

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ხელნაწერის უფლებით*

გიორგი ნატროშვილი

“სასოფლო-სამეურნეო კულტურების რწყვის  
ოპტიმალური რეჟიმის დადგენა რესურსმზოგი  
ტექნოლოგიებით”

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი  
დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში სამშენებლო ფაკულტეტის ჰიდროინჟინერიის დეპარტამენტში.

**ხელმძღვანელი:** ირაკლი ყრუაშვილი  
პროფესორი, ტ.მ.დ

**თანახელმძღვანელი:** ირმა ინაშვილი  
პროფესორი, ტ.მ.კ. აკადემიური დოქტორი

**რეცენზენტები:** გოგა ჩახაია  
ასოცირებული პროფესორი, ტ.მ.კ.  
აკადემიური დოქტორი

**მადონა ლორია**  
შოთა რუსთაველის ბათუმის ტექნიკური  
უნივერსიტეტის ასისტენტ პროფესორი,  
აკადემიური დოქტორი

დაცვა შედგება 2015 წლის 13 თებერვალს 15<sup>00</sup> საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო და საექსპერტო ლაბორატორიის აუდიტორიაში. I კორპუსი, III სართული.

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 72.

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია სტუ-ს ცენტრალურ ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი: **დემურ ტაბატაძე**  
პროფესორი, ტ.მ.კ.  
აკადემიური დოქტორი

# შესავალი

## ნაშრომის საერთო დახასიათება

**თემის აქტუალურობა.** უკანასკნელ წლებში მსოფლიოს წინაშე მკვეთრად ისახება წყლის დეფიციტის პრობლემა. დადგენილია, რომ დღეისათვის, წყლის უკმარისობას განიცდის დედამიწის მოსახლეობის დაახლოებით 1.5 მილიარდი, ხოლო 2050 წლისთვის მათი რაოდენობა სავარაუდოდ შეიძლება 3.5 მილიარდს მიაღწიოს.

დღეისათვის, მიუხედავად იმისა, რომ შეიძლება მთლიანად ქვეყანაში წყლის რესურსები საკმარისი იყოს, მსოფლიოში ამჟამად მაინც არ არსებობს სოფლის მეურნეობის პროდუქციის მწარმოებელი სახელმწიფო, რომელიც არ განიცდიდეს სიძნელეებს გარკვეული ტერიტორიების გაწყლოვანებაში. ისევე, როგორც მსოფლის მრავალ ქვეყანაში, საქართველოშიც განსაკუთრებით რთულია იმ რეგიონების წყალუზრუნველყოფა, რომლებიც ქვეყნის ნახევრად არიდულ ზონაშია განლაგებული, ვინაიდან აქ წყალმოთხოვნილება საკმაოდ დიდია, ხოლო მისი ხელმისაწვდომობა დაბალი.

წყალმოთხოვნილების მოცულობის მიხედვით, სახალხო მეურნეობისა და წყალთა მეურნეობის დარგებს შორის, სოფლის მეურნეობა ერთ-ერთი მსხვილი წყალმომხმარებელია, ვინაიდან არსებული წყლის რესურსების დაახლოებით 70% სარწყავ წყალზე მოდის. ექსპერტების მიერ დადგენილია, რომ სარწყავი წყლის ხარჯის 10%-ით შემცირების შედეგად გაწეული ეკონომია დაზოგავს მეტ წყალს ვიდრე მოიხმარენ ყველა სხვა წყალმომხმარებლები ერთად.

როგორც მრავალი მეცნიერის კვლევა ადასტურებს, რწყვის ტექნოლოგიებს შორის, წყლის ეკონომიის თვალსაზრისით, ყველაზე უფრო საიმედოა წვეთური მორწყვა, ხოლო მასთან ერთად პოლიმერული მასალებით მულჩირების ტექნოლოგიის გამოყენება კიდევ უფრო ამაღლებს ეფექტურობას. აღნიშნული მეთოდების ერთობლივი გამოყენების შემთხვევაშიც კი, რწყვის რეჟიმის არასწორი შერჩევის დროს სარწყავი წყლის დანაკარგი დაახლოებით 30%-ს შეადგენს.

რწყვის რეჟიმის პარამეტრების შერჩევის დროს დაშვებული ცდომილებები ძირითადად განპირობებულია ნიადაგის ტენის დინამიკის ამსახველ მოდელებში ნიადაგის ამა თუ იმ ფიზიკური ან მექანიკური თვისებების, წყალ-ჰაეროვანი რეჟიმების მონაცემების, ევაპორანსპირაციის, აგროკლიმატური მონაცემების და სხვა ფაქტორების არაზუსტი მონაცემების გათვალისწინების ან/და ზოგიერთის სრლად უგულველებლყოფის გამო.

გამომდინარე აქედან, წყლის რესურსების ოპტიმალური მართვა სოფლის მეურნეობაში, რაც ძირითადად გულისხმობს რწყვის რეჟიმის ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევას გეგმიური და სტაბილური მოსავლის მისაღებად გარემოს ეკოლოგიური წონასწორობის მაქსიმალური შენარჩუნებით, ისეთი რესურსდამზოგი და ეკოლოგიური თვალსაზრისით გამართლებული ტექნოლოგიების გამოყენებით, როგორებიცაა მულჩირება პოლიეთილენის აფსკით და წვეთური მორწყვა, დღეისათვის ერთ-ერთ აქტუალურ პრობლემად რჩება.

**სამუშაოს მიზანი.** სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია - პროგრამული მოსავლის მიღების მაქსიმალური საიმედოობის და ეკოლოგიური წონასწორობის მაქსიმალური შენარჩუნების გათვალისწინებით, რესურსდამზოგი ტექნოლოგიების გამოყენების პირობებში (მულჩირება პოლიეთილენის აფსკით და წვეთური მორწყვა), შექმნილ იქნას რწყვის რეჟიმის ოპტიმალური მართვის ინტეგრირებული მოდელი, რომელიც ასახავს მელიორირებადი მიწების სრული გაჯერებისა და აერაციის ზონაში მიმდინარე ფიზიკურ, ბიოლოგიურ და მექანიკურ პროცესს. მიღებულ რეკომენდაციებზე დაყრდნობით შემუშავდეს ოპტიმალური რწყვის რეჟიმი ბუნებრივ-კლიმატური პირობების, ნიადაგის თვისებების და სასოფლო სამეურნეო კულტურების (პომიდორი და ნესვი) წყალმოთხოვნილების გათვალისწინებით.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები.** კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა საქართველოს ნახვრად არიდულ რეგიონში განლაგებული სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები. ექსპერიმენტული

კვლევები ჩატარებულ იქნა დიდმის საცდელი პოლიგონის 0,06 ჰა ფართობზე.

დასახული მიზნის მისაღწევად გამოყენებულ იქნა ჰიდრაულიკაში, ჰოდროტექნიკურ მელიორაციაში, ნიადაგმცოდნეობაში და აგრონომიაში საყოველთაოდ აღიარებული სამეცნიერო-ტექნიკური მიდგომები და მეთოდები.

კერძოდ, როგორც რესურსდამზოგი ტექნოლოგია, გამოყენებულ იქნა შავი პოლიეთილენის აფსკით მულჩირების მეთოდი წვეთურ მორწყვასთან ერთად რომელთა კომპლექსურად მოქმედების შემთხვევაში შესაძლებელია ნიადაგის ტენისა და ტემპერატურის რეჟიმების რეგულირება.

ნიადაგის ფიზიკური, მექანიკური, ქიმიური და წყლოვანი თვისებების განსაზღვრა განხორციელდა ნიმუშების აღებით, ექსპერიმენტების საფუძველზე, ნიადაგმცოდნეობაში აღიარებული მეთოდების გამოყენებით. კერძოდ, გამოყენებულ იქნა ისეთი ცნობილი მეთოდები, როგორცაა: ნ. ა. კაჩინსკის, ი.ვ. ტიურიჩის, კაპენ-გილკოვიცის, ა. ვ. სოკოლოვის, კაპენის, კირსანოვის და სხვა.

ნიადაგის ტენიანობის გაზომვა ხორციელდებოდა სპეცილური სენსორებით, რომლებიც მუშაობს ელექტროგამტარობის გაზომვის პრინციპით და საშუალებას იძლევა აღნიშნული მახასიათებლების სიდიდეები გაზომილ იქნას ნიადაგის 1 მ-მდე სიღრმეში წინასწარ დადგენილი და ექსპერიმენტისთვის შერჩეული ოპტიმალური ბიჯით.

კლიმატური პირობების, კერძოდ ჰაერის ტემპერატურის და ტენიანობის, ქარის სიჩქარის და მიმართულების, ატმოსფერული წნევისა და ნალექების კონტროლი ხორციელდებოდა არგრარულ უნივერსიტეტში არსებული სტაციონალური მეტეოროლოგიური სადგურის მეშვეობით, რომელიც მზის ენერგიით იკვებება და აღნიშნული მონაცემების ცვალებადობის უწყვეტი ინფორმაციის მიღების საშუალებას იძლევა.

**ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე:**

- ნიადაგში ტენის მოძრაობის საანგარიშო სქემისა და თეორიული კვლევების საფუძველზე მიღებულია ნიადაგის აქტიური ფორიანობის ოპტიმალური მნიშვნელობების საანგარიშო დამოკიდებულება;
- განსაზღვრულია ნიადაგ-გრუნტებში ტენის გადაადგილების სიჩქარე მულჩირებისა და ღია გრუნტის პირობებში;
- მიღებულია ფილტრაციის სიჩქარის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულება ფორიანობის გათვალისწინებით;
- განსაზღვრულია ფილტრაციის სიჩქარის საწყისი გრადიენტისა და სრული გრადიენტის ფორიანობასთან ფუნქციონალური კავშირი, რის საფუძველზეც შესაძლებელია ნიადაგის ტენიანობის რეგულირება სარწყავ მიწათმოქმედებაში და რწყვის ოპტიმალური რეჟიმების დადგენა;
- მიღებულია მორწყვის ნორმის საანგარიშო დამოკიდებულება ნიადაგ-გრუნტების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით;
- წვეთური მორწყვის შემთხვევაში შედარებულია მულჩირებული და არამულჩირებული ნიადაგებისთვის მიღებული რწყვის ნორმები;
- მიღებული კლიმატურ და ნიადაგურ მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე შემუშავებულია სასოფლო-სამეურნეო კულტურების რწყვის ოპტიმალური რეჟიმები ნიადაგ-გრუნტების ფილტრაციისა და ევაპორანსფირაციის გათვალისწინებით.

**შედეგების გამოყენების სფერო.** შემუშავებული

ოპტიმალური რწყვის რეჟიმის რეკომენდაციები ბუნებრივ-კლიმატური პირობების, ნიადაგის თვისებების და სხვადასხვა სასოფლო სამეურნეო კულტურების წყალმოთხოვნილების გათვალისწინებით მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს საქართველოს აგროსექტორის განვითარებას და კერძოდ, სარწყავი მიწათმოქმედების გაუმჯობესებას.

ცალკეული კონკრეტული ამოცანების შედეგები დიდ დახმარებას გაუწევს ჰიდროტექნიკურ მედიორაციაში, ჰიდრაულიკაში,

ნიადაგმცოდნეობაში, აგრონომიაში და სხვა მომიჯნავე დარგში მოღვაწე მეცნიერებს სამომავლო კვლევების განხორციელებაში.

### **დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა.**

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, 3 თავისა და ძირითადი დასკვნებისაგან. იგი მოიცავს 100 ნაბეჭდ გვერდს, მათ შორის 15 ნახაზს და 10 ცხრილს; გამოყენებულია 98 დასახელების ლიტერატურა.

## დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით

სადისერტაციო ნაშრომის პრიველ თავში განხილული და შესწავლილია ისეთი რესურსმზოგი ტექნოლოგიები როგორებიცაა წვეთური მორწყვა და ნიადაგის მულჩირება. მოცემულია არსებული ტექნოლოგიების, ნიადაგის ფილტრაციული თვისებებისა და ევაპორტრანსპირაციის პირობების ანალიზი და შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა.

აღსანიშნავია, რომ საადრეო და უხვი მოსავლის მიღების მიზნით მულჩით დაფარული სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობი ყოველწლიურად იზრდება. მულჩირება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ისეთი სიტბოს მოყვარული მცენარეთათვის, როგორებიცაა პომიდორი, წიწაკა, ბადრიჯანი, სიმინდი, ყურძენი, ბაღჩეული კულტურები და სხვა.

მულჩად შეიძლება გამოყენებულ იყოს ნებისმიერი მასალა – მოთიბული ბალახი, ქაღალდი, კარდონი, თივა, ბზე, ტორფი, ნახერხი, ნაფოტები, კერამიტი, პოლიეთილენის აფსკი, ტოლი, რუბეროიდი, შავი სარაი აგრილის ან ლუტრასილის ტიპის და ა.შ.

არსებული კვლევების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ:

1. ორგანული მულჩა წარმოადგენს ნიადაგის მიკროორგანიზმების საკვებს და აძლიერებს მათ აქტივობას;
2. მულჩა იწვევს მოძრავი საკვები ელემენტების განავითარებას, ხოლო გარკვეული პირობების დროს კი ნახშირორჟანგის გამომუშავებას;
3. განაპირობებს ნიადაგის ხელსაყრელი კოშტოვანი სტრუქტურის ჩამოყალიბებას;
4. იცავს ნიადაგს გადაშრობისგან, ინარჩუნებს მის ტენიანობას;
5. არეგულირებს ნიადაგის ტემპერატურას;
6. აფერხებს სარეველების განვითარებას;
7. ხელს უშლის ეროზიული პროცესების განვითარებას და საკვები ელემენტების გამორეცხვას;



8. ხელს უწყობს ბუნებრივი დამცავი ნივთიერებების წარმოქმნას, რომლებსაც მცენარეები ითვისებენ.

გარდა ზემოთაღნიშნულისა, მრავალი მეცნიერის კვლევა ადასტურებს, რომ რწყვის ტექნოლოგიებს შორის, წყლის ეკონომიის თვალსაზრისით, ყველაზე უფრო საიმედოა წვეთური მორწყვა, ხოლო მასთან ერთად პოლიმერული მასალებით მულჩირების ტექნოლოგიის გამოყენება კიდევ უფრო ამადლებს ეფექტურობას. აღნიშნული მეთოდების ერთობლივი გამოყენების შემთხვევაშიც კი, რწყვის რეჟიმის არასწორი შერჩევის დროს სარწყავი წყლის დანაკარგი დაახლოებით 30 %-ს შეადგენს, ხოლო რომ მულჩის ქვეშ ნიადაგის ტენიანობა 50 სმ სირღმეზეც კი 2-5%-ით მეტი, ვიდრე ნიადაგისა მულჩის გარეშე.

გამომდინარე აქედან, იმისათვის, რომ შეირჩეს ამა თუ იმ სასოფლო-სამეურნეო კულტურის რწყვის რეჟიმის ოპტიმალური პარამეტრები აუცილებელია ნიადაგ-გრუნტის ფილტრაციული თვისებების შესწავლა წვეთური მორწყვის შემთხვევაში როგორც ღია ასევე მულჩირებული ნიადაგის დროს.

ნაშრომის მეორე თავში შემოთავაზებულია მოდელი, რომლის საფუძველზე ნიადაგ-გრუნტის რეალური მოდელი წარმოდგენილია იდეალურით, რომლის ყველა ფორი ერთმანეთის პარალელურ ცილინდრულ მილსადენთა სისტემას შეიცავს. ასეთი მილოვანი სისტემით შედგენილი ნიადაგის ცალკეული მილისათვის ნაკადის დინების საშუალო სიჩქარის საანგარიშოდ მიღებულია საანგარიშო დამოკიდებულება

$$V = \frac{\gamma R^2}{2\mu} \left(1 - \frac{r_0}{R}\right)^2 \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \frac{r_0}{R}\right), \quad (1)$$

სადაც:  $V$  არის იდეალურ ნიადაგ-გრუნტებში წყლის ფილტრაციის სიჩქარეა (მ/წმ);  
 $\frac{\gamma R^2}{2\mu}$  – ფოროვან მილში წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე (მ/წმ);  
 $R$  – ფოროვანი მილსადენის რადიუსია (მ);  
 $r_0$  – ფოროვან მილსადენში ძვრის საწყისი წინაღობის ექვივალენტური რადიუსია (მ).

შემოთავაზებული მოდელის შესაბამისად, ფილტრაციის მიმართულებით  $\Omega$  ცოცხალი კვეთის ფართობისა და  $x$  მილსადენის შემთხვევაში, ცალკეული მილის  $\omega_x$  ცოცხალი კვეთის ფართობი იქნება

$$\omega_x = \frac{\Omega}{x} \quad (2)$$

შესაბამისად, ცალკეული მილსადენის წყლის ხარჯი ტოლია

$$Q_{\text{მილ}} = \frac{\gamma R^2}{2\mu} m \frac{\Omega}{x} \quad (3)$$

წარმოდგენილ (3) დამოკიდებულებაში  $m = f\left(\frac{r_0}{R}\right)$ , და მისი განსაზღვრა ძალზე რთულია და სპეციალურ კვლევებს საჭიროებს.

რადგან  $U = \frac{\gamma R^2}{2\mu}$  წარმოადგენს წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარეს ფოროვან მილსადენში, მისი ცოცხალი კვეთის ფართობი  $\omega_x$  შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით

$$\omega_x = m \frac{\Omega}{x} \quad (4)$$

(4) დამოკიდებულების მიხედვით  $\frac{\omega_x x}{\omega}$ , წარმოადგენს გრუნტის  $n$  ფორიანობას და შესაბამისად

$$n = m = \left(1 - \frac{r_0}{R}\right)^2 \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \frac{r_0}{R}\right) \quad (5)$$

თუ (5)-ს გავითვალისწინებთ (1)-ში, მაშინ ფოროვანი მილის საშუალო სიჩქარე ტოლი იქნება

$$V = mU. \quad (6)$$

ე.ი. ფილტრაციის საშუალო სიჩქარე ცალკეულ ფოროვან მილში წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარისა და ნიადაგ-გრუნტის ფორიანობის კოეფიციენტის ნამრავლის ტოლია.

