

ელისაბედ ასაბაშვილი

წყლის რესურსების განაწილება და მართვა  
სარწყავ სისტემებში

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
ივნისი, 2008 წელი

საავტორო უფლება © 2008 წელი, ასაბაშვილი ელისაბედი 2008 წელი

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ასაბაშვილი ელისაბედის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „წყლის რესურსების განაწილება და მართვა სარწყავ სისტემებში“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი:	წვერაიძე ზ. ვართანოვი მ.
რეცენზენტი:	ჩხაიძე ნ.
რეცენზენტი:	ქუთათელაძე რ.
რეცენზენტი:	

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2008 წელი

ავტორი: ასაბაშვილი ელისაბედი

დასახელება: „ წყლის რესურსების განაწილება და მართვა სარწყავ სისტემებში“

ფაკულტეტი : ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

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

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც 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 ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

მიწების მელიორაცია სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის წარმოების ზრდის არსებით და გადამწყვეტ ფაქტორს წარმოადგენს. წყალმომარების სრულყოფა დამოკიდებულია როგორც სარწყავი მიწათმოქმედების საკითხების გადაწყვეტაზე, ასევე მათი მართვის მეთოდებზე.

სარწყავი სისტემების ექსპლუატაციის დროს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას წარმოადგენს წყლის რესურსების განაწილების ოპტიმალური ორგანიზება, განსაკუთრებით მათი დეფიციტის დროს. ასეთი მართვა შესაძლებელია განხორციელდეს მხოლოდ წყალგანაწილების მართვის ავტომატიზებული სისტემების შექმნის გზით.

ნაშრომი „წყლის რესურსების განაწილება და მართვა სარწყავ სისტემებში“ ეძღვნება პრობლემას, რომლის აქტუალობაც იზრდება ყოველწლიურად ქვეყანაში მელიორაციის განსავითარებლად, სახელმწიფოს მიერ ჩადებული კაპიტალდაბანდებების ეფექტიანად გამოყენების ყოველმხრივი ამაღლების აუცილებლობის, ასევე წყლის და მიწის რესურსის უფრო მეტად რაციონალურად გამოყენების აუცილებლობის გამო.

ამ საკითხის შესახებ არსებული და დამუშავებული მასალების დრმა განხილვის, მათი მოხერხებული მისადაგებითა და შეთანაწყობით საკუთარი კვლევის შედეგებთან, ვსვამთ ამოცანას და გთავაზობთ მისი გადაჭრის გზებს სარწყავ სისტემებში წყალგანაწილების ოპტიმალური მართვის ალგორითმების აგების შექმნით, მისი მჭიდრო კავშირით საბოლოო პროდუქტთან – სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობასთან.

სარწყავი სისტემის ფუნქციონირების მიზანს წარმოადგენს დასაშვები ხარისხის სარწყავი წყლის მიწოდება საჭირო დროს, საჭირო ადგილზე და საჭირო რაოდენობით, ტექნოლოგიური პროცესების ეფექტიანი მიმდინარეობის უზრუნველსაყოფად, ანუ მოსარწყავ მინდორზე სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის ფორმირებისათვის.

აქედან გამომდინარე, სამელიორაციო სარწყავ სისტემებში შესაძლებელია სხვადასხვა ფუნქციების შემსრულებელი მატერიალური ობიექტების ორი ჯგუფის გამოყოფა: მოსარწყავი მინდვრები არსებული ნათესებითურთ, შესაბამისი სარწყავი ტექნიკით და სარწყავი ქსელი შესაბამისი ჰიდროტექნიკური მოწყობილობებით, რომლებიც აუცილებელია წყლის აღების, ტრანსპორტირების, განაწილებისა და გაზომვისათვის. სარწყავი ქსელი, როგორც წესი, თავის თავში მოიცავს მთავარ (მაგისტრალურ) არხს, მეურნეობათაშორის სხვადასხვა რიგის გამანაწილებლების სისტემას, სამეურნეო სისტემას და შიდასამეურნეო არხებს.

ნაშრომში შემოთავაზებულია საკითხის მიმართ პრინციპულად ახალი მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს წყალგანაწილების მართვის სისტემის მრავალდონიან სტრუქტურას ცალკეულ ქვესისტემებთან ურთიერთკავშირით და ეკონომიკურ საფუძველზე დაყრდნობით. ეკონომიკური ურთიერთკავშირები შესაძლებელია განხორციელდეს

მხოლოდ მკაცრი ანგარიშსწორების პირობებში და წყლის მიწოდების რეგულირებული ფასების გამოყენებით, რაც კიდევაც არის გათვალისწინებული სარწყავი სისტემის მართვის და მეურნეობებს შორის წყალგანაწილების სტრუქტურის განხორციელებისას, რომლებიც როგორც სარწყავი წყლის მომხმარებლებს, ასევე სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის მწარმოებლებს წარმოადგენენ. ნაშრომის ეს ნაწილი არის სიახლე ოპტიმალური წყალგანაწილების პრობლემის გადაწყვეტის მიდგომის თვალსაზრისით.

ნაშრომი ასევე ეძღვნება აგრობიოცენოზის მოსავლის ფორმირებას, რომელიც განიხილება როგორც მართვის ობიექტი. სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის ფორმირების მოდელის აგებისას გაითვალისწინეთ აგრობიოცენოზის მოდელირების ძირითადი მდგომარეობა. მოდელს გააჩნია ბლოკური სტრუქტურა, რომლის ბლოკებიც ნიადაგის სისტემაში მიმდინარე ძირითად პროცესებს შეესაბამება (მცენარე, ზედაპირული ატმოსფერული ფენები).

ძირითადი დაყოფა ორ სუპერბლოკად მოხდა, ესენია: ბიოტიური და აბიოტიური პროცესები. ბიოტიური ბლოკების ჯგუფი მოიცავს ზრდის მოდელს და სასოფლო-სამეურნეო კულტურის ნათესის განვითარებას, როგორც აგრობიოცენოზის უმნიშვნელოვანეს ელემენტს. ამას გარდა, ბიოტიური ბლოკების რიცხვს მიეკუთვნება ნიადაგში მიკროორგანიზმების გავლენის ქვეშ მყოფი სხვადასხვა ორგანული და არაორგანული ნივთიერებების ტრანსფორმაციის აღმწერი მოდელები, ასევე თვით მიკროორგანიზმების ცხოველმყოფელობა. ბიოტიური პროცესების შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენენ ისეთი პროცესებიც, რომლებიც დაკავშირებულია კულტურული მცენარეებისათვის უსარგებლო ორგანიზმებთან, როგორცაა: მანებლები, დაავადებები, სარეველები და სხვა.

აბიოტიური ბლოკები მოიცავენ მთელი რიგი გეოფიზიკური პროცესების აღმწერ მოდელებს, რომელთა მახასიათებლები აუცილებელია ბიოტიური პროცესების ფუნქციონირებისათვის. ესენია: თბური და ნიადაგის წყლის რეჟიმების, ჰაერის დაბალი ფენების ფორმირება, ასევე ბიოგენური და ტოქსიკური მარილების კონცენტრაცია და გადაადგილება, პესტიციდების დაშლის შედეგად სხვადასხვა ნარჩენების, ზრდისათვის აუცილებელი ნივთიერებების და ნიადაგში მეტაბოლიტების, ნათესში CO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაციის და სხვათა არსებობა.

მოდელებში ბიოტიური და აბიოტიური ბლოკები მნიშვნელოვანწილად უნდა იყოს ურთიერთშერწყმული. დღესდღეობით არსებობს აბიოტიური პროცესების მოდელები, მაგრამ ისინი მცირედად ითვალისწინებენ ბიოტიურ პროცესებს. მოცემულ ნაშრომში განხილულია აბიოტიური ბლოკების ანალიზი ბიოტიური პროცესების გათვალისწინებით.

ნაშრომში მოსავლის ფორმირების მოდელის აგების პროცესი შემდეგი ეტაპებისაგან შედგება:

1. აპრიორული, ბიოლოგიური ინფორმაციის საფუძველზე აიგო ერთწლიანი სასოფლო-სამეურნეო კულტურის ზრდის პროცესების ამსახველი ძირითადი დამოკიდებულებები, სიზუსტით ფუნქციამდე ან პარამეტრებამდე. გამოიკვეთა გარემოს წამყვანი ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ამ პროცესებზე;

2. განისაზღვრა მოდელში შემავალი ფუნქციის სახეობები და პარამეტრების სიდიდეები;
3. მოხდა მოდელის იდენტიფიკაცია;
4. მოხდა მოდელის ვერიფიკაცია, ანუ სამოდელო ობიექტთან მისი შესაბამისობის დადგენა.

მცენარის ზრდის მოდელში შესაძლებელია ორი ბლოკის გამოყოფა, რომლებიც აუცილებლად უნდა იყოს მოცემული ყველა დინამიურ მოდელში, ესენია: დაგროვების ბლოკი ან ბიომასის ნაზრდი, რომელიც ბიომასის ზრდას აღწერს ჰაერის ნახშირჟანგის ასიმილაციის და ნიადაგიდან მინერალური კვების ელემენტების მიღების ხარჯზე და ამ ნივთიერებების მცენარეთა ორგანოებში დინამიური განტოლებების სისტემის სახით გადანაწილების აღმწერი ბლოკი. სწორედ ეს ბლოკები შეადგენენ მოსავლის ფორმირების მოდელის საფუძველს.

## Abstract

Land reclamation alongside with mechanization and chemicalization is a determinative of essential increase in manufacturing of agricultural production.

Perfection of water use in an irrigation should concern as development of irrigated agriculture as methods of management.

One of the major problems at operation of irrigating systems is the organization of optimum control by distribution of water resources at their deficiency. Such management can be carried out at creation of the automated control systems by water-distribution.

Research in „Distribution and management of water resources in irrigating systems” is devoted to a problem, which increases urgently every year in connection with necessity of all-round increase of efficiency of capital investments, that are put by the state for development of land improvements in the country, and also matters of more rational use of water and ground resources.

Certainly, current research has big practical and theoretical value about increase of efficiency of each irrigated hectare and each cubic meter of irrigating water.

According to deep review of development available on this issue concerning skilful refraction and a combination, the results of researches show a problem. Our research offers the ways of solutions by creating schemes and algorithms of optimum control of water-distribution to irrigating systems, closely coordinating it with an end-product - a crop of agricultural crops.

The purpose of functioning of irrigating system is submission during essential time, place and quantity of irrigating water of admissible quality to provide effective course of technological process, That is formation of a crop of an agricultural crop on an irrigated floor.

Proceeding from meliorative irrigating system, it is possible to allocate two groups of the material objects, which are carrying out various function: irrigated fields with crops available on them and corresponding irrigation techniques and an irrigating network with the corresponding hydraulic engineering constructions necessary for a fence, transportation, distribution and measurement of water. Presence of one or several sources of water resources, that is supposed also.

In the research, there is offered essentially new approach providing multilevel structure of a control system by water-distribution with interaction of separate subsystems on an economic basis.

These economic interrelations are possible in conditions of strict self-financing and application of a controlled price of water-submission, as it is provided at realization of structure of water-distribution between management of irrigating system and the facilities, being consumers of irrigating water and manufacturers of agricultural production. This part of work is new under the approaches to the decision of a problem of optimum water-distribution.

Work also is devoted to modeling of formation of a crop agrobiocenoz, considered as object of management. For construction of model agricultural crops, we start with substantive provisions of modeling agrobiocenoz.

Models have block structures, which correspond with the basic processes proceeding in system ground - A plant - Ground layers of an atmosphere.

The basic division is accepted on two super blocks under the scheme: biotic processes and abiotic processes. The group biotic blocks includes model of growth and development of crop of an agricultural crop, as major element agrobiocenoz.

Besides the number biotic blocks includes the models describing transformation of various organic and inorganic substances in ground under influence of microorganisms, and also ability to live of microorganisms. Large component biotic processes are the processes connected with ability to live of organisms harmful to cultural plants: wreckers, illnesses, weeds and other organisms connected with them.

Abiotic blocks include the models describing a number of geophysical processes which characteristics are necessary for functioning biotic processes: formation of a thermal, water mode of ground and ground layers of air, concentration and movement of biogenic and toxic salts, the various rests of disintegration of pesticides, Growths substances and metabolits in ground, concentration CO<sub>2</sub> in crop, etc.

Most parts of biotic and abiotic blocks should be beat substantially bound. Already there are many models abiotic processes, but they while consider biotic processes a little. In the given work abiotic blocks will be considered. Process of construction of model of formation of a crop, consists of following stages:

1. On the basis of the aprioristic biological information the basic dependences, reflecting processes of growth of an annual agricultural crop to within function or parameters are under construction, and the leading factors of an environment influencing these processes are allocated;
2. It is spent definitions of kinds of function and sizes of the parameters entering into model;
3. Identification of model is spent. The method of configurations and a method of rotating coordinates are used;
4. Verification of model is spent that is An establishment of its conformity to modelled object.

In model of growth of plants it is possible to allocate two blocks which should be present at all dynamic models: the block of accumulation or growths biomass which describes increase in a biomass due to assimilation of carbonic acid of air and due to receipt of elements of a mineral feed from ground; the block describing in the form of system of the dynamic equations redistribution of these substances on bodies. These blocks make a basis of model of formation of a crop.



# შინაარსი

ცხრილების ნუსხა .....	xi
ნახაზების ნუსხა .....	xiii
შესავალი .....	15
თავი 1. საქართველოს წყლის რესურსები და მათი რაციონალურად გამოყენების პრობლემები .....	17
1.1. მდინარეთა ირიგაციული შესაძლებლობები .....	17
1.2. მდინარეთა შესაძლო ირიგაციული წყალუზრუნველყოფის შეფასება .....	21
1.3. ოპტიმალური წყალმთხოვნილება .....	25
1.4. საქართველოს გვალვიან რაიონებში თანამედროვე მორწყვის წესების დანერგვის ჰიდროლოგიური და ირიგაციული ეფექტის შეფასება .....	28
1.5. მდინარეთა წყლიანობა სავეგეტაციო პერიოდში და მისი პროგნოზირება მთავარი სარწყავი სისტემების მომსახურებისათვის .....	36
თავი 2. სარწყავი სისტემა როგორც რთული სისტემა .....	39
2.1. სარწყავი სისტემების ზოგიერთი თვისებები .....	39
2.2. ოპერატიულ წყალგანაწილების ამოცანებში ინფორმაციის შემუშავების პრობლემის განხილვა .....	44
2.3. მრავალპროდუქტიული მოდელისათვის ეკონომიური სტიმულირების მექანიზმების განზოგადება .....	49
2.4. წყალგანაწილების ოპერატიული დაგეგმარების ამოცანის ფორმალიზაცია .....	52
თავი 3. აგრობიოცენოზის მოსავლის ფორმირების მათემატიკური მოდელის დამუშავება .....	57
3.1. ზრდის დინამიური განტოლების გამოყვანა .....	57
3.2. მცენარის ზრდა-განვითარების მოდელის იდენტიფიკაცია .....	66
3.3. ფენოლოგიური განვითარების პროცესების მოდელირება .....	74
3.4. ბიომასის ნაზრდის მოდელის იდენტიფიკაცია .....	77
3.5. გარემო ფაქტორები და მათი როლი მოსავლის ფორმირების მოდელში .....	79
3.6. ნათესში ჰაერის ტემპერატურის გამოთვლა .....	81
3.7. ნათესის ზედაპირზე ფოტოსინთეზურად მზის აქტიური რადიაციის ინტენსივობის წილის გამოთვლა .....	82

3.8. ნიადაგის ფესვთსამყოფი ფენის ტენიანობის გათვლა .....	84
თავი 4. მორწყვის დროს წყლის რესურსების განაწილების პროცესების ალგორითმიზაცია .....	91
4.1. სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მორწყვის რეჟიმების ოპტიმიზაცია. მორწყვის რეჟიმის გავლენა მოსავალზე წყლის რესურსების დეფიციტის პირობებში .....	91
4.2. მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის დასმა და განხილვა .....	92
4.3. დინამიური სისტემების ქცევის ოპტიმიზაციის თეორიული საფუძვლები. ამოხსნის მეთოდის შერჩევა .....	98
4.4. სარწყავი წყლის დეფიციტის პირობებში მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაჭრა .....	105
4.5. წყალმომხმარებლებს შორის წყლის რესურსების განაწილების პროცესების ალგორითმიზაცია .....	111
დასკვნა .....	118
დანართი 1. ....	121
დანართი 2. ....	137
დანართი 3. ....	144
გამოყენებული ლიტერატურა .....	161

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი	1. წყლის რესურსების განაწილება რეგიონების მიხედვით .....	19
ცხრილი	2. პერსპექტივაში მოსარწყავად დასახული მიწების განაწილება ირიგაციული ზონებისა და კულტურების მიხედვით .....	26
ცხრილი	1.1. აღმოსავლეთ საქართველოში 2015 წ. დონეზე დასახული სარწყავი სისტემების პირობებში მდინარეთა ირიგაციული შესაძლებლობის შეფასება წყალუზრუნველყოფისა და წყალმთხოვნილების ურთიერთშედარების მეთოდით .....	121
ცხრილი	1.2. პერსპექტივაში მოსარწყავად დასახული მიწების განაწილება მდინარეთა აუზებისა და კულტურების მიხედვით .....	128
ცხრილი	1.3. პერსპექტივაში მოსარწყავად დასახული მიწების პროცენტული განაწილება მდინარეთა წყალშემკრები აუზებისა და ს/ს კულტურების მიხედვით .....	129
ცხრილი	1.4. ვეგეტაციის პერიოდის ყოველთვიური და მთლიანი წყალმთხოვნილება „ნეტო“ მლნ.მ <sup>3</sup> მდინარეთა აუზების მიხედვით, ნალექებით 50, 75 და 95%-ანი უზრუნველყოფის დროს .....	130
ცხრილი	1.5. წყალმთხოვნილების სიდიდეები 13ა-ზე „ნეტო“ და „ბრუტო“ (მ <sup>3</sup> ) და ვეგეტაციის პერიოდის მთლიანი და ყოველთვიური წყალმთხოვნილება „ბრუტო“ (მლნ.მ <sup>3</sup> ) მდინარეთა აუზების მიხედვით ნალექებით 50, 75 და 95%-ანი უზრუნველყოფის დროს .....	132
ცხრილი	1.6. მორწყვის ნორმები (მმ) საშემოდგომო ხორბლის (ქერის) შემთხვევაში ნიადაგის 0-70 სმ სისქის ფენისათვის .....	134
ცხრილი	1.7. ვაზის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-100 სმ სისქის ფენისათვის .....	134
ცხრილი	1.8. ხილის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-100 სმ სისქის ფენისათვის .....	135
ცხრილი	1.9. სიმინდის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-100 სმ სისქის ფენისათვის .....	135
ცხრილი	1.10. შაქრის ჭარხლის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-70 სმ სისქის ფენისათვის .....	135
ცხრილი	1.11. კარტოფილის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-50 სმ სისქის ფენისათვის .....	135
ცხრილი	1.12. თამბაქოს მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-50 სმ სისქის ფენისათვის .....	136

ცხრილი 1.13.	მზესუმზირის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-70 სმ სისქის ფენისათვის .....	136
ცხრილი 1.14.	ბოსტნეული კულტურების მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-50 სმ სისქის ფენისათვის .....	136
ცხრილი 2.1.	წყლის არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტები თვეების მიხედვით .....	137
ცხრილი 2.2.	წყლის არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტი (მაქსიმუმით) და მისი შეფასების ზედა ზღვარი .....	137
ცხრილი 2.3.	არათანაბარი ჩამონადენის კოეფიციენტი (მინიმუმით) მ. მტკვარი – ს. ხერთვისი .....	138
ცხრილი 2.4.	წყლის ხარჯი .....	139
ცხრილი 2.5.	წყლის წლიური ხარჯი .....	140
ცხრილი 2.6.	მ. მტკვარი – ს. მინაძე .....	140
ცხრილი 2.7.	მ. მტკვარი – ჭითახევი ჰეს-ის კაშხალის ზემოთ .....	141
ცხრილი 2.8.	მ. მტკვარი – ჭითახევი ჰეს-ი .....	141
ცხრილი 2.9.	მ. მტკვარი – ს. ლიკანი .....	141
ცხრილი 2.10.	მ. მტკვარი – ს. გრაკალი .....	142
ცხრილი 2.11.	მ. მტკვარი – ზაჰესი .....	142
ცხრილი 2.12.	მ. მტკვარი – ს. ძეგვი .....	142
ცხრილი 2.13.	მ. მტკვარი – ქ. თბილისი .....	143
ცხრილი 2.14.	მ. მტკვარი – ხელუფი .....	143
ცხრილი 2.15.	მ. მტკვარი – ს. ყირზანი .....	143

## ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1.	ცენტრალიზებული სტრუქტურა, მართვის ცენტრალურ პუნქტთან უშუალო დაქვემდებარებით .....	42
ნახაზი 2.	აღმაგალი და დაღმაგალი ხაზებით მიმდევრობითი კავშირების მქონე იერარქიული სტრუქტურა .....	43
ნახაზი 3.	იერარქიული სისტემის 1-ური რანგის მართვის ფუნქციონალური სქემა მიმდევრობითი კავშირებით .....	43
ნახაზი 4.	წყალგანაწილების შესახებ გადაწყვეტილების მიმღები ფუნქციონალური სისტემის ორდონიანი სტრუქტურა .....	46
ნახაზი 5.	კონფიგურაციის მეთოდით ექსტრემუმის ძიების ალგორითმის ბლოკ-სქემა .....	73
ნახაზი 2.1.	არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტები თვეების მიხედვით .....	137
ნახაზი 2.2.	არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტის ამსახველი გრაფიკი .....	138
ნახაზი 2.3.	წყლის ხარჯების ამსახველი გრაფიკი .....	139
ნახაზი 3.1.	ვებ-საიტი „წყლის რესურსები საქართველოში“ – სატიტულო გვერდი .....	146
ნახაზი 3.2.	ვებ-გვერდი „მტკვარი“ .....	148
ნახაზი 3.3.	ვებ-გვერდი „არაგვი“ .....	150
ნახაზი 3.4.	ვებ-გვერდი „წყლის მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯები სოფელ ჟინვალსა და ფასანაურთან“ .....	152
ნახაზი 3.5.	ვებ-გვერდი „წყლის მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯები შესართავთან და მაღაროსკართან“ .....	154
ნახაზი 3.6.	ვებ-გვერდი „სარწყავი მიწების განაწილება ზონების, მდინარეთა აუზებისა და კულტურების მიხედვით“ .....	157
ნახაზი 3.7.	ვებ-გვერდი „მორწყვის ნორმები“ .....	160

## მადლიერება

მადლიერება მინდა გამოვთქვა ჩემი ნაშრომის ხელმძღვანელების, ბატონების ზ. წვერაიძის და მ. ვართანოვის მიმართ სადისერტაციო თემის დამუშავების დროს გაწეული დიდი დახმარებისათვის. ასევე, მადლობას ვუხდის ქალბატონ ც. ბასილაშვილს მოწოდებული საინტერესო მასალებისათვის მდინარეთა ირიგაციული შესაძლებლობების შესახებ. ასევე მადლობა მინდა გადავუხადო ქალბატონებს ღ. გვანცელაძეს და ნ. ლაზრიევას, ჩემს თანამშრომლებს ბატონებს თ. მაჭარაძეს, ა. ქუთათელაძეს და თ. სტურუას, თანადგომისათვის.

## შესავალი

ნაშრომი „მორწყვის დროს წყლის რესურსების ოპერატიული განაწილების ოპტიმიზაცია“ ეძღვნება პრობლემას, რომლის აქტუალურობა ყოველწლიურად მატულობს, რადგან ქვეყანაში აუცილებელი ხდება მელიორაციის განვითარების ეფექტურობის ამაღლება, ისევე როგორც წყლის და მიწის რესურსების უფრო რაციონალური გამოყენება. ნაშრომს აქვს დიდი პრაქტიკული და თეორიული მნიშვნელობა, რომელიც მდგომარეობს თითოეული მოსარწყავი ჰექტრის და თითოეული კუბური მეტრი სარწყავი წყლის პროდუქტიულობის ამაღლებაში. რაც ჩატარებული სამუშაოს მთავარ ფასეულობას წარმოადგენს. ნაშრომში დასმულია ამოცანა და მოცემულია მისი გადაჭრის გზები სარწყავ სისტემების წყალგანაწილების ოპტიმალური მართვის მჭიდრო კავშირით საბოლოო პროდუქტთან – სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავალთან მიმართებაში.

საქართველოს გვალვიანი რაიონის, კერძოდ აღმოსავლეთ საქართველოს სპეციფიკა მდგომარეობა იმაში, რომ აქ გადამწვევებ მნიშვნელობას იძენს არა მარტო ნალექების რაოდენობა, არამედ მათი განაწილებაც წლის განმავლობაში, როცა მცენარეთა ვეგეტაციის პერიოდში მცენარეთა აუცილებელი წყალმოთხოვნილების ფაზებს არ ემთხვევა ნალექების მოსვლის ინტერვალები. შედეგად სახეზე გვაქვს გვალვიანი წლები, როცა მცენარეთა მოსავლიანობა არა მარტო ძლიერ კლებულობს, არამედ შეიძლება მთლიანად განადგურდეს. სწორედ ეს საკითხებია განხილული ნაშრომის პირველ თავში. აქვე ასევე განხილულია საკითხი იმის შესახებ, რომ გვალვის უარყოფითი გავლენის გასაწინააღმდეგო უპირველეს და რადიკალურ ღონისძიებად უნდა ჩაითვალოს ნალექების ნაკლებობის შევსება ხელოვნურად, მორწყვის საშუალებით. გასაგებია, რომ სარწყავი წყლის წყაროდ, პირველ რიგში, გამოყენებული უნდა იყოს გვალვიან რაიონებში არსებული ბუნებრივი წყლის რესურსები. უნდა აღინიშნოს, რომ გვალვიან რაიონებში არსებულ მდინარეებისა და ტბების წყალშემკრებ აუზებში, თვით ბუნებრივი წყლების სიუხვესა თუ ნაკლებობასაც იგივე მეტეოროლოგიური ფაქტორების წლიდან წლამდე სასურველი თუ არასასურველი შეთანაწყობა განაპირობებს. აქედან გამომდინარე გასაგებია, რომ ბუნებრივი წყლის რესურსები გვალვიან რაიონებში, საშუალო და წყალმცირე წლებში, ვერ დააკმაყოფილებს მცენარეთა სრულ წყალმოთხოვნილებას და აღმოსავლეთ საქართველოში ხშირად ექნება ადგილი სარწყავი წყლის დეფიციტს, რაც სინამდვილეში ხდება კიდევ. მით უმეტეს, რომ დღეისათვის საქართველოს გვალვიან რაიონებში სარწყავი სისტემები ძირითადად თვითღინებით ზედაპირული მორწყვის წესებზეა განკუთვნილი, ამ წესებისათვის დამახასიათებელი მთელი რიგი უარყოფითი მოვლენებით და პირველ რიგში, წყლის დიდი დანაკარგებით. ამიტომ ამ გვალვიანი რეგიონის მდინარეთა შესაძლო ირიგაციული წყალუზრუნველყოფის შეფასება უადრესად აქტუალურია. დასახული ამოცანის გადასაწყვეტად მოძიებულ და შეკრებილ იქნა მნიშვნელოვანი მეტეოროლოგიური

(ძირითადად ნალექებზე მონაცემები) და ჰიდროლოგიურ-მელიორაციული მასალა. კერძოდ მდინარეული ჩამონადენის მრავალწლიური მონაცემები თვეების მიხედვით და წლიური მონაცემები 2015 წლის პერსპექტიული დონისათვის დასახული სარწყავი სისტემების შესახებ, მათზე დაქვემდებარებული სარწყავი ფართობებით, დასახული სასოფლო-სამეურნეო კულტურებით და მათი განაწილებით ამ ფართობების მიხედვით სოფლის მეურნეობის პერსპექტიული სპეციალიზაციისა და რელიეფის ვერტიკალური ზონალობის თავისებურებათა საფუძველზე.

ნაშრომის მეორე თავი ეძღვნება მორწყვის დროს წყალგანაწილების დაგეგმარების ამოცანის ფორმალიზაციის საკითხებს. აქ შემოთავაზებულია საკითხის მიმართ პრინციპულად ახალი მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს წყალგანაწილების მართვის სისტემის მრავალდონიან სტრუქტურას ცალკეულ ქვესისტემებთან ურთიერთკავშირით და ეკონომიურ საფუძველზე დაყრდნობით. ეკონომიური ურთიერთკავშირები შესაძლებელია განხორციელდეს მხოლოდ მკაცრი ანგარიშსწორების პირობებში და წყლის მიწოდების რეგულირებული ფასების გამოყენებით, რაც კიდევაც არის გათვალისწინებული სარწყავი სისტემის მართვებს და მეურნეობებს შორის წყალგანაწილების სტრუქტურის განხორციელებისას, რომლებიც როგორც სარწყავი წყლის მომხმარებლებს ასევე სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის მწარმოებლებს წარმოადგენენ. ნაშრომის ეს ნაწილი არის სიახლე ოპტიმალური წყალგანაწილების პრობლემის გადაწყვეტის მიდგომის თვალსაზრისით.

ნაშრომის მესამე თავში აგრობიოცენოზის მოსავლის ფორმირების მოდელირების საკითხები განხილულია როგორც მართვის ობიექტი. მოცემულია მოსავლის მოდელის აგების სხვადასხვა მიდგომის განხილვა როგორც გარემო ფაქტორების ზემოქმედების გათვალისწინებით ასევე მცენარის განვითარების ბიოლოგიური პროცესის დეტალიზაციის სხვადასხვა დონეზე. აღწერილია მცენარის ზრდა-განვითარების მოდელის აგების პროცესი, რომლის ორიგინალურობა მდგომარეობს იმაში, რომ ის შედგება ცალკეული ბლოკებისაგან, რომელთა შორის თითოეული, მცენარის (კულტურის) ურთიერთქმედების შესახებ გარემო ფაქტორებთან ექსპერიმენტული მონაცემების დაგროვების შესაძლებლობის ფარგლებში, შესაძლებელია დაიხვეწოს მოდელის საერთო სტრუქტურის დარღვევის გარეშე. შემოთავაზებული მოდელი იდენტიფიცირებული და ვერიფიცირებულია. ნაშრომის ეს ნაწილი ძალზედ საყურადღებოა, რადგან მოდელის აგების მეთოდური მიდგომა შესაძლოა გამოყენებულ იქნას პრაქტიკულად ნებისმიერი სასოფლო-სამეურნეო კულტურისათვის.

ნაშრომის მეოთხე თავში მორწყვის დროს წყალგანაწილების ალგორითმიზაციის გზით, მოცემულია ამოცანის ანალიზი და მისი გადაჭრის გზები სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის ფორმირების შემოთავაზებული მოდელის საფუძველზე მორწყვის პირობებში გარემო ფაქტორების ურთიერთქმედების გათვალისწინებით. წყალგანაწილების დაგეგმარების ოპტიმიზაციის ამოცანა დაიყვანება არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანამდე, არაწრფივი სეპარაბელური მიზნის ფუნქციით.



## თავი 1. საქართველოს წყლის რესურსები და მათი რაციონალურად გამოყენების პრობლემები

### 1.1 მდინარეთა იროგაციული შესაძლებლობები

საქართველოს ტერიტორიაზე წყლის რესურსების ძირითად წყაროებს მდინარეები, გრუნტის წყლები, მყინვარები, ჭაობები, ტბები და წყალსაცავები წარმოადგენენ. მათ შორის მნიშვნელოვანია პირველი სამი სახის წყლის ობიექტი, რომლებიც განსაზღვრავენ წყლის რესურსებთან დაკავშირებულ ყველა მოვლენას, პროცესს, მათ მსვლელობასა და გავლენას გარემოზე [41].

წყლის ობიექტებს შორის წამყვანი ადგილი უკავია მდინარეებს, რომლითაც მდიდარია საქართველო. აღრიცხულია 25075 მდინარე, რომელთა საერთო სიგრძე შეადგენს 54768კმ-ს, ხოლო მდინარეთა ქსელის საშუალო სიმჭიდროვე—0,85 კმ/კმ<sup>2</sup>-ს. ამით იგი თითქმის 3-ჯერ უსწრებს მეზობელ აზერბაიჯანს. საქართველოს ტერიტორიაზე მდინარეთა ჰიდროგრაფიული ქსელი არათანაბრადაა განაწილებული. დასავლეთ საქართველოში ირიცხება 18100 მდინარე, საერთო სიგრძით – 35 ათასი კმ, რაც შეადგენს საერთო რაოდენობისა და სიგრძის 69 და შესაბამისად 58%-ს. ის ასევე გამოირჩევა მდინარეთა ქსელის დიდი სიმჭიდროვით – 1.07კმ/კმ<sup>2</sup>. აღმოსავლეთ საქართველოში მდინარეთა ქსელი შედგება თითქმის 8 ათასი (31%) მდინარისაგან, რომელთა საერთო სიგრძე 25 ათას კმ-ს (41%) შეადგენს, ქსელის სიმჭიდროვე – 0.68 კმ/კმ<sup>2</sup>. საქართველოს მდინარეები ეკუთვნიან შავი (დას. საქართველოში) და კასპიის (აღმ. საქართველოში) ზღვების აუზებს.

აღმოსავლეთ საქართველოს თითქმის ყველა მდინარე ქმნის მტკვრის ერთიან სისტემას და ჩაედინება კასპიის ზღვაში, დას. საქართველოს მდინარეები კი დამოუკიდებლად ერთვიან შავ ზღვას. საქართველოს (ასევე ამიერკავკასიის) უდიდესი მდინარეა მტკვარი. საქართველოს ტერიტორიაზეა მხოლოდ მისი შუაწელი (400კმ ფარგლებში). სათავე თურქეთში აქვს, კასპიის ზღვას ერთვის აზერბაიჯანის ტერიტორიაზე. მთავარი შენაკადებია ფოცხოვისწყალი, ღიახვი, ქსანი, არაგვი, ფარავანი, ალგეთი, ქცია-ხრამი. მინგეჩაურის

წყალსაცავის შექმნამდე მტკვრის უდიდესი შენაკადი იყო ალაზანი ივრით, ამჟამად ისინი მინგეჩაურის წყალსაცავს ერთიან. კასპიის ზღვის აუზს ეკუთვნის აგრეთვე მდინარეები თერგი (საქართველოს ფარგლებში 85კმ-ზე მიედინება) და ანდის ყოისუს მდგენელები – პირიქითი ალაზანი და თუშეთის ალაზანი. საქართველოს მდინარეები საზრდოობს მყინვარის, თოვლის, წვიმისა და მიწისქვეშა წყლებით (დანართი 3. სურათი 3.1, 3.2, 3.3).

მდინარეთა ქსელის ძირითად ნაწილს წარმოადგენენ სრულიად პატარა და ძალიან პატარა კლასის მდინარეები, რომელთა სიგრძე <10 კმ-ზე. მათ წილზე მოდის 25 ათასი (97%) მდინარე, საერთო სიგრძით – 43 ათასი კმ (72%). ასევე ბევრია პატარა კლასის მდინარე, რომელთა სიგრძე 10-100 კმ-ს შეადგენს. მათ წილზე მოდის 690 (2.6%) მდინარე, საერთო სიგრძით 13 ათასი კმ (22%). ძალიან უმნიშვნელოა საშუალო კლასის მდინარეთა რაოდენობა, რომელთა სიგრძე შეადგენს 101-500 კმ-ს. ასეთი მდინარე სულ 14-ია (0.027%). ისინი გამოირჩევიან შენაკადების დიდი რაოდენობით. პირველ ადგილზეა მდ. მტკვარი, რომლის აუზში ირიცხება 6434 (24.7%) მდინარე, საერთო სიგრძით 13656კმ (22.9%). მდინარეები, რომელთა ქსელი შედგება 1000-3000 შენაკადისაგან, 6-ია: ყვირილა (3320 მდინარე, 6112კმ საერთო სიგრძით), ქცია-ხრამი (2260 მდინარე და 6717კმ), ალაზანი (1796 მდინარე და 6845კმ), აჭარისწყალი (1511 მდინარე და 2115კმ), ხობისწყალი (1038 მდინარე და 1635კმ), კოდორი (1307 მდინარე და 2121კმ) [16].

მდინარეები განირჩევიან წყალშემკრები აუზის ფართობებით; იგი დიდ გავლენას ახდენს მდინარის წყლიანობაზე და ფართო გამოყენება აქვს ჰიდროლოგიურ და ჰიდროგრაფიულ გაანგარიშებებში. მდინარე მტკვრის აუზი – 188000კმ<sup>2</sup> (საქართველოს ფარგლებში 19050კმ<sup>2</sup>), ჭოროხი – 22100კმ<sup>2</sup> (საქართველოს ფარგლებში 1600 კმ<sup>2</sup>), რიონი – 13400კმ<sup>2</sup>, ალაზანი – 10800კმ<sup>2</sup> (საქართველოს ფარგლებში – 5943კმ<sup>2</sup>), ქცია-ხრამი – 8340კმ<sup>2</sup> (საქართველოს ფარგლებში 4600კმ<sup>2</sup>), იორი – 4650კმ<sup>2</sup> (საქართველოს ფარგლებში 4190კმ<sup>2</sup>), ენგური – 4060კმ<sup>2</sup> და სხვა. საერთოდ ჭარბობენ მდინარეები, რომელთა წყალშემკრები აუზის ფართობი <500კმ<sup>2</sup>, მათ წილზე მოდის მდინარეების საერთო რაოდენობის 99.8%. საქართველოს წყლის ჯამური რესურსები 100კმ<sup>3</sup>-ს

აღწევს. აქედან, მდინარეების წილად მოდის 65კმ<sup>3</sup>, მყინვარების – 30კმ<sup>3</sup>, ტბების–0.72კმ<sup>3</sup>, წყალსაცავების – 3.32კმ<sup>3</sup>, ჭაობების – 1.9კმ<sup>3</sup> მოცულობის წყალი. მათ შორის დაახლოებით 35კმ<sup>3</sup> მოცულობის წყალი, რომელიც თავმოყრილია მყინვარებში, ტბებში, წყალსაცავებსა და ჭაობებში, წყლის საუკუნოვან მარაგს წარმოადგენს და წყლის წრებრუნვაში ნაკლებ მონაწილეობას იღებს. 65კმ<sup>3</sup> მოცულობის მდინარის ჩამონადენიდან 56.5კმ<sup>3</sup> ფორმირდება საქართველოს ტერიტორიაზე, რაც მთელი ჩამონადენის 86%-ს შეადგენს. დანარჩენი 8.74კმ<sup>3</sup> (14%) შემოდის მის გარეთ მდებარე ტერიტორიებიდან (სომხეთიდან და თურქეთიდან). საქართველოს ტერიტორიაზე წყლის ეს რესურსები არათანაბრადაა განაწილებული, რაც კარგად ჩანს ცხრილი 1-დან.

**ცხრილი 1. წყლის რესურსების განაწილება რეგიონების მიხედვით 1980 წ. დონეზე (ჩამონადენი კმ<sup>3</sup>-ში)**

რეგიონი	ადგილობრივი	მეზობელი ქვეყნიდან შემოსული	ჯამი
<b>დასავლეთ საქართველო</b>	<b>43.8</b>	<b>6.62</b>	<b>50.4</b>
<b>აღმოსავლეთ საქართველო</b>	<b>12.7</b>	<b>2.12</b>	<b>14.8</b>
<b>სულ</b>	<b>56.5</b>	<b>8.74</b>	<b>65.2</b>

რეგიონებში ჩამონადენი კიდევ უფრო არათანაბრადაა განაწილებული. მის ნათელ სურათს იძლევა ჩამონადენის განაწილება ადმინისტრაციული რაიონების მიხედვით. დიდი ჩამონადენით (3.0კმ<sup>3</sup> და მეტი) გამოირჩევიან გუდაუთის, სოხუმის, გულრიფშის და ოჩამჩირის რაიონები. ასევე შედარებით დიდი (1.5-2.0კმ<sup>3</sup>) ჩამონადენით გამოირჩევიან ისევ დასავლეთ საქართველოს სხვა ადმინისტრაციული რაიონები. განსაკუთრებით დაბალი ჩამონადენი (0.1-0.2კმ<sup>3</sup>-ზე ნაკლები) გვაქვს აღმოსავლეთ საქართველოს აღმოსავლეთ და სამხრეთ რაიონებში. დანარჩენ რაიონებში ეს ჩამონადენი მერყეობს 0.2-1.0კმ<sup>3</sup> ფარგლებში [34].

გამოყენებული წყლის რესურსებიდან მდინარეებს უბრუნდება მხოლოდ 20-25% წყალი, დანარჩენი იხარჯება მცენარეების ვეგეტაციაზე, აორთქლებაზე, ნიადაგში ჩაჟონვაზე და სხვა. ამასთან,

საყურადღებოა, რომ განახლებადი წყლის რესურსების წყლების სარწყავ ტერიტორიაზე მისაყვანად გაყვანილია 10 ათასი კმ სიგრძის არხები (დასაშრობი არხების ჩათვლით), რაც მდინარეების საერთო სიგრძის 40%-ს შეადგენს. ეს ცხადია, ზრდის წყლის დანაკარგებს.

სასოფლო-სამეურნეო კულტურების წყალუზრუნველყოფის ყველაზე უფრო დაძაბული პერიოდი, ცხადია, იქნება მაშინ, როცა ირიგაციული წყალმომარების მაქსიმუმი დაემთხვევა სარწყავი წყლის წყაროში წყალმცირობის პერიოდს.

აღმოსავლეთ საქართველოში სარწყავი წყლის წყაროდ მიღებულია 17 ძირითადი მდინარე მათზე მიმაგრებული არსებული და პერსპექტიული სარწყავი ფართობებით. ეს მდინარეები საანგარიშო კვეთით და მათზე მიმაგრებული სარწყავი ფართობებით შემდეგია: ფოცხოვი – შესართავი, 7.1 ათასი ჰა; ფარავანი – შესართავი, 12.8 ათასი ჰა; ბუგდაშენი – შესართავი, 18.2 ათასი ჰა; ყარაბულახი – შესართავი, 10.2 ათასი ჰა; მაშავერა – შესართავი, 8.9 ათასი ჰა; ასლანკა – შესართავი, 4.3 ათასი ჰა; ალგეთი – შესართავი, 14.5 ათასი ჰა; ქცია-ხრამი – ს. დაგეთხაჩინი, 67.1 ათასი ჰა; დებედა – ს. სადახლო, 14.0 ათასი ჰა; თეძამი – შესართავი, 6.2 ათასი ჰა; ქსანი – ს. კორინთა, 4.5 ათასი ჰა; არაგვი – ს. ჟინვალი, 21.5 ათასი ჰა; მტკვარი – ქ. რუსთავი, 96.1 ათასი ჰა; იორი – კაზანიანის მთასთან, 136.3 ათასი ჰა; ალაზანი – ქვემო ალაზნის არხის სათავესთან, 262.4 ათასი ჰა.

სარწყავი წყლის წყაროდ დასახულ მდინარეთა ირიგაციული შესაძლებლობების შეფასების მთელი რიგი მეთოდებია შემუშავებული.

ასე მაგალითად, მ. ნ. ბოლშაკოვის მიერ შემოთავაზებულ იქნა შეფასების მისეული სქემა, რომლის მიხედვითაც მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული სარწყავი სისტემის წყალმომთხოვნილების ორი დამახასიათებელი ნორმა: ოპტიმალური და კრიტიკული წყალმომთხოვნილება. დაურეგულირებელი მდინარეული ჩამონადენის მორწყვის უნარიანობის განსაზღვრის საკითხს ეძღვნება ვ. ვ. ტროფიმოვის ნაშრომი, რომელშიც მითითებულია, რომ გარკვეული უზრუნველყოფის უწყვეტი რწყვის გაზომვა შეიძლება სარწყავი ფართობით და გარკვეული უზრუნველყოფის საანგარიშო ხარჯით (95-97%-იანით) [30, 73].

მოგვიანებით მდინარეთა მორწყვის უნარიანობის კექტრებში შეფასების ანალოგიურ პრინციპზე დაფუძნებული გათვლის მოდელი და სქემა წარმოადგინა კ. ა. პაპელიშვილმა [60].

აღსანიშნავია, აგრეთვე მეორე ჯგუფი შრომებისა, რომლებიც ეძღვნება წყალსამეურნეო, მათ შორის მდინარეული წყლის ნაკადის ოპტიმალური მორწყვის უნარიანობის გაანგარიშების მეთოდებს, რომლებსაც მათემატიკური და ალბათობრივ-სტატისტიკური მეთოდები უდევს საფუძვლად ელექტრო-გამომთვლელი მანქანების გამოყენებით. ამ მხრივ გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენს ბ. ა. გლეიხერის ნაშრომი, რომელშიც სარწყავი სისტემების ძირითადი პარამეტრების შეფასება წარმოებს ტექნიკო-ეკონომიკური ოპტიმიზაციის წესით. სარწყავი სისტემების ძირითადი პარამეტრების შეფასების ავტორისეულ მეთოდოლოგიაში დაყენებული და გადაწყვეტილია ორი ამოცანა: როცა გამოყენებული წყლის წყარო ხასიათდება არასაკმარისი წყლის რესურსებით (მცირე მდინარეები, ტბები) და როცა წყლის წყაროს რესურსები საკმარისია. ამასთან, მცენარეებისათვის მთლიანი წყალმოთხოვნილების განსაზღვრას ავტორი ა. მ. და ს. მ. ალპატიევიების მიერ დამუშავებული ბიოკლიმატური მეთოდების საშუალებით გვთავაზობს, ხოლო დასახული ამოცანების გადასაწყვეტად ქმნის მოდელირებადი პროცესების კანონზომიერებათა შესაბამის ხელოვნურ რიგებს მონტე-კარლოს მეთოდით [40].

