

გიორგი ნატროშვილი

სასოფლო-სამეურნეო კულტურების რწყვის ოპტიმალური
რეჟიმის დადგენა რესურსმზოგი ტექნოლოგიებით

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო
თებერვალი, 2015 წელი

საავტორო უფლება © 2015, ნატროშვილი გიორგი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი, ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გიორგი ნატროშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს სახელწოდებით: „სასოფლო-სამეურნეო კულტურების რწყვის ოპტიმალური რეჟიმის დადგენა რესურსმზოგი ტექნოლოგიებით“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად მის განხილვას.

2015 წელი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ირაკლი ყრუაშვილი

თანახელმძღვანელი: პროფესორი ირმა ინაშვილი

რეცენზენტი: ასოცირებული პროფესორი გოგა ჩახაია

რეცენზენტი: აკადემიური დოქტორი მადონა ლორია

ავტორი: გიორგი ნატროშვილი

დასახელება: „სასოფლო-სამეურნეო კულტურების რწყვის ოპტიმალური რეჟიმის დადგენა რესურსმზოგი ტექნოლოგიებით“.

ფაკულტეტი: სამშენებლო

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალურ პირთა ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და როგორც მთლიანი ნაშრომის, ისევე მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც საჭიროებენ მხოლოდ სპეციფიკურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების კრიტიკული ანალიზის საფუძველზე გამოტანილია დასკვნები:

- ნიადაგში ტენის მოძრაობის საანგარიშო სქემისა და თეორიული კვლევების საფუძველზე მიღებულია ნიადაგის აქტიური ფორიანობის ოპტიმალური მნიშვნელობების საანგარიშო დამოკიდებულება;
- განსაზღვრულია ნიადაგ-გრუნტებში ტენის გადაადგილების სინქარე მულჩირებისა და ღია გრუნტის პირობებში;
- მიღებულია ფილტრაციის სინქარის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულება ფორიანობის გათვალისწინებით;
- განსაზღვრულია ფილტრაციის სინქარის 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 ევაპოტრანსფირაციის გათვალისწინებით.

Abstract

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.

შინაარსი

შესავალი	10
თავი I. რესურსდამოკიდებული ტექნოლოგიების უმსწავლესი თანამედროვე მდგომარეობა	15
1.1. მულჩირების არსებული ტექნოლოგიების ანალიზი	15
1.2. მულჩირების დროს სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა ზრდა-განვითარებაზე მოქმედ ფაქტორთა შეფასება	24
1.3. მულჩირების გავლენა ევაპოტრანსპირაციაზე და ნიადაგის წყლოვან თვისებებზე (ფილტრაციაზე)	32
თავი II. რესურსდამოკიდებული ტექნოლოგიების გამოყენების დროს რწყვის ოპტიმალური რეჟიმის დადგენის თეორიული ასპექტები	41
2.1. ნიადაგის წყალგამტარობისა და ფილტრაციის თვისებურებანი ნიადაგ-გრუნტებში	41
2.2. მილსადენთა სისტემებში წყლის მოძრაობის საკითხების თეორიული შესწავლა და მორწყვის ნორმის დადგენა	47
2.3. ნიადაგ-გრუნტის ფოროვან სისტემაში წყლის მოძრაობის სინქარის განსაზღვრა	55
2.4. ნიადაგის ტენის რეგულირება სარწყავ მიწათმოქმედებაში	59
თავი III რესურსდამოკიდებული ტექნოლოგიების რწყვის რეჟიმზე გავლენის სავალე-ექსპერიმენტული კვლევა	64
3.1. სავალე კვლევების ჩატარების მეთოდოლოგია	64
3.2. საცდელი პოლიგონის ნიადაგების აგროქიმიური დახასიათება და სასოფლო-სამეურნეო კულტურების განოყიერების სისტემა წვეთური მორწყვის დროს	75
3.3. სავალე კვლევების შედეგები და ანალიზი	84
ზოგადი დასკვნები	94
გამოყენებული ლიტერატურა	95

ცხრილების ნუსხა

1. დიდმის საცდელი პოლიგონის მდელის ყავისფერი ნიადაგის აგროქიმიური დახასიათება 75
2. საკვები ელემენტების შესათვისებელი ფორმების მარაგი დიდმის საცდელი პოლიგონის მდელის ყავისფერ ნიადაგში 77
3. წვეთური კვების დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელის ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80ტ მოსავლის დაგეგმისას დიამოფოსკას შეტანისას 79
4. წვეთური კვების დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელის ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80ტ მოსავლის დაგეგმისას დიამოფოსკას შეტანისას 80
5. წვეთური კვების დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელის ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80ტ მოსავლის დაგეგმისას (მარტივ სასუქებზე გადაანგარიშებით) 81
6. წვეთური კვების დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელის ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80ტ მოსავლის დაგეგმისას ამფოსის შეტანისას 82
7. წვეთური კვების დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელის ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80ტ მოსავლის დაგეგმისას დიამოფოსის შეტანისას 83
8. ნაკელის და ძირითადი საკვები ელემენტების ნორმები პომიდორის კულტურისათვის დიდმის საცდელი პოლიგონის მდელის ყავისფერი ნიადაგზე 80 ტ პომიდორის მოსავლის დაგეგმისას 84
9. ევაპორანსპირაციის ცხრილი სავეგეტაციო პერიოდისთვის (პომიდორი) 88
10. ევაპორანსპირაციის ცხრილი სავეგეტაციო პერიოდისთვის (ნესვი) 89

ნახაზების ნუსხა

1. ნახ. № 2.1.1. $m = n = f\left(\frac{r_0}{R}\right)$ დამოკიდებულების გრაფიკი 42
2. ნახ. № 2.2.1. მილსადენში წყლის მოძრაობის საანგარიშო სქემა. 48
3. ნახ. № 2.2.2. $\frac{r_0}{R} = f(n_{\text{სქტ}})$ და $\frac{r_{\text{ზრ}}}{R} = f(n_{\text{სქტ}})$ დამოკიდებულების გრაფიკი. 50
4. ნახ. № 2.2.3. $m = f\left(\frac{r_0}{R}\right)$ გრაფიკული დამოკიდებულება. 52
5. ნახ. 3.1.1. წვეთური მორწყვის სისტემის სქემა. 66
6. ნახ. 3.1.2. წვეთური მორწყვის სისტემის სქემა. 67
7. ნახ. 3.1.3. ექსპერიმენტული პოლიგონის ადგილმდებარეობის სქემა. 70
8. ნახ. 3.1.4. წვეთური მორწყვის სისტემის განლაგება ექსპერიმენტულ პოლიგონზე 71
9. ნახ. № 3.3.1. $ETc = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები (პომიდორი). 88
10. ნახ. № 3.3.2. $Kc = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები (პომიდორი). 89
11. ნახ. № 3.3.3. $ETc = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები (ნესვი). 90
12. ნახ. № 3.3.4. $Kc = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები (ნესვი). 90
13. ნახ. № 3.3.5. $Kcb = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები (ღია ნიადაგისთვის, პომიდორი) 91

14. ნახ. № 3.3.6. $Kcb = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები 91
(მულჩირებული ნიადაგისთვის, პომიდორი)
15. ნახ. № 3.3.7. $Kcb = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები (ღია 92
ნიადაგისთვის, ნესვი)

შესავალი

თემის აქტუალობა. 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, საქათველოშიც განსაკუთრებით რთულია იმ რეგიონების წყალუზრუნველყოფა, რომლებიც ქვეყნის ნახევრად არიდულ ზონაშია განლაგებული, ვინაიდან აქ წყალმოთხოვნილება საკმაოდ დიდია, ხოლო მისი ხელმისაწვდომობა დაბალი.

წყალმოთხოვნილების მოცულობის მიხედვით, 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 წყალმომხმარებელი 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 უგულვებელყოფის 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, ჰიდროტექნიკურ მელიორაციაში, ნიადაგმცოდნეობაში და აგრონომიაში საყოველთაოდ აღიარებული სამეცნიერო-ტექნიკური მიღგომები და მეთოდები.

კერძოდ, როგორც რესურსდამზოგი ტექნოლოგია, გამოყენებულ იქნა შავი პოლიეთილენის აფსკით მუღჩირების 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 აგრარულ 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 ევაპორტრანსფირაციის 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 80 დასახელების ლიტერატურა.

თავი I

რესურსდამზოგი ტექნოლოგიების შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა

1.1. მულჩირების არსებული ტექნოლოგიების ანალიზი

საადრეო და უხვი მოსავლის მიღების მიზნით მულჩით დაფარული სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობი ყოველწელიურად 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, კარტონი, თივა, ბზე, ტორფი, ნახერხი, ნაფოტები, კერამიტი, პოლიეთილენის აფსკი, ტოლი, რუბეროიდი, შავი სარაი აგრილის ან ლუტრასილის ტიპის და ა.შ.

მოთიბული ბალახი – მულჩის ერთაერთი საუკეთესო და ყველაზე ხშირად გამოყენებადი სახეა. მისი გამოყენების შედეგად ნიადაგში მატულობს აზოტის შემცველობა. მოთიბული ბალახი უნდა გაშრეს მზეზე ერთი ან ორი დღის განმავლობაში მისი მულჩად გამოყენებამდე. თუ გამოყენებული იქნება ახლად მოთიბული ან ნედლი ბალახი, ის მალე დაღპება და გახდება ლორწოვანი და სპეციპიკური სუნის მქონე.

სიდერატები – სასუქად მოყვნილი მცენარეების მწვანე მასა იშლება ნიადაგის ზედაპირზე. გამოიყენება სამყურა, მწვანე უყვავილო სარეველები, აგრეთვე ძალიან კარგ შედეგს იძლევა ჭინჭრის გამოყენებაც. სიდერატების გამოყენება შესაძლებელია ისევე, როგორც მოთიბული ბალახი. ნიადაგთან სწრაფად ინტეგრაციისთვის მისი გამოყენება ხდება ნედლ მდგომარეობაში, ოდნავ მიწაში ჩახვნიით.

თივა – კარგი მულჩიაა, მაგრამ იგი შეიძლება შეიცავდეს სარეველების თესლს. ამიტომ კარგია მის ქვეშ ქაღალდის მულჩის გაფენა, რადგან ის ხელს უშლის სარეველების აღმოცენებას და ზრდა-განვითარებას.

ხალა – მისი გამოყენება კარგია ბადის მარწყვის მოყვანის შემთხვევაში.

ნადვის და ფიჭვის წიწკები – აგრეთვე კარგი მულჩაა ბადის მარწყვისა და სხვა ბოსტნეულთათვის, მაგრამ სასურველია დამატებით შეტანილ იქნას კირი ან ნაცარი.

ტორფი – ბრწყინვალე მულჩაა, კარგად იცავს ნიადაგს მზის სხივებისაგან, ხელს უწყობს ტენიანობის შენარჩუნებას. მსუბუქი მექანიკური შედგენილობის ნიადაგებზეც კი, ხელს უწყობს მის დასტრუქტურებას და ჰუმუსის შენარჩუნებას. ტორფს იყენებენ გამაფხვიერებლად: მძიმე მექანიკური შედგენილობის ნიადაგების ათვისების დროს იგი აუმჯობესებს მის სტრუქტურას. მაგრამ თვითონ ტორფი არ არის სასუქი და მისი გამოყენება სასუქების ნაცვლად არ შეიძლება, ვინაიდან იგი ძალიან ნელა იხსნება და მისი ნიადაგთან ინტეგრება შესაბამისად ნელა მიმდინარეობს, ამასთან იგი მუავეა.

ნახერხი – შესანიშნავი მულჩაა, მაგრამ გამოყენების წინ იგი უნდა დაკომპოსტირდეს, წინააღმდეგ შემთხვევაში იგი გამოფიტავს ნიადაგის საკვებ ნიათიერებებს და აუცილებელი გახდება აზოტოვანი სასუქებისა და კირის დამატებითი დოზის შეტანა. ამიტომ, ნახერხს წინასწარ აკომპოსტირებენ.

ნაფოტი, ან ქერქი და ა.შ. – ხშირად გამოიყენება როგორც დეკორატიული საფარი. ასეთი მულჩა კარგია მუავე ნიადაგების მოყვარულ მცენარეთათვის. სხვა მცენარეთათვის სასურველია დამატებით შეტანილ იქნას კირი ან ნაცარი.

შავი პოლიეთილენის აფსკი, რუბეროიდი, ტოლი და ა.შ. – არ აუმჯობესებენ ნიადაგს და არ შეაქვთ საკვები ნივთიერებები, სამაგიეროდ ისინი ხელს უშლიან სარეველების ზრდა-განვითარებას და ინარჩუნებენ ნიადაგის ტენიანობას. წვიმა ამ მასალაში ვერ აღწევს, ამიტომ გათვალისწინებული უნდა იქნას თუ როგორ მომარაგდება მცენარე საჭირო წყლით ან აუცილებელი წვეთური მორწყვის გათვალისწინება, რომელიც აფსკის ქვეშ უნდა იქნას განლაგებული. გაზაფხულზე შავი აფსკი თბება და ათბობს ნიადაგს. შავი აფსკი შესაძლებელია ძალიან გაცხელდეს მზის ზეგავლენის შედეგად და ნიადაგაში ტემპერატურა ძალიან აამაღლოს. ამიტომ თივის ან

მოთიბული ბალახის ფენის გაფენა აფსკის ზედაპირზე ხელს უშლის შავი აფსკის გადახურებას. არ შეიძლება გამჭვირვალე აფსკების გამოყენება, რადგან მათ ქვეშ ნიადაგი ძალიან ჩქარა ხურდება.

კრილის ან ლუტრასილის ტიპის შავი საფარი მასალა – აგრეთვე არ აუმჯობესებს ნიადაგს და არ შეაქვს საკვები ნივთიერებები, მაგრამ ის ძალიან კარგად გამოიყენება მულჩირების დროს. ეს მასალა ატარებს წვიმას, მაგრამ იგი ჩრდილავს ნიადაგს და ინარჩუნებს მის ტენიანობას. ნიადაგია მის ქვეშ «სუნთქავს». მასალა მზით არ თბება ძლიერ და არ ახურებს ნიადაგს. მის ქვეშ არ იზრდებიან სარეველები. ასეთი მასალა შესაძლებელია დარჩეს მცენარეების ქვეშ (კენკროვანების და კურკოვანების ჩათვლით) მთელი სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში.

კერამიტი ან აქაფებული თიხა – ბრწყინვალე ნეიტრალური მასალაა, რომლის გამოყენებაც შესაძლებელია არა მხოლოდ ნიადაგის ზედაპირზე, არამედ შესაძლებელია მისი ჩაბარვა მძიმე მექანიკური შედგენილობის ნიადაგში მის შესამსუბუქებლად და წყალჟონვადობის გაზრდისთვის. ხშირად გამოიყენება დეკორატიული დანიშნულებით, მაგრამ კარგად იცავს ნიადაგს გადახურებისაგან და ინახავს ნიადაგის ტენიანობას.

ზემოთ ჩამოთვლილი ორგანული მულჩიდან ყველაზე გავრცელებულია მცენარეული ნარჩენები. ხოლო, ყველაზე საუკეთესო ორგანულ მულჩად უნდა კომპოსტი ჩაითვალოს, მაგრამ მისი გამოყენება არ შეიძლება ყველა კულტურისთვის [1, 2, 3, 4, 5].

მულჩირების დროს ხდება ორგანული ნარჩენების დაშლა ნიადაგის ზედაპირზე და მისი მოქმედება შეიძლება შევადაროთ ნიადაგის ზედაპირზე კომპოსტის შეტანას. აქედან გამომდინარე, მულჩის შეტანა უნდა ხდებოდეს ხშირად და თხელ ფენად, ხოლო განახლება კი რეგულარულადაა საჭირო, ვინაიდან სქელი ფენის ქვეშ შეიძლება წარმოიშვას ანაერობული პირობები, რაც თავის მხრივ ლპობის პროცესის განვითარების საწინდარია. ლპობის პროდუქტები უარყოფითად მოქმედებს მცენარეთა ფესვთა სისტემაზე და ნიადაგის მრავალ მიკროორგანიზმზე. ამიტომ, მულჩის შრეს არ უნდა ჰქონდეს მჰალის სუნი.

ჰოვარდის მიხედვით, ორგანული მუღჩით ნიადაგის მუღჩირების დროს გათვალისწინებული უნდა იქნას 6 ძირითადი კანონი:

1. მუღჩის შეტანის წინ აუცილებელია ნიადაგის აოშვა;
2. მუღჩი შეტანის წინ უნდა დაქუცმაცდეს;
3. მწვანე მაღალტენიანი მასალის შეტანა შესაძლებელია მხოლოდ თხელი ფენის სახით, ამიტომ მას სშირი განახლება ესაჭიროება;
4. მშრალი მუღჩი, მაგალითად თივა, შეიძლება უფრო სქელი ფენით იქნას შეტანილი (2-10 სმ), მაგრამ შეტანისთანავე უნდა დაინამოს;
5. მუღჩირების დროს ყურადღება უნდა მიექცეს იმ გარემოებას, რომ აღმონაცენი ან ჩითილები არ იყოს დაფარული მუღჩით;
6. მუღჩი არ უნდა შეიცავდეს სარეველების თესლს და განსაკუთრებით მწერებს ან მათ ჭუპრს.

როგორც მრავალმა კვლევამ დაადასტურა ამ თვალსაზრისით ყველაზე უსაფრთხოს პოლიეთილენის აფსკით მუღჩირება წარმოადგენს, რომელმაც პრაქტიკაში ყველაზე ფართო გამოყენება ჰპოვა [6, 7, 8, 9, 10].

პოლიეთილენის აფსკი იმ პოლიმერულ მასალებს მიეკუთვნება, რომელიც მაღალმოლეკულური ნაერთებისაგან შედგება.

მუღჩირების აფსკის დასამზადებლად ფართოდ გამოიყენება პოლიეთილენი BD. აფსკს ღებულობენ დაპრესის და ექსტრუზიის შედეგად. მიღებული პოლიეთილენი ფართოდ გამოიყენება სოფლის მეურნეობაში.

აფსკური ვინიპლასტი მიიღება სუსპენზიური და ემულსიური პოლივინიქლორიდისგან. ვალცირების შედეგად წარმოიქმნება 0,5-1,0 მმ სისქის და 600-800 მ სიგანის მქონე ვინიპლასტის აფსკები.

აფსკური პლასტიკატი მიიღება პლასტიფიცირებული პოლივინიქლორიდის ვალცირების და ექსტრუზიის შედეგად. გამჭვირვალე პლასტიკის მისაღებად ერთმანეთში ურევენ პოლივინიქლორიდის 100, დიოკტილფტალატის 24, დიბუტილფტალატის 24 და 2 ნაწილს კალციუმის სტეარატს.

პოლივინილფტორიდული აფსკი გამჭვირვალეა ულტრაიისფერი გამოსხივებისთვის და ხასიათდება სხივის გარდატეხის მაღალი კოეფიციენტით (1,45). ასეთი აფსკები ინარჩუნებენ მდგრადობას რამდენიმე წლის მანძილზე, ამასთან ახასიათებთ მედეგობა სხვადასხვა ქიმიური პრეპარატების მიმართ (მჟავები, ტუტეები და ა.შ).

პოლივინილიდენფტორიდის აფსკები 150°C-მდეა თერმომედეგი და სოფლის მეურნეობის გარდა ფართოდ გამოიყენება ქიმიურ, საკვებ, ელექტრო წარმოებაში, მედიცინასა და ა.შ.

აფსკურ საფარებად, აგრეთვე ფართოდ გამოიყენება ეთილენიდან მიღებული მასალები, მაგალითად პოლივინილკარბაზოლი. იგი გამოირჩევა მაღალი ქიმიური მედეგობით და კარგი დიელექტრო თვისებებით. მისი სიმკვრივე 1200 კგ/მ³-ია, თერმომედეგობა – 150°C-მდეა, ხოლო დაშლის ტემპერატურა 300°C-ს აღემატება. მაღალი ტემპერატურის მიმართ მედეგობით და ელექტროიზოლაციური თვისებებით იგი პოლისტიროლსაც კი სჯობნის.

ორატომიანი ფენოლების პოლიეთერების და დიკარბონატული მჟავების გამოყენების დროს მიიღება პოლიარილატური აფსკები კიდევ უფრო მაღალი თბომედეგობით (200°C-ზევით). ისინი ინარჩუნებენ თავის მექანიკურ თვისებებს დიდი ხნით გახურების შემდეგაც (600-1000 სთ 150-1000°C-ის დროს).

პოლიარილატების დიელექტრული თვისებები არ იცვლება ტემპერატურის დიდ ინტერვალში. ამის გარდა ისინი დიდი ხნის მანძილზე მედეგნი არიან მინერალური და ორგანული მჟავების (გოგირდმჟავას გარდა), ტუტეების გამსხნელების მიმართ. ისინი აგრეთვე გამოირჩევიან მაღალი ცეცხლმედეგობით.

უკანასკნელ პერიოდში წარმოებაში დიდი გავრცელება ჰპოვა პოლიმიდურ პოლიეთილენის აფსკებმა, რომლებიც ინარჩუნებენ თავის ფიზიკო-ქიმიურ თვისებებს ტემპერატურის დიდ ინტერვალში. მათი ზოგიერთი სახეობა 500°C-მდეა მედეგი.

დღეისთვის ევროპაში ფართო გავრცელება ჰპოვა PM მარკის აფსკებმა, ხოლო აშშ-ში გავრცელებულია კაპიტონ- H მარკის აფსკები. აღნიშნული აფსკები თითქმის არ იცვლიან თავის თვისებებს 10 წლის

მანძილზე. იგი არ იწვევს, აქვს კარგი დიელექტრული თვისებები, ინარჩუნებს პლასტიკურობას.

პოლიმერული აფსკების უმთავრეს თვისებას წარმოადგენს მისი სპექტრული გამჭვირვალება, რომელზეც დამოკიდებულია ნიადაგზე და ჰაერის მიკროკლიმატი და ნიადაგის თბური რეჟიმი. სპექტრული გამჭვირვალების მიხედვით განასხვავებენ აფსკის შემდეგ ტიპებს: გამჭვირვალე, ნახევრად გამჭვირვალე (დაბურული), გაუმჭვირვალე (შავი) და შუქის და სითბოს ამრეკლი.

გამჭვირვალე აფსკი ხასიათდება მზის ენერჯის სხივური სპექტრის დიდი გამტარობით, რაც მის უმთავრეს თვისებას წარმოადგენს. ექსპლოატაციის პროცესში მისი გამჭვირვალობა თანდათან კლებულობს. ასეთი აფსკის მულჩად გამოყენების ვადა მხოლოდ ერთი წელია. გამჭვირვალე აფსკს იყენებენ მულჩად იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა გაზაფხულის პერიოდში ნიადაგის ტემპერატურის გაზრდა საადრეო სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მისაღებად.

გამჭვირვალე პოლიეთილენის აფსკი, მისი გამოყენების პირობების და ხერხების მიხედვით არეგულირებს ნიადაგის თბურ რეჟიმს სითბოს აკუმულაციის ხარჯზე დღის პერიოდში. ტენის წვეთების კონდენსატი, რომელიც აფსკის ზედაპირზე წარმოიქმნება, ნიადაგის და ჰაერის ტემპერატურას შორის სხვაობის გამო, ხელს უწყობს დღის პერიოდში აკუმულირებული ტემპერატურის შენარჩუნებას ნიადაგში.

კვლევებმა გამჭვირვალე და შავ პოლიეთილენის აფსკებზე (სიგანე 1,2–1,4 მ და სისქე 0,06–0,08 მმ) უჩვენა, რომ გამჭვირვალე პოლიეთილენის აფსკი მოსავლიანობის ხარისხის და რაოდენობის ასამაღლებლად უფრო ეფექტურია იმ შემთხვევაში, თუ გადაჭრილი იქნება სარეველებთან ბრძოლის პრობლემა.

ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგად მიღებულია, რომ 120-150 სმ სიგანის და 0,05-0,1 მმ სისქის გამჭვირვალე პოლიეთილენის აფსკი ქმნის ხელსაყრელ პირობებს მცენარეთა ზრდა-განვითარებისათვის: ზრდის ნიადაგის ტემპერატურას 10 სმ სიღრმეზე 3,2 გრადუსით, და ნიადაგისპირა ჰაერის – 3,7 გრადუსით, აუმჯობესებს ნიადაგის ტენიანობის რეჟიმს და აფერხებს ნიადაგის ქერქის წარმოქმნას.

ნიადაგის ზედაპირიდან აფსკი ამცირებს ტენის აორთქლებას მშრალ ამინდში და ამცირებს გადატენიანებას უხვი წვიმების დროს.