მიღებული (6) საანგარიშო დამოკიდებულება ამყარებს კავშირს ფიქტიურ და იდეალურ ნიადაგ-გრუნტში წყლის  $V$  ფიქტიურ სიჩქარესა და ფოროვან მილში  $U$  საშუალო სიჩქარეს შორის.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ენერჯის დანაკარგი ფოროვან მილში  $h_{ღან}$ -ის ტოლია, მაშინ შეიძლება დავწეროთ

$$h_{ღან} = \lambda \frac{\ell U^2}{4R 2g} \quad (7)$$

სადაც:  $\lambda$  არის ჰიდრაულიკური წინაღობის კოეფიციენტი;  
 $g$  – სიმძიმის ძალის აჩქარება ( $მ/წმ^2$ );  
 $\ell$  ფოროვანი მილის სიგრძე ( $მ$ ).

(7) საანგარიშო დამოკიდებულებიდან ჰიდრაულიკური ქანობი  $I$  რეინოლდსის  $Re$  რიცხვისა და სიბლანტის  $\nu$  კინემატიკური კოეფიციენტის გათვალისწინებით შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით

$$I = \frac{\lambda Re^2 \nu^2}{8 R^3 g} \quad (8)$$

(8) დამოკიდებულების გარდაქმნისა და უგანზომილებო კომპლექსის  $\Pi$ -თი აღნიშვნის საფუძველზე, რომელიც ფილტრაციის რიცხვით არის ცნობილი, მივიღებთ

$$\Pi = \frac{gR^3 I}{\nu^2} \quad (9)$$

$$\Pi = \frac{\lambda}{8} Re_R^2. \quad (10)$$

შესაბამისად, ჩატარებული გარდაქმნების საფუძველზე ჰიდრაულიკური წინაღობის კოეფიციენტი  $\lambda$  რეინოლდსის რიცხვთან კავშირში მიიღებს სახეს

$$\lambda = \frac{8\Pi}{Re_R^2}. \quad (11)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას  $A = \lambda Re_R^{2-n}$ , მაშინ

$$\lambda = \frac{A}{Re_R^{2-n}}. \quad (12)$$

(12) დამოკიდებულების გატოლებით (11)- თან მივიღებთ

$$\Pi = \frac{A}{8} Re_R^n. \quad (13)$$

$\Pi$ -ს მნიშვნელობის გათვალისწინებით (13)-ში, მივიღებთ

$$\frac{gR^3 I}{v^2} = \frac{A}{8} \left( \frac{UR}{v} \right)^n \quad (14)$$

(14) დამოკიდებულებიდან შეიძლება განისაზღვროს ფოროვან მილში წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე

$$U = \left( \frac{8gI}{A} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{R^{\frac{3-n}{n}}}{v^{\frac{2-n}{n}}} \quad (15)$$

ლამინარული ფილტრაციის შემთხვევაში ფილტრაციის სიჩქარე, როცა  $n=1$ , არის

$$U = \frac{8gI}{A} \frac{R^2}{v} \quad (16)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ  $v = \frac{\mu}{\rho}$ ,  $\gamma = \rho g$ , (16) საანგარიშო დამოკიდებულება მიიღებს სახეს

$$U = \frac{8\gamma R^2}{\mu} \frac{I}{A} \quad (17)$$

(17) დამოკიდებულებაში თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას  $K' = \frac{8R^2}{A}$

$$U = \frac{\gamma K'}{\mu} I \quad (18)$$

(18) დამოკიდებულების გათვალისწინებით (16)-ში, გვექნება

$$V = \frac{n\gamma K' I}{\mu} \quad (19)$$

(19) საანგარიშო დამოკიდებულება წარმოადგენს წყლის ფილტრაციის საანგარიშო დამოკიდებულებას იდეალურ ნიადაგ-გრუნტებში.

წყლის ფილტრაციის შესწავლისას მაღალდისპერსიულ გრუნტებში (თისა, ტორფი) დადგენილ იქნა, რომ ფილტრაცია იწყება მას შემდეგ, როდესაც დაწნევის გრადიენტი გადააჭარბებს გარკვეულ სიდიდეს, ე.ი., კრიტიკული დაწნევის მნიშვნელობის შესაბამისი წერტილის შესატყვის გრადიენტს. პირობითად ეს გრადიენტი შესაძლებელია მიჩნეულ იქნას საწყის გრადიენტად. ფუნქციონალური კავშირის ზოგადი ხასიათი ფილტრაციის სიჩქარესა და გრადიენტს შორის სხვადასხვა ნიადაგ-გრუნტისათვის შეიძლება ჩაწერილ იქნას დამოკიდებულებით

$$V_{\text{რეალ}} = KI \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \quad (20)$$

სადაც:  $K$  არის ფილტრაციის კოეფიციენტი;  
 $I$  – სრული გრადიენტი;  
 $I_0$  – საწყისი გრადიენტი.

(20) დამოკიდებულების შეფარდებით (19)-თან, როცა ფილტრაციის კოეფიციენტი  $K_1 = n \frac{\gamma K'}{\mu}$  ტოლია, რეალური გრუნტისათვის ფილტრაციის სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე

$$V_{\text{რეალ}} = K_1 K' T \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \quad (21)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას

$$K_0 = n K' \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \text{ და } K = \gamma \frac{K_0}{\mu},$$

მაშინ მივიღებთ

$$V_{\text{რეალ}} = KI \quad (22)$$

(21)-ე დამოკიდებულებაში  $K_0 = n \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) K'$  წარმოადგენს წყალგამტარობის კოეფიციენტს და აქვს ფართობის განზომილება, ხოლო  $K$  რეალური გრუნტის ფილტრაციის კოეფიციენტს წარმოადგენს. კვადრატული ტურბულენტური ფილტრაციის შემთხვევაში, როცა  $n=2$ , გვექნება

$$U = \sqrt{\frac{8gR}{A}} \sqrt{I} \quad (23)$$

ზოგიერთი გარდაქმნისა და გამარტივების საფუძველზე ფილტრაციის სიჩქარე რეალური გრუნტისათვის შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად

$$V = m \sqrt{\frac{8gR}{A}} \sqrt{1 - \frac{I_0}{I}} \sqrt{I}. \quad (24)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას  $B = \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \sqrt{\frac{8gR}{A}}$ , მივიღებთ

$$V = Bm \sqrt{I}, \quad (25)$$

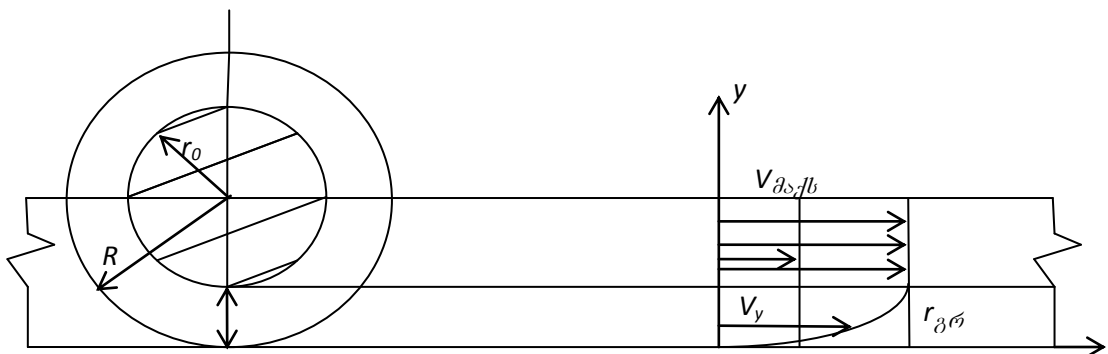
სადაც:  $B$  არის ემპირიული კოეფიციენტი;  
 $m$  – ფორიანობის კოეფიციენტი.

შემოთავაზებული მოდელის საფუძველზე რეალური გრუნტისათვის მიღებულია ფილტრაციის სიჩქარის, ფილტრაციის კოეფიციენტის, წყალგამტარობისა და ფორიანობის საანგარიშო დამოკიდებულებები.

განხილული ამოცანები წარმოადგენს წყლის მოძრაობის კერძო შემთხვევას ფორიან გარემოში და მას, გარდა წყლის რესურსების მართვის ოპტიმიზაციისა, განსაკუთრებული როლი ენიჭება როგორც სხვადასხვა საინჟინრო საკითხების გადაწყვეტის, ისე ირიგაციაში მორწყვის ნორმის, სარწყავი ნორმისა და სხვა მახასიათებლების დადგენის დროს.

ნიადაგ-გრუნტის ტანში წყლის მოძრაობის განმსაზღვრელი ამ თუ იმ ჰიდროდინამიკური პარამეტრის დადგენისა და ჰიდრაულიკური კვლევების მიზნით შემოთავაზებულია მოდელი, რომლის საფუძველზეც შესაძლებელი იქნება წყლის ფილტრაციის არსებულ ანომალიებთან დაკავშირებული საკითხების შესწავლა.