## **12. მდინარეთა შესაძლო ირიგაციული წყალუზრუნველყოფის შეფასება**

ისეთ გვალვიან რაიონში, როგორცაა აღმოსავლეთ საქართველო, სარწყავი წყლის წყაროდ მიჩნეულ მდინარეთა აუზებში განლაგებული სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ქვეშ არსებული ფართობების სარწყავი წყლით უზრუნველყოფა დამოკიდებულია თვით ამ მდინარეთა ირიგაციულ შესაძლებლობებზე. მაგრამ სარწყავი მიწათმოქმედების არსებულმა პრაქტიკამ აჩვენა, რომ საქართველოს აღმოსავლეთ რაიონები სარწყავი წყლის მნიშვნელოვან დეფიციტს განიცდიან,

განსაკუთრებით იმ წყალმცირე მდინარეთა აუზებში, რომელთა უმრავლესობაც მდ. მტკვრის შენაკადს წარმოადგენს. აღნიშნულ გარემოებას განსაკუთრებით ხელს უწყობს აღმოსავლეთ საქართველოს ბუნებრივი პირობების სპეციფიურობა, როცა ხშირად ვეგეტაციის პერიოდში მდინარეული ჩამონადენის მოცულობები და მოსული ატმოსფერული ნალექები ვერ აკმაყოფილებს ამ პერიოდში სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა გაზრდილ წყალმოთხოვნილებას. ამიტომ სარწყავად გამოსადეგი მიწების წყლით უზრუნველყოფის საკითხის სწორად გადასაწყვეტად პირველ რიგში აუცილებელია სარწყავი წყლის წყაროდ დასახულ მდინარეთა შესაძლო ირიგაციული წყალუზრუნველყოფის შეფასება. ამ მხრივ ბოლო 50 წლის განმავლობაში მდინარეთა ირიგაციული შესაძლებლობების შეფასების მთელი რიგი მეთოდები იქნა დამუშავებული [18, 40, 60, 64, 66, 75, 80 81].

დასახელებულ მეთოდებს ერთი საერთო მომენტი გააჩნიათ, სახელდობრ ის, რომ ყველა შემთხვევაში რწყავდი ან მომავალში მოსარწყავად დასახული ფართობების მდინარეებიდან შესაძლებელი წყალუზრუნველყოფის შეფასება წარმოებს წყლის ჩამონადენისა და წყალმოსხმარების საანგარიშო რეჟიმების ურთიერთ შედარების გზით, რაც უაღრესად მნიშვნელოვანია. ხოლო შემდეგ უკვე მდინარეთა ირიგაციული შესაძლებლობების საანგარიშო მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის თვითოეული ავტორი ამა თუ იმ მეთოდის შერჩევას ახდენს.

სარწყავი წყლის ირიგაციული შესაძლებლობების შესაფასებლად მისი ჩამონადენისა და წყალმოსხმარების რეჟიმის ურთიერთ შედარება ვეფიქრობთ ყველაზე უფრო დამაჯერებელი და მისაღებია. ამიტომ წინამდებარე ნაშრომში მდინარის ირიგაციული შესაძლებლობების შეფასების კრიტერიუმად მიღებულია მასზე დაქვემდებარებული ფართობების მოსარწყავად საჭირო წყლის რაოდენობის (ფართობის სიდიდე წყალმოთხოვნილების მოცულობაშია გამოსახული) ვეგეტაციის პერიოდში მდინარეული ჩამონადენის წყლის რეჟიმთან ურთიერთ შედარება. ამასთან განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა იმ გარემოებას, ემთხვევა თუ არა ვეგეტაციის პერიოდში მდინარის

ჩამონადენის რეჟიმი იმავე პერიოდის წყალმოთხოვნილების რეჟიმს. სასოფლო - სამეურნეო კულტურების წყალუზრუნველყოფის ყველაზე უფრო დაძაბული პერიოდი იქნება მაშინ, როცა ირიგაციული წყალმომარების მაქსიმუმი დაემთხვევა სარწყავი წყლის წყაროში წყალმცირობის პერიოდს.

ირიგაციული წყლის რესურსები, ანუ წყალუზრუნველყოფის სიდიდეების როგორც წლიური ისე შიდაწლიური განაწილების ნორმების რიცხობრივი მაჩვენებლები, აღებულ იქნა შრომებიდან [21, 18, 80, 81].

მოსული და მოსახმარებელი წყლის მოცულობების შედარება შესრულებულია ცხრილის სახით (დანართი 1. ცხ. 1.1). სარწყავი წყლის წყაროდ მიღებული თითოეული მდინარისათვის ხდება საანგარიშო კვეთში “მოსული” წყლის ყოველთვიური მოცულობის (მლნ.მ<sup>3</sup>-ში) შედარება ყოველთვიური წყალმოთხოვნილების (“დასახარჯი”) მოცულობასთან (მლნ.მ<sup>3</sup>) იმავე მდინარის აუზების მიხედვით, მდინარეული ჩამონადენის და აუზის ტერიტორიის ნალექებით 50, 75 და 95%-ანი უზრუნველყოფის სამი გრადაციის შემთხვევაში. აქვე ხდება წყლის მოსული და მოხმარებისათვის განკუთვნილი მოცულობების “სხვაობის” დადგენა, რომლის მოხედვითაც შეიძლება შეფასდეს მდინარეული ნაკადის შესაძლებლობა, კერძოდ უზრუნველყოფს მოსული წყალი შესაბამის მოთხოვნილებას (რაც ცხრილში “+” ნიშნით აღინიშნა) თუ სარწყავი წყლის დეფიციტია მოსალოდნელი (რაც “-” ნიშნით აღინიშნა). აქვეა ნაჩვენები სარწყავად ფაქტობრივად “დახარჯული” წყლის და შემდეგ “დარჩენილი” ჩამონადენის შესაძლო მოცულობა დანაბრუნი წყლის გარეშე. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ირიგაციის შედეგად დარჩენილი დანაბრუნი წყლის მოცულობა განისაზღვრება სარწყავ სისტემებში დანაკარგების 50%-ს ოდენობით, როგორც ეს რეკომენდირებულია წყალსამეურნეო ბალანსის შედგენის საერთაშორისო სახელმძღვანელოს მიერ (“Руководство по составлению водохозяйственных балансов”. Нью-Йорк, Изд. ООН, 1974. 88с.) [56].

ამგვარად, სარწყავი წყლის წყაროდ გამოყენებულ მდინარეთა ირიგაციული შესაძლებლობების შეფასება შესრულებულია მოსარწყავად პირობითად 2015 წლის დონეზე დასახული და არსებული

სარწყავი ფართობების მიმართ, ე.ი. შექცეებს თუ არა ესა თუ ის მდინარე მასზე მიმაგრებული ამა თუ იმ სიდიდის სასოფლო-სამეურნეო საგარეულების სარწყავი წყლით უზრუნველყოფას.

ცხრილის მიხედვით (დანართი 1. ცხ. 1.1) მდინარეთა აუზებში მკვეთრად გამოიყოფა ორი პერიოდი: პირველი – ინტენსიური წყალმოსმარებისა და სარწყავი წყლის დეფიციტის პერიოდი, რომელიც ძირითადად ვეგეტაციის სეზონს ემთხვევა (IV-X), განსაკუთრებით IV-VI, VII, VIII თვეებში, მით უმეტეს, რომ VII და VIII თვეები მდინარეებში წყალმცირობის სეზონს ემთხვევა, და მეორე – X-XI, I-III თვეების პერიოდი, როცა ჩამონადენის გარკვეული მატება და მინიმუმამდე დასული წყალმოსმარება წყლის საკმაოდ დიდი მარაგის დაგროვების საშუალებას განაპირობებს.

საკვლევი ტერიტორია, უკიდურესი ჩრდილო-აღმოსავლეთი ნაწილის გამოკლებით, თითქმის მთლიანად მდინარე მტკვრის აუზში მდებარეობს. ამ მდგომარეობამ შესაძლებლობა მოგვცა უფრო ადვილად აგვერიცხა ირიგაციული წყლის რესურსები მდ. მტკვარზე (ივრისა და ალაზნის გარდა) როგორც საქართველო-აზერბაიჯანის სახელმწიფო საზღვართან დანიშნულ შეუსწავლელ კვეთში, ისე ქ. რუსთავთან და ქ. თბილისთან არსებულ შესწავლილ უახლოეს კვეთში, ხოლო მდინარეებზე იორსა და ალაზანზე ირიგაციული წყლის რესურსები აღრიცხულ იქნა მათთვის მიღებულ საანგარიშო კვეთებში. ამრიგად, სააღრიცხვო ტერიტორია, მასზე ირიგაციული წყლის რესურსების აღრიცხვისათვის, მიღებულ იქნა აღმოსავლეთ საქართველოს ფარგლებში მოქცეული მდ. მტკვრის აუზის წყალგამყოფი ხაზით შემოფარგლული ტერიტორია, მდინარეების ივრისა და ალაზნის წყალშემკრებ აუზებთან ერთად. მიღებული ტერიტორია დაყოფილ იქნა ცალკეულ ხუთ სააღრიცხვო ირიგაციულ ზონად, საზღვრების დადგენით არსებული რეკომენდაციების შესაბამისად. ჩვენს მიერ გამოყოფილი ირიგაციული ზონები შეესაბამება “საქწყალპროექტის” მიერ აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის ზონებად დაყოფას (ცხრილი 2; დანართი 1. ცხ. 1.2, 1.3; დანართი 3. სურ. 3.6) [64, 24, 72, 47, 48, 49].



### 13. ოპტიმალური წყალმოთხოვნილება

მელიორაციის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას შეადგენს ნიადაგში წყლისა და ჰაერის რეჟიმის რეგულირება მცენარის მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად. როგორც ცნობილია, ნიადაგში ტენისა და ჰაერის ისეთ თანაფარდობას, რომელიც საუკეთესოა მცენარის ზრდისა და განვითარებისათვის, ოპტიმალურს უწოდებენ. ნიადაგში ოპტიმალური ტენის შემცველობას თავისი გარკვეული საზღვრები გააჩნია: ზედა და ქვედა. ამიტომ მორწყვის რეჟიმი ისე უნდა იყოს დადგენილი, რომ მცენარის ვეგეტაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში ნიადაგში ტენიანობის შემცველობა შენარჩუნებულ იქნას ამ ორ საზღვარს შორის. ნიადაგის ოპტიმალური ტენიანობის ზედა საზღვრად ყველა ნიადაგისა და მცენარისათვის მიჩნეულია ტენიანობის სიდიდე, რომელიც ნიადაგში ზღვრული წყალტევადობის ტოლია, ანუ წყლის იმ მაქსიმალური რაოდენობის რომელსაც ნიადაგი სტატიკურ, უძრავ მდგომარეობაში დააკავებს და რომელიც არ ჩაედინება დრმა ფენებში. ზღვრულ წყალტევადობაზე მეტი რაოდენობით მიწოდებული წყალი უკვე არ ჩერდება მოცემულ ფენებში და თავისი სიმძიმის ძალის ზეგავლენით ქვემოთ ჩაედინება. მას დიდი მნიშვნელობა აქვს სამელიორაციო გაანგარიშებებისათვის. იგი საფუძვლად უდევს რწყვის რეჟიმის რეგულირებას. ნიადაგის ზღვრული წყალტევადობა, ანუ ოპტიმალური ტენის ზედა საზღვარი საკმაოდ სტაბილური სიდიდეა ქვედა საზღვართან შედარებით, რომელიც გარკვეული ცვალებადობით ხასიათდება. მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნიადაგის მექანიკურ შემადგენლობაზე, მის სიმკვრივეზე, სტრუქტურაზე, ნიადაგში მარილებისა და ჰუმუსის რაოდენობაზე და ა.შ. [16, 22, 24, 51, 76, 49, 86].

ნიადაგის ოპტიმალური ტენიანობის ქვედა საზღვრის სიდიდე დამოკიდებულია ისეთ ფაქტორებზე, როგორცაა მცენარის სახეობა, მისი ვეგეტაციის ფაზათაშორის პერიოდები, ნიადაგის ფიზიკური და წყლური თვისებები და ა.შ. ეს სიდიდე შეიძლება დადგენილ იქნას როგორც თეორიული, ისე ექსპერიმენტალური გზით, თუმცა მეორე გზა საკმაოდ შრომატევადია, ძვირადღირებული და 2-3 წლის ექსპერიმენტს მოითხოვს. აღმოსავლეთ საქართველოს პირობებში, მოხსენებული

**ცხრილი 2. პერსპექტივაში მოსარწყავად დასახული მიწების განაწილება  
ორიგაციული ზონებისა და კულტურების მიხედვით (ჰა)**

№	ს/ს კულტურები	სარწყავი მიწები (ჰა) კულტურების ქვეშ ზონების მიხედვით									
		I ზონა		II ზონა		III ზონა		IV ზონა		V ზონა	
		ჰა	%	ჰა	%	ჰა	%	ჰა	%	ჰა	%
1.	ხესილის ბაღები	9530	13,7	55219	53,8	11564	13,7	8419	7,2	14047	3,8
2.	ვენახები	670	0,9	13976	11,5	10719	12,7	16204	13,7	89800	24,5
3.	დანარჩენი მრავალწ. ნარგავ	-	-	248	0,2	126	0,1	155	0,1	1969	0,5
4.	საშემოდგომო ხორბალი	1000	1,4	8221	6,8	5461	6,4	7388	6,2	57890	15,8
5.	საშემოდგომო შვრია	-	-	1510	1,3	8938	10,6	7154	6,0	8116	2,2
6.	სიმინდი სამარცვლელ	2421	3,5	9869	8,2	4282	5,2	7880	6,6	20602	5,6
7.	დანარჩენი მარცვ. და პარკოსნები	3882	5,6	1450	1,2	824	1,0	5865	5,0	2894	0,8
8.	შაქრის ჭარხალი	-	-	3300	2,7	-	-	-	-	-	-
9.	თამბაქო	-	-	-	-	-	-	2930	2,5	2650	0,7
10.	მზესუნშირა	-	-	-	-	50	0,1	300	0,2	12350	3,4
11.	ეთერზეთოვან ი	-	-	-	-	-	-	1000	0,8	3000	0,8
12.	კარტოფილი	6378	9,2	373	0,3	850	1,0	5751	4,9	803	0,2
13.	ბოსტან- ბაღები	1234	1,8	4123	3,4	10760	12,7	10613	9,0	10892	3,0
14.	სიმინდი სიფოსად და მწვ. საკვებად	659	0,9	2961	2,4	5298	6,3	5080	4,3	11677	3,2
15.	მრავალწლიუ რი ბაღახეები	15101	21,7	9280	7,7	9134	10,8	12499	10,6	33415	9,1
16.	ერთწლიანი ბაღახეები	1300	1,9	40	0,03	2055	2,4	170	0,1	555	0,2
17.	დანარჩენი საკვები კულტურები	3225	4,6	630	0,5	379	0,4	1980	1,7	1740	0,5
18.	სათიბები	-	-	-	-	3000	3,6	-	-	-	-
19.	საძოვრები	24200	34,8	-	-	10900	13,0	25000	21,1	94000	25,7
20.	სულ ზონაში	69600	63,4	111200	45,2	84340	84,4	118388	78,8	366400	93,3

კულტურისათვის ჩვენს მიერ ნაშრომში გამოყენებულ იქნა ადრე მიღებული შედეგები, მას საფუძვლად დაედო ა. რ. კონსტანტინოვის მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა აგებულ იქნას მცენარის წყალმთხონილების მრუდები, რომლებიც ერთმანეთთან აკავშირებს ნიადაგის ზედაპირიდან ჯამური აორთქლების სიდიდეს და ნიადაგის ტენიანობას მოცემული აორთქლებადობის შემთხვევაში. წყალმთხონილების მრუდები გვიჩვენებენ მცენარის წყალმთხონილების ცვლილებას მისი ზრდისა და განვითარების სხვადასხვა ფაზთაშორისო პერიოდებში. დამტკიცებულია, რომ მხოლოდ მაქსიმალური წყალმთხონილების დროს მიიღება მაქსიმალური მოსავალი, რადგან მაქსიმალური წყალმთხონილება ნიადაგში ოპტიმალური ტენიანობის პირობებს უზრუნველყოფს. წყალმთხონილების მრუდების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ნებისმიერი სასოფლო-სამეურნეო კულტურით დაკავებული ფართობიდან ჯამური აორთქლების სიდიდე მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს არა ნიადაგის ზღვრული წყალტევადობისას, არამედ მაშინ, როცა ნიადაგის ტენიანობის სიდიდე ზღვრული წყალტევადობის 93-97%-ს შეადგენს. როგორც ჩანს, ნიადაგის ზღვრული წყალტევადობის დროს მცენარისათვის მყარდება ტენის სიჭარბე, რის გამოც მცენარე შეწუხებულია, ეს კი იწვევს ტრანსპირაციის შემცირებას, რის ხარჯზეც მცირდება ჯამური აორთქლება. აღნიშნულის საფუძველზე აღმოსავლეთ საქართველოს პირობებში ნებისმიერი სასოფლო-სამეურნეო კულტურისათვის ოპტიმალური ტენიანობის ზედა ზღვრად აღებული იქნა ნიადაგის ტენიანობის სიდიდე, რომელიც ტოლია ზღვრული წყალტევადობის 95%-სა [49, 60, 82, 83].

სარწყავი ნორმებისა და ოპტიმალური წყალმთხონილების დასადგენად გამოყენებულ იქნა მორწყვის ნორმების სიდიდეები, რომლებიც მიღებულია ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე სავეგეტაციო თვეებში 19 სასოფლო-სამეურნეო კულტურისათვის აღმოსავლეთ საქართველოს 17 მდინარის აუზისათვის [21, 60, 27, 64].

ვეგეტაციის პერიოდის ყოველთვიური და მთლიანი წყალმთხონილება “ნეტო” – ოპტიმალურის მიღებული მონაცემები მდნ.მპ-ში მდინარეთა აუზების მიხედვით, ნალექებით 50, 75 და 95%-იანი

უზრუნველყოფის დროს, მოყვანილია ცხრილში (დანართი 1. ცხრ. 1. 4). იმისათვის, რომ მდინარეთა აუზების მიხედვით მივიღოთ მთლიანი წყალმთხროვნობა “ბრუტო” (მლნ.მ<sup>3</sup>), უნდა ვიცოდეთ თვითოეული აუზისათვის დამახასიათებელი მარგი ქმედების კოეფიციენტების (მ.ქ.კ.) სიდიდეები. სარწყავი სისტემების პროექტირების ნორმებისა და ახლო პერსპექტივაში (პირობითად 2015 წლისათვის) დასახულ სარწყავ სისტემაში ჩადებული მ.ქ.კ.-ების სიდიდეთა საფუძველზე მდინარეთა აუზებისათვის დადგენილ იქნა მ.ქ.კ.-ების შეწონილი სიდიდეები, რომლებიც ასევე მოყვანილია ცხრილში (დანართი 1. ცხრ. 1.4). აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მთლიანი წყალმთხროვნობის სიდიდეების დასადგენად ეს კოეფიციენტები გამოყენებულია მხოლოდ თვითდინებით ზედაპირული მორწყვის წესის შემთხვევაში. ამავე ცხრილშია მოყვანილი აუზების მიხედვით სარწყავი ფართობების სიდიდეები (ათასი ჰა) პერსპექტიული დონისათვის [21, 60, 47, 70, 71, 72].

ამრიგად, ჩატარებულმა გამოკვლევებმა საშუალება მოგვცა დაგვედგინა წყალმთხროვნობის სიდიდეები 1-ჰა-ზე “ნეტო” და “ბრუტო” (მ<sup>3</sup>) და ვეგეტაციის პერიოდის მთლიანი და ყოველთვიური წყალმთხროვნობა “ბრუტო” (მლნ.მ<sup>3</sup>) მდინარეთა აუზების მიხედვით ნალექებით 50, 75, 95%-ანი უზრუნველყოფის დროს. მიღებული შედეგები მოყვანილია ცხრილში (დანართი 1. ცხრ. 1.5).

#### **1.4. საქართველოს გვაღვიან რაიონებში თანამედროვე მორწყვის წესების დანერგვის ჰიდროლოგიური და ირიგაციული ეფექტის შეფასება**

სარწყავ მიწათმოქმედებას საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო წარმოების პრაქტიკაში საკმაოდ დიდი ადგილი ეკავა, განსაკუთრებით XX საუკუნის 20-იანი წლებიდან დაწყებული. ფართოდ გამოყენებულ თვითდინებით ზედაპირულ მორწყვასთან ერთად ვითარდებოდა წყლის მექანიკური აწვეითა და ხელოვნური დაწვიმებით მორწყვის სახეები.

დღეისათვის მსოფლიო ირიგაციულ პრაქტიკაში არსებული მორწყვის წესები მრავალნაირია, მაგრამ მათ შორის რამდენიმე ძირითადი წესი გამოირჩევა. ესენია:

- თვითღინებით ზედაპირული რწყვა;
- ხელოვნური დაწვიმებით რწყვა;
- ადრე გაზაფხულზე ზედაპირული ჩამონადენით ანუ ლიმანური რწყვა;
- ქვენიდაგიდან რწყვა;
- წვეთოვანი რწყვა.

საქართველოში ძირითადად გამოიყენება თვითღინებით ზედაპირული რწყვები. მაგრამ საქართველოში წვეთოვანი მორწყვის წესის დანერგვა უადრესად მიზანშეწონილად უნდა ჩაითვალოს. მორწყვის აღნიშნული წესი საკმაოდ პერსპექტიულია და, შეიძლება, არც ისე ძვირი დაჯდეს, როგორც თვითღინებით ზედაპირული და მითუმეტეს, ხელოვნური დაწვიმების სარწყავი სისტემები, ან მათი აღდგენა – რეკონსტრუქცია. შეიძლება ბევრად უფრო იაფიც დაჯდეს, თუ თვითღინებით ზედაპირული მორწყვის არსებული მუდმივი ქსელი იქნება გამოყენებული სარწყავ ფართობებამდე წყლის მისაყვანად იმ მიწებზე, რომელთა ქანობები 3%-ს არ აღემატება. ასეთი მორწყვის მთლიანი ფართობი აღმოსავლეთ საქართველოს პირობებში 415.7 ათას ჰა შეადგენს [17, 19, 20].

მართალია ამ შემთხვევაში შეიძლება რამოდენიმედ შემცირდეს სისტემის მ.ქ.კ. სავარაუდოდ 0.85-მდე, მაგრამ ვეგეტაციის პერიოდში წყლის მოსალოდნელი დანაკარგების კომპენსირება შეიძლება სამარაგო წყალსაცავების მოწყობით. ხოლო რაც შეეხება 3%-დან 40%-მდე ქანობიან მიწებზე არსებულ სარწყავ ფართობებს (712.3 ათასი ჰა), მათ ასათვისებლად წვეთოვანი მორწყვის სისტემა იდეალურად უნდა ჩაითვალოს, განსაკუთრებით 10-დან 40%-მდე ქანობიან მიწებზე (334.46 ათასი ჰა).

განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს, რომ წვეთოვანი მორწყვის წესი, რომელიც ისრაელში განვითარდა, დღეისათვის თითქმის მთელ მსოფლიოში გავრცელდა. დიდი ხანია რაც პატარა ქვეყანაში წვეთოვანი მორწყვის სარწყავი სისტემები არსებულ ბუნებრივ

პირობებთან კარგად შერწყმულ თვითმართავ ავტომატიზირებულ სისტემებს წარმოადგენენ.

დღეისათვის მსოფლიო ირიგაციულ პრაქტიკაში უპირატესად სამი ძირითადი წესი გამოიყენება: თვითდინებით ზედაპირული, ხელოვნური დაწვიმებით და წვეთოვანი მორწყვა. მათგან ყველაზე უბედურესია თვითდინებით ზედაპირული მორწყვის წესი. დაწვიმებით მორწყვას მხოლოდ ერთი საუკუნის ისტორია თუ აქვს, ხოლო წვეთოვანი მორწყვის წესი დღევანდელი სახით მხოლოდ ორ-სამ ათეულ წელს ითვლის.

მორწყვის ამა თუ იმ წესის დანერგვისას, ალბათ, გადამწყვეტი მნიშვნელობა უნდა მიენიჭოს ქვეყნის, მხარის, რაიონის სწორედ ისეთ სპეციფიურ პირობებს, როგორც არის რელიეფისა და კლიმატის თავისებურებანი და წყლის რესურსების მდგომარეობა, ამ პირობებში განხორციელებული სარწყავი სისტემის რენტაბელობა და სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მაქსიმალური მოსავლის მიღება, რასაც განაპირობებს სტაბილური მორწყვის ჩატარება.

სარწყავი მიწათმოქმედება გარკვეულ მოთხოვნილებებს უყენებს მორწყვის ჩატარებას სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების დამუშავებისა და კულტურების მოვლის თვალსაზრისით. მორწყვის წესები, მორწყვის ტექნიკა, აუცილებლად უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს:

1. უნდა უზრუნველყოფდეს ნიადაგში ფესვთა სისტემის განვითარების ძირითადი ფენის თანაბარ გატენიანებას და მოსარწყავი ნაკვეთის მთელ ფართობზე სარწყავი წყლის თანაბარ განაწილებას, ისეთნაირად, რომ არ იქნას დაშვებული ფართობზე ზედაპირული ნარჩენი წყლის წარმოშობა, ან სიღრმეში ჩაქონვაზე წყლის დანაკარგები;
2. არ უნდა ახდენდეს სახნავი ფენის გამკვრივებას, ნიადაგის სტრუქტურის დაშლას და ნიადაგის ეროზიის ხელშემწყობი პირობების წარმოქმნას;
3. არ უნდა ქმნიდეს ძირითადი საველე სამუშაოების (ხვნა, ვეგეტაციის პერიოდში რიგთაშორისო და ჯვარედინი დამუშავება,

სასუქების შეტანა, მოსავლის აღება) მექანიზაციის ხელშემშლელ პირობებს;

4. არ უნდა იწვევდეს ნიადაგის აქტიური ფენიდან სასუქების უფრო ღრმა ფენებში ჩარეცხვას ან მათ შემდგომ გამორეცხვას და ნიადაგური ხსნარების კონცენტრაციის დაწევას;
5. არ უნდა იწვევდეს მცენარეთა ნორმალური ზრდა-განვითარებისათვის ხელის შემშლელი პირობების შექმნას;
6. უნდა იძლეოდეს რწყვის მცირე ნორმების გამოყენების შესაძლებლობას;
7. უნდა იძლეოდეს ბუნებრივი ნალექების ყველაზე უფრო სრული გამოყენების შესაძლებლობას;
8. უნდა უზრუნველყოფდეს შრომის მაღალწარმოებლობას და უწყვეტი და დროული დღეღამური რწყვების ჩატარებას;
9. უნდა უზრუნველყოფდეს ენერჯის და საშენი მასალების (საწვავი, ელექტროენერჯია, ლითონი, ცემენტი, ხე-ტყე და სხვა.) საჭირო მინიმალურ დანაკარგებს.

აღნიშნული მორწყვის ძირითადი წესები ჩამოთვლილ პირობებს, რასაკვირველია, სხვადასხვანაირად პასუხობენ. თვითდინებით ზედაპირული მორწყვის წესებს მთელი რიგი უარყოფითი თვისებები გააჩნიათ, რაც განსაკუთრებით მას შემდეგ გამოძვლავნდა, როცა ამ წესებს გაუჩნდა მორწყვის ალტერნატიული, უფრო პროგრესული წესები, როგორც არის ხელოვნური დაწვიმებით მორწყვა, ხოლო შედარებით მოგვიანებით – წვეთოვანი მორწყვა.

ხელოვნური დაწვიმებით მორწყვის სისტემის განვითარება განსაკუთრებით სწრაფი ტემპით წავიდა მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ. ამ მხრივ საინტერესო სამუშაოები ტარდებოდა აშშ-ში, გერმანიაში, ავსტრალიაში, ინდოეთში, ისრაელში და აგრეთვე საქართველოშიც. დაწვიმებით მორწყვის სისტემის განვითარება უმთავრესად ამა თუ იმ ქვეყნის ბუნებრივი პირობების სპეციფიკასთან დაკავშირებით მიმდინარეობდა. პირველ რიგში ანგარიში ეწეოდა გვაღვიანობის სიმძაფრეს და მის განმეორადობას, არსებული და მიწისქვეშა წყლების მოცულობასა და მათი გამოყენების შესაძლებლობას, ნალექების რაოდენობას, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის

აღბათობას და ტერიტორიულ განაწილებას, რელიეფურ პირობებს. ამასთან მსოფლიო ირიგაციულ პრაქტიკაში მკვეთრად გამოისახა დაწვიმებით მორწყვის ავტომატური სისტემების შექმნის ტენდენცია.

ბევრ ქვეყანაში შეიქმნა ავტომატურად მომუშავე დასაწვიმებელი მანქანების მთელი რიგი სქემებისა, რომელთა საშუალებითაც ხდება მორწყვისას წყლის მიწოდების რეგულირება. ინერგება სატუმბო აღჭურვილობის მუშაობის და სარწყავ ტერიტორიაზე წყლის განაწილების ავტომატიზაცია. შემუშავებულია აგრეთვე ელექტრონულ პროგრამულ მოწყობილობაზე დაფუძნებული დისტანციური მართვის სქემები. რიგ ქვეყნებში კარგა ხანია უკვე მუშაობენ მორწყვის დისტანციურად სამართავი სტაციონალური დასაწვიმებელი დანადგარები, რომლებიც საშუალებას იძლევა დაწვიმებასთან ერთად ერთდროულად ჩატარებულ იქნას გამანოციებელი მორწყვები წყალში გახსნილი სასუქებით, კონტროლის ქვეშ იყოს წყლის ხარჯვა მისი უფრო ეკონომიურად გამოყენების მიზნით, აცილებულ იქნას ნიადაგის ჭარბი გატენიანება.

ხელოვნურ დაწვიმებასთან დაკავშირებით უნდა აღინიშნოს ერთი საკითხი. გ. ვ. ლებედევს მიაჩნია, რომ გვაღვიან რაიონებში წყლის რესურსების მკაცრი ეკონომიის დროს სასოფლო-სამეურნეო კულტურებისათვის მაქსიმალური მოსავლიანობის მისაღებად არ არის საკმარისი მხოლოდ ნიადაგის ტენით უზრუნველყოფა ოპტიმალურ ფარგლებში, არამედ აუცილებელია მცენარეთა ზრდა-განვითარების არის მიკროკლიმატის რეგულირებაც.

ხელოვნური დაწვიმების სისტემა, მისი სხვა უარყოფითი მხარეების გარდა პირველ რიგში, საკმაოდ ძვირადღირებული სისტემაა. ამიტომ ძირითადი ყურადღება მახვილდება წვეთოვანი მორწყვის წესზე.

რასაკვირველია, დაწვიმებით მორწყვა იმ სახით, როგორითაც იგი დღეს თავისი კონსტრუქციული გადაწყვეტით და ტექნიკური აღჭურვილობით გამოიყენება, კერძოდ, საქართველოში და თუნდაც რუსეთში, უკრაინაში, შუა აზიის, ამიერკავკასიის და ზოგიერთ სხვა ქვეყნებში, სარწყავ ფართობებზე წყლის თვითდინებით ზედაპირულ მოწოდებასთან შედარებით მორწყვის უფრო სრულყოფილ, თანამედროვე წესს წარმოადგენს, მაგრამ სარწყავი წყლის დიდი



დეფიციტის მქონე მთელ რიგ რაიონებში დღევანდელი მოთხოვნილების დონეს ვეღარ აკმაყოფილებს. ისრაელში, დიდი ხანია უკვე, რაც ირიგაციული სისტემები სარწყავ ფართობებზე მცენარეებისათვის წყლისა და წყალში გახსნილი სასუქების კომპლექსური მიწოდების თვითმმართველ ავტომატიზირებულ სისტემებს წარმოადგენენ და “წვეთოვანი მორწყვის” სახელით ცნობილი ეს სარწყავი სისტემები მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაშია აღიარებული [19, 95].

ამასთან მორწყვის წვეთოვანი სისტემები საგრძნობლად ზრდიან მცენარეთა მოსავლიანობას და გამოირჩევიან როგორც წყლის უაღრესად რაციონალური გამოყენებით, ისე თვით სარწყავი სისტემის უაღრესად მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით, რომელიც 0.95 და 1.00 შორის მერყეობს.

წვეთოვანი მორწყვა, ნაწილობრივ ხელოვნური დაწვიმებით მორწყვის წესს განეკუთვნება, რადგან, მართალია, წყალი ნიადაგის ზედაპირზე წვეთების სახით მიეწოდება, მაგრამ ფართობზე წყლის მიწოდების წესით წვეთოვანი მორწყვა ორ ნაწილად შეიძლება გაიყოს. ერთ შემთხვევაში წყლის მიწოდება ფართობზე საწვეთების ნიადაგის ზედაპირთან შეხების საშუალებით ხდება, როცა საწვეთები აწვევია ნიადაგის ზედაპირზე და წყალი უშუალოდ ნიადაგის ზედაპირზე გადის ცალკეული წვეთების სახით წვეთ-წვეთად, წვეთების ზემოდან ვარდნის გარეშე. მეორე შემთხვევაში წყლის მიწოდება ფართობზე სხვადასხვა ტიპის წყლის გამაფრქვეველ გამასხურებლებით წარმოებს, როცა წყალი წვრილი წვიმის წვეთების მსგავსად მაღლიდან, მაგრამ მცირე სიმაღლიდან, ეცემა მცენარეებსა და ნიადაგის ზედაპირს.

საერთოდ ხელოვნური დაწვიმებისა და წვეთოვანი მორწყვის წესები ყველაზე უფრო სრულყოფილ თანამედროვე წესებს წარმოადგენენ. ხელოვნური დაწვიმების დროს ფართობს წყალი უნდა მიეწოდოს იმ რაოდენობით, რაც შეესაბამება ნიადაგის წყალგაჟონვის უნარს და არ სჭარბობს მას. ამასთან სწორად ჩატარებული დაწვიმების დროს სარწყავი წყლის ხარჯვა 30-60%-ით მცირდება თვითდინებით ზედაპირულ მორწყვასთან შედარებით, ხოლო წვეთოვანი მორწყვის დროს სარწყავი წყლის ხარჯვა კიდევ უფრო ნაკლებია.

ხელოვნური დაწვიმების დროს უმნიშვნელოვანესია საკითხი ნიადაგის სტრუქტურისა და დაწვიმების ინტენსივობის შესახებ. დაწვიმების ინტენსივობა და წვეთების სიდიდე ისეთნაირად უნდა იყოს შერჩეული, რომ არ დაირღვეს მოსარწყავი ნიადაგის სტრუქტურა, არ გაჩნდეს ზედაპირზე წყლის გუბეები და ჩამონადენი, არ დაზიანდეს მცენარეთა ნაზი ნაწილები – ყვავილები, ნასკვები, ფოთლები. რაც უფრო დიდია ინტენსივობა და მსხვილია წვიმის წვეთები, მით უფრო მცირდება დაწვიმების დადებითი გავლენა და, განსაკუთრებით, მცირდება გატენიანების სიღრმე.

როგორც ა. ნ. კოსტიაკოვი აღნიშნავს, ნიადაგის სტრუქტურისა და აერაციის შენარჩუნების უზრუნველსაყოფად წვიმის ყველაზე უფრო საუკეთესო ინტენსივობას წარმოადგენს 0,10-0,15 მმ/წუთში. ყოველ შემთხვევაში იგი უნდა იყოს არა უმეტეს 0,1-0,2 მმ/წუთში – მძიმე ნიადაგების დროს, 0,2-0,3 მმ/წუთში – საშუალო ნიადაგების დროს და არა უმეტეს 0,5-0,8 მმ/წუთში – მსუბუქი ნიადაგების დროს. ამ მხრივ ყველაზე უფრო ხელსაყრელია წვეთოვანი მორწყვის გამოყენება სარწყავი წყლის მიწოდებით ფართობზე როგორც საწვეთებით ისე გამაფრქვეველ-გამასხურებლებით.

ჰიდროლოგიურ ეფექტში იგულისხმება სარწყავი წყლის მნიშვნელოვანი ეკონომიის მიღება. თავისთავად ცხადია, რომ ჰიდროლოგიური ეფექტი დაწვიმებით მორწყვის გამოყენებისას სხვა იქნება, ხოლო წვეთოვანი მორწყვის წესის დანერგვისას სხვა.

ცნობილია ის გარემოება, რომ დაწვიმების სხვადასხვა წესის გამოყენების დროს სარწყავი ნორმა, ჩვეულებრივ, შედარებით ნაკლებია, ვიდრე თვითდინებით ზედაპირული წესით მორწყვისას.

სხვადასხვა ავტორი დაწვიმების წესით მორწყვისას თვითდინებით ზედაპირულ მორწყვის წესთან შედარებით სარწყავი ნორმის შემცირების სხვადასხვა სიდიდეს იძლევა. ა. ა. ჩერკასოვს მიაჩნია, რომ გვალვიან რაიონებში ზედაპირულ მორწყვასთან შედარებით დაწვიმების სარწყავი ნორმა შეიძლება შემცირდეს 50%-მდე, ხოლო ზომიერად ტენიან ჰავაში – 57-58%-მდეც. ვ. ა. შაუმიანის აზრით ასეთი შემცირება შეიძლება მოხდეს 37-67%-მდე. ხოლო თუ ცალკეულ კულტურებს ავიღებთ, მარცვლოვანებისათვის დაწვიმების სარწყავი ნორმა შეიძლება

შემცირდეს 44-58%-მდე, ნათესი ბალახებისათვის 45-65%-მდე, ბამბისათვის 37-57%-მდე კულტურათა სხვადასხვა ფაზებისა და ნიადაგის შედგენილობის მიხედვით. ი. ა. ჩხენკელს მიაჩნია, რომ ასეთი შემცირება არ უმდა აღემატებოდეს 33-37% და ხაზს უსვამს, რომ დაწვიმების სარწყავი ნორმის ისეთ მინიმუმამდე დაყვანა, რაც ზოგიერთ ლიტერატურულ წყაროშია მითითებული, ყოველად დაუშვებელია. ა. ნ. კოსტიაკოვის აზრით, დაწვიმებით მორწყვის სარწყავი ნორმები შეიძლება შემცირებულ იქნას 20-30% და მეტი. ე. ა. სლადკოვი თვლის, რომ დაწვიმების სარწყავი ნორმები შეიძლება შემცირდეს ბამბისა და შაქრის ჭარხლის რწყვისას 20-30%-ით, ბოსტნეული და ბაღჩეული კულტურებისათვის 20-25%, მარცვლოვანი კულტურებისათვის 10-15%-ით. მის მიერ რეკომენდირებული ასეთი შემცირება 20%-ით ახლოს არის ა. ნ. კოსტიაკოვისა და ი. ა. ჩხენკელის რეკომენდაციებთან. დაწვიმებით მორწყვის შემთხვევაში, სარწყავი ნორმის შემცირება აღმოსავლეთ საქართველოს პირობებში მიღებულია 20%-ის ოდენობით..

რაც შეეხება სარწყავი სისტემის საერთო მარგი ქმედების კოეფიციენტს, მისი სიდიდე მიღებულია: თვითღინებით ზედაპირული წესით მორწყვისას – 0.5 (ი.ს.ზედ.), დაწვიმებით მორწყვისას დაწვიმების გადაადგილებადი სისტემის გამოყენების შემთხვევაში – 0.572 (ი.ს.დაწვ.გად.), დაწვიმებით მორწყვისას ნახევრად-სტაციონალური სისტემის შემთხვევაში – 0.617 (ი.ს.დაწვ.ნ.ს.ტ.), თვითდაწნევიანი დაწვიმების სისტემისათვის – 0.70 (ი.ს.თვ.დაწვ.), იმპულსური დაწვიმების სისტემისათვის – 0.70 (ი.ს.იმპ.დაწვ.) და წვეთოვანი მორწყვის სისტემისათვის [81].

ირიგაციული ეფექტი, გულისხმობს უფრო თანამედროვე და სრულყოფილი მორწყვის წესების გამოყენების შედეგად მიღებული სარწყავი წყლის ეკონომიის ხარჯზე დამატებითი ფართობების მორწყვას, იმ ფართობებთან შედარებით, რომელთა მორწყვაც შესაძლებელია თვითღინებით ზედაპირული მორწყვის წესით. ირიგაციული ეფექტის მიღწევა შესაძლებელი ხდება იმის გამო, რომ დაწვიმებისა და წვეთოვანი მორწყვის წესების გამოყენების დროს საგრძნობლად იზრდება სარწყავი სისტემის მ.ქ.კ., რაც თავის მხრივ

იწვევს სარწყავი წყლის დანაკარგების მნიშვნელოვან შემცირებას. ამიტომ მაღალი მ.ქ.კ-ით რწყვას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს, რადგან წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენებისა და მისი დეფიციტის შემცირების საშუალებას და სარწყავი მიწების შემდგომ გაფართოება – მატების შესაძლებლობას იძლევა.

ამგვარად, თუ აღმოსავლეთ საქართველოში არსებულ თვითღინებით ზედაპირული რწყვის სისტემებს გადავიყვანთ სხვადასხვა ტიპის დაწვიმების მორწყვის სისტემებზე, ამის შედეგად მიღებული სარწყავი წყლის ეკონომიის ხარჯზე სარწყავი ფართობები შეიძლება გაზრდილ იქნას თვითღინებით მორწყულ ფართობებთან შედარებით დაწვიმების გადაადგილებადი სისტემის გამოყენების შემთხვევაში - 1.43-ჯერ, ნახევრადსტაციონალური სისტემების გამოყენების დროს – 1.54-ჯერ, თვითდაწნევიანი და იმპულსური სისტემების გამოყენების შემთხვევაში - 1.75-ჯერ, ხოლო თუ დავნერგავთ წვეთოვანი მორწყვის სისტემას, მაშინ ამა თუ იმ მდინარის აუზში არსებული წყლის რესურსებით შეიძლება 3.06-ჯერ უფრო მეტი ფართობი მოირწყას, ვიდრე ეს შესაძლებელი არის თვითღინებით ზედაპირული მორწყვისას.

### **1.5. მდინარეთა წყლიანობა სავეგეტაციო პერიოდში და მისი პროგნოზირება მთავარი სარწყავი სისტემების მომსახურებისათვის**

სავეგეტაციო პერიოდი – აპრილიდან სექტემბრამდე დასავლეთ საქართველოს მთის მდინარეთა აუზებში ემთხვევა წყალდიდობის პერიოდს, როცა გაედინება წლიური ჩამონადენის 65-80%. ამიტომ, ამ დროს არ დგას წყლის დეფიციტის პრობლემა. აღმოსავლეთ საქართველოში სავეგეტაციო პერიოდი იყოფა ორ ნაწილად: წყალდიდობის პერიოდი – აპრილი – ივნისი, როცა გაედინება მთელი ჩამონადენის 40-65% და ზაფხულის მეუენი – ივლისი – სექტემბერი, როცა გაედინება წლიური ჩამონადენის მხოლოდ 10-25%.

სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის ცვალებადობა წლიდან წლამდე სხვადასხვა მდინარეზე განსხვავებულია. ვარიაციის კოეფიციენტი ( $C_v$ ) იცვლება საშუალოდ 0,18-დან 0,64-მდე. გაზაფხულის

პერიოდში  $C_v=0,17-0,58$ , ზაფხულში კი  $C_v=0,23-1,0$ . მათი მნიშვნელობა მცირდება მდინარეთა აუზის საშუალო სიმაღლის მატებასთან ერთად, რაც გამოწვეულია მაღალმთიან ზონაში ჩამონადენის მარეგულირებელი თოვლ-ყინულის საფარის მდგრადობის ზრდით [5 ÷ 11].

მდინარის ჩამონადენი განპირობებულია მრავალი ფაქტორით და რთულ დინამიურ პროცესს წარმოადგენს. მაგრამ, მის საპროგნოზოდ რეალურად შეიძლება გათვალისწინებულ იქნეს მხოლოდ ზოგიერთი მათგანი, რომელნიც სტანდარტულ დაქვემდებარებას ექვემდებარებიან და პროგნოზის გაცემის დროს (მარტში) არსებობს მათზე ინფორმაცია. პროგნოზების სიზუსტე დამოკიდებულია განხილულ ელემენტებზე დაკვირვების პუნქტების რაოდენობაზე, მათ განლაგებაზე, დაკვირვების რიგებზე და მათ ხარისხზე. ამ მხრივ საქართველოს რთული რელიეფური პირობების გამო, განსაკუთრებით მდინარეთა ჩამონადენის ფორმირების მაღალმთიან ზონებში, ინფორმაცია მოქმედ ფაქტორებზე მეტად შეზღუდულია. ხოლო სიდიდეების უმრავლესობა არ იზომება და, ამიტომ, საპროგნოზოდ გამოყენებული იქნა შეზღუდული ინფორმაციის პირობებისათვის შედგენილი საპროგნოზო სტატისტიკური მოდელი რომელიც, გრძელვადიანი პროგნოზების ზოგად სახეს წარმოადგენს. კონკრეტულად სავეგეტაციო პერიოდისათვის არსებული მონაცემებიდან, კორელაციური ანალიზით ვლინდება ყველაზე ეფექტურად მოქმედი მახასიათებლები და დგება მრავალფაქტორიანი საპროგნოზო მოდელი.

საპროგნოზო მოდელში ბევრი ცვლადის არსებობა იწვევს განტოლების მდგრადობის შემცირებას და, ამიტომ გარკვეული მათემატიკური კრიტერიუმებით და “მრავალბიჯიანი გაცხრილვის” მეთოდით ხდება მოდელის კორექტირება პრინციპით: მინიმალური პრედიქტორების გამოყენებით მაქსიმალური სიზუსტის მიღება. ასე დგინდება ოპტიმალური საპროგნოზო მოდელი 3 - 4 და იშვიათად მაქსიმუმ უფრო ხშირად 5 პრედიქტორით.

საპროგნოზო დამოკიდებულებათა ყველა შესაძლებელი ვარიანტების გამოსაკვლევადა, ოპტიმალური მოდელის რიცხობრივი ხარისხის დადგენის დროს, როცა განიხილება განტოლებათა ორი სისტემა ცალკეული პრედიქტორების დამატებით, ხდება მრავალფაქტორიან განტოლებათა პირდაპირი და შებრუნებული გაშლა.

ეს საშუალებას იძლევა ერთდროულად გადავწყვიტოთ პროდიქტორების შემცირების, საპროგნოზო დროულობის გაზრდისა და საპროგნოზო პერიოდში მოქმედი ფაქტორების გამორიცხვის ამოცანები. ამის შედეგად მიიღება სხვადასხვა საპროგნოზო განტოლებები, განსხვავებული ინფორმაციული უზრუნველყოფით, სიზუსტითა და დროულობით.

საპროგნოზო განტოლებათა მრავალფეროვნება საშუალებას იძლევა ოპერატიული პროგნოზების შედგენის დროს შეირჩეს საპროგნოზო მოდელი არსებული ინფორმაციის, საჭირო დროულობისა სიზუსტის მიხედვით. გარდა ამისა, განისაზღვრება ჩამონადენის მოსალოდნელი რყევის ინტერვალი და ხდება მიღებული შედეგების ურთიერთკონტროლი [87 ÷ 93].