გამჭვირვალე პოლიეთილენის აფსკით მულჩირების დროს ნიადაგი უკეთესად თბება პირველი ოთხი-ექვსი კვირის მანძილზე, სანამ იგი სუსტად იზრდილება მცენარეთა ვეგეტატიური მასით. ხელსაყრელი მიკროკლიმატი, რომელსაც ქმნის აფსკი, ამაღლებს თესლების აღმოცენებლობას, ამცირებს მას ხუთი-შვიდი დღით და ხელს უწყობს მათ სწრაფ ზრდა-განვითარებას. ნაყოფის მომწიფება ხდება 5-13 დღით ადრე.

ზოგიერთი მკვლევარის მონაცემების მიხედვით გამჭვირვალე აფსკი ზრდის საფარის ქვეშ ტემპერატურას, მხოლოდ დღის საათებში, ხოლო ღამის საათებში ამცირებს. აქედან გამომდინარე იზრდება მცენარეთა დაზიანების რისკი ღამის სიცივით. მულჩირება აგრეთვე ცვლის მცენარეთა სხვა სასიცოცხლო პირობებს. ეს ცვლილებები ზოგადად დადებითად მოქმედებს ზოგიერთი ბაღჩეული კულტურებისთვის.

ნიადაგის მულჩირება გამჭვირვალე ფოტოდამრღვევი პოლიეთილენის აფსკით ფართოდ გამოიყენება სხადასხვა ბოსტნეული კულტურების მოსაყვანად იაპონიაში, აშშ-ში, ინგლისში, მექსიკაში, პოლონეთში, ბულგარეთში და ა.შ.

ფოტოდამრღვევი აფსკები ПЭ-108-70 და ПЭ-108-71 გამოსადეგია მხოლოდ მცირე დროით ბოსტნეულის, კენკროვანის და კარტოფილის მულჩირებისთვის.

დიდ პრაქტიკულ ინტერესს იმსახურებს მულჩაფსკი, რომელსაც გააჩნია სარეველებთან ბრძოლის უნარი და იცავს ნიადაგს გადახურებისაგან. ასეთი აფსკი მზადდება პოლიეთილენის მარკისგან 108-70 მწვანე 411 და 108-70 მწვანე 401. მწვანე მულჩაფსკის გამოყენების ვადაა 2–3 თვე, რის შემდეგაც იგი იშლება.

ნახევრად გამჭვირვალე (დაბურული) აფსკი გამჭვირვალეობის მიხედვით შუალედურ მდგომარეობას იკავებს გამჭვირვალესა და შავს შორის. მისი მულჩად გამოყენება შესაძლებელია ორი წლის მანძილზე, რადგან მის შემადგენლობაში შემავალი ჭვარტლი სტაბილიზატორის როლს ასრულებს და მატებს მდგრადობას.

ნახევრად გამჭვირვალე აფსკი ამცირებს ნიადაგის გათბობას მათი გამჭვირვალობის მიხედვით.

ნიადაგის მულჩირება დაბურული პოლიეთილენის აფსკით (30 % გამჭვირვალეობა, 0,05 – 0,07 მმ სისქე) მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მიკროკლიმატზე მცირეგაბარიტიან საფარებში, 3,5 კგ/მ²-ით და 1,1 კგ/მ²-ით გაზარდა კიტრის და პომიდორის მოსავლიანობა.

ამერიკული წარმოების აფსკები აწონასწორებენ ტემპერატურის დღეღამური რყევების ამპლიტუდას დღიური გადახურების შემცირების და ღამის გაცივების შეფერხებით. ასეთი აფსკები აუმჯობესებენ ნათესის სინათლის პირობებს.

შავი აფსკის დამზადების დროსაც პოლიეთილენის მასას უმატებენ ჭვარტლს (3%). ასეთ აფსკს ახასიათებს კარგი ელასტიკურობა, მაგრამ იგი არ ატარებს სინათლის სხივებს. ამ თვისების გამო შავი აფსკი მკვეთრად ამცირებს ან სრულად გამორიცხავს აღმოცენებული მცენარეების ფოტოსინთეზს. ამიტომ, მულჩირება შავი აფსკით აგრეთვე შეიძლება გამოყენებული იყოს როგორც სარეველებთან ბრძოლის ერთერთი ეფექტური საშუალება. ცხელი კლიმატის პირობებში შავი პოლიეთილენის აფსკი იცავს ნიადაგს გადახურებისგან.

შავი პოლიეთილენის აფსკი შთანთქავს სხივებს და ცხელი კლიმატის პირობებში 58 გრადუსამდე თბება. მაგრამ ნიადაგი, ასეთი მულჩის ქვეშ მზიან დღეებშიც კი გაცივებით ნაკლებად თბება ვიდრე გამჭვირვალე აფსკის გამოყენების დროს. ნიადაგის ზედა შრის (0–5 სმ) ტემპერატურა შესაძლებელია 1-1,5 გრადუსით ნაკლები იყოს, ვიდრე არამულჩირებული ნიადაგის შრე.

შავი აფსკის ქვეშ ნიადაგის ტენიანობა ყოველთვის უფრო მეტია, ვიდრე გამჭვირვალე და ნახევრად გამჭვირვალე აფსკების ქვეშ, ვინაიდან ასეთი მულჩაფსკის ქვეშ ნიადაგი ნაკლებად თბება. მზის სხივები დღის პერიოდში აცხელებს შავ აფსკს, მაგრამ აფსკსა და ნიადაგს შორის არსებული ჰაერის შრე ხელს უშლის ნიადაგის გათბობას. ამასთან, მულჩაფსკი ამცირებს ნიადაგიდან ტენის აორთქლებას ღია გრუნტთან შედარებით, სადაც აორთქლებაზე გახარჯული სითბო შესაბამისად მეტია. ღია გრუნტის ტემპერატურა ტენიანი ნიადაგის დროს, გაცივებით ნაკლებია, ვიდრე მულჩის ქვეშ.

ასეთი პირობები იქმნება ადრე გაზაფხულზე და წვიმის შემდეგ. მულჩაფსკი ამ პერიოდში მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ნიადაგის ტემპერატურულ რეჟიმს.

აღსანიშნავია, რომ შავი აფსკი მთლიანად აფერხებს სარეველების განვითარებას, რომლებიც იღუპებიან მის ქვეშ სინათლის უკმარისობის და დღისით გახურებულ აფსკთან შესხების გამო. სარეველებთან ბრძოლაში იგი ჰერბიციდებსაც სჯობნის, რადგანაც არ გამოირჩევა ამომრჩეველობით სხვადასხვა სახის მცენარეების მიმართ და არ აბინძურებს გარემოს, რაც ეკოლოგიურად სუფთა სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის მიღების საწინდარია.

სარეველების საწინააღმდეგოდ შემუშავებულია $\text{N}\text{E}-157$ მარკის შავი აფსკი, რომელიც $0,04$ მმ სისქის პირობებშიც კი ანადგურებს ყველა სახის ერთწლოვან თუ მრავალწლოვან სარეველებს. ამ ტიპის აფსკი გამოცდილია მარწყვის, კენკროვანების და ხილის პლანტაციებში.

ჩატარებული მრავალწლიანი კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ ლოკალური მორწყვის და შავი პოლიეთილენის აფსკით მულჩირების დროს პომიდორის მოსავალი $19-20$ %-ით მატულობს და იწვევს ნაყოფის ადრეულ მომწიფებას და აუმჯობესებს მის ხარისხს.

ფლორიდის შტატში (აშშ) მულჩირებას პომიდორისთვის იყენებენ დაახლოებით 6 ათას ჰა-ზე. ამისათვის, ჩვეულებრივ, იყენებენ $1,25-1,5$ მმ სისქის და $1,6$ მ სიგანის შავ პოლიეთილენის აფსკს. სასუქების შეტანის შემდეგ აფსკს აფენენ მანქანის საშუალებით. შემდეგ დამრგველი აგრეგატის მეშვეობით ერთი გავლით აწარმოებენ აფსკის პერფორაციას და ჩითილების დარგვას (ან გენპლაზმის თესვას).

რიგ ქვეყნებში ნიადაგის მულჩირების დროს მორწყვას აწარმოებენ ლოკალურად. ამ შემთხვევაში მიღებს მულჩაფსკის ქვეშ ათავსებენ. პოლონეთში ჩატარებული ცდებით მულჩაფსკის გამოყენების დროს კიტრის და პომიდორის მოსავლიანობა შესაბამისად $30-50$ და $20-50$ %-ით გაიზარდა, ვიდრე ღია ნიადაგში. მულჩირებისთვის გამოყენებული იქნა შავი და რუხი $0,03-0,06$ მმ-ის მქონე პოლიეთილენის აფსკი. აღსანიშნავია, რომ თხელი აფსკი ბევრად ეკონომიურია.

შავი აფსკები, უმთავრესად, გამოიყენება მრავალწლოვანი კენკროვანი კულტურებისათვის, თუმცა იგი გამართლებულია საადრეო ბალჩეული და ბოსტნეული კულტურების მოსაყვანადაც.

მულჩირება პოლიეთილენის აფსკით ხორციელდება ხელით ან სპეციალური აფსკის დამგები მანქანით. შესაძლებელია ნიადაგის ზედაპირის სრული ან სხვადასხვა სიგანის ზოლებით დაფარვა. აფსკის ნაპირების ფიქსირება სხვადასხვა მეთოდებითაა შესაძლებელი, ძირითადად კი ნიადაგის მიყრით (6–8 სმ). აფსკის პერფორაცია ხდება მის გაფენამდე ან გაფენის შემდეგ, იმის მიხედვით, თუ რა კულტურისათვის გამოიყენება მულჩი.

გამომდინარე ზემოთაღნიშნულიდან, ამა თუ იმ აგროტექნიკური ღონისძიების და კერძოდ, მულჩის ტიპის შერჩევას, აუცილებელ წინაპირობას წარმოადგენს სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა ზრდა-განვითარებაზე მოქმედ ფაქტორთა შესწავლა-შეფასება.

12. მულჩირების დროს სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა ზრდა-განვითარებაზე მოქმედ ფაქტორთა შეფასება

მცენარეთა ზრდა-განვითარებასა და სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მაღალი მოსავლის მიღებაზე დიდ გავლენას ახდენს ნიადაგის მიკროკლიმატი. მიკროკლიმატის ქვეშ იგულისხმება ის ძირითადი მეტეოროლოგიური მახასიათებლები, რომლებიც აკუმულირებულია ჰაერის ნიადაგზედა შრეში და ნიადაგის ფესვთა შრეში.

სოფლის მეურნეობაში ისეთი ჰიდრომელიორაციული ღონისძიებების გატარება როგორცაა დაშრობა, მორწყვა, დრენაჟის მოწყობა და ა.შ. მცენარეთათვის სასურველი მიკროკლიმატის შექმნის საშუალებას იძლევა. პოლიეთილენის აფსკით ნიადაგის მულჩირება შეიძლება განვიხილოთ როგორც ნიადაგის ჰიდროთერმული მელიორაციის ხერხი რომელიც ზეგავლენას ახდენს ნიადაგზედა ჰაერის მიკროკლიმატზე. უპირველეს ყოვლისა ეს გამოიხატება ჰაერის ტენიანობის და ტამპერატურის ცვლილებით.

მულჩირების შედეგად ნიადაგზედა ჰაერის ტემპერატურა ნაკლებად იცვლება ვიდრე ნიადაგის ტემპერატურა. გამჭვირვალე აფსკით მულჩირების შემთხვევაში მზიან დღეს ნიადაგი ახდენს სითბოს მეტაკუმულირებას ვიდრე შავი მულჩის ქვეშ, მაგრამ ღამით მის ქვეშ სითბოს დაკარგვა მეტია.

ცდებით დადგენილია, რომ ნიადაგის ზედაპირიდან 50 სმ-ზე ჰაერის ტემპერატურა დღის განმავლობაში მულჩირებულ ნაკვეთებში 1-3°C-ით მეტია არამულჩირებულთან შედარებით (განსაკუთრებით შავი მულჩის გამოყენების დროს). ღამის საათებში ნიადაგზედა ჰაერის ტემპერატურა ორივე შემთხვევაში ერთნაირია, მაგრამ განთიადისას, უღრუბლო ამინდის შემთხვევაში მულჩირება (ღია ნიადაგთან შედარებით) ამცირებს ნიადაგზედა ჰაერის ტემპერატურას 0,5-1,5°C-ით, რაც არ ფიქსირდება ღრუბლიან დღეს. ნიადაგიდან 20 სმ სიმაღლეზე მულჩირება შავი და გამჭვირვალე აფსკებით ჰაერის ტემპერატურას საღამოს და დილით ზრდის 0,5-1,5°C-ით და 1-2°C-ით დღისით. ღამით კი ტემპერატურათა სხვაობა მულჩირებულ და არამულჩირებულ ნიადაგებს შორის დაფიქსირებული არ არის.

ნიადაგზედა ჰაერის ტემპერატურა დამოკიდებულია ჰაერის საერთო ტენიანობაზე 2 მ სიმაღლეზე, ნიადაგის ტენიანობაზე, აორთქლებაზე და მცენარეთა ტრანსპირაციაზე. მულჩირებულ ნიადაგზე ნიადაგის ტენის აორთქლება მცირდება და ნიადაგზედა ჰაერი ნაკლებად მდიდრდება ტენით ნიადაგიდან აორთქლების ხარჯზე, თუმცა მისი შემცველობა ნიადაგში მულჩის ქვეშ მაღალია. მშრალ მზიან ამინდში მულჩირებულ ნიადაგზე ჰაერის ტენიანობა ნაკლებია ვიდრე ნიადაგზე მულჩის გარეშე.

აღსანიშნავია, რომ მულჩირების მეთოდი შეიძლება განვიხილოთ როგორც ნიადაგის თბური მელიორაციის ერთერთი მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა ვარეგულიროთ ნიადაგის ფესვთა სისტემის ტემპერატურა.

ნიადაგის თერმული მახასიათებლები განსხვავებული არიან სხვადასხვა ტიპის ნიადაგებისათვის და აგრეთვე იცვლებიან მოცემული ტიპის ნიადაგისათვის ტემპერატურის, ფორიანობის, სიმკვრივისა და სინოტივის მიხედვით. თითოეული ტიპის ნიადაგს ახასიათებს

სხვადასხვა ფორიანობა, ტიპური დისპერსიულობა, და სპეციფიკური მექანიკური შედგენილობა, რაც თავის მხრივ განაპირობებს თერმულ მახასიათებლებს.

ნიადაგის თერმულ მახასიათებლებს ეკუთვნის:

1. ნიადაგის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი, რომელიც იზომება კალ/სმ. წმ. გრად-ობით;
2. ნიადაგის ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი K , რომელიც იზომება სმ²/წმ-ობით;
3. ნიადაგის მოცულობითი სითბოტევადობა, რომელიც წარმოადგენს კუთრი სითბოტევადობის ნამრავლს სიმკვრივეზე $C = c\rho$ და იზომება კალ/სმ³-ობით;
4. ნიადაგის სითბოშემთვისებლობის კოეფიციენტი $b = \sqrt{\lambda c\rho}$, რომელიც იზომება კალ/სმ²წმ^{-1/2}-ებში.

ამ ოთხ ფიზიკურ სიდიდეს შორის არსებობს შემდეგი სახის მათემატიკური დამოკიდებულება:

$$b = \sqrt{\lambda c}; \quad K = \frac{\lambda}{c}; \quad b = \frac{\lambda}{\sqrt{K}}.$$

როგორც ცნობილია, ნიადაგის ზედაპირი მზის სხიურ ენერგიას არა მარტო ღებულობს, არამედ ნაწილს არეკლავს ან გამოსხივებს. ამიტომ ნიადაგის ტემპერატურა დამოკიდებულია არა მარტო მის მიერ მიღებულ მზის რადიაციის რაოდენობაზე, არამედ გამოსხივებული და არეკლილი რადიაციის რაოდენობაზეც, ანუ რადიაციის ბალანსზე. რადიაციის ბალანსის განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$R = Q - S - V,$$

სადაც: R არის რადიაციის ბალანსი;
 Q – მზის რადიაციის ჯამი;
 S – არეკლილი რადიაცია;
 V – დედამიწის ეფექტური გამოსხივება (განსხვავდება საკუთრივ დედამიწის გამოსხივებასა და ატმოსფეროს შემხვედრ გამოსხივებას შორის).

რადიაციის დადებითი ბალანსი იწვევს ნიადაგის და ატმოსფეროს გათბობას, უარყოფითი კი გაცივებას.

რადიაციული ბალანსის გათვალისწინებით ა. ფ. ჩუდნოვის მიერ შემოთავაზებული იქნა თბური ბალანსის დამოკიდებულება, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$R + T_B + T_T + T_n = 0,$$

- სადაც: R არის რადიაციის ბალანსი;
- T_B – სითბოს ტურბულენტური ნაკადი (ნიადაგის ზედაპირსა და ჰაერს შორის სითბოს განაწილების მექანიზმი);
- T_T – ტენის ტრანსპირაციაზე და მის ფიზიკურ აორთქლებაზე გახარჯული სითბო;
- T_n – სითბოს გადასვლა ნიადაგის ერთი ფენიდან მეორეში.

თბური ბალანსის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პოლიეთილენის აფსკით მულჩირების შედეგად აორთქლებაზე სითბოს დახარჯვა ორჯერ, ჰაერში ტურბულენტური თბოგადაცემა 17%-ით მცირდება, ხოლო ნიადაგში სითბოს ნაკადი 25%-ით იზრდება. ეს განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია გაზაფხულზე, როდესაც აუცილებელია ნიადაგში შევინარჩუნოთ სითბო და ტენი.

მულჩირების ზეგავლენის შესწავლას ნიადაგის თერმულ და წყლოვან რეჟიმებზე მრავალი მეცნიერის კვლევა მიეძღვნა, რომელთა შორის აღსანიშნავია: ა. ბ. იოფე, ი. ო. მუსსო, ნ. ა. ნეკრასოვი და ნ. ა. რეინი, ვ. ზ. ცელიკი, მ. პ. პეტროვი, ნ. მ. კოზულინი, მ. ი. გუშინი და ი. ნ. ბოიკო, ვ. გ. გავრიში, ს. ს. ილინი, გ. დ. დეშოვიხი, ვ. ი. ედელშტეინი და ს. ვ. კრილოვი, ნ. ნ. ბანასევიჩი, ნ. ი. მაკარევსკი, კ. ფ. დობრიაკოვი, გ. ბ. ნადარაია, მ. ა. გოგოლიშვილი, ბეივერი, შოუ, კინგი, კოლი და სიუელი, სტებენსონი და შუსტერი, გრინხემი, შმიდტი, ფლინტი, ვ. ს. მეზენცევი, ი. ვ. ნოვიკოვა, ი. გ. ყრუაშვილი, ე. კუხალაშვილი, თ. ოდილავაძე, მ. ლორია და სხვ.

ნიადაგის თბურ რეჟიმზე ზეგავლენა შესაძლებელია მულჩირების აფსკის შესაბამისი შერჩევით მისი გამჭვირვალობის, ბუნებრივ-კლიმატური პირობების და მოსაყვანი სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოთხოვნების გათვალისწინებით.

მრავალი კვლევებით დადგენილია, რომ ნიადაგის ტემპერატურის უდიდესი ცვლილება ხდება გამჭვირვალე პოლიეთილენის აფსკით მულჩირების შემთხვევაში. ღია გრუნტის შემთხვევაში ნიადაგი მულჩის ქვეშ საგრძნობლად მეტად თბება ვიდრე მულჩის გარეშე. ამ შემთხვევაში სითბოს მიწოდება 40-46%-ით მეტია. ასეთი მულჩის ქვეშ უკვე მეორე დღეს ნიადაგის ტემპერატურა იზრდება 50 სმ სიღრმეზე.

განსაკუთრებული სხვაობა მულჩირებულ და არამულჩირებულ ნიადაგების ზედაპირზე შეიმჩნევა დღის საათებში. დღის საათებში 20 სმ სიღრმეში მულჩის ქვეშ ტემპერატურა თითქმის ორჯერ აღემატებოდა ტემპერატურას ღია ნიადაგთან შედარებით. 50 სმ სიღრმეშიც კი მულჩირებული ნიადაგის ტემპერატურა 1,5-2°C-ით აღემატებოდა.

ნახვრეტების ფართობის ზრდასთან ერთად მულჩის გავლენა ტემპერატურაზე კლებულობს.

თბური ბალანსის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პოლიეთილენის აფსკით მულჩირების შედეგად აორთქლებაზე სითბოს დახარჯვა ორჯერ, ჰაერში ტურბულენტური თბოგადაცემა 17%-ით მცირდება, ხოლო ნიადაგში სითბოს ნაკადი 25%-ით იზრდება. ეს განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია გაზაფხულზე, როდესაც აუცილებელია ნიადაგში შევინარჩუნოთ სითბო და ტენი [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

ვეგეტაციის პერიოდში მცენარეები ნიადაგიდან მოიხმარენ წყლის დიდ რაოდენობას. წყლის უკმარისობა, როგორც მისი სიჭარბე უარყოფითად მოქმედებს მცენარის ზრდაზე და მოსავლის რაოდენობაზე. ტენის უკმარისობის დროს მცენარის წვრილი ფესვების სიცოცხლისუნარიანობა კლებულობს, ისინი ვერ იწოვენ წყალს და მცენარე იწყებს ჭკნობას. ზედმეტი ტენი კი ხელს უშლის ნორმალური ბიოლოგიური პროცესების განვითარებას ნიადაგში და ქანგბადის მიწოდებას ფესვებისთვის.

ა. ა. როდე მცენარის მიმართებაში ნიადაგის ტენს ყოფს ხუთ კატეგორიად:

1. აბსოლუტურად აუთვისებელი ტენი (ე.წ. ნიადაგის მკვდარი მარაგი), რომელიც დაახლოებით ეთანადება მყარად შეკავშირებული წყლის მაქსიმალურ შემადგენლობას.
2. საკმაოდ ძნელად მისაწვდომი ტენი. ეს არის ფხვიერად შეკავშირებული წყლის ნაწილი მკვდარი მარაგიდან ჭკნობის სინოტივემდე, რომლის დროსაც მცენარე განიცდის ტენის მძაფრ დეფიციტს.
3. პირობითად ძნელად მისაწვდომი ტენი. ეს სიდიდე იმყოფება ჭკნობის სინოტივესა და კაპილარული გაწყვეტის სინოტივეს შორის. ეს ტენის ის კატეგორიაა, რომლის დროსაც ჩამოკიდებული ტენი, აორთქლების პროცესში კარგავს გადაადგილების თვისებას ასაორთქლებელი ზედაპირისაკენ.
4. საშუალოდ მისაწვდომი ტენი ხასიათდება გადაადგილებით და მოთავსებულია კაპილარული გაწყვეტის სინოტივესა და მინდვრის (უმცირესი) წყალტევადობას შორის. უმცირესი წყალტევადობა არის აბსოლუტური წყალტევადობა. მინდვრის წყალტევადობა თიხნარი ნიადაგებისათვის საშუალოდ ტოლია 170-190 მმ, ქვიშნარებისთვის 160-180 მმ და ქვიშისათვის 80-120 მმ პროდუქტიული ტენისა ნიადაგის 1მ-იან ფენაში.
5. ადვილად მისაწვდომი ტენი მდებარეობს უმცირეს წყალტევადობასა და სრულ წყალტევადობას შორის. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს ტენის იმ მაქსიმალურ სიდიდეს, რომელიც შეუძლია დაიკავოს ნიადაგმა მისი ფორების სრული შევსებისას. ტენის ეს დონე ხასიათდება გადაადგილების მაქსიმალური შესაძლებლობით, მაგრამ ამ დროს შეზღუდულია ნიადაგში ჟანგბადის გადაადგილება.

ნიადაგის მულჩირება პოლიეთილენის აფსკით ერთერთი საშუალებაა რომელიც ხელს უწყობს სასურველი წყლის რეჟიმის ჩამოყალიბებას. ვინაიდან პოლიეთილენის აფსკი წყალგაუმტარია, იგი აფერხებს აორთქლების პროცესს.

რაც უფრო ნაკლები მანძილია მუღჩის ზოლებს შორის და მეტია მცენარეთათვის ნახვრეტების ფართი, მით ნაკლებია აორთქლება და მატულობს წყლის მარაგი ნიადაგში.

აფსკით მუღჩირებას, როგორც წყლის რეჟიმის გამაუმჯობესებელ საშუალებას დიდი მნიშვნელობა აქვს გვაღვიან რეგიონებში [19, 20, 21, 22, 23].

თუ მუღჩირების წინ ნიადაგი კარგად არ იყო მოსწორებული, მაშინ რეკომენდებულია მუღჩის ცენტრში მთელ სიგრძეზე 2-3 მ დაშორებით გაკეთდეს 0,5 სმ დიამეტრის ნახვრეტები, რათა არ მოხდეს წყლის დაგროვება.

გამჭვირვალე მუღჩის ქვეშ ნიადაგი უფრო სწრაფად შრება ვიდრე შავი აფსკის ქვეშ.