როგორც ცნობილია, ნიადაგ-გრუნტის ფორიანობა მილსადენთა სისტემით არის წარმოდგენილი. მილსადენთა სისტემის ცალკეული მილის შიდა პერიმეტრზე სხვადასხვა ბუნების ენერგეტიკული ველების მეშვეობით ადგილი აქვს თავისუფალისაგან განსხვავებული თვისებების მქონე ადსორბციული ბმული წყლის აფსკების ფორმირებას.



**ნახ №1 – მილსადენში წყლის მოძრაობის საანგარიშო სქემა.**

აფსკის კონსტრუქცია მილსადენის შიდა ზედაპირზე მას ანიჭებს კვაზი მყარი სხეულის თვისებებს, რომლის მოძრაობაში მოყვანა შესაბამისი საგრადიენტო  $r_{გრ}$  შრის არსებობას საჭიროებს. გამომდინარე აქედან, წყლის მოძრაობა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს

რიგი თავისებურებებით და შესაბამისად, მილსადენის განივი ცოცხალი კვეთი დაიყოს ორ ზონად. ასეთ შემთხვევაში წყლის მოძრაობის ანალოგად შესაძლებელია გამოყენებული იყოს კვაზი-მყარი სხეულის მოძრაობა – შვედოვ-ბინგამის განზოგადებული მოდელის სახით.

აქტიური სიბრტყითი ფორიანობა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ფომულით:

$$n_{\text{აქტ}} = \frac{\pi R^2 - \pi(R - r_{\text{გწ}})^2}{\pi R^2} = 2 \left( \frac{r_{\text{გწ}}}{R} \right) - \left( \frac{r_{\text{გწ}}}{R} \right)^2. \quad (26)$$

პირველი განტოლების  $\left( \frac{r_{\text{გწ}}}{R} \right)$  ფარდობის მიმართ ამოხსნის შედეგად გვექნება:

$$\left( \frac{r_{\text{გწ}}}{R} \right) = 1 - \sqrt{1 - n_{\text{აქტ}}}. \quad (27)$$

(27) ფორმულის ანალიზი გვიჩვენებს: როცა  $n_{\text{აქტ}} = 0, r_{\text{გწ}}/R = 0$  ხოლო, როცა  $n_{\text{აქტ}} = 1, r_{\text{გწ}}/R = 1$ , საანგარიშო სქემის მიხედვით,  $r_{\text{გწ}} = R - r_0$  და შესაბამისად, (27) დამოკიდებულებას ექნება სახე

$$\left( \frac{r_0}{R} \right) = \sqrt{1 - n_{\text{აქტ}}}. \quad (28)$$

ზოგადად, როცა მილსადენის შუდა კვეთი აქტიურ და პასიურ სიცარიელეთა ჯამით არის წარმოდგენილი, მაშინ მილსადენის სრული სიცარიელის,  $n$ -ის საანგარიშოდ გვექნება

$$n = n_{\text{პას}} + n_{\text{აქტ}}. \quad (29)$$

(29)-ის გათვალისწინებით (27)-ში მივიღებთ

$$\left( \frac{r_{\text{გწ}}}{R} \right) = \sqrt{1 - \frac{n_{\text{პას}}}{R}}. \quad (30)$$

რადგან პასიური სიცარიელის ფართობი  $\pi r_0^2$ -ის ტოლია, სრული სიცარიელის ფართობი  $\pi R^2$ , მაშინ პასიური ფორიანობის სიდიდე იქნება  $n_{\text{პას}} = \left( \frac{r_0}{R} \right)^2$ . შესაბამისად, (30) დამოკიდებულება მიიღებს სახეს

$$\left( \frac{r_{\text{გწ}}}{R} \right) = 1 - \sqrt{1 - n + \left( \frac{r_0}{R} \right)^2}. \quad (31)$$

მილსადენის განივი კვეთის სიცარიელის ის ნაწილი, სადაც წყლის შეუფერხებელ მოძრაობას აქვს ადგილი, შეიძლება ჩაითვალოს აქტიურ ფორიანობად. აქტიური ფორიანობის ოპტიმალური

მნიშვნელობის დადგენა შეიძლება განხორციელდეს როგორც გრაფიკული მეთოდით, ისე (27.) და (28) განტოლებების გატოლების საფუძველზე.

თუ აქტიური ფორიანობის მნიშვნელობას  $n_{\text{აქტ}} = 0.75$  შევიტანთ მე- (3) დამოკიდებულებაში მივიღებთ, რომ  $\frac{r_0}{R} = 0.5$ , ანუ, პასიური სიციარიელის რადიუსის ფარდობა სრული სიციარიელის რადიუსთან 0.5-ის ტოლია.

როცა ნაკადის საფილტრაციო მოედნის ფართობი  $X$  მილოვანი სისტემით არის წარმოდგენილი, მისი სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$\omega = X\omega_{\text{მოლ}} \quad (32)$$

(32) დამოკიდებულების მიხედვით ცალკეული მილის ცოცხალი კვეთის ფართობია

$$\omega_{\text{მოლ}} = \frac{\omega}{X}. \quad (33)$$

საშუალო სიჩქარის მიხედვით, ნაკადის ხარჯი ცალკეული მილისათვის შეიძლება გაანგარიშებული იყოს ფორმულით

$$Q_{\text{მოლ}} = \frac{\gamma i R^2}{2\mu} \left(1 - \frac{r_0}{R}\right)^2 \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{3} \frac{r_0}{R}\right) \frac{\omega}{X}. \quad (34)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას  $m = \left(1 - \frac{r_0}{R}\right)^2 \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{3} \frac{r_0}{R}\right)$ , ცალკეული მილსადენისთვის წყლის საანგარიშო ხარჯი იქნება

$$Q_{\text{მოლ}} = \frac{\gamma i R^2}{2\mu} \frac{\omega}{X} m. \quad (35)$$

დამოკიდებულებაში (35), რადგან  $\frac{\gamma i R^2}{2\mu}$  მილში წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარეს წარმოადგენს

$$\frac{Q_{\text{მოლ}}}{V_{\text{მოლ}}} = \frac{\omega}{X} m. \quad (36)$$

ე. ი.  $\omega_{\text{მოლ}} X = \omega m.$

რადგან,  $\omega$  ფართობი წყლის გასატარებელი მოედნის ფართობია,

$$\omega_{\text{მოლ}} X = m \frac{Q}{V_{\text{საშ}}}. \quad (37)$$

დამოკიდებულებაში (37) წყლის ხარჯის სიდიდე ფილტრაციის ხარჯის ტოლია და შესაბამისად



$$\omega_{\text{მილ}} X = m \frac{\omega V_g}{V_{\text{საშ}}} \quad (38)$$

რადგან  $\omega_{\text{მილ}} X / \omega$  წარმოადგენს გასატარებელი წყლის ფართობის ფორიანობას (38) დამოკიდებულებით, შეიძლება განისაზღვროს ნაკადის ფილტრაციის სიჩქარე

$$V_g = \frac{n}{m}; \quad V_{\text{საშ}} = \frac{n}{m} \frac{Q_g}{\omega} \quad (39)$$

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, როცა აქტიური ფორიანობა  $n=0.75$  და  $3/4$ -ის ტოლია, მაშინ პასიური ფორიანობა  $n_{\text{პას}}=1-3/4=1/4$  ე.ი. მიღებული შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია დავადგინოთ  $m$ -ის მნიშვნელობა:  $m = \frac{5}{24}$ .

$m$ -ის მნიშვნელობას თუ შევიტანთ (39) დამოკიდებულებაში, გვექნება

$$V_g = \frac{24}{5} n \frac{Q_g}{\omega} \quad (40)$$

(40) დამოკიდებულების მიხედვით ფილტრაციის ხარჯები იქნება

$$Q_g = \frac{5}{24} \frac{\omega}{n} V_g \quad (41)$$

არასწორხაზოვანი ფილტრაციის შემთხვევაში,

$$Q_g = V_g \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \omega \quad (42)$$

თუ (42)-ს გავუტოლობთ (3.2.16)-ს, გვექნება

$$\frac{I_0}{I} = 1 - \frac{5}{24n} \quad (43)$$

სარწყავ  $t$  პერიოდში, წყლის საჭირო ხარჯი შეიძლება განსაზღვრულ იყოს ფორმულით

$$Q = \frac{\alpha \omega m}{t} \quad (44)$$

(44) დამოკიდებულების მიხედვით განისაზღვრება

$$\begin{aligned} m &= \frac{Qt}{\alpha \omega} = \frac{V_g \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \omega t}{\alpha \omega} = V_g \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \frac{t}{\alpha} = \\ &= KI \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \frac{t}{\alpha} = KI \frac{5}{24n} \frac{t}{\alpha} = \frac{5}{24} \frac{KI}{n} \frac{t}{\alpha}, \end{aligned} \quad (45)$$

სადაც:  $K$  არის ფილტრაციის კოეფიციენტი;

$n$  – ფორიანობა;

- $I$  – დაწნევის გრადიენტი;
- $t$  – მორწყვის ხანგრძლივობა;
- $\alpha$  – კულტურის მიერ დაკავებული ფართობი.