აღმოსავლეთ საქართველოს სარწყავი მიწათმოქმედებისა და სხვა სამეურნეო ობიექტების უკეთ მომსახურების მიზნით, აგრეთვე არსებული წყლის რესურსების რაციონალურად გამოყენების დაგეგმარებისათვის, გარდა სავეგეტაციო პერიოდის საშუალო წყლის ხარჯებისა, შემუშავებულია, აგრეთვე, ამ პერიოდის კვარტალური (II და III), თვიური (IV, V, VI, VII, VIII, IX) და დეკადური (1.IV – 3.IX) წყლის ხარჯების პროგნოზები.

აღსანიშნავია, რომ კვლევის შედეგად მიღებულია განტოლებები, რომელთა საფუძველზე პროგნოზის შედგენა შეიძლება არა მხოლოდ ჩვეულებრივი, არამედ აგრეთვე ალბათური ფორმით, 5%-დან 95%-მდე უზრუნველყოფით. ამით მომხმარებელს საშუალება ეძლევა ადვილად გადაწყვიტოს პრაქტიკული ამოცანები. პროგნოზების ასეთი მრავალმხრივი წარმოდგენით შეიძლება გაიზარდოს მომხმარებელთა ინტერესი და მოთხოვნილება ჰიდროლოგიური პროგნოზებისადმი.

შემუშავებული პროგნოზების გამოყენებით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი 10-35%-ით აჭარბებს საპროგნოზო ხარჯის ნორმის გამოყენებით მიღებულ ეფექტს, ამიტომ, შეიძლება ითქვას, რომ მათი გამოყენება პრაქტიკაში, სარწყავი სისტემებისა და არხების მომსახურების მიზნით, იძლევა საშუალებას წყლის არსებული რესურსების რაციონალურად ხარჯვისა აგრეთვე, წყლის რესურსების საფუძველიანი დაგეგმარება – დარეგულირებით შეიძლება საგრძნობლად გაიზარდოს მოსავალი.

## თავი 2. სარწყავი სისტემა როგორც რთული სისტემა

### 2.1. სარწყავი სისტემების ზოგიერთი თვისებები

სარწყავი სისტემის ფუნქციონირების მიზანს წარმოადგენს დასაშვები ხარისხის სარწყავი წყლის მიწოდება საჭირო დროს, საჭირო ადგილზე და საჭირო რაოდენობით, ტექნოლოგიური პროცესების ეფექტური მიმდინარეობის უზრუნველსაყოფად ანუ მოსარწყავ მინდორზე სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის ფორმირებისათვის [14, 15].

აქედან გამომდინარე სამელიორაციო სარწყავ სისტემებში შესაძლებელია სხვადასხვა ფუნქციების შემსრულებელი მატერიალური ობიექტების ორი ჯგუფის გამოყოფა: მოსარწყავი მინდვრები (მმ) არსებული ნათესებითურთ, შესაბამისი სარწყავი ტექნიკით და სარწყავი ქსელი (სქ) შესაბამისი ჰიდროტექნიკური მოწყობილობებით, რომლებიც აუცილებელია წყლის ადების, ტრანსპორტირების, განაწილებისა და გაზომვისათვის. გათვალისწინებულია აგრეთვე ერთი ან რამოდენიმე წყლის რესურსის წყაროს არსებობა. სქ, როგორც წესი თავის თავში მოიცავს მთავარ (მაგისტრალურ) არხს, სამეურნეობათა შორის სხვადასხვა რიგის გამანაწილებლების სისტემას, სამეურნეო სისტემას და შიდასამეურნეო არხებს.

სამელიორაციო სისტემებში წყალგანაწილების მართვის პროცესების განხორციელება საჭიროებს ორი ამოცანის გადაჭრას:

1. დინების სიდიდის განსაზღვრას, რომელიც გამოედინება სქ-ის კვანძებიდან და მათ განაწილებას მთელ მმ-ზე დროის ნებისმიერი მონაკვეთისათვის;

2. სარწყავი ქსელების კვანძებში შემსრულებელი მოწყობილობებით ოპერატიულ მართვას.

პირველს ვუწოდოთ წყალგანაწილების ოპერატიული დაგეგმარების ამოცანა, ხოლო მეორეს წყალგანაწილების მართვის ოპერატიული ამოცანა.

პირველ და მეორე ამოცანებს შორის არსებითი განსხვავება იმაშია, რომ პირველი ამოცანის გადაწყვეტა გვაძლევს ინფორმაციას,

ხოლო მეორე ამოცანის გადაწყვეტის შედეგს მართვის ტიპის შერჩევა წარმოადგენს.

ჩვეულებრივ ასეთი ტიპის სისტემები რთული სისტემების კატეგორიას მიეკუთვნება. ჩავთვალოთ, რომ წყლის განაწილების სისტემა მორწყვის დროს შესაძლებელია განხილული იქნას როგორც რთული სისტემა, ვინაიდან მას ახასიათებს შემდეგი ნიშნები [33]:

- ურთიერთდაკავშირებული და ურთიერთმოქმედი ელემენტების დიდი რაოდენობა. მაგალითად, მოსარწყავი ნაკვეთები, სარწყავი არხები, ქსელზე ჰიდროტექნიკური ნაგებობები, ინფორმაციის დამამუშავებელი საშუალებები, ხალხის კოლექტივები და სხვა;

- სისტემების მიერ შესრულებული ფუნქციის სირთულე მიმართულია ფუნქციონირების მოცემული მიზნის მისაღწევად. ფუნქციის სირთულე განისაზღვრება წარმოების პროცესებში მონაწილე ელემენტების და მათ შორის კავშირების მრავალფეროვნებით, აგრეთვე წარმოებაში მონაწილე სხვა ფუნქციონალურ ქვესისტემებთან (ქვესისტემები – საწარმოო ტექნიკის მართვის განაწილების კუთხით, სასუქები, შრომითი რესურსები და სხვა) ურთიერთკავშირით.

- სისტემის ქვესისტემებად დაყოფის შესაძლებლობა, რომელთა ფუნქციონირების მიზანი ექვემდებარება მთელი სისტემის ფუნქციონირების საერთო მიზანს. მოცემულ შემთხვევაში შესაძლებელია ქვესისტემების ორი ჯგუფის გამოყოფა. ერთის მხრივ – ეს საწარმოო კოლექტივია: სხვადასხვა რიგის სარწყავი სისტემების მართვა (სსმ), რაიონები, უბნები, არხების მართვა, წყალსაცავების მართვა და სხვა, და მეორეს მხრივ – მატერიალური ობიექტები: სხვადასხვა რიგის არხები, წყალსაცავები, სარწყავი ქსელის ჰიდროტექნიკური ნაგებობები;

- განშტოებული ინფორმაციული ქსელის მართვა და ინფორმაციის ინტენსიური ნაკადები. მელიორაციულ სისტემებში მართვა აუცილებლობას წარმოადგენს, რადგან ხორციელდება წყლის დაყოფა შეკვეთების – წყალმომხმარებლების მხრიდან შემოსული ინფორმაციის საფუძველზე. ბუნებრივია, რომ სტრუქტურის იერარქიულობა და ოპერატიული ინფორმაციის დიდი მოცულობის გადაცემის



აუცილებლობა, ასევე მისი გადამუშავება, მოითხოვს განშტოებული ინფორმაციული ქსელის შექმნას;

– ურთიერთქმედება არსებულ გარე სამყაროსთან და განუსაზღვრელ ზემოქმედებათა პირობებში ფუნქციონირება, მათ შორის შემთხვევითი ფაქტორების. შემომავალი ინფორმაციის გამომუშავება (შეკვეთა წყლის რესურსზე) და მმართველ ზემოქმედებათა მიღება დამოკიდებულია არადეტერმინირებულ შემომავალ ზემოქმედებათა ბუნებაზე (მზის რადიაცია, ნალექები, ტემპერატურა, წყაროებში არსებული წყლის რესურსები) და შიდა სისტემაში არსებული შეშფოთებები.

ნებისმიერი სისტემა ხასიათდება სტრუქტურის არსებობით, თანაც უკანასკნელი წარმოადგენს არსებითს, თუმცა არა ერთადერთი სისტემის ნიშან-თვისებას, რომელიც მოქმედებს ალგორითმზე და ოპტიმალური მართვის განხორციელების გზების მოძებნის შედეგებზე.

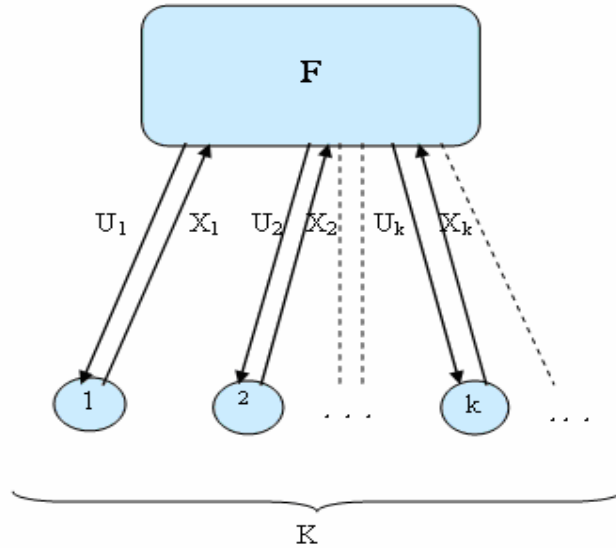
ალგორითმით თანამედროვე წარმოდგენა მართვის სისტემების სტრუქტურაზე და განვიხილოთ წყალგანაწილების მართვის სისტემების ძირითადი სტრუქტურული ნიშან-თვისებები [23, 29, 46, 50, 52].

წყალგანაწილების დაგეგმვის ამოცანის ამოხსნა შესაძლებელია ვცადოთ მისი როგორც ცენტრალიზირებული სისტემის განხილვით, როცა მმართველი ზემოქმედების  $U_k$  სიდიდის ამონახსნი, რომელიც მიეწოდება საბოლოო ფართობს (მინდორი)  $k \in K$ , ინფორმაციის საფუძველზე მიიღება მართვის ცენტრალურ პუნქტში, უშუალოდ თითოეული  $k$ -ური პუნქტიდან. ცენტრალიზებული სტრუქტურის ტოპოლოგიური გრაფი ნაჩვენებია ნახაზზე 1.

ასეთი სისტემის სტრუქტურა ხასიათდება იმით, რომ მისი ყველა ოპერატორი რეალიზდება მართვის ცენტრალურ პუნქტში. ამ შემთხვევის დროს მაგისტრალურ არხში წყლის ხარჯის მიწოდებისას უკვე ცნობილია, რა რაოდენობის წყალი მოვა თითოეულ საბოლოო  $k$  პუნქტზე. ასეთი მიდგომა, წყალგანაწილების დაგეგმარების ამოცანის ამოსახსნელად, გამოყენებულია მორენკოვისა და კოვალენკოს, ასევე ვოროპაევის მიერ. იდეალურ პირობებში მთელი მედიორაციული სისტემების მართვის წარმოდგენა როგორც ორ დონიანის, როცა

არსებობს ცენტრიდან თითოეული მინდვრის მორწყვის მართვის შესაძლებლობა, ალბათ წარმოადგენს საუკეთესოს, ვინაიდან იძლევა

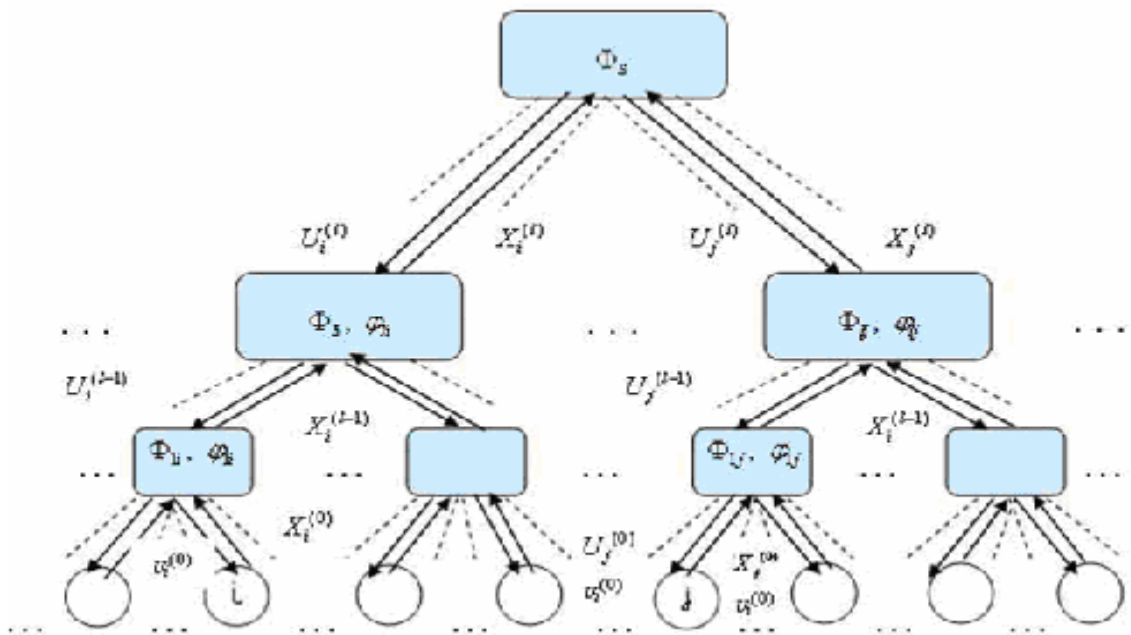
**ნახაზი 1. ცენტრალიზებული სტრუქტურა, მართვის ცენტრალურ პუნქტთან უშუალო დაქვემდებარებით**



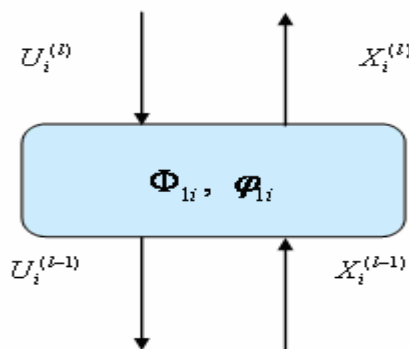
ერთი წერტილიდან მთელი სისტემის განხილვის საშუალებას. თუმცა რეალურად ასეთი ცენტრალიზებული დაგეგმარება არის ან არაეფექტური ან ტექნიკურად არაშესრულებადი [38, 58].

თანამედროვე მელიორაციული სისტემათა უმეტესობა ათობით და ხშირად ასობით ათას ჰექტარ სასოფლო-სამეურნეო სარწყავ ფართობს მოიცავს. ს/ს წარმოების არადეცემინირებულობასთან დაკავშირებული ოპერატიული მართვის დაგეგმარება მოითხოვს მცენარის სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში წყალგანაწილების ხშირ კორექტირებას, რაც თითოეული მოსარწყავი მინდვრიდან მიღებული ინფორმაციის შეგროვება, გადაცემასა და დამუშავებასთანაა დაკავშირებული. ჩვენი აზრით საუკეთესო იქნება სისტემის იერარქიული სტრუქტურა, თანმიმდევრული აღმაავალი და დაღმაავალი კავშირის ხაზებით. ასეთი სისტემის სტრუქტურული გრაფი ნაჩვენებია ნახაზ 2-ზე, ხოლო მისი ელემენტი ნახაზ 3-ზე. იერარქიულ სისტემაში ალგორითმების რეალიზაცია განაწილებულია ერთმანეთთან დაქვემდებარებაში მყოფ ორგანოებს შორის, ერთდროული მართვის ცენტრალიზაციის პრინციპების დაცვით.

ნახაზი 2. აღმავალი და დაღმავალი ხაზებით მიმდევრობითი კავშირების მქონე იერარქიული სტრუქტურა



ნახაზი 3. იერარქიული სისტემის  $l$ -ური რანგის მართვის ფუნქციონალური სქემა მიმდევრობითი კავშირებით.



$l$ -ური რანგის მმართველი ცენტრი (ნახ. 3) მიიღებს  $U_i^{(l)}$  მმართველ ზემოქმედებას  $(l+1)$  რანგის ორგანოდან და გამოიმუშავებს  $U_i^{(l-1)}$  მართველ ზემოქმედებას  $(l-1)$ -ური რანგის ორგანოზე. მიიღებს  $X_i^{(l-1)}$  ინფორმაციას  $(l-1)$  რანგის ქვესისტემის მდგომარეობაზე და თავის მდგომარეობაზე გადასცემს  $X_i^{(l)}$  ინფორმაციას ზემდგომ ქვესისტემას.

მრავალდონიანი მართვის უპირატესობა ცენტრალიზებულ მიდგომასთან განპირობებულია მრავალი ტექნიკური, ეკონომიკური და ექსპლუატაციური მიზეზებით [36, 44, 55].

სისტემის დაყოფა ქვესისტემებად ნაკარნახევია მეურნეობის სტრუქტურით, როცა საქმე ეხება წყალგანაწილების დაგეგმარებას სარწყავ სისტემებში მხედველობაში უნდა მივიღოთ ავტონომიური ქვესისტემები. ასეთი ქვესისტემებია სასოფლო-სამეურნეო საწარმოები (ფირმები, ფერმერული მეურნეობები). აქედან გამომდინარე წყალგანაწილების დაგეგმარების სისტემაში უნდა გამოვყოთ ქვესისტემის ორი ჯგუფი: სასოფლო-სამეურნეო და წყალსამეურნეო. როცა სარწყავი სისტემით დაკავებულია დიდი ფართობები, სისტემის წყალსამეურნეო ნაწილი შესაძლოა დაიყოს რამოდენიმე დონედ. მაგალითად, რაიონული სარწყავი სისტემების მართვა (სსმ), რეგიონალური სსმ, მდინარის აუზის სსმ და ა.შ.

პრინციპში ნებისმიერი სარწყავი სისტემის წყალგანაწილების სისტემა შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც ორდონიანი: სსმ – მართვის ცენტრალური და რეგიონალური პუნქტები – ავტონომიური ქვესისტემები. მორწყვაში მათ აკისრიათ სხვადასხვა ფუნქცია: სსმ-ის ფუნქციაა წყლის მიწოდება სარწყავი სისტემის გამტარი ქსელით სამეურნეო წყალგამომყოფ წერტილებისათვის, ხოლო რეგიონალური – სარწყავი წყლის მიყვანა მინდვრებამდე, რათა გადაიქცეს ის ნიადაგურ ტენად და გაიზარდოს შესაბამისი სასოფლო-სამეურნეო კულტურა.

სსმ-ას არ არის აუცილებელი ჰქონდეს უშუალო კონტაქტი მეურნეობებთან, მათ შორის შესაძლოა იდგეს ერთი-ორი ან მეტი იერარქიული დონე.

## **2.2. ოპერატიულ წყალგანაწილების ამოცანებში ინფორმაციის შემუშავების პრობლემის განხილვა**

მელიორაციულ სისტემებში, დეფიციტური წყლის რესურსების ეკონომიკურ-ოპტიმალური განაწილება შესაძლებელია განხორციელდეს მხოლოდ ინფორმაციულ-მმართველი სისტემის უკუკავშირის პირობებში,

ანუ ზემდგომი (ერთი საფეხურით) მმართველ ცენტრს უნდა გააჩნდეს ინფორმაცია მის დაქვემდებარებაში მყოფი ქვესისტემის მდგომარეობის შესახებ. აქედან გამომდინარე, ვიდრე შევუდგებით მმართველი ზემოქმედებების გამომუშავებას ანუ მის დაქვემდებარებაში მყოფი წყლის რესურსების განაწილებას, მმართველმა ცენტრმა უნდა მიიღოს ინფორმაცია თითოეულ ქვესისტემაში საჭირო წყლის რაოდენობაზე. ამავდროულად, უნდა იყოს გადაცემული ინფორმაცია ქვესისტემის დანაკარგებზე ან რაც იგივეა, ეკონომიკურ ეფექტზე, რომელიც შესაძლებელია მიიღოს წყალმომხმარებელმა მისთვის გამოყოფილი წყლის სხვადასხვა მოცულობის შესახებ.

ასეთი  $\Psi(V_{sj})$  ფუნქციები, სადაც  $V_{sj}$  – წყლის მოცულობაა, გამოყოფილი  $j$ -ურ ქვესისტემაში  $s$  ქვესისტემიდან გარკვეულ  $T$  დროის შუალედში, რომელიც უნდა იყოს გადაცემული შესაბამის  $s$  ქვესისტემაში შემდეგი დონიდან.

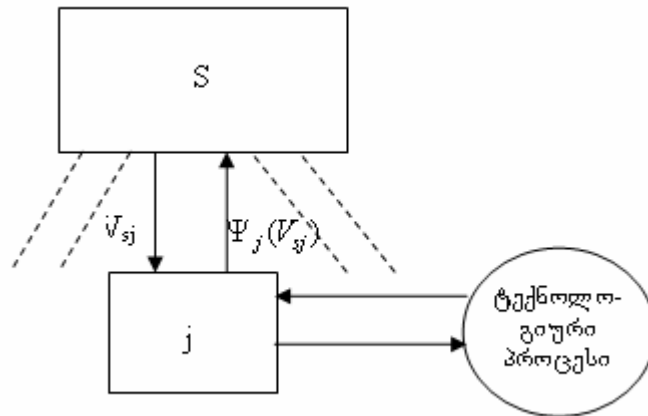
ოპერატიული წყალგანაწილების დაგეგმარების სისტემის ყველაზე მარტივი სტრუქტურა სარწყავ სისტემებში შეიძლება იყოს ორდონიანი იერარქიული სისტემა, რომლის გრაფიც ნაჩვენებია ნახაზ 4-ზე. სადაც ქვედა დონის როლს თამაშობენ სასოფლო-სამეურნეო საწარმოები, ზედა დონის როლს – მმართველი ცენტრის – კი (სსმ) სარწყავი სისტემის მართვა. მეურნეობა გასცემს შეკვეთას წყლის რესურსზე  $\Psi_j(V_j)$  ფუნქციის სახით, ხოლო მართველი ცენტრი თავისი მიზნის ფუნქციის შესაბამისად ღებულობს გადაწყვეტილებას არსებული რესურსის განაწილების შესახებ [4].

თუმცა, საჭიროა მხედველობაში მიღებულ იქნეს ორი გარემოება:

1. სსმ უნდა იყოს დაინტერესებული, რომ სისტემაში წყლის რესურსები გამოყენებული იყოს საუკეთესო სახით;
2. ქვესისტემამ უნდა გასცეს უტყუარი ინფორმაცია, წინააღმდეგ შემთხვევაში რესურსების განაწილება, მმართველი ცენტრის თვალსაზრისით არ იქნება ოპტიმალური.

უტყუარი ინფორმაციის გასაცემად კი აუცილებელია ორი ფაქტორის არსებობა:

ნახაზი 4. წყალგანაწილების შესახებ გადაწყვეტილების მიმღები ფუნქციონალური სისტემის ორდონიანი სტრუქტურა.



პირველი – ასეთი ინფორმაციის მოპოვების ცოდნა, ანუ  $\Psi_j(V_j)$  ფუნქციების აგების ცოდნა; მეორე – ზუსტი ინფორმაციის გაცემის სურვილი.

ამ საკითხების გადაწყვეტა დაკავშირებულია უამრავ სირთულესთან და მის ერთადერთ გარანტს წარმოადგენს ეკონომიური სანქციების შემოტანა. ჯარიმის ოპტიმალური ფუნქციის განსაზღვრა წარმოადგენს დამოუკიდებელ ამოცანას, რომელსაც ქვემოთ განვიხილავთ.

მთელ რიგ ნაშრომებში, რომლებიც მიეძღვნა მელიორაციაში წყლის რესურსების ოპტიმალურად გამოყენების კვლევებს ბოლო წლებში სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობასა და სარწყავი ნორმის დამოკიდებულებაზე ზუსტი ინფორმაციის არ არსებობის გამო, იგი აპროქსიმირდა წრფივ ფუნქციად. მეჩიტოვმა საერთოდ უარყო უწყვეტი ფუნქციით ამ დამოკიდებულებების აპროქსიმაცია და სარწმუნოდ ჩათვალა მხოლოდ მისი ორი დისკრეტული მნიშვნელობა: არასარწყავი პირობებისათვის და პირობებისათვის, როცა ნათესები სრულად უზრუნველყოფილია წყლით [37, 42, 43, 65, 68, 84 და სხვა].

ნათელია, რომ ორწერტილოვანი აპროქსიმაციის დროს მოსავლის დამოკიდებულება წყლის სარწყავ ნორმაზე, გამოყოფილი მოცემული სასოფლო-სამეურნეო კულტურის მოსარწყავად, რაოდენობრივად არასაკმარისია ნათესების მთელი ფართობის წყლით სრულად

უზრუნველსაყოფად. რაც შესაძლებელია ერთმნიშვნელოვნად გამოვიყენოთ ასე: ნათესის ნაწილი იქნება მორწყული სრული ნორმით, მეორე ნაწილი დარჩება მორწყვის გარეშე. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, თუ  $k$ -ურ სარწყავ მინდორს აქვს  $\omega_k$  სათესი ფართობი და ერთეული ფართობის სარწყავი წყლით სრული უზრუნველყოფისათვის საჭიროა  $\Phi_k^0$  სარწყავი ნორმა, მაშინ  $k$ -ური მინდვრის მოსარწყავად გამოყოფილი  $V_k < V_k^0$  წყლის მოცულობის შემთხვევაში, სადაც  $V_k^0 = \Phi_k^0 \omega_k$ , რწყვა ხორციელდება შემდეგნაირად: მინდვრის ფართობის ნაწილი  $\omega_k^{(1)} = V_k / \Phi_k^0$  ირწყვება სრულად, ხოლო მინდვრის მეორე ნაწილი  $\omega_k^{(2)} = \omega_k - \omega_k^{(1)}$  არ ირწყვება საერთოდ. ამასთან, ჯამური საერთო მოსავალი შეადგენს  $Y_k = Y_k^{(1)} + Y_k^{(2)}$ , სადაც  $Y_k^{(1)} = y_k^{(1)} \omega_k^{(1)}$  ( $y_k^{(1)}$  – მორწყული მინდვრის ერთეული ფართობიდან აღებული მოსავალია),  $Y_k^{(2)} = y_k^{(2)} \omega_k^{(2)}$  ( $y_k^{(2)}$  – მოსავალი მოურწყველი მინდვრის ერთეული ფართობიდან).

$y_k(\Phi_k)$  ფუნქციის წრფივი აპროქსიმაციის შემთხვევაში ჩნდება სარწყავი წყლის გამოყენების ალტერნატიული შესაძლებლობა, სახელდობრ მორწყვა მთელ  $\omega_k$  ფართობზე ხორციელდება ერთნაირი სარწყავი  $\Phi_k = V_k / \omega_k$  ნორმით,  $\Phi_k < \Phi_k^0$ . მაგრამ შეიძლება მორწყვა ვაწარმოოთ ისევე, როგორც ორწერტილოვანი აპროქსიმაციის დროს. საანგარიშო საერთო მოსავალი ორივე შემთხვევაში ერთნაირი აღმოჩნდება, რაც გამომდინარეობს  $y_k(\Phi_k)$  წრფივი ფუნქციიდან.

თუმცა არც ერთი და არც მეორე აპროქსიმაცია არ წარმოადგენს დამაკმაყოფილებელს, რადგან ფუნქცია  $y_k(\Phi_k)$  უმეტეს შემთხვევაში არაწრფივია. ფუნქციის არაწრფივობა იწვევს იმას, რომ წყლის განაწილების სხვადასხვა ხერხები მისი დეფიციტის პირობებში ერთ მინდორზეც კი არაერთგვაროვან შედეგს იძლევა.

ამ მონაცემებიდან შესაძლებელია ერთმნიშვნელოვანი დასკვნის გაკეთება, რომ არსებობს შემთხვევები, როცა მომგებიანია მინდვრის მთელი ფართობის მორწყვა შემცირებული  $\Phi_k$  ნორმით, ვიდრე მისი ნაწილი მოვრწყათ სრული  $\Phi_k^0$  ნორმით, ხოლო მეორე ნაწილი საერთოდ არ მოირწყას. აქედან გამომდინარეობს, რომ შემცირებული

სარწყავი ნორმის დროს ყოველი წყლის ერთეული მოცულობა პროდუქციის დიდი რაოდენობით გამოისყიდება, ვიდრე სრული რწყვის ნორმის დროს.

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ მცენარე ფუნქციონირებისათვის საჭიროებს გარემო პირობების მთელ რიგ შეუცვლელ ფაქტორებს, ისეთებს, როგორცაა მზის რადიაცია, ატმოსფერული ნახშირჟანგი, ნიადაგში მინერალური კვების ელემენტები, წყალი და ჟანგბადი. გარდა ამისა, მცენარის ზრდა-განვითარება შეიძლება მიმდინარეობდეს მხოლოდ ატმოსფეროს და ნიადაგის გათბობის განსაზღვრული დონის შენარჩუნების გზით. თუმცა არსებობს ისეთი ფაქტორები, რომლებიც არ არის აუცილებელი მცენარის სიცოცხლისათვის, პირიქით ისინი მცენარისათვის მომაკვდინებელ ზემოქმედებას ახდენენ. მათ რიცხვს ეკუთვნის ნიადაგის სხვადასხვა სახის დამარილიანება და გრუნტის წყლების მომატებული მჟავიანობა ან ნიადაგის ტუტე გარემო, მავნებლები და სარეველები.

ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმი, მათ შორის მცენარეებიც იმყოფებიან გარემო პირობებში, რომელიც იცვლება როგორც წლიდან წლამდე, ასევე ვეგეტაციური პერიოდის შიგნითაც. იმისათვის, რომ იარსებონ ასეთ პირობებში მცენარეებს გამოუმუშავდათ სხვადასხვა მექანიზმები, რომელიც მათ გარემოს ცვლად პირობებში ადაპტაციაში ეხმარება. თუმცა ადაპტაციის შესაძლებლობები არ არის უსაზღვრო. ამაზე მეტყველებს თითოეული ეკოფაქტორის ექსპერიმენტული დაკვირვების შედეგის მნიშვნელობები, რომლის დროსაც მცენარის ცხოველმყოფელობა ჩერდება და ზოგჯერ მცენარეები კვდებიან.

ეკოფაქტორის რიცხვითი მნიშვნელობების დიაპაზონი მდებარე ამ კრიტიკულ წერტილებს შორის, ახასიათებს ფაქტორის დასაშვები მნიშვნელობების არეს. ამავდროულად მცენარისათვის არ არის სულერთი რომელ დასაშვებ ინტერვალში იცვლება თითოეული ეკოფაქტორის მნიშვნელობა, რადგან ამ მნიშვნელობების სიდიდეებზეა დამოკიდებული ცხოველმყოფელობის ინტენსივობა, ან სხვაგვარად რომ ვთქვათ, მცენარის პროდუქტიულობა.



### 2.3. მრავალპროდუქტიული მოდელისათვის ეკონომიური სტიმულირების მექანიზმების განზოგადება

განვიხილოთ სარწყავ მიწებზე სასოფლო-სამეურნეო საწარმოების მიერ რამდენიმე კულტურის წარმოების დეტერმინირებული მოდელი – მრავალპროდუქტიული მოდელი. ამ შემთხვევაში, მთელი სისტემის საერთო მიზანს წარმოადგენს თითოეული, გარკვეული რაოდენობის კულტურის სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის გამოშვება მინიმალური მოცულობის სარწყავი წყლის არსებობის შემთხვევაში. კრიტერიუმში, რომელიც ემთხვევა ცენტრის მიზნის ფუნქციას უნდა პასუხობდეს სახალხო სამეურნეო მოთხოვნებს ყველა სახის პროდუქციაზე:

$$V_0 = \sum_{ij} V_{ij} \rightarrow \min, \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, m} \quad (2.1)$$

შეზღუდვების დროს

$$V_{ij} \geq 0, \quad \sum_i Y_{ij} \geq Y_j^0, \quad Y_{ij} \geq 0 \quad (2.2)$$

სადაც  $Y_{ij}$  –  $i$ -ური საწარმოს მიერ გამოშვებული  $j$ -ური კულტურის პროდუქციის მოცულობაა.  $V_{ij}$  –  $i$ -ური საწარმოსათვის  $j$ -ური კულტურისათვის აუცილებელი წყლის რესურსის საერთო მოცულობა;  $Y_j^0$  –  $j$ -ური კულტურის გამოშვების ოპტიმალური გეგმა.

აღსანიშნავია, რომ შესაძლებელია ცენტრის სხვა მიზნის ფუნქციის განხილვაც, რომელიც ფორმულირდება როგორც თითოეული კულტურისათვის მოცემული პროპორციით გამოშვებული პროდუქციის მაქსიმუმი. პროპორციები განისაზღვრება ს/ს პროდუქციის თითოეული სახეობის სახალხო სამეურნეო მოთხოვნების მიხედვით:

$$Y_0 = \min_j \frac{Y_j}{\alpha_j} \rightarrow \max, \quad j = \overline{1, m} \quad (2.1')$$

შეზღუდვის დროს

$$\sum_{ij} V_{ij} \leq V_0, \quad \alpha_j > 0, \quad V_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, N} \quad (2.2')$$

სადაც  $\alpha_j$  –  $Y_j^0$  ოპტიმალური გეგმის შესაბამისი კოეფიციენტი.

(2.1<sup>1</sup>)–(2.2<sup>1</sup>) წარმოადგენს (2.1)–(2.2) – თან ურთიერთკავშირში მყოფ ამოცანას და ოპტიმალურ წერტილში მათი ამოხსნა თანხვედრილია [26].

დაგეგმილი პროდუქციის მოცულობა განისაზღვრება თითოეული კულტურის სამეურნეო საწარმოო ფუნქციით

$$Y_{ij} = Y_{ij}(V_{ij})$$

ჩავთვალოთ, რომ თითოეული  $a_j$  კულტურისათვის სათესი ფართობები ფიქსირებულია. (2.1)–(2.2) ამოცანების ამონახსნს წარმოადგენს  $Y_{ij}^0$  განაწილება და  $V_i^0 = \sum_j V_{ij}$  – მეურნეობაში მოცემული სახის პროდუქციის წარმოების ოპტიმალური გეგმა და თითოეული მეურნეობისათვის წყლის რესურსის ოპტიმალური განაწილებაა. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მეურნეობის ეკონომიური ინტერესები გამოიხატება მოგების მაქსიმიზაციით [12, 13, 35].

განვიხილოთ მოდელი, რომელშიც მონაწილეობს მხოლოდ ერთი სასოფლო-სამეურნეო დაწესებულება, რომელიც  $m$  კულტურას აწარმოებს. იგივე მოდელი აღწერს სიტუაციას, როცა ყველა  $N$  მეურნეობას აქვს თითქმის ერთნაირი საწარმოო ფუნქციები.

ამ შემთხვევაში მეურნეობის საწარმოო ფუნქციას აქვს სახე:

$$D_i = \sum_j c_j Y_j - \sum_j (a_j + dV_j) - R_i \rightarrow \max, \quad j = \overline{1, m} \quad (2.3)$$

$j$  ინდექსი შეესაბამება სასოფლო-სამეურნეო კულტურის ნომერს.

მაქსიმუმის პირობის შესაბამისად გვაქვს გამოსახულება

$$dY_j / dV_j \Big|_{V_j=V_j^0} = \bar{d} / c_j = \mu_j \quad (2.4)$$

მნიშვნელობა  $\mu_j$  (2.1)–(2.2) – ამოცანაში ექსტრემუმის მიღწევის პირობიდან განისაზღვრება. ნათელია, რომ წარმოებულის მნიშვნელობა  $\mu_j$  ოპტიმალურ წერტილში თითოეული კულტურისათვის განსხვავებულია, მაგრამ წყლის მიწოდების ფასი  $\bar{d}$  უნდა იყოს ყველა კულტურისათვის ერთნაირი და თანაც სარწყავი სისტემის მართვის - სსმ ( $d^{სსმ}$ ) ტარიფის ტოლი, ამიტომ პირობა (2.4) ერთმნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ფასს პროდუქციაზე.

$$c_j^0 = d / \mu_j \quad (2.5)$$

მოგებიდან ფიქსირებული ანარიცხების დროს

$$R_i^0 = \sum_j Y_j^0 (c_j^0 - c^{\text{მოთ.}}) \quad (2.6)$$

სადაც

$$c^{\text{მოთ.}} = \frac{\alpha_j + d^{\text{სა}} V_j^0 + b_j \omega_j}{Y_j^0}, \quad \sum_j b_j \omega_j = B$$

(2.4) პირობის აზრი მდგომარეობს იმაში, რომ წყლის დამატებითი მოცულობა ( $\Delta v_j \rightarrow 0$ ) ოპტიმალურ წერტილში ყველა კულტურისათვის მოგებაზე ერთნაირ დანამატს იძლევა.

თუ ანარიცხის ფუნქცია შეიძლება იყოს დამოკიდებული მეურნეობაში ფაქტობრივი პროდუქციის გამოშვებაზე, მაშინ შეიძლება შესასყიდ ფასებზე შემოვიტანოთ დამატებითი შეზღუდვები:

$$c_j = \bar{c}_j \quad (2.7)$$

ამ შემთხვევაში ანარიცხის ფუნქცია ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$R_i(Y_j) = R_i^0 + \sum_j K_j Y_j \quad (2.8)$$

სადაც  $K_j$  წარმოადგენს მეურნეობის კომპენსაციას  $c_j^0 > \bar{c}_j$  დროს და დამატებით გამორიცხებს  $c_j^0 < \bar{c}_j$  დროს,

$$K_j = \bar{c}_j - c_j^0 = \bar{c}_j - d^{\text{სა}} / \mu_j$$

ხოლო  $R_j^0$  განისაზღვრება (2.6) გამოსახულებით.

მრავალპროდუქტიული დეტერმინირებული მოდელის შემთხვევაში მეურნეობის მიზნის ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე:

$$D_i = \sum_j c_{ij} Y_{ij} - \sum_j (\alpha_{ij} + d V_{ij}) - R_i \rightarrow \max \quad (2.9)$$

მაქსიმუმის პირობა (2.9) მოცემულია შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$dY_{ij} / dV_{ij} \Big|_{V_{ij}=V_{ij}^0} = d / c_{ij} = \mu_j \quad (2.10)$$

წარმოებული ოპტიმალურ წერტილში სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მიხედვით სხვადასხვაა, მაგრამ ყველა მეურნეობისათვის ტოლია თითოეული კულტურის სახეობის მიხედვით. (2.10) გამოსახულების აზრი მდგომარეობს იმაში, რომ ოპტიმალურ

წერტილში დამატებითი წყლის მოცულობა ( $\Delta V \rightarrow 0$ ) გვაძლევს ერთნაირ ნამატს მოგებაზე ყველა მეურნეობისათვის, ხოლო მეურნეობაში – ნებისმიერ კულტურაზე.

ჩაგწერთ გამოსახულება ანარიცხის ფუნქციისათვის მოგებიდან ფიქსირებული ფასების დროს:

$$d = d^{bs\theta}, \quad c_j = \bar{c}_j$$

გამორიცხის ფუნქცია უნდა თამაშობდეს ორმაგ როლს: პირველი – დააბალანსოს ეკონომიკური პირობები და მეორე – იყოს სტიმულირების მექანიზმი:

$$R_i = \sum_j R_{ij}(Y_{ij}) = \sum_j Y_{ij}(\bar{c}_j - c_j^0) + \sum_j Y_{ij}^0(c_j^0 - c_{ij}^0) \quad (2.11)$$

$$c_{ij}^0 = \frac{\alpha_{ij} + d^{bs\theta} V_{ij}^0 + b_{ij} \omega_{ij}}{Y_{ij}^0} \quad (2.12)$$

$$c_j^0 = d^{bs\theta} / \left. \frac{dY_{ij}}{dV_{ij}} \right|_{V_{ij}=V_{ij}^0} \quad (2.13)$$

ამრიგად, დეტერმინირებული მოდელის ჩარჩოებში აგებული გამორიცხვის მექანიზმი  $R_i(Y_{ij})$  მოგებიდან, ასრულებს უპირველეს ყოვლისა მთელი სისტემის (ცენტრის) ეკონომიკური ინტერესების შეთანხმების ამოცანას საწარმოების სამეურნეო ანგარიშების ინტერესებთან, ასევე აბალანსებს ეკონომიურ პირობებს და ხელს უწყობს წყლის რესურსების ოპტიმალური გამოყენების სტიმულირებას.

## 2.4. წყალგანაწილების ოპერატიული დაგეგმარების ამოცანის ფორმალიზაცია

წყალგანაწილების ოპერატიული დაგეგმარება ხორციელდება ოპტიმალური წყალგანაწილების და წყალმომარების სტიმულირების მექანიზმების მოქმედების პირობებში.

წყალგანაწილების პროცესის მართვის აღწერილი მრავალდონიანი იერარქიული სისტემის ფორმალიზება ხორციელდება ხისებრი გრაფით

$\Omega(N)$ , სადაც  $N$  მწვერვალების (ქვესისტემების) სიმრავლეა. სისტემას გადაწყვეტილების მიღების იერარქიული სტრუქტურა აქვს.  $M_i \subset N, i = \overline{1, \nu}$ , სადაც  $M_i$  –  $i$ -ური დონის მწვერვალთა სიმრავლეა.  $\nu$  – იერარქიის დონეთა რიცხვი. ის შედგება მმართველი ცენტრის (მწვერვალები  $\varepsilon_0 \in N$ ), შუალედურ ცენტრებად წოდებული ქვესისტემების ერთობლიობის ( $M_i \subset N$  სიმრავლის  $i = \overline{2, \nu-1}$  მწვერვალები, როგორც შემავალი ასევე გამომავალი წიბოების მქონე) და სარწყავი მინდვრების თანაბარუფლებიანი რგოლებისაგან (მხოლოდ შემავალი წიბოს მქონე მწვერვალების სიმრავლე  $M_1 \subset N$ ). აქ წიბო  $(s, j)$  გაიგივებულია დაქვემდებარებასთან, ამასთან  $V_{sj}$  – წყლის მოცულობაა გამოყოფილი  $j$  ქვესისტემისათვის  $s$  ქვესისტემის მიერ ( $j, s \in N$ ).

წყალგანაწილების ოპერატიული მართვის დაგეგმარების პროცესი იწყება საწარმოო ფუნქციის აგებით თითოეული  $k$ -ური მოსარწყავი მინდვრისათვის.

თითოეული  $k \in M_1$  მოსარწყავი მინდვრის «ინტერესები»<sup>1</sup> აღვწერთ ფუნქციით

$$D_k = c_k y_k \omega_k - G_k \quad (2.14)$$

სადაც  $D_k$  –  $k$ -ურ მინდვორზე მიღებული სუფთა მოგებაა;  $c_k$  –  $k$ -ურ მინდვორზე მოყვანილი ერთეული პროდუქციის ფასია;  $\omega_k$  –  $k$ -ური მინდვრის ფართობია;  $y_k$  –  $k$ -ური მინდვრის ერთეულ ფართობზე მიღებული პროდუქციის რაოდენობაა;  $G_k$  –  $k$ -ურ მინდვორზე პროდუქციის წარმოების დანახარჯებია, დამოკიდებული – სამუშაო დროის დანახარჯების სიდიდეზე, სასუქის ღირებულებაზე, მიწოდებული წყლის მოცულობაზე, ტექნიკაზე და ა.შ. თუ ყველა არგუმენტს, რომლებიც არ არიან დამოკიდებულნი მიწოდებული წყლის  $V_{qk}$  მოცულობაზე, ჩავთვლით მუდმივად, მაშინ მისი დამოკიდებულება უკანასკნელზე წარმოიხინდება მონოტონურ ზრდად ფუნქციად  $G_k = G_k(V_{qk})$ , სადაც  $\partial G_k / \partial V_{qk} > 0$ . აქ  $V_{qk} = \Phi_k \omega_k$ ,  $\Phi_k$  –  $k$ -ური მინდვრის სარწყავი ნორმაა.

<sup>1</sup> იგულისხმევა მეპატრონეები

ბუნებრივია, რომ მოგება, რომელიც შესაძლოა მიღებული იქნეს  $k$ -ურ მინდორზე განხორციელებული ტექნოლოგიური პროცესების ხარჯზე, წარმოადგენს მინდვრისათვის გამოყოფილი სარწყავი წყლის  $V_{qk}$  მოცულობის ფუნქციას, ვინაიდან სწორედ მასზეა დამოკიდებული მოსავალი მინდვრის ერთეულ ფართობზე და  $G_k$  ხარჯები პროდუქციის წარმოებაზე. მოსავალი ერთმნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული სარწყავ ნორმაზე მხოლოდ კონკრეტული წლის და კონკრეტული მინდვრის პირობებში. გარდა ამისა,  $k$ -ური მინდვრიდან მიღებული  $D_k(V_{qk})$  შემოსავალი, მისთვის წყლის  $V_{qk}$  მოცულობით გამოყოფის დროს, იქნება მაქსიმალური, თუ წყალს რაციონალურად გამოვიყენებთ ანუ თუ მოხდება მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაცია. მორწყვის რეჟიმი ოპტიმალური უნდა იყოს ნებისმიერი  $V_{qk}$  დროს [53, 54, 69].

$k$ -ური მინდვრისათვის, სარწყავი წყლის  $V_{qk}$  სხვადასხვა მოცულობის შემთხვევაში მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის მრავალჯერადი ამოხსნით, შესაძლებელია განისაზღვროს  $y_k(\Phi_k)$  ფუნქცია, და მაშასადამე  $D_k(V_{qk})$  ფუნქციაც. თითოეული  $k$ -ური მინდვრისათვის ამ პროცედურის ჩატარებით ვღებულობთ მონაცემებს ან შეკვეთების ფუნქციას, რომლებიც თითოეულ მინდორზე სარწყავი წყლის გამოყენების ეფექტურობას გვიჩვენებენ.

ბუნებრივია თუ საწარმოს მეპატრონეებს (მეორე დონე) არა აქვს საშუალება სარწყავი წყლით დააკმაყოფილოს თითოეული მინდვრის  $V_{qk}$  მოთხოვნათა უმეტესობა, ანუ თუ

$$V_{iq} < \sum_{k \in A(q)} [V_{qk}^0 + \Delta V_{qk}^0] \quad i \in B(q)$$

სადაც  $\Delta V_{qk}^0$  – წყლის მოცულობის დანაკარგებია  $q \in M_2 \subset N$  ქვესისტემიდან მისი გადაცემის დროს  $k \in M_1 \subset N$  ქვესისტემაში, მაშინ დგება საკითხი მეპატრონის მიერ მინდვრებს შორის წყლის უფრო მიზანშეწონილი განაწილების შესახებ.