ცდებით დადგენილია, რომ მუღჩის ქვეშ ნიადაგის ტენიანობა 50 სმ სირღმეზეც კი 2-5%-ით მეტი, ვიდრე ნიადაგისა მუღჩის გარეშე [24, 25, 26, 27, 28, 29].

ნიადაგის მექანიკურ დამუშავებას, ნიაღვრულ წვიმებს და სხვა გარე ფაქტორებს მიყვავართ ფესვთა სისტემის შემჭიდროვებასთან, რაც იწვევს მცენარის ზრდის შეფერხებას და მოსავლის შემცირებას. ამიტომ ნიადაგის ნაყოფიერების შესანარჩუნებლად მნიშვნელოვანია იმ ღონისძიებების ჩატარება, რომლებიც დაიცავენ ნიადაგს მისი სტრუქტურის დაშლისა და შემჭიდროვებისგან. ერთერთ ასეთ ღონისძიებას წარმოადგენს ნიადაგის მუღჩირება პოლიეთილენის აფსკით.

მუღჩირების გავლენას ნიადაგის ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებებზე იკვლევდნენ მ. გ. ვარძელაშვილი, ტ. ა. აკულოვა, ვ. ვ. იოსავა, ბ. გ. კარნაუხოვი, ნ. ვ. ახვლედიანი, ნ. კ. კლუევი, ე. ი. შილოვა, ლ. ი. კაცი, ვ. ვ. იაკოვლევი, ბოლერი და სტეფენსონი, ოლბრეხტი, მაგრუდერი, ვან დორენი და შტაუფერი.

კვლევების შედეგების ანალიზის საფუძველზე მივიდეთ, რომ დარგვიდან მოსავლის აღებამდე ნიადაგის სიმკვრივე 0-20 სმ სიღრმეზე არ იცვლება იმ დროს, როდესაც ფართობზე მუღჩის გარეშე ნიადაგის მოცულობითი წონა 0,05-0,08 გრ/სმ³-ით იზრდება [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36].

უმთავრეს ფაქტორს, რომელიც განაპირობებს ბიოლოგიური პროცესების მსვლელობას, წარმოადგენს ტემპერატურის რეჟიმი. ცნობილია, რომ მრავალი ნიადაგის მიკროორგანიზმისთვის ოპტიმალური ნიადაგის ტემპერატურას წარმოადგენს 20-30°. გაზაფხულზე ნიადაგის ტემპერატურა მიკროორგანიზმებისათვის ოპტიმალურზე ნაკლებია, რაც აფერხებს მათ სიცოცხლისუნარიანობას. ბიოლოგიური პროცესების ინტენსივობაზე კი დიდად არის დამოკიდებული მცენარის უზრუნველყოფა საკვები ნივთიერებებით, კერძოდ აზოტით.

ადრეულ გაზაფხულზე მნიშვნელოვანია ნიადაგში ნიტრიფიკაციის პროცესის დაჩქარება, რასთანაც დაკავშირებულია მცენარის აზოტით კვების გაუმჯობესება. მულჩირებულ ნიადაგში ინტენსიურად მიმდინარე ბიოლოგიური პროცესები აჩქარებენ ორგანული ნივთიერებების მინერალიზაციას, რის შედეგადაც ნიადაგში მატულობს საკვები ნივთიერებების რაოდენობა [37, 38, 39, 40, 41].

გამომდინარე ზემოთაღნიშნულიდან, მულჩირების დადებითი მხარეები შეიძლება შემდეგ პუნქტებად ჩამოვაყალიბოთ:

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 კომპოზიციის 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.

13. მულჩირების გავლენა ევაპოტრანსპირაციაზე და ნიადაგის წყლოვან თვისებებზე (ფილტრაციაზე)

ტენიანობის უკმარისობა, ხშირად წარმოადგენს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების პროდუქტიულობის შემცირების ძირითად ფაქტორს. არიდულ და ნახევრად არიდულ რეგიონებში მაღალი მოსავლის მიღება შესაძლებელია მხოლოდ რაციონალური გასარწყავების პირობებში, რომელიც უზრუნველყოფს გემიური მოსავლის მიღებას და გარემოს ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებას.

მორწყვის რაციონალური რეჟიმის ფორმირება შეუძლებელია სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მორწყვის ვადების განსაზღვრის გარეშე. მორწყვის ვადების განსაზღვრის არსებული მეთოდებიდან ყველაზე ზუსტია ნიადაგის ტენიანობის კონტოლი თერმოსტატულ-წონითი მეთოდი. ამასთან, ეს მეთოდი წარმოადგენს ყველაზე შრომატევადს, ხოლო შედეგების მიღება ხდება დაგვიანებით, რასაც მიყვარათ არადროულ მორწყვამდე განსხვავებული ნორმებით.

უკანასკნელ პერიოდში ფართო გავრცელება ჰპოვა სარწყავი ნორმის საანგარიშო მეთოდებმა, რომელთა თეორიულ საფუძველს წარმოადგენს ის, რომ მცენარეთა ოპტიმალური წყალუზრუნველყოფის დროს მყარდება მჭიდრო ურთიერთკავშირი აორთქლებასა და ატმოსფეროს ენერგეტიკულ რესურსებს შორის, რომლის შეფასებაც ხდება ისეთი კომპლექსური მახასიათებლის მეშვეობით, როგორცაა აორთქლებაღობა ანუ პოტენციური ევაპოტრანსპირაცია. ხოლო ჯამური წყალმომარება ანუ ევაპოტრანსპირაცია არის წყლის ის მოცულობა, რომელიც იხარჯება მცენარეთა ტრანსპირაციაზე და ნიადაგიდან აორთქლებაზე [42].

როგორც ცნობილია, ჯამური წყალმომარებისა (ევაპოტრანსპირაცია) და ჯამური აორთქლების სხვაობას წყალმომარების დეფიციტი წარმოადგენს

$$\Delta E = ET_0 - ET,$$

სადაც: ET_0 არის ევაპოტრანსპირაცია ან სასოფლო-სამეურნეო

კულტურის წყალმოსმარება საანგარიშო
პერიოდში (მმ);

ET – ჯამური აორთქლება ბუნებრივი გატენიანების
პირობებში (მმ).

ამ განტოლებაში *ET_o*-ის მიხედვით ხდება კულტურის წყალმოთხოვნილების განსაზღვრა მაღალი მოსავლის მისაღებად, ხოლო ჯამური წყალმოსმარების უფრო ზუსტი მონაცემების მიღება ხდება სავსე კვლევების საფუძველზე. ასეთი კვლევები წარმოებს სხვადასხვა სასოფლო-სამეურნეო კულტურებზე

ბოლო 50 წლის მანძილზე მოელს მსოფლიოში, მეცნიერთა მიერ შემუშავებულია *ET_o*-ის გაანგარიშების უამრავი მეთოდი სხვადასხვა კლიმატური მონაცემის მიხედვით. ამ მეთოდებს, ხშირად ადგილობრივი ხასიათი აქვთ და მათი გამოყენება სხვადასხვა რეგიონებში შეუძლებელია. ამა თუ იმ მეთოდის გამოცდა სხვა პირობებში საკმაოდ შრომატევადი პროცესია, ხოლო *ET_o*-ის განსაზღვრა უნდა მოხდეს სწრაფად. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად *FAO*-ს მიერ შემუშავებლ იქნა *ET_o*-ს განსაზღვრის შემდეგი მეთოდები [43]:

1. რადიაციული;
2. პენმანის მეთოდი;
3. მეთოდი ამორთქლებლით;
4. პენმანის დაზუსტებული მეთოდი.

სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში ამა თუ იმ მეთოდის შედეგების შეფასება განხორციელდა ირიგაციისა და წყალმოსმარების კომიტეტის (აშშ) მიერ. პარალელურად კვლევები ტარდებოდა ევროკავშირის კვლევითი ინსტიტუტების მიერ. ამ კვლევების შედეგებზე დაყრდნობით *FAO*-ს მიერ რეკომენდებული იქნა პენმან-მონტენის მეთოდი, როგორც ევაპორტრანსპირაციის განსაზღვრის ერთადერთი სტანდარტული ხერხი.

1948 წელს პენმანმა ენერგეტიკული ბალანსის თეორია გააერთიანა მასის გადატანის მეთოდთან და მიიღო ღია წყლის ზედაპირიდან აორთქლების საანგარიშო განტოლება სტანდარტული კლიმატური

პირობებისთვის: მზის განათება, ტემპერატურა, ტენიანობა და ქარის სიჩქარე. ეს ე.წ. კომბინაციური მეთოდი განვრცობილი იქნა სხვადასხვა მკვლევარის მიერ და მორგებულ იქნა დათესილ ფართობებისთვის წინააღმდეგობის ფაქტორების გათვალისწინებით.

პენმან-მონტეინის საანგარიშო დამოკიდებულებას შემდეგი სახე აქვს:

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)},$$

სადაც:	ET_o	არის	ნორმატიული ევაპოტრანსპირაცია (მმ.დღე ⁻¹);
	R_n	–	კულტურის ზედაპირზე რადიაცია ნეტო (MJM ⁻² დღე ⁻¹);
	G	–	ნიადაგის თბური ნაკადის სიმკვრივე (MJM ⁻² დღე ⁻¹);
	T	–	საშუალო დღიური ტემპერატურა 2 მ სიმაღლეზე (°C);
	u_2	–	ქარის სიჩქარე 2 მ სიმაღლეზე (ms ⁻¹);
	Δ	–	გაჯერებული ორთქლის წნევის მრუდის ქანობი (kPa °C ⁻¹);
	γ	–	ფსიქომეტრიული მუდმივა (kPa °C ⁻¹);
	e_a	–	ორთქლის ფაქტიური წნევა (kPa);
	e_s	–	გაჯერებული ორთქლის წნევა (kPa);
	$e_s - e_a$	–	გაჯერებული ორთქლის წნევის დეფიციტი (kPa).

აღნიშნულ მეთოდთან ერთად, სარწყავ მიწათმოქმედებაში, უდიდესი გამოყენება ჰპოვა ევაპოტრანსპირაციის გამოთვლის **ბიოკლიმატურმა მეთოდმა** ჯამური აორთქლების ბიოლოგიური კოეფიციენტების გათვალისწინებით (ა. მ. ალაპატიევი). ამ მეთოდს საფუძვლად უდევს კავშირი წყალმოხმარებას, ჰაერის ტენიანობის დეფიციტსა და მოსარწყავი კულტურის ბიოლოგიურ თავისუბერებებს შორის. ეს კავშირი გამოისახება დამოკიდებულებით:

$$ET_0 = K_d \cdot \sum d; \quad ET_0 = K_t \cdot \sum t; \quad ET_0 = K_E \cdot E_m,$$

სადაც:	$K_d, K_t,$	არის	კულტურის წყალმოსმარების ბიოლოგიური (ბიოკლიმატური) კოეფიციენტი,
	K_E		დამოკიდებულია ვეგეტაციის პერიოდზე.
	$\sum d$	–	ჰაერის ტენიანობის საშუალო დღეღამური დეფიციტის ჯამი (მმ);
	$\sum t$	–	ჰაერის საშუალო დღეღამური ტემპერატურის ჯამი განსახილველ პერიოდში ($^{\circ}\text{C}$);
	E_m	–	მაქსიმალურად შესაძლებელი აორთქლება (მმ).

ამ მეთოდის სიზუსტე დამოკიდებულია წყალმოსმარების ბიოკლიმატური კოეფიციენტების რაოდენობრივ მნიშვნელობაზე, რომლის დაზუსტება მიზანშეწონილია მრავალწლიანი საველე კვლევების საფუძველზე სხვადასხვა სასოფლო-სამეურნეო კულტურებისთვის.

ბიოლოგიური (ბიოკლიმატური) კოეფიციენტი ასახავს მოსარწყავი კულტურის წყალმოსმარების თავისებურებებს და მისი გამოთვლა ხდება ჯამური აორთქლებისა (ვეგეტაციის გარკვეულ მონაკვეთში) და მეტეოროლოგიური მონაცემების საფუძველზე. ს. მ. ალაპატიევის მიხედვით, ბიოკლიმატური კოეფიციენტის გამოსათვლელად აღებულია აორთქლება, რომელიც იანგარიშება ჰაერის ტენიანობის დეფიციტის მიხედვით:

$$K = \frac{E_{\text{ვ}}}{\sum d}.$$

ა.რ. კონსტანტინოვის მეთოდის მიხედვით მეტეოროლოგიურ მახასიათებლად მიღებულია ჰაერის ტემპერატურა და აბსოლუტური ტენიანობა [44]:

$$K = \frac{E_{\text{ვ}}}{E_0}.$$

დ. ბ. ციპრისის მიხედვით – ჰაერის ტემპერატურა:

$$K = \frac{E_g}{(t + 22.5^{\circ}C)}$$

სადაც:	E_g	არის	ფაქტიური ჯამური აორთქლება დეკადაში (მმ);
	E_0	–	აორთქლება დეკადაში. განისაზღვრება ჰაერის ტემპერატურისა და აბსოლუტური ტენიანობის მიხედვით (მმ);
	Σd	–	ჰაერის საშუალო დღეღამური ტენიანობის დეფიციტის ჯამი დეკადაში (კა);
	t	–	ჰაერის საშუალო დღეღამური ტემპერატურა დეკადაში ($^{\circ}C$).

წყალმოსმარების დეფიციტის საანგარიშო დამოკიდებულების მეორე ნაწილი, ანუ ET , ახასიათებს ბუნებრივი გატენიანების დონეს. ბუნებრივი გატენიანება წარმოადგენს, საანგარიშო პერიოდის დასაწყისში და ბოლოში არსებული ატმოსფერული ნალექებისა და ნიადაგის ტენის მარაგის ჯამის სხვაობას. რიგ შემთხვევაში, შესაძლებელია დამატებითი კვება ტენით, გრუნტის წყლების მეშვეობით, თუ იგი მაღალ დონეზეა განლაგებული. ამ შემთხვევაში, ჯამური აორთქლება ბუნებრივი გატენიანების პირობებში, ნებისმიერ საანგარიშო პერიოდში შეადგენს:

$$ET = P + (W_1 - W_2) + V_{გრ} + V_{ჯამ}$$

სადაც:	P	არის	ეფექტური ატმოსფერული ნალექები (მმ);
	W_1 და	–	ნიადაგის აქტიური ფენის ტენიანობა
	W_2		საანგარიშო პერიოდის დასაწყისსა და ბოლოში (მმ);
	$V_{გრ}$	–	მცენარეების მიერ გამოყენებული გრუნტის წყლების რაოდენობა (მმ);
	$V_{ჯამ}$	–	ზედაპირისა და ნიადაგქვეშა ჩამონადენის ჯამი (მმ).

ბუნებრივ გატენიანებაში მონაწილე კომპონენტებს შორის ატმოსფერული ნალექები წარმოადგენს ყველაზე ადვილად შესასწავლ

მაჩვენებლს და მონაცემების აღება შესაძლებელია ჰიდრომეტრო სადგურების მეშვეობით. ნიადაგის წყლის მარაგის განსაზღვრაც, აგრეთვე, შესაძლებელია აგრომეტეოროლოგიური სადგურების მეშვეობით.

ნიადაგის ტენის მარაგის განსაზღვრის ექსპერიმენტალური მეთოდები იმდენად რთულ და შრომატევად პროცესს წარმოადგენს, რომ მრავალი მკვლევარი უპირატესობას საანგარიშო მეთოდებს ანიჭებს. ბუნებრივი გატენიანების პირობებში, ჯამური აორთქლების მახასიათებლების განსასაზღვრავად მიზანშეწონილია ვ. ს. მეზენცევის ჰიდროლოგო-კლიმატური გაანგარიშებისა მეთოდის გამოყენება, რომლის მიხედვითაც, ჯამური აორთქლება იანგარიშება:

$$ET = E_m \cdot [1 + ((P + W_1 - W_2) / E_m)^{-n}]^{-1/n},$$

სადაც, n პარამეტრიც განისაზღვრება ფაქტიური აორთქლებისა (ოპტიმალური ტენზორუნველყოფის პირობებში) და მაქსიმალურად შესაძლებელი აორთქლების ფარდობით.

მაქსიმალურად შესაძლებელი აორთქლება, ყოველი წლის საანგარიშო ინტერვალებისთვის, გამოითვლება რადიაციული ბალანსის შეფარდებით ორთქლწარმომქმნელ ხვედრით სითბოსთან:

$$E_m = B / L,$$

სადაც L არის ორთქლწარმომქმნელი ხვედრითი სითბო, 0.539 კკალ/სმ²;
 B – რადიაციული ბალანსი, კკალ/სმ².

რადიაციული ბალანსის მონაცემების აღება ხორციელდება აქტინომეტრიულ სადგურებზე. ამიტომ, თბური ბალანსის ელემენტების არასაკმარისი მონაცემების გამო, საჭიროა გახდა რადიაციული ბალანსით გამოწვეული მაქსიმალური აორთქლების საანგარიშო ემპირიული დამოკიდებულების გამოყვანა მეტეოროლოგიურ ფაქტორებთან კავშირში.

ამისათვის დადგინდა კვშირი რადიაციულ ბალანსსა და საშუალო დღელამურ ტემპერატურას შორის:

$$\text{აპრილი-ივნისი } B = 0.0093 \cdot \sum t + 3.46;$$

$$\text{ივლისი-სექტემბერი } B = 0.0132 \cdot \sum t + 1.38.$$

გამომდინარე აქედან, წყლის ბალანსის განტოლების მონაცემების მიხედვით, წყალმოსმარების ბიოკლიმატური კოეფიციენტების მეშვეობით ხორციელდება დეკადური ან ყოველთვიური წყალმოსმარების დეფიციტის განსაზღვრა. თუ არ ხდება მცენარის მიერ გრუნტის წყლების გამოყენება, მაშინ წყალმოსმარების დეფიციტის გაანგარიშება შემდეგი დამოკიდებულებებით ხორციელდება:

$$\Delta E = k_d \cdot \sum d - E_m \cdot \left[1 + ((P + W_1 - W_2) / E_m)^{-n} \right]^{-1/n};$$

$$\Delta E = k_d \cdot \sum t - E_m \cdot \left[1 + ((P + W_1 - W_2) / E_m)^{-n} \right]^{-1/n};$$

$$\Delta E = E_m \left(K_E - \left[1 + ((P + W_1 - W_2) / E_m)^{-n} \right]^{-1/n} \right).$$

წყალმოსმარების დეფიციტის განსაზღვრა წარმოებს დეკადების ან თვეების მიხედვით დაკვირვებების საფუძველზე. განსაზღვრული წყალმოსმარების დეფიციტი ჯამდება სასოფლო-სამეურნეო კულტურების სავეგეტაციო პერიოდების მიხედვით. მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავების შედეგად ვლინდება წყალმოსმარების დეფიციტის 5%-იანი, 25, 50, 75 და 95-იანი უზრუნველყოფა. ამასთან 5%-იანი წყალმოსმარების დეფიციტის უზრუნველყოფა შეესაბამება ძალიან მშრალ პერიოდს, 25 – საშუალოდ მშრალ, 50 – საშუალოს, 75 – საშუალოდ ტენიანს და 95 – ტენიანს.

მულჩირების გავლენა ევაპორტრანსპირაციაზე ზედმიწევნით იქნა შესწავლილი ორ წარმატებულ პროექტში Glen/Bonheim და Glen/Swartland ეკოტოპებში (Botha, Anderson, Van Staden, Van Rensburg, Beukes, & Hensley, 2001; Van Rensburg *et al.*, 2002). მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ სხვა ფაქტორებს შორის (I) მულჩირების ტიპი თავის მხრივ იგივენაირად ახდენს ზეგავლენას აორთქლების კოეფიციენტზე და (II) პროცენტულად მიწის ეს საფარველი არის ზედაპირის

მნიშვნელოვანი მახასიათებელი, რომელიც აკონტროლებს ნიადაგის ზედაპირიდან წყლის აორთქლებას (Es) [45].

ევაპოტრანსპირაციის კლასიკურმა შესწავლებმა ნათლად აჩვენა, რომ აორთქლება, რომელიც დამოკიდებულია ტენიანობაზე, ტემპერატურასა და ქარის სიჩქარეზე, მნიშვნელოვანი, ანგარიშგასაწევი ფაქტორებია. სამხრეთ აფრიკაში ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ შრობის ციკლის ხანგრძლივობა ასევე მნიშვნელოვანი ფაქტორია მულჩირების უნარიანობის განსაზღვრისას აორთქლების შესამცირებლად. ჰოფმანმა (1997) დაასკვნა, რომ მულჩირება კარგავს წყლის კონსერვაციის უპირატესობას, როცა ნახევრად გვალიან გარემოში, შრობის ციკლი მიწის დაუმუშავებელ პერიოდში 15-20 დღეს აჭარბებს. Berry & Mallett (1988) აღმოაჩინეს, რომ სიმინდის ნარჩენები, რომელიც ზედაპირის 70%-ზე მეტს ფარავს, მნიშვნელოვნად ამცირებენ აორთქლებას ქვე-ნოტიო პირობებში და შრობის პერიოდს ამცირებენ 14 დღეზე ქვემოთ.

ნახევრად გვალიან ფაზაში, ძირითადად დომინირებს აორთქლების ორი პროცესი. ეს ნიშნავს, რომ Es ფართოდ კონტროლდება ნიადაგის მატრიქსის ჰიდრაულიკური მახასიათებლის მიერ (Hillel, 1972). Hoffman (1997) აცხადებს, რომ საერთო აორთქლება იზრდება თიხისა და შლამის შემცველობის გაზრდით. მეორეს მხრივ, Stroosnijder & Kone –ს (1982) მიერ შემოთავაზებული და Stroosnijder (2003) მიერ დამოწმებული მარტივი მოდელი გვიჩვენებს, რომ ნიადაგის ჰიდრაულიკური თვისებები სხვა ფაქტორებთან შედარებით არ არის მთავარი მნიშვნელობის, როგორცაა პირენციური ევაპოტრანსპირაცია, ფოთლის ფართობის ინდექსი და შრობის ციკლის ხანგრძლივობა. მათ გამოიყენეს კონსტანტა, რომელმაც ბრწყინვალედ იმუშავა ნიადაგის ფართო სპექტრზე, რომელიც მარტივ მოდელში კლასიფიცირებული იყო ქვიშიდან თიხნარში, რათა წინასწარ განსაზღვრულიყო საერთო აორთქლება.

Tanner & Sinclair (1983) და Chapman, Hammer & Meinke (1993) –ის მიერ შემოთავაზებული პროცედურებით მიღებული იქნა Ev გამოთვლა. ტრანსპირაციის ეფექტურობის კოეფიციენტი სიმინდსა და მხესუმზირაზე აღებული იქნა 9.5გ მ⁻² მმ⁻¹ და 4.5გ მ⁻² მმ⁻¹ შესაბამისად.

K-სიდიდის გამოყენება იძლევა ორ (ET) მარტივ და ეფექტურ გზას, რათა ევაპორანსპირაცია დაიყოს თავისი ორი კონპონენტით - Es და Ev. ევაპორანსპირაცია შეფასდა ნიადაგში წყლის ბალანსის გათანაბრებით გამომშრალი ნიადაგის მოსავლიანობისთვის, გრუნტის წყლის მოძრაობის გარეშე.

თაზი II

რუსურსდამზობი ტექნოლოგიების გამოყენების დროს რწყვის ოპტიმალური რეჟიმის დადგენის თეორიული ასპექტები

3.1. ნიადაგის წყალგამტარობისა და ფილტრაციის თავისებურებანი ნიადაგ-გრუნტებში

სასოფლო-სამეურნეო კულტურის წყალმოთხოვნილების ოპტიმალური პროდუქტიული წყლით უზრუნველყოფა და სავეგეტაციო პერიოდში წყლის აუცილებელი ნორმით დაკმაყოფილება უამრავ ურთიერთმართვად ფაქტორთან არის დაკავშირებული და ნიადაგ-გრუნტებში წყლის მიგრაციისა და გადაადგილების თავისებურებათა გათვალისწინებას საჭიროებს.

ფილტრაციაზე დანაკარგების კანონზომიერების შესწავლის საკითხებმა, მიუხედავად პრაქტიკისათვის მიღებული შედეგებისა, ვერ მიიღო დასრულებული სახე და მოვლენის არსზე ნიადაგ-გრუნტების სტრუქტურულ-ფუნქციონალური ჰიდროფიზიკის მახასიათებლების კომპლექსის გავლენის კანონზომიერების შესწავლას საჭიროებს [46].

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, 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 [47]:

$$V = \frac{\mu R^2}{2\mu} \left(1 - \frac{r_0}{R}\right)^2 \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \frac{r_0}{R}\right), \quad (2.1.1)$$

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);
 n – ფოროვან მილსადენში ძვრის საწყისი წინაღობის ექვივალენტური რადიუსია (მ).