მორწყვის ნორმა ნიადაგის გარკვეულ  $A$  წყალტევადობიდან, მაქსიმალური ( $\beta_{max}$ ), მინიმალური ( $\beta_0$ ) ტენტევადობასთან და მცენარის განვითარების აქტიურ  $H$  ფენის სიღრმესთან კავშირში გამოისახება ფორმულით

$$m = AH(\beta_{max} - \beta_0) \quad (46)$$

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება განისაზღვროს აქტიური ფენის სიღრმე

$$H = \frac{5}{24} \frac{KI}{n \alpha A(\beta_{max} - \beta_0)} t \quad (47)$$

შემთავაზებული მოდელის საფუძველზე დადგენილია აქტიური და პასიური ფორიანობის ცვლილების დიაპაზონები და ოპტიმალური მნიშვნელობები, რომელთა გათვალისწინებით წყლის ფილტრაციის პროცესში გამოყვანილია ფილტრაციის სიჩქარის, საწყისი გრადიენტისა და მორწყვის ნორმის საანგარიშო დამოკიდებულებები.

როგორც (47) დამოკიდებულებიდან ჩანს, აქტიური ფენის სიღრმე ამ შრის ფილტრაციის კოეფიციენტის, მოქმედი გრუნტის, ფორიანობის, წყალტევადობის, მორწყვის ხანგრძლივობის, ნიადაგის მაქსიმალური წყალტევადობისა და მცენარის მიერ დაკავებული ფართობის ფუნქციას წარმოადგენს.

თიხიან ნიადაგ-გრუნტის ფორებში, ისე როგორც სხვა დანარჩენ ფოროვან კაპილარულ სისტემებში წყლის მოძრაობის განმაპირობებელ ფაქტორს მოქმედი ძალების ინტენსივობა, ფოროვანი სივრცის აქსონომეტრია და წყლის რეოლოგიური მახასიათებლები წარმოადგენს. მოქმედი ძალების ინტენსივობით ხდება ფილტრაციული პარამეტრის ფორმირება და ნიადაგ-გრუნტის ნაწილაკების ხვედრით ზედაპირზე ბმული წყლის აფსკების წარმოქმნა. თავისთავად არსებითი და უაღრესად მნიშვნელოვანია თუ რა მნიშვნელობა ენიჭება ფორების დიამეტრზე გარშემორტყმულ წყლის აფსკის სისქეს, მცენარის მიერ გამოყენებული პროდუქტიული წყლის მოცულობას, საირიგაციო სისტემის ხარჯების, მორწყვის ნორმისა და სარწყავი ნორმის

განსაზღვრაში. ნიადაგ-გრუნტის ფოროვანი სისტემის ცალკეულ მილში წყლის საანგარიშო დამოკიდებულებას აქვს სახე:

$$V = \frac{\partial}{\mu} n^* \frac{8R^2}{A} \left(1 - \frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}}\right) \quad (48)$$

სადაც  $\partial$  - წყლის მოცულობითი წონა (კგ/მ<sup>3</sup>);

$$\mu - \text{სიბლანტის დინამიური კოეფიციენტი} \left(\frac{\text{kg/seq.}}{\text{m}^2}\right);$$

$n^*$  - ნიადაგ-გრუნტის ფორიანობა;

$R$  - ფოროვანი სისტემის მილსადენის რადიუსი (მ);

$\mathfrak{Z}$  - სიჩქარის სრული გრადიენტი;

$\mathfrak{Z}_0$  - საწყისი ძვრის წინააღმდეგობის შესაბამისი სიჩქარის გრადიენტი;

$A$  - კოეფიციენტია და იგი ჰიდრაულიკურ წინააღმდეგობის და რეინოლდცის რიცხვის ფუნქციას წარმოადგენს  $A = \lambda \text{Re}r^{2n}$

ზემოთ მოყვანილ (1) საანგარიშო დამოკიდებულებაში თუ შემოვიღებთ

აღნიშვნას  $K_0 = 8R_2 \frac{n^x}{A} (1 - \mathfrak{Z}_0 / \mathfrak{Z})$ , რომელსაც ფართობის განზომილება

აქვს. თავისი შინაარსით იგი მილსადენის განივი კვეთის ფართობის იმ ნაწილს წარმოადგენს, სადაც წყლის თავისუფალ დინებას აქვს ადგილი და იგი ფილტრაციის თეორიაში წყალღვრადობის კოეფიციენტის სახელწოდებით არის ცნობილი მილსადენის წრიული კვეთის შემთხვევაში შეიძლება დავწეროთ

$$\omega_0 = K_0 = 8R^2 \frac{\eta^*}{A} \left(1 - \frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}}\right) \quad (49)$$

ე.ი. 
$$\pi = 8 \frac{\eta^*}{A} \left(1 - \frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}}\right) \quad (50)$$

ფილტრაციასა და ნიადაგ-გრუნტში წყლის გაჟონვის პროცესის შეფასებაში საწყისს გრადიენტს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება იმ თვალსაზრისით როგორცა ფიზიკური რაობით იგი და ძირითადად რომელ პარამეტრთან გააჩნია მას შედარებით მჭიდრო კორელაციური კავშირი.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მე-50 დამოკიდებულების გარდაქმნებითა და გამარტივებით მივიღებთ:

$$\frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}} = 1 - \frac{0,392\lambda \operatorname{Re}r^{2-n}}{n^*} \quad (51)$$

მე-51 საანგარიშო დამოკიდებულებაში, როცა  $n=1$  და შესაბამისად ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტების მნიშვნელობა იცვლება საზღვრები  $\lambda = (0,011 \div 0,019) \approx 0,015$ -ს მივიღებთ,

$$\frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}} = 1 - \frac{0,0099 \operatorname{Re}r}{n^*} \quad (52)$$

როცა  $n=2$  -ს, გვექნება

$$\frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}} = 1 - \frac{0,059}{n^*} \quad (53)$$

ხშირად სარწყავი ფართობიდან მცენარეზე მისაწოდებელი პროდუქტიული წყალი საჭიროებს ფოროვანი სისტემის მილსადენთა იმ რადიუსის ცოდნას, რომლის შედეგად ხდება წყლის ისეთნაირად მოდიფიცირება, რომლის დროს იგი კვაზი-მყარ სხეულის თვისებებს უახლოვდება. ასეთ პირობებში სითხე ავლენს სრულ ანომალიას ფიზიკური კონსტანტების მიმართ. ფოროვანი სისტემის მილსადენთა წყალგამტარიანობიდან გამომდინარე შეგვიძლია დავწეროთ

$$r_0 = R \left( 1 - \sqrt{\frac{2,55(1 - \mathfrak{Z}_0 / \mathfrak{Z})}{\lambda R}} \right) \quad (54)$$

$$\text{როცა } n=1 \quad r = R [1 - 0,04(1 - \mathfrak{Z}_0 / \mathfrak{Z})] \quad (55)$$

$$\text{როცა } n=2 \quad r = R \left[ 1 - \sqrt{\frac{2,55}{\lambda} \left( 1 - \frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}} \right)} \right] \quad (56)$$

პირველ საანგარიშო დამოკიდებულებაში ფილტრაციის კოეფიციენტსა და წყალჟონვილობის კოეფიციენტს შორის კავშირს აქვს სახე:

$$K = K_0 \frac{\partial}{\mu} \quad (57)$$

მე-10 დამოკიდებულებიდან შეიძლება განისაზღვრული იქნას მილსადენის რადიუსი ფილტრაციის კოეფიციენტთან კავშირში:

$$\text{როცა } n=1 \quad R = \sqrt{8 \frac{\mu}{\partial} \frac{K}{(1 - \mathfrak{Z}_0 / \mathfrak{Z}) n^*}} \quad (58)$$

$$\text{როცა } n=2 \quad R = \sqrt{\lambda \frac{\mu}{K} \frac{K}{8(1 - \mathfrak{Z}_0 / \mathfrak{Z}) n^*}} \quad (59)$$

აგრეთვე მილსადენის რადიუსი შეიძლება განსაზღვრული იქნას წყალქონვადობის კოეფიციენტთან კავშირში.

$$\text{როცა } n=1 \quad R = \sqrt{\frac{8K_0}{(1-\mathfrak{Z}_0/\mathfrak{Z})n^*}} \quad (60)$$

$$\text{როცა } n=2n \quad R = \sqrt{\lambda \frac{K_0}{(1-\mathfrak{Z}_0/\mathfrak{Z})n^*}} \quad (61)$$

მიღებული მილსადენების რადიუსის საანგარიშო დამოკიდებულების მიხედვით საწყისი ძერის წინააღმდეგობის შესაბამისი ექვივალენტური რადიუსი შეიძლება განსაზღვრული იქნას დამოკიდებულებებით. როცა ცნობილია ფილტრაციის კოეფიციენტი:

$$\text{როცა } n=1 \quad r_0 = \sqrt{\frac{\mu}{\partial} \frac{K}{(1-\mathfrak{Z}_0/\mathfrak{Z})n^*}} \left[ 1 - 0,004 \left( 1 - \frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}} \right) \right] \quad (62)$$

$$\text{როცა } n=2 \quad r_0 = \sqrt{\lambda \frac{\mu}{\partial} \frac{K}{(1-\mathfrak{Z}_0/\mathfrak{Z})n^*}} \left[ 1 - \sqrt{\frac{2,55}{\lambda} \left( 1 - \frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}} \right)} \right] \quad (63)$$