მიზნის ფუნქცია  $D_q$  მეორე დონის (მეპატრონეები) ქვესისტემისათვის  $q \in M_2$  აღიწერება შემდეგი სახით:

$$D_q = \sum_{k \in A(q)} [c_k y_k \omega_k - G_k] - G_q - R_q \quad (2.15)$$

სადაც  $G_q$  – დამატებითი ჯამური დანახარჯებია, დაკავშირებული იერარქიის მეორე დონის  $q \in M_2$  ობიექტის ფუნქციონირებასთან, რომლებიც არ წარმოადგენენ  $k$ -ურ მინდორზე საწარმოო ქმედებების პირდაპირ შედეგს. ხოლო  $R_q$  – საწარმოო ბრიგადისათვის სტიმულირების მიზნით გამოყოფილი კომპენსაცია.

ოპტიმიზაციის კრიტერიუმის არსებობა საშუალებას გვაძლევს წყლის მოცულობის  $V_{iq}$ ,  $i \in B(q)$  შეზღუდვა თითოეული ჰიპოტეზური სიდიდისათვის, რომელიც შესაძლოა მიიღოს მეპატრონემ ვეგეტაციური პერიოდის განმავლობაში, ვიპოვოთ წყლის განაწილების ოპტიმალური სტრატეგია მინდვრების  $M_1$  სიმრავლეს შორის. სხვადასხვა  $V_{iq}$ -თვის ამ ამოცანის მრავალჯერადი ამოხსნით, ვღებულობთ სარწყავ წყალზე  $q \in M_2$  ელემენტის ფუნქცია-შეკვეთას იერარქიის მეორე დონეზე  $D_q(V_{iq})$ , რომელიც შეესაბამება წყლის ნებისმიერი რაოდენობის ოპტიმალურ გამოყენებას  $0 \leq V_{iq} \leq V_{iq}^0$ .

მათემატიკური თვალსაზრისით იერარქიის მეორე დონეზე წყალგანაწილების დაგეგმარების ოპტიმიზაციის ამოცანა დაიყვანება არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანამდე, არაწრფივი სეპარაბელური მიზნის ფუნქციით (2.15), ანუ აუცილებელია განისაზღვროს  $V_{qk}^m \geq 0$ ,  $k \in A(q)$  ისეთი მნიშვნელობები, რომლისთვისაც

$$D_q \equiv \sum_{k \in A(q)} [c_k y_k \omega_k - G_k] - G_q - R_q \rightarrow \max \quad (2.16)$$

და შესრულდეს შეზღუდვა

$$\sum_{k \in A(q)} [V_{qk}^m + \Delta V_{qk}^m] \leq V_{iq}, \quad q \in M_2, \quad i \in B(q) \quad (2.17)$$

გასანაწილებელი წყლის  $V_{iq}$  მოცულობის მიხედვით.  $V_{qk}^m$  არის წყლის ჯამური მოცულობა, რომელიც ექვემდებარება განაწილებას  $k \in M_1$  მოსარწყავ მინდორზე სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში, ან მისი ნაწილი  $\bar{\tau}_k - \tau_0$ ,  $\underline{\tau}_k \leq \tau_0 \leq \bar{\tau}_k$ , სადაც  $\underline{\tau}_k$  –  $k \in M_1$  მინდვრის თესვის მომენტი,  $\bar{\tau}_k$  – მოსავლის აღების მომენტი,  $\tau_0$  – ანგარიშსწორების მომენტი;  $V_{iq}$ ,  $i \in B(q)$  – წყლის მოცულობა, გამოყოფილი  $q \in M_2$  მეპატრონისათვის, რომელიც ექვემდებარება განაწილებას  $A(q)$

სიმრავლეთა დაქვემდებარებულ მინდვრებს შორის მთელი ან ნაწილობრივი სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში

$$\max_{k \in A(q)} \bar{\tau}_{qk} - \tau_0, \quad \min_{k \in A(q)} \underline{\tau}_{kq} \leq \tau_0 \leq \max_{k \in A(q)} \bar{\tau}_{kq}$$

სადაც,  $\min_{k \in A(q)} \underline{\tau}_{kq}$  ყველაზე ადრეული კულტურის თესვის მომენტია,

ხოლო  $\max_{k \in A(q)} \bar{\tau}_{kq}$  – ყველაზე გვიანი კულტურის აღების მომენტი.

(2.16) – (2.17) ამოცანების ამოხსნის შედეგად თითოეული  $q \in M_2$  მეპატრონის  $k \in A(q)$  მინდვრისათვის დროის გასათვლელი პერიოდის განმავლობაში  $q$  მეპატრონისთვის გამოყოფილი  $V_{iq}$  წყლის მოცულებაზე დამოკიდებულებით განისაზღვრება მცენარეთა ზრდა-განვითარებისათვის აუცილებელი ოპტიმალური სარწყავი ნორმები  $\Phi_{qk}^m = V_{qk}^m / \omega_k$ .

$$\Phi_{qk}^m = \Phi_{qk}^m(V_{iq}), \quad 0 \leq V_{iq} \leq V_{iq}^{\max} \quad (2.18)$$

აქედან გამომდინარე, იერარქიის ქვედა დონის შესაბამისი (სარწყავი მინდვრები) ოპტიმალური სარწყავი რეჟიმებია  $\phi_k^m(\tau)$ ,  $k \in M_1$ . აქ  $V_{iq}^{\max} - V_{iq}$ -ს მნიშვნელობაა, რომლისთვისაც (2.17) არეალის საზღვარზე მიიღწევა მიზნის ფუნქციის აბსოლუტური მაქსიმუმი.

აღმოსავლეთ საქართველოში ძირითადი სასოფლო-სამეურნეო კულტურებია: საშემოდგომო ხორბალი, ქერი, ვაზი, ხეხილი, ჭარხალი, კარტოფილი, მზესუმზირა, თამბაქო, ბოსტნეული და ბალჩეული, ეთერზეთოვანი, სასილოსედ დათესილი კულტურები და ერთწლიანი და მრავალწლიანი ბალახები. საკვლევ ტერიტორიაზე განლაგებულ აგრომეტეოსადგურებზე არ არსებობს სათანადო მონაცემები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემდა დაგვედგინა მორწყვის ნორმები ეთერზეთოვანი, ბოსტნეული და ბალჩეული კულტურებისათვის. ამიტომ, მათი მორწყვის ნორმების დასადგენად ლიტერატურაში არსებული და საპროექტო მონაცემებით ვისარგებლეთ (დანართი 1. ცხ. 1.6 ÷ 1.14) [80, 82].



### თავი 3. აგრობიოცენოზის მოსავლის ფორმირების მათემატიკური მოდელის დამუშავება

#### 3.1 ზრდის დინამიური განტოლების გამოყვანა

იმის გათვალისწინებით, რომ სასოფლო-სამეურნეო მიწებში ზრდის მიზანს წარმოადგენს ერთი ან რამოდენიმე მცენარის ორგანოს გარკვეული რაოდენობის ბიომასის მიღება, მოსავლის ფორმირების მოდელში ზრდის პროცესების აღწერა უმნიშვნელოვანეს შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს [39].

განვიხილოთ მცენარის ბიომასის დაგროვების პროცესი ან რაც უფრო მოსახერხებელია მინდვრის ერთეულ ფართობზე მცენარის ნათესის ბიომასა. ამავე დროულად შემოვიტანოთ მშრალი ბიომასის ცნება (ანუ ნათესში ორგანული ნივთიერებების რაოდენობა), რომელშიც მცენარის შემადგენლობაში შესული წყლის რაოდენობა არ გაითვალისწინება, არ შესული ქიმიურად ორგანული ნივთიერებების შემადგენლობაში. ეს რა თქმა უნდა პირობითი სიდიდეა, რადგან არანაირი ბიოქიმიური პროცესები არ მიმდინარეობს წყლის არ არსებობის დროს, თუმცა წყლის შემცველობა მცენარეში არ არის სტაბილური და ერთმნიშვნელოვნად არ არის დამოკიდებული ბიომასის წონაზე. ამასთან, მოცემული სასოფლო-სამეურნეო კულტურის ნათესის მოსავლის შემადგენლობაში არსებული მშრალი ბიომასის წონის გამოთვლის შემდეგ, ის უნდა დაყვანილ იქნეს სტანდარტული ტენიანობის შესაბამის წონაზე (მაგალითად, მარცვლეული კულტურებისათვის სტანდარტულად ითვლება მარცვლის წონა, რომელიც შეიცავს 14% ტენს).

ბიომასის დაგროვების სიჩქარე არ არის მუდმივი, ის იცვლება ვეგეტაციის პერიოდის განმავლობაში. ეს ცვლილება როგორც გენეტიკურ ფაქტორებთან, ასევე აღმოცენების ცვლად პირობებთანაა დაკავშირებული.

მარტივად, მთელი ნათესის ბიომასის დაგროვების პროცესი შესაძლებელია ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$dM / d\tau = k(\tau, \bar{v}_p, \bar{x}_q) \quad (3.1)$$

სადაც  $M$  – მცენარის ნათესის მშრალი ბიომასაა;  $k$  - ბიომასის დაგროვების სიჩქარე;  $\tau$  - დრო;  $\bar{v}_p$  - მცენარის ბიოლოგიური თვისებების ვექტორი, მომქმედი ბიომასის დაგროვების სიჩქარეზე;  $\bar{x}_q$  - გარემო ფაქტორების ვექტორი, მომქმედი ბიომასის დაგროვების სიჩქარეზე.

განტოლება (3.1) პრინციპში აღწერს ჩვენთვის საინტერესო პროცესს, თუმცა ის ძალიან განზოგადოებულია და მისი ამ სახით გამოყენება გამოთვლებში არ არის სასურველი.

ჩვენი მიზანია  $k(\tau, \bar{v}_p, \bar{x}_q)$  განისაზღვროს როგორც ფუნქცია, დამოკიდებული მცენარის ბიოლოგიურ თვისებებზე და გარემო ფაქტორებზე, ხოლო შემდეგ ერთიც და მეორეც – როგორც დროის ფუნქცია.

ბიომასის დაგროვების პროცესთან ერთად, ვეგეტაციის პერიოდში ბიომასის ნაწილი კვდება და მცენარეს გამოეყოფა (ჩამოსცვივა), ამიტომ მისი გათვალისწინება დროის ნებისმიერ მომენტში მშრალი ბიომასის გაზომვისას არ შეიძლება. ბალანსის თვალსაზრისით ნათესის ბიომასის მშრალი წონა მინდვრის ერთეულ ფართობზე დროის  $(\tau + \Delta\tau)$  მომენტში შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$M(\tau + \Delta\tau) = M(\tau) + \Delta\mu - \Delta\Omega \quad (3.2)$$

სადაც  $\Delta\mu$  – ახლად შექმნილი ბიომასის მშრალი წონაა  $\Delta\tau$  დროში;  $\Delta\Omega$  - ჩამოცვენილი ბიომასის მშრალი წონა  $\Delta\tau$  დროში.

ბუნებრივია, რომ (3.2) განტოლებაში მარჯვენა მხარეს მოთავსებული მეორე წევრი – ახალი ბიომასის ფორმირების სიჩქარე – უმნიშვნელოვანეს კომპონენტს წარმოადგენს, რადგან განტოლების მარჯვენა ნაწილის მესამე წევრი – ბიომასის ცვენა – ნაზრდთან შედარებით მცირეა, ხოლო ვეგეტაციის პერიოდის პირველ ნახევარში პრაქტიკულად საერთოდ არ არსებობს.

ახალი ბიომასის წარმოქმნა, ძირითადად წარმოებს ფოტოქიმიური პროცესების ხარჯზე, რომელიც მცენარის მწვანე ორგანოებში მიმდინარეობს. ამასთან, ფოტოსინთეზის პროცესის მიმდინარეობა მინდვრის ერთეულ ფართობზე არსებითად არის დამოკიდებული

მცენარის მწვანე ორგანოების ზედაპირის ფართობზე და გარემოს პირობებზე, რომელშიც ეს პროცესი მიმდინარეობს ანუ

$$\Delta\mu = m(L(\tau), \bar{x}_q(\tau))\Delta\tau \quad (3.3)$$

სადაც  $m$  – მშრალი ბიომასის ნაზრდია ერთეულ დროში;  $L(\tau)$  - მცენარის ასიმილაციური აპარატის ზედაპირის ფართობი მინდვრის ერთეულ ფართობზე  $\tau$  დროის ნებისმიერ მომენტში;  $\bar{x}_q$  - იგივეა, რაც იყო (3.1)-ში.

რაც შეეხება ჩამოყრილ ბიომასას, მისი გამოსახვა მოსახერხებელია  $\omega$  ფუნქციის ნამრავლის სახით – ჩამოყრის სიჩქარის მიმართ – ბიომასის მშრალ წონაზე. ბუნებრივია, რომ  $\omega$  წარმოადგენს დროის ფუნქციას, ის დამოკიდებულია მცენარის წლოვანებაზე და გარემო პირობებზე.  $\omega$  ფუნქცია უნდა განისაზღვროს ექსპერიმენტულად და შესაძლებელია დავუშვათ, რომ ის საკმარისად სტაბილურია მცენარის ყველა სახისა და ხარისხისათვის. მაშინ

$$\begin{aligned} \Delta\Omega &= \omega M \Delta\tau \\ \omega &= (\Delta\Omega / \Delta\tau) M^{-1} \end{aligned} \quad (3.4)$$

(3.3) – (3.4) გამოსახულებების გათვალისწინებით, განტოლება (3.2) ჩავწერთ შემდეგი სახით

$$M(\tau + \Delta\tau) = M(\tau) + [m(L(\tau), \bar{x}_q(\tau)) - \omega(\tau, \bar{x}_q(\tau))M(\tau)]\Delta\tau \quad (3.5)$$

(3.5) განტოლების სტრუქტურიდან გამომდინარეობს, რომ მის ამოსახსნელად აუცილებელია  $\omega$  ფუნქციის ცოდნა,  $\bar{x}_q$  გარემოს ფაქტორები და ასევე  $L$  ასიმილაციური აპარატის ფართობი, რომელზეც დამოკიდებულია  $m$  ფუნქციის გამოთვლა.

ასიმილაციური აპარატის ფართობის ცვლა ასევე წარმოადგენს ორი ურთიერთსაწინააღმდეგო პროცესის – ახალი ასიმილაციური აპარატის წარმოქმნის და უკვე არსებულის რაღაც ნაწილის კვდომის შეკრების შედეგს:

$$L(\tau + \Delta\tau) = L(\tau) + \Delta\Lambda - \Delta G \quad (3.6)$$

აქ  $\Delta\Lambda$  – მინდვრის ერთეულ ფართობზე კვლავ წარმოქმნილი ასიმილაციური აპარატის ფართობია  $\Delta\tau$  დროში;  $\Delta G$  - გაყვითლებული ასიმილაციური აპარატის ფართობის ნამატია, რომელსაც დაკარგული აქვს ნახშირჟანგის ასიმილირების უნარი  $\Delta\tau$  დროის განმავლობაში.

ახლად შექმნილი ასიმილაციური აპარატის ფართობის გაზრდა წარმოებს მშრალი ნივთიერების წარმოქმნის სიჩქარის პროპორციულად, ამიტომ

$$\Delta\Lambda = \beta\Delta\mu = \beta m\Delta\tau \quad (3.7)$$

სადაც  $\beta = \Delta\Lambda / \Delta\mu$  – ასიმილაციური აპარატის წარმოქმნის კოეფიციენტი;  $\beta$  წარმოადგენს დროის ფუნქციას და დამოკიდებულია მცენარის გარემო პირობებზე,  $\beta = \beta(\tau, \bar{x}_q(\tau))$ .

ასიმილაციური აპარატის გაყვითლების სიჩქარე შესაძლებელია წარმოვადგინოთ  $g$  – პროპორციულობის კოეფიციენტის ნამრავლის სახით – ასიმილაციური აპარატის კვდომის სიჩქარესთან მიმართებაში –  $\tau$  მომენტში არსებული ასიმილაციური აპარატის ფართობზე:

$$\Delta G = gL\Delta\tau, \quad g = g(\tau, \bar{x}_q(\tau)), \quad g = (\Delta G / \Delta\tau)L^{-1} \quad (3.8)$$

(3.7) და (3.8) განტოლებების გათვალისწინებით განტოლება (3.6) შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$L(\tau + \Delta\tau) = L(\tau) + [\beta m - gL(\tau)]\Delta\tau \quad (3.9)$$

(3.5) და (3.9) განტოლებათა სისტემა იძლევა საშუალებას, გამოითვალოს ვეგეტაციის ნებისმიერ მომენტში ზოგიერთი სასოფლო-სამეურნეო კულტურის ნათესის ბიომასის საერთო მშრალი წონა და საბოლოო ბიოლოგიური მოსავალი, თუკი ცნობილია დროში პროდუქტიულობის პარამეტრების  $\beta, \omega, g$  ცვლილებები და არსებობს მოდელი, რომელიც ესადაგება  $m$  ბიომასის ნაზარდის გამოთვლას. განტოლებებს (3.5) და (3.9) შესაძლებელია ჰქონდეთ პრაქტიკული მნიშვნელობა მაგალითად, სასილოსე სიმინდის მოსავლის გამოსათვლელად (საერთო ბიომასიდან აუცილებელია მხოლოდ ფესვების წონის გამოკლება). ეს დამოკიდებულია იმაზე, რომ სიმინდში ფოტოსინთეზირებას პრაქტიკულად მხოლოდ ფოთლები განიცდიან და აქედან გამომდინარე განტოლება (3.9) აღწერს ფოთლების ფართობის ზრდის სიჩქარეს.

იმ კულტურებისათვის, რომელთა ბიომასის შექმნაში მონაწილეობას იღებს არა მარტო ფოთლები, არამედ მცენარის სხვა ორგანოებიც, ერთი განტოლებით ასიმილაციური აპარატის შექმნის სიჩქარის აღწერა არ ხერხდება, რადგან სხვადასხვა ორგანოებს

სხვადასხვა სახის ფუნქციები უნდა გააჩნდეს, რომლებიც აღწერენ პროდუქტიულობის  $\beta$  და  $g$  პარამეტრებს. მთელი მცენარისათვის ამ პარამეტრების გაერთიანების მცდელობა, მათ დამოკიდებულებას დროზე ძალიან რთულს და არაერთმნიშვნელოვანს ხდის. ამიტომ განტოლება (3.9) ასეთი მცენარეებისათვის უნდა ჩაიწეროს ცალ-ცალკე თითოეული ფოტოსინთეზირებადი ორგანოსათვის:

$$L_j(\tau + \Delta\tau) = L_j(\tau) + [\beta_j m - g_j L_j(\tau)] \Delta\tau, \quad j = \overline{1, l} \quad (3.10)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ მცენარის რამოდენიმე ორგანოს ასიმილაციაში მონაწილეობის დროს ასიმილაციის სიჩქარე გამოიხატება ყველა  $l$  ორგანოს ასიმილაციების სიჩქარის ჯამით:

$$m = \sum_{j=1}^l m_j, \quad j = \overline{1, l} \quad (3.11)$$

ყველა ფოტოსინთეზირებადი  $J$  ორგანოს სიმრავლე სიმძლავრით  $|J|=l$  წარმოადგენს მცენარის  $I$  ყველა ორგანოს სიმრავლის ქვესიმრავლეს სიმძლავრით  $|I|=n, J \subset I$ .

უმრავლეს შემთხვევაში სასოფლო-სამეურნეო კულტურის მიზანს მისი ერთი ორგანოს გაზრდა წარმოადგენს: მარცვალი, ფესვ-ნაყოფი და სხვა. ამიტომ წარმოიქმნება სამეურნეო-სასარგებლო ორგანოს ბიომასის ცვლილებისათვის განტოლების ჩაწერის აუცილებლობა, რომელიც იქმნება ახლად წარმოქმნილი ასიმილატორების, ასევე სხვა ორგანოებიდან ადრევე მომარაგებული ნივთიერებების გადმოღინების ხარჯზე:

$$M^*(\tau + \Delta\tau) = M^*(\tau) + \Delta\mu^* + \Delta B^* \quad (3.12)$$

სადაც  $M^*$  - სამეურნეო-სასარგებლო ორგანოს ბიომასის მშრალი წონაა;  $\Delta\mu^*$  - სამეურნეო-სასარგებლო ორგანოში ხელახლა შექმნილი ასიმილატორების შენაერთი;  $\Delta B^*$  - სამეურნეო-სასარგებლო ორგანოში, მცენარის სხვა ორგანოებში ადრევე მომარაგებული, ასიმილატორების შენაერთი;  $\Delta\mu^*$  - წონის პროპორციული  $\Delta\tau$  დროში ფოტოსინთეზირებული ბიომასები მთელს ( $\Delta\mu$ ) მცენარეში:

$$\Delta\mu^* = \alpha^* \Delta\mu = \alpha^* m \Delta\tau \quad (3.13)$$

სადაც  $\alpha^* = \Delta\mu^* / \Delta\mu$  - პროდუქტიულობის პარამეტრია, რომელიც ახასიათებს კვლავ შექმნილი ასიმილატორების განაწილებას ორგანოებს შორის.

მცენარის სამეურნეო-სასრებლო ორგანოს წონის ზრდა ადრე დაგროვილი ნივთიერებების ხარჯზე ორგანოების, რომელთაგანაც ეს ნივთიერებები ჩამოედინება, ჯამური წონის შემცირების ტოლია:

$$\Delta B^* = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta B_i, \quad i \in I, \quad |I| = n \quad (3.14)$$

სადაც  $\Delta B_i$  -  $\Delta\tau$  დროის განმავლობაში  $i$ -ური ორგანოდან მასში ადრევე დაგროვილი ასიმილატების ჩამონადენია. და თუ ჩავთვლით, რომ ის ამ ორგანოს ცოცხალი ნაწილის წონის პროპორციულია (რაც ბუნებრივია), მაშინ

$$\Delta B_i = b_i \hat{M}_i \Delta\tau \quad (3.15)$$

სადაც  $b_i = (\Delta B_i / \Delta\tau) \hat{M}_i^{-1}$  - პროდუქტიულობის პარამეტრია, რომელიც ახასიათებს ადრევე დაგროვილი ასიმილატების გადაღინებას;  $\hat{M}_i$ - ცოცხალი ბიომასის  $i$ -ური ორგანოს მშრალი წონაა.

ამრიგად (3.13) - (3.15) გამოსახულებების გათვალისწინებით განტოლება (3.12) დებულობს სახეს:

$$M^*(\tau + \Delta\tau) = M^*(\tau) + [\alpha^* m + \sum_{i=1}^{n-1} b_i \hat{M}_i(\tau)] \Delta\tau, \quad i \in I, \quad |I| = n \quad (3.16)$$

განტოლება (3.16)-ში შემავალი მცენარის  $i$ -ური ორგანოს ცოცხალი ბიომასის მშრალი წონა შეიძლება განისაზღვროს განტოლებიდან

$$\hat{M}_i(\tau + \Delta\tau) = \hat{M}_i(\tau) + \Delta\mu_i - \Delta B_i - \Delta V_i, \quad i \in I, \quad |I| = n \quad (3.17)$$

აქ  $\Delta V_i$  -  $\Delta\tau$  დროის განმავლობაში  $i$ -ური ორგანოს მკვდარი ნაწილების მშრალი წონაა.

ადრე შემოტანილი დამოკიდებულებების (3.13) და (3.4) ანალოგიურად ჩავწერთ

$$\Delta\mu_i = \alpha_i \Delta\mu = \alpha_i m \Delta\tau \quad (3.18)$$

თუ ჩავთვლით, რომ  $i$ -ური ორგანოს ბიომასის კვლევა პროპორციულია ამავე ორგანოს ცოცხალი ბიომასის მშრალი წონის

$$\Delta V_i = v_i \hat{M}_i \Delta\tau \quad (3.19)$$

მაშინ,

$$\hat{M}_i(\tau + \Delta\tau) = \hat{M}_i(\tau) + [\alpha_i m - (b_i + v_i) \hat{M}_i(\tau)] \Delta\tau, \quad i \in I \quad (3.20)$$

მცენარის  $i$ -ური ორგანოს მთელი ბიომასის მშრალი წონის გამოთვლა შესაძლებელია განხორციელდეს განტოლებით

$$M_i(\tau + \Delta\tau) = M_i(\tau) + \Delta\hat{M}_i + \Delta V_i - \Delta\Omega_i \quad (3.21)$$

სადაც (3.4)-ის ანალოგიურად  $\Delta\Omega_i = \omega_i M_i \Delta\tau$ , ან (3.19) და (3.20)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ

$$M_i(\tau + \Delta\tau) = M_i(\tau) + [\alpha_i m - b_i \hat{M}_i(\tau) - \omega_i M_i(\tau)] \Delta\tau, \quad i \in I \quad (3.22)$$

აღსანიშნავია, რომ შემოტანილი ყველა პროდუქტიულობის პარამეტრი  $\alpha^*, \alpha_i, v_i, \omega_i, b_i, \beta_i, g_i$  წარმოადგენს დროით ფუნქციებს.

განვიხილოთ ზემოთ მიღებული, ბიომასის დაგროვების პროცესის აღმწერი განტოლებების გამოყენებასთან დაკავშირებული ერთი მნიშვნელოვანი ასპექტი. ეს ასპექტი დროითი მასშტაბის ამორჩევას ეხება.

ჩვეულებრივ, ბალახოვანი სასოფლო-სამეურნეო მცენარეების ვეგეტაციის პერიოდის ხანგრძლივობა 70-120 დღე-ღამეა, რომლის განმავლობაშიც ხორციელდება ბიომასის დაგროვების და მოსავლის ფორმირების თანდათანობითი მონოტონური პროცესი, რაც ორგანოების წარმოქმნასთან ასიმილაციების შექმნასა და განაწილებასთანაა დაკავშირებული. თუმცა ამ პროცესს შეიძლება დაერქვას მონოტონური მხოლოდ პირობითად, რადგან პროცესის სეზონური მიმდინარეობა ემთხვევა ციკლური დღეღამური ფოტოსინთეზის პროცესს, და რომელიც მხოლოდ დღისით მიმდინარეობს. ხოლო ასიმილაციების განაწილება, როგორც წესი ღამით მიმდინარეობს. დღე-ღამის განმავლობაში ციკლი ძირითადად სრულდება. ამიტომ მოსახერხებელია დისკრეტულ დროდ ავირჩიოთ დღე-ღამური  $\Delta\tau = 1$  ბიჯი. ასევე, აუცილებელია გავითვალისწინოთ, რომ ახალი ასიმილაციების ნაზრდის დღე-ღამური სიდიდე წარმოადგენს მცენარის მწვანე ორგანოების მიერ შექმნილი ასიმილაციების ჯამს:

$$m = \sum_{j=1}^l m_j; \quad j = \overline{1, l}; \quad j \in J; \quad |J| = l \quad (3.23)$$

სადაც  $m_j$  –  $j$ -ური მწვანე ორგანოს მიერ კვლავ ასიმილირებული ბიომასის მშრალი წონის დღე-ღამური ნაზრდია.

დროითი ( $\Delta\tau=1$ ) მასშტაბის მიმართ ზემოთმოყვანილი მოსაზრების და (3.11), (3.23) გამოსახულებების გათვალისწინებით, განტოლებები (3.10) (3.16), (3.20), (3.22) შეიძლება ჩაიწეროს სისტემის სახით:

$$\left. \begin{aligned} M^*(\tau+1) &= M^*(\tau) + \alpha^* \sum_{j=1}^l m_j + \sum_{i=1}^{n-1} b_i \hat{M}_i(\tau) \\ \hat{M}_i(\tau+1) &= (1 - b_i - v_i) \hat{M}_i(\tau) + \alpha_i \sum_{j=1}^l m_j \\ M_i(\tau+1) &= (1 - \omega_i) M_i(\tau) + \alpha_i \sum_{j=1}^l m_j - b_i \hat{M}_i(\tau) \\ L_j(\tau+1) &= (1 - g_j) L_j(\tau) + \beta_j \sum_{j=1}^l m_j \end{aligned} \right\} \quad (3.24)$$

$$i \in I, \quad |I|=n, \quad j \in J, \quad |J|=l, \quad J \subset I$$

$$\alpha^* + \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i \equiv 1, \quad (\alpha^*, \alpha_i, \beta_j, b_i, v_i, g_j, \omega_i) \geq 0$$

განტოლება (3.24) საწყის პირობებთან ერთად წარმოადგენს ჩაკეტილ სისტემას, რომელიც პრინციპში იძლევა საშუალებას ვეგეტაციის ნებისმიერ მომენტში გამოითვალოს ნათესში მცენარის თითოეული ორგანოს მშრალი წონა.

(3.24) სისტემაში შემავალი ზრდის განტოლებათა რიცხვი დამოკიდებულია მცენარის სახეობაზე და მის თავისებურებებზე. მაგალითად, შაქრის ჭარხლისათვის სისტემა იქნება ხუთ განტოლებიანი: ერთი  $M^*$  – ფესვნაყოფისათვის, ორი  $M_i$  – ფოთლებისა და ფესვისათვის, ერთი  $\hat{M}_i$  – ფოთლებისათვის (ფესვებისათვის ვიღებთ  $\hat{M}_i = M_i$ , რადგან არა აქვს აზრი მივიღოთ მხედველობაში ფესვების კვდომა, სამუშაოს შრომატევადობისა და მცირე სიზუსტის გამო), ერთი  $L_j$  – ფოთლებისათვის. თავთავიანი მარცვლეული კულტურებისათვის აუცილებელია ჩაიწეროს 11 განტოლება, სიმინდისათვის – 9 და ა.შ.

იმ შემთხვევაში, თუ პროდუქტიულობის პარამეტრების შესახებ მონაცემები არ გვაქვს ან ეს პროცესები არ არის არსებითი, მაგრამ ცნობილია კვლავ შექმნილი ბიომასის  $a_i$  და  $a^*$  განაწილების



პარამეტრების მონაცემები, ასევე გარდაქმნისა და ასიმბლაციური აპარატის  $\beta_j$  და  $g_j$  კვდომის ფართობის პარამეტრები, მაშინ ცალკე ცოცხალი ბიომასის აღმწერი განტოლების აუცილებლობა აღარ არის საჭირო და განტოლება  $M^*(\tau)$ -სათვის ხდება ისეთი, როგორც  $M_i(\tau)$ -თვის. ამ შემთხვევაში (3.24) განტოლებათა სისტემა გარდაიქმნება შემდეგი სახის განტოლებათა სისტემად:

$$\left. \begin{aligned} M_i(\tau+1) &= M_i(\tau) + \alpha_i \sum_{j=1}^l m_j \\ L_j(\tau+1) &= (1-g_j)L_j(\tau) + \beta_j \sum_{j=1}^l m_j \end{aligned} \right\} \quad (3.25)$$

$$i \in I, \quad |I|=n, \quad j \in J, \quad |J|=l, \quad J \subset I,$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \equiv 1, \quad (\alpha_i, \beta_j, g_j) \geq 0.$$

შემდგომი გამარტივების გზით შესაძლოა მივიღოთ შემდეგი სახის განტოლებათა სისტემა:

$$\left. \begin{aligned} y_0(\tau+1) &= y_0(\tau) + \Delta y_0(\tau) \\ y_1(\tau+1) &= y_1(\tau) + \Delta y_1(\tau) \end{aligned} \right\} \quad (3.26)$$

სადაც

$$\Delta y_0(\tau) = U[Y(\tau)]y_1(\tau);$$

$$\Delta y_1(\tau) = \begin{cases} 0,05\Delta y_0, & \tau \leq T_b \\ -0,025, & \tau > T_b \end{cases}$$

მასში გამოყენებული აღნიშვნები შეესაბამება (3.25) სისტემას:  $M = y_0$ ,

$$L = y_1, \quad \sum_{j=1}^l m_j = m = \Delta y_0 \quad (\alpha^*, \alpha_i, \beta_j, b_i, v_i, g_j, \omega_i) \geq 0, \quad \beta m = \Delta y_1, \quad g = 0.$$

ჩვენი აღნიშვნების მიხედვით სისტემას (3.26) აქვს შემდეგ სახე:

$$\left. \begin{aligned} M(\tau+1) &= M(\tau) + m \\ L(\tau+1) &= L(\tau) + \beta m \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$

### 3.2. მცენარის ზრდა-განვითარების მოდელის იდენტიფიკაცია.

როგორც ცნობილია, ნებისმიერი პროდუქტიულობის პროცესის მათემატიკური მოდელი შეიცავს უცნობი რიცხვითი სიდიდეების ამა თუ იმ რაოდენობას, რომლებსაც მოდელის პარამეტრები ეწოდებათ. მათ შერჩევაზეა დამოკიდებული მისი მუშაობის ხარისხი ანუ სიზუსტე, რომელსაც გამოთვლილი ფაზური ტრაექტორიები ემთხვევა.

მოდელის პარამეტრების შესახებ შესაძლებელია გამოითქვას სხვადასხვა მოსაზრება: მათი სიდიდეების შესახებ შეიძლება არაფერი იყოს ცნობილი, შეიძლება იყოს ცნობილი საზღვრები, რომელშიც უნდა იყოს მოთავსებული მოდელის პარამეტრები და ბოლოს, როცა ცნობილია პარამეტრების ზუსტი მნიშვნელობები. ნათელია, რომ უკანასკნელ შემთხვევაში იდენტიფიკაციის ამოცანის ამოხსნა საჭირო არ არის. ყველაზე ხშირად ადგილი მეორე შემთხვევას აქვს, როცა მოდელის პარამეტრები ცნობილია განუსაზღვრელობის რაღაც ნაწილით, ანუ მათი სიდიდეების შესახებ შეიძლება ითქვას, რომ ისინი რაღაც ინტერვალის შიგნით მდებარეობენ –  $b_i \in [A, B]$ .

სირთულის, შესრულების ხანგრძლივობისა და ექსპერიმენტული სამუშაოების სიძვირის გამო, სრული სახით მოსაგლის ფორმირების პროცესის სტატისტიკური მახასიათებლების შესწავლა რთულია. აქედან გამომდინარე, მოდელის კრიტერიუმის სიზუსტის შეფასების ერთ-ერთ მისაღებ მეთოდს წარმოადგენს უმცირესი კვადრატების მეთოდი, რომელიც პროდუქტიულობის პროცესის ფაზური ტრაექტორიის გაზომვის საქმეში შეცდომების განაწილების შესახებ არ საჭიროებს არანაირ აპრიორულ ინფორმაციას. ამ შემთხვევაში ხარისხის კრიტერიუმი წარმოადგენს ფაზური ტრაექტორიის ვექტორის ყველა კომპონენტის ერთობლივ დისპერსიას

$$\Phi(\bar{b}) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{T_i} \{ \bar{X}_{ij}(\bar{b}) - \bar{X}_{ij}^g \}^2 \rightarrow \min \quad (3.28)$$

სადაც  $\bar{X}_{ij}(\bar{b})$  – მოდელის პარამეტრების ვექტორის რომელიმე მნიშვნელობის დროს გამოთვლილი თეორიული, მოდელური ფაზური ტრაექტორიაა;  $\bar{X}_{ij}^g$  – ემპირიული ფაზური ტრაექტორია;  $T_i$  –

ექსპერიმენტის  $i$ -ურ ვარიანტში, ექსპერიმენტული ფაზური ტრაექტორიის ფიქსაციის წერტილების რაოდენობაა;  $N$  – პროდუქტიულობის პროცესის რეალიზაციის რიცხვი.

არაწრფივი დამოკიდებულების დროს თეორიული ფაზური ტრაექტორიის პარამეტრების ვექტორიდან ერთი გამოთვლით მინიმიზაციის იტერაციული ალგორითმების გამოყენების გარეშე შეუძლებელია ვიპოვოთ საძიებელი სიდიდეები. ამასთან, არსებობს ძიების ალგორითმების პირობითი დაყოფის შესაძლებლობა დიდ, პირდაპირ და ირიბ კლასებად.

პირდაპირ მეთოდს მიეკუთვნება ის ალგორითმები, რომლებიც დაფუძნებულია ფუნქციონალის (3.28) მნიშვნელობების გამოთვლაზე პარამეტრების სივრცის რომელიმე წერტილში და ასევე მის გარშემო. ამ ოჯახიდან უმარტივესს წარმოადგენს შემთხვევითი ძიების ალგორითმების ჯგუფი. ამ ჯგუფის ბაზური ალგორითმი აგებულია შემდეგ წინაპირობებზე დაყრდნობით:

1. ექსტრემუმის  $b_i^*$ ,  $i = \overline{1, N}$  წერტილს გააჩნია  $N$ -განზომილებიან პარალელეპიპედში  $[A_i, B_i]$ ,  $i = \overline{1, N}$  თანაბარი განაწილება.

2. გამოსაცდელ სერიას, მიღებულს  $[A, B]$  შემთხვევით რიცხვებზე თანაბრად განაწილებული გენერატორისაგან, გააჩნია ექსტრემუმის ძიებისათვის მოცემული სიზუსტის მისაღწევად საკმარისი სიგრძე. ამ მეთოდის ნათელ უპირატესობას წარმოადგენს მისი სიმარტივე. ალგორითმი შეიცავს შემდეგ ბიჯებს: 1.  $b_i$ -ური პარამეტრების შემთხვევითი  $i$ -ური ვექტორის ფორმირება; 2. (3.28) მოდელის ხარისხის კრიტერიუმის გამოთვლა; 3. კრიტერიუმის სიდიდის შედარება მიღებულ უმცირეს სიდიდესთან; 4. პუნქტ 1-ზე გადასვლა.

ამ მეთოდის უამრავი მოდიფიკაცია არსებობს, მაგრამ მათ გააჩნიათ არსებითი ნაკლი, რაც მათ გამოყენებას ნაკლებად ეფექტურს ხდის. ის მდგომარეობს ექსტრემუმის ძიების შემთხვევითი რიცხვების სერიების ძალიან გრძელი გამოცდის გამოყენების აუცილებლობაში. ეს მათ გამოყენებას რთული დინამიური მოდელების იდენტიფიკაციის დროს შეუძლებელს ხდის.

მხოლოდ ხარისხის მოდელის კრიტერიუმის მნიშვნელობების გამოთვლებზე დაფუძნებულ ექსტრემუმის ძიების შემდეგ ალგორითმების ჯგუფს წარმოადგენს კოორდინატული დაშვების ალგორითმების ჯგუფი. მეთოდი შემდეგში მდგომარეობს: 1. გამოითვლება ფაზური ტრაექტორია და მაშასადამე, ხარისხის კრიტერიუმები პარამეტრების სივრცის რაღაც  $\bar{b}_i$  წერტილში; 2. მოიცემა პარამეტრების ვექტორის  $j$ -ური კოორდინატების ნაზრდი  $\Delta b$  სიდიდეზე და ისევ გამოითვლება კრიტერიუმები; 3. თუ კრიტერიუმების ახალი მნიშვნელობები ნაკლებია წინაზე, მაშინ გადასვლა ხდება  $j+1$  კოორდინატაზე და სრულდება მეორე პუნქტი; წინააღმდეგ შემთხვევაში  $j$ -ურ კოორდინატს ზრდიან  $\Delta b$  სიდიდემდე და ახდენენ შემოწმებას პუნქტი 3-ის შესაბამისად; 4. თუ ახალი შედეგი წინამორბედზე უკეთესია, მაშინ გადადიან  $j+1$  კოორდინატაზე; წინააღმდეგ შემთხვევაში  $j$ -ურ კოორდინატს მიეწერება წინა მნიშვნელობა და გადადიან  $j+1$  კოორდინატაზე.

$N$  რაოდენობის ცდების ჩატარების შედეგად, ხორციელდება წინა პარამეტრების ვექტორის ახალ მნიშვნელობაზე გადასვლა, უკეთესი (მცირე) ხარისხის კრიტერიუმის მიღებამდე. ექსტრემუმის ძიების პროცესში ბიჯის სიდიდის შეერჩევაზე დაფუძნებული მეთოდის მრავალი მოდიფიკაცია არსებობს. შედარებით ეფექტურია მეთოდი, სადაც ბიჯის სიდიდე შეირჩევა ლოკალური ექსტრემუმის მიღწევის პირობიდან, ბიჯის ზომის ვარირებისას ნულიდან რაღაც ცნობილ სიდიდემდე. ეფექტური ალგორითმები მიიღება ასევე იმ შემთხვევებში, როცა პარამეტრების სივრცეში გამოიყენება ორი სახის ბიჯი: საცდელი ბიჯი ახალი წერტილის საპოვნელად ზემოთ აღწერილი სქემის მიხედვით და ბიჯი მიმართულებისკენ, ძველი და ახალი წერტილების შემაერთებელი. ამ ბიჯის სიდიდე ასევე შეირჩევა ან ამ მიმართულებით ლოკალური ექსტრემუმის მიღწევის პირობიდან, ან რომელიმე სახის ევრისტიკული კანონის გამოყენების დროს.

ექსტრემუმის ძიების კიდევ ერთ პირდაპირ მეთოდს წარმოადგენს მეთოდი რომელიც ცნობილია სიმპლექს-მეთოდის სახელით. ის

წარმატებით გამოიყენება მათემატიკური დაპროგრამების ფართო წრის ამოცანების გადაჭრისას.

იგი ითვალისწინებს (3.28) ფუნქციონალის მნიშვნელობის გამოთვლას სიმპლექსის სწორი მრავალკუთხედის მწვერვალებში, ასევე მის ცენტრში. ამ მოქმედებების შედეგად მიიღება ინფორმაცია მოძრაობის პერსპექტიული მიმართულების პარამეტრების სივრცეში. კრიტერიუმის მინიმიზაციის თვალსაზრისით მიღებული ყველაზე ცუდი სიმპლექსის მწვერვალის უგულველყოფა ხდება, ხოლო ფუნქციონალის (3.28) ახალი მნიშვნელობა გამოითვლება ახლად წარმოქმნილი ცენტრის მიმართ სიმეტრიულად ასახულ სიმპლექს მწვერვალზე.

ამ მეთოდის მრავალ ვარიანტში გათვალისწინებულია ექსტრემუმთან შეერთების სიჩქარის ზრდის ზომები, განსაზღვრული კანონით სიმპლექსის გვერდის ბიჯის ზრდის გზით; ასევე მიიღება ექსტრემუმის მიდამოებში სიმპლექსის მოცულობის შემცირების ზომები. სიმპლექს-მეთოდის გამოყენების შედეგებით ბუნებრივ არეს წარმოადგენს დიდი ზომის მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანების მიახლოებითი ამოხსნა.

მოკლედ შევხერდეთ ექსტრემუმების ძიების მეთოდებზე, რომლებიც ეყრდნობა პირველი და მეორე ხარისხის წარმოებულების გამოთვლას.

მოდელის გაწრფივების პროცესს საძიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში მიყვარათ გაუსს-ზეიდელის კარგად ცნობილ ალგორითმთან. ერთჯერადი ტრაექტორიის ზოგიერთი პარამეტრების საწყისი ვექტორის მიმართ ტეილორის მწკრივად გარდაქმნითა და მხოლოდ წრფივი წევრების შენარჩუნებით, (3.28)-ში ჩასმის შემდეგ მივიღებთ განტოლებათა წრფივ სისტემას. ამ სისტემის ამოხსნა, თუკი ის არსებობს, განსაზღვრავს მოდელის პარამეტრების ნაზრდის ვექტორს.

პარამეტრების ახალი ვექტორის გამოსათვლელად გამოიყენება შემდეგი სახის გამოსახულება

$$\begin{aligned} \bar{b}_{j+1} &= \bar{b}_j + \theta \Delta \bar{b}_j \\ \theta &= \arg \min \Phi(\bar{b}_j + \theta \Delta \bar{b}_j) \end{aligned} \quad (3.29)$$

სადაც  $\Delta \bar{b}_j$  - პარამეტრების ვექტორის ნაზარდია  $j$ -ურ იტერაციაზე;  $\theta$  - დამაჩქარებელი მამრავლი, განსაზღვრული ერთგანზომილებიანი მინიმიზაციის პროცესში  $\Delta \bar{b}_j$  მიმართულებით იტერაციული პროცედურის თითოეულ ბიჯზე.

$\Phi(\bar{b})$  მინიმუმის განსაზღვრის სხვა ხერხი მდგომარეობს თვითონ კრიტერიუმის გაწვრივებაში. ეს პროცედურა იძლევა საშუალებას გამოითვალოს უსწრაფესი დაშვების მიმართულება გამოსმაურების ზედაპირზე (3.28), რომელსაც ვექტორ-გრადიენტის მიმართულება შეესაბამება. გრადიენტის მიმართულებით მოძრაობის და (3.29)-ის შესაბამისად ბიჯის შერჩევის შემდეგ მივიღებთ უჩქარესი დაშვების მეთოდის ვარიანტს.

არსებობს აგრეთვე მრავალ ცვლადიანი ფუნქციის მინიმიზაციის საკმაოდ საინტერესო მეთოდი, რომელშიც შერწყმულია ორივე ზემოთ აღწერილი ალგორითმის ღირსებები. მასალაში შემოთავაზებულია გაუს-ზეიდელის წრფივი განტოლებათა სისტემის მატრიცის შევსება დიაგონალური ერთეული მატრიცით, გამრავლებული ზოგიერთ სკალარულ პარამეტრზე. ამ პარამეტრის ამორჩევით დიაპაზონში ნულიდან უსასრულობამდე შესაძლებელია ექსტრემუმის ძიების სტრატეგიის ცვლა, გრადიენტული მეთოდის უპირატესობის (პროცესის საწყის ეტაპზე დამთხვევის არე დიდია) და საბოლოო ეტაპზე გაუს-ზეიდელის დამთხვევის კვადრატული სიჩქარის მეთოდის გამოყენებით [77].