შემოთავაზებული მოდელის შესაბამისად, ფილტრაციის მიმართულებით Ω ცოცხალი კვეთის ფართობისა და x მილსადენის შემთხვევაში, ცალკეული მილის α ცოცხალი კვეთის ფართობი იქნება:

$$\omega_x = \frac{\Omega}{x}. \quad (2.1.2)$$

შესაბამისად, ცალკეული მილსადენის წყლის ხარჯი ტოლია:

$$Q_{\text{მილ}} = \frac{\gamma R^2}{2\mu} m \frac{\Omega}{x}. \quad (2.1.3)$$

წარმოდგენილ (2.1.3.) 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 α შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით:

$$\omega_x = m \frac{\Omega}{x}. \quad (2.1.4)$$

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

$$n = m = \left(1 - \frac{r_0}{R}\right)^2 \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \frac{r_0}{R}\right). \quad (2.1.5)$$

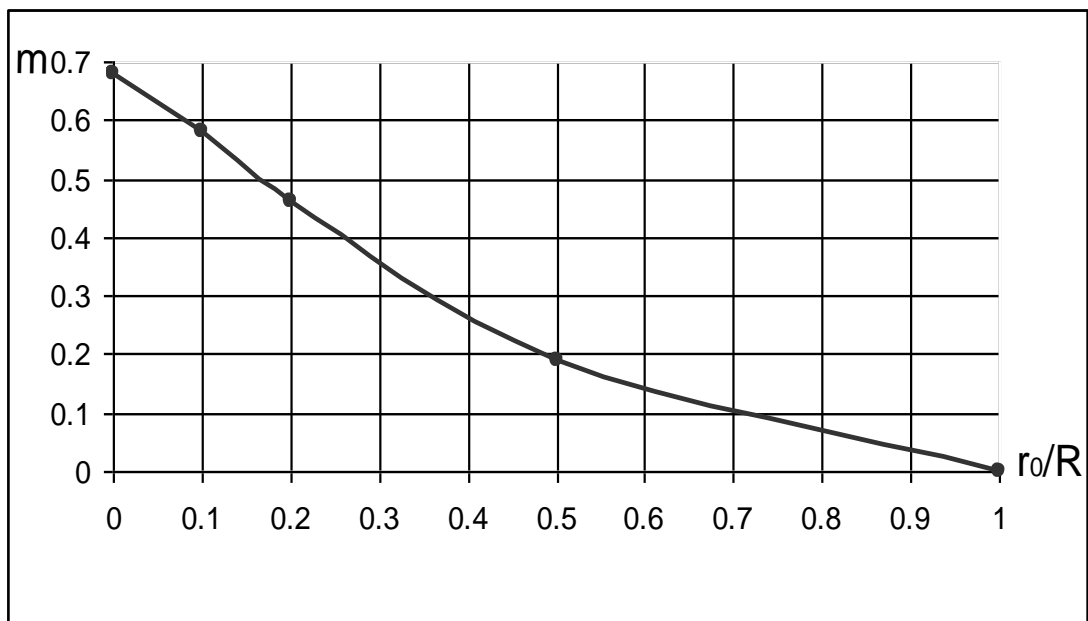
თუ (2.1.5)-ს გავითვალისწინებთ (2.1.1)-ში, მაშინ ფოროვანი მილის საშუალო სიჩქარე ტოლი იქნება:

$$V = mU. \quad (2.1.6)$$

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

(2.1.5.) საანგარიშო დამოკიდებულებიდან m -ის განსაზღვრა ძალზე რთულია და სპეციალურ კვლევებს საჭიროებს. აქედან გამომდინარე, შემოთავაზებულია გრაფიკული დამოკიდებულება $m = f\left(\frac{r_0}{R}\right)$, ნახ. №2.1.1.

მიღებული (2.1.6.) საანგარიშო დამოკიდებულება ამყარებს კავშირს ფიქტიურ და იდეალურ ნიადაგ-გრუნტში წყლის V ფიქტიურ სიჩქარესა და ფოროვან მილში U საშუალო სიჩქარეს შორის.



ნახ. № 2.1.1. $m = n = f\left(\frac{r_0}{R}\right)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

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

$$h_{ღან} = \lambda \frac{\ell}{4R} \frac{U^2}{2g}, \quad (2.1.7.)$$

სადაც: λ არის ჰიდრაულიკური წინააღობის კოეფიციენტი;
 g – სიმძიმის ძალის აჩქარება ($მ/წმ^2$);
 ℓ ფოროვანი მილის სიგრძე ($მ$).

(2.1.7.) საანგარიშო დამოკიდებულებიდან ჰიდრაულიკური ქანობი I რეინოლდსის Re რიცხვისა და სიბლანტის ν კინემატიკური კოეფიციენტის გათვალისწინებით შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით:

$$I = \frac{\lambda Re^2 \nu^2}{8 R^3 g}. \quad (2.1.8.)$$

(2.1.8.) დამოკიდებულების გარდაქმნისა და უგანზომილებო კომპლექსის Π -თი აღნიშვნის საფუძველზე, რომელიც ფილტრაციაში ფილტრაციის რიცხვით არის ცნობილი, მივიღებთ:

$$\Pi = \frac{gR^3 I}{\nu^2}, \quad (2.1.9.)$$

$$\Pi = \frac{\lambda}{8} Re_R^2. \quad (2.1.10.)$$

შესაბამისად, ჩატარებული გარდაქმნების საფუძველზე ჰიდრაულიკური წინაღობის კოეფიციენტი λ რეინოლდსის რიცხვთან კავშირში მიიღებს სახეს:

$$\lambda = \frac{8\Pi}{Re_R^2}. \quad (2.1.11.)$$

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

$$\lambda = \frac{A}{Re_R^{2-n}}. \quad (2.1.12.)$$

(2.1.12.) დამოკიდებულების გატოლებით (2.1.11.)- თან მივიღებთ:

$$\Pi = \frac{A}{8} Re_R^n. \quad (2.1.13.)$$

Π -ს მნიშვნელობის გათვალისწინებით (2.1.13.)-ში, მივიღებთ:

$$\frac{gR^3 I}{\nu^2} = \frac{A}{8} \left(\frac{UR}{\nu} \right)^n. \quad (2.1.14.)$$

(2.1.14.) დამოკიდებულებიდან შეიძლება განისაზღვროს ფოროვან მიღში წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე:

$$U = \left(\frac{8gI}{A} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{R^{\frac{3-n}{n}}}{\nu^{\frac{2-n}{n}}}. \quad (2.1.15.)$$

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

$$U = \frac{8gI}{A} \frac{R^2}{\nu}. \quad (2.1.16.)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, $\gamma = \rho g$, (2.1.16.)

საანგარიშო დამოკიდებულება მიიღებს სახეს:

$$U = \frac{8\gamma R^2}{\mu} \frac{I}{A}. \quad (2.1.17.)$$

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

$$U = \frac{\gamma K'}{\mu} I. \quad (2.1.18.)$$

(2.1.18.) დამოკიდებულების გათვალისწინებით (2.1.16.)-ში, გვექნება:

$$V = \frac{n\gamma K' I}{\mu}. \quad (2.1.19.)$$

(2.1.19.) საანგარიშო დამოკიდებულება წარმოადგენს წყლის ფილტრაციის საანგარიშო დამოკიდებულებას იდეალურ ნიადაგ-გრუნტებში. წყლის ფილტრაციის შესწავლისას მაღალდისპერსიულ გრუნტებში (თიხა, 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 [48]. ფუნქციონალური კავშირის ზოგადი ხასიათი ფილტრაციის სიჩქარესა და გრადიენტს შორის სხვადასხვა ნიადაგ-გრუნტისათვის შეიძლება ჩაწერილ იქნას დამოკიდებულებით:

$$V_{\text{რეალ}} = KI \left(1 - \frac{I_0}{I} \right), \quad (2.1.20.)$$

სადაც: K არის ფილტრაციის კოეფიციენტი;

I – სრული გრადიენტი;

I_0 – საწყისი გრადიენტი.

(2.1.20.) დამოკიდებულების შეფარდებით (2.1.19.)-თან, როცა ფილტრაციის კოეფიციენტი $K_1 = n \frac{\gamma K'}{\mu}$ ტოლია, რეალური გრუნტისათვის ფილტრაციის სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$V_{\text{რეალ}} = K_1 K I \left(1 - \frac{I_0}{I}\right). \quad (2.1.21.)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას:

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

მაშინ მივიღებთ:

$$V_{\text{რეალ}} = K I. \quad (2.1.22.)$$

(2.1.21.)-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:

$$U = \sqrt{\frac{8gR}{A}} \sqrt{I}. \quad (2.1.23.)$$

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

$$V = m \sqrt{\frac{8gR}{A}} \sqrt{1 - \frac{I_0}{I}} \sqrt{I}. \quad (2.1.24.)$$

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

$$V = B m \sqrt{I}, \quad (2.1.25.)$$

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.

2.2. მილსადენთა სისტემებში წყლის მოძრაობის საკითხების თეორიული შესწავლა და მორწყვის ნორმის დადგენა

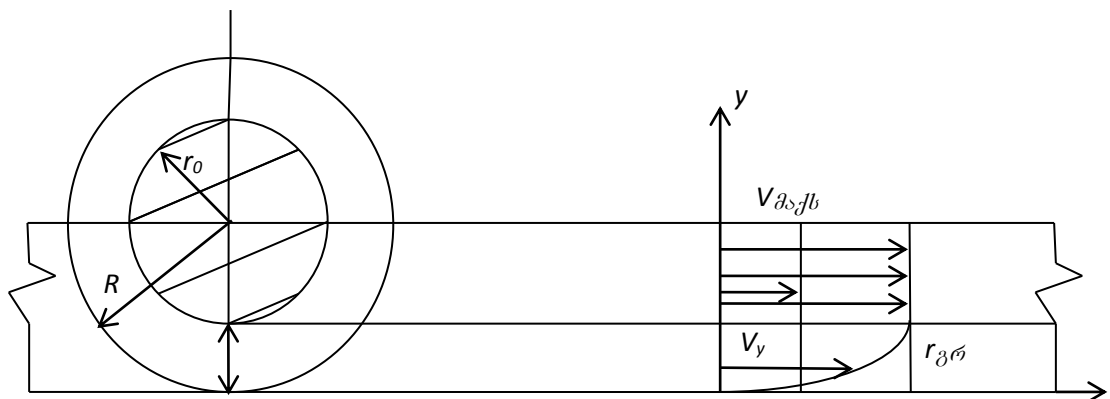
ნიადაგ-გრუნტი, რომელიც სხვადასხვა რივის მიკრო და მაკრო ზომის ნაწილაკებით არის წარმოდგენილი თანამედროვე შეხედულებით დისპერსიულ-ჰიდრაულიკურ ფორიან სისტემას წარმოადგენს და იგი მარცვლოვან ფორიან სისტემას განეკუთვნება. მის მყარ ნაწილაკებს შორის წყლის განსხვავებული კატეგორიების მოხვედრა და ფორმირება სხვადასხვა გზით ხდება. ვინაიდან, ნიადაგის ფორები მიკროკაპილარული ზომებით არის წარმოდგენილი, მის ტანში მიგრირებული წყალი სხვადასხვა თვისებებს იძენს და ამის გამო მისი შეფასება საერთო ფორიანობის მიხედვითაა შესაძლებელი.

წყალგამტარი ფორების ფორმის, ხვედრითი ზედაპირისა და სხვა მაჩვენებლების შეფასების სირთულე გარკვეულ გავლენას ახდენს ნიადაგ-გრუნტის ფილტრაციული მახასიათებლების დადგენაზე. მიუხედავად იმისა, რომ საერთოდ ფორიანობა არ შეიძლება იყოს ნიადაგ-გრუნტში მიმდინარე მაკრო პროცესების განმსაზღვრელი პოსტულატი, ფილტრაციის ხარისხობრივი მხარის შეფასებისას ყურადღება ფორების ზომას, ფორმას, ურთიერთკავშირს, დანაწევრების ხასიათს, ჩაკეტილობას და სხვა მახასიათებლებს უნდა დაეთმოს. გამომდინარე აქედან, ნიადაგ-გრუნტის მრავალმხრივი კვლევების საფუძველზე შემოტანილი იქნა ფორიანობის შეფასების

დიფერენცირებული, კაპილარული და სხვა სახის ცნებები. რაც შეეხება ფორიანობას, იგი ნიადაგ-გრუნტის ტანში წყლის ამა თუ იმ კატეგორიის ფორმირების განმსაზღვრელია [49, 50, 51, 52, 53, 54].

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 [55].



ნახ. № 2.2.1. მილსადენში წყლის მოძრაობის
საანგარიშო სქემა.

აფსკის კონსტრუქცია მილსადენის შიდა ზედაპირზე მას ანიჭებს კვაზი მყარი სხეულის თვისებებს, რომლის მოძრაობაში მოყვანა შესაბამისი საგრადიენტო r_{gp} 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.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ r_0 არის R რადიუსიანი მილსადენის ბმული წყლით შევსების განივი კვეთის რადიუსი, ბმული წყლის თვისებებიდან გამომდინარე, როცა $r_0=R$ წყლის მოძრაობას მილსადენში ადგილი არ აქვს და იგი მყარად არის მიმაგრებული მილსადენის პერიმეტრზე. მილსადენში წყლის ასეთი განივი კვეთით არსებობა შეიძლება ჩაითვალოს პასიურ სიცარიელედ, რომელიც ფილტრაციის პროცესში არ მონაწილეობს, ხოლო როდესაც $r_0=0$, მაშინ ნაკადის კვეთში მთლიანი საგრადიენტო შრით მოძრაობას ექნება ადგილი. ე. ი. მილსადენის ცოცხალი კვეთი შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ორი ზონით: აქტიური სიცოცხლის ზონა, რომელშიც ნაკადის საგრადიენტო შრის გაგრძელებას აქვს ადგილი და მეორე ზონა (ნაკადის გული), რომელზედაც ხდება საგრადიენტო შრის მიერთება.

გამომდინარე აქედან, აქტიური სიბრტყითი ფორიანობა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ფორმულით:

$$n_{აქტ} = \frac{\pi R^2 - \pi(R - r_{გრ})^2}{\pi R^2} = 2 \left(\frac{r_{გრ}}{R} \right) - \left(\frac{r_{გრ}}{R} \right)^2. \quad (2.2.1.)$$

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

$$\left(\frac{r_{გრ}}{R} \right) = 1 - \sqrt{1 - n_{აქტ}}. \quad (2.2.2.)$$

(2.2.2.) ფორმულის ანალიზი გვიჩვენებს: როცა $n_{აქტ} = 0, r_{გრ}/R = 0$ ხოლო, როცა $n_{აქტ} = 1, r_{გრ}/R = 1$, საანგარიშო სქემის მიხედვით, $r_{გრ} = R - r_0$ და შესაბამისად, (3.2.2.) დამოკიდებულებას ექნება სახე:

$$\left(\frac{r_0}{R} \right) = \sqrt{1 - n_{აქტ}}. \quad (2.2.3.)$$

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

$$n = n_{\text{პას}} + n_{\text{აქტ}} \quad (2.2.4.)$$

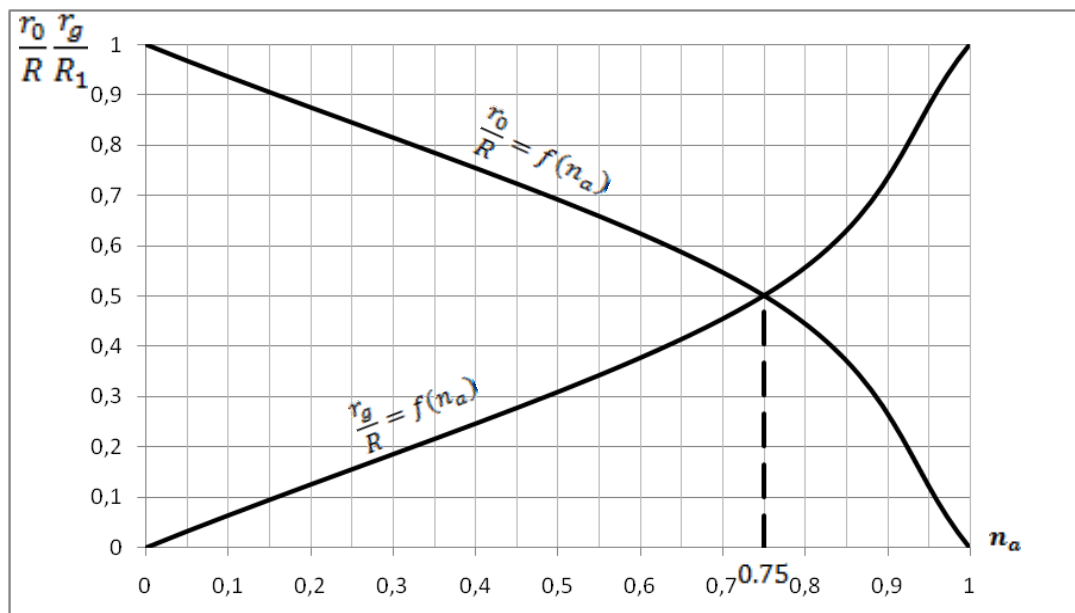
(2.2.4.)-ის გათვალისწინებით (2.2.2.)-ში მივიღებთ

$$\left(\frac{r_{\text{გრ}}}{R}\right) = \sqrt{1 - \frac{n_{\text{პას}}}{R}}. \quad (2.2.5.)$$

რადგან პასიური სიცარიელის ფართობი πr_0^2 -ის ტოლია, სრული სიცარიელის ფართობი πR^2 , მაშინ პასიური ფორიანობის სიდიდე იქნება $n_{\text{პას}} = \left(\frac{r_0}{R}\right)^2$. შესაბამისად, (2.2.5.) დამოკიდებულება მიიღებს სახეს:

$$\left(\frac{r_{\text{გრ}}}{R}\right) = 1 - \sqrt{1 - n + \left(\frac{r_0}{R}\right)^2}. \quad (2.2.6.)$$

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 (2.2.2.) და (2.2.3.) განტოლებების გატოლების საფუძველზე.



ნახ. № 2.2.2. $\frac{r_0}{R} = f(n_{\text{აქტ}})$ და $\frac{r_{\text{გრ}}}{R} = f(n_{\text{აქტ}})$

დამოკიდებულების გრაფიკი.

გრაფიკული მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში ვაგებთ $\frac{r_0}{R} = f(n_{\text{აქტ}})$ და $\frac{r_{\text{გრ}}}{R} = f(n_{\text{აქტ}})$ დამოკიდებულების გრაფიკებს (ნახ. № 2.2.2.).

თუ აქტიური ფორიანობის მნიშვნელობას $n_{\text{აქტ}} = 0.75$ შევიტანთ მე-(2.2.3) დამოკიდებულებაში მივიღებთ, რომ $\frac{r_0}{R} = 0.5$, ანუ, პასიური სიცარიელის რადიუსის ფარდობა სრული სიცარიელის რადიუსთან 0.5-ის ტოლია.

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

$$\omega = X\omega_{\text{მილ}} \quad (2.2.7.)$$

(2.2.7.) დამოკიდებულების მიხედვით ცალკეული მილის ცოცხალი კვეთის ფართობია:

$$\omega_{\text{მილ}} = \frac{\omega}{X}. \quad (2.2.8.)$$

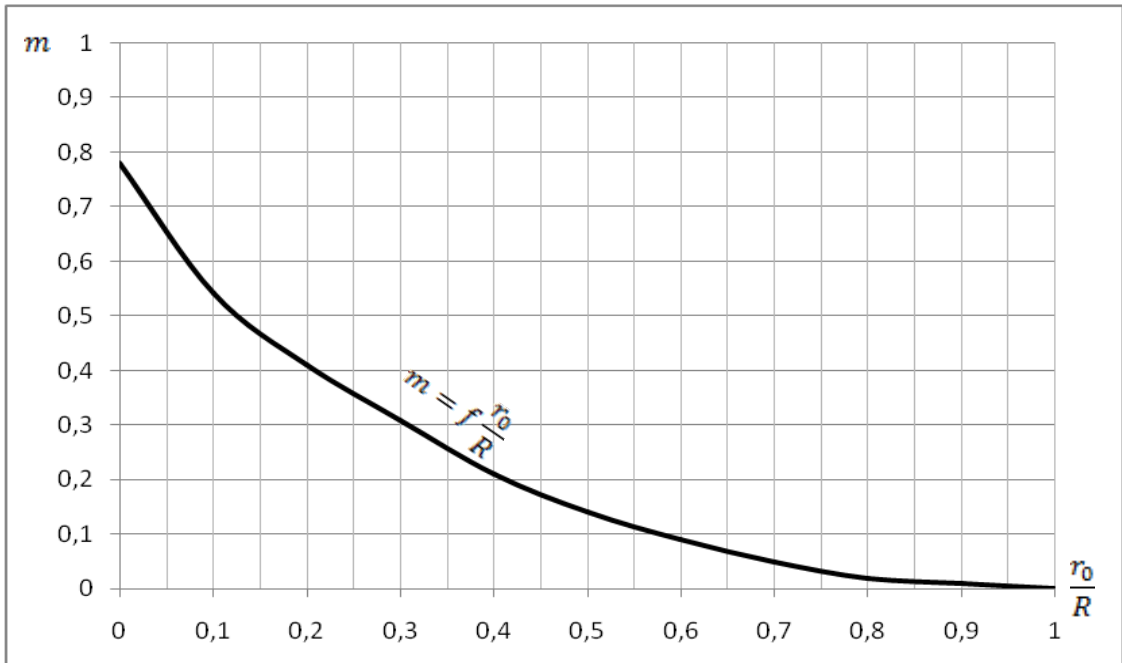
საშუალო სიჩქარის მიხედვით, ნაკადის ხარჯი ცალკეული მილისათვის შეიძლება გაანგარიშებული იყოს ფორმულით:

$$Q_{\text{მილ}} = \frac{\gamma i R^2}{2\mu} \left(1 - \frac{r_0}{R}\right)^2 \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{3} \frac{r_0}{R}\right) \frac{\omega}{X}. \quad (2.2.9.)$$

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:

$$Q_{\text{მილ}} = \frac{\gamma i R^2}{2\mu} \frac{\omega}{X} m. \quad (2.2.10.)$$

საანგარიშო დამოკიდებულებაში (2.2.10.) m -ის განსაზღვრის მიზნით ვაგებთ გრაფიკულ დამოკიდებულებას $m = f\left(\frac{r_0}{R}\right)$ (ნახ. № 2.2.3).



ნახ № 2.2.3. $m = f\left(\frac{r_0}{R}\right)$ გრაფიკული დამოკიდებულება.

დამოკიდებულებაში (2.2.10.), რადგან $\frac{\gamma i R^2}{2\mu}$ მილში წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარეს წარმოადგენს:

$$\frac{Q_{\text{მილ}}}{V_{\text{მილ}}} = \frac{\omega}{X} m. \quad (2.2.11.)$$

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

რადგან, ω ფართობი წყლის გასატარებელი მოედნის ფართობია:

$$\omega_{\text{მილ}} X = m \frac{Q}{V_{\text{საშ}}}. \quad (2.2.12.)$$

დამოკიდებულებაში (2.2.12.) წყლის ხარჯის სიდიდე ფილტრაციის ხარჯის ტოლია და შესაბამისად:

$$\omega_{\text{მილ}} X = m \frac{\omega V_{\text{ფ}}}{V_{\text{საშ}}}. \quad (2.2.13.)$$

რადგან $\omega_{თილ} X/\omega$ წარმოადგენს გასატარებელი წყლის ფართობის ფორიანობას (2.2.13.) დამოკიდებულებით, შეიძლება განისაზღვროს ნაკადის ფილტრაციის სიჩქარე:

$$V_g = \frac{n}{m}; \quad V_{საშ} = \frac{n}{m} \frac{Q_g}{\omega}. \quad (2.2.14.)$$

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

m -ის მნიშვნელობას თუ შევიტანთ (2.2.14.) დამოკიდებულებაში, გვექნება:

$$V_g = \frac{24}{5} n \frac{Q_g}{\omega}. \quad (2.2.15.)$$

(2.2.15.) დამოკიდებულების მიხედვით ფილტრაციის ხარჯები იქნება:

$$Q_g = \frac{5}{24} \frac{\omega}{n} V_g. \quad (2.2.16.)$$

არასწორხაზოვანი ფილტრაციის შემთხვევაში:

$$Q_g = V_g \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \omega. \quad (2.2.17.)$$

თუ (2.2.17.)-ს გავუტოლებთ (2.2.16.)-ს, გვექნება:

$$\frac{I_0}{I} = 1 - \frac{5}{24n}. \quad (2.2.18.)$$

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

$$Q = \frac{\alpha \omega m}{t}. \quad (2.2.19.)$$

(2.2.19.) დამოკიდებულების მიხედვით განისაზღვრება:

$$\begin{aligned} m &= \frac{Qt}{\alpha \omega} = \frac{V_g \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \omega t}{\alpha \omega} = V_g \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \frac{t}{\alpha} \\ &= KI \left(1 - \frac{I_0}{I}\right) \frac{t}{\alpha} = KI \frac{5}{24n} \frac{t}{\alpha} = \frac{5}{24} \frac{KI}{n} \frac{t}{\alpha}, \end{aligned} \quad (2.2.20.)$$

სადაც: K არის ფილტრაციის კოეფიციენტი;

- n – ფორიანობა;
- I – დაწნევის გრადიენტი;
- t – მორწყვის ხანგრძლივობა;
- α – კულტურის მიერ დაკავებული ფართობი.