წყალქონვადობის კოეფიციენტთან კავშირში

$$\text{როცა } n=1 \quad r_0 = \sqrt{\frac{8K_0}{(1-\mathfrak{Z}_0/\mathfrak{Z})n^*}} \left[ 1 - 0,04 \left( 1 - \frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}} \right) \right] \quad (64)$$

$$\text{როცა } n=2 \quad r_0 = \sqrt{\lambda \frac{K_0}{(1-\mathfrak{Z}_0/\mathfrak{Z})n^*}} \left[ 1 - \sqrt{\frac{2,55}{\lambda} \left( 1 - \frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}} \right)} \right] \quad (65)$$

მილსადენში წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარის დამოკიდებულებას

$$\text{აქვს სახე} \quad V = \frac{\partial \mathfrak{Z} R^2}{8\mu} = \frac{K \mathfrak{Z}}{(1-\mathfrak{Z}_0/\mathfrak{Z})n^*} \quad (66)$$

რადგან მილსადენში წყლის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე  $V = C\sqrt{R\mathfrak{Z}}$

მე-66 დამოკიდებულება როცა  $n=1$  მიიღებს სახეს

$$C^* = \sqrt[4]{\frac{\partial}{8\mu n^*} \left( \frac{K}{1-\frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}}} \right)^3} \mathfrak{Z}^0 \quad (67)$$

ხოლო როცა  $n=2$

$$C = \frac{C^* \lambda \sqrt{\lambda}}{8} \quad (68)$$

67-ე და 68-ე საანგარიშო დამოკიდებულებით შეიძლება განსაზღვრული იქნას სიჩქარის კოეფიციენტის სიდიდე.

როგორც მიღებული დამოკიდებულებების ანალიზი გვიჩვენებს, სიჩქარის კოეფიციენტი პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია წყლის მოცულობითი წონის, ფილტრაციის კოეფიციენტის, საწყისი და სრული გრადიენტის სიდიდესთან, ხოლო ფორიანობისა და სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტის გაზრდით იგი მცირდება.

ნაკადის მოძრაობის მიმართულების მართობ სიბრთყეში მხები ძაბვების განაწილების ხაზოვანი კანონიდან,  $r$  რადიუსიანი “თხევადი მორის” გვერდით ზედაპირზე მოქმედი წინაღობის (ხახუნის) ძალის და ტიხარებზე მოქმედი წნევის ძალების წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე საწყისი ძვრის წინააღმდეგობის ძაბვა შეიძლება განისაზღვროს  $\Delta OA_1B_1$  და  $\Delta OAB$ -ს სამკუთხედების მსგავსობის საფუძველზე

$$\tau_0 = \gamma ir. \quad (69)$$

კაპილარში სითხის მოძრაობასთან ხარისხობრივი მოდელის გამოყენებით, გვექნება

$$\tau = \tau_0 + K \left( \frac{du}{dy} \right)^n. \quad (70)$$

მხები ძაბვის ვერტიკალზე განაწილების შესაბამისად, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\gamma(R - y - r) = K \left( \frac{du}{dy} \right)^n. \quad (70)$$

მე-(71) განტოლების ინტეგრებით კაპილარში სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილებას ექნება შემდეგი სახე

$$V_y = \left( \frac{\gamma i}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{n+2} \left[ (R-r)^{\frac{n+1}{n}} - (R-r-y)^{\frac{n+1}{n}} \right]. \quad (72)$$

როცა  $y = R - r$ , სიჩქარის მაქსიმალური მნიშვნელობა იქნება

$$V_{max} = \left( \frac{\gamma i}{K} \right)^{\frac{1}{n}} (R-r)^{\frac{n+1}{n}}. \quad (73)$$

ადგილობრივი სიჩქარის მაქსიმალურთან ფარდობა იქნება

$$\frac{V_y}{V_{max}} = 1 - \left( 1 - \frac{y}{R-r} \right)^{\frac{n+1}{n}}. \quad (74)$$

საშუალო სიჩქარე კაპილარულ მილში უწყვეტობის პირობიდან განისაზღვრება და შემდეგი სახე აქვს

$$V_{avg} = \frac{n}{n+1} \left( \frac{\gamma i}{K} \right)^{\frac{1}{n}} (R-r)^{\frac{n+1}{n}} \left( 1 - \frac{n}{2n+1} \frac{R-r}{R} \right), \quad (75)$$

სადაც:  $n$  არის მოძრაობის ინდექსის მაჩვენებელი;  
 $\gamma$  – წყლის მოცულობითი წონა;  
 $K$  – კონსისტენციის კოეფიციენტი;  
 $R$  – კაპილარის მილის რადიუსი;  
 $r$  – სველი “მორის” რადიუსი.

მე-(75) დამოკიდებულება შინაარსობრივ განსხვავებულია ყველა სხვა ანალოგიური და კერძოდ თიხის სუსპენზიებისთვის მიღებული დამოკიდებულებებისაგან. როგორც მე-(75) დამოკიდებულების ანალიზი გვიჩვენებს, აქ ერთ-ერთ სირთულეს მოძრაობის ინდექსის მაჩვენებლის განსაზღვრის საკითხი წარმოადგენს, და იგი სპეციალური კვლევების ჩატარებას საჭიროებს.

საკითხის გადაწყვეტის მიზნით, სიჩქარის ეპიურიდან გამომდინარე დაშვების საფუძველზე საგრადიენტო შრეში თუ განაწილებას აღვწერთ პარაბოლის განტოლებით, გვექნება

$$Y = \alpha V_y^2. \quad (76)$$

სიჩქარის ეპიურის ფართობი შემდეგ სახეს მიიღებს

$$S = V_{max} \left( 1 - \frac{R-r}{3R} \right). \quad (77)$$

მე-(77) და მე-(75) დამოკიდებულებების გატოლებით მოძრაობის ინდექსის მაჩვენებელი, როცა სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილების პარაბოლას სახე აქვს  $n = 1$ . ე.ი. როცა  $n$ -ის მნიშვნელობა უტოლდება 1-ს, ხდება არანიუტონური სითხის მოძრაობის შევლოვ-ბინგამის ბლანტ-პლასტიკურ მოდელში გარდასახვა.  $n$ -ის მნიშვნელობის გათვალისწინებით საშუალო და მაქსიმალური სიჩქარეების ფორმულებში ფარდობა  $V_{avg}/V_{max}$  ტოლი იქნება

$$\frac{V_{avg}}{V_{max}} = 1 - 0.33 \frac{R-r}{R}. \quad (78)$$

სიჩქარის ხარისხობრივი ფუნქციის საანგარიშო მოდელში, თუ გავითვალისწინებთ  $n$ -ის მნიშვნელობას, შესაბამისად საშუალო და მაქსიმალური სიჩქარეთა მნიშვნელობები ტოლი იქნება

$$V_{avg} = \frac{1}{2} \frac{\gamma i}{\mu} R^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right). \quad (79)$$

$$V_{max} = \frac{1}{2} \frac{\gamma i}{\mu} (R-r)^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^2. \quad (80)$$

ცილინდრული ნიმუშის ღერძის ორთოგონალურ სიბრტყეში განლაგებული  $\mathbf{x}$  რადენობის წყალგამტარი მილების შემთხვევაში მთლიანი ხარჯი იქნება

$$Q = V_{avg} \pi (R-r)^2 x. \quad (81)$$

თუ მე-(79) განტოლებას შევიტანთ მე-(81)-ში, მივიღებთ

$$Q = \frac{\pi \gamma i}{2\mu} R^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right). \quad (82)$$

როცა კაპილარულ მილში სიჩქარე ფილტრაციული სიჩქარის ტოლია ე.ი.

$$V_F = \frac{\gamma i R^2}{2\mu} = KI. \quad (83)$$

$\mathbf{x}$  მილსადენის შემთხვევაში

$$Q = V_F \pi R^2 x \left(1 - \frac{r}{R}\right)^4 \left[1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right]. \quad (84)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ წარმოდგენილი იდეალური მოდელის გამოყენებით ფილტრაციის სიჩქარეს სახე აქვს

$$V_F = K(I - I_0), \quad (85)$$

მაშინ ხარჯი ტოლი იქნება

$$Q = K(I - I_0) \omega. \quad (86)$$

მე-(79) დამოკიდებულებიდან, როცა წყლის სიჩქარე ფილტრაციის სიჩქარის ტოლია ფილტრაციის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულება მიიღებს სახეს

$$K = \frac{\gamma R^2}{2\mu} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^4 \left(1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right). \quad (87)$$

როცა  $r = 0$ , მე-(87) საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე



$$K = 0.08 \frac{\rho g r^2}{\mu}. \quad (88)$$

როცა  $r = R$ , მაშინ  $K = 0$ .