კიდევ ერთი ალგორითმი, რომელიც მოითხოვს პარამეტრების ვექტორზე მხოლოდ კრიტერიუმის გრადიენტის გამოთვლას, მაგრამ მნიშვნელოვნად მაღალი თანხვედრის მქონე, ცნობილია შეუღლებული გრადიენტების მეთოდის სახელით. კვადრატულ ზედაპირებზე, საწყისი წერტილისაგან დამოუკიდებლად, მეთოდი უზრუნველყოფს ბიჯთა რიცხვთან თანხვედრას, რომელიც თეორიულად არ აღემატება გამოსმაურების ზედაპირის ზომას. მეთოდის საფუძველს შეადგენს იტერაციული პროცესი:

$$\left. \begin{aligned} \bar{b}_{j+1} &= \bar{b}_j + \theta \bar{d}_j \\ \bar{d}_j &= -\nabla \Phi_j + \frac{\|\nabla \Phi_j\|^2}{\|\nabla \Phi_{j-1}\|^2} \bar{d}_{j-1} \\ \bar{d}_1 &= -\nabla \Phi_1 \\ \theta &= \arg \min \Phi(\bar{b}_j + \theta \bar{d}_j) \end{aligned} \right\} \quad (3.30)$$

სადაც  $\nabla \Phi_j$  – (3.28)-ის გრადიენტი, გამოთვლილი  $j$ -ურ იტერაციაზე;  $\bar{d}_j$  – შეუღლებული გრადიენტის ვექტორი.

მეთოდი, რომელიც იყენებს ინფორმაციას გამოსმაურების ზედაპირის სიმრუდეზე და არა მხოლოდ მისი ცვლილების სიჩქარეზე, საჭიროებს მეორე წარმოებულების მატრიცის გამოთვლას და ცნობილია როგორც ნიუტონის მეთოდი. ალგორითმებს, რომელიც აგებულია ნიუტონის სქემის მიხედვით, გააჩნია ძალიან მაღალი თანხვედრა, თუმცა მოდელის პარამეტრების ცვლილების შეზღუდულ არეში. იტერაციული პროცესი, რომელიც წარმოქმნის ნიუტონის მეთოდს, გამოიყურება შემდეგნაირად:

$$\left. \begin{aligned} \bar{b}_{j+1} &= \bar{b}_j - \theta [\Phi_{bb}^j]^{-1} \nabla \Phi_j \\ \theta &= \arg \min \Phi(\bar{b}_{j+1}), \quad 0 \leq \theta \leq 1 \end{aligned} \right\} \quad (3.31)$$

სადაც,  $[\Phi_{bb}^j]^{-1}$  – მეორე წარმოებულების პირუკუ მატრიცაა.

ექსტრემუმის ძიების არსებულ მეთოდებზე ჩატარებული ანალიზი მისი არასრულობის მიუხედავად საშუალებას იძლევა საორიენტაციოდ ამოვიჩიოთ ალგორითმების ჯგუფი, ასე თუ ისე მისაღები იქნება სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის ფორმირების საიდენტიფიკაციო მოდელის ამოცანის ამოსახსნელად. უპირველეს ყოვლისა, საჭიროა გამოვრიცხოთ მეთოდები დაფუძნებული პირველ და მეორე ხარისხის წარმოებულების გამოთვლაზე, რადგან დინამიური სისტემების სხვადასხვა ნაწილები განსაზღვრულია არათანხვედრილ დროით ინტერვალებზე. რასაც მივყავართ კრიტერიუმის უწყვეტობის (3.28) დარღვევამდე მცენარის ახალი ორგანოების წარმოქმნის წერტილებში. გარდა ამისა, დრო, საჭირო ერთი იტერაციის გასათვლელად იქნება ძალიან დიდი.

პირდაპირი მეთოდებიდან მეტ ინტერესს იწვევს რელაქსაციური ტიპის ალგორითმები. ასეთს მიეკუთვნება კონფიგურაციის მეთოდი და

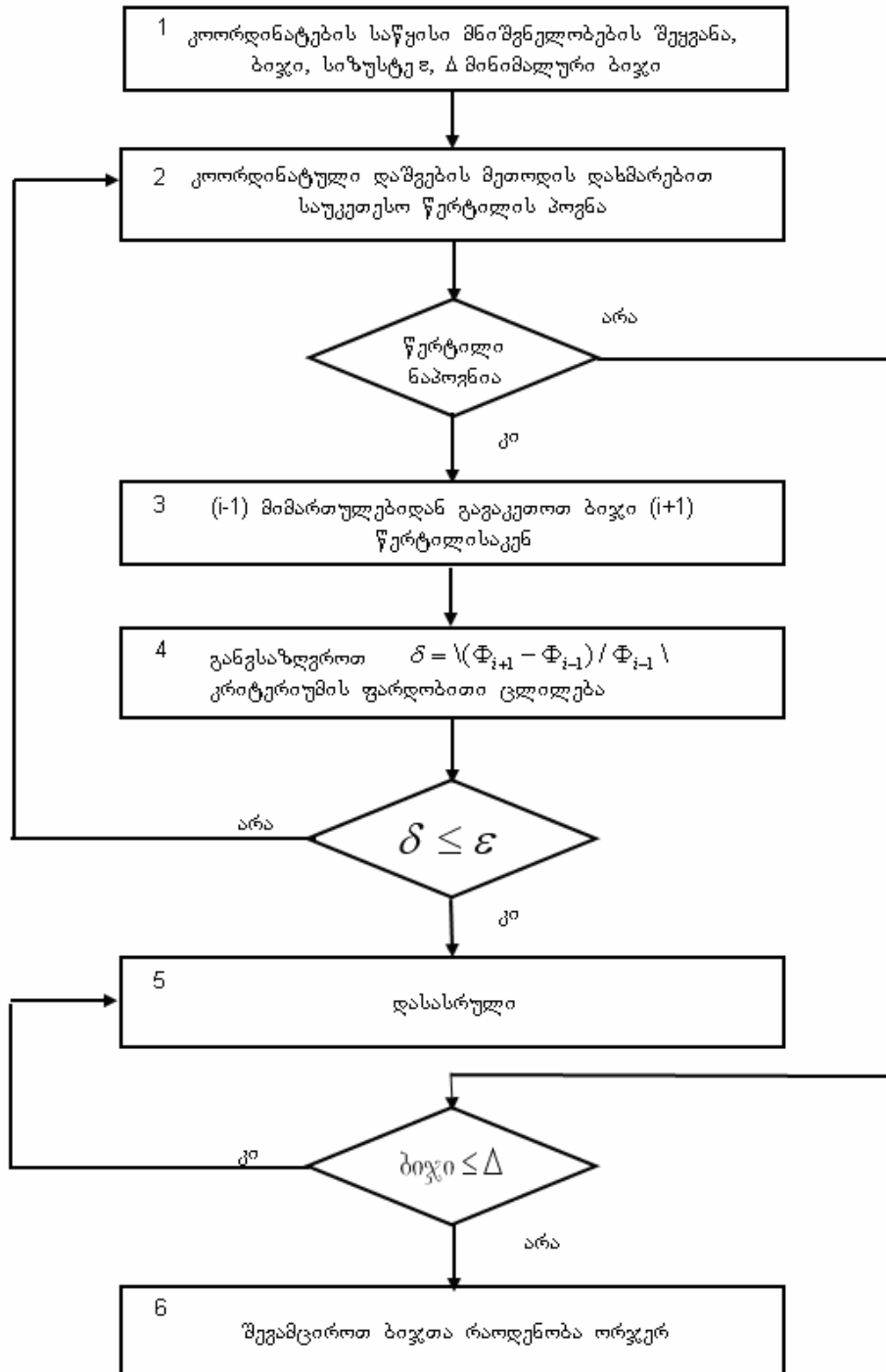
ასევე ბრუნვითი კოორდინატების მეთოდი. სწორედ ეს მეთოდები იქნა გამოყენებული მოდელის პარამეტრების იდენტიფიკაციის ამოცანის ამოსახსნელად [94, 96].

კონფიგურაციის მეთოდის ალგორითმი წარმოდგენილია ბლოკ-სქემაზე (ნახ. 5). ამ მეთოდის საფუძველს წარმოადგენს საცდელი ბიჯების სერია, რომელიც ხორციელდება კოორდინატის კლებადობის სქემით. ამასთან, პარამეტრების სივრცეში ძირითადი ბიჯი ხორციელდება  $b_i$ -ის გვერდის ავლით შემაერთებული  $b_{i-1}$  და  $b_{i+1}$  წერტილების მიმართულებით. ბიჯის სიდიდე ამ წერტილებს შორის ორმაგი მანძილის ტოლია. გარდა ამისა ალგორითმი ითვალისწინებს საცდელი ბიჯების შემცირებას ექსტრემუმის მიდამოში, რაც ზრდის მისი განსაზღვრის სიზუსტეს.

მბრუნავი კოორდინატების მეთოდი წარმოადგენს კოორდინატის კლებადობის სქემით მეთოდის სახესხვაობას, ძიების ბიჯის პოვნით კრიტერიუმის მინიმიზაციის პირობიდან, მოცემული მიმართულებით. მეთოდის თავისებურებას წარმოადგენს მასში კოორდინატების ღერძების შემობრუნების პროცედურების ჩართვას ისეთი სახით, რომ ისინი განთავსდნენ ხარისხის მინიმალური და მაქსიმალური კრიტერიუმის ცვლილების მიმართულებით. რაც გვაძლევს ეფექტურ ალგორითმს, რომელსაც შეუძლია ზედაპირზე ექსტრემუმის წერტილების პოვნა.



ნახაზი 5. კონფიგურაციის მეთოდით ექსტრემუმის ძიების  
ალგორითმის ბლოკ-სქემა



### 3.3 ფენოლოგიური განვითარების პროცესების მოდელირება

მცენარის განვითარების ონტოგენეტიკური მიმდინარეობა – ასაკობრივი და მორფოფიზიოლოგიური ეტაპების თანმიმდევრობა – წარმოადგენს გენეტიკურ დნკ მოლეკულების სტრუქტურებში კოდირებულ შთამომავლობით ნიშანს. ამიტომ, ონტოგენეზის საერთო მიმდინარეობა განიხილება როგორც თვით მცენარის უჯრედებში არსებული, განვითარების შთამომავლობითი პროგრამის გაშლა. მცენარეებს, როგორც ერთიან ორგანიზმებს ახასიათებთ ორგანოებს შორის კორელაციური ურთიერთკავშირი და ნივთიერებათა ცვლაზე დაფუძნებული პოლარულობა, რომელთა შორისაც განსაკუთრებულ როლს ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები თამაშობენ.

დღესდღეობით აღიარებულად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ მცენარის ინდივიდუალური განვითარება ფოტოსინთეზით რეგულირდება სპეციალური აქტიური ნივთიერებებით, რომელთა გავლენა ონტოგენეზის ცალკეული ეტაპების მიმდინარეობაზე გამოიხატება ინფორმაციის გადაცემით შემდეგი ეტაპის დასაწყებად. მცენარის იუვენილური მდგომარეობიდან ყვავილობაზე გადასვლის ძირითადი პრინციპები, რომლის არსი იმაშია, რომ ვეგეტაციურ ფაზაში მცენარის ფოთლებში გროვდება სპეციფიური ნივთიერება – ფლორიგენი, გადაეცემა გენერატიულ ორგანოებს, რომელიც ახდენს ინიცირებას მცენარის აყვავებაში. ამასთან, გარკვეულია რომ ჰორმონალური რეგულატორები წარმოადგენენ ფოტოსინთეზის და მცენარის სუნთქვის საბოლოო პროდუქტს და მათი დაგროვების სინქარე დამოკიდებულია გარემო პირობებზე [78, 79].

ამრიგად, მცენარის ინდივიდუალური განვითარება განისაზღვრება გენეტიკური და გარემო პირობების ფაქტორების ურთიერთკავშირით. გარემო პირობებს (განათების ინტენსივობა, ტემპერატურა, მინერალური კვების პირობები და ა.შ.) შეუძლიათ არსებითად შეცვალონ მცენარეული ორგანიზმის ამა თუ იმ ეტაპის ონტოგენეზის ხანგრძლივობა. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, თუ მცენარის განვითარების ეტაპების თანმიმდევრობა განისაზღვრება გენეტიკური პროგრამით, რომელიც რეალიზებულია ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების

სინთეზის წყალობით საერთო მეტაბოლიზმის პროცესში, მაშინ თითოეული ეტაპის ხანგრძლივობა განისაზღვრება კონკრეტულად აღმოცენების მიმდინარე პირობებით. ეს ფაქტი განპირობებულია მცენარის მეტაბოლიზმის ფიზიოლოგიურ-ბიოქიმიური ბუნებით, ბიოქიმიური რეაქციის სიჩქარით, რომელიც დიდად განისაზღვრება გარემო პირობების ფაქტორებით.

ჯერ კიდევ 1735 წელს მ. რეომიურმა გამოთვალა საშუალო დღეღამური ტემპერატურის ჯამი 1734-1735 წწ. ვეგეტაციის პერიოდის განმავლობაში და ახსნა 1 თვით მოსავლის აღების დაგვიანება ცივ 1735წ.. ამ დროიდან მოყოლებული ეს მეთოდი, დაფუძნებული მოსაზრებაზე, რომ საშუალო დღეღამური ტემპერატურის ჯამი, აუცილებელი ამა თუ იმ ფენოფაზის მიმდინარეობისათვის, სხვადასხვა გარემო ფაქტორების შერწყმის დროს რჩება მუდმივი, მისმა სხვადასხვა მოდიფიკაციებმა კპოვა ფართო გავრცელება. განსაკუთრებით ფართოა მისი გამოყენება სოფლის მეურნეობაში [27].

საშუალო დღეღამური ტემპერატურის ჯამის მუდმივობა განვითარების გარკვეული ფაზის მიმდინარეობისათვის შეიძლება იყოს გამოხატული შემდეგი სახით:

$$N_j = (\sum_{\tau=1}^{N_j} t_{\tau}) / \tilde{t}_j \quad (3.32)$$

სადაც  $\tilde{t}_j$  – პერიოდის განმავლობაში ჰაერის საშუალო დღეღამური ტემპერატურაა;  $N_j$  – დღეების რიცხვი;  $\sum t_{\tau}$  – საშუალო დღეღამური ტემპერატურის ჯამი, აუცილებელი მცენარის განვითარების მოცემული ფაზის მიმდინარეობისათვის.

განვითარების ფაზის ხანგრძლივობის პროგნოზირების მეთოდის სრულყოფა ჰაერის ტემპერატურის ჯამის მიხედვით, მიმდინარეობს (3.32) განტოლებაში მცენარის განვითარებისათვის ტემპერატურების ჯამის ამსახველი უსარგებლო წევრის შეყვანის გზით:

$$\sum_{\tau=1}^{N_j} t_{\tau} = A_j + BN_j$$

სადაც  $N_j$  – განვითარების ფაზის ხანგრძლივობაა;  $B$  – მოცემული სახეობის მცენარის განვითარების ქვედა ტემპერატურული ზღვარი;  $A$  – ეფექტური ტემპერატურების ჯამი.

განვითარების ფაზის ხანგრძლივობისათვის ამ გამოსახულების გარდაქმნის შემდეგ მიღებულ იქნა შემდეგი სახის გამოსახულება:

$$N_j = A_j / (\tilde{t}_j - B) \quad (3.33)$$

ანუ

$$N_j = [A_j - k(\tilde{t}_\tau - B)^\alpha] / \tilde{t}_j \quad (3.34)$$

სადაც  $k, \alpha$  – ემპირიული კოეფიციენტებია.

მცენარის განვითარების ფიზიოლოგიურ-ბიოქიმიური საფუძვლის გათვალისწინებით, მოსალოდნელია ორგანოგენეზის ეტაპების ხანგრძლივობის მჭიდრო კავშირი გარემოს რეალურ ტემპერატურებთან, და არა მათ ჯამებთან, რადგან არსებითად სწორედ რეალური ტემპერატურა მოქმედებს ბიოქიმიური რეაქციების სიჩქარეზე. ეს ფაქტი გათვალისწინებულია ფაზებს შორის ინტერვალების ხანგრძლივობის კავშირის ძიების დროს მოცემულ პერიოდში ჰაერის საშუალო ტემპერატურებთან.

ანალიტიკური გამოსახულება წარმოდგენილია შემდეგი სახით:

$$Y = \alpha\beta\gamma Y_0 e^{a\tilde{t} - b\tilde{t}^2} \quad (3.35)$$

სადაც  $Y$  – 1000-ჯერ გადიდებული განვითარების ხანგრძლივობის ფაზის შებრუნებული სიდიდეა;  $\alpha\beta\gamma$  – დღის ხანგრძლივობის გავლენის ხარისხის, ჰაერის ტენიანობის და ნიადაგის ტენიანობის გამოვალისწინებელი პარამეტრები განვითარების ფაზის ხანგრძლივობაზე;  $Y_0$  –  $Y$ -ის საწყისი მნიშვნელობაა;  $\tilde{t}$  – პერიოდის განმავლობაში საშუალო ტემპერატურა;  $a, b$  – ემპირიული პარამეტრები.

როგორც მოსალოდნელი იყო, მცენარის განვითარებაზე ძირითად გავლენას ახდენს ნათესში ჰაერის ტემპერატურა და ნიადაგის ფესვმყოფი ფენის ტენიანობა.

ექსპერიმენტული მასალების დამუშავების შედეგად დადგინდა, განვითარების ყველა ფაზის ხანგრძლივობის დამოკიდებულება გარემო ფაქტორებზე. ფენოლოგიური ფაზებისათვის, რომელთა ხანგრძლივობაც

დამოკიდებულია მხოლოდ ტემპერატურაზე, განისაზღვრა პერიოდის მიმდინარეობისათვის აუცილებელი ტემპერატურა.

სხვა ფენოლოგიური ფაზებისათვის კი გამოიყენება შემდეგი ხერხი. განვითარების ფაზის  $j$ -ური ხანგრძლივობა  $N_j$  დღეღამური რიცხვის ტოლია, რომელიც დამოკიდებულია  $\bar{x}_s(\tau)$  გარემო ფაქტორების ვექტორის მნიშვნელობაზე ( $s$  – გარემო ფაქტორების ინდექსია). თუ მივიღებთ  $j$ -ური ფენოლოგიური ფაზის ხანგრძლივობას 1-ის ტოლად, მაშინ თითოეული დღე-ღამის წილი შეადგენს  $F_j(\bar{x}_s) < 1$ .  $j$  ფენოფაზის მიმდინარეობისათვის კი აუცილებელია დღე-ღამის რაოდენობა, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებიდან

$$\sum_{\tau=1}^{N_j} F_j[\bar{x}_s(\tau)] = 1, \quad s = 1, 2, \quad \tau = \overline{1, N_j} \quad (3.36)$$

ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ შეირჩეს  $F_j(\bar{x}_s)$  დამოკიდებულების ფორმა თითოეული  $j$ -ური ფენოლოგიური ფაზისათვის, ხოლო შემდეგ უმცირესი კვადრატების მეთოდით შეფასდეს არჩეული ანალიტიკური გამოსახულების პარამეტრები:

$$\sum_{k=1}^{n_j} \left\{ \sum_{\tau=1}^{N_j} F_j[\bar{x}_s(\tau)] - 1 \right\}^2 \rightarrow \min \quad (3.37)$$

სადაც  $n_j$  – ცდის ვარიანტების რაოდენობაა.

### 3.4. ბიომასის ნაზრდის მოდელის იდენტიფიკაცია

ბიომასის ნაზრდის მოდელში ხილული ფოტოსინთეზის ინტენსივობის პარამეტრების განსაზღვრის მიზნით შევარჩიოთ კრიტერიუმი, რომლის დახმარებითაც მიზანშეწონილია საძიებელი პარამეტრების გამოთვლა.

ასეთ კრიტერიუმად შეიძლება კვადრატული ფუნქციონალის გამოყენება

$$S = \sum_{i\lambda} \left\{ m_{i\lambda}(k_1, k_2, k_3, \alpha, \gamma) - m_{y\lambda} \right\}^2 \quad (3.38)$$

სადაც  $t_\lambda$  – დროის მომენტებია, რომლისთვისაც გვაქვს გაზომილი ბიომასები;  $m_{i\lambda}$  – თეორიული მნიშვნელობებია მშრალი ბიომასის დღეღამური ნაზრდიდან მინდვრის ერთეულ ფართობზე;  $m_{j\lambda}$  – მშრალი ბიომასის დღეღამური ნაზრდის ექსპერიმენტული მნიშვნელობები ერთეულ მინდვრის ფართობზე.

(3.38) ფორმით ვეგეტაციური ზრდის პროცესის თეორიული და ექსპერიმენტალური ბიომასის ნაზრდის სიახლოვის ხარისხის შემფასებელი კრიტერიუმის ამორჩევა განისაზღვრება მოდელის აგების საბოლოო მიზნებით – წყალგანაწილების დაგეგმარების დროს მისი გამოყენებით მმართველი სტრატეგიების ფორმირებისათვის. ამ ამოცანის გადასაჭრელად არ არის საკმარისი მოდელის და ობიექტის სიახლოვის მოთხოვნა ცალკეულ (მაგალითად, საბოლოო) დროის მომენტში. უფრო უპრიანია სიახლოვის მიღწევა საშუალოდ, რაც უზრუნველყოფს კრიტერიუმის (3.38) მინიმიზაციას.

უნდა ითქვას, რომ უფრო მეტად მოსახერხებელია საქმე გვექონდეს თვით ბიომასის და არა მისი ნაზრდის მნიშვნელობებთან. მაშინ

$$S = \sum_{i\lambda=t_1}^{t_N} \{M(t_\lambda) - M_j(t_\lambda)\}^2 \rightarrow \min \quad (3.39)$$

სადაც  $M_j(t_\lambda)$  – მინდვრის ერთეულ ფართობზე ნათესის საერთო მშრალი ბიომასის ემპირიული მნიშვნელობებია დაკვირვების  $t_\lambda$  მომენტში;  $N$  – დაკვირვების რიცხვი.

მოდელის ექსპლუატაციის პროცესში მორწყვის მართვის ოპერატიული კორექტირების დროს გაანგარიშების შემდეგ ეტაპზე საწყის პირობებზე გამოყენებული იქნება დასაკვირვებელი ფაზური ცვლადები ორგანოების მიხედვით. რაც საუკეთესოა მიახლოების მისაღწევად და მიზანშეწონილს ხდის არა მარტო ჯამურ ბიომასებთან, არამედ ცალკეული ორგანოების ბიომასებთანაც. მაშინ ბიომასის ნაზრდის მოდელის პარამეტრების განსაზღვრის მიზნით კრიტერიუმი შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$S = \sum_{i=1}^4 \sum_{t_\lambda=t_1}^{t_N} \{M_i(t_\lambda) - M_{j^i}(t_\lambda)\}^2 \rightarrow \min \quad (3.40)$$

სადაც  $i$  – მცენარის ორგანოების ინდექსია: 1 – ფოთლები, 2 – ღერო, 3 – თავთავი, 4 – ფესვები. ეს გამოსახულება გამოიყენება ბიომასის ნაზრდის უცნობი პარამეტრების საძიებლად. ექსტრემუმის საძიებლად კი გამოვიყენოთ პირდაპირი ძიების მეთოდი, რომელიც ცნობილია როგორც სუკ-ჯივისის ალგორითმი [94].

უნდა ითქვას, რომ მოდელში არ არის გათვალისწინებული ასიმეტრიული აპარატის დაბერების პროცესი, ანუ არ არის გათვალისწინებული ის რომ დროთა განმავლობაში ასიმეტრიული აპარატის ერთეული ფართობი იმავე გარემო პირობების დროს იწყებს ფოტოსინთეზირებას ნაკლები ინტენსივობით, რაც გათვალისწინებულია ფორმულაში

$$\hat{F}_j = \hat{F}_{0j}(Q)u(t, w), \quad \max \{u(t, w)\} = 1$$

დაბერების ფუნქციის სახით შესწორების შეტანის გზით:

$$\hat{F}_j = \hat{F}_{0j}(Q)u(t, w)f_j(\tau) \quad (3.41)$$

სადაც  $f_j(\tau)$   $j$ -ური ორგანოს ასიმეტრიული აპარატის დაბერების ფუნქციაა.

$$f_j(\tau) = 1/[1 + \exp(a_j \frac{\tau - \tau_j}{\tau_{\text{რცხ}} - \tau_j} - 12)] \quad (3.42)$$

სადაც  $\tau_j$  –  $j$ -ური ორგანოს აღმოცენების დროა,  $j = \overline{1, 3}$ ;  $\tau_{\text{რცხ}}$  – რძიან-ცვილოვანი სიმწიფის დადგომის დრო;  $a_j$  – კოეფიციენტები. რიცხვი 12 ექსპონენტური ხარისხის მაჩვენებელში, არჩეულია იმ მოსაზრებით, რომ მომენტში როცა  $\tau - \tau_j = 0$ ,  $\exp(\tau) \rightarrow 0$  და  $f_j(\tau) \rightarrow 1$ .

### 3.5. გარემო ფაქტორები და მათი როლი მოსავლის ფორმირების მოდელში

ცნობილია, რომ სასოფლო-სამეურნეო მცენარეების ზრდისა და განვითარების პროცესი დამოკიდებულია გარემოს საკმაოდ მნიშვნელოვან ფაქტორებზე. რთული ბუნებრივი პროცესების კომპლექსის მოდელირების დაწყებამდე უნდა გავითვალისწინოთ, რომ

ბუნებაში არსებული რეალური კავშირების მრავალფეროვნების მხედველობაში სრულად მიღება არ არის საჭირო, მოდელში საჭიროა მხოლოდ უმნიშვნელოვანესი, შეუცვლელი გარემო ფაქტორების გათვალისწინება, რომლებიც ახდენენ ყველაზე არსებით გავლენას მოდელის ფაზური კოორდინატების ცვლილებებზე.

მოსავლის ფორმირების მოდელის დამუშავების მიზანს წარმოადგენს მისი გამოყენება წყლის რესურსების ოპტიმალური მოხმარების ამოცანების გადასაჭრელად. აქედან გამომდინარე, მოცემულ ეტაპზე აუცილებელია გათვალისწინებული იყოს პროდუქტიულობის პროცესზე ოთხი უმნიშვნელოვანესი – რადიაციული, ტემპერატურული, წყლის და მინერალური კვების რეჟიმების ფაქტორის გავლენა. პირველი ორი წარმოადგენს პრაქტიკულად უმართავ, უფრო სწორად პასიურად მართვად ფაქტორს. მცენარის მინერალური კვება და მათი წყალმოძარაგება – მართვადი ფაქტორებია.

მინერალური კვება ძირითადად, ფესვთა სისტემასა და მცენარის მიწისზედა ნაწილს შორის ასიმილაციის გადანაწილების პროცესზე ახდენს გავლენას. აქედან გამომდინარე ის ბევრად განსაზღვრავს ასიმილაციური აპარატის ფართობს – ბიომასის ნაზრდის განმსაზღვრელ ექსტენსიურ ფაქტორს. რადიაციული, წყლის და ტემპერატურული რეჟიმები უშუალო გავლენას ახდენენ აირგაცვლის ინტენსივობაზე, რითაც ასევე განსაზღვრავენ მცენარის ზრდის სიჩქარეს. წყლისა და ტემპერატურის რეჟიმები ახდენენ გავლენას მცენარის განვითარების პერიოდის მიმდინარეობის ხანგრძლივობაზე. გარდა ამისა, წყლის რეჟიმები, მინერალური კვების რეჟიმებთან ერთად, განსაზღვრავს მცენარის მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაწილებს შორის ასიმილაციის გადანაწილების პროპორციებს.

მოსავლის ფორმირების მოდელის დინამიური ხასიათის მიუხედავად, დინამიურ ფორმაში ვერ ხერხდება მინერალური კვების გავლენის გათვალისწინება, რადგან ჯერ კიდევ ნაკლებად არის დამუშავებული ნიადაგში ბიოგენური ელემენტების ტრანსფორმაციის მოდელები და შეუძლებელია მათი ბალანსის საჭირო სიზუსტით გამოთვლა.



ამიტომ საკვები ნივთიერებები ფასდება ნიადაგის ბუნებრივი ნაყოფიერებისა და მის ზრდაზე მინერალური სასუქების გავლენით. დანარჩენი ფაქტორები გათვალისწინებულია დინამიური სახით.

### 3. 6 ნათესში ჰაერის ტემპერატურის გამოთვლა

მოდელში ნათესის ტემპერატურული რეჟიმის მახასიათებლის მაჩვენებლად, ნათესის შიგნით მიღებულია ჰაერის საშუალო დღეღამური ტემპერატურა. მისი გავლენა ბიომასის დაგროვების პროცესზე გათვალისწინებულია დამოკიდებულებით

$$\left. \begin{aligned} u_1(t) &= \left( \frac{t - \underline{t}}{t_0 - \underline{t}} \right)^\alpha \left( \frac{\bar{t} - t}{\bar{t} - t_0} \right)^{-\alpha \frac{\bar{t} - t_0}{t_0 - \underline{t}}} \\ u_2(w) &= \left( \frac{w - \underline{w}}{w_0 - \underline{w}} \right)^\gamma \left( \frac{w - w_0}{w - w_0} \right)^{-\gamma \frac{\bar{w} - w_0}{w_0 - \underline{w}}} \end{aligned} \right\} \quad (3.43)$$

ჰაერის საშუალო დღეღამური ტემპერატურა გაცილებით უკეთესად, ვიდრე ჰაერის ტემპერატურა მეტეოლოგიის სტანდარტულ სიმაღლეზე – 2მ, კორელირებს მცენარის ტემპერატურასთან, რასაც მოდელში შეცდომების კლებასთან მიყვებათ. თუმცა, 2მ სიმაღლეზე არსებული ტემპერატურისაგან განსხვავებით, ის არ აღინიშნება მეტეოროლოგიურ სადგურებზე და არ არის პროგნოზირებადი. ამიტომ აუცილებელი ხდება ნათესში ჰაერის საშუალო დღეღამური ტემპერატურის დაკავშირება დღეღამურ ჰაერის საშუალო ტემპერატურასთან 2მ-ის სიმაღლეზე.

ასეთი კავშირის განსაზღვრის დროს აუცილებელია მხედველობაში მივიღოთ, რომ მოსარწყავ მიწებზე შეინიშნება ეგრეთ წოდებული ოახისური ეფექტი, რომლის აზრი მდგომარეობს ნათესის შიგნით მიკროკლიმატის შექმნაში [3].

ნათესში  $t$  ჰაერის ტემპერატურის გადახრის სიდიდე მეტეოლოგიურში არსებული  $t_g$  ჰაერის ტემპერატურიდან დამოკიდებულია როგორც თვით  $t_g$  ტემპერატურაზე, ასევე  $w$  მოსარწყავი მიწების ნიადაგის ტენიანობაზე.

ამ ეფექტის გამოსათვლელად შემოვიტანოთ ტემპერატურული შესწორება, მეტეოჯიხურში საშუალო დღეღამური ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელობების მიმართ:

$$t_a - t = \Delta(w, t_a) \quad (3.44)$$

სადაც  $\Delta(w, t_a)$  – ტემპერატურული შესწორებაა, დამოკიდებული სარწყავი მინდვრების  $w$  ნიადაგის ტენიანობაზე და 2მ-ის სიმაღლეზე მოთავსებულ მეტეოჯიხურში საშუალო დღეღამური ჰაერის ტემპერატურაზე.

### 3. 7. ნათესის ზედაპირზე ფოტოსინთეზურად მზის აქტიური რადიაციის ინტენსივობის წილის გამოთვლა.

ჩვენს მიერ ზემოთ გამოთქმული იყო ფოტოსინთეზურად აქტიური რადიაციის გავლენის გათვლის მეთოდის შესახებ ფოტოსინთეზის ინტენსივობაზე, ხოლო შემდეგ დღეღამის ნათელ დროში ჯამურ ფოტოსინთეზზე. განუსაზღვრელი დაგვრჩა სამი სიდიდე: ფარ (ფოტოსინთეზურად აქტიური რადიაცია) ინტენსივობა -  $Q$ , მზის ამოსვლის დრო -  $\theta_s$  და მზის ჩასვლის დრო -  $\theta_f$ . ეს სიდიდეები ასტრონომიულ მახასიათებლებს წარმოადგენენ და დამოკიდებულნი არიან ადგილის განედსა და თარიღზე, ხოლო  $Q$  - დღეღამურ დროზე და ღრუბლიანობაზე [45].

ფარ  $Q$  ინტენსივობა შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$Q = (1 - cN) \frac{c_{\text{ფ}} S_0 \sin h^*}{1 + \psi / \sin h^*} \quad (3.45)$$

სადაც  $S_0$  – მზის მუდმივაა ტოლი 1,19 კალ/(სმ<sup>2</sup>.წთ);  $c_{\text{ფ}}$  – ფარ კოეფიციენტი, რომელიც რიცხობრივად ჯამური რადიაციის საერთო ნაკადში ფარ-ის წილის ტოლია,  $c_{\text{ფ}} = 0,5$ ;  $\psi$  – წლის დროზე, ადგილის განედზე და დაფენილი ზედაპირის თვისებებზე დამოკიდებული კოეფიციენტი;  $N$  – ღრუბლიანი საფარის დღის საშუალო შეფასება

(ბალი);  $c$  – ადგილის განედზე დამოკიდებული ემპირიული კოეფიციენტი;  $h^*$  – მზის სიმაღლე.

ამ გამოსახულებაში შემავალი  $h^*$  სიდიდე შესაძლებელია გამოითვალის დამოკიდებულებიდან

$$\sin h^* = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \theta \quad (3.46)$$

სადაც  $\varphi$  – ადგილის განედია;  $\delta$  – მზის დახრა;  $\theta$  – მზის საათობრივი კუთხე.

მზის დახრა თავის მხრივ დამოკიდებულია კალენდარულ თარიღზე და შესაძლებელია გამოითვალოს ასტრონომიული ცხრილების აპროქსიმაციის გზით მიღებული ფორმულით:

$$\delta = 0,408 \sin[(x - 21)/57,4] \quad (3.47)$$

აქ  $x$  – მოცემულ წელიწადში საანგარიშო დღის რიგითი ნომერია, დათვლილი 1 მარტიდან, როცა  $x=1$ .

ხილული ფოტოსინთეზის დღეღამური სიდიდე შესაძლოა გამოითვალოს შემდეგნაირად:

$$\hat{F}_{oj} = \int_{\theta_s}^{\theta_h} \overline{F}_{0j} d\theta \quad (3.48)$$

სადაც  $\hat{F}_{oj}$  –  $j$ -ური ორგანოს ხილული ფოტოსინთეზის მყისიერი მნიშვნელობაა მინდვრის ერთეულ ფართობზე;  $\theta$  – მზის საათის კუთხე;  $\theta_s$  და  $\theta_h$  – შესაბამისად მზის ამოსვლისა და ჩასვლის მომენტი. იმისათვის, რომ ამ განტოლების ინტეგრირება მოვახდინოთ აუცილებელია ვიცოდეთ მზის ამოსვლის და ჩასვლის დრო თითოეული თარიღისათვის. მათი განსაზღვრის მიზნით საჭიროა (3.46) ფორმულაში დავეშვათ, რომ  $h^* = 0$ , მაშინ

$$\cos \theta = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \quad (3.49)$$

ამ განტოლების ორი ფესვი საძიებელ სიდიდეებს იძლევა.

### 3.8. ნიადაგის ფესვთსამყოფი ფენის ტენიანობის გათვლა

დღესდღეობით სასოფლო-სამეურნეო კულტურით დაკავებული მიწის ნიადაგში, ტენის გადაადგილება აღიწერება განტოლებით:

$$\varphi \frac{\partial P}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial P}{\partial x} - K \rho g - \alpha^{-2} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \right) - f \quad (3.50)$$

სადაც  $P$  – ნიადაგის ტენიანობის წნევა;  $\rho$  – წყლის სიმკვრივე;  $g$  – სიმძიმის ძალის აჩქარება;  $\varphi = \partial w / \partial P$ ;  $w$  – ნიადაგის მოცულობითი ტენიანობა;  $K$  – ჰიდრაულიკული გამტარიანობა;  $\alpha^{-2}$  – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჰორიზონტალური კაპილარების გავლენას ვერტიკალურ ტენგამტარიანობაზე;  $f$  – მცენარის ფესვიანი სისტემის მიერ წყლის შთანთქმის გამთვალისწინებელი წევრი [57, 59].

განტოლებაში შემავალი კოეფიციენტები ნიადაგის ტენიანობის ფუნქციებს წარმოადგენენ ანუ  $\varphi = \varphi(w)$ ,  $K = K(w)$ ,  $\alpha^{-2} = \alpha^{-2}(w)$ . გარდა ამისა,  $P$  ნიადაგური ტენიანობის წნევა ასევე დამოკიდებულია ნიადაგის ტენიანობაზე,  $P = P(w)$ .

შეუხებლად ფესვების მიერ შთანთქმული წყლის დინების გათვლის ხერხზე. დღესდღეობით არ არსებობს ფესვების მიერ ფიზიოლოგიურ მონაცემებზე დაფუძნებული და წყლის შთანთქმის ფორმალიზებული მოდელები, რომლებიც ამ მოვლენას დამაკმაყოფილებლად აღწერს. ამიტომ მოდელის აგება გვიხდება ევრისტოკული პრინციპებიდან გამომდინარე, რომლის ფუძედ აღებულია სიმართლის მსგავსი სისტემის ქცევა. ასეთი ჰიპოტეზებიდან ერთ-ერთი შემოთავაზებულია გ. ი. აფანასიკის მიერ. რომლის მიხედვითაც დროის ერთეულში მთელი  $X$  ფესვიანი ფენის  $\varepsilon$  ტრანსპირაცია ტოლია

$$\varepsilon = \int_0^X f(x, \tau) d\tau \quad (3.51)$$

მაშინ, ერთეული ფესვთსამყოფი ფენიდან, ერთეულ დროში ხარჯი ტრანსპირაციაზე იქნება:

$$f(x, \tau) = \partial \varepsilon(x, \tau) / \partial x \quad (3.52)$$

ლოგიკურია ვიფიქროთ, რომ თითოეული ელემენტალური ნიადაგის ფენის შენატანი ტრანსპირაციაში პროპორციულია  $dx$  ფენიდან წყლის

შთანთქმაში მონაწილე  $\eta$  ფესვების წილის  $X$  ფენაში მათი საერთო წონიდან (ზედაპირის ფართობიდან), ამ ფენის  $K$  გამტარიანობის კოეფიციენტის და მისი  $dx$  სისქის. აქედან გამომდინარე

$$\varepsilon(\tau) = \lambda \int_0^x \eta(x, \tau) K(x, \tau) dx \quad (3.53)$$

სადაც  $\lambda$  – პროპორციულობის კოეფიციენტია;

$$f(x, \tau) = \partial \varepsilon / \partial x = \lambda \eta(x, \tau) K(x, \tau) \quad (3.54)$$

(3.53)-დან გვაქვს

$$\lambda = \frac{\varepsilon(\tau)}{\int_0^x \eta(x, \tau) K(x, \tau) dx} \quad (3.55)$$

(3.55) გამოსახულების (3.54) გამოსახულებაში ჩასმით მივიღებთ განტოლება (3.50)-ში შიდა დინებების სიდიდეების გამოსათვლელ ფორმულას:

$$f(x, \tau) = \frac{\varepsilon(\tau) \eta(x, \tau) K(x, \tau)}{\int_0^x \eta(x, \tau) K(x, \tau) dx} \quad (3.56)$$

ამ ფორმულის პრაქტიკული გამოყენების დროს მეტნაკლებ სირთულეს  $\eta(x, \tau)$  ფუნქციის მიღება წარმოადგენს. მის ასაგებად საჭიროა ისეთი ფესვთა სისტემის ზრდის მოდელის შექმნა, რომელიც პრაქტიკას დააკმაყოფილებდა რაც ჯერ-ჯერობით ვერ მოხერხდა, თუმცა სამუშაოები ამ მიმართულებით ტარდება [3].

ამასთან დაკავშირებით ვისარგებლოთ მარტივი ჰიპოთეზით, სადაც ნიადაგში ფესვთა სისტემის განაწილება არ არის გათვალისწინებული და ფესვების მიერ შთანთქმული წყლის ჩამონადენი, ნიადაგის ტენიანობის პროპორციულია

$$f(x, \tau) = \frac{\varepsilon(\tau) G(x, \tau)}{\int_0^x G(x, \tau) dx} \quad (3.57)$$

სადაც

$$G = [w(x, \tau) - \underline{w}] / (\bar{w} - \underline{w}) \quad (3.58)$$

$\underline{w}$  – ჭკნობის (მოცულობითი) ტენიანობაა;  $\bar{w}$  – მოცულობითი ფორიანობა;  $w$  – ნიადაგის მოცულობითი ტენიანობა.

გამტარიანობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ნიადაგის ტენიანობაზე ს. ფ. ავერიანოვის თანახმად შესაძლებელია ჩაიწეროს შემდეგი სახით [25]:

$$K = K_{\Phi} \left( \frac{w - w^*}{\bar{w} - w^*} \right)^{3,5} \quad (3.59)$$

აქ  $w^*$  – კაპილარების წყვეტის ტენიანობაა;  $K_{\Phi}$  – ფილტრაციის კოეფიციენტი.

იმ შემთხვევისათვის, როცა ტენიანობამ შეიძლება მიაღწიოს  $w^*$ -ზე მცირე სიდიდეს, ნავარაუდევია შემდეგი დამოკიდებულების გამოყენება

$$K = K_{\Phi} \left( \frac{w - w_g}{\bar{w} - w_g} \right)^5 \quad (3.60)$$

სადაც  $w_g$  – მაქსიმალური გიგროსკოპიულობის შესაბამისი მოცულობითი ტენიანობაა.

ნიადაგის ტენიანობასა და კაპილარულ პოტენციალს შორის კავშირი შეიძლება აღიწეროს, მაგალითად ნაწილობრივი ფუნქციით:

$$\left. \begin{aligned} \frac{w - w^*}{\bar{w} - w^*} &= \exp \left[ -v \left( \frac{P}{P_K} \right)^n \right], & w^* \leq w \leq \bar{w} \\ \frac{w - w_g}{w^* - w_g} &= \frac{P_g - P}{P_g - P_K}, & w_g \leq w \leq w^* \end{aligned} \right\} \quad (3.61)$$

აქ  $v$  – ემპირიული კოეფიციენტი. მინერალური გრუნტებისათვის  $v=2.7$ ;  $P_K$  – ტენიანობის პოტენციალია, რომელიც  $w^*$  კაპილარების წყვეტის ტენიანობას შეესაბამება;  $n$  – ემპირიული კოეფიციენტი. მაკავშირებელი მინერალური გრუნტებისათვის  $n=3,0$ ;  $P_g$  – ტენიანობის პოტენციალი, შესაბამისი  $w_g$  მაქსიმალური გიგროსკოპიულობის.

ტენგაცვლის მოდელი აღწერილია (3.57), (3.60), (3.61) განტოლებებით. ამასთან მიღებულ იქნა შემდეგი სამხარეო პირობები:  $\tau = \tau_0$ ,  $P = P(x)$  [25].

აერაციის ზონაში ტენგაცვლის გაანგარიშების აღწერილი მეთოდის პრაქტიკაში გამოყენების მიზნით აუცილებელია  $\varepsilon$  ტრანსპირაციის ინტენსივობის და ნიადაგის ზედაპირიდან  $q_s$  აორთქლების გაანგარიშების მეთოდების ქონა.

$\varepsilon + q_s$  სიდიდეს ჩვეულებრივ  $E$  ჯამურ აორთქლებას ეძახიან, რომელსაც უმეტეს შემთხვევაში აქვს შემდეგი სახე:

$$E = \xi \chi \psi(x_i), \quad i = \overline{1, \nu} \quad (3.62)$$

სადაც  $\psi$  – ფუნქციაა, მინდვრის ერთეულ ფართობიდან ერთეულ დროში მაქსიმალურად შესაძლებელი ჯამური აორთქლების პროპორციული, ნიადაგის საკმარისი ტენიანობის დროს და  $x_i$  მეტეოროლოგიური ფაქტორების აორთქლების განმსაზღვრელი სიდიდის;  $\xi$  – კოეფიციენტი, ტენიანი ნიადაგის დროს ჯამური აორთქლების ხარისხის შემცირების მახასიათებელი;  $\chi$  – ემპირიული (ე.წ. ბიოკლიმატური) კოეფიციენტი, მცენარის განვითარების მოცემულ პერიოდში მაქსიმალურიდან შესაძლო აორთქლების წილის მაჩვენებელი;  $\nu$  – მეტეოროლოგიური ფაქტორების რიცხვი, რომლიდანაც  $\psi$  ფუნქცია აიგება.

მეტეოროლოგიური ფაქტორების  $x_i$  აორთქლების ინტენსივობის განმსაზღვრელ თვისებად, სხვადასხვა ავტორები სხვადასხვა მაჩვენებელს იყენებენ. ი. ა. შაროვის და გ. კ. ლგოვის მიხედვით  $x_i = \sum_{\tau} t$ , სადაც  $t$  – საშუალო დღედამური ტემპერატურებია გაანგარიშების  $T$  პერიოდში; ა. მ. და ს. მ. ალპატიევეების მიხედვით  $x_i = \sum_{\tau} d$ , სადაც  $d$  – ჰაერის ტენიანობის საშუალო დღედამური დეფიციტია; ნ. ნ. ივანოვის და ნ. ვ. დანილჩენკოს მიხედვით  $x_i = \{t, a\}$ , სადაც  $t$  და  $a$  – შესაბამისად საშუალო თვიური ტემპერატურა და ჰაერის აბსოლუტური ტენიანობაა. ს. ი. ხარჩენკოს მიხედვით  $x_i = \{R, B\}$ , სადაც  $R$  – რადიაციული ბალანსია,  $B$  – ნიადაგში სითბოს ნაკადი და სხვა.

(3.62)-ის ტიპის ყველა ფორმულა ემპირიულს წარმოადგენს. ამ მიდგომის ფარგლებში ვერ ხერხდება ცალკეულად განისაზღვროს  $\varepsilon$  ტრანსპირაცია და  $q_s$  – ნიადაგის ზედაპირიდან ფიზიკური აორთქლება. ასეთი განცალკევება შესაძლებელია განხორციელდეს ფენომენოლოგიური მოდელების გამოყენების დროს, რომელიც ბუდაგოვსკიმ დაამუშავა [31, 32].