მორწყვის ნორმა ნიადაგის გარკვეულ A წყალტევადობიდან, მაქსიმალური (β_{max}), მინიმალური (β_0) ტენტევადობასთან და მცენარის განვითარების აქტიურ H ფენის სიღრმესთან კავშირში გამოისახება ფორმულით:

$$m = AH(\beta_{max} - \beta_0) \quad (2.2.21.)$$

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება განისაზღვროს აქტიური ფენის სიღრმე:

$$H = \frac{5}{24} \frac{KI}{n} \frac{t}{\alpha A(\beta_{max} - \beta_0)} \quad (2.2.22.)$$

შემოთავაზებული 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 (2.2.22.) 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.

2.3. ნიადაგ-გრუნტის ფოროვან სისტემაში წყლის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრა

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 [56]. 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 [57]:

$$V = \frac{\partial}{\mu} n^* \frac{8R^2}{A} \left(1 - \frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}}\right), \quad (2.3.1)$$

- სადაც: ∂ არის წყლის მოცულობითი წონა (კგ/მ³);
 μ – სიბლანტის დინამიური კოეფიციენტი $\left(\frac{kg / seq.}{m^2}\right)$;
 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 რეინოლდის რიცხვის ფუნქციას წარმოადგენს $A = \lambda Re r^{2n}$.

ზემოთ მოყვანილ (2.3.1) საანგარიშო დამოკიდებულებაში თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას $K_0 = 8R_2 \frac{n^x}{A} (1 - \mathfrak{S}_0 / \mathfrak{S})$, 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:

$$\omega_0 = K_0 = 8R^2 \frac{\eta^*}{A} \left(1 - \frac{\mathfrak{S}_0}{\mathfrak{S}}\right). \quad (2.3.2)$$

ე.ი.

$$\pi = 8 \frac{\eta^*}{A} \left(1 - \frac{\mathfrak{S}_0}{\mathfrak{S}}\right). \quad (2.3.3)$$

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, (2.3.3) დამოკიდებულების გარდაქმნებითა და გამარტივებით მივიღებთ:

$$\frac{\mathfrak{S}_0}{\mathfrak{S}} = 1 - \frac{0,392\lambda \operatorname{Re} r^{2-n}}{n^*}. \quad (2.3.4)$$

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

$$\frac{\mathfrak{S}_0}{\mathfrak{S}} = 1 - \frac{0,0099 \operatorname{Re} r}{n^*}. \quad (2.3.5)$$

როცა $n=2$ -ს, გვექნება:

$$\frac{\mathfrak{S}_0}{\mathfrak{S}} = 1 - \frac{0,059}{n^*}. \quad (2.3.6)$$

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 [58, 59, 60]. ასეთ პირობებში სითხე ავლენს სრულ ანომალიას ფიზიკური კონსტანტების მიმართ. ფოროვანი სისტემის მილსადენთა წყალგამტარიანობიდან გამომდინარე შეგვიძლია დავწეროთ:

$$r_0 = R \left(1 - \sqrt{\frac{2,55(1 - \mathfrak{F}_0 / \mathfrak{F})}{\lambda R}} \right). \quad (2.3.7)$$

$$\text{როცა } n=1 \quad r = R [1 - 0,04(1 - \mathfrak{F}_0 / \mathfrak{F})]. \quad (2.3.8)$$

$$\text{როცა } n=2 \quad r = R \left[1 - \sqrt{\frac{2,55}{\lambda} \left(1 - \frac{\mathfrak{F}_0}{\mathfrak{F}} \right)} \right]. \quad (2.3.9)$$

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

$$K = K_0 \frac{\partial}{\mu}. \quad (2.3.10)$$

(2.3.10) დამოკიდებულებიდან შეიძლება განსაზღვრული იქნას მილსადენის რადიუსი ფილტრაციის კოეფიციენტთან კავშირში:

$$\text{როცა } n=1 \quad R = \sqrt{8 \frac{\mu}{\partial} \frac{K}{(1 - \mathfrak{F}_0 / \mathfrak{F}) n^*}}. \quad (2.3.11)$$

$$\text{როცა } n=2 \quad R = \sqrt{\lambda \frac{\mu}{K} \frac{K}{8(1 - \mathfrak{F}_0 / \mathfrak{F}) n^*}}. \quad (2.3.12)$$

აგრეთვე მილსადენის რადიუსი შეიძლება განსაზღვრული იქნას წყალუონვილობის კოეფიციენტთან კავშირში.

$$\text{როცა } n=1 \quad R = \sqrt{\frac{8K_0}{(1-\mathfrak{I}_0/\mathfrak{I})n^*}} . \quad (2.3.13)$$

$$\text{როცა } n=2 \quad R = \sqrt{\lambda \frac{K_0}{(1-\mathfrak{I}_0/\mathfrak{I})n^*}} . \quad (2.3.14)$$

მიღებული მილსადენების რადიუსის საანგარიშო დამოკიდებულების მიხედვით საწყისი ძერის წინააღმდეგობის შესაბამისი ექვივალენტური რადიუსი შეიძლება განსაზღვრული იქნას შემდეგი დამოკიდებულებებით.

როცა ცნობილია ფილტრაციის კოეფიციენტი:

$$\text{როცა } n=1 \quad r_0 = \sqrt{\frac{\mu}{\partial} \frac{K}{(1-\mathfrak{I}_0/\mathfrak{I})n^*}} \left[1 - 0,004 \left(1 - \frac{\mathfrak{I}_0}{\mathfrak{I}} \right) \right] . \quad (2.3.15)$$

$$\text{როცა } n=2 \quad r_0 = \sqrt{\lambda \frac{\mu}{\partial} \frac{K}{(1-\mathfrak{I}_0/\mathfrak{I})n^*}} \left[1 - \sqrt{\frac{2,55}{\lambda} \left(1 - \frac{\mathfrak{I}_0}{\mathfrak{I}} \right)} \right] . \quad (2.3.16)$$

წყალუნვალობის კოეფიციენტთან კავშირში:

$$\text{როცა } n=1 \quad r_0 = \sqrt{\frac{8K_0}{(1-\mathfrak{I}_0/\mathfrak{I})n^*}} \left[1 - 0,04 \left(1 - \frac{\mathfrak{I}_0}{\mathfrak{I}} \right) \right] . \quad (2.3.17)$$

$$\text{როცა } n=2 \quad r_0 = \sqrt{\lambda \frac{K_0}{(1-\mathfrak{I}_0/\mathfrak{I})n^*}} \left[1 - \sqrt{\frac{2,55}{\lambda} \left(1 - \frac{\mathfrak{I}_0}{\mathfrak{I}} \right)} \right] . \quad (2.3.18)$$

მილსადენში წყლის მოძრაობის საშუალო სიჩქარის დამოკიდებულებას აქვს სახე:

$$V = \frac{\partial \mathfrak{I} R^2}{8\mu} = \frac{K \mathfrak{I}}{(1-\mathfrak{I}_0/\mathfrak{I})n^*} . \quad (2.3.19)$$

რადგან მილსადენში წყლის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე
 $V = C\sqrt{R\mathfrak{Z}}$ (2.3.16.) დამოკიდებულება როცა $n=1$ მიიღებს სახეს:

$$C^* = \sqrt[4]{\frac{\partial}{8\mu n^*} \left(\frac{K}{1 - \frac{\mathfrak{Z}_0}{\mathfrak{Z}}} \right)^3} \mathfrak{Z}^0 . \quad (2.3.20)$$

ხოლო როცა $n=2$

$$C = \frac{C^* \lambda \sqrt{\lambda}}{8} . \quad (2.3.21)$$

(2.3.20) და (2.3.21) 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.

2.4. ნიადაგის ტენის რეგულირება სარწყავ მიწათმოქმედებაში

ნიადაგის აქტიურ ფენაში წყლის მოძრაობასთან დაკავშირებით ფილტრაციულ კაპილარული ანომალიების წარმოშობა ხშირად ნიადაგის ჰიდროფიზიკური თვისებების ცვალებადობის მიზეზი ხდება და ჰიდროგეოლოგიის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენს.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ზედაპირული მოვლენების გათვალისწინება პროცესის არსში შესაძლებლობას მოგვცემს ნიადაგის აქტიურ ფენაში ტენიანობის დინამიკის შესწავლასთან ერთად მოხდეს მიკრობიოფიზიკური პროცესების პროგნოზირება. ეს საკითხი კიდევ უფრო დიდ ინტერესს იწვევს მრავალკომპონენტური ფოროვან-კაპილარულ თიხა-გრუნტებში, რომლებიც განასაკუთრებული ჰიდროფიზიკური პროცესებით და ანომალიების ფართო სპექტრით არის წარმოდგენილი. აქედან გამომდინარე, ჰიდროგეოლოგიური საანგარიშო პარამეტრების, კერძოდ, ნიადაგ-გრუნტების ფორებში წყლის მიგრაცია,

მოძრაობის კანონზომიერება და ტენის რეგულირება მოითხოვს როგორც მთელი რიგი ჰიდროფიზიკური თვისებების ცვალებადობის კანონზომიერების ცოდნას, ასევე რეოლოგიური ინდექსის განსაზღვრას.

როგორც არსებული კვლევები ადასტურებს, თიხა ნიადაგ-გრუნტებში ფილტარაციული პროცესის კანონზომიერება ვერ თავსდება ნიუტონისებური სითხეებისათვის დამახასიათებელი კანონის ჩარჩოებში და თავისთავად მოვლენის ფიზიკური სურათის ასახვისათვის უფრო ზოგადი მოდელების გამოყენების, კერძოდ ფილტრაციის სინქარესა და ჰიდრაულიკურ ქანობს შორის დარსის ხაზოვანი კანონისაგან განსხვავებული მოდელის გამოყენების აუცილებლობაზე მიუთითებს [61, 62, 63].

უნდა აღინიშნოს, რომ დღემდე არსებული ყველა ფილტრაციული ხარჯის საანგარიშო დამოკიდებულება, კერძოდ არსებში, კაშხლებიდან, ზღუდარებიდან, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობების ფუძეებიდან უპირატესად ფილტრაციის ხაზოვანი კანონს ემყარება. არსებული წარმოდგენებით ანომალური ფილტრაცია ემყარება პოსტულატს, რომლის მიხედვით სითხეს თავისუფალ მოცულობაში გააჩნია წინააღმდეგობა ძვრის დეფორმაციის მიმართ საწყისი გრადიენტის სახით.

ნაკადის მოძრაობის მიმართულების მართობ სიბრთყეში მხები ძაბვების განაწილების ხაზოვანი კანონიდან, r რადიუსიანი “თხევადი მორის” გვერდით ზედაპირზე მოქმედი წინააღმდეგობის (ხახუნის) ძალის და ტიხარებზე მოქმედი წნევის ძალების წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე საწყისი ძვრის წინააღმდეგობის ძაბვა შეიძლება განისაზღვროს ΔOA_1B_1 და ΔOAB -ს სამკუთხედების მსგავსობის საფუძველზე [64]:

$$\tau_0 = \gamma ir. \tag{2.4.1}$$

კაპილარში სითხის მოძრაობასთან ხარისხობრივი მოდელის გამოყენებით, გვექნება:

$$\tau = \tau_0 + K \left(\frac{du}{dy} \right)^n. \tag{2.4.2}$$

მხები ძაბვის ვერტიკალზე განაწილების შესაბამისად, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\gamma(R - y - r) = K \left(\frac{du}{dy} \right)^n. \quad (2.4.3)$$

(2.4.3) განტოლების ინტეგრებით კაპილარში სიჩქარის ვერტიკალზე განაწილებას ექნება შემდეგი სახე:

$$V_y = \left(\frac{\gamma i}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{n+2} \left[(R-r)^{\frac{n+1}{n}} - (R-r-y)^{\frac{n+1}{n}} \right]. \quad (2.4.4)$$

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

$$V_{max} = \left(\frac{\gamma i}{K} \right)^{\frac{1}{n}} (R-r)^{\frac{n+1}{n}}. \quad (2.4.5)$$

ადგილობრივი სიჩქარის მაქსიმალურთან ფარდობა იქნება:

$$\frac{V_y}{V_{max}} = 1 - \left(1 - \frac{y}{R-r} \right)^{\frac{n+1}{n}}. \quad (2.4.6)$$

საშუალო სიჩქარე კაპილარულ მილში უწყვეტობის პირობიდან განისაზღვრება და შემდეგი სახე აქვს:

$$V_{avg} = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\gamma i}{K} \right)^{\frac{1}{n}} (R-r)^{\frac{n+1}{n}} \left(1 - \frac{n}{2n+1} \frac{R-r}{R} \right), \quad (2.4.7)$$

სადაც: n არის მოძრაობის ინდექსის მაჩვენებელი;

γ – წყლის მოცულობითი წონა;

K – კონსისტენციის კოეფიციენტი;

R – კაპილარის მილის რადიუსი;

r – სველი “მორის” რადიუსი.

(2.4.7) დამოკიდებულება შინაარსობრივ განსხვავებულია ყველა სხვა ანალოგიური და კერძოდ თიხის სუსპენზიებისთვის მიღებული დამოკიდებულებებისაგან [65]. როგორც (2.4.7) დამოკიდებულების ანალიზი გვიჩვენებს, აქ ერთ-ერთ სირთულეს მოძრაობის ინდექსის მაჩვენებლის განსაზღვრის საკითხი წარმოადგენს, და იგი სპეციალური კვლევების ჩატარებას საჭიროებს.

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

$$Y = \alpha V_y^2 \quad (2.4.8)$$

სიჩქარის ეპიურის ფართობი შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$S = V_{max} \left(1 - \frac{R-r}{3R}\right). \quad (2.4.9)$$

(2.4.9) და (2.4.7) 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 შევლოგ-ბინგამის ბლანტ-პლასტიკურ მოდელში გარდასახვა. n -ის მნიშვნელობის გათვალისწინებით საშუალო და მაქსიმალური სიჩქარეების ფორმულებში ფარდობა V_{avg}/V_{max} ტოლი იქნება:

$$\frac{V_{avg}}{V_{max}} = 1 - 0.33 \frac{R-r}{R}. \quad (2.4.10)$$

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

$$V_{avg} = \frac{1}{2} \frac{\gamma i}{\mu} R^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right). \quad (2.4.11)$$

$$V_{max} = \frac{1}{2} \frac{\gamma i}{\mu} (R-r)^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^2. \quad (2.4.12)$$

ცილინდრული ნიმუშის ღერძის ორთოგონალურ სიბრტყეში განლაგებული x რაოდენობის წყალგამტარი მილების შემთხვევაში მთლიანი ხარჯი იქნება:

$$Q = V_{avg} \pi (R-r)^2 x. \quad (2.4.13)$$

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

$$Q = \frac{\pi \gamma i}{2\mu} R^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right). \quad (2.4.14)$$

როცა კაპილარულ მილში სიჩქარე ფილტრაციული სიჩქარის ტოლია ე.ი.:

$$V_F = \frac{\gamma i R^2}{2\mu} = KI. \quad (2.4.15)$$

x მილსადენის შემთხვევაში:

$$Q = V_F \pi R^2 x \left(1 - \frac{r}{R}\right)^4 \left[1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right]. \quad (2.4.16)$$

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

$$V_F = K(I - I_0), \quad (2.4.17)$$

მაშინ ხარჯი ტოლი იქნება:

$$Q = K(I - I_0)\omega. \quad (2.4.18)$$

როცა წყლის სიჩქარე ფილტრაციის სიჩქარის ტოლია ფილტრაციის კოეფიციენტის საანგარიშო დამოკიდებულება მიიღებს სახეს:

$$K = \frac{\gamma R^2}{2\mu} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^4 \left(1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right). \quad (2.4.19)$$

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

$$K = 0.08 \frac{\rho g r^2}{\mu}. \quad (2.4.20)$$

როცა $r = R$, მაშინ $K = 0$.

რადგან x -ს მილსადენისთვის ხარჯს აქვს სახე:

$$Q = V_F \pi R^2 x \left(1 - \frac{r}{R}\right) \left(1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right). \quad (2.4.21)$$

სთუ (2.4.18) დამოკიდებულებას გავუტოლებთ (2.4.21)-ს ფარდობა საწყის გრადიენტსა და სიჩქარის გრადიენტს შორის ტოლი იქნება:

$$\frac{I_0}{I} = 1 - n \left(1 - \frac{r}{R}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{3} \frac{R-r}{R}\right). \quad (2.4.22)$$

მიღებული (2.4.22) საანგარიშო დამოკიდებულებიდან ნათლად ჩანს, რომ საწყისი გრადიენტის ფარდობა სრულ გრადიენტთან ფორიანობის ფუნქციას წარმოადგენს და მისი გაზრდით ფარდობა მცირდება.

თავი III

რესურსდაზიანების ტექნოლოგიების რწმუნის რეჟიმზე გავლენის საველე-ექსპერიმენტული კვლევა

3.1. საველე კვლევების ჩატარების მეთოდოლოგია

მცენარის ზრდა განვითარების პროცესში უამრავი შიდა და გარე ფაქტორთა შორის წყალს როგორც ერთ-ერთ აუცილებელ კომპონენტს პრიორიტეტული მნიშვნელობა გააჩნია. აქედან გამომდინარე, რწმუნის რეჟიმის ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევას წყლის დეფიციტის პირობებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება [66, 67, 68, 69, 70, 71].

სადისერტაციო ნაშრომის მიზნებიდან გამომდინარე კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა საქართველოს ნახვრად არიდულ რეგიონში განლაგებული სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები.

საცდელ ნაკვეთზე გავრცელებულია მდელის ყავისფერი ნიადაგი, რომელიც ხასიათდება მძიმე თიხნარი მექანიკური შემადგენლობით და ფიზიკური თიხის მაღალი შემცველობით (70% მეტი) [72].

ჰაერის საშუალო მრავალწლიური ტემპერატურა პოლიგონის ტერიტორიაზე 11⁰ აღემატება. საველეტაციო პერიოდის ხანგრძლივობა 210 დღეს, აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი 3000⁰C–ს, რაც ბოსტნეული კულტურების სითბოთი უზრუნველყოფაზე მიგვითითებს [73].

დიღმის საცდელი მეურნეობის ტერიტორიაზე 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 მაღალიმიტირებელ ძირითად ფაქტორს მორწყვა წარმოადგენს.

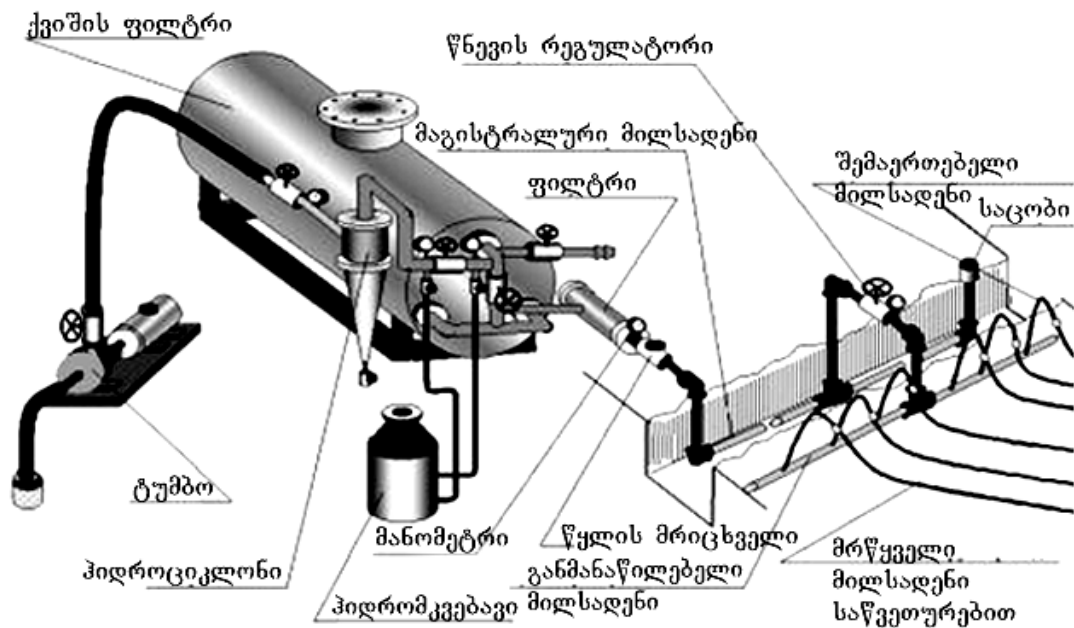
ვინაიდან, წვეთური მორწყვა რწმუნის ერთ-ერთი პროგრესული ხერხია მშრალ კლიმატურ ზონაში ბაღების, ვენახების, ბოსტნეულისა

და ფართო რიგთაშორისი მინდვრის კულტურების მოსარწყავად, ამიტომ, როგორც რესურსდამზოვი ტექნოლოგია, ჩვენს მიერ გამოყენებულ იქნა შავი პოლიეთილენის აფსკით მულჩირების მეთოდი წვეთურ მორწყვასთან ერთად რომელთა კომპლექსურად მოქმედების შემთხვევაში შესაძლებელია ნიადაგის წყლის და ტემპერატურის რეჟიმების საიმედო რეგულირება [74].

ზოგადად, წვეთურ სარწყავ სისტემაში, სარწყავ მილსადენებს შორის მანძილი დამოკიდებულია მცენარეთა რიგებს შორის მანძილზე. ხოლო მილსადენების რიგებში 40-50 მ-დან 200 მეტრამდე შეიძლება მერყეობდეს. სარწყავი მილსადენების დიამეტრი 6-20 მმ-ს შეადგენს, ხოლო მწვეთების განლაგების სიხშირე ნიადაგის სახეზეა დამოკიდებული მაგალითად თიხნარებში იგი 2,0 – 2,5 მ-ს შეადგენს, ხოლო ქვიშნარებში 1,2-1,5 მ-ს მწვეთარის ხარჯის ცვლილების დიაპაზონით 0,9–7,6 /ს-თ საზღვრებშია მოთავსებული. ასეთი ხერხით რწყვა სავეგეტაციო პერიოდში განუწყვეტლივ მიმდინარეობს, ხოლო სისტემის პროფილაქტიკისათვის შესვენებები შეიძლება განხორციელდეს 100-200 საათი მუშაობის გასვლის შემდეგ.

ქვიშნარ ნიადაგებში უფრო ეფექტურია რწყვის წარმოება ყოველდღიურად ან დღეგამოშვებით, ხოლო თიხა ნიადაგებში – კვირაში ორჯერ. უმეტეს შემთხვევაში მიზანშეწონილია ყოველდღიურად ერთხელ მორწყვა. განუწყვეტელი რწყვის აუცილებლობა იშვიათია-მხოლოდ გამომშრალი ნიადაგის გასატენიანებლად ზღვრულ ტენტევალობამდე. წყლის მიწოდება მცენარეზე ზუსტად უნდა ეთანაბრებოდეს მის მიერ ყოველდღიურ წყალმოთხოვნილებას [75, 76].

რწყვის ნორმა და ხანგრძლივობა, ჩვეულებრივ, განისაზღვრება წინა დღის ან წინა ხუთდღიურის (კვირის) აორთქლების მიხედვით. მისაწოდებელი წყლის რაოდენობა შეადგენს ევაპორტრანსპირაციის (შესაძლებელი მაქსიმალური ჯამური აორთქლების) 60-70%-ს, ვინაიდან ნიადაგიდან აორთქლება თითქმის გამორიცხულია და წყალი ძირითადად ტრანსპირაციაზე იხარჯება.



ნახ. 3.1.1. წვეთური მორწყვის სისტემის სქემა.

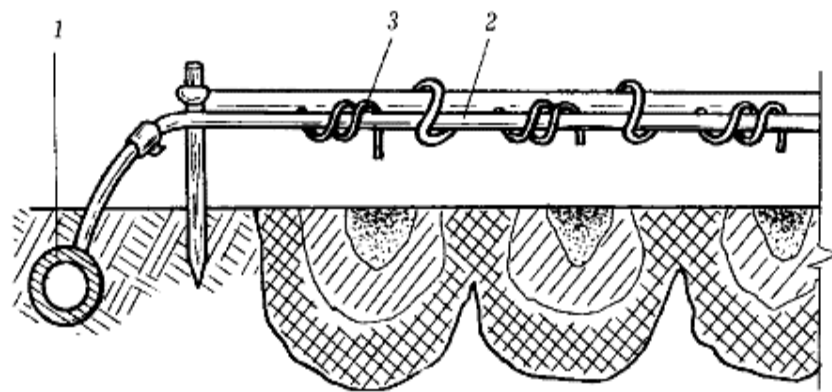
წვეთური მორწყვის სისტემა ზოგადად შედგება შემდეგი ძირითადი ელემენტებისაგან (ნახ. 3.1.1): წყალმიღები და დაწნევის შემქმნელი კვანძები, ფილტრი, მართვის პულტი, მაგისტრალური განმანაწილებელი და სარწყავი მილსადენები, მწვეთარები, რწყვის მოთხოვნილების გადამწოდი, სამართავი არმატურა, მართვის პულტსა და სამართავ არმატურას შორის კავშირის არხები.