რადგან  $x$ -ს მილსადენისთვის ხარჯს აქვს სახე

$$Q = V_F \pi R^2 x \left(1 - \frac{r}{R}\right) \left(1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right). \quad (89)$$

თუ მე-(86) დამოკიდებულებას გავუტოლებთ (89)-ს ფარდობა საწყის გრადიენტსა და სიჩქარის გრადიენტს შორის ტოლი იქნება

$$\frac{I_0}{I} = 1 - n \left(1 - \frac{r}{R}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right). \quad (90)$$

მიღებული (90) საანგარიშო დამოკიდებულებიდან ნათლად ჩანს, რომ საწყისი გრადიენტის ფარდობა სრულ გრადიენტთან ფორიანობის ფუნქციას წარმოადგენს და მისი გაზრდით ფარდობა მცირდება.

სადისერტაციო ნაშრომის **მესამე თავში** განხილულია ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევები და მოცემულია მათი ანალიზი.

საველე სამუშაოები განხორციელებულ იქნა დიდმის საცდელი მეურნეობის 0,06 ჰა ფართობზე განლაგებულ საცდელ პოლიგონზე.

ბუნებრივ-კლიმატური პირობების მიხედვით მასივი მიეკუთვნება ზომიერად თბილი სტეპურიდან ზომიერად ნოტიო სუბტროპიკულ გარდამავალ ჰავის ზონას. მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა მცირეა და 505 მმ-ს შეადგენს, დატენიანების კოეფიციენტი ივლისი-აგვისტოს თვეებში 0,29 და 0,19 შეადგენს, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ზაფხულში ადგილი აქვს ძლიერ გვალვას და ბოსტნეული კულტურების მოსავლის მაღლიმიტირებელ ძირითად ფაქტორს მორწყვა წარმოადგენს.

ჰაერის საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურა პოლიგონის ტერიტორიაზე 11°C-ს აღემატება. სავეგეტაციო პერიოდის ხანგრძლივობა შეადგენს 210 დღეს, აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი 3000<sup>0</sup> C-ს, რაც ბოსტნეული კულტურების სითბოთი უზრუნველყოფაზე მიგვითითებს.

დიდმის საცდელი პოლიგონის ნაკვეთზე გავრცელებულია მდელოს ყავისფერი ნიადაგი, რომელიც ხასიათდება მძიმე თიხნარი მექანიკური შემადგენლობით და ფიზიკური თიხის მაღალი შემცველობით (70% მეტი).

სადისერტაციო ნაშრომის ფარგლებში შესწავლილ იქნა დიდმის საცდელი პოლიგონის ნიადაგები. ნიადაგის აგროქიმიური დახასიათებისათვის აღებულ იქნა ნიადაგის შერეული ნიმუშები 0-20 და 20-40 სმ-ის სიღრმეზე, რომლებზეც ჩატარდა ლაბორატორიული კვლევები. ანალიზის შედეგები მოყვანილია ცხრილ №1-ში.

დიდმის საცდელი პოლიგონის მდელს ყავისფერი ნიადაგის აგროქიმიური დახასიათება

ცხრილი 1

ნიმუშის №	სიღრმე სმ-ით	pH წყლის გამონაწერში	CaCO <sub>3</sub> %	ჰიდროლიზური აზოტი	მოძრავი ფოსფორი	გაცვლითი კალიუმი
				მგ-ით 100 გრ ნიადაგში		
1	0-20	7.45	2.95	6.05	4.5	34.2
2	20-40	7.55	3.9	4.25	1.4	29.8

როგორც ცხრილი 1-დან ჩანს, მდელს ყავისფერი ნიადაგი ხასიათდება სუსტი ტუტე არეს რეაქციით. pH მაჩვენებელი 0-20 სმ-იან ჰორიზონტში 7.45-ს შეადგენს, მისი რაოდენობა ქვედა 20-40 სმ-იან ჰორიზონტში უმნიშვნელოდ იზრდება.

დიდმის მდელს ყავისფერი ნიადაგი ჰიდროლიზური აზოტის შემცველობის მიხედვით მცირე უზრუნველყოფის კატეგორიას მიეკუთვნება როგორც ზედა ჰორიზონტში 6.05 მგ 100 გრ ნიადაგში ისე ქვედა ფენაში 4.25 მგ 100 გრ ნიადაგში. აქედან გამომდინარე, პამიდორის მოსავლის მთავარ მალიმიტირებელ ელემენტს აზოტი წარმოადგენს. მოძრავი ფოსფორის რაოდენობა ამ ნიადაგში გაზრდილი რაოდენობითაა და 4.5 მგ-ს აღწევს. ქვედა ჰორიზონტში მცირე რაოდენობითაა 1,5 მგ. 100 გრ ნიადაგში. რაც შეეხება გაცვლით კალიუმს, მისი რაოდენობაც გაზრდილი შემცველობითაა ნიადაგის ორივე ფენაში და შესაბამისად შეადგენს 34,2 და 29,8 მგ-ს 100 გრ. ნიადაგში.

ნიადაგის ბონიტეტის შეფასების მიზნით გაანგარიშებულ იქნა საკვები ელემენტების შესათვისებელი ფორმების მარაგი, რითაც

დადგინდა, თუ რა რაოდენობის პომიდორის მოსავლის მოცემა შეუძლია განოყიერების გარეშე დიდმის მდელოს ყავისფერ ნიადაგს. საკვები ელემენტების შესათვისებელი ფორმების მარაგის გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია ცხრილ №2-ში, საიდანაც ჩანს, რომ აზოტის შესათვისებელი ფორმების რაოდენობა მდელოს ყავისფერ ნიადაგში 43 კგ შეადგენს, ფოსფორის 31 კგ-ს, კალიუმის 147 კგ-ს. სასუქების გამოყენების გარეშე ნიადაგში არსებულ აზოტის მარაგს შეუძლია 15.3 ტ პომიდორის მოცემა, ფოსფორის მარაგს 31 ტ პომიდორის, კალიუმს 33 ტონის.

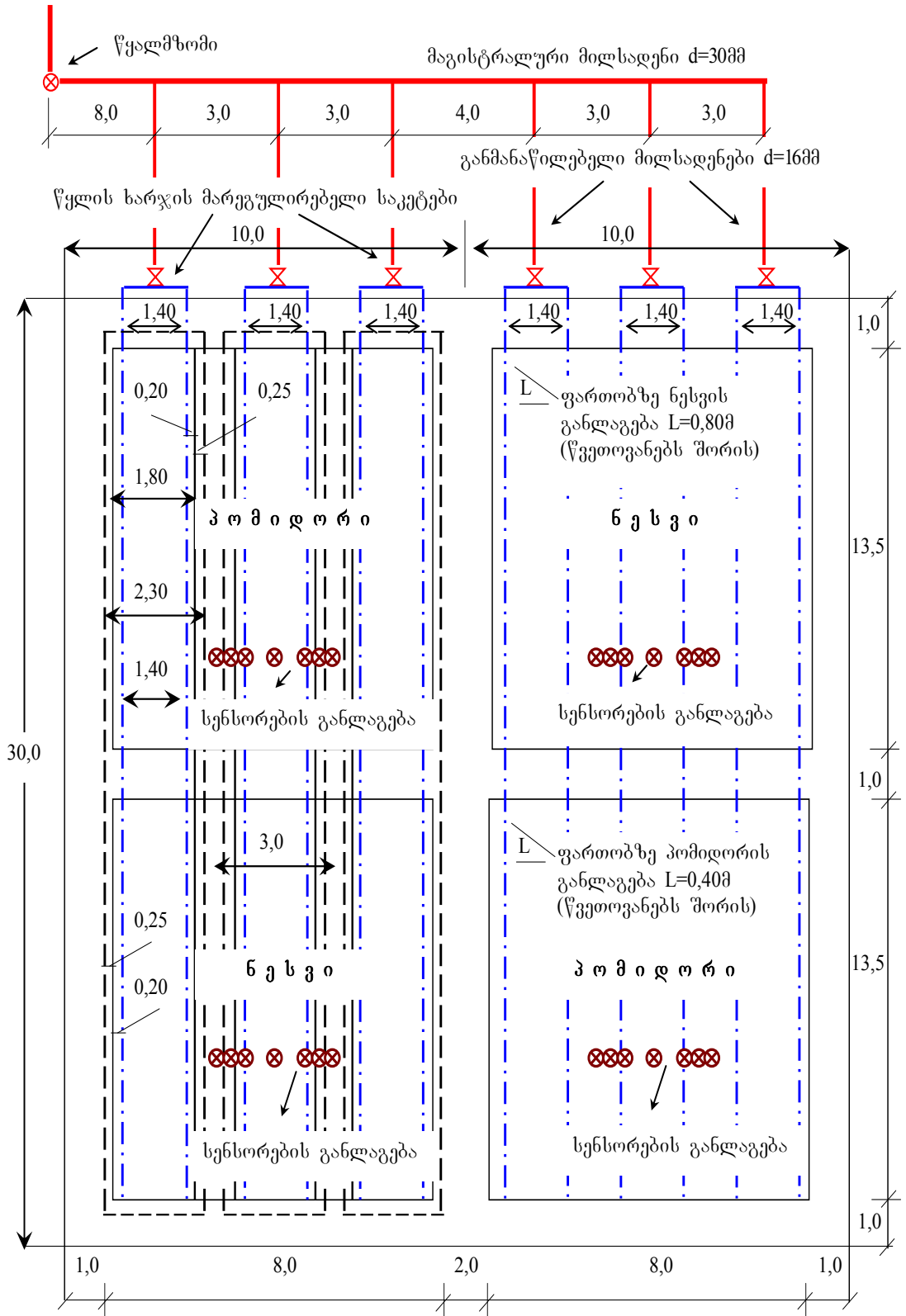
**საკვები ელემენტების შესათვისებელი ფორმების მარაგი დიდმის  
საცდელი პოლიგონის საცდელი ნაკვეთის მდელოს ყავისფერ ნიადაგში**  
ცხრილი 2