საკმარისი ტენიანობის პირობებში (როცა ნიადაგის ტენიანობა არ წარმოადგენს შემზღვეველ ფაქტორს) ტრანსპირაციის ინტენსივობა  $\varepsilon_0$  და ნიადაგის ფიზიკური აორთქლება  $q_s^0$  შეიძლება აღიწეროს შემდეგი სახის გამოსახულებით

$$\varepsilon_0 = \Phi_1 d + \Phi_2 R - \Phi_3 B \quad (3.63)$$

$$q_s^0 = \Phi_1^* d + \Phi_2^* R - \Phi_3^* B \quad (3.64)$$

სადაც  $d$  – ჰაერის ტენიანობის დეფიციტია;  $R$  – ნათესის ზედაპირზე რადიაციული ბალანსი;  $B$  – ნიადაგში სითბოს ნაკადი;

$$\Phi_i = \Phi_i(x_j), \quad \Phi_i^* = \Phi_i^*(x_j), \quad i = \overline{1, 3}$$

$$x_j = \{L, u_2, s, t\}$$

აქ  $L$  – ფოთლოვანი ინდექსია (მინდვრის ერთეულ ფართობზე ფოთლების ფართობი);  $u_2$  – ქარის სიჩქარე ნიადაგის ზედაპირიდან 2მ სიმაღლეზე;  $s$  – ნათესის  $H_l$  სიმაღლის მიხედვით ფოთლების ფართობის განაწილება;

$$L = \int_0^{H_l} s dh$$

$t$  – ჰაერის ტემპერატურა 2მ სიმაღლეზე. ფუნქციები  $\Phi_i$  და  $\Phi_i^*$  ტაბულირებული.

ცნობილია, რომ ნიადაგის ტენიანობის შემცირება იწვევს როგორც ტრანსპირაციის, ასევე ნიადაგიდან ფიზიკური აორთქლების ინტენსიობის შემცირებას.

ფიზიკური აორთქლების დამოკიდებულება ნიადაგის ტენიანობაზე ტოლია

$$q_s = \left[ 1 + (\gamma w - 1) e^{-\frac{\theta}{q_s^0}} \right] q_s^0 \quad (3.65)$$

სადაც  $\gamma$  – ემპირიული კოეფიციენტი;  $\theta$  – გამოსათვლელ პერიოდში მოსული ნალექების რაოდენობა.

ნიადაგის ტენიანობის გავლენა ტრანსპირაციაზე ასევე შესაძლებელია გავითვალისწინოთ ექსპონენციალური ტიპის ფუნქციებით.



დღესდღეობით ნიადაგის ტენიანობის გაანგარიშება ჩვეულებრივი დიფერენციალური ან სხვაობითი განტოლებების გამოყენებით ხდება:

$$W(\tau+1) = W(\tau) + \alpha\theta(\tau) + \varphi(\tau) - u_\varphi(\tau) - c_\varphi(\tau) - E(\tau) - q_H(\tau) + q_B(\tau) \quad (3.66)$$

ეს არის ნიადაგის ფესვოსამყოფი ფენის წყლის ბალანსის განტოლება. სადაც  $W$  – ტენის მარაგია, გასაანგარიშებელ ნიადაგის ფენაში სისქით  $H$ . ის დაკავშირებულია ნიადაგის მოცულობით ტენიანობასთან  $w$  დამოკიდებულებით  $W=wH$ ;  $\theta$  – ატმოსფერული ნალექებია;  $\alpha$  – ატმოსფერული ნალექების გამოყენების კოეფიციენტი;  $\varphi$  – სარწყავი ნორმა დღეღამის განმავლობაში ან მისი ნაწილი;  $u_\varphi$  – მორწყვის პერიოდში სარწყავი წყლის აორთქლება;  $c_\varphi$  – მოსარწყავი მონაკვეთის ფარგლებს გარეთ სარწყავი წყლის ზედაპირული გადმოგდება;  $E$  – მორწყვათა შორის პერიოდში მინდვრიდან ჯამური აორთქლება;  $q_H$  – სარწყავი წყლის ვერტიკალური გადმოგდება ნიადაგის გასათვლელი ფენის ქვედა საზღვრიდან;  $q_B$  – ნიადაგის გასათვლელ ფენაში გრუნტის წყლებიდან წყლის მიღება ქვედა საზღვრის მეშვეობით.

ნიადაგის  $W$  გასათვლელ ფენაში ტენმარაგი  $\tau$  დღეში შეიძლება იყოს ან გაზომილი – გაანგარიშების დასაწყისში, ან დაანგარიშებული (3.66) განტოლებით – ყველა შემდგომ დღეებში.

პროცესისათვის ნალექები გარე შემომავალ ინფორმაციას წარმოადგენენ და უნდა იყვნენ გაანგარიშების მთელი პერიოდისათვის ცნობილი დეტერმინირებული ან სტოქასტური სახით.

ნალექების გამოყენების კოეფიციენტი  $\alpha$  წარმოადგენს მახასიათებელს, რომელიც დამოკიდებულია ნალექების ინტენსივობაზე და მოცულობაზე, ასევე ნიადაგის თვისებებზე და მინდვრის ზედაპირზე, რომელზეც ისინი მოდიან: დახრაზე, მიკრორელიეფზე, სიმკვრივეზე, მექანიკურ შემადგენლობაზე და ნიადაგის ტენიანობაზე.

სარწყავი ნორმა  $\varphi$  წარმოადგენს მართვად პარამეტრს და დაანგარიშებისას მოიცემა აპრიორულად.

მორწყვის  $u_\varphi$  პერიოდში სარწყავი წყლის აორთქლება შეიძლება წარმოადგენდეს არსებით სიდიდეს დაწვიმებით მორწყვის დროს.

ცდებმა უჩვენა რომ ის შეიძლება შეადგენდეს მორწყვის მანქანის მიერ გადმოგდებული წყლის ხარჯიდან 5% (ღამით) – 35% (ცხელ დღის საათებში). ამ საკითხების შესწავლას არა ერთი სამუშაო მიეძღვნა, რომლებშიც გამოიკვეთა ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ხელოვნური დაწვიმების დროს აორთქლების სიდიდეზე. მაგალითად, დაწვიმებისას წყლის აორთქლება დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე: წყლის და ჰაერის ტემპერატურაზე, ჰაერის ტენიანობაზე, ქარის სიჩქარეზე, წყლის წვეთის ზომაზე, დაწვიმების ინტენსივობაზე, წვეთების ვარდნის სიმაღლესა და სიჩქარეზე [80].

## თავი 4. მორწყვის დროს წყლის რესურსების განაწილების პროცესების ალგორითმიზაცია

### 4.1 სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მორწყვის რეჟიმების ოპტიმიზაცია. მორწყვის რეჟიმის გავლენა მოსავალზე წყლის რესურსების დეფიციტის პირობებში.

საწარმოო ფუნქცია, რომელიც ასახავს დამოკიდებულებას სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის სიდიდესა და მის მოსარწყავად გამოყოფილ წყლის მოცულობას შორის, იცვლება წლიდან წლამდე და მინდვრიდან მინდვრამდე, ვინაიდან ის დაკავშირებულია ნიადაგის ნაყოფიერებაზე და მეტეოროლოგიურ პირობებზე. გარდა ამისა, თუნდაც წინასწარ ფიქსირებულ გარემო პირობების და წყლის რესურსების დეფიციტის პირობებში მოსავალზე არსებით გავლენას ახდენს მორწყვის რეჟიმი, ანუ რწყვის ვადები და ნორმები, რაც იწვევს წყლის რესურსების დეფიციტის დროს მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის დასმისა და გადაწყვეტის აუცილებლობას (დანართი 3. სურათი 3. 7).

ანალიზის თვალსაჩინოების მიზნით მოვიყვანოთ რიცხვითი ექსპერიმენტის მაგალითი. შედარებული იქნა სარწყავი ნორმით 250 მმ მორწყვის რეჟიმის სამი ვარიანტი: სამი მორწყვა ნორმით 83,3 მმ, ხუთი მორწყვა 50 მმ და ათი მორწყვა 25 მმ. მორწყვათა შორის ინტერვალები თითოეული ვარიანტისათვის იყო უცვლელი. გაანგარიშების შედეგებმა უჩვენა, რომ მორწყვა მცირე ნორმებით შედარებით ეფექტურია. მოსავალი მორწყვის ათი და სამი ვარიანტების მიხედვით 2,5-ჯერ განსხვავდება. ცალკეული მორწყვის არასრულფასოვნება, მათი ეფექტურობის დამოკიდებულება მორწყვის დროსთან გამოკვლეულ იქნა სადაც, მორწყვის რეჟიმი შედგებოდა ერთი მორწყვისაგან რომლის თარიღიც იცვლებოდა, ხოლო მორწყვის ნორმა 50 მმ-ის ტოლად იქნა მიღებული. რამაც გვიჩვენა, რომ ბიომასის მოსავლის დამოკიდებულება მორწყვის ფარდობით დროსთან არის  $\tau/T$ , სადაც  $T$  – ვეგეტაციის

პერიოდის ხანგრძლივობაა, ხოლო  $\tau$  – დღე-ღამეთა რიცხვი, ვეგეტაციის დასაწყისიდან მორწყვის დრომდე.

შევადართ ერთმანეთს წყლის დეფიციტის პირობებში მორწყვის ორი რეჟიმი: მორწყვის შემცირებული რიცხვის და შემცირებული სარწყავი ნორმების შემთხვევები. ფუძედ ავიღოთ მორწყვის რეჟიმი როცა ხორციელდება 5 მორწყვა 50 მმ – უდეფიციტოთ. სარწყავი წყლის მოცულობის შემცირებისას 50 მმ-ზე და 20%-იანი დეფიციტის მოდელირებით, შევადართ რწყვის ორი რეჟიმი: 4 მორწყვა 50 მმ-ით და 5 მორწყვა 40 მმ-ით. პირველ შემთხვევაში მორწყვის გრაფიკიდან უნდა გამოირიცხოს შედარებით ეფექტური მორწყვა, წინასწარი გაანგარიშებით – ბოლო. ცხრილში მოცემულია ბიომასის მოსავლის ანგარიშის შედეგები მორწყვის რეჟიმიდან მორწყვის ერთი  $n$  ნომერის გამორიცხვის დროს.

გამორიცხული მორწყვის ნომერი	1	2	3	4	5
M ბიომასა, კგ/მ <sup>2</sup>	0,975	1,862	1,885	1,922	1,964

საიდანაც კიდევ ერთხელ ჩანს, რომ ბოლო მორწყვა შედარებით ეფექტურია და შედეგი 2-ჯერ მეტია. მოსავლის ანგარიშმა მორწყვის მეორე რეჟიმისათვის (5x40მმ) მოგვცა  $M=2,21$  კგ/მ<sup>2</sup>, რაც 12,7%-ჯერ მეტია, ვიდრე საუკეთესო შედეგი წყლის განაწილების პირველ ვარიანტში.

მოყვანილი მასალის მიზანი იყო გვეჩვენებინა, რომ ერთნაირი მოცულობის სარწყავი წყლის გამოყენების დროს მორწყვის რეჟიმი არსებით გავლენას ახდენს წყლის რესურსების გამოყენების ეფექტურობაზე და შესაბამისად მორწყვის რეჟიმის ოპტიმალური შერჩევის ამოცანის გადაჭრა საჭიროა თითოეული კონკრეტული შემთხვევისათვის.

#### 4. 2 მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის დასმა და განხილვა.

სასოფლო-სამეურნეო კულტურა და ეკოლოგიური გარემო, რომელშიც ის იმყოფება, აგრობიოცენოზი – მართვის ობიექტის სახით გვევლინება. მართვის ობიექტის – სასოფლო-სამეურნეო კულტურის

ნათესების (აგრობიოცენოზი), ქცევა დაკავშირებული მოსავლის ფორმირებასთან, აღიწერება მისი მათემატიკური მოდელით. ჩვენს ამოცანას წარმოადგენს ისეთი მოდელის შერჩევა რომელიც მეტად შეესაბამება დასახულ მიზანს. სასოფლო-სამეურნეო ნათესის ბიომასის დაგროვების პროცესი აღიწერება დისკრეტულ დროში სხვაობათა სისტემის (3.24) განტოლებით. ამასთან, ცნობილია განტოლებაში შემავალი კოეფიციენტები – პროდუქტიულობის პარამეტრები, რომლებიც დროით ფუნქციებს წარმოადგენენ და გარემო პირობები. როგორც ზემოთ ითქვა, პროდუქტიულობის პარამეტრებს  $S = (\alpha_i, \alpha^*, \beta_j, b_i, v_i, g_j, \rho)$  დროის შეზღუდულ ინტერვალში აქვთ ნულისაგან განსხვავებული მნიშვნელობები:

$$S = \begin{cases} 0, & \tau \leq \tau_i \text{ და } \tau \geq \bar{\tau}_i \\ S_{(\tau)}, & \tau_i < \tau < \bar{\tau}_i \end{cases} \quad (4.1)$$

სადაც დროის მომენტები  $\tau_i$  და  $\bar{\tau}_i$  შეესაბამებიან  $i$ -ური ორგანოს ზრდის დასაწყისსა და დასასრულს და განისაზღვრებიან განვითარების მოდელის დახმარებით. (3.24) განტოლებაში შემავალი  $m_j$  პარამეტრები (ნათესის ბიომასის დედამური ნაზრდი) განსაზღვრულია ზემოთ აღწერილი მოდელით.

მოდელის ყველა ბიოლოგიური ბლოკი ითვალისწინებს ნათესებში ბიომასის დაგროვების პროცესის დამოკიდებულებას გარემო ფაქტორებზე. ამ ფაქტორებს შორისაა ნათესის ზედაპირზე მოსული ფოტოსინთეზურად აქტიური რადიაცია (ფარ)  $Q$ , ნათესში ჰაერის საშუალო დედამური ტემპერატურა  $t$ , ნიადაგის ფესვთსამყოფი შრის სინოტივე  $\omega$ , ნიადაგის ნაყოფიერება  $\eta_n$ , სასუქის შეტანის ხარჯზე დამატებითი  $\eta$  ნაყოფიერება.

განტოლებათა სისტემის შეკვრის მიზნით საჭიროა ამოიწეროს გარემო პირობების ყველა ფაქტორის ცვალებადობებისათვის დამახასიათებელი დამოკიდებულებები სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში და საწყისი პირობები.

ფორმალურად მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანა ერთი მმართველი პარამეტრის არსებობის დროს – სარწყავ უბანზე

მიწოდებული წყლის დღეღამური მოცულობით  $\varphi$ , შესაძლებელია შემდეგნაირად იყოს ფორმულირებული:

განისაზღვროს დეტერმინირებული დისკრეტული ფუნქცია  $\varphi(\tau)$ ,  $\tau \in [\underline{\tau}, \bar{\tau}]$ , რომელიც აკმაყოფილებს შეზღუდვას

$$\sum_{\underline{\tau}}^{\bar{\tau}} \varphi(\tau) \leq \Phi, \quad 0 \leq \varphi(\tau) \leq \varphi^0 \quad (4.2)$$

იმგვარად, რომ

$$x(\tau) = \{M^*(\tau); M_1(\tau), \dots, M_n(\tau); \hat{M}_1(\tau), \dots, \hat{M}_n(\tau); L_1(\tau), \dots, L_n(\tau); w(\tau)\}$$

ამოხსნის დროს, (3.24) განტოლებათა სისტემები და გეოფიზიკური ბლოკების მოდელები, რომლებიც შეესაბამებიან საწყის პირობებს

$$x(\underline{\tau}) = \underline{x} \quad (4.3)$$

სამეურნეო-სასარგებლო ორგანოს ბიომასის  $M^*(\bar{\tau})$  მათემატიკური მოლოდინი  $R[M^*(\bar{\tau})]$  ვეგეტაციის პერიოდის  $\tau = \bar{\tau}$  ბოლოს იყოს მაქსიმალური, ანუ

$$R[M^*(\bar{\tau})] \rightarrow \max \quad (4.4)$$

$\Phi$  – სარწყავი ნორმის სიდიდეა,  $\Phi = V/\omega$ ,  $V$  – წყლის ჯამური მოცულობა, რომლის მიწოდებაც მოსარწყავ მინდორზე აუცილებელია დროის  $\bar{\tau} - \underline{\tau}$  შუალედში;  $\omega$  – სარწყავი მინდვრის ფართობი;  $\varphi^0$  – მინდორზე მიწოდებული წყლის მაქსიმალური დღეღამური მოცულობა;  $\bar{\tau}$  – თესვის მომენტი.

ვეგეტურობის კრიტერიუმის ჩანაწერი (4.4) გულისხმობს, რომ ოპტიმალური სტრატეგიის (მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმის) განმსაზღვრელ ამოცანაში ყველა არაკონტროლირებად ფაქტორებს გააჩნიათ სტოქასტური ბუნება. პირველ რიგში ეს არის ჯამური რადიაცია  $Q(\tau)$ , ჰაერის ტემპერატურა  $t(\tau)$ , ჯამური აორთქლება  $E(\tau)$ , ატმოსფერული ნალექები  $\theta(\tau)$ , მოდელირებული დისკრეტული შემთხვევითი პროცესებით; ხოლო მეორე რიგში ეს არის  $x$  ვექტორის მართვის ობიექტის საწყისი პირობების მდგომარეობის განუსაზღვრელობა.

გარემო პირობების ფაქტორების შესახებ ინფორმაციის წარმოდგენა შესაძლებელია ორგვარად: ერთი – დეტერმინირებული

ფორმით – შემთხვევითი პროცესების რეალიზაციის სახით; მეორე – სტოქასტური ფორმით – განაწილების კანონებით მოცემული შემთხვევითი პროცესების სახით.

იმის გამო, რომ შემომავალი ინფორმაცია ხშირად მნიშვნელოვანი შეცდომების წყაროა, ჩნდება აუცილებლობა ახალი შემომავალი ინფორმაციის მიღებისას სისტემატურად მოხდეს გეგმის კორექტირება, სხვაგვარად რომ ვთქვათ, განხორციელდეს მორწყვის რეჟიმის ოპერატიული დაგეგმარება.

მორწყვის რეჟიმის ოპერატიული დაგეგმარება  $\tau = \tau_0$ ,  $\underline{\tau} \leq \tau_0 < \bar{\tau}$  დროის მომენტში წარმოადგენს (4.2) – (4.4) მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის ამონახსნს, შესაბამისს საწყის პირობებთან

$$x(\tau_0) = x_0 \tag{4.4}$$

დროის  $\tau = \tau_0$  მომენტში  $x_0$  ვექტორის კომპონენტების გაზომვა შრომატევად ამოცანას წარმოადგენს. როგორც წესი ასეთი გაზომვის სიზუსტე არ არის მაღალი, რაც იძულებულს გვხდის  $x_0$  განვიხილოთ როგორც შემთხვევითი ვექტორი გაუსის განაწილებით. გაზომვების პროცესის გამარტივების მიზნით, მისი ავტომატიზაციის ნაწილში, საინტერესოა განისაზღვროს მცენარის და გარემოს მსუბუქად გასაზომი პარამეტრები, და მოხდეს მათი ფუნქციონალური დაკავშირება (დასაშვებია სტოქასტურად) ფაზურ კოორდინატებთან იმისათვის, რომ ამ პარამეტრების გაზომილმა მნიშვნელობებმა, მიღებული  $\tau$  დროის მომენტში, მოგვცეს დროის  $\tau$  მომენტში ფაზური  $x$  კოორდინატის ვექტორის მნიშვნელობების კარგი შეფასების ფორმულირების საშუალება [85].

დაკვირვების ზემოთ ნახსენები ამოცანების დასმა და გადაჭრა, მორწყვის პროგრამის ფილტრაცია და ოპტიმიზაცია საშუალებას იძლევა ავაგოთ მორწყვის საკუთარი ოპტიმალური რეჟიმი  $\varphi_0(\tau)$ ,  $\tau_0 \leq \tau < \bar{\tau}$  და დამოკიდებულება

$$y = \max R[M^*(\tau)] = y(\Phi) \tag{4.6}$$

$\Phi$  სარწყავი ნორმის სიდიდედან,  $0 \leq \Phi < \infty$  და  $\varphi_0(\tau)$  მორწყვის საკუთარი ოპტიმალური რეჟიმი, რომელიც შეესაბამება გამოყოფილ

მინდორზე  $\bar{\tau} - \tau_0$  პერიოდისათვის  $\Phi$  პარამეტრის ფიქსირებულ მნიშვნელობას.

სიდიდეები  $y$  და  $\Phi$  წარმოადგენენ კუთრ მახასიათებლებს მოსარწყავი მინდვრის ერთეული ფართობის მიმართ (როგორც წესი 1 ჰა).  $\tau_0$  მომენტისათვის მათი გარკვეული რაოდენობის წყვილის მნიშვნელობის  $\Phi(\tau_0) \rightarrow y$  განსაზღვრის შემდეგ, შეიძლება აიგოს მთელი  $\omega_0$  ფართობის მქონე სარწყავი მინდვრებიდან,  $\tau_0 \div \bar{\tau}$  პერიოდის განმავლობაში მიწოდებული წყლის  $V(\tau_0)$  მოცულობით,  $Y$  პროდუქციის საერთო შეგროვების ფუნქცია:

$$Y = Y[V(\tau_0)] \quad (4.7)$$

ამასთან

$$Y = y\omega_0 \quad (4.8)$$

$$V(\tau_0) = \Phi(\tau_0)\omega_0 \quad (4.9)$$

ფუნქცია (4.7) ფიქსირებული  $\tau_0$ -სთვის და ბუნებრივი ტენიანობის წყაროების არ არსებობის დროს წარმოადგენს  $0 \leq V < V_0$  ინტერვალში განსაზღვრულ ჩაზნექილ-ამოზნექილ მრუდს. ეს მრუდი შესაძლებელია იყოს ორგვარი სახის, რაც დამოკიდებულია იმაზე თუ რომელი პროდუქტი წარმოადგენს მოცემული კულტურის მოყვანის მიზანს. მცენარეები, რომელთა მოსავალს მარცვლეული, ძირხვენები ან ბოლქვი წარმოადგენს, ხასიათდება იმით, რომ მოსავალი შესაძლებელია მხოლოდ სარწყავი წყლის მოცულობის არსებობის პირობებში იქნეს მიღებული მეტით  $\Phi_{\min} > 0$  ვიდრე ზოგიერთი მინიმალური მნიშვნელობა. სხვა კულტურებისათვის კი, რომელთა მოსავალს მთელი ბიომასა ან მთელი მიწისზედა ბიომასა წარმოადგენს, დამახასიათებელია, რომ  $\Phi_{\min} = 0$ .

$Y = Y(V)$  ფუნქციას, იმ ზონაზე დამოკიდებულებით რომელშიც სასოფლო-სამეურნეო კულტურა მოგვეყავს და შესაბამისად ბუნებრივი დატენიანების ხარისხზე დამოკიდებულებით, შეუძლია ტრანსფორმირება. შემოვიტანოთ ახალი ფუნქცია



$$\psi = Y/V \quad (4.10)$$

რომელიც სარწყავ მინდორზე მიწოდებული ერთეული წყლის მოცულობის ეფექტურ გამოყენებას ახასიათებს.

(4.7) ფუნქციის არაწრფივობის გამო  $\psi$  იქნება მზარდი  $V$ -ს შემცირების დროს, დაწყებული  $V_0$ -დან და  $V$ -ს ზრდისას, დაწყებული  $V_{\min}$ -დან, ანუ ფუნქციას (4.10) აქვს მაქსიმუმი, რომელიც მიიღწევა შესების წერტილში  $(Y_{\eta}, V_{\eta})$  კოორდინატთა სათავიდან  $(Y=0, V=0)$  გატარებული მხებით.

$$Y' = Y_{\eta}/V_{\eta} \quad (4.11)$$

ეს წერტილი (4.7) ფუნქციას ორ ნაწილად ჰყოფს. შესების წერტილის მარჯვნივ მდებარეობს ზონა, რომელიც ხასიათდება წყლის რესურსების შედარებითი სიჭარბით და მიწების დეფიციტით. ამ ზონაში  $V > V_{\eta}$  დროს წარმოებს მთელი  $\omega_0$  ფართობის მორწყვა  $\Phi = V/\omega_0$  სარწყავი ნორმით.  $V_{\eta}$  წერტილის მარცხნივ ანუ  $V < V_{\eta}$  დროს შესაძლებელია ორი გადაწყვეტილების მიღება: ან ირწყვება მთელი  $\omega_0$  ფართობი  $\Phi = V/\omega_0$  სარწყავი ნორმით, მაშინ აღებული საერთო მოსავალი შეადგენს  $Y = \gamma\omega_0$  ან ირწყვება ფართობის ნაწილი  $\omega = V/\Phi$  ნაკლებად ეფექტური  $\Phi_{\eta}$  სარწყავი ნორმით. მეორე სტრატეგია პრიორეტიტულია, რადგან  $V < V_{\eta}$  დროს  $\Phi_{\eta}\omega > \Phi\omega_0$ , ანუ მეორე სტრატეგიის არჩევის შემთხვევაში მთელი აღებული მოსავალი ერთნაირი სარწყავი წყლის მოცულობის შემთხვევაში იქნება მეტი, ვიდრე პირველი სტრატეგიის დროს.

$V < V_{\eta}$  დროს,  $V = \Phi_{\eta}\omega$  მართვის ამორჩევის პარალელურად ხორციელდება  $Y = Y(V)$  ფუნქციის ამოხსნა, რომელიც ხდება ნაწილობრივი:

$$Y = \begin{cases} \Phi_{\eta}\omega, & V \leq V_{\eta} \\ \Phi\omega_0, & V \geq V_{\eta} \end{cases} \quad (4.12)$$

ეს ფუნქცია განისაზღვრება  $\tau_0$  გაანგარიშების თითოეული მომენტისათვის და იძლევა სარწყავ სისტემებში წყლის რესურსების

განაწილების ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტის მეთოდების შემოთავაზების საშუალებას.

იმის გათვალისწინებით, რომ სისტემა რომლითაც მოსავლის ფორმირების პროცესი აღიწერება წარმოადგენს დინამიურს, მისთვის ოპტიმალური მართვის პოვნა საკმაოდ რთულ ამოცანას წარმოადგენს. რაც აუცილებელს ხდის მისი ამოხსნის მიზნით შეფასდეს არსებული მიდგომები და შეირჩეს მეტნაკლებად მისაღები.

### 4.3. დინამიური სისტემების ქცევის ოპტიმიზაციის თეორიული საფუძვლები. ამოხსნის მეთოდის შერჩევა

მართვის ოპტიმალური სისტემების შექმნის დროს გამოყენებულ ერთ-ერთ მნიშვნელოვან იდეას, მართვის მრავალგანზომილებიან სივრცეში მართვის ოპტიმალური სტრატეგიის ძიების იდეა წარმოადგენს. ამ იდეის გამოყენებას მიყვავართ იმასთან, რომ ოპტიმალური მართვის პოვნა განიხილება როგორც გადაწყვეტილების მიღების მრავალბიჯური პროცესი. დასაწყისისათვის განვიხილოთ ერთბიჯიანი პროცესი. ვთქვათ  $x$  აღნიშნავს სისტემის მდგომარეობის ვექტორს. ჩვენს შემთხვევაში

$$x = \{M, L, w\} \quad (4.13)$$

$x$  ვექტორი წარმოადგენს დროითი და ფაზური კოორდინატების ფუნქციას. დროის დისკრეტულ  $\tau, \tau+1$  მომენტებში ის ექვემდებარება გარდასახვას (3.24) და (3.66) შესაბამისად. სიმბოლურად ეს შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად

$$x^{(2)} = g(x^{(1)}, \varphi) \quad (4.14)$$

სადაც  $g(x, \varphi)$  – ოპერატორია, რომელიც ასრულებს  $x^1 \rightarrow x^2$  გარდაქმნას (ციფრები ზედა დონეზე თანმიმდევრული გარდაქმნის ინდექსებია).

$\varphi$  პარამეტრი, მოცემულ შემთხვევაში სკალარულია, წარმოადგენს მართვას, რომელიც შეიძლება პირველივე ეტაპზე შეირჩეს ჩვენი შესხედულებისამებრ. ვთქვათ  $J(x^1, \varphi_1)$  – სისტემის  $x^1$  მდგომარეობიდან

$x^2$ -ში გადაყვანიდან მიღებული მოგებაა. მაშინ ოპტიმალური იქნება  $\varphi$  - ს ისეთი მნიშვნელობა, რომელიც განახორციელებს გარდაქმნას  $x^1 \rightarrow x^2$  და ამავდროულად  $J(x^1, \varphi_1)$  სიდიდის მაქსიმიზირებას მოახდენს, ანუ

$$f_1(x^1) = \max_{\varphi_1} J_1(x^1, \varphi_1) \quad (4.15)$$

უხლა განვიხილოთ ორბიჯიანი პროცესი. ვთქვათ სისტემა გარდაქმნით

$$x^2 = g(x^1, \varphi_1) \quad (4.16)$$

გადადის  $x^1$  მდგომარეობიდან  $x^2$  მდგომარეობაში, შემდეგ კი გარდაქმნით

$$x^3 = g(x^2, \varphi_2) \quad (4.17)$$

გადადის  $x^2$  მდგომარეობიდან  $x^3$ -ში. ეს თანმიმდევრობა ნებისმიერი მნიშვნელობების დროს გვაძლევს სრულ მოგებას, რომელიც ტოლია

$$J_1(x^1, \varphi_1) + J_2(x^2, \varphi_2) \quad (4.18)$$

ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ ამოიჩვენო დასაშვები  $\varphi_1$  და  $\varphi_2$  მართვების თანმიმდევრობა, რომელიც მოგვცემს მაქსიმალურ სრულ მოგებას.  $\varphi_1$  და  $\varphi_2$  თანმიმდევრობას ორბიჯიან სტრატეგიას უწოდებენ.

მაქსიმალური მოგება შესაძლებელია განისაზღვროს ფორმულით

$$f_2(x^1) = \max_{\varphi_1, \varphi_2} \{J_1(x^1, \varphi_1) + J_2(x^2, \varphi_2)\} \quad (4.19)$$

სადაც მაქსიმიზაცია ყველა დასაშვები  $\{\varphi_1, \varphi_2\}$  კომბინაციით წარმოებს. ნათელია, რომ ამ სტრატეგიის განსაზღვრა პირველთან შედარებით უფრო რთულია. სიძნელე და სირთულე იზრდება ამოხსნის პროცესში ბიჯების რაოდენობის ზრდის მიხედვით. პრობლემა  $N$  - ბიჯური  $\{\varphi_1, \dots, \varphi_N\}$  სტრატეგიის შერჩევაშია, რომელიც ახდენს სრული მოგების მაქსიმიზაციას და ტოლია

$$\sum_{i=1}^N J_i(x^i, \varphi_i) \quad (4.20)$$

ამ შემთხვევაში სისტემა თანმიმდევრულად გადადის  $x^1$  მდგომარეობიდან  $x^N$ -ში, ხოლო მაქსიმალური მოგება მოიცემა ფორმულით

$$f_N(x^1) = \max_{\{\varphi_i\}} \sum_{i=1}^N J_i(x^i, \varphi_i) \quad (4.21)$$

$\{\varphi_i\}$  სტრატეგია, რომელიც  $f_N(x^1)$ -ს განსაზღვრავს არის სისტემის მართვის ოპტიმალური პოლიტიკა ანუ ოპტიმალური სტრატეგია.

(4.21) გამოსახულების მაქსიმიზაციას ცნობილი მეთოდების გამოყენებით, რომლებიც დაფუძნებულია ცვლადების  $N$  ფუნქციის აუცილებელი პირობების ექსტრემუმზე, მიყვებათ  $N$  ტრანსცენდენტური განტოლებების ამოხსნამდე. დიდი რაოდენობის ბიჯების არსებობის შემთხვევაში მაქსიმიზაციის პრობლემის ასეთი გზით გადაწყვეტა არადამაკმაყოფილებელია. ამასთან დაკავშირებით, სისტემატური ამოხსნის მიზნით, საჭირო გახდა პროცედურის დამუშავება, რომელიც ითვალისწინებს სისტემის ევოლუციის დინამიური მრავალბიჯიანი პროცესების სპეციფიკას. ეს პროცედურა შესაძლებელია დაფუძნებული იყოს დინამიური დაპროგრამების ფუნდამენტურ პრინციპებზე – კერძოდ ბელმანის ოპტიმალობის პრინციპზე, რომელიც ფორმულირდება შემდეგნაირად: ოპტიმალურ სტრატეგიას გააჩნია ის თვისებები, რომ როგორც არ უნდა იყოს პირველადი მდგომარეობა და პირველადი ამონახსნი, შემდეგმა ამონახსნმა უნდა განსაზღვროს ოპტიმალური სტრატეგია პირველადი ამოხსნის შედეგით მიღებულ მდგომარეობასთან მიმართებაში [28, 29].

ოპტიმალური სტრატეგიის უმნიშვნელოვანესი თვისებების აღმწერი ოპტიმალობის პრინციპი, საფუძვლად იყენებს ინვარიანტული ჩადების კონცეფციას, რომლის თანახმადაც საწყისი, რთული ამოცანის ამოხსნა იცვლება გარკვეული რაოდენობის ანალოგიური, მაგრამ გაცილებით ნაკლებად პრობლემატური ამოცანით. ეს პრინციპი მრავალბიჯიანი პროცესების შემთხვევაში გვაძლევს საშუალებას საწყისი ამოცანა შევცვალოთ ერთბიჯიანი პროცესების ოპტიმიზაციის ამოხსნის თანმიმდევრობით.

ოპტიმალობის პრინციპის გამოყენებით, ჩვენს შემთხვევაში შეიძლება ჩაიწეროს, რომ მაქსიმალური მოგება ტოლია

$$f_N(x^1) = \max_{\varphi_N} \{J_N(x^1, \varphi_1) + f_{N-1}[g(x^1, \varphi_1)]\} \quad (4.22)$$

ეს განტოლება მართებულია  $N \geq 2$ -სათვის, ხოლო  $N=1$  შემთხვევაში მაქსიმალური მოგება არის ერთბიჯიანი სტრატეგიის შედეგი, ანუ

$$f_1(x^1) = \max_{\phi_1} \{J_1(x^1, \phi_1)\} \quad (4.23)$$

ამრიგად, ყოველ ბიჯზე ოპტიმალობის პრინციპის სისტემატური გამოყენება საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ერთი და იგივე რეკურენტული (4.22) თანაფარდობა. მმართველი ზემოქმედების გაზომვის ინტერვალი დამოკიდებულია იმაზე, არის თუ არა შეზღუდვა მართვაზე. ასე მაგალითად, ჩვენს შემთხვევაში (4.22) მაქსიმიზაცია მიმდინარეობს  $[0, \varphi(\bar{c})]$  ინტერვალში.

(4.22) ამოხსნის შედეგად განისაზღვრება ოპტიმალური მმართველი სტრატეგია და ოპტიმალური კერძო მოგების  $f_i(x^1)$  თანმიმდევრობა როგორც  $x^1$  საწყისი მდგომარეობის ვექტორის ფუნქციები. ამრიგად, მიიღება ოპტიმალური ამონახსნის გარკვეული სიმრავლე, რომელთაგანაც შემდგომ  $x^1$ -ის ფიქსაციით მოხდება კონკრეტული სიმრავლის გამოყოფა. მეთოდის ასეთი თვისება მას ხდის ძალიან პერსპექტიულს უკუ კავშირებით მართვის ოპტიმალური სისტემების ასაგებად. ნაშრომში დინამიური დაპროგრამება გამოიყენება სარწყავი მინდვრების, მეურნეობების და ა.შ. შორის წყლის რესურსების განაწილების ამოცანის გადასაწყვეტად.

ამ მეთოდების გამოყენების ძირითად მოთხოვნას ძალიან დიდი მოცულობის მეხსიერების მქონე გამოთვლითი სისტემის ქონის აუცილებლობა წარმოადგენს. ამასთან დაკავშირებით განვიხილოთ მეთოდი, რომელიც მოკლებულია ასეთ ნაკლს.

ეს მეთოდი პონტრიაგინის “მაქსიმუმის პრინციპის” სახელს ატარებს და იძლევა საძიებელი მართვის ოპტიმალურობის აუცილებელ პირობებს.

განვიხილოთ მმართველი ფუნქციების შემცველი დიფერენციალური განტოლებების სისტემა, რომელთა ამორჩევაზეც დამოკიდებულია სისტემის ქცევა (ტრაექტორია)

$$dx/d\tau = f(x, \varphi), \quad x(0) = x_0 \quad (4.24)$$

და ინტეგრალური სახით მოცემული მართვის ხარისხის კრიტერიუმები

$$J = \int_0^T R(x, \varphi) d\tau \quad (4.25)$$

სადაც,  $T$  პროცესის (იგულისხმევა მოცემული) დამთავრების მომენტი;  $x$  – ფაზური კოორდინატების ვექტორი;  $\varphi$  – მმართველი ზემოქმედების ვექტორი.

კრიტერიუმის ძირითად სისტემასთან მიერთებისას, ამოცანის ზომის ინვარიანტული გადიდების პრინციპის გამოყენებით, მივიღებთ

$$dx_{n+1} / d\tau = R(x, \varphi) \quad (4.26)$$

განხილვაში შემოვიტანოთ ჰამილტონის ფუნქცია, რომელიც განსაზღვრების თანახმად ტოლია

$$H(\psi, x, \varphi) = \sum_{i=1}^N \psi_i f_i(x, \varphi) + R(x, \varphi) \quad (4.27)$$

სადაც  $\psi_i(\tau)$  – (4.24) განტოლებათა სისტემის მიმართ შეუღლებული ჯერ განუსაზღვრელი ამონახსნია.

$\psi_i(\tau)$  ფუნქციის განსაზღვრის მიზნით ვისარგებლოთ ჰამილტონის კანონიკური განტოლებებით:

$$\left. \begin{aligned} d\psi_i / d\tau &= -\partial H / \partial x_i \\ dx_i / d\tau &= \partial H / \partial \psi_i \end{aligned} \right\} \quad (4.28)$$

მაქსიმუმის პრინციპი ამტკიცებს, რომ თუ  $\varphi_0(\tau)$ -ს მართვა კრიტერიუმის (4.25) მაქსიმუმს აღწევს, მაშინ ჰამილტონის ფუნქცია მასში დროის ყოველ მომენტში აღწევს თავის ზედა ზღვარს, ანუ აღვილი აქვს

$$H(\psi, \varphi_0, x) = \max_{\varphi} H(\psi, \varphi, x) \quad (4.29)$$

ის  $\varphi_0(\tau)$  ფუნქცია, რომელიც ახდენს (4.29)-ის მაქსიმიზირებას წარმოადგენს საძიებელ ოპტიმალურ მართვას.  $\varphi_0(\tau)$  მიმართ (4.29)-ის ამოხსნით მივიღებთ შემდეგი სახის გამოსახულებას

$$\varphi_0 = \varphi_0[\psi(\tau), x(\tau)] \quad (4.30)$$

ანუ ოპტიმალური მართვა წარმოდგენილია ფაზური ცვლადების ვექტორსა და შეუღლებული განტოლებათა სისტემის ვექტორზე დამოკიდებულების ფორმით და როგორც (4.28)-დან გამომდინარეობს, ეს ორი ვექტორი ერთმანეთთან განტოლებათა სისტემით არის

დაკავშირებული. ამრიგად, ვიდრე ჩავატარებთ პროცედურას (4.29) და ვიპოვიოთ  $\varphi_0(\tau)$ , ჩვენ უნდა გვქონდეს შემუშავებული (4.28) განტოლებათა სისტემის ამოხსნის ხერხი.

უნდა აღინიშნოს, რომ (4.28) თანაფარდობა ქმნის მათემატიკაში ცნობილ ორწერტილოვან ზღვრულ ამოცანას, რადგან ფაზური ცვლადების ვექტორის საწყისი მნიშვნელობები მოცემულია მარცხენა ბოლოში, ანუ  $\tau=0$ -ის დროს, ხოლო შეუდღებული ცვლადების ვექტორის საწყისი მნიშვნელობები – მარჯვენა ბოლოში, ანუ  $\tau=T$  დროს. ეს ფაქტი წარმოქმნის საკმაოდ რთულ გამოთვლით პრობლემებს, რადგან ამოცანის ანალიტიკური ამოხსნა მხოლოდ მარტივ შემთხვევებშია შესაძლებელი.

განვიხილოთ მაქსიმუმის პრინციპის გამოყენებით ოპტიმალური მართვის ამოცანის ამოხსნის ძირითადი ეტაპები. მხედველობაში მივიღოთ ტერმინალური კრიტერიუმის მაქსიმიზაციის ამოცანა, ანუ  $\varphi(\tau)$  მართვის ხარისხის შეფასება, რომელსაც აზრი მხოლოდ მთელი პროცესის დასრულების შემდეგ აქვს. გარდა ამისა, დავუშვათ, რომ მმართველ ფუნქციაზე დადებულია ტოლობის ტიპის ინტეგრალური შეზღუდვა. ამ ამოცანის ამოხსნის ძირითადი ეტაპებია:

1. ზომათა ექვივალენტური ზრდის პრინციპის საფუძველზე ხდება ხარისხის კრიტერიუმის მოდიფიცირება. ამასთან შესაძლებელია შემდეგი შეზღუდვის გათვალისწინება

$$dx_{n+1} / d\tau = F(x, \varphi) - \lambda \varphi(\tau) \quad (4.31)$$

სადაც  $F(x, \varphi)$  – ისეთი ფუნქციაა, რომლისთვისაც მართებულია

$$\int_0^T F(x, \varphi) d\tau = J(T)$$

აქ  $\lambda$  – ლაგრანჟის განუსაზღვრელი მამრავლია. გამოსახულება (4.31) შეესაბამება კრიტერიუმს

$$J^*(T) = J(T) - \lambda \left\{ \int_0^T \varphi(\tau) d\tau - \Phi \right\} \quad (4.32)$$

რომლის მეორე ნაწილი “ჯარიმა”, შეუსრულებელი პირობების გამო

$$\int_0^T \varphi(\tau) d\tau = \Phi \quad (4.33)$$

2. განიხილება განტოლების გაფართოებული სისტემა: მდგომარეობის  $n$  მართვა და  $n+1$  განტოლება – მოდიფიცირებული ხარისხის კრიტერიუმით. ჰამილტონის ფუნქციის შედგენა ხორციელდება შემდეგი წესით

$$H(\psi, x, \varphi, \lambda) = \sum_{i=1}^{n+1} x_i \varphi_i \quad (4.34)$$

სადაც,  $x_i = dx_i / d\tau$ .

3. მოიძებნება ისეთი  $\varphi_0(\tau)$  მართვა, რომ შესრულდეს პირობა

$$H(\psi, x, \varphi_0, \lambda) = \max_{\varphi} H(\psi, x, \varphi, \lambda) \quad (4.35)$$

4. შეუდგებელი  $\psi_i(\tau)$  ცვლადები განისაზღვრება (4.28) ზღვრულ პირობებიანი, ორწერტილოვანი ზღვრული ამოცანის ამოხსნით:

$$\left. \begin{aligned} x_i(0) &= x_i^0, \quad i = \overline{1, n+1} \\ \psi_i(T) &= 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad \psi_{n+1}(T) = 1 \end{aligned} \right\} \quad (4.36)$$

ამასთან უნდა გავითვალისწინოთ, რომ გვერდითა პირობები (4.36) სახით მართებულია იმ შემთხვევაში თუ არ არსებობს შეზღუდვა ფაზური ტრაექტორიის მარჯვენა ბოლოში, ხოლო დროის ბოლო მომენტისათვის კრიტერიუმად ერთ-ერთი კოორდინატა გვევლინება.

5. უცნობი  $\lambda$  მამრავლი განისაზღვრება პირობიდან (4.32). ამოხსნის შედეგად ნაპოვნი იქნება არა მარტო  $\varphi_0(\tau)$  ოპტიმალური მართვა, არამედ მისი შესაბამისი  $x(\tau)$  ტრაექტორია, ასევე დამხმარე ცვლადები  $\psi(\tau)$  და მამრავლი  $\lambda$ . საერთო შემთხვევაში არც ერთი ამ სიდიდეებიდან არ შეიძლება იყოს ნაპოვნი სხვებისგან დამოუკიდებლად. სწორედ ამაში მდგომარეობს პონტრიაგინის მაქსიმუმის პრინციპის პრაქტიკული რეალიზაციის ძირითადი სირთულე.

აღწერილ მეთოდებს აქვთ როგორც დადებითი ასევე უარყოფითი მხარეები. როგორც უკვე ავლნიშნეთ დინამიური დაპროგრამება მოსახერხებელია იმით, რომ საშუალებას იძლევა მართვა სამართავი სისტემის ფაზური კოორდინატებიდან განისაზღვროს როგორც ფუნქცია, რაც ძალზე მნიშვნელოვანია მის ასაგებად. ამ დამოკიდებულებების პოვნა მოითხოვს მანქანური მეხსიერების დიდ



მოცულობას, თუმცა მას მიყვარათ მარტივ გამოთვლით პროცედურებამდე.

მაქსიმუმის პრინციპი თავისი რეალიზაციისათვის გამოთვლითი მოწყობილობებს გადაჭარბებულ მოთხოვნებს არ უყენებს, თუმცა მას მიყვარათ ორწერტილოვანი ზღვრული ამოცანის ამოხსნამდე, რაც გამოთვლითი პროცესის სირთულეებთანაა დაკავშირებული. გარდა ამისა, ნაპოვნი მმართველი ფუნქცია არის მხოლოდ დროითი ფუნქცია, რაც სამართავი სისტემის აგების დროს ართულებს მის გამოყენებას. მაქსიმუმის პრინციპის ერთ-ერთ უპირატესობას წარმოადგენს ჯერ კიდევ რიცხვითი რეალიზაციის სტადიამდე ოპტიმალური მართვის ხასიათის შესახებ მნიშვნელოვანი ანალიტიკური დასკვნების მიღების შესაძლებლობა.

იმის გათვალისწინებით, რომ მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტა ხდება ოპერატიულ რეჟიმში და მისი მიზანია ერთჯერადი კონკრეტული მართვისათვის გადაწყვეტილების მიღება, მიღებული გადაწყვეტილების მხოლოდ დროზე, აშკარა დამოკიდებულება, სავსებით საკმარისია. რაც მაქსიმუმის მეთოდის მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის საფუძვლად მიღების უფლებას იძლევა.

#### 4.4. სარწყავი წყლის დეფიციტის პირობებში მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაჭრა

დინამიური სისტემების ოპტიმიზაციის საფუძვლების გადმოცემის შემდეგ დროა შევუდგეთ მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმის პოვნის ამოცანის განხილვას, წყლის რესურსების დეფიციტის პირობებში.

ამოცანის ამოხსნის მეთოდი განვიხილოთ სიმინდის მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის მაგალითზე, რომელიც მწვანე ბიომასის სასილოსედ მისაღებად არის მოყვანილი. გარემო პირობები  $Q(\tau)$ ,  $t(\tau)$ ,  $\theta(\tau)$  მოცემულია დეტერმინირებული ფორმით, როგორც შემთხვევითი პროცესის კონკრეტული რეალიზაცია [67].