სისტემაში წყლის მიწოდება და საჭირო დაწნევის შექმნისათვის უფრო ხშირად გამოიყენება მცირე სიმძლავრის ცენტრიდანული ტუმბოები. საჭირო დაწნევის შემთხვევაში იცვლება 7-28 მ-ის ფარგლებში. სისტემა კარგად მუშაობს დაბალი დაწნევის პირობებში. ამ შემთხვევაში შეიძლება გამოიყენება უფრო იაფი მილებისა და დიდ დიამეტრიანი მწვეთარების, რომლებიც ნაკლებად ნაგვიანდება, მაგრამ, მეორე მხრივ, დაბალი დაწნევის დროს მისმა მცირეოდენმა ცვლილებამ შეიძლება გამოიწვიოს მწვეთარას ხარჯის მკვეთრი ცვლილება და აქედან გამომდინარე, რწყვის ტექნიკის ელემენტების შეუსაბამობა.

წვეთური რწყვის ტექნიკის ელემენტებს მიეკუთვნება: გატენიანების კერა, გატენიანებული ლაქა მიწის ზედაპირზე, გატენიანების კონტური, მწვეთარას ხარჯი, გატენიანების კერაში

წყლის მიწოდების წერტილების განლაგების სქემა და რაოდენობა, მწვეთარების მიერ სარწყავი წყლის განაწილების სითანაბრე, მწვეთარების განლაგება სარწყავ ფართობზე, გატენიანების ფართობი და სხვ.

გატენიანების კერა განისაზღვრება გატენიანებული ლაქის სიდიდით მიწის ზედაპირზე და გატენიანების კონტურის სიღრმით. გატენიანების კერის ფორმა და ზომები დამოკიდებულია ნიადაგის ჰიდროფიზიკურ თვისებებზე, რწყვის წინა ტენიანობაზე, მიწოდებული წყლის ხარჯზე, რწყვის ხანგრძლივობაზე, აორთქლების ინტენსივობაზე, წყლის მიწოდების წერტილების განლაგებაზე გატენიანების კერაში. გატენიანების დამახასიათებელი კონტურები ნაჩვენებია ნახაზზე 3.1.2.



ნიადაგის გატენიანების პირობითი ნიშნები



ნახაზი 3.1.2. წვეთური მორწყვის სისტემის სქემა.

1. განმანაწილებელი მილსადენი;
2. სარწყავი მილსადენი;
3. საწვეთურები

წვეთური მორწყვის დადებით მხარეს წარმოადგენს:

- წყლით მცენარის განუწყვეტელი მომარაგების შესაძლებლობა მოთხოვნილებების შესაბამისად, მნიშვნელოვანი გადახრების გარეშე, რაც უზრუნველყოფს მცენარის ზრდა-

განვითარებისათვის საუკეთესო წყლოვან, საჰაერო, კვებით და მიკრობიოლოგიური რეჟიმების შექმნას და მოსავლიანობის გადიდებას (20-60%-ით);

- სარწყავი წყლის მნიშვნელოვანი ეკონომია - საშუალოდ 50 % და წვიმებასთან შედარებით და 2-3-ჯერ ზედაპირულ მორწყვასთან შედარებით, დახარჯული წყლის ერთეულზე მეტად მაღალი მოსავლის მიღების შესაძლებლობა;
- ნიადაგის ლოკალური გატენიანება მხოლოდ ფესვთა სისტემის გავრცელების ზონაში, რაც აადვილებს მშრალად დარჩენილი მწკრივთაშორისების მექანიზებულ დამუშავებას და ამასთან ერთად ზღუდავს სარეველა მცენარეების გავრცელებას;
- არაა აუცილებელი ფართობის ზედაპირის მოშანდაკება და შესაძლებელია ციცაბო ფერდობების მორწყვა ისე, რომ ეროზიის საშიშროება არ იქმნება;
- რწყვის სრული ავტომატიზაციის შესაძლებლობა;
- მორწყვასთან ერთად სასუქებისა და პესტიციდების ლოკალურად შეტანა ნიადაგში (ფერტიგაცია) მცირე დოზებით, საჭირო ვადებში, განაპირობებს მათი კარგად შეთვისებას და ეკონომიას;
- ადვილია მოწყობილობის ექსპლუატაცია და რემონტი;
- არაა აუცილებელი დრენაჟი;
- არა აქვს ადგილი მცენარის მექანიკურ დაზიანებას.

წვეთური მორწყვის გამოყენება პირველ რიგში რეკომენდირებულია შემდეგ პირობებში:

- რთულ რელიეფიან რაიონებში (მთიან, მთისწინა);
- ძლიერგამტარ ნიადაგებში (მსუბუქი მექანიკური შედგენილობის, ქვიანი და ა.შ.);
- არიდულ და ნახევრად არიდულ ზონებში;
- წყლის მწვავე დეფიციტიან რაიონებში;
- მაღალშემოსავლიანი კულტურებისთვის - ხეხილის, ვენახის, კენკროვნების, ციტრუსების და ა.შ. ძირითადად მრავალწლიანი ნარგავებისათვის;

- მელიორაციის ხელსაყრელ მიწებზე, როდესაც დამლაშებას არა აქვს ადგილი და სარწყავი წყალი არაა მნიშვნელოვნად მინერალიზებული.

ჩვენს მიერ საველე კვებების ჩასატარებლად შერჩეული იქნა დიდმის ექსპერიმენტული პოლიგონი, რომელიც 0,06 ჰა ფართობზე იყო განლაგებული.

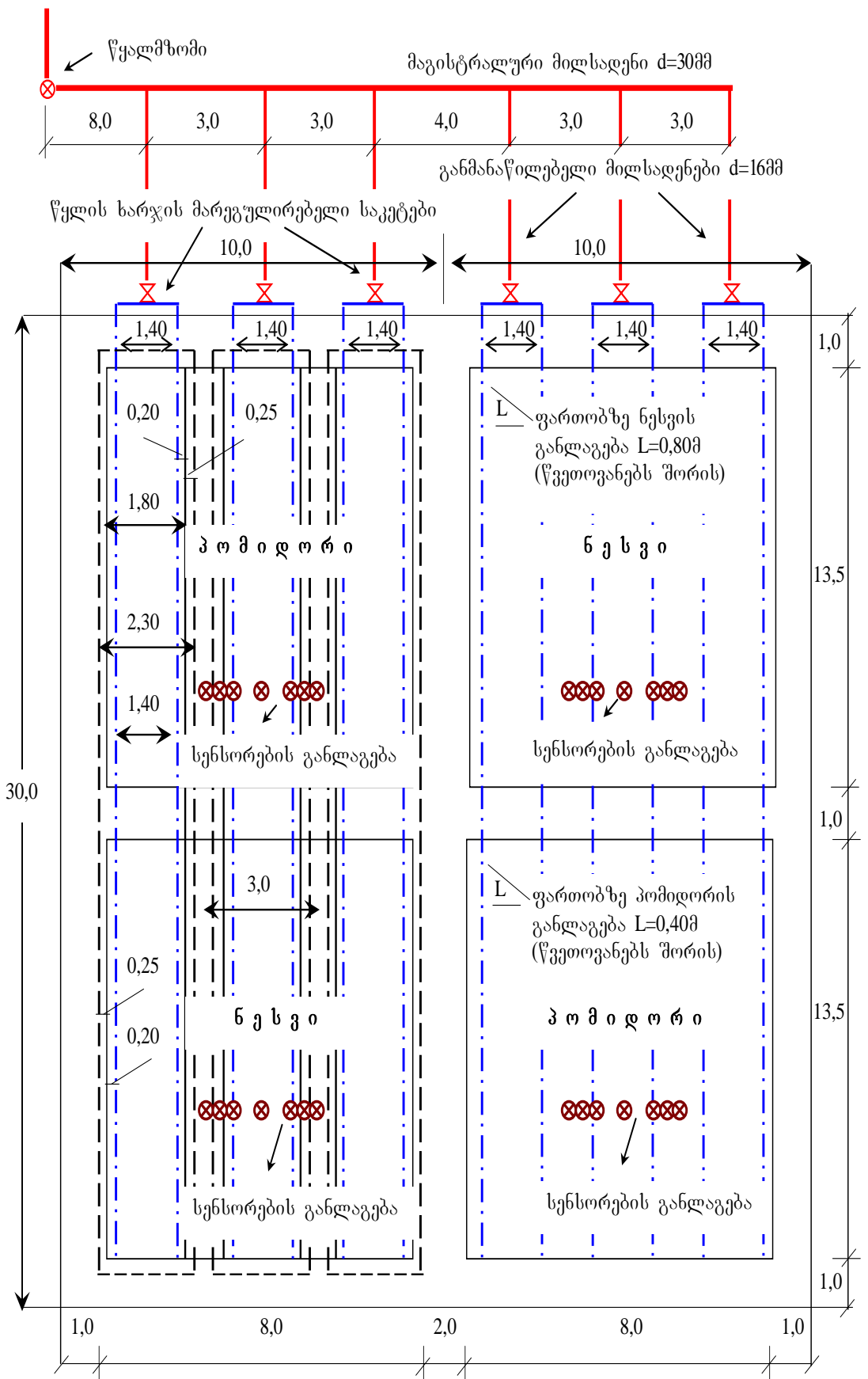
წვეთური მორწყვის სისტემა შედგებოდა მაგისტრალური, განმანაწილებლები და სარწყავი მილსადენებისგან. სარწყავი სისტემის კვების წყაროდ გამოყენებული იყო მილსადენში გამავალი ხარჯი.

სარწყავი ქსელის გეგმაში განლაგების მიზანით შერჩეული იქნა ნაკვეთის ადგილმდებარეობა და შესაბამისად ტოპოგრაფიულ გადაღების საფუძველზე დადგენილი იქნა ფართობის რელიეფური პირობები (ნახ. 3.1.3), შესაბამისად ქსელის განლაგების თვალსაზრისით შერჩეული იქნა საპროექტო კულტურები პამიდორისა და ნესვის სახით.

სარწყავი ქსელი წარმოდგენილი იყო ჩიხური სქემით (ნახ. 3.1.4.) ხოლო მაგისტრალური მილსადენი - პოლიეთილენის მილებით. იყო წარმოდგენილი.

სარწყავი წყლის ოპტიმალურად გამოყენების მიზნით ექსპერიმენტული პოლიგონის ფართობის გარკვეული ნაწილი დათმობილი იყო რესურსმზოგი ტექნოლოგიებით ნიადაგის პოლიეთილენის აფსკით დაფარვას, რომელთა ნაპირების ფიქსირება ძირითადად ნიადაგის მიყრით იყო გათვალისწინებული, ხოლო პერფორაცია მის ფართობზე განფენის შემდეგ არის გასათვალისწინებელი. მაგისტრალური მილსადენის სიგრძე, რომლის დიამეტრიც 50 მმ-შეადგენდა იყო 100 მ-ის ტოლი, ხოლო ქანობში $i = 0,0768$. მილსადენები საწვეთურებით, რომლის დიამეტრიც შეადგენდა 16 მმ-ს საცდელ პოლიგონზე 12 ზოლით იყო წარმოდგენილი $L=12.30=360$ მ-ს მილსადენის კედლის სისქე 0,6 მმ, ხოლო საწვეთურის ხარჯი $Q = 1,1$ ლ/სთ. საწვეთურის შორის მანძილი 0,4 მ-ს თითოეულ მილსადენზე განლაგებული იყო 75 საწვეთური.

წვეთური მორწყვის სისტემის განლაგება ექსპერიმენტულ პოლიგონზე



ნახაზი 3.14.

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 შავი პოიეთიენის აფსკით მულჩირებული იყო 0,03 ჰა ფართობი, აქედან პომიდორს ეკავა 0,015 და ნესვს 0,015 ჰა ფართობი. კულტურებით ასეთივე განლაგებას ადგილი ჰქონდა არამულჩირებულ ფართობზე.

კვლევების მიზნებისა და ამოცანების მიხედვით ნიადაგის ტენიანობის განსაზღვრა ხდება სახნავის ფენის სხვადასხვა შრეებზე ან ფესვთა სისტემის განვითარების მთელ სიღრმეზე მცენარეთა განვითარების ფაზების ან აგროტექნიკური ღონისძიებების განხორციელების ეტაპების მიხედვით.

არსებობს ნიადაგის ტენის განსზღვრის რამდენიმე მეთოდი, რომელთა შორის საკმაოდ მარტივი და ხელმისაწვდომი წონითი მეთოდია.

ამ შემთხვევაში ტენიანობის განსაზღვრავად ნიადაგის ნიმუშების აღება ველზე ხდება სპეციალური ნემსა ბურლით, რომლის მეშვეობით აღწევენ ნიადაგის შრის სასურველ სიღრმემდე. ჩაღმავების ღონის ფიქსაცია ხდება ბურლის გარე მხარეზე დატანილი ნიშნულებით. ამის შემდეგ ხდება ბურლის 1-2 ჯერ დატრიალება საათის ისრის მიმართულებით და მისი ამოღება ნიადაგიდან მასში მოთავსებული ნიადაგითურთ, რომელსაც ათავსებენ წინასწარ აწონილ ჭიქაში, ახურავენ თავსახურს და წონიან. თუ საველე პირობებში არ არის მისი აწონის საშუალება, მაშინ იგი სასწრაფოთ გადააქვთ ლაბორატორიაში და წონიან სასწორზე 0,01 გრ. სიზუსტით [77, 78].

ამის შემდეგ ჭიქას ხდიან ხუფს და ათავსებენ საშრობ კარადაში გამოსაშრობად. გამოშრობა ხორციელდება 105°C-ზე მუდმივ წონამდე.

ქვიშა ნიადაგების გამოშრობა შეიძლება განხორციელდეს 150-160°C-ზე. გამოშრობის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ნიადაგის ტენიანობასა და საშრობ კარადაში არსებულ ტემპერატურაზე.

ნიადაგის პირველი აწონვა ხორციელდება 6 საათიანი გამოშრობის შემდეგ. რისთვისაც ჭიქები ნიადაგით გამოაქვთ

საშრობი კარადიდან, ახურებენ სახურავს და ათავსებენ ექსიკატორში გასაცივებლად. როდესაც ჭიქები გაცივდება ოთახის ტემპერატურამდე ხდება მათი აწონვა.

შემდეგ საკონტროლო გაშრობის მიზნით ისევ ათავსებენ საშრობ კარადაში. 1-2 საათის მერე ხდება განმეორებითი აწონვა. პირველ და მეორე აწონვას შორის მასათა სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს 0,05 გრამს.

როდესაც დამყარდება მუდმივი წონა აწონვის პროცესი წყდება.

ნიადაგის წყლის რეჟიმი დიდად არის დამოკიდებული ნიადაგის წყლოვან თვისებებზე: წყალჟონვალობაზე, წყალტევადობაზე და წყალაწევაზე. ამ მახასიათებლების სიდიდე განისაზღვრება ნიადაგის მექანიკური და ქიმიური შედგენილობით, მისი სტრუქტურით და სიმკვრივით.

ნიადაგის წყლოვანი თვისებების შესწავლა. როგორც წესი, ხდება საველე პირობებში, თუმცა კვლევების ჩატარება შესაძლებელია ყრილ მიწაზე ლაბორატორიაში.

წყალჟონვალობის თვისება, ეს ნიადაგის ის თვისებაა, რომლის მეშვეობითაც იგი ჩაიჟონავს და გაატარებს წყალს. ეს პროცესი ორ ნაწილად იყოფა: შეჟონვის ფაზა და ფილტრაციის ფაზა.

პირველ ფაზაში ხდება ნიადაგის თავისუფალი ფორების მიმდევრობითი შევსება წყლით სიმძიმის ძალის, დაწნევის და მენისკური ძალების გავლენით რომელიც წარმოიქმნება დასველების ზღვარზე. ამ პროცესის სიჩქარე მკვეთრად იცვლება დროში.

მეორე ფაზაში დაწნევის გრადიენტის გავლენით ხდება წყლის მოძრაობა უკვე სრულად სავსე ფორებში. ეს პროცესი მცირედ იცვლება დროში.

წყალჟონვალობა განისაზღვრება ორი მახასიათებლით – წყლის რაოდენობა, რომელიც ჩაიჟონება ნიადაგის მოცემულ შრეში და დრო, რომელშიც წყალი გაედინება ნიადაგის გარკვეულ ჰორიზონტში.

როგორც ცნობილია, ნიადაგის წყლის რეჟიმის რეგულირებისთვის მნიშვნელოვან ნიადაგურ თვისებას წყალტევადობა

წარმოადგენს. ამ თვისების მეშვეობით მას შეუძლია დააკავოს წყლის გარკვეული რაოდენობა. განასხვავებენ რამდენიმე სახის წყალტევადობას: სრული წყალტევადობა – ნიადაგის ფორები სრულადაა შევსებული წყლით; კაპილარული წყალტევადობა – ნიადაგის ტენიანობის ის მდგომარეობაა, როდესაც წყლით არის გავსებული მხოლოდ მცირე ზომის ფორები (კაპილარები); ზღვრული საველე წყალტევადობა – არის წყლის ის მაქსიმალური რაოდენობა, რომლის შეკავების უნარი აქვს ნიადაგს ბუნებრივ პირობებში გრავიტაციული წყლის (თავისუფალი წყალი) მოცილების შემდეგ.

აღსანიშნავია, რომ საველე პირობებში, ხელსაწყოების არქონის დროს, ნიადაგის ტენიანობის განსაზღვრა შესაძლებელია ორგანოლექტიური მეთოდით. მაგრამ ეს მეთოდი გამოსადეგია მხოლოდ მაშინ, როდესაც საჭიროა ნიადაგის ტენიანობის ზოგადი მონაცემების განსაზღვრა, მაგალითად ნიადაგის დასამუშავებლად ოპტიმალური პირობების შერჩევის დროს და ა.შ.

ამ მეთოდის მიხედვით განისაზღვრება ნიადაგის ტენიანობის 5 სტადია:

- სველი ნიადაგი – ნიადაგიდან ხელში მოჭერის დროს ჟონავს წყალი;
- ნოტიო ნიადაგი – ნიადაგის ხელში მოჭერის დროს წყალი არ ჟონავს, მაგრამ ხელის გული სველდება, ნიადაგი განიცდის დეფორმაციას, 1 მეტრი სიმაღლიდან ვარდნის დროს ნიადაგის გუნდა არ იშლება;
- ტენიანი ნიადაგი – ფილტრის ქაღალდის მიდებისას იგი სველდება, ხოლო 1 მეტრი სიმაღლიდან ვარდნის დროს ნიადაგის გუნდა იშლება მცირე ნაწილებად;
- ნედლი ნიადაგი – ნიადაგი ცივია, 1 მეტრი სიმაღლიდან ვარდნის დროს იგი იშლება მსხვილ ნაწილებად, ხელებზე არ ეკვრის, ხოლო ხელში მოსრესვის დროს არ იმტვერება;
- მშრალი ნიადაგი – გასრესვისას მტვერიანდება.

ჩვენს შემთხვევაში ნიადაგის ტენიანობის გაზომვა ხორციელდებოდა სპეციალური 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.

3.2. საცდელი პოლიგონის ნიადაგების აგროქიმიური დახასიათება და სასოფლო-სამეურნეო კულტურების განოყიერების სისტემა წვეთური მორწყვის დროს

ჩვენს მიერ დიდმის საცდელი პოლიგონის მდელის ყავისფერი ნიადაგის აგროქიმიური დახასიათებისათვის აღებული იქნა ნიადაგის შერეული ნიმუშები 0-20 და 20-40 სმ-ის სიღრმეზე, რომლებშიც ჩატარდა ლაბორატორიული განსაზღვრებები. ანალიზის შედეგები მოცემულია ცხრილში № 3.2.1.

დიდმის საცდელი პოლიგონის მდელის ყავისფერი ნიადაგის აგროქიმიური დახასიათება.

ცხრილი № 3.2.1.

ნიმუშის №	სიღრმე სმ-ით	pH წყლის გამონაწერში	CaCO ₃ %	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 3.2.1-დან ჩანს, მდელის ყავისფერი ნიადაგი ხასიათდება სუსტი ტუტე არეს რეაქციით. pH მაჩვენებელი 0-20 სმ-იან ჰორიზონტში 7.45 ც შეადგენს, მისი რაოდენობა ქვედა 20-40 სმ-იან ჰორიზონტში უმნიშვნელოდ იზრდება.

დიდმის მდელის 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 მაღიმიტირებელ ელემენტს აზოტი წარმოადგენს. მოძრავი ფოსფორის რაოდენობა ამ ნიადაგში

გადიდებული რაოდენობითაა და 4.5 მგ-ს აღწევს. ქვედა ჰორიზონტში მცირე რაოდენობითაა 1,5 მგ. 100 გრ ნიადაგში. რაც შეეხება გაცვლით კალიუმს, მისი რაოდენობაც გადიდებული შემცველობითაა ნიადაგის ორივე ფენაში და შესაბამისად შეადგენს 34,2 და 29,8 მგ-ს 100 გრ. ნიადაგში.

ნიადაგის ბონიტეტის შეფასების მიზნით გაანგარიშებული იქნა საკვები ელემენტების შესათვისებელი ფორმების მარაგი, რითაც დადგინდა, თუ რა რაოდენობის პამიდორის მოსავლის მოცემა შეუძლია განოყიერების გარეშე დიდმის მდელოს ყავისფერ ნიადაგს. საკვები ელემენტების შესათვისებელი ფორმების მარაგის გაანგარიშების შედეგები მოტანილია ცხრილში №3.1.2.-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.

თუ გავანალიზებთ ცხრილ № 3.2.2.-ში მოყვანილ მონაცემებს, დიდმის მდელოს ყავისფერ ნიადაგში არსებული აზოტის მარაგით 4,5-ჯერ დაბალი მოსავალი მიიღება დაგეგმილ 80 ტონასთან შედარებით. ფოსფორის და კალიუმის მარაგით 2,4-ჯერ ნაკლები პამიდორის მოსავალი მიიღება. რითაც ერთხელ კიდევ დასტურდება პომიდორის მაღალი მოსავლის მისაღებად სასუქების გამოყენების აუცილებლობა.

სასუქებისა და სარწყავი წყლის ერთობლივი ნორმირებული გამოყენება მაღალი და ხარისხიანი სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოყვანის პირობების ოპტიმიზაციის ორგანიზაციულ, ტექნოლოგიურ და ეკოლოგიურ საფუძველს წარმოადგენს და მის რეალიზებას სხვადასხვა მორწყვის სისტემების გამოყენება შეიძლება დაედოს საფუძველად. ამასთან, სისტემა ირიგაცია-ფერტიგაცია საშუალებას იძლევა შეტანილ იქნას აზოტის, კალიუმის და სხვა ელემენტების დაბალანსებული რაოდენობა მცენრეთა ზრდა-განვითარების ფაზების გათვალისწინებით და დარეგულირებულ იყოს ოპტიმალური ნიადაგის ტენიანობა [79, 80].

**საკვები ელემენტების შესათვისებელი ფორმების მარაგი დიდის
საცდელი პოლიგონის მდელის ყავისფერ ნიადაგში**

ცხრილი № 3.2.2.

№	ადგილმდებარეობა, ნიადაგის ტიპი	სიღრმე სმ-ით	ჰიდროლიზური აზოტი	პომიდორის შესაძლო მოსავალი ტ-ით.	მოდრაჟი ფოსფორი	პომიდორის შესაძლო მოსავალი ტ-ით	ბაცვლითი კალიუმი	პომიდორის შესაძლო მოსავალი ტ-ით
2	ყულარი	0-20	49	17.5	31	31.0	147	33.0

სასუქების ხსნარის მიწოდება, სარწავ წყალთან ერთად, იწვევს მის შედარებით თანაბარ განაწილებას დასატენიანებულ ტერიტორიაზე. ამასთან, ფერტიგაციის დროს წყლის მიწოდება ხდება უშუალოდ ფესვთა სისტემაში, რაც თავის მხრივ, იწვევს სარწავი წყლის მნიშვნელოვან ეკონომიას და აღმოფხვრავს ქიმიური ნივთიერებების ფართო ტერიტორიაზე გავრცელების რისკს.

აღსანიშნავია, რომ სუფთა წყალთან სასუქების შერევით მატულობს წყლის კონცენტრაცია, რაც თავის მხრივ გავლენას ახდენს როგორც რწყვის ნორმებზე, აგრეთვე სისტემის პარამეტრებზე.