№	ადგილმდებარეობა, ნიადაგის ტიპი	სიღრმე სმ-ით	პიღროლიზური აზოტი	პომიდორის შესაძლო მოსავა ლი ტ-ით.	მოდრაე ფოს- ფორი	პომიდორის შესაძლო მოსავა ლი ტ-ით	ბაცვლითი კალიუმი	პომიდორის შესაძლო მოსავა ლი ტ-ით
2	ყულარი	0-20	49	17.5	31	31.0	147	33.0

ცხრილში მოყვანილი მონაცემების ანალიზის საფუძველზე დიდმის მდელოს ყავისფერ ნიადაგში არსებული აზოტის მარაგით 4,5 ჯერ დაბალი მოსავალი მიიღება დაგეგმილ 80 ტონასთან შედარებით. ფოსფორის და კალიუმის მარაგით 2,4-ჯერ პომიდორის მოსავალი მიიღება სასუქების გამოყენებით ინტენსიურ ჯიშებთან შედარებით.

საცდელ პოლიგონზე ჩვენს მიერ მოწყობილ იქნა წვეთური მორწყვის სარწყავი სისტემა, რომელიც შედგებოდა მაგისტრალური და განმანაწილებლები მილსადენებისგან. სარწყავი სისტემის კვების წყაროდ გამოყენებული იყო წყლის მილსადენში გამავალი ხარჯი. სარწყავი ქსელი წარმოდგენილი იყო ჩიხური სქემით.

# წვეთური მორწყვის სისტემის განლაგება ექსპერიმენტულ პოლიგონზე



ნახაზი 2

სარწყავი წყლის ოპტიმალურად გამოყენების მიზნით ექსპერიმენტული პოლიგონის ფართობის გარკვეული ნაწილი დათმობილი იყო პოლიეთილენის აფკით მულჩირებისთვის, რომელთა ნაპირების ფიქსირება ძირითადად ნიადაგის მიყრით იყო გათვალისწინებული, ხოლო პერფორაცია ხდებოდა მის ფართობზე განფენის შემდეგ.

მაგისტრალური მილსადენის სიგრძე 100 მ. რომლის დიამეტრიც 50 მმ-შეადგენდა, ხოლო ქანობში  $i = 0,0768$ . მილსადენები საწვეთურებით, რომლის დიამეტრიც შეადგენდა 16 მმ-ს საცდელ პოლიგონზე 12 ზოლით იყო წარმოდგენილი. მილსადენის კედლის სისქე 0,6 მმ-ს, ხოლო საწვეთურის ხარჯი  $Q = 1,1$  ლ/სთ. საწვეთურის შორის მანძილი 0,4 მ-ს თითოეულ მილსადენზე 75 საწვეთური.

მორწყვის სისტემით აღჭურვილი იყო 0,06 ჰა ფართობი, რომელიც დაყოფილი იყო 4 ნაწილად. თითოეული ნაწილი შეადგენდა 0,015 ჰა-ს. მიღები ერთმანეთიდან დაშორებული იყო 1,4 მ-ს მანძილით. პოლიგონის მთლიანი 0,06 ჰა ფართობიდან მულჩირებული იყო 0,03 ჰა ფართობი, აქედან პომიდორი - 0,015 და ნესვი - 0,015 ჰა. კულტურებით ასეთივე განლაგებას ადგილი ჰქონდა არამულჩირებულ ფართობზე.

ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე წვეთური მორწყვის შემთხვევაში შედარებულია მულჩირებული და არამულჩირებული ნიადაგებისთვის მიღებული რწყვის ნორმები. მიღებული კლიმატური და ნიადაგური მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე შემუშავებულია სასოფლო-სამეურნეო კულტურების რწყვის ოპტიმალური რეჟიმები ნიადაგ-გრუნტების ფილტრაციისა და ევაპორანსფირაციის გათვალისწინებით.

დადგენილია, რომ მულჩირებულ ნიადაგში ინტენსიურად მიმდინარე ბიოლოგიური პროცესები აჩქარებენ ორგანული ნივთიერებების მინერალიზაციას, რის შედეგადაც ნიადაგში მატულობს მცენარეთა ზრდაგანვითარების აუცილებელ საკვებ ნივთიერებათა რაოდენობა, რის შედეგადაც 24ჯერ მატულობს საადრეო სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა მოსავლიანობა.

## ზოგადი დასკვნები

ნაშრომში წარმოდგენილი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების კრიტიკული ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაგვაკეთოს შემდეგი დასკვნები:

- ნიადაგში ტენის მოძრაობის საანგარიშო სქემისა და თეორიული კვლევების საფუძველზე მიღებულია ნიადაგის აქტიური ფორიანობის ოპტიმალური მნიშვნელობების საანგარიშო დამოკიდებულება;
- განსაზღვრულია ნიადაგ-გრუნტებში ტენის გადაადგილების სიჩქარე მულჩირებისა და ღია გრუნტის პირობებში;
- მიღებულია ფილტრაციის სიჩქარის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულება ფორიანობის გათვალისწინებით;
- განსაზღვრულია ფილტრაციის სიჩქარის საწყისი გრადიენტისა და სრული გრადიენტის ფორიანობასთან ფუნქციონალური კავშირი, რის საფუძველზეც შესაძლებელია ნიადაგის ტენიანობის რეგულირება სარწყავ მიწათმოქმედებაში და რწყვის ოპტიმალური რეჟიმების დადგენა;
- მიღებულია მორწყვის ნორმის საანგარიშო დამოკიდებულება ნიადაგ-გრუნტების ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით;
- წვეთური მორწყვის შემთხვევაში შედარებულია მულჩირებული და არამულჩირებული ნიადაგებისთვის მიღებული რწყვის ნორმები;
- მიღებული კლიმატური და ნიადაგური მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე შემუშავებულია სასოფლო-სამეურნეო კულტურების რწყვის ოპტიმალური რეჟიმები ნიადაგ-გრუნტების ფილტრაციისა და ევაპორტრანსფირაციის გათვალისწინებით.

**ნაშრომის აპრობაცია.** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები მოხსენებული იყო სტუ-ს 2014 წლის საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე “წყლის რესურსების მართვის,

გარემოსა დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები”

### გამოქვეყნებული ნაშრომების სია

1. ი.ერუაშვილი, ე. კუხალაშვილი, ი.ინაშვილი, კ.ბზიავა, გ.ნატროშვილი. ფილტრაციის თავისებურებანი ნიადაგ გრუნტში. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი. სამეცნიერო შრომათა კრებული №67, 2012წ. გვ 226-230.
2. ი.ერუაშვილი, ე.კუხალაშვილი, ი.ინაშვილი, კ.ბზიავა, გ.ნატროშვილი. ნიადაგ-გრუნტში წყლის ფილტრაციის ანომალიებთან დაკავშირებული საკითხების შესწავლა. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი. სამეცნიერო შრომათა კრებული №67, 2012წ. გვ 231-236;
3. Sh. Kupreishvili, P. Sichinava, Z. Lobjanidze, G. Natroshvili. The Influence of bed cross section on the hydraulic elements of flow. 4<sup>th</sup> Internacional scientific and technical conference „Modern problems of water management, environmental protection, architecture and construction,, September 27-30, 2014. Dedicated to the 85 anniversary of the water management institute. 166-168p. Tbilisi, Georgia, 2014.
4. I.Kruashvili, A. Davitashvili, I. Inashvili, G. Natroshvili. Regulation of soil moisture in irrigated agriculture. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი. სამეცნიერო შრომათა კრებული №69, 2014წ. გვ 6.
5. L.Klimiashvili, A. Davitashvili, I. Inashvili, G. Natroshvili. Determination of water movement velocity in a soil. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი. სამეცნიერო შრომათა კრებული №69, 2014წ. გვ 6.

## Conclusions

On the base of critical analysis of theoretical and experimental investigations presented in the work it's possible to draw the following conclusions:

- On the base of alarm scheme of moisture movement in the soil and theoretical investigations it's received the reporting attitude of active porosity optimal value;
- The moisture movement speed in mulch and open ground condition is determined;
- It's received the reporting attitude of filtration speed resistance coefficient on dependent porosity;
- Filtration speed start is determined to gradient and full gradient functional connections and on its base is possible to regulate the soil moisture in watering agriculture and resolve the optimal regimes of watering;
- It's received the reporting attitude of watering norm by foresee of physic-mechanic characters of soil;
- In case irrigation it's compared the watering norms for mulch and non mulch soils;
- On the base of climate and soil data is worked out the optimal regimes of agricultural crops watering on dependent the soil filtration and evapotranspiration.