აქ სამეურნეო-სასარგებლო ორგანოდ წარმოდგენილია მთელი მიწისზედა ბიომასა. გამოითვლება მხოლოდ საკუთრივ ბიოლოგიური ნივთიერებები, ე. წ. მშრალი ბიომასა, რომელთაგანაც ნედლი (მწვანე) ბიომასის პოვნა შეიძლება 3,5–4 ტონ კოეფიციენტზე გამრავლების გზით.

სიმინდის მიწისზედა ბიომასის დაგროვების პროცესის აღმწერ განტოლებათა სისტემას, აქვს შემდეგი სახე:

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{მ}}(\tau+1) &= M_{\text{მ}}(\tau) + a_{\text{მ}}(\tau)u(w,t)m_0(L,Q) \\ L(\tau+1) &= L(\tau) + \beta(\tau)u(w,t)m_0(L,Q) \\ w(\tau+1) &= w(\tau) + \theta(\tau) + \varphi(\tau) - E(w(\tau)) \pm q(\tau) \end{aligned} \right\} \quad (4.37)$$

$$M_{\text{მ}}(0) = M_{\text{მ}0}, \quad w(0) = w_0, \quad L(0) = L_0, \quad \tau \in [0, T]$$

სადაც  $M_{\text{მ}}(\tau)$  – სიმინდის მიწისზედა ბიომასაა მინდვრის ერთეულ ფართობზე;  $L(\tau)$  – სიმინდის ფოთლოვანი ინდექსი;  $a_{\text{მ}}(\tau)$  – მიწისზედა ბიომასის ზრდადობის ფუნქცია;  $\beta(\tau)$  – ფოთოლთ წარმოქმნის კოეფიციენტი;  $m_0(L, Q)$  – მშრალი ნივთიერების დღეღამური ნაზრდი;  $u(w, t)$  – ნაზრდის შემცირების გამთვალისწინებელი ფუნქცია, ნათესში  $w$  ნესტის მარაგის და  $t$  ჰაერის ტემპერატურის ბიოლოგიური ოპტიმიზიდან გადახრის დროს.

სისტემის მესამე განტოლება წარმოადგენს წყლის ბალანსის განტოლებას ფესვთსამყოფ ფენაში, რომელშიც  $\theta(\tau)$ ,  $\tau$  – დღეღამეში მოსული ნალექების რაოდენობა;  $q(\tau)$  – გასათვლელი ფენის ქვედა საზღვარზე წყალცვლის დღეღამური სიდიდე;  $E(\tau)$  – ჯამური აორთქლების დღეღამური სიდიდე;  $\varphi(\tau)$  – მინდორზე დღე-ღამეში მიწოდებული სარწყავი წყლის მოცულობა. ჩავთვალოთ, რომ გრუნტის წყლები ძალიან ღრმად არის და მათი მხრიდან წყლის მიწოდება ნიადაგის ფესვთსაყოფ ზონაში  $q=0$ .

მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმების საპოვნელად მოსარწყავად გამოყოფილი მოცემული სეზონური წყლის მოცულობის დროს, ვისარგებლოთ პონტრიაგინის ფორმის ოპტიმალობის აუცილებელი პირობებით. ოპტიმალობის კრიტერიუმად ავიღოთ მშრალი, მიწისზედა ბიომასის სიდიდე მოსავლის აღების  $T$  მომენტში ანუ

$$M_{\text{აბ}}(T) = \sum_{\tau=1}^T a_{\text{აბ}}(V_1, w, \tau) m_0(L, Q) u(w, t) + M_{\text{აბ0}} \quad (4.38)$$

სადაც  $V_1$  – მცენარის მიერ ნიადაგიდან შთანთქმული აზოტის რაოდენობაა;  $Q$  – ფოტოსინთეზურად აქტიური რადიაციის (ფარ) ინტენსივობა [61].

ამასთან, უნდა შესრულდეს შეზღუდვები

$$\Phi = \sum_{\tau=1}^T \varphi(\tau) \quad (4.39)$$

და

$$0 \leq \varphi(\tau) \leq \bar{\varphi} \quad (4.40)$$

სადაც  $\Phi$  – მოსარწყავად საჭირო წყლის მოცულობაა, მთელი სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში მინდვრის ერთეულ ფართობზე (მმ);  $\bar{\varphi}$  – სარწყავი ტექნიკის ზღვრული წარმართულობა (მმ/დღ.).

ამრიგად, მიღებული ამოცანის კლასიფიკაცია შეიძლება როგორც ტერმინალური მართვის ამოცანის მარჯვენა თავისუფალი ბოლოთი, იზოპარამეტრული შეზღუდვით (4.39) და ამპლიტუდაზე მმართველი შემოქმედებების შეზღუდვით (4.40).

(4.37) – (4.40) ამოცანების ამოსახსნელად ვისარგებლოთ პონტრიაგინის მაქსიმუმების მეთოდით. გარდაეკმნათ (4.38) მიზნის ფუნქცია მასთან გამოსახულების მიერთების გზით, რომელიც ითვალისწინებს (4.39) პირობას, გამრავლებულს ლანგრაჟის  $\lambda$  განუსაზღვრელ მამრავლზე:

$$J(T) = \sum_{\tau=1}^T a_{\text{აბ}} m_0 u + M_0 - \lambda \left( \sum_{\tau=1}^T \varphi(\tau) - \Phi \right) \quad (4.41)$$

ჩანაწერის შემოკლების მიზნით (4.41)–ში შემავალი ფუნქციის არგუმენტები გამოტოვებულია.

სხვაობის ოპერატორის მისადაგებით (4.41)–თან, ვღებულობთ

$$J(\tau+1) = J(\tau) + a_{\text{აბ}} m_0 u - \lambda \varphi(\tau) \quad (4.42)$$

სხვაობიანი განტოლებების სისტემა (4.37) კიდევ ერთი (4.42)-ით შევავსოთ. ეს ხერხი ოპტიმალური მართვის თეორიაში ცნობილია, როგორც ამოცანის ზომების ექვივალენტური გადიდების პრინციპი.

განსახილველად შემოვიტანოთ შეუღლებული ცვლადების ვექტორი  $\bar{\varphi}(\tau)$  და მისი დახმარებით შევქმნათ ჰამილტონის ფუნქცია, რომელიც განსაზღვრის თანახმად ტოლია

$$H = \psi_1 a_{\text{გზ}} m_0 u + \psi_2 \beta m_0 u + \psi_3 (\theta + \varphi - E \pm q) + \psi_4 (a_{\text{გზ}} m_0 u - \lambda \varphi) \quad (4.43)$$

ცნობილია, რომ თუ სარწყავი რეჟიმი  $\varphi(\tau)$  ოპტიმალურია, მაშინ მან ჰამილტონის ფუნქციაში უნდა მიაღწიოს მაქსიმუმს დროის ნებისმიერ მომენტში. (4.43)-ის გაანალიზებით შევნიშნავთ, რომ ის წრფივადაა დამოკიდებული მორწყვის რეჟიმზე. გარდა ამისა, ცნობილია, რომ სარწყავი ნორმა შეზღუდულია და  $[0, \bar{\varphi}]$  საზღვრებში შეიძლება. ბოლო ორი ფაქტი იძლევა მნიშვნელოვანი დასკვნის გაკეთების საშუალებას: მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმი, თუკი ის არსებობს, წარმოადგენს ცალკეული მორწყვების თანმიმდევრობას, მორწყვებს შორის მონაცვლე პერიოდებით, ამასთან მორწყვები მაქსიმალური  $\bar{\varphi}$  სარწყავი ნორმით ხორციელდება.

მართლაც,  $\varphi$ -ის მიხედვით (4.43)-ის წრფივობიდან გამომდინარეობს, რომ ჰამილტონის ფუნქციამ შესაძლებელია მაქსიმუმს მიაღწიოს  $[0, \bar{\varphi}]$  ინტერვალის მხოლოდ ზედა ან ქვედა საზღვარზე. ინტერვალის რომელიმე ბოლოს ამორჩევა დამოკიდებულია  $\psi_3(\tau) - \lambda$  სხვაობის ნიშანზე. შესაბამისად, მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმი შეიძლება იყოს ჩაწერილი შემდეგი სახით:

$$\varphi_0(\tau) = \begin{cases} \bar{\varphi}(\tau), & \psi_3(\tau) - \lambda > 0 \\ 0, & \psi_3(\tau) - \lambda < 0 \end{cases} \quad (4.44)$$

გავაანალიზოთ (4.44) გამოსახულება. თუ  $\tau$  დროის რომელიმე მომენტში აღმოჩნდება, რომ სიდიდე  $\psi_3(\tau) - \lambda > 0$ , მაშინ (4.41) გამოსახულების მაქსიმიზაციისათვის, ნათელია  $\varphi(\tau)$  უნდა ამოირჩეს შესაძლებლად დიდი, მაგრამ ვინაიდან პირობის მიხედვით  $\max \varphi(\tau) = \bar{\varphi}$ , ჩვენ უნდა მივიღოთ  $\varphi(\tau) = \bar{\varphi}$ . თუ კი  $\psi_3(\tau) - \lambda < 0$ , მაშინ (4.41) მაქსიმიზაციისათვის  $\varphi(\tau)$  უნდა შევარჩიოთ შეძლებისდაგვარად მცირე, მაგრამ რადგან  $\min \varphi(\tau) = 0$ , მაშინ დასაშვებია მივიღოთ  $\varphi(\tau) = 0$ . ფუნქცია  $\rho(\tau) = \psi_3(\tau) - \lambda$  იძლევა გადართვის კანონს მორწყვების, მორწყვის შუა პერიოდებისაგან განცალკევებით, ანუ აფორმირებს

მორწყვის ოპტიმალურ რეჟიმს. მის საპონენტად საჭიროა ვიცოდეთ მისი შემადგენელი ელემენტები, ანუ  $\psi_3(\tau)$  და  $\lambda$ .

$\psi_3(\tau)$  ფუნქცია შესაძლებელია ნაპონენი იყოს ორწერტილოვანი ზღვრული ამოცანის ამოხსნის გზით.  $\lambda$  სიდიდე უშვებს საინტერესო და უბრალო ინტერპრეტაციას.  $\lambda$  მამრავლის ზომის ანალიზი მიუთითებს, რომ მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმის დროს აზრობრივად ის წარმოადგენს წარმოებულს საბოლოო ბიომასიდან სარწყავ ნორმამდე. ე.ი. რაღაც დონემდე ახასიათებს კულტურის ეფექტურ ზრდას რწყვის ნორმაზე დამოკიდებულებით. ცნობილია, რომ სრული წყალუზრუნველყოფის დროს მიიღება მოსავლის მაქსიმუმი, რასაც  $\lambda=0$  იძლევა.  $\lambda$  ზედა ზღვარი დამოკიდებულია კულტურის “გამოსხმურებაზე” რწყვის ნორმის ცვლის მიმართ და ამ უკანასკნელის სიდიდეზე. აქედან გამომდინარე, ის არ შეიძლება იყოს თვითნებურად დიდი.

შეუღლებული ვექტორის კომპონენტების განსაზღვრის მიზნით გამოვიყენოთ ჰამილტონის კანონიკური სისტემა (4.28), რომელსაც ჩვენი ამოცანისათვის ექნება შემდეგი სახე:

$$\left. \begin{aligned} \psi_1(\tau+1) - \psi_1(\tau) &= 0 \\ \psi_2(\tau+1) - \psi_2(\tau) &= \psi_2(\tau)\beta(\tau)udm_0 / dL - \psi_4(\tau)udm_0 / dL \\ \psi_3(\tau+1) - \psi_3(\tau) &= -\psi_2(\tau)\beta(\tau)m_0 du / dw + \psi_3(\tau)dE / dw - \psi_4(\tau)m_0 du / dw \end{aligned} \right\} (4.45)$$

როგორც ავღნიშნეთ, (4.45) სისტემისთვის მოსაზღვრე პირობები მოცემულია მარჯვენა ბოლოში ანუ  $\tau = T$  დროს. საბოლოო ბიომასის მაქსიმიზაციის ამოცანისათვის ე.ი. შემთხვევისათვის, როცა სისტემის ტრაექტორიის [სიდიდეები  $M_H(T)$ ,  $L(T)$ ,  $\omega(T)$ ] მარჯვენა ბოლოში არანაირი ზღვარი არ არის დადებული, მართებულია შემდეგი:

$$\psi_i(T) = 0, \quad i = \overline{1, 3}; \quad \psi_4(T) = 1 \quad (4.46)$$

რასაც მიყვევართ იქამდე, რომ მთელ  $[0, T]$  ინტერვალზე  $\psi_1(\tau) = 0$ .

(4.45) ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმი, მიღებული (4.44) შესაბამისად, წარმოადგენს აგროცენოზში მიმდინარე პროცესების დიდი რიცხვის შედეგს. მორწყვის ვადების და ნორმების ფორმირებაზე ზემოქმედებას ახდენს როგორც თვით მცენარის პარამეტრები, დაკავშირებული მის სახეობისა და ჯიშის

თავისებურებებზე, ასევე მოდელში გასათვალისწინებელი გარემო პირობების ფაქტორების ჯგუფი. აქედან გამომდინარე შესაძლებელია მნიშვნელოვანი დასკვნის გაკეთება – სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მორწყვის რეჟიმების დაგეგმარების დროს მხოლოდ წყლის ბალანსის განტოლების გათვლის არასაკმარისობის შესახებ.

მართლაც, ვთქვათ  $\lambda=0$ . ეს შემთხვევა როგორც უკვე ითქვა, შეესაბამება სარწყავი წყლის დეფიციტის არარსებობას და აქედან გამომდინარე უშვებს წყლის ბალანსის მეთოდის გამოყენებას [1, 2]. (დანართი 2. ცხ. 2.1 ÷ 2.5. სურ. 2.1 ÷ 2.3).

შევადართოთ გაანგარიშების ორი მეთოდი. მორწყვის დანიშნულების პირობას წყალბალანსების გაანგარიშებებში წარმოადგენს ტოლობა

$$w(\tau) - \underline{w}(\tau) = 0 \quad (4.47)$$

სადაც  $\underline{w}(\tau)$  – ნიადაგის საანგარიშო ფენაში მინიმალურად დასაშვები ტენის მარაგია.

მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმის დროს კი, დეფიციტის არ არსებობის პირობებში გვაქვს ანალოგიური პირობა შემდეგი ფორმით

$$\psi_3(\tau) > 0 \quad (4.48)$$

ამრიგად, სრული წყალუზრუნველყოფის დროს ორივე მიდგომა არაექვივალენტურია და ადეკვატური მათემატიკური მოდელის დროს მოსავლის ფორმირებისათვის მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმი მიღებული (4.48)-ის შესაბამისად, უნდა უზრუნველყოფდეს დიდ ბიომასას.

წარმოვიდგინოთ, რომ წყლის ბალანსის მეთოდით მიღებული მორწყვის რეჟიმის მოდიფიცირება, სრული წყალუზრუნველყოფის დროს, ხდება დეფიციტურ პირობებში მორწყვის ნორმების შემცირების გზით მორწყვების თარიღის გათვალისწინებით. რაც თანამედროვე პრაქტიკაში გამოყენებად პროპორციული წყალგანაწილების პროცედურას წარმოადგენს. ოპტიმალურ წყალგანაწილებას, წყლის დეფიციტის გაანგარიშების სხვა სქემასთან – მორწყვების თარიღების შეცვლისა და სარწყავი ნორმების შენარჩუნებით მათი რიცხვის შემცირების გზასთან მივყავართ.

#### 4.5. წყალმომხმარებლებს შორის წყლის რესურსების განაწილების პროცესების ალგორითმიზაცია.

სარწყავ სისტემაში წყლის რესურსების განაწილების ოპტიმალური ოპერატიული გეგმის შედგენაში ამოცანის ფორმალიზაციის შედეგად ნაჩვენებია, რომ დაგეგმარების პროცესის რეალიზირება შესაძლებელია მრავალფენიან სისტემაში დინამიური დაპროგრამების ერთპარამეტრიანი ამოცანების გადაწყვეტის მეშვეობით. ამასთან, თითოეული მოსარწყავი მინდვრისათვის უნდა ამოიხსნას მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანა. უფრო ზუსტად, თითოეულ  $k \in M_1$  მწვერვალს შეესაბამება თავისუფალ პარამეტრიანი ოპტიმალური მართვის ამოცანა –  $V_{qk}$  მოცულობით,  $q \in B(k)$  გამოყოფილი სარწყავი მინდვრისთვის  $k \in M_1$  წყლის რესურსით, დაგეგმვის დროის მონაკვეთში. თითოეულ მწვერვალს  $k \in M_2$  შეესაბამება დინამიური დაპროგრამების ამოცანა ( $q \in M_2$  რესურსის განაწილება დაქვემდებარებული მინდვრების  $A(q)$  სიმრავლეთა შორის) თავისუფალი პარამეტრით – მოცულობით  $V_{pq}$ ,  $p \in B(q)$  გამოყოფილი შუალედური ცენტრისათვის  $q \in M_2$  წყლის რესურსით დაგეგმვის დროის მონაკვეთისთვის და ბოლოს, თითოეულ მწვერვალს  $s \in M_j$ ,  $j > 2$  შეესაბამება დინამიური დაპროგრამების ამოცანა თავისუფალი პარამეტრით –  $V_{is}$ ,  $i \in B(s)$  მოცულობით გამოყოფილი ქვესისტემაში  $s \in M_j$  წყლის რესურსით დაგეგმვის დროის მონაკვეთში.

სარწყავ სისტემებში წყლის რესურსების განაწილების დაგეგმარების მსგავსი სახით ფორმულირებული ამოცანის განსაკუთრებულობას წარმოადგენს ის, რომ დაგეგმარების პროცედურა აუცილებელია დაიწყოს იერარქიის ყველაზე დაბალი დონის ამოცანის გადაწყვეტიდან, თანმიმდევრული გადასვლით მაღლა მდგომი ფენების ამოცანის ამოხსნაზე, რის შედეგადაც განისაზღვრება ყველა ოპტიმალური სტრატეგიები. ამის შემდეგ, გვაქვს რა რესურსის ფიქსირებული მოცულობა  $V_{vs}$ ,  $s \in A(v)$  იერარქიის ყველაზე მაღალ დონეზე, აუცილებელია უკუ მიმართულებით მოძრაობა და ამასთან,

უნდა განხორციელდეს თითოეულ ქვესისტემაში შემავალი  $V_{is}$ ,  $i \in M_j$ ,  $2 \leq j \leq \nu$  პარამეტრების მნიშვნელობების თანმიმდევრული კონკრეტიზირება, სადაც  $\nu$  – იერარქიის დონეთა რიცხვია;  $s \in A(i)$ , რაც თავის მხრივ, იცის რა ქვესისტემის ოპტიმალური სტრატეგიები  $i \in M_j$ , იძლევა საშუალებას განისაზღვროს გამომავალი პარამეტრები  $V_{sp}$ ,  $p \in A(s)$ , რომლებიც ქვემდგომი დონის ამოცანის შემავალ პარამეტრებს წარმოადგენენ. მსგავსი პროცედურა საშუალებას იძლევა განისაზღვროს  $V_{is}$  რესურსის მოცულობის ყველა საჭირო გეგმიური მნიშვნელობები, გამოყოფილი განსახილველი მართვის მრავალდონიანი იერარქიული სისტემის თითოეული ქვესისტემიდან და ყველა ქვესისტემების ლოკალური ეფექტურობის კრიტერიუმების მათთვის შესაბამისი მნიშვნელობები.

სარწყავ სისტემაში წყლის რესურსების განაწილების დაგეგმარების ზემოთ განხილული მეთოდი დაიყვანება იერარქიული სახით ორგანიზებული ორი კლასის სიმრავლის პარამეტრული ამოცანების თანმიმდევრულ ამოხსნამდე. პირველ კლასს ეკუთვნის სხვაობიანი განტოლებათა სისტემის ოპტიმალური მართვის ამოცანები სტოქასტური შესასვლელებით, ხოლო მეორე კლასს – დინამიური დაპროგრამების პარამეტრული ამოცანების სიმრავლე. ვინაიდან მორწყვის რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანები (I კლასის ამოცანები) უკვე განხილული გვაქვს, შეგვიძლია აღვწეროთ დინამიური დაპროგრამების პარამეტრული ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი, რომელიც მიესადაგება იერარქიის მეორე დონეს (2.16) – (2.17), რომელზეც ყველა მაღლა აღწერილი მეორე კლასის ამოცანა დაიყვანება [62, 63].

მაქსიმიზაციის პირობა (2.16) და შეზღუდვა (2.17) შემდეგი სახით ჩავწეროთ:

$$D_q \equiv \sum_{k \in A(q)} [c_k \omega_k y_k(\Phi_{qk}) - G_k(V_{qk})] - G_q(V_{iq}) - R_q \rightarrow \max \quad (4.49)$$

$$\sum_{k \in A(q)} a_{qk} V_{qk} \leq V_{iq}, \quad q \in M_2, \quad i \in B(q) \quad (4.50)$$

$$\omega_k y_k(\Phi_{qk}) \geq 0, \quad \Phi_{qk} \geq 0, \quad y_k = Y_k / \omega_k \quad (4.51)$$



სადაც,  $a_{qk}$  – განსახილველი ქვესისტემების დაქვემდებარებაში მყოფი სარწყავი სისტემის შემადგენლობაში მყოფი არხების სასარგებლო ქმედების კოეფიციენტებზე დამოკიდებული პარამეტრებია.  $a_{qk}$  სიდიდეები განისაზღვრებიან თანმიმდევრულად ყველა იერარქიის დონისათვის დაწყებული პირველიდან, რადგან ქვედა დონის თითოეულ ქვესისტემის ნებისმიერი რესურსის მოცულობას ერთმნიშვნელოვნად შეესაბამება მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმი. დანაკარგის არ არსებობის შემთხვევაში  $a_{qk} = 1$ .

დამოკიდებულება

$$y = y(\Phi) \quad (4.52)$$

განისაზღვრება განსახილველი სარწყავი მინდვრებისათვის მორწყვის ოპტიმიზაციის პროგრამის ერთპარამეტრიანი ამოცანის გადაწყვეტიდან და წარმოადგენს არაუარყოფით, არაკლებად ფუნქციას  $\Phi \geq 0$  მნიშვნელობისათვის.  $(\Phi = \Phi^{\max})$  წერტილში  $y(\Phi)$  აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას  $y^{\max} = y(\Phi^{\max})$ , თანაც  $y(0) \geq 0$ ,  $y(\Phi) = y(\Phi^{\max})$ ,  $\Phi \geq \Phi^{\max}$  -სათვის.

ინტერვალში  $(0, \Phi^{\max})$ , როგორც ავლნიშნეთ არსებობს ერთი სახასიათო წერტილი  $\bar{\Phi}$ , რომელიც განისაზღვრება განტოლებიდან

$$Y' = Y/\Phi \quad (4.53)$$

სადაც ფუნქცია  $\psi = Y/\Phi$  – წყლის გამოყენების ეფექტურობა – თავის მაქსიმუმს აღწევს (ანუ თუ  $\Phi = \bar{\Phi}$ , მაშინ გამოყენებული წყლის მოცულობის ერთეულზე პროდუქციის გამოსავლიანობა მაქსიმალურია).

როგორც აღწერილი (4.52) ფუნქციის თვისებებიდან გამომდინარეობს, (4.51) განტოლებას ინტერვალში  $0 \leq \Phi_{qk} \leq \Phi_{qk}^{\max}$  აქვს ერთი ამონახსნი  $\Phi_{qk}^0$ , ამასთან შეიძლება ადგილი ჰქონდეს სამიდან ერთ შემთხვევას:

$$\Phi_{qk}^0 = \bar{\Phi}_{qk} \quad (4.54)$$

$$\Phi_{qk}^0 > \bar{\Phi}_{qk} \quad (4.55)$$

$$\Phi_{qk}^0 < \bar{\Phi}_{qk} \quad (4.56)$$

შემთხვევა (4.54) შეესაბამება არსებული წყლის რესურსების მეტნაკლებად ეფექტურ გამოყენებას მთელს  $\omega_k (V_{qk} = \omega_k \Phi_{qk})$  სარწყავ ფართობზე. მეორე შემთხვევისათვის ლიმიტირებულ ფაქტორად  $\omega_k$  მინდვრის ფართობი გვეკლინება, რადგან მისი გადიდებით სარწყავი წყლის უფრო პროდუქტიული გამოყენება შეიძლება. და ბოლოს, მესამე შემთხვევაში სარწყავი წყლის უფრო პროდუქტიული გამოყენებისათვის სარწყავი უბნის  $\omega_k$  ფართი აუცილებელია შევამციროთ  $\bar{\omega}_k = (\Phi_{qk}^0 / \bar{\Phi}_{qk}) \omega_k$  სიდიდემდე, რადგან ამ შემთხვევაში პროდუქციის ჯამური გამოსავალი იქნება მაღალი, ვიდრე  $\omega_k$  ფართზე.

ამრიგად, დინამიური დაპროგრამების (4.49) – (4.51) ამოცანის (4.51) შეზღუდვები შესაძლებელია შეიცვალოს შემდეგი შეზღუდვით

$$\Phi_{qk} = \Phi_{qk}^0, \quad q \in M_2, \quad k \in A(q) \quad (4.57)$$

ზედმდები  $\Phi_{qk}$  არგუმენტების მნიშვნელობაზე. ამასთან თუ თუნდაც ერთი  $k \in M_1$ -თვის ექნება ადგილი (4.56) შემთხვევას, მაშინ ნაკლებ  $\bar{\omega}$  ფართზე გადასვლით შესაძლებელი იქნება ყველა  $y_k \bar{\omega}_k$  ფუნქციები (4.49)-ში იყოს ამოზნექილი. ამისათვის (4.49)-ში აუცილებელია შესაბამისი  $y_k$  შეიცვალოს ფუნქციებით:

$$\left. \begin{array}{l} y_k(\bar{\Phi}_{qk}), \quad \text{თუ} \quad \theta \leq \Phi_{qk} \leq \bar{\Phi}_{qk} \\ y_k(\Phi_{qk}), \quad \text{თუ} \quad \Phi_{qk} \geq \bar{\Phi}_{qk} \end{array} \right\} \quad (4.58)$$

წრფივები  $\theta \leq \Phi_{qk} \leq \bar{\Phi}_{qk}$  ინტერვალში. ამასთან, წრფივობის ინტერვალში  $\omega_k$  ფართობის მუდმივი სიდიდე აუცილებელია შეიცვალოს ცვლადით

$$\bar{\omega}_k = (\Phi_{qk} / \bar{\Phi}_{qk}) \omega_k \quad (4.59)$$

(4.49) – (4.51) ამოცანა (4.58)-ის გათვალისწინებით დავიყვანოთ დინამიური დაპროგრამების სტანდარტულ პარამეტრულ ამოცანამდე

$$D_q \equiv \sum_{k \in A(q)} [c_k \omega_k y_k (a_{qk} V_{qk}) - G_k(V_{qk})] - G_q(V_{iq}) - R_q \rightarrow \max \quad (4.60)$$

$$\sum_{k \in A(q)} a_{qk} V_{qk} \leq V_{iq}, \quad q \in M_2, \quad i \in B(q), \quad V_{qk} \geq 0 \quad (4.61)$$

ერთადერთი (4.61) წრფივი შეზღუდვით [74].

ნათელია, რომ (4.60) – (4.61) წარმოადგენს მომხმარებლებს შორის წყლის რესურსების განაწილების ოპტიმიზაციის ამოცანას.

აღნიშვნების გამარტივების მიზნით სიმრავლის ელემენტები გადავნიშნოთ ნატურალური რიცხვებით 1-დან  $n$ -მდე, მაშინ (4.60) – (4.61) ამოცანა გადაიწერება შემდეგი სახით:

$$D_q \equiv \sum_{k=1}^n D_k(V_{qk}) - G_q(V_{iq}) - R_q \rightarrow \max \quad (4.62)$$

$$\sum_{k=1}^n a_{qk} V_{qk} \leq V_{iq}, \quad V_{qk} \geq 0 \quad (4.63)$$

სადაც,  $D_k(V_{qk})$  –  $k \in A(q)$  ელემენტის “მოგება” – წარმოადგენს (4.60) პირობის კვადრატულ ფრჩხილიან გამოსახულებას

$$G_q(V_{iq}) = G_q\left(\sum_{k \in A(q)} a_{qk} V_{qk}\right)$$

(4.62) – (4.63) ამოცანის ამოხსნის ქვეშ იგულისხმება ოპტიმალური  $D_q$  მოგების მნიშვნელობა და ოპტიმალური  $V_{qk}^{opt}$ ,  $k = \overline{1, n}$  სტრატეგია დამოკიდებული  $V_{iq}$  თავისუფალ პარამეტრზე. უკანასკნელი იცვლება  $0 \leq V_{iq} \leq V_{iq}^{max}$  საზღვრებში, სადაც  $V_{iq}^{max}$  – მაქსიმალურია  $V_{iq}$  მნიშვნელობებიდან, და რომლისთვისაც მიიღწევა  $D_q$  მიზნის ფუნქციის აბსოლუტური მაქსიმუმი (4.63) შეზღუდვის დროს.

ფორმულირებული (4.62) – (4.63) ამოცანის ამოხსნის მიზნით განვსაზღვროთ  $\Lambda_k^q(\xi)$  ფუნქციის თანმიმდევრობა

$$\Lambda_k^q(\xi) = \max_{V_{q1}, \dots, V_{qk}} \left[ \sum_{j=1}^k D_j(V_{qj}) - G_q(V_{iq}) - R_q \right] \quad (4.64)$$

სადაც, მაქსიმუმის აღება ხორციელდება ყველა არაუარყოფითი  $V_{qj}$  - სათვის, რომელიც აკმაყოფილებს პირობას

$$\sum_{j=1}^k a_{qj} V_{qj} \leq \xi \quad (4.65)$$

მაშინ

$$\Lambda_1^q(\xi) = \max_{0 \leq V_{q1} \leq \xi / a_{q1}} [D_1(V_{q1}) - G_q(V_{iq})(V_{q1} / V_{iq}) - R_q] \quad (4.66)$$

ხოლო  $\Lambda_k^q(\xi)$ ,  $k = \overline{2, n}$ -თვის ადგილი აქვს რეკურენტულ შეთანაწყობას

$$\Lambda_k^q(\xi) = \max[D_k(V_{qk}) - G_q(V_{iq})(V_{qk}/V_{iq}) - R_q + \Lambda_{k-1}^q(\xi - a_{qk}V_{qk})], \quad k = \overline{2, n} \quad (4.67)$$

(4.66)–(4.67) დამოკიდებულებები ორ თანმიმდევრობას განსაზღვრავენ

$$\{V_{qk}(\xi)\}, \quad \{\Lambda_k^q(\xi)\} \quad (4.68)$$

ოპტიმალური  $D_q^{\text{ობ}}$  მნიშვნელობა და ოპტიმალური სტრატეგია ამ თანმიმდევრობიდან შემდეგნაირად გამოისახება:

$$D_q^{\text{ობ}} = \Lambda_k^q(V_{iq}), \quad V_{qk}^{\text{ობ}} = V_{qk}(V_{iq}), \quad 0 \leq V_{iq} \leq V_{iq}^{\text{max}} \quad (4.69)$$

განსახილველი მრავალფენიანი სისტემის ქვედა ზღვარზე გადაწყვეტილების მიღება მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმის და (4.52) დამოკიდებულების აგების მიზნით მოითხოვს შესაბამისი რიცხვითი მეთოდების გამოყენებას, რაც თავის მხრივ განსაზღვრავს რიცხვითი მეთოდების გამოყენების აუცილებლობას დინამიური დაპროგრამების ამოცანების ამოსახსნელად ზემდგომ ფენებში. თუმცა ასეთ მიდგომას მოსდევს გართულებები, რადგან საჭირო ხდება რესურსების დიდი ოდენობით განაწილების – (სისტემაში სარწყავი მინდვრების რაოდენობის ტოლი) პრაქტიკულად ერთდონიანი ამოცანის გადაჭრა. უფრო მეტად მოსახერხებელია იერარქიის თითოეულ დონეზე,  $M_1$  სიმრავლის ელემენტებიდან დაწყებული, რიცხვითი ამონახსნის განსაზღვრის შემდეგ ვიპოვოთ ანალიტიკური დამოკიდებულებები, მიღებული ცხრილების აპროქსიმაციით. მაგალითად, ალგებრული ან განზოგადებული პოლინომებით. ეს იძლევა საშუალებას შემდეგ შრეზე, ცნობილი პროცედურების გამოყენებით, ამოვხსნათ დინამიური დაპროგრამების სტანდარტული ამოცანები და კვლავ (4.69) დამოკიდებულების ანალიტიკური განსაზღვრით გადავიდეთ ზემდგომ შრეებზე.

დინამიური დაპროგრამების პარამეტრული ამოცანების რიცხვითი ამოხსნის პროცედურები, დაწყებული მეორე შრიდან [ამოცანები (4.49) – (4.51)] მსუბუქდება იმ ფაქტით, რომ ფუნქცია  $y_k(\Phi_k)$ , როგორც ზემოთ იყო ნახვენი, ჩაზნექილია (ამოზნექილობის შესაძლო უბანზე ხდება (4.58)-ის თანახმად ფუნქციის გასწორება). დაეუშვათ, რომ  $G_k$  – პროდუქციის წარმოებაზე გაწეული ხარჯი  $k$ -ურ მინდორზე და ფუნქცია  $G_q$ , ( $q \in M_2$ ), ჩაზნექილი ფუნქციებია, მაშინ მივაღწეოთ იქამდე, რომ

საჭირო გახდება თითოეულ შრეზე ამოხსნას დინამიური დაპროგრამების მრავალი პარამეტრული ამოცანა ჩაზნექილი მიზნის ფუნქციით, რადგან დინამიური დაპროგრამების შესაბამისი ამოცანების მიზნის ფუნქციის ოპტიმალური მნიშვნელობები ასევე ჩაზნექილია. უკანასკნელი გარემოება მნიშვნელოვნად აადვილებს ექსტრემალური ამოცანების რიცხვითი ამოხსნის პოვნის პროცედურას, რომელიც  $\Omega(N)$  სტრუქტურული გრაფის ყოველი მწვერვალის შესაბამისია.

$\bar{\tau} - \tau_0$ ,  $\underline{\tau} \leq \tau_0 \leq \bar{\tau}$  პერიოდში ყოველი  $k$ -ური მინდვრისათვის გამოყოფილი  $\Phi_{qk}^0$  სარწყავი ნორმის სიდიდის ან მისი ნაწილის განსაზღვრის შემდეგ, განვსაზღვრავთ მისთვის შესაბამის მორწყვის რეჟიმს, შესასრულებლად ვიყენებთ მხოლოდ მის ნაწილს დროის მონაკვეთში  $(\tau_0, \tau_1)$ , ორ ვადას შორის წყალგანაწილების ოპერატიული გეგმის შესადგენად. ყოველ  $k$ -ურ მინდორზე მორწყვის რეჟიმის განსორციელების მიზნით განვსაზღვრავთ წყლის ხარჯს (დანართი 2. ცხ. 2.6 ÷ 2.15; დანართი 3. სურათი 3.4, 3.5) და მისი მიწოდების დროს  $Q_{qk}$ .

## დასკვნა

ქვეყნის სუვერენიტეტის პირობებში, ანუ სოციალური და ეკონომიკური პოლიტიკის ახალი ფორმების პირობებში წყალმეურნეობა წამყვან როლს იძენს სახელმწიფოს ეკონომიკის ფორმირებაში. წყალს, როგორც პროდუქტს, ასევე მის წარმოებულს (ელექტროენერჯია, სოფლის მეურნეობის პროდუქცია და მრეწველობა) საერთაშორისო ბაზარზე მნიშვნელოვანი ფასი გააჩნია, განსაკუთრებით იმ პირობებში, როცა ფულის მასა უნდა იყოს უზრუნველყოფილი რეალური ნედლეულით და საქონლის რაოდენობით. ეს მდგომარეობა გვიბიძგებს გამოკვლევის აქტუალობისკენ რესპუბლიკის წყალმეურნეობის შეფასების თანამედროვე მდგომარეობისა და განვითარების პერსპექტივების შეფასების სფეროში. მითუმეტეს, რომ წყლის რესურსების განაწილების პირობები ტერიტორიაზე და დროში დამახასიათებელი მთიანი რეგიონებისათვის ართულებენ მათ მოხმარებას მდინარის წყლის რეჟიმების ასევე წყალმოხმარებისა და წყალმომსახურების რეჟიმების შეუთავსებლობის გამო.

დასახული ამოცანის გადასაწყვეტად მოძიებულ და შეკრებილ იქნა მნიშვნელოვანი მეტეოროლოგიური (ძირითადად სტატისტიკური მონაცემები ნალექებზე) და ჰიდროლოგიურ-მელიორაციული მასალა. კერძოდ მდინარეული ჩამონადენის მრავალწლიური მონაცემები თვეების მიხედვით და წლიური მონაცემები 2015 წლის პერსპექტიული დონისათვის დასახული სარწყავი სისტემების შესახებ, მათზე დაქვემდებარებული სარწყავი ფართობებით, წარმოებისათვის დასახული სასოფლო-სამეურნეო კულტურებით და მათი განაწილებით ამ ფართობების მიხედვით სოფლის მეურნეობის პერსპექტიული სპეციალიზაციისა და რელიეფის ვერტიკალური ზონალობის თავისებურებათა საფუძველზე.

აღმოსავლეთ საქართველოს ძირითად მდინარეთა ირიგაციული წყალუზრუნველყოფის გამოვლენილი შესაძლებლობანი და არსებულ პერსპექტიულ სარწყავ სისტემებზე სარწყავი წყლის დეფიციტის მოსალოდნელი სიდიდეები კვლევის პირველ ეტაპს წარმოადგენს. კვლევის შემდგომი ეტაპი, როგორც საქართველოს სარწყავი მიწათმოქმედების აღდგენა-აღორძინების აუცილებლობებიდან გამომდინარე, აღმოსავლეთ საქართველოს გვაღვიანი რაიონების პირობებში წყლის ირიგაციული რესურსების უფრო რაციონალურად გამოყენების და მდინარეთა აუზებში არსებული სარწყავი წყლის დეფიციტის თავიდან აცილების ღონისძიებათა შემუშავებაა.

ნაშრომში მიღებულია ახალი სამეცნიერო შედეგები, რომლებიც მდგომარეობს შემდეგში:

- შესწავლილ იქნა სოფლის მეურნეობაში წყლის რესურსების ოპტიმალური გამოყენებისა და საქართველოს სარწყავი სისტემების ოპტიმალური მართვის საკითხები;
- ჩამოყალიბებულ იქნა წყალმოხმარების დაგეგმვისა და წყალთა მეურნეობის დარგის თანამედროვე პრობლემები;
- შესწავლილ იქნა წყალსამეურნეო სისტემების მართვის ამოცანების მოდელები;

– ჩამოყალიბებულ იქნა სარწყავი სისტემების ექსპლუატაციის დროს წყლის რესურსების ოპტიმალური განაწილების პრინციპები და მეთოდები. მომხმარებლებს შორის წყლის რესურსების განაწილების ამოცანა გადაიჭრა დინამიური დაპროგრამების მეთოდების გამოყენებით;

– აღწერილია სარწყავ სისტემებში ინფორმაციის მიღებისა და გადაამუშავების მეთოდები;

– განხორციელდა პერსპექტივაში დასახული მიწების ოპტიმალური განაწილება მდინარეთა აუზებისა და კულტურების მიხედვით.

– შემუშავდა მორწყვის დროს წყალგანაწილების ოპერატიული დაგეგმარების მოდელის აგების საკითხები და აგებულ იქნა მისი იერარქიული სტრუქტურა;

– შემუშავდა და წყალგანაწილების გეგმის ფუძედ იქნა აღებული საწარმოო ფუნქციები, რომლებიც ასახავენ ეკონომიკური მაჩვენებლების დამოკიდებულებას სასოფლო-სამეურნეო და წყალსამეურნეო საწარმოების მიერ გამოყენებული წყლის რესურსების რაოდენობაზე;

– დამუშავდა მოსავლის ფორმირების, როგორც მართვის ობიექტის, მათემატიკური მოდელი;

– ირიგაციის პროცესში წყალგანაწილების ალგორითმიზაციის გზით ჩამოყალიბდა სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის ფორმირების საკითხები, გარემო ფაქტორების, ასევე მცენარის ჯიშისა და სახეობის გენეტიკური თვისებების გათვალისწინებით;

– შედგა საქართველოს წყალგანაწილების სისტემებში ადრე არსებული მოდელებისაგან სრულიად განსხვავებული, მართვის მათემატიკური მოდელი, ასევე საწარმოო ფუნქციის აგების ალგორითმები იერარქიის სხვადასხვა დონეზე;

– MS Excel-ში შეიქმნა და დამუშავდა აღმოსავლეთ საქართველოში 2015 წ. დონეზე დასახული სარწყავი სისტემების პირობებში მდინარეთა ირიგაციული შესაძლებლობების მონაცემთა ბაზა წყალუზრუნველყოფისა და წყალმოთხოვნილების ურთიერთშედარების მეთოდით, მოხდა პერსპექტივაში მოსარწყავად დასახული მიწების განაწილება მდინარეთა აუზებისა და კულტურების მიხედვით, დადგენილ იქნა მორწყვის ნორმები, რომელიც დამოკიდებულია სასოფლო-სამეურნეო კულტურის სახეობაზე, ნიადაგის მექანიკურ შემადგენლობაზე, მისი აქტიური ფენის სისქეზე და ა.შ. გამოთვლილ იქნა წყლის ბალანსი, წყლის საშუალო ხარჯი მდინარეების მტკვრისა და არაგვისათვის;

– შეიქმნა პროგრამა HTML ენაზე, რომლის დახმარებითაც შესაძლებელია საქართველოს წყლის რესურსების ინტერნეტული წარმოდგენა ფართო საზოგადოებისათვის.

ამრიგად, წყლის რესურსების ოპტიმალური განაწილების საკითხები შესრულებულია თანამედროვე დონეზე, რომელიც ჩვენი აზრით, საინტერესო იქნება როგორც სამეცნიერო სფეროში, ასევე პრაქტიკულად მომუშავე ადამიანებისათვის.

ნაშრომში გამოყენებულია მეთოდი, რომელიც პონტრიაგინის “მაქსიმუმის პრინციპის” სახელს ატარებს და იძლევა საძიებელი მართვის ოპტიმალურობის აუცილებელ პირობებს. ამასთან, ლაგრანჟის

მამრავლის და ჰამილტონის ფუნქციის გამოყენების შემდეგ შეგვიძლია მნიშვნელოვანი დასკვნის გაკეთება: მორწყვის ოპტიმალური რეჟიმი წარმოადგენს ცალკეული მორწყვების თანმიმდევრობას, მორწყვებს შორის მონაცვლე პერიოდებით, თანაც მაქსიმალური სარწყავი ნორმით.

სარწყავ სისტემაში წყლის რესურსების განაწილების დაგეგმარების ზემოთ განხილული მეთოდი დაიყვანება იერარქიული სახით ორგანიზებული ორი კლასის სიმრავლის პარამეტრული ამოცანების თანმიმდევრულ ამოსსნამდე. პირველ კლასს ეკუთვნის სხვაობიანი განტოლებათა სისტემის ოპტიმალური მართვის ამოცანები სტოქასტური შესასვლელებით, ხოლო მეორე კლასს – დინამიური დაპროგრამების პარამეტრული ამოცანების სიმრავლე.



დანართი 1

ცხრილი 1.1.