პომიდორი ყველაზე მაღალ მოთხოვნილებას აყენებს ფოსფორით კვებაზე. გადიდებულ მოთხოვნილებას აზოტზე და კალიუმზე.

როგორც ცნობილია, პომიდორის მიერ ნიადაგიდან საკვები ელემენტების გამოტანა დიდი არ არის და დამოკიდებულია ნიადაგის ნაყოფიერებაზე, მოსავლის დონეზე, კლიმატურ პირობებზე, გამოყენებული სასუქების ფორმებზე, ნორმებზე, შეტანის ვადებზე და სხვა. მის ერთ ცენტრს საშუალოდ გამოაქვს 0,28კგ N, 0,10 კგ P₂O₅ და 0,4 კგ K₂O.

გამოტანილი საკვები ელემენტების კომპენსირება შესაძლებელია მხოლოდ ორგანული და მინერალური და სასუქების რაციონალური გამოყენებით.

პომიდორის ქვეშ შესატანი საკვები ელემენტების ნორმებიც ცვალებადობს ნიადაგის ნაყოფიერების, მოსავლის და

აგროტექნოლოგიური ღონისძიების დონის, ნიადაგურ-კლიმატური პირობების მიხედვით.

ჩვენს მიერ გაანგარიშებული წვეთური მორწყვის დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელს ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80გ მოსავლის დაგეგმისას მოცემულია ცხრილებში № 3.2.3., 3.2.4., 3.2.5., 3.2.6., 3.2.7.

წვეთური კვების დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელოს ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80ტ მოსავლის დაგეგმისას დიამოფოსკას შეტანისას

ცხრილი № 3.2.3.

№	საკვები ელემენტების ნორმები			მ ი ნ ე რ ა ლ უ რ ი ს ა ს უ ქ ე ბ ი კგ/ჰა									
				ძირითადი განოყიერება						გამოკვება			
	სენის წინ	დარგვის წინ ღრმა კულტივაციის დროს			I	II	III	IV					
		ლიამო ფოსკა	დარჩენილი 20კგ ფოსფორის შესატანად საჭირო ამფოსი	ლიამო ფოსკით და ამფოსით შეტანილი N					რამდენი კგ აზოტია შეტანილი N	ამონიუმის გვარჯილა	N ამონიუმის გვარჯილა		
1	185	170	150	50	$\frac{150}{577}$	$\frac{20}{40}$	58+2=60	185-60-80=45	132	$\frac{20}{59}$	$\frac{20}{59}$	$\frac{20}{59}$	$\frac{20}{59}$

მრიცხველში საკვები ელემენტების ნორმები

მნიშვნელში სასუქის ფიზიკური წონები

წვეთური კვების დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელოს ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80ტ მოსავლის დაგეგმისას დიამოფოსკას შეტანისას

ცხრილი № 3.2.4.

№	საკვები ელემენტების ნორმები			მ ი ნ ე რ ა ლ უ რ ი ს ა ს უ ქ ე ბ ი კგ/ჰა									
				ძირითადი განოყიერება						გამოკვება			
	N	P ₂ O ₅ მონა ცემე ბით	K ₂ O	ხენის წინ	დარგვის წინ დრმა კულტივაციის დროს			I	II	III	IV		
					დიამო ფოსკა N-10 P-26 K-26	დარჩენილი 20კგ ოსფორის შესატანად საჭირო ორმაგი სუპერ ფოსფატი	დიამო ფოსკით შეტანილი N					N	ამონიუმის გვარჯილა
1	185	170	150	50	<u>150</u> 577	<u>20</u> 48	58	185-58-80=47	138	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59

მრიცხველში საკვები ელემენტების ნორმები

მნიშვნელში სასუქის ფიზიკური წონები

წვეთური კვების დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელოს ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80ტ მოსავლის დაგეგმისას (მარტივ სასუქებზე გადაანგარიშებით)

ცხრილი № 3.2.5.

№	ორგანული ტ/ჰა სენის წინ	სასუქის ნორმა კგ/ჰა			ს ა ს უ ქ ი ს დ ო ზ ა კგ/ჰა							
		მინერალური			ძირითადი განოყიერება				გამოკვება			
					ამონიუმის გვარჯილა							
					სენის წინ		თესვის წინ					
					ორმა გი ფოსფ ატი	კალიუმის ქლო რიდი	ორმა გი ფოსფ ატი	კალიუმის ქლო რიდი	ამონიუმის გვარ ჯილა	I გამ.	II გამ.	III გამ.
2	50	<u>185</u> 544	<u>170</u> 404	<u>150</u> 268	404	268	<u>105</u> 309	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59	

მრიცხველში საკვები ელემენტების ნორმები

მნიშვნელში სასუქის ფიზიკური წონები

წვეთური კვების დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელოს ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80ტ მოსავლის დაგეგმისას ამფოსის შეტანისას

ცხრილი № 3.2.6.

№	საკვები ელემენტების ნორმები			მ ი ნ ე რ ა ლ უ რ ი ს ა ს უ ქ ე ბ ი კგ/ჰა										
				ძ ი რ ი თ ა დ ი გ ა ნ ო ყ ი ე რ ე ბ ა						გამოკვება				
	N	P ₂ O ₅ მონა ცემე ბით	K ₂ O	ხვნის წინ		დარგვის წ ი ნ ა ლ რ მ ა კულტივაციის დროს					I	II	III	IV
ნაკელ ი ტ-ით				K ₂ O კალი უმის ქლო რიდი	ამო ფოსი N-11 P-50	ამო ფოსი N-11 P-50	ამოფო სით შეტანი ლი N	დასამატე ბელი აზოტის რაოდენო ბა	ამონიუმ ის გვარჯი ლა	N ამონიუმის გვარჯილა				
1	185	170	150	50	<u>150</u> 268	<u>170</u> 340	<u>170</u> 340	64.6	40.4	119	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59

მრიცხველში საკვები ელემენტების ნორმები

მნიშვნელში სასუქის ფიზიკური წონები

წვეთური კვების დროს საჭირო საკვები ელემენტების ნორმები და სასუქების ფიზიკური წონები მდელს ყავისფერ ნიადაგზე პომიდორის – 80ტ მოსავლის დაგეგმისას დიამოფოსის შეტანისას

ცხრილი № 3.2.7.

№	საკვები ელემენტების ნორმები			მ ი ნ ე რ ა ლ უ რ ი ს ა ს უ ქ ე ბ ი კ გ/ჰა										
				ძ ი რ ი თ ა დ ი გ ა ნ ო ყ ი ე რ ე ბ ა							გამოკვება			
				ხვნის წინ		დარგვის წ ი ნ ა ღ რ მ ა კულტივაციის დროს					I	II	III	IV
				ნაკელ ო ტ-ით	<u>K₂O</u> კალი უმის ქლო რიდი	დიამო ფოსი N-19 P-50	ამო ფოსი N-11 P-50	დიამოფ ო სით შეტანი ლი N	N	ამონიუმ ის გვარჯი ლა	N ამონიუმის გვარჯილა			
1	185	170	150	50	<u>150</u> 268	<u>170</u> 340	<u>170</u> 340	64.6	40.4	119	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59	<u>20</u> 59

მრიცხველში საკვები ელემენტების ნორმები

მნიშვნელში სასუქის ფიზიკური წონები

**ნაკელის და ძირითადი საკვები ელემენტების ნორმები პომიდორის
კულტურისათვის დიდმის საცდელი პოლიგონის მდელის ყავისფერი ნიადაგზე
80 ტ პომიდორის მოსავლის დაგეგმვისას**

ცხრილი № 3.2.8

ნიადაგის ტიპი	დაგეგმილი მოსავალი ტ/ჰა	ძირითადი საკვები ელემენტების ნორმები კგ-ჰა			ნაკელი ან კომპოსტი სარგავ კვალში ტ/ჰა
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
დიდომი. მდელის ყავისფერი ნიადაგი	80	185	170	150	50

ცხრილში № 3.2.8. მოცემულია პომიდორის ქვეშ შესატანი ნაკელისა და ძირითადი საკვები ელემენტების ნორმები.

3.3. საველე კვლევების შედეგები და ანალიზი

ჩვენს მიერ ჩატარებული საველე კვლევები მიზნად ისახავდა პროგრამული მოსავლის მიღების მაქსიმალური საიმედოობის და ეკოლოგიური წონასწორობის მაქსიმალური შენარჩუნების გათვალისწინებით, რესურსდამზოგი ტექნოლოგიების გამოყენების პირობებში, შექმნილიყო რწყვის რეჟიმის ოპტიმალური მართვის ინტეგრირებული მოდელი, რომელიც ასახავს მელიორირებადი მიწების სრული გაჯერებისა და აერაციის ზონაში მიმდინარე ყველა პროცესს.

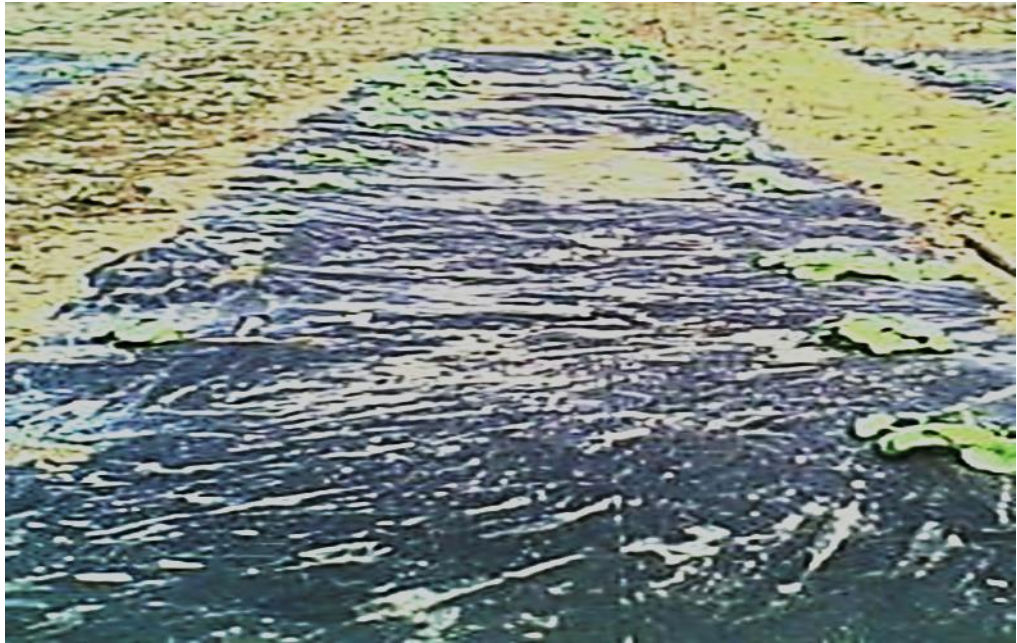
აღნიშნული მიზნის რეალიზაციისთვის საცდელ პოლიგონზე ჩატარებულ იქნა შემდეგი სამუშაოები:

- პოლიგონის ტოპოგრაფიული რუკის და გენერალური გეგმის შედგენა (ნახ. № 3.1.1. და 3.1.2);
- პოლიგონის სარწყავი წყლით უზრუნველყოფა, წყალმიმღების მოწყობა;
- პოლიგონის მოწყობა რესურსდამზოგი ტექნოლოგიებით. კერძოდ, შავი პოლიეთილენის მულჩისა და წვეთური მორწყვის სისტემის პარამეტრების შერჩევა და მონტაჟი (სურ. № 3.3.1. და 3.3.2);

- სასოფლო-სამეურნეო კულტურების შერჩევა – შერჩეული იქნა პომიდორი და ნესვი (სურ. № 3.3.3 და 3.3.4);
- აგროტექნიკური ღონისძიებების ჩატარება;
- კლიმატური პირობების (ჰაერის ტემპერატურა, ტენიანობა და სხვ.) შესწავლა.
- ნიადაგის ფიზიკური, მექანიკური, ქიმიური და წყლოვანი თვისებების კომპლექსური შესწავლა;
- ნიადაგის ტენიანობის დინამიკის სურათის დადგენა;
- ნიადაგის ფიზიკური და მექანიკური თვისებების ტენიანობასთან კავშირის დადგენა;
- ჯამური წყალმოსხმარების (ევაპოტრანსპირაციის) განსაზღვრა ბიოკლიმატური მეთოდით; ბიოკლიმატური კოეფიციენტის განსაზღვრა ვეგეტაციის მთელი პერიოდისთვის (ცხრილი № 3.3.1, 3.3.2. ნახ. № 3.3.1., 3.3.2, 3.3.3., 3.3.4.);
- აგროკლიმატური მახასითებლების (აორთქლების ფონი ამინდის ცვალებადობასთან კავშირში და სხვ.) განსაზღვრა;
- მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების შეჯერება და რწყვის რეჟიმის პარამეტრების დაზუსტება;



სურ. № 3.3.1. წვეთური მორწყვის სისტემა.



სურ. № 3.3.2 და 3.3.3 მუღჩირება შავი პოლიეთილენის აფსკით.

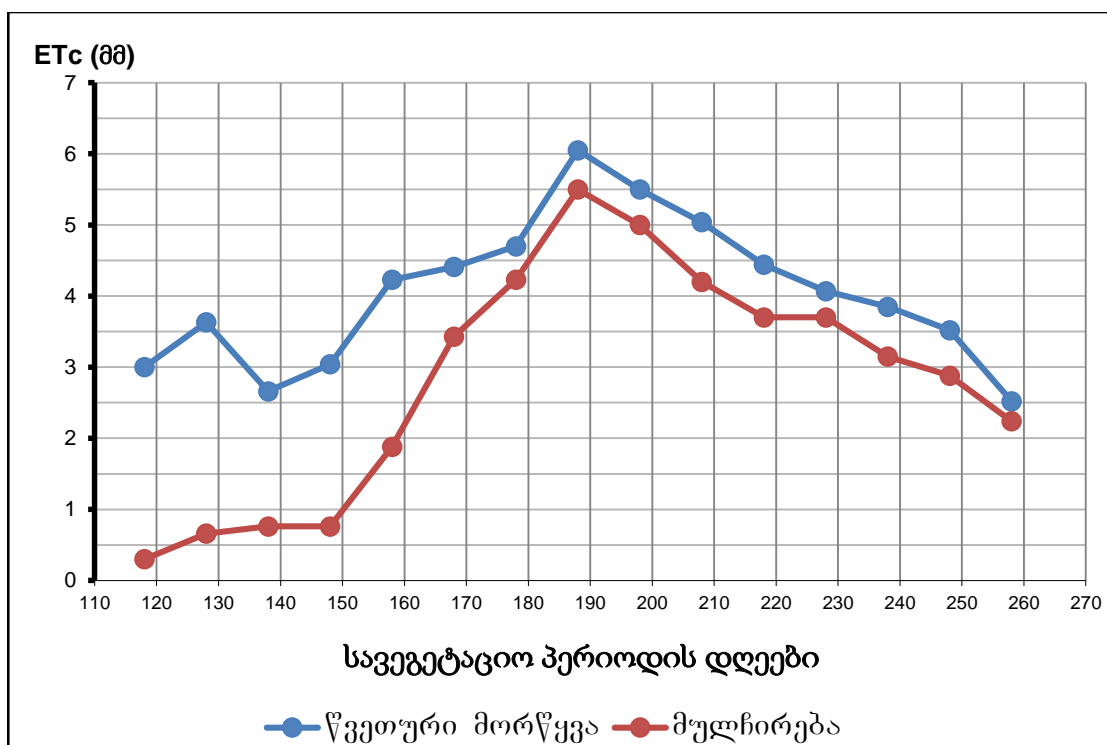


სურ. № 3.3.4 და 3.3.5. შერჩეული კულტურები – პომიდორი და ნესვი
(საცდელი პოლიგონი 2011 წელი).

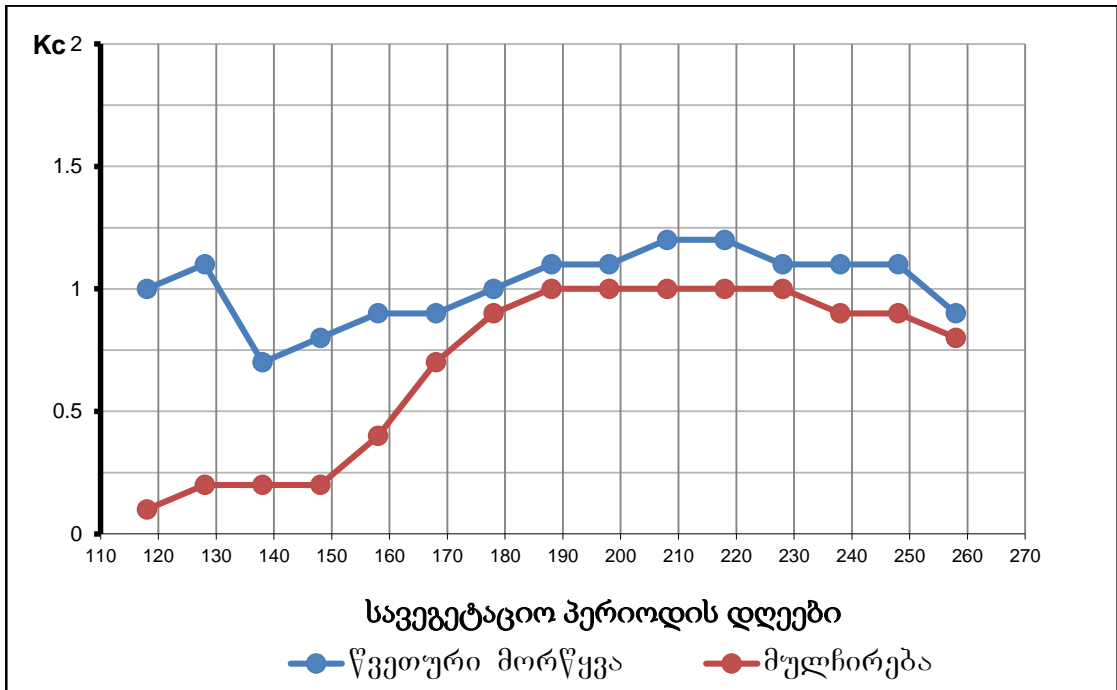
ევაპოტრანსპირაციის ცხრილი სავეგეტაციო პერიოდისთვის
(პომიდორი)

ცხრილი № 3.3.1

პომიდორი							
წვეთური მორწყვა				წვეთური მორწყვა და მულჩირება			
დღეები	ET ₀	Kc	ETc	დღეები	ET ₀	Kc	ETc
118	3,0	1,0	3,0	118	3,0	0,1	0,4
128	3,3	1,1	3,6	128	3,3	0,2	0,5
138	3,8	0,7	2,7	138	3,8	0,2	0,6
148	3,8	0,8	3,3	148	3,8	0,2	0,7
158	4,7	0,9	4,1	158	4,7	0,4	2,0
168	4,9	0,9	4,4	168	4,9	0,7	3,4
178	4,7	1,0	4,9	178	4,7	0,9	4,4
188	5,5	1,1	6,2	188	5,5	1,0	5,6
198	5,0	1,1	5,8	198	5,0	1,0	5,0
208	4,2	1,2	4,8	208	4,2	1,0	4,2
218	3,7	1,2	4,3	218	3,7	1,0	3,7
228	3,7	1,1	4,2	228	3,7	1,0	3,7
238	3,5	1,1	4,0	238	3,5	0,9	3,3
248	3,2	1,1	3,6	248	3,2	0,9	2,8
258	2,8	0,9	2,7	258	2,8	0,8	2,2



ნახ. № 3.3.1. $ETc = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები (პომიდორი).

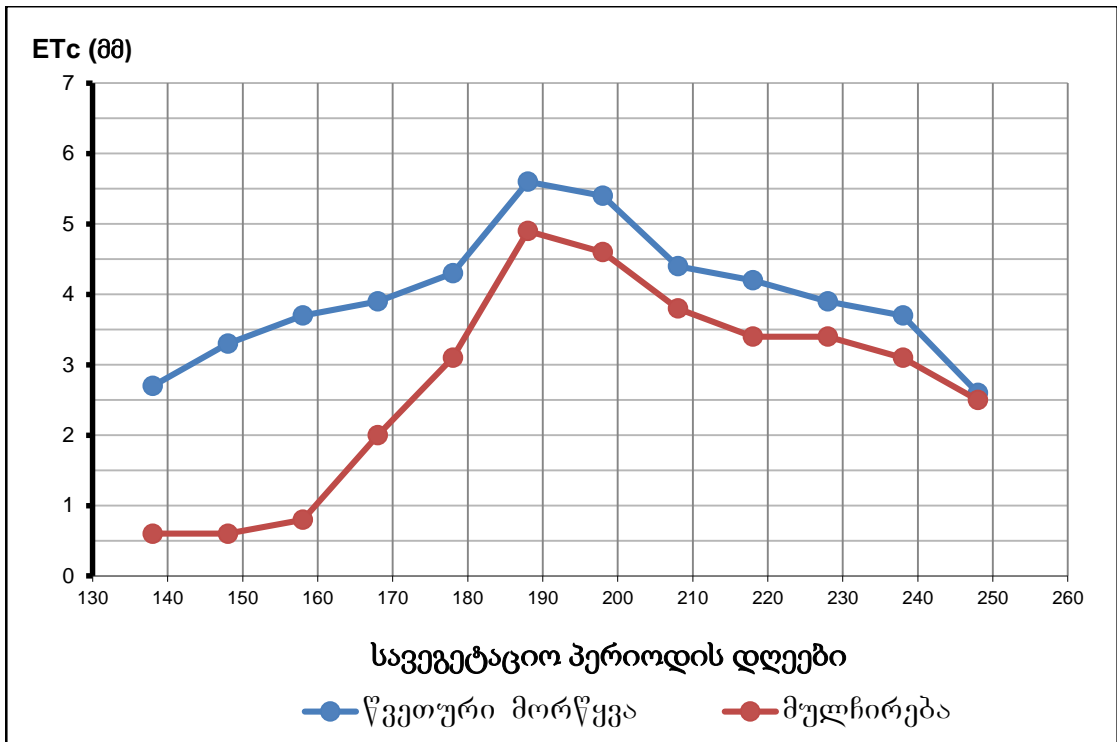


ნახ. № 3.3.2. $Kc = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები (პომიდორი).

