Труды ГрузНИИГиМ, XIX, 1963, с. 44-49.

103. Хортон Р., Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов ИЛ, 1948, 186с.
104. Цицкишвили А.Р., Фильтрация из канала трапецеидального сечения. Изд. АНСССР, ОТН, №3, 1957, с 125-133
105. Цицкишвили А.Р., Об интеграционном методе И. М. Герсеванова. Прикл. мат. и мех.21, №2,1967, с 291-296
106. Цытович Н.А., Механика грунтов . М., «Высшая школа», 1979, 271с.
107. Чайлдс Э., Физические основы гидрологии почв. Л., Гидрометеиздат, 1973, 427с.
108. Чарный И.А., Основы подземной гидравлики. М., Гостоптехиздат, 260с.
109. Чураев И.В., Горохов М.М., Исследование влагопроводности ненасыщенных модельных почвенных систем. «Почвоведение», 1970, №6, с. 54-60
110. Чугаев Р. Р, - Гидравлика. «Энергия». Л., отделение, 1971, 541с.
111. Debolsky V.K., Gubeladze D.O. Alluvial stream Hydraulic Resistance in the Presence of Filtration.International Conference on Channel flow and catchment Runoff Centennial of Manning's formula and Rational formula department Of civil engineering university Of Virginia.USA.1989.
112. Coyal R., Chawla A.S., Seepage from canals with infiltration from free surface zone. J. Irrig. and Drain. Engrg., vol. 132, issue 4, 1997, pp. 257-263
113. Khepar S.D., Culati H.S., Yaday A.K., Brar T.P.S., A tobel from equitable distribution of canal water. In.J. irrigation science, vol. 19, №4, pp.191-197
114. Pehmen H.L, Natural evaporation from open water, bare soil, and drass. Proc. Roy. sic., london, A 193, 1948, 146p.
115. Schwartzendruber D., Non-Darcy Behavior and the flow of Water in Unsaturated Soils, - "soil Sci. Soc. Amer. Proc" 1963, vol. N5, pp.491-495