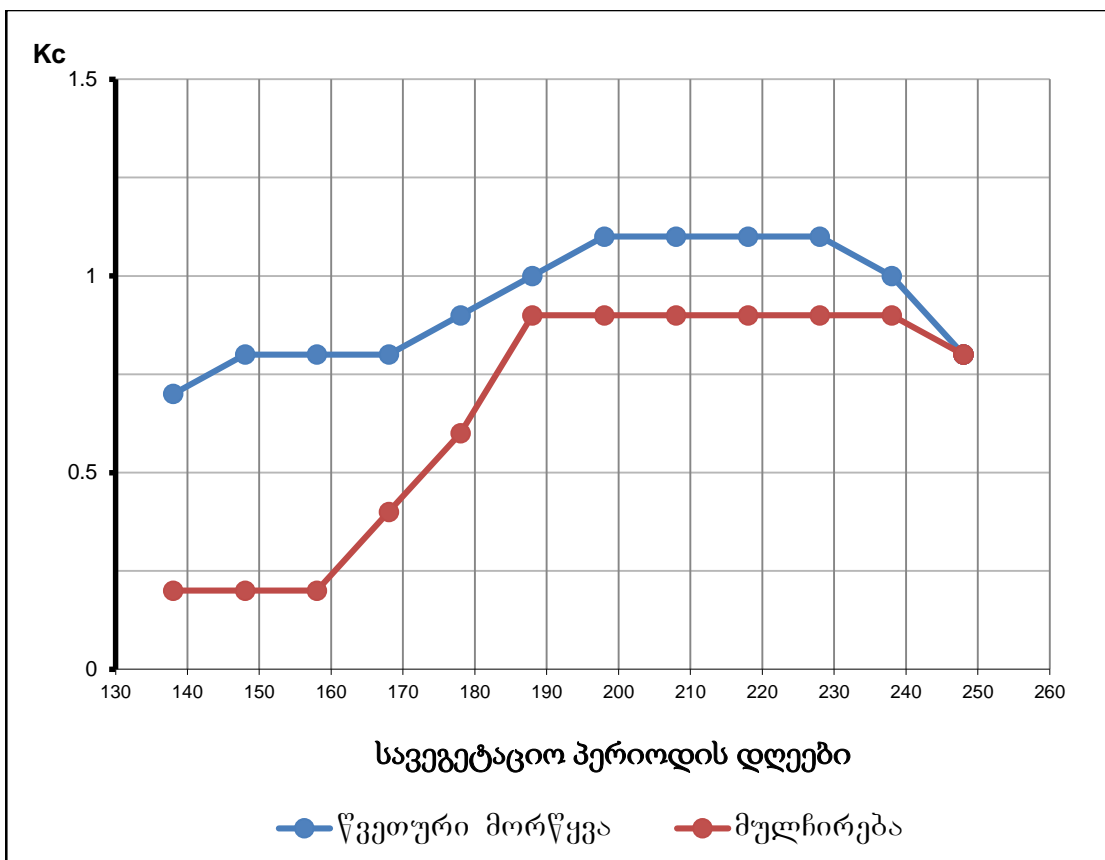
ევაპოტრანსპირაციის ცხრილი სავეგეტაციო პერიოდისთვის
(ნესვი)

ცხრილი № 3.3.2

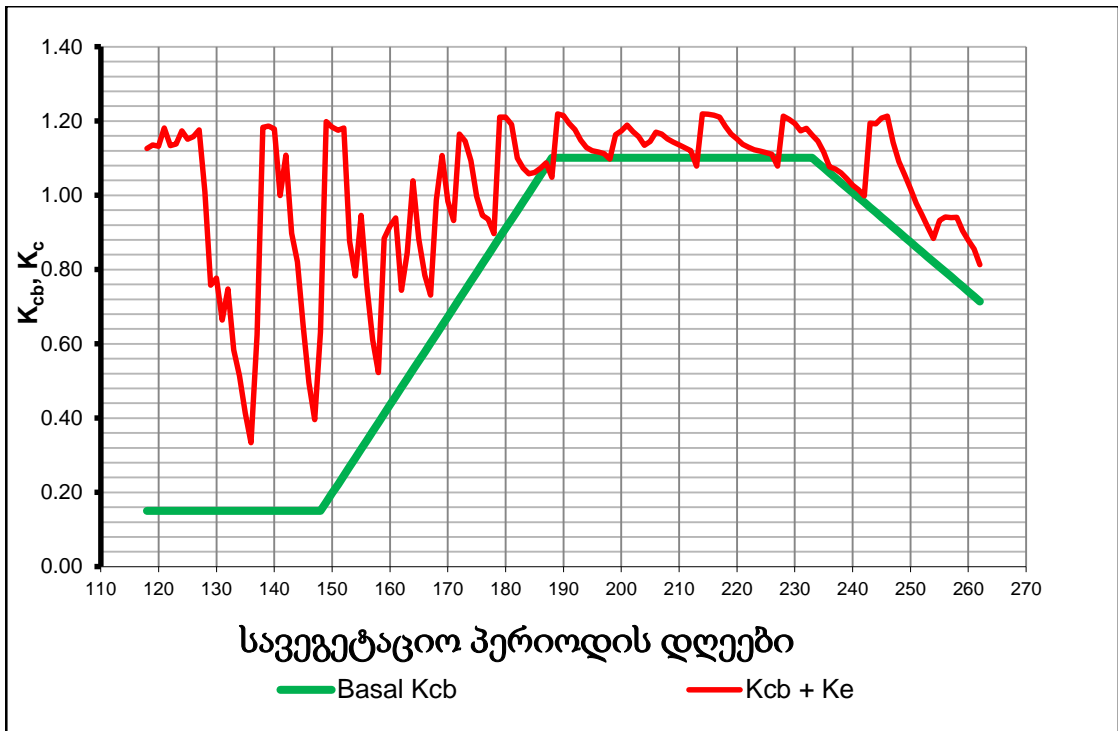
ნესვი							
წვეთური მორწყვა				წვეთური მორწყვა და მულჩირება			
დღეები	ET_0	Kc	ETc	დღეები	ET_0	Kc	ETc
138	3,8	0,7	2,7	138	3,8	0,2	0,6
148	3,8	0,8	3,3	148	3,8	0,2	0,6
158	4,7	0,8	3,7	158	4,7	0,2	0,8
168	4,9	0,8	3,9	168	4,9	0,4	2,0
178	4,7	0,9	4,3	178	4,7	0,6	3,1
188	5,5	1,0	5,6	188	5,5	0,9	4,9
198	5,0	1,1	5,4	198	5,0	0,9	4,6
208	4,2	1,1	4,4	208	4,2	0,9	3,8
218	3,7	1,1	4,2	218	3,7	0,9	3,4
228	3,7	1,1	3,9	228	3,7	0,9	3,4
238	3,5	1,0	3,7	238	3,5	0,9	3,1
248	3,2	0,8	2,6	248	3,2	0,8	2,5



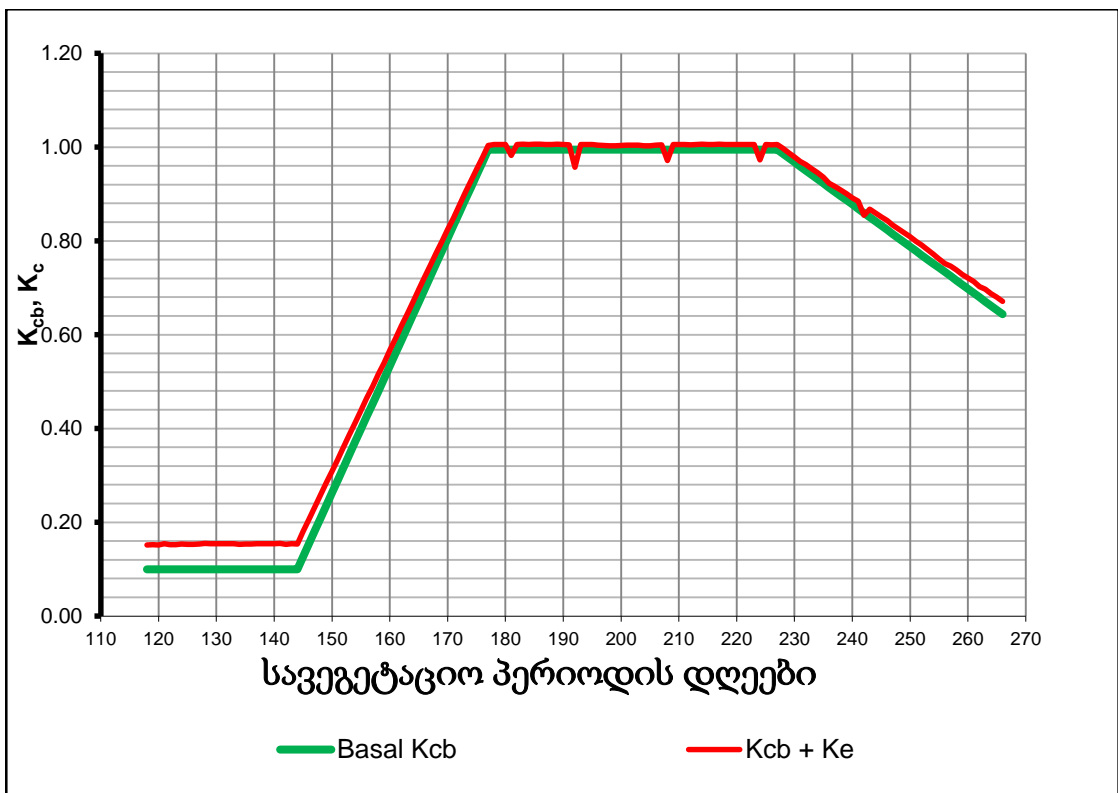
ნახ. № 3.3.3. $ETc = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები (ნესვი).



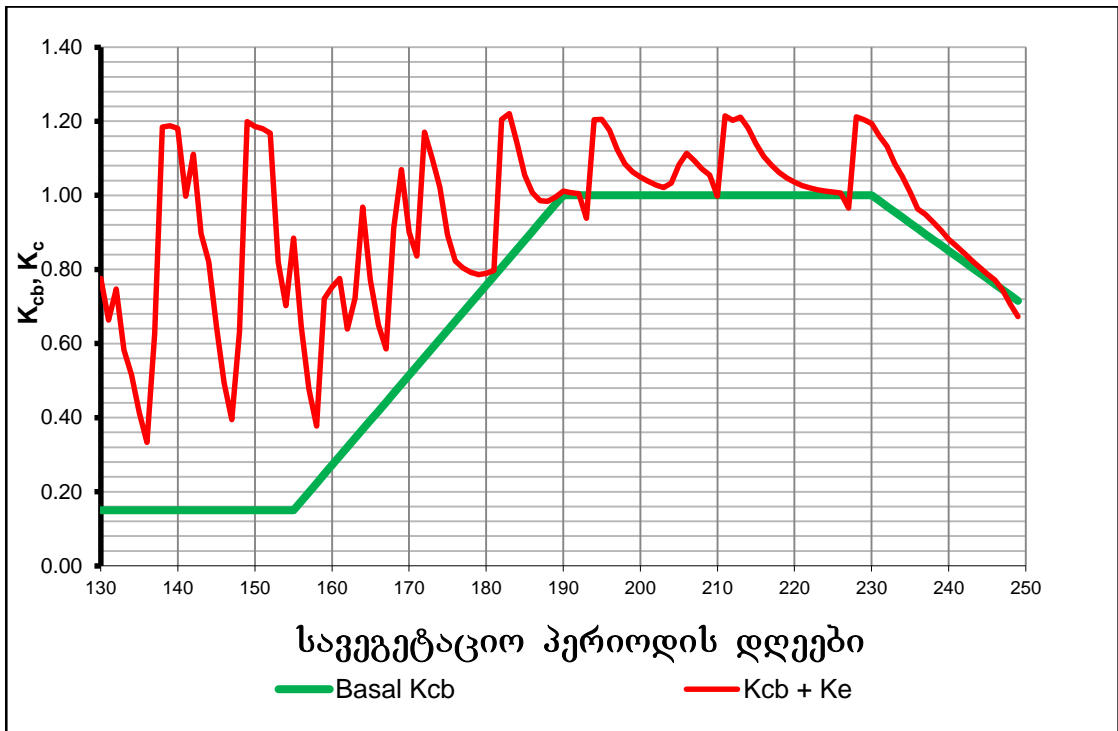
ნახ. № 3.3.4. $Kc = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები (ნესვი).



ნახ. № 3.3.5. $Kcb = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები
(ღია ნიადაგისთვის, პომიდორი)



ნახ. № 3.3.6. $Kcb = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები
(მულჩირებული ნიადაგისთვის, პომიდორი)



ნახ. № 3.3.7. $K_{cb} = f(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკები
(ღია ნიადაგისთვის, ნესვი)

ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევებისა და შესაბამისი ცხრილებისა და გრაფიკების ანალიზის საფუძველზე ვღებულობთ, რომ პომიდორის შემთხვევაში სავეგეტაციო პერიოდში E_{Tc} -ის საშუალო მნიშვნელობა 4.04 მმ-ს შეადგენს ღია გრუნტის შემთხვევაში, პოლიეთილენით მულჩირების დროს კი იგი 2.83 მმ-ის ტოლია, რაც 29.4 % ნაკლებია.

გამომდინარე აქედან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ პომიდორის გეგმიური მოსავლის მისაღებად მულჩირების გამოყენებით სარწყავი წყლის ეკონომია, და შესაბამისად მორწყვის ნორმის შემცირება მთელი ვეგეტაციის პერიოდში დაახლოებით 30 %-ს შეადგენს.

ნესვის შემთხვევაში სავეგეტაციო პერიოდში E_{Tc} -ის საშუალო მნიშვნელობა 3.98 მმ-ს შეადგენს ღია გრუნტის შემთხვევაში, პოლიეთილენით მულჩირების დროს კი იგი 2.73 მმ-ის ტოლია, რაც 31.4 % ნაკლებია.

შესაბამისად ნესვის გეგმიური მოსავლის მისაღებად მუღჩირების გამოყენებით სარწყავი წყლის ეკონომია, და შესაბამისად მორწყვის ნორმის შემცირება მთელი ვეგეტაციის პერიოდში დაახლოებით 31 %-ს შეადგენს.

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 ევაპორტრანსპირაციის გათვალისწინებით.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. **Breman H.** Cisse A.M. Fasture dynamics and forage availability in the Sohel-Israel I. Of Bot. vol. 28. p. 227. 1979.
2. **Панцхава И. Д.** Влияние нового вида мульчи «изола» на урожайность овощных культур. Тезисы докладов XIV науч. конф. аспирантов и молодых ученых сотрудников АН Груз ССР, изд-во АН Груз ССР, Тбилиси, 1963.
3. **Панцхава И. Д.** Влияние на урожайность овощных культур нового материала мульч-изолы. Вопросы интродукции и зеленого строительства 1 (70). Изд-во «Мецниереба», Тбилиси, 1965.
4. **Кононова М. М.** Органическое вещество почвы. М., АН СССР, 1963.
5. **Панцхава И. Д.** Роль мульчирования в повышении урожайности огурцов в условиях пригородной зоны г. Тбилиси. Дисс. на соиск уч. степени к.с/х.н. Тбилиси, 1971.
6. **Clayton A.** Plastic mulches: a technique for earlier vegetables. – Hort. Ind., p. 23, 26, 29. July, 1979.
7. **Розов Н. Ф.** В кн.: Применение полимерных плёнок в овощеводстве. М., Колос, с. 85-97, 1964.
8. **Angus I. F. Mackenzie D. N.** Plastic development in Field crops. 11. Thermal and photoperiodic responses spring wheat-Field Crops Res.4, p. 269-283. 1981.
9. **Вермингхаузен Б.** Применение пластмасс в сельском хозяйстве. Изд-во В. Кольхаммера, Штутгарт-Берлин-Кельн-Майнц, 202 с.
10. **Генель С. В., Гуль В. Е.** Полимерные плёнки для выращивания и хранения плодов и овощей. Москва, «Химия», 1985г.
11. **Kruashvili I.** Meliorativ action on regulation of water and heat of soil, Annals of Agrarian Science, # 4, 63-69 pp. 2004 y.
12. **Kruashvili I., Bziava K., Inashvili I., Loria M.** Mathematical model for definition of heat conductivity of soil for achieving the harvest of early agricultural crops. Annals of Agrarian Science. т 4 №2 pp. 98-103, 2006,.
13. **ბზიავა კ., ინაშვილი ი., ლორია მ.** მულჩირებული ნიადაგის ტემპერატურის და ტენის განსაზღვრის ექსპერიმენტული გამოკვლევა. აგრარულ მეცნიერებათა პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტომი XXXVI, გვ. 208-211, 2006.

14. გაფრინდაშვილი ი. ს. ნიადაგის სითბური მელორაცია. ჟურნალი საქართველოს სოფლის მეურნეობა, № 5, 1968.
15. Блох А. Г. Основы теплообмена излучением. Госэнергоиздат, Л. 1962.
16. Димо В. Н. Тепловой режим почв СССР. М., «Колос», 1972.
17. Панцхава И. Д. Влияние Мульчирования на температурный режим, влажность и агрохимические показатели почвы. Вопросы интродукции и зеленого строительства 6 (75). Изд-во «Мецниереба», Тбилиси, 1971.
18. Шульгин А. М. Климат почвы и его регулирование. Л., Гидрометеиздат, 1967.
19. Kruashvili I., Bziava K., Inashvili I., Loria M. Математическая модель определения почвенной влаги при мульчировании. Известия Аграрной Науки. т 4 №3, 104-108. 2006.
20. BERRY, W.A.I., MALLETT, J.B. & JOHNSTON, M.A., Soil water conservation as affected by primary tillage practices. S. Afr. J. Plant Soil. 2, 21-26, 1985.
21. Аверьянов С. Ф. Зависимость водопроницаемости почво-грунтов от содержания в них воздуха. Докл. АН СССР, 69, №2, 1949, с. 141-144.
22. ESPREY, L.J. & DOVEY, S., A review of the most commonly used instrumentation to measure soil water and physiological parameters at the ICFR. ICFR BulJetin Series: 10/2001.
23. Алпатиев А. М. Влагооборот культурных растений. Л.: Гидрометиздат. 1954 с. 248.
24. BOTHA, J.J., VAN RENSBURG, L.D., ANDERSON, J.J., HENSLEY, M., MACHELI, M.S., VAN STADEN, P.P., KUNDHLANDE, G., GROENEWALD, D.C. & BAIPHETHI, M.N., Water conservation techniques on small plots in semi-arid areas to enhance rainfall use efficiency, food security, and sustainable crop production. Water Research Commission report no. 1176/1/03, Pretoria, South Africa. 2003.
25. Долгов С. И. Исследования почвенной влаги и доступность ее растениям. М.-Л., АН СССР, 1949.
26. Роде А. А. Почвенная влага. 1952.
27. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. Л., Гидрометеиздат, 1954.
28. Столяров А. И. Некоторые вопросы оптимизации водораспределения на орошаемых землях. Автореф. канд. дисс. М.: с. 25. 1976.

29. **Хубларян М. Г.** О моделировании переноса влаги и питательных веществ в системе почва-растение. Сб. Научн. трудов, вопросы управления комплексной факторов жизни растений. М. 65-76. 1978 с.
30. **Лысенко М. П.** Состав и физико - механические свойства грунтов. -М.: Недра 1980, 272 с.
31. **Мамаев З. М., Ворожцова Е. Л., Хамза А.** Техногенное уплотнение и технология оструктуривания почв // МиВХ, 2001. - № 3. – С. 33 - 34.
32. **Попов И. В.** Механика грунтов ОТНИ,М.,-Л., 1937.
33. **Терцаги К.** Теория механики грунтов. Пер. с немецкого под ред. Н.А. Цытовича. Изд. М.госстойиздат, 482 с. 1961.
34. **Vaier W.** Crop-Weether analisis model. I. Sammari – Int, Biometer. vol. 17. №4. p. 313. 1973.
35. **VAN DEVENTER, P.W., BENNIE, A.T.P. & HATTING, J.M.,** Hydraulic properties of stone soils. "WRC Report No. 725/ 1/02. Water Research Commission, Pretoria. 2002.
36. **Вершинин П. В.** Почвенная структура и условия ее формирования. М.-Л., АН СССР. 1958.
37. **Воробьев С. А., Карташев А. Н., Лыков А. М., Макаров И. П.** Под ред. Воробьева С. А./ Земледелие – М.: Агропромиздат, 527 с. 1991.
38. **გულისაშვილი ვ. ზ.** მცენარეთა ეკოლოგია. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა. 327 გვ. 1960.
39. **Рассел Э.** Почвенные условия и рост растений, 1957.
40. **Сабинин Д. А.** Физиологические основы питания растений. 1955.
41. **Brouwer R.** Some aspects of the equilibrium between over ground and ungerground plontparts. Tarbock institut voor biologisch en Seheikundig anderzoek (IBS). p. 31-39. 1963.
42. **BOTHA, I.I., ANDERSON, I.I., VAN STADEN, P.P., VAN RENSBURG, L.D., BEUKES, DJ. & HENSLEY, M.** Quantifying and modeling the influence of different mulches on evaporation from the soil surface. ARC-ISCW Report No. GW/ AI/05. Pretoria 43pp., 2001.
43. **FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56** Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). 174 pp., 2006.
44. **Константинов А. Р.** Испарение в природе. Л.: Гидрометиоздат. с. 532. 1968.

45. **HENSLEY, M., BOTHA, J.J., ANDERSON, J.J., VAN STADEN, P.P. & DU TOIT, A.**, Optimizing rainfall use efficiency for developing farmers with limited access to irrigation water. Water Research Commission report no. 878/1/00, Pretoria, South Africa. 2000.
46. **Берия** и др. Физико-математические основы фильтрации. М.: Мир. 1971 с. 452.
47. **ირაკლი ყრუაშვილი, ედუარდ კუხალაშვილი, ირმა ინაშვილი, კონსტანტინე ბზიავა, გიორგი ნატროშვილი.** ფილტრაციის თავისებურებანი ნიადაგ-გრუნტებში. საქ. განათლ. და მეცნ. სამ., სტუ. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი, სამეცნ. შრომათა კრებული №67.გვ. 226-230. 2012.
48. **Цытович Н. А.** Механика грунтов.- М.: Высшая школа, 1979.
49. **Васильев А. М.** Физические константы глинистых грунтов. Гидрология. сборник статей №4, 1963.
50. **Великанов В. В.** Теория фильтрации и её применение в области ирригации и дренажа.-М.-Л. : Госстройиздат, 248 с. 1939.
51. **Истомина В. С.** Фильтрационная устойчивость грунтов. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1957.
52. **Wolters N, Hantke H.** Experiments with infiltration methods in the hessian ried area. DVWK-Bulletin. 14:97–118. 1982.
53. **Schmidt H.** Groundwater Recharge and Water Production. Zbl. Bakt. Hyg. I, Abt. Orig. B. pp. 134–155. 1980.
54. **Remmler F, Schulte-Ebbert U.** Development of understanding the process of self-purification of groundwater. Vom Wasser. 101:77–90. 2003.
55. **ირაკლი ყრუაშვილი, ედუარდ კუხალაშვილი, ირმა ინაშვილი, კონსტანტინე ბზიავა, გიორგი ნატროშვილი.** ნიადაგ-გრუნტში წყლის ფილტრაციის ანომალიებთან დაკავშირებული საკითხების შესწავლა. საქ. განათლ. და მეცნ. სამ., სტუ. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი, სამეცნ. შრომათა კრებული №67. გვ. 231-236. 2012.
56. **ანჯაფარძე ი.** მელიორაციული ნიადაგმცოდნეობა. განათლება. თბილისი, 310 გვ. 1977.
57. **Levan Klimiashvili, Aleksandre Davitashvili, Irma Inashvili, Giorgi Natroshvili.** Determination of water movement velocity in a soil. The Ministry of Education and Science, Water Management Institute, Scientific papers #68, 2014.

58. **Костяков А. Н.** Основы Мелиорации. Сельхозиздат., М.:1951.
59. **Марков Е. С.** Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации. М.: Колос. с. 376. 1981.
60. **Панников В. Д., Минеев В. Г.** Почва, климат, удобрение и урожай. Москва.:Колос. с. 358, 1977.
61. **TANNER, C.B. & SINCLAIR, T.R.,** Efficient Water Use in Crop Production: Research or Re-search?, Chapter 1A In: H.M. Taylor, W.R. Jordan T.R. Sinclair (Eds). Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. Am. Soc. of Agron., Madison. Wisconsin. 1983.
62. **Balke KD.** Investigation of the Groundwater Resources in the Irrigation Area West of Ismailia/Egypt. Part I. Vol. 4. Stuttgart: 1990.
63. **Preu G, Schulte-Ebbert U.** Artificial Groundwater Recharge and Bank filtration. In: Rehm HJ, Reed G, editors. Biotechnology. Vol. 11c. Weinheim: Wiley-VCH; pp. 425–444. 2000.
64. **Irakli Kruashvili, Aleksandre Davitashvili, Irma Inashvili, Giorgi Natroshvili.** Regulation of soil moisture in irrigated agriculture. The Ministry of Education and Science, Water Management Institute, Scientific papers #68, 2014.
65. **Абрамович И. Г., Левин В. И.** Уравнения математической физики. М., Наука, 1984 г.
66. **Баграмян Г. А.** Об эффективности использования ограниченных водных ресурсов на орошение. Журн. «Гидротехника и мелиорация». 1970 №2, с. 24-30.
67. **Будаговский А .И.** Испарение почвенной влаги. М.: Наука, 1964. с. 244.
68. **Дубровский З. М.** Математическая модель оптимального управления влажностью в корнеобитаемой зоне растения Сб. научн. трудов. вопросы управления комплексом факторов жизни растения. ВНИИГИМ. М. с.27-41. 1978.
69. **Кобаков М. М.** и др. Влагообеспеченность и урожай. Вопросы водного хозяйства, Фрунзе. 29-36. 1972 с.
70. **Кулешов Н.Н.** Агрономическое семеноведение. Москва. с 15-17. 1963.
71. **Лебедев С .И.** Физиология растений. М.: Колос. 463 с. 1982.
72. **საბაშვილი მ.** საქართველოს სსრ ნიადაგები. გამომცემლობა “მეცნიერება”, თბილისი, 549 გვ. 1965.

73. Климат и климатические ресурсы Грузии. Гидрометеиздат. Л.: 450 с. 1971.
74. გაფრინდაშვილი ი., გორდეზიანი კ., გორდეზიანი მ. სინათლე, სითბო, ნიადაგი, მცენარე. თბილისი, გამომცემლობა “საბჭოთა საქართველო”, 220 გვ., 1969.
75. ჩხენკელი ი. ვ. სასოფლო-სამეურნეო მელიორაცია. გამომცემლობა “განათლება”, თბილისი 277 გვ. 1970წ.
76. Безднина С. Я. Экология мелиорации и водного хозяйства //МиВХ,– № 2. – С. 30-31. 2001.
77. Кауричев И. С Почвоведение. М. Колос. 495 с., 1975.
78. WALKER, S., OGINDO, H. & HENSLEY, M. Measurement of a transpiration efficiency coefficient for common beans using a lysimeter. Annual congress of the American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Charlotte, North Carolina. 2001.
79. Ягодин Б. А. Агрохимия. М.: Агропромиздат, с. 655. 1989.
80. Домрачева Е. А. Физико-механический и химический анализ почвы. Л. Сельхозиздат. 266 с., 1939.