აღმოსავლეთ საქართველოში 2015 წ. დონეზე დასახული სარწყავი სისტემების პირობებში მდინარეთა ირიგაციული შესაძლებლობის შეფასება წყალუზრუნველყოფისა და წყალმოთხოვნილების ურთიერთშედარების მეთოდით

თვეები/წყალი	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1. ფოცხოვი – შესართავი 50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	35.36	138.93	200.34	90.20	36.69	22.23	23.48	36.16
დასახარჯი	-	7.46	1.38	2.59	6.70	4.87	1.84	-
სხვაობა	-	+131.47	+198.96	+87.61	+29.99	+17.36	+21.64	-
დახარჯული	-	7.46	1.38	2.59	6.70	4.87	1.84	-
დარჩენილი	35.36	131.47	198.96	87.61	29.99	17.36	21.64	36.16
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	31.07	122.60	175.70	81.13	28.12	16.87	20.37	31.07
დასახარჯი	-	7.46	1.38	4.86	6.93	7.86	1.26	-
სხვაობა	-	+115.14	+174.32	+76.26	+21.19	+9.01	+19.11	-
დახარჯული	-	7.46	1.38	4.86	6.93	7.86	1.26	-
დარჩენილი	31.07	115.14	174.32	76.26	21.19	9.01	19.11	31.07
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	24.80	99.27	144.90	69.47	20.36	13.47	16.07	24.24
დასახარჯი	-	9.05	4.99	7.51	6.93	7.68	4.57	-
სხვაობა	-	+90.22	+139.91	+61.96	+13.43	+5.79	+11.50	-
დახარჯული	-	9.05	4.99	7.51	6.93	7.68	4.57	-
დარჩენილი	24.80	90.22	139.91	61.96	13.43	5.79	11.50	24.24
<b>2. ფარავანი – შესართავი 50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	43.12	84.76	112.99	62.99	41.51	34.28	33.96	35.09
დასახარჯი	-	15.79	-	8.35	13.45	2.23	0.10	-
სხვაობა	-	+68.97	+112.99	+54.63	+28.07	+32.05	+33.86	-
დახარჯული	-	15.79	-	8.35	13.45	2.23	0.10	-
დარჩენილი	43.12	68.97	112.99	54.63	28.07	32.05	33.86	35.09
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	37.50	73.86	101.24	57.02	33.21	27.59	28.41	32.14
დასახარჯი	-	16.06	1.49	8.33	15.07	10.44	3.01	-
სხვაობა	-	+57.80	+99.75	+48.70	+18.14	+17.15	+25.41	-
დახარჯული	-	16.06	1.49	8.33	15.07	10.44	3.01	-
დარჩენილი	37.50	57.80	99.76	48.70	18.14	17.15	25.41	32.14
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	31.87	61.13	87.85	46.66	23.97	19.77	22.89	25.79
დასახარჯი	-	16.06	10.23	14.63	15.07	11.24	2.32	-
სხვაობა	-	+45.11	+77.62	+32.02	+8.90	+8.53	+20.57	-
დახარჯული	-	16.06	10.23	14.63	15.07	11.24	2.32	-
დარჩენილი	31.87	45.11	77.62	32.02	8.90	8.53	20.57	25.79
<b>3. ბუგდაშენი – შესართავი 50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	1.69	12.60	19.58	7.75	3.64	3.16	2.46	2.92
დასახარჯი	-	21.03	0.01	2.73	20.70	0.32	0.01	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
სხვაობა	-	-8.44	+19.57	+5.02	-17.06	+2.84	+2.46	-
დახარჯული	-	12.60	0.01	2.73	3.64	0.32	0.01	-
დარჩენილი	1.69	-	19.57	5.02	-	2.84	2.46	2.92
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	1.50	10.99	17.44	6.64	2.62	2.25	2.10	2.49
დასახარჯი	-	21.03	0.07	3.04	20.76	3.12	9.39	-
სხვაობა	-	-10.04	+17.37	+3.60	-18.14	-0.87	-7.29	-
დახარჯული	-	10.99	0.07	3.04	2.62	2.25	2.10	-
დარჩენილი	1.50	-	17.37	3.60	-	-	-	2.49
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	1.18	8.92	13.66	5.47	1.93	1.45	1.66	1.96
დასახარჯი	-	21.03	3.26	20.69	20.76	3.12	9.39	-
სხვაობა	-	-12.12	+10.40	-15.22	-18.83	-1.67	-7.73	-
დახარჯული	-	8.92	3.26	5.47	1.93	1.45	1.66	-
დარჩენილი	1.18	-	10.40	-	-	-	-	1.96
<b>4. ყარაბულახი – შესართავი</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	7.26	24.29	18.45	12.42	8.68	6.86	8.76	7.85
დასახარჯი	-	11.65	0.32	10.49	1.60	0.82	0.19	0.43
სხვაობა	-	+12.64	+18.13	+1.93	+0.07	+6.03	+8.57	+7.41
დახარჯული	-	11.65	0.32	10.49	1.60	0.82	0.19	0.43
დარჩენილი	7.26	12.64	18.13	1.93	7.07	6.03	8.57	7.41
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	6.19	22.48	16.07	10.60	6.16	4.90	7.46	6.70
დასახარჯი	-	11.65	0.400	1.60	11.19	1.68	5.24	0.61
სხვაობა	-	+10.83	+15.67	+9.00	-5.03	+3.22	+2.23	+6.08
დახარჯული	-	11.65	0.400	1.60	6.16	1.68	5.24	0.61
დარჩენილი	6.19	10.83	15.67	9.00	-	3.22	2.23	6.08
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	4.87	19.26	13.39	8.32	3.48	2.89	5.86	4.64
დასახარჯი	-	11.65	1.98	11.43	11.19	1.72	5.24	0.43
სხვაობა	-	+7.61	+11.41	-3.11	-7.71	+1.17	+0.62	+4.21
დახარჯული	-	11.65	1.98	8.32	3.48	1.72	5.24	0.43
დარჩენილი	4.87	7.61	11.41	-	-	1.17	0.62	4.21
<b>5. მაშავერა - შესართავი</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	12.67	24.88	57.32	41.47	16.23	12.59	12.99	13.23
დასახარჯი	-	11.11	1.52	4.72	8.64	3.42	0.89	1.90
სხვაობა	-	+13.77	+55.80	+36.75	+7.59	+9.17	+12.09	+11.33
დახარჯული	-	11.11	1.52	4.72	8.64	3.42	0.89	1.90
დარჩენილი	12.67	13.77	55.80	36.75	7.59	9.17	12.09	11.33
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	9.92	18.84	43.93	32.14	12.03	8.95	9.85	10.02
დასახარჯი	-	11.11	1.67	8.87	9.19	8.36	0.78	1.90
სხვაობა	-	+7.73	+42.26	+23.27	+2.83	+0.59	+9.06	8.11
დახარჯული	-	11.11	1.67	8.87	9.19	8.36	0.78	1.90
დარჩენილი	9.92	7.73	42.26	23.27	2.83	0.59	9.06	8.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	6.08	12.31	29.19	19.18	8.73	6.08	6.43	6.54
დასახარჯი	3.35	8.20	9.45	9.79	9.19	8.63	2.10	1.90
სხვაობა	+2.73	+4.11	+19.75	+9.39	-0.46	-2.55	+4.33	+4.63
დახარჯული	3.35	8.20	9.45	9.79	8.73	6.08	2.10	1.90
დარჩენილი	2.73	4.11	19.75	9.39	-	-	4.33	4.63
<b>6. ასლანკა – შესართავი</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	1.61	4.02	6.83	2.59	0.80	0.67	0.98	1.47
დასახარჯი	-	10.23	1.36	3.91	8.14	3.07	0.78	1.71
სხვაობა	-	-6.22	+5.47	-1.32	-7.34	-2.40	+0.21	-0.23
დახარჯული	-	4.02	1.36	2.59	0.80	0.67	0.78	1.47
დარჩენილი	1.61	-	5.47	-	-	-	0.21	-
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	1.26	3.19	5.84	2.10	0.37	0.29	0.80	1.18
დასახარჯი	-	10.23	1.24	10.92	9.10	7.49	0.82	1.71
სხვაობა	-	-7.04	+4.60	-8.82	-8.73	-7.20	-0.02	-0.53
დახარჯული	-	3.19	1.24	2.10	0.37	0.29	0.80	1.18
დარჩენილი	1.26	-	4.60	-	-	-	-	-
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	0.88	2.23	4.29	1.45	0.19	0.08	0.56	0.83
დასახარჯი	3.00	7.36	8.26	8.50	8.25	7.77	1.63	1.71
სხვაობა	-2.12	-5.13	-3.98	-7.05	-8.06	-7.69	-1.07	-0.88
დახარჯული	0.88	2.23	4.29	1.45	0.19	0.08	0.56	0.83
დარჩენილი	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>7. ალგეთი – შესართავი</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	4.39	7.50	20.62	32.66	4.15	2.33	3.96	4.98
დასახარჯი	-	15.81	3.75	10.41	6.27	10.27	2.58	1.48
სხვაობა	-	-8.21	+16.87	+22.25	-2.12	-7.94	+1.39	+3.50
დახარჯული	-	7.59	3.75	10.41	4.15	2.33	2.58	1.48
დარჩენილი	4.39	-	16.87	22.25	-	-	1.39	3.50
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	3.21	5.55	15.08	23.98	1.85	0.83	2.77	3.51
დასახარჯი	-	15.81	3.75	13.57	13.49	15.10	2.58	1.48
სხვაობა	-	-10.26	+11.33	+10.41	-11.64	-14.27	+0.20	+2.02
დახარჯული	-	5.55	3.75	13.57	1.85	0.83	2.58	1.48
დარჩენილი	3.21	-	11.33	10.41	-	-	0.20	2.02
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	1.82	3.16	8.57	13.63	0.75	0.32	1.56	1.96
დასახარჯი	-	15.78	14.59	15.67	13.50	15.43	3.39	1.48
სხვაობა	-	-12.62	-6.01	-2.03	-12.75	-15.11	-1.84	0.47
დახარჯული	-	3.16	8.57	13.63	0.75	0.32	1.59	1.48
დარჩენილი	1.82	-	-	-	-	-	-	0.47
<b>8. ქცია-ხრამი – ს. დაგეთხაჩინი</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	43.39	73.09	107.14	64.80	34.55	35.36	42.77	43.39

1	2	3	4	5	6	7	8	9
დასახარჯი	-	104.5	30.83	45.54	49.24	33.56	10.31	8.38
სხვაობა	-	-31.4	+76.30	+19.26	-14.69	+1.80	+32.5	+35.01
დახარჯული	-	73.09	30.83	45.54	34.55	33.56	10.31	8.38
დარჩენილი	43.39	-	76.30	19.26	-	1.8	32.46	35.01
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	34.82	62.73	95.08	56.51	29.19	31.34	34.21	37.23
დასახარჯი	-	104.5	49.85	31.31	68.88	57.60	18.86	8.38
სხვაობა	-	-41.81	+45.23	+25.20	-39.69	-26.27	+15.4	+28.85
დახარჯული	-	62.73	49.85	31.31	29.19	31.34	18.86	8.38
დარჩენილი	34.82	-	45.23	25.20	-	-	15.36	28.85
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	27.59	49.51	75.26	46.14	22.23	25.71	26.96	28.93
დასახარჯი	-	104.54	83.50	78.24	74.90	65.03	18.86	8.38
სხვაობა	-	-55.0	-8.23	-32.10	-52.67	-39.32	+8.10	+20.55
დახარჯული	-	49.51	75.26	46.14	22.23	25.71	18.86	8.38
დარჩენილი	27.59	-	-	-	-	-	8.10	20.55
<b>9. დებედა – ს. სადახლო 50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	72.05	125.5	198.20	160.70	57.32	35.89	43.29	41.78
დასახარჯი	-	15.16	2.73	11.20	7.81	9.66	2.77	1.82
სხვაობა	-	+110.30	+195.47	+149.51	+49.51	+26.22	+40.52	+39.97
დახარჯული	-	15.16	2.73	11.20	7.81	9.66	2.77	1.82
დარჩენილი	72.05	110.3	195.47	149.51	49.51	26.22	40.52	39.97
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	53.84	99.53	151.60	146.71	44.73	24.940	28.23	28.39
დასახარჯი	-	15.15	7.76	9.15	15.06	14.57	2.77	1.82
სხვაობა	-	+84.4	+143.84	+137.6	+29.67	+10.37	+25.5	+26.58
დახარჯული	-	15.15	7.76	9.15	15.06	14.57	2.77	1.82
დარჩენილი	53.84	84.38	143.84	137.56	29.67	10.37	25.46	26.58
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	38.03	74.65	102.85	127.01	30.53	17.01	14.75	14.09
დასახარჯი	-	15.16	14.90	14.39	15.06	15.95	2.77	1081
სხვაობა	-	+59.5	+87.95	+112.6	+15.48	+1.06	+11.9	+12.27
დახარჯული	-	15.16	14.90	14.39	15.06	15.95	2.77	1.81
დარჩენილი	38.03	59.49	87.95	112.62	15.48	1.06	11.98	12.27
<b>10. დ. ლიხვი – ქ. ცხინვალი 50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	39.10	105.2	186.95	139.45	100.71	64.55	45.10	51.69
დასახარჯი	-	83.32	5.78	11.28	64.84	50.10	2.06	6.88
სხვაობა	-	+21.9	+181.18	+128.2	+38.87	+14.45	+43.0	+44.82
დახარჯული	-39.10	83.32	5.78	11.28	61.84	50.10	2.06	6.88
დარჩენილი		21.92	181.18	128.17	38.87	14.45	43.04	44.82
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	34.55	95.90	175.17	128.56	76.87	50.09	39.92	45.80
დასახარჯი	-	90.19	5.78	16.65	63.10	77.64	2.06	6.88
სხვაობა	-	+5.71	+169.39	+111.92	+13.77	-27.55	+37.86	+38.93
დახარჯული	-	90.19	5.78	16.65	63.10	50.09	2.06	6.88
დარჩენილი	34.55	5.71	169.39	111.92	13.77	-	37.86	38.93

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	28.66	82.68	148.12	113.79	54.37	39.10	33.18	38.03
დასახარჯი	-	96.85	16.34	69.23	63.10	76.95	46.57	6.87
სხვაობა	-	-14.16	+131.78	+44.56	-8.73	-37.85	-13.40	+31.16
დახარჯული	-	82.68	16.34	69.23	54.37	39.10	33.18	6.87
დარჩენილი	28.66	-	+131.78	44.56	-	-	-	31.16
<b>11. პ. ლიასვი – ს. ვანათი</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	16.93	38.88	64.55	55.99	29.20	9.03	12.21	12.96
დასახარჯი	-	31.86	0.07	1.05	6.48	1.13	5.00	0.09
სხვაობა	-	+7.02	+64.48	+54.94	+22.72	+7.89	+7.20	+12.88
დახარჯული	-	31.86	0.07	1.05	6.48	1.13	5.00	0.09
დარჩენილი	16.93	7.02	64.48	54.94	22.72	7.89	7.20	12.88
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	11.28	32.66	55.18	49.25	16.07	7.42	9.74	10.30
დასახარჯი	-	32.68	0.72	1.16	6.98	7.75	0.25	0.09
სხვაობა	-	-0.02	+54.46	+48.09	+9.09	-0.33	+9.50	+10.23
დახარჯული	-	32.66	0.72	1.16	6.98	7.42	0.25	0.09
დარჩენილი	11.28	-	54.46	48.09	9.09	-	9.50	10.23
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	8.60	28.25	35.62	38.88	7.15	4.02	6.87	7.29
დასახარჯი	-	32.76	24.93	7.00	6.96	8.29	4.91	0.24
სხვაობა	-	-4.50	+10.69	+31.88	+0.19	-4.27	+1.96	+7.05
დახარჯული	-	28.25	24.93	7.00	6.96	4.02	4.91	0.24
დარჩენილი	8.60	-	10.69	31.88	0.19	-	1.96	7.05
<b>12. თეძამი – შესართავი</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	4.29	12.67	16.47	10.39	4.98	3.24	3.52	3.43
დასახარჯი	-	1.78	0.24	4.86	3.96	7.84	0.24	0.37
სხვაობა	-	+10.9	+16.23	+5.53	+1.02	-4.60	+3.28	+3.06
დახარჯული	-	1.78	0.24	4.86	3.96	3.24	0.24	0.37
დარჩენილი	4.29	10.90	16.23	5.53	1.02	-	3.28	3.06
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	3.27	9.64	12.45	6.97	3.21	2.54	2.51	2.49
დასახარჯი	-	9.78	0.67	5.98	4.04	4.45	0.42	0.37
სხვაობა	-	-0.14	+11.78	+0.99	-0.83	-1.90	+2.09	+2.12
დახარჯული	-	9.64	0.67	5.98	3.21	2.54	0.42	0.37
დარჩენილი	3.27	-	11.78	0.99	-	-	2.09	2.12
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	1.87	5.88	7.74	4.56	1.53	1.39	1.56	1.50
დასახარჯი	-	10.04	7.58	6.08	4.13	6.94	1.17	0.37
სხვაობა	-	-4.12	+0.16	-1.52	-2.61	-5.55	-0.38	+1.13
დახარჯული	-	5.88	7.58	4.56	1.53	1.39	1.56	0.37
დარჩენილი	1.87	-	0.16	-	-	-	-	1.13
<b>13. ქსანი – ს. კორინთა</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	18.29	40.18	67.50	49.77	29.46	18.13	14.83	13.45
დასახარჯი	-	1.67	-	3.78	5.76	5.86	0.21	0.24

1	2	3	4	5	6	7	8	9
სხვაობა	-	+38.5	+67.50	+45.99	+23.70	+12.27	+14.6	+13.20
დახარჯული	-	1.67	-	3.78	5.76	5.86	0.21	0.24
დარჩენილი	18.29	38.50	67.50	45.99	23.70	12.27	14.61	13.20
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	13.44	34.21	61.07	42.51	23.03	15.59	10.94	9.61
დასახარჯი	-	7.64	0.42	4.78	5.70	3.56	0.26	0.24
სხვაობა	-	+26.6	+60.65	+37.73	+17.34	+12.03	+10.7	+9.37
დახარჯული	-	7.64	0.42	4.78	5.70	3.56	0.26	0.24
დარჩენილი	13.44	26.57	60.65	37.73	17.34	12.03	10.68	9.37
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	10.66	29.96	50.35	34.42	13.26	9.96	8.60	5.17
დასახარჯი	-	8.23	5.91	4.83	5.90	7.44	-	0.24
სხვაობა	-	+21.7	+44.44	+29.60	+7.36	+2.53	+8.60	+4.93
დახარჯული	-	8.23	5.91	4.83	5.90	7.44	-	0.24
დარჩენილი	10.66	21.73	44.44	29.60	7.36	2.53	8.60	4.93
<b>14. არაგვი – ს. ჟინვალი</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	72.32	158.1	273.20	215.91	147.85	99.10	87.09	84.37
დასახარჯი	-	16.89	5.79	10.49	12.39	19.15	1.22	2.69
სხვაობა	-	+141	+267.4	+205.4	+135.46	+79.95	+85.9	+81.68
დახარჯული	-	16.89	5.79	10.49	12.39	19.15	1.22	2.69
დარჩენილი	72.32	141.2	267.40	205.42	135.46	79.95	85.87	81.68
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	66.69	142.8	240.25	192.84	115.97	83.83	75.09	73.39
დასახარჯი	-	26.33	2.69	14.21	18.23	8.79	3.62	2.69
სხვაობა	-	+116.49	+237.57	+178.63	+97.75	+75.04	+71.47	+70.70
დახარჯული	-	26.33	2.69	14.21	18.23	8.79	3.62	2.69
დარჩენილი	66.69	116.5	237.57	178.63	97.75	75.04	71.47	70.70
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	58.39	118.7	199.81	160.70	83.03	63.75	60.65	58.92
დასახარჯი	-	29.02	7.97	16.96	10.98	23.72	10.50	2.69
სხვაობა	-	+89.7	+191.84	+143.74	+72.05	+40.03	+50.2	+56.24
დახარჯული	-	29.02	7.97	16.96	10.98	23.72	10.50	2.69
დარჩენილი	58.39	89.70	191.84	143.74	72.05	40.03	50.15	56.24
<b>15. მტკვარი – ქ. რუსთავი</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	479.43	1252	1716.85	983.12	452.65	259.80	279.9	321.41
დასახარჯი	83.51	50.31	6.68	88.04	92.60	42.58	6.67	18.86
სხვაობა	+395.93	+1201.6	+1710.18	+895.08	+360.05	+217.23	+273.27	+302.55
დახარჯული	83.51	50.31	6.68	88.04	92.60	42.58	6.67	18.86
დარჩენილი	395.93	1202	1710.18	895.08	360.05	217.23	273.3	302.55
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	415.15	1099	1510.62	832.03	324.09	194.72	240	275.88
დასახარჯი	83.50	62.92	24.09	96.89	106.44	77.62	9.94	18.76
სხვაობა	+331.65	+1036.08	+1486.54	+735.14	+217.65	+117.10	+230.08	+257.12
დახარჯული	83.50	62.92	24.09	96.89	106.44	77.62	9.94	18.76
დარჩენილი	331.65	1036.08	1486.52	735.14	217.65	117.10	230.08	257.12
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								

1	2	3	4	5	6	7	8	9
მოსული	366.44	907.2	1213.32	668.74	203.56	136.60	189.48	219.09
დასახარჯი	83.51	65.71	104.96	109.11	108.18	94.43	17.15	18.76
სხვაობა	+282.93	+841.49	+1108.36	+559.62	+95.38	+42.17	+172.23	+200.33
დახარჯული	83.51	65.71	104.96	109.11	108.18	94.43	17.15	18.76
დარჩენილი	282.93	841.49	1108.36	559.62	95.38	42.17	172.23	200.33
<b>16. იორი – კაზანიანის მთასთან</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	44.52	68.43	118.39	79.57	41.51	28.66	24.62	32.94
დასახარჯი	33.32	58.40	4.50	74.80	66.41	115.17	4.50	25.42
სხვაობა	+8.20	+10.02	+113.89	+4.78	-24.90	-86.51	+20.13	+7.52
დახარჯული	33.32	58.40	4.50	74.80	41.51	28.66	4.50	25.42
დარჩენილი	8.20	10.02	113.89	4.78	-	-	20.13	7.52
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	35.36	59.10	105.80	67.91	30.26	23.84	21.02	28.12
დასახარჯი	33.32	35.87	109.97	105.75	71.45	119.44	4.50	25.42
სხვაობა	+2.04	+23.23	-4.18	-37.84	-41.19	-95.61	+16.52	+2.70
დახარჯული	33.32	35.87	105.80	67.91	30.26	23.84	4.50	25.42
დარჩენილი	2.04	23.23	-	-	-	-	16.52	2.70
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	28.66	48.47	84.64	58.84	17.95	15.35	16.59	21.67
დასახარჯი	33.32	122.77	134.35	147.23	136.05	120.91	47.86	25.42
სხვაობა	-4.66	-74.30	-49.71	-88.39	-118.10	-105.56	-31.27	-3.75
დახარჯული	28.66	48.47	84.64	58.84	17.95	15.35	16.59	21.67
დარჩენილი	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>17. ალაზანი – ქვემო ალაზნის სარწყ. არხის სათავესთან</b>								
<b>50%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	111.96	232.76	334.80	274.75	163.38	110.08	129.60	135.80
დასახარჯი	147.45	159.79	5.70	19.05	152.89	190.30	5.70	50.61
სხვაობა	-35.49	+73.00	+329.10	+255.70	+10.49	-80.22	+123.90	+85.19
დახარჯული	111.96	159.79	5.70	19.05	152.89	110.08	5.70	50.61
დარჩენილი	-	73.00	329.10	255.70	10.49	-	123.90	85.19
<b>75%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	98.03	199.58	294.62	244.94	124.55	82.49	110.16	115.17
დასახარჯი	147.45	161.88	8.30	336.65	236.05	225.47	21.91	51.38
სხვაობა	-49.42	+37.7	+286.3	-91.71	-111.50	-142.98	+88.3	+63.79
დახარჯული	98.03	161.88	8.30	244.94	124.55	82.49	21.91	51.38
დარჩენილი	-	37.70	286.32	-	-	-	+88.3	+63.79
<b>95%-ანი უზრუნველყოფა</b>								
მოსული	79.82	163.29	243.73	198.03	83.57	54.10	86.83	91.07
დასახარჯი	147.45	109.12	312.87	347.72	237.16	206.87	20.21	51.38
სხვაობა	-67.63	+54.17	69.14	-149.69	-155.59	-152.77	+66.62	+39.69
დახარჯული	79.82	109.12	243.73	198.03	83.57	54.10	20.21	51.38
დარჩენილი	-	54.17	-	-	-	-	66.62	39.69

პერსპექტივაში მოსარწყავად დასახული მიწების განაწილება მდინარეთა აუზებისა და კულტურების მიხედვით (ჰა)

№	სასოფლო-სამეურნეო კულტურები	სარწყავი მიწები კულტურების ქვეშ (ჰა) მდინარეთა აუზის მიხედვით																
		ფოცხოვი	ფარგანი	ბუდეაშენი	უარაბუდეა	მავგურა	ასლანკა	აღბეთი	ცოი-ხრამი	ღებუდა	ღლიახვი	პ.ლიახვი	თეხამი	ქსანი	არბუვი	მტკვარი	იორი	აღლაზანი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	ხეხილის ბაღები	1500	1000	50	60	415	560	1600	5964	1666	33279	3460	2780	1730	5210	33717	5289	10445
2	ვენახები	350	-	-	-	1140	690	3040	8814	2324	5556	350	1490	1210	5070	8637	18516	74086
3	დანარჩ. მრ-წლ.	-	-	-	-	-	30	15	50	56	81	6	20	20	70	158	169	1919
4	საშ. ხორბალი	-	-	-	140	700	470	1900	3098	966	4166	-	250	150	1930	7140	14196	44740
5	საშ. შვრია	-	-	-	200	770	270	1090	3264	1456	745	60	30	-	365	5569	6027	5868
6	სიმინდი სამარცვლეუ	560	300	-	180	970	380	870	3960	1414	4469	580	500	400	2410	6310	6363	15385
7	დანარჩ. მარც. პარკოსნები	394	624	364	220	445	40	100	4099	644	382	58	60	50	270	2338	744	2269
8	შაქრის ჭარხალი	-	-	-	-	-	-	-	-	-	975	190	130	110	-	1895	-	-
9	თამბაქო	-	-	-	-	60	40	200	1596	1036	-	-	6	-	-	-	-	2750
10	მზესუმზირა	-	-	-	-	-	40	190	70	-	-	-	-	-	-	20	3055	9425
11	ეთერზეთოვანი	-	-	-	-	-	20	70	560	350	-	-	-	-	-	-	-	3100
12	კარტოფილი	1280	1118	480	560	1525	220	810	3061	280	180	110	-	10	215	2335	644	426
13	ბოსტან-ბაღი.	150	230	4	60	395	520	1885	6293	1638	1760	290	270	220	2140	7121	7869	6845
14	სიმინდი სილ. მწ. საკვებად	210	100	-	120	415	260	870	2575	840	1105	240	80	50	1000	4448	5175	8187
15	მრავალწ. ბაღახი	2138	3882	1741	380	1780	720	1760	8191	1260	3343	396	568	540	2675	13499	9918	25230
16	ერთწ. ბაღახი	168	1113	82	-	22	-	-	565	-	31	-	6	-	-	1335	1150	325
17	სხვა საკ. კულ.	350	1263	649	80	263	40	100	2040	70	362	60	10	10	145	408	555	1300
18	სათიბები	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1170	1830	-
19	საძოვრები	-	3170	14830	8200	-	-	-	12900	-	566	-	-	-	-	-	54800	50100
20	სულ აუზებში	7100	12800	18200	10200	8900	4300	14500	67100	14000	57000	5800	6200	4500	21500	96100	136300	262400



პერსპექტივაში მოსარწყავად დასახული მიწების პროცენტული განაწილება მდინარეთა წყალშემკრები აუზებისა და ს/ს კულტურების მიხედვით

№	სასოფლო-სამეურნეო კულტურები	სარწყავი მიწები კულტურების ქვეშ (ჰა) მდინარეთა აუზის მიხედვით																
		ფოცხოვი	ფარავანი	ბუბლაშენი	ჯარბაუელახი	მაშაგურა	ასლანკა	აღუბეთი	ციხისბრძან	დებედა	დელიახვი	პელიახვი	თეხამი	ქსანი	არაბევი	მტკვარი	იორი	აფშაბანი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	ხეხილის ბაღები	21,1	7,8	0,27	0,59	4,66	13,02	11,03	8,89	11,9	58,38	59,66	44,84	38,44	24,24	35,09	3,88	3,89
2	ვენახები	4,9	-	-	-	12,81	16,04	20,97	13,14	16,60	9,74	6,03	24,03	26,90	23,58	8,99	13,58	28,23
3	ღანარჩ. მრ-წლ.	-	-	-	-	-	0,70	0,10	0,07	0,40	0,15	0,10	0,32	0,44	0,33	0,16	0,12	0,73
4	საშ. სორბალი	-	-	-	1,37	7,87	10,93	13,1	4,61	6,9	7,31	-	4,03	3,33	8,98	7,43	10,42	17,05
5	საშ. შერია	-	-	-	1,96	8,65	6,28	7,52	4,86	10,4	1,31	1,03	0,48	-	1,7	5,79	4,42	2,24
6	სიმინდი სამარცვლელე	8,0	2,3	-	1,76	10,9	8,84	6,00	5,9	10,1	7,84	10	8,07	8,9	11,2	6,57	4,68	5,86
7	ღანარჩ. მარც. პარკოსნები	5,5	4,9	2,00	2,16	5,00	0,93	0,69	6,11	4,6	0,67	1,00	0,97	1,11	1,26	2,43	0,55	0,86
8	შაქრის ჭარბალი	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,71	3,28	2,1	2,44	-	1,97	-	-
9	თამბაქო	-	-	-	-	0,67	0,93	1,38	2,38	7,4	-	-	0,10	-	-	-	-	1,05
10	მზესუმზირა	-	-	-	-	-	0,93	1,31	0,10	-	-	-	-	-	-	0,03	2,24	3,59
11	ეთერზეთოვანი	-	-	-	-	-	0,47	0,48	0,83	2,5	-	-	-	-	-	-	-	1,18
12	კარტოფილი	18,0	8,7	2,6	5,49	17,13	5,12	5,59	4,56	2	0,32	1,9	-	0,22	1,00	2,43	0,47	0,16
13	ბოსტან-ბაღჩ.	2,1	1,8	0,02	0,59	4,44	12,09	13,00	9,38	11,7	3,09	5,00	4,35	4,89	9,95	7,41	5,77	2,61
14	სიმინდი სილ. მწ. საკვებად	3,0	0,8	-	1,18	4,66	6,05	6	3,87	6,00	1,94	4,13	1,29	1,11	4,65	4,63	3,79	3,13
15	მრავალწ. ბაღახი	30,1	30,3	9,57	3,73	20,0	16,74	12,14	12,2	9	5,86	6,83	9,16	12	12,44	14,05	7,28	9,62
16	ურთწ. ბაღახი	2,4	8,7	0,45	-	0,25	-	-	0,84	-	0,05	-	0,10	0,22	-	1,39	0,84	0,12
17	სხვა საკ. კულ.	4,9	9,9	3,57	0,78	2,96	0,93	0,69	3,04	0,50	0,64	1,04	1,16	-	0,67	0,42	0,41	0,50
18	სათიბები	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,21	1,34	-
19	საძოვრები	-	24,8	81,48	80,39	-	-	-	19,22	-	0,99	-	-	-	-	-	40,21	19,09

მეგობრების პერიოდის ყოველთვიური და მთლიანი წყალმომარაგების უზრუნველყოფის დროს „ნეტო“ მლნ.მ<sup>3</sup> მდინარეთა აუზების მიხედვით, ნალექებით 50, 75 და 95%-ანი უზრუნველყოფის დროს

№	მდინარის აუზის საანგარიშო კვეთი	სარწყვ. ფართ. 2015წ. დონეზე, 1000 ჰა	შეწონილი მ.კ.ტ. η	უზრუნველყოფა %	ყოველთვიური და მთლიანი წყალმომარაგების უზრუნველყოფის დროს „ნეტო“ მლნ.მ <sup>3</sup>										
					III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	მთლიანი	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1.	ფოცხოვი-შესართავი	7,1	0,68	50	-	5,072	0,939	1,76	4,555	3,31	1,252	-	-	16,888	
				75	-	5,072	0,939	3,308	4,712	5,347	0,855	-	-	20,233	
				95	-	6,155	3,393	5,104	4,712	5,221	3,109	-	-	27,694	
2.	ფარაგანი-შესართავი	12,8	0,65	50	-	10,26	-	5,429	8,74	1,452	0,064	-	-	25,945	
				75	-	10,437	0,967	5,414	9,795	6,785	1,954	-	-	35,352	
				95	-	10,437	6,65	8,511	9,795	7,304	1,509	-	-	44,206	
3.	ბუდაშენი-შესართავი	18,2	0,66	50	-	13,882	0,003	1,799	13,66	0,209	0,003	-	-	29,556	
				75	-	13,882	0,044	2,005	13,703	2,056	6,195	-	-	37,885	
				95	-	13,882	2,154	13,656	13,703	2,056	6,195	-	-	51,646	
4.	ყარაბულახი-შესართავი	10,2	0,65	50	-	7,57	0,211	6,817	1,043	0,535	0,123	0,282	-	16,581	
				75	-	7,57	0,26	1,043	7,272	1,093	3,403	0,398	-	21,039	
				95	-	7,57	1,287	7,428	7,272	1,121	3,403	0,282	-	28,363	
5.	მაშავერა-შესართავი	8,9	0,61	50	-	6,778	0,927	2,879	5,272	2,085	0,544	1,161	-	19,646	
				75	-	6,778	1,018	5,412	5,607	5,097	0,478	1,161	-	25,551	
				95	2,042	5,003	5,763	5,973	5,607	5,265	1,279	1,161	-	32,093	
6.	ასლანკა-შესართავი	4,3	0,68	50	-	6,958	0,927	2,661	5,536	2,087	0,529	1,161	-	19,859	
				75	-	6,958	0,84	7,428	6,189	5,093	0,559	1,161	-	28,228	
				95	2,042	5,003	5,73	5,779	5,607	5,283	1,109	1,161	-	31,714	
7.	ალგეთი-შესართავი	14,5	0,67	50	-	10,591	2,515	6,977	4,201	6,881	1,726	0,994	-	33,885	
				75	-	10,591	2,515	9,092	9,035	10,118	1,726	0,994	-	44,071	
				95	-	10,575	9,774	10,498	9,047	10,336	2,272	0,994	-	53,496	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8.	ქცია-ხრამი-ს.დაგეთხაზინი	67,1	0,63	50	-	65,859	19,424	28,688	31,022	21,142	6,494	5,28	-	177,909
				75	-	65,859	31,407	19,723	43,397	36,29	11,88	5,28	-	213,836
				95	-	65,859	52,602	49,289	47,189	40,968	11,88	5,28	-	273,067
9	დებუდა-ს.სადახლო	14,0	0,65	50	-	9,852	1,774	7,277	5,077	6,282	1,799	1,18	-	33,241
				75	-	9,852	5,045	5,949	9,787	9,467	1,799	1,18	-	43,079
				95	-	9,852	9,686	9,355	9,787	10,365	1,799	1,18	-	52,024
10	დღიახვი-ქცინვალი	57,0	0,65	50	-	54,157	3,754	7,332	40,196	32,567	1,34	4,469	-	143,815
				75	-	58,626	3,754	10,821	41,013	50,468	1,337	4,469	-	170,488
				95	-	62,952	10,621	44,999	41,013	50,02	30,273	4,469	-	244,347
11	პლიახვი-ს.უანათი	5,8	0,64	50	-	20,389	0,043	0,672	4,146	0,725	3,202	0,055	-	29,232
				75	-	20,914	0,46	0,744	4,469	4,958	0,158	0,055	-	31,758
				95	-	20,963	15,955	4,478	4,457	5,306	3,14	0,151	-	54,450
12	თეძამი-შესართავი	6,2	0,66	50	-	1,173	0,159	3,207	2,614	5,171	0,159	0,245	-	12,728
				75	-	6,461	0,443	3,948	2,67	2,936	0,277	0,245	-	16,980
				95	-	6,626	5,004	4,013	2,728	4,579	0,773	0,245	-	23,968
13	ქსანი-კორინთა	4,5	0,61	50	-	1,021	-	2,306	3,514	3,575	0,13	0,147	-	10,693
				75	-	4,661	0,257	2,917	3,475	2,173	0,159	0,147	-	13,789
				95	-	5,02	3,606	2,944	3,596	4,536	-	0,147	-	19,849
14	არაგვი-ენვალი	21,5	0,70	50	-	11,823	4,056	7,346	8,674	13,404	0,856	1,882	-	48,041
				75	-	18,428	1,88	9,948	12,759	6,156	2,532	1,882	-	53,585
				95	-	20,312	5,58	11,874	7,689	16,603	7,349	1,882	-	71,289
15	მტკვარი-ქრუსთავი	96,1	0,63	50	52,609	31,696	4,205	55,467	58,335	26,824	4,201	11,819	-	245,156
				75	52,609	39,642	15,179	61,043	67,056	48,901	6,265	11,819	-	302,514
				95	52,609	41,396	66,125	68,741	68,152	59,489	10,805	11,819	-	379,136
16	ითრი-კაზანიანის მთასთან	136,3	0,70	50	23,322	40,882	3,148	52,358	46,488	80,616	3,148	17,797	-	267,759
				75	23,322	25,108	76,98	74,023	50,018	83,61	3,148	17,797	-	354,006
				95	23,322	85,939	94,048	103,059	95,233	84,639	33,502	17,797	-	537,539
17	ალაზანი - ქე, ალაზნის სარწყუ, არხის სათთან	262,4	0,66	50	97,318	105,46	3,765	12,577	100,908	125,6	3,765	33,401	-	482,794
				75	97,318	106,843	5,476	222,192	155,793	148,814	14,562	33,908	-	784,906
				95	97,318	72,021	206,495	229,496	157,847	136,536	13,341	33,908	-	946,962

ცხრილი 1.5.

წყალმთხონილების სიდიდეები 13ა-ზე „ნეტო“ და „ბრუტო“ (მ<sup>3</sup>) და გეგმაცეცის პერიოდის მთლიანი და ყოველთვიური წყალმთხონილება „ბრუტო“ (მლნ.მ<sup>3</sup>) მდინარეთა აუზების მიხედვით ნაღვეებით 50, 75 და 95%-ანი უზრუნველყოფის დროს.

№	მდინარის აუზი-საანგარიშო კვეთი	უზრუნველყოფა %	წყალმთხონილება											
			1 კა-ზე, მ <sup>3</sup>		მთ-ანი „ბრუტო“ მლნ.მ <sup>3</sup>	„ბრუტო“ თვეების მიხედვით								
			„ნეტო“	„ბრუტო“		III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.	ფოცხოვი-შესართავი	50	2379	3498	24,835	-	7,459	1,381	2,588	6,7	4,868	1,841	-	-
		75	2850	4190	29,754	-	7,459	1,381	4,865	6,929	7,863	1,257	-	-
		95	3901	5730	40,726	-	9,051	4,99	7,506	6,929	7,678	4,572	-	-
2	ფარაგანი-შესართავი	50	2027	3118	39,915	-	15,785	-	8,352	13,446	2,234	0,098	-	-
		75	2778	4273	54,695	-	16,057	1,448	8,329	15,069	10,438	3,006	-	-
		95	3532	5433	69,548	-	16,057	10,231	14,632	15,069	11,237	2,322	-	-
3	ბუღაშენი-შესართავი	50	1624	2460	44,782	-	21,033	0,005	2,726	20,7	0,317	0,005	-	-
		75	2082	3153	57,401	-	21,033	0,067	3,038	20,762	3,115	9,386	-	-
		95	2838	4299	78,252	-	21,033	3,264	20,691	20,762	3,115	9,386	-	-
4	ყარაბულახი-შესართავი	50	1626	2501	25,509	-	11,646	0,325	10,488	1,605	0,823	0,189	0,434	-
		75	2071	3187	32,505	-	11,646	0,4	1,605	11,188	1,682	5,235	0,612	-
		95	2781	4278	43,635	-	11,646	1,98	11,428	11,188	1,725	5,235	0,434	-
5	მაშავერა-შესართავი	50	2207	3619	32,207	-	11,111	1,52	4,72	8,643	3,418	0,892	1,903	-
		75	2871	4706	41,887	-	11,111	1,67	8,872	9,192	8,356	0,784	1,903	-
		95	3606	5911	52,611	3,348	8,202	9,448	9,792	9,192	8,631	2,097	1,903	-
6	ასლანკა-შესართავი	50	4618	6792	29,204	-	10,232	1,363	3,913	8,141	3,069	0,778	1,707	-
		75	6565	9654	41,512	-	10,232	1,235	10,924	9,101	7,49	0,822	1,707	-
		95	7375	10846	46,638	3,003	7,357	8,265	8,5	8,246	7,769	1,631	1,707	-
7	ალგეთი-შესართავი	50	2337	3488	50,575	-	15,807	3,753	10,413	6,27	10,27	2,576	1,484	-
		75	3039	4536	65,778	-	15,807	3,753	13,57	13,485	15,101	2,576	1,484	-
		95	3689	5507	79,845	-	15,784	14,585	15,667	13,503	15,427	3,391	1,484	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8	ქცია-ხრამი-ს.დაგუთხაჩინი	50	2651	4209	282,395	-	104,538	30,832	45,537	49,241	33,559	10,308	8,381	-
		75	3187	5058	339,422	-	104,538	49,852	31,306	68,884	57,603	18,857	8,381	-
		95	4070	6460	433,440	-	104,538	83,495	78,237	74,903	65,028	18,857	8,381	-
9	დებედა-ს,სადახლო	50	2374	3653	51,140	-	15,157	2,729	11,195	7,810	9,665	2,769	1,815	-
		75	3077	4734	66,275	-	15,157	7,762	9,152	15,057	14,565	2,769	1,815	-
		95	3716	5717	80,037	-	15,157	14,902	14,392	15,057	15,946	2,769	1,815	-
10	დღიახვი-ქცხინვალი	50	2523	3882	221,254	-	83,318	5,775	11,280	61,840	50,103	2,062	6,875	-
		75	2991	4602	262,289	-	90,194	5,775	16,648	63,097	77,643	2,057	6,875	-
		95	4287	6595	375,918	-	96,849	16,340	69,229	63,097	76,954	46,574	6,875	-
11	პღიახვი-ს,განათი	50	5040	7875	45,675	-	31,858	0,067	1,050	6,478	1,133	5,003	0,086	-
		75	5475	8555	49,622	-	32,678	0,119	1,162	6,983	7,747	0,247	0,086	-
		95	9388	14669	85,078	-	32,755	24,930	6,997	6,964	8,291	4,906	0,236	-
12	თეძამი-შესართავი	50	2053	3110	19,285	-	1,777	0,241	4,859	3,961	7,835	0,241	0,371	-
		75	2739	4150	25,727	-	9,783	0,671	5,982	4,045	4,448	0,420	0,371	-
		95	3866	5857	36,315	-	10,039	7,582	6,080	4,133	6,938	1,171	0,371	-
13	ქსანი-კორინთა	50	2376	3895	17,530	-	1,674	-	3,780	5,761	5,861	0,213	0,241	-
		75	3064	5023	22,605	-	7,641	0,421	4,782	5,697	3,562	0,261	0,241	-
		95	4411	7231	32,539	-	8,230	5,911	4,826	5,895	7,436	-	0,241	-
14	არაგვი-თინვალი	50	2234	3192	68,630	-	16,890	5,794	10,494	12,391	19,148	1,223	2,689	-
		75	2492	3560	76,550	-	26,326	2,686	14,211	18,227	8,794	3,162	2,689	-
		95	3316	4737	101,841	-	29,017	7,971	16,963	10,984	23,718	10,499	2,689	-
15	მტკვარი-ქ,რუსთავი	50	2551	4049	389,136	83,506	50,311	6,675	88,043	92,595	42,578	6,668	18,760	-
		75	3148	4997	480,181	83,506	62,924	24,094	96,894	106,438	77,621	9,944	18,760	-
		95	3945	6262	601,803	83,506	65,708	104,960	109,113	108,178	94,427	17,151	18,860	-
16	ითრი კაზანიანის მთასთან	50	1964	2806	382,513	33,317	58,403	4,497	74,797	66,411	115,166	4,497	25,424	-
		75	2597	3710	505,723	33,317	35,868	109,971	105,747	71,454	119,443	4,497	25,424	-
		95	3944	5634	767,913	33,317	122,770	134,354	147,227	136,047	120,916	47,860	25,424	-
17	ალაზანი-ქე. ალაზნის სარწყ, არხ. სათაგესთან	50	1840	2788	731,506	147,452	159,788	5,704	19,056	152,891	190,303	5,704	50,608	-
		75	2991	4532	1189,282	147,452	161,883	8,297	336,654	236,050	225,476	21,912	51,376	-
		95	3609	5468	1434,791	147,452	109,123	312,871	347,721	239,162	206,873	20,214	51,376	-

ცხრილი 1.6.

მორწყვის ნორმები (მმ) საშემოდგომო ხორბლის (ქერის) შემთხვევაში  
ნიადაგის 0-70 სმ სისქის ფენისათვის

№	პუნქტი	თვე					
		X	XI	III	IV	V	VI
1	მარნეული	24/79	24/79	56	45	45	25
2	ლაგოდეხი	17/57	17/57	57	46	57	80
3	დედოფლისწყარო	18/64	18/64	64	51	64	77
4	შირაქი	18/64	18/64	64	51	64	89
5	გორი	56/93	56/93	80	53	67	67
6	სამგორი	20/72	20/72	60	48	60	60
7	დიღომი	24/76	24/76	64	51	51	76
8	თელავი	19/51	19/51	51	41	51	62
9	ხაშური	36/112	36/112	87	70	87	122
10	სკრა	24/85	24/85	85	49	61	73
11	დუშეთი	27/82	27/82	82	68	68	82
12	გარდაბანი	33/113	33/113	113	97	81	81
13	ყვარელი	22/81	22/81	69	46	46	69
14	მუხრანი	28/98	28/98	98	66	82	98
15	ალაზანი	27/83	27/83	69	55	69	83

ცხრილი 1.7.

ვაზის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-100 სმ სისქის ფენისათვის

№	პუნქტი	თვე						
		III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	სამგორი	88	88	66	66	88	88	98
2	მუხრანი	120	120	80	60	80	100	100
3	დიღომი	15	96	57	77	77	96	96
4	თელავი	104	69	69	69	69	104	121
5	ალაზანი	97	78	59	78	78	97	107
6	ბოლნისი	130	112	74	74	93	112	130
7	გურჯაანი	18	99	79	79	79	118	138
8	ყვარელი	19	85	85	85	102	102	119
9	საგარეჯო	95	74	59	95	95	114	114
10	წნორი	23	105	63	84	84	105	123

ცხრილი 1.8.

ხილის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-100 სმ სისქის ფენისათვის

№	პუნქტი	თვე						
		III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	სკრა	144	124	82	82	103	103	103
2	გორი	128	111	73	73	73	91	91
3	მუხრანი	126	105	63	63	105	105	105
4	სამგორი	12	93	74	74	93	93	93
5	ღუშეთი	16	96	77	77	77	96	96
6	ყვარელი	10	62	62	62	78	78	94
7	თეთრი წყარო	21	103	62	82	82	103	124
8	ცხინვალი	–	128	107	86	86	107	128

ცხრილი 1.9.

სიმინდის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-100 სმ სისქის ფენისათვის

№	პუნქტი	თვე					
		IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	მუხრანი	39/112	79	79	79	95	95
2	მარნეული	21/75	64	51	64	76	76
3	გარდაბანი	34/114	82	82	82	98	114
4	თელავი	22/88	63	63	76	76	88
5	საგარეჯო	17/70	40	40	49	59	70
6	შირაქი	21/88	52	52	65	65	91

ცხრილი 1.10.

შაქრის ჭარხლის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-70 სმ სისქის ფენისათვის

№	პუნქტი	თვე				
		IV	V	VI	VII	VIII
1	ხაშური	83	49	49	66	83
2	სკრა	63	51	51	63	89
3	გორი	69	55	55	69	83
4	ცხინვალი	91	61	61	76	76

ცხრილი 1.11.

კარტოფილის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-50 სმ სისქის ფენისათვის

№	პუნქტი	თვე				
		IV	V	VI	VII	VIII
1	ახალციხე	72	81	41	41	61
2	თეთრი წყარო	77	64	51	51	64
3	მარნეული	75	54	43	43	54
4	სკრა	60	43	34	34	60
5	ბაკურიანი	72	72	48	48	60

ცხრილი 1.12.

თამბაქოს მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-50 სმ  
სისქის ფენისათვის

№	პუნქტი	ოვე					
		III	IV	V	VI	VII	VIII
1	მარნეული	63	63	53	42	42	58
2	ლაგოდეხი	51	51	41	41	41	62

ცხრილი 1.13.

მზესუმზირის მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის 0-70 სმ სისქის ფენისათვის

№	პუნქტი	ოვე				
		IV	V	VI	VII	VIII
1	შირაქი	83	69	69	55	97
2	დედოფლი წყარო	107	92	76	61	107
3	საგარეჯო	96	82	68	54	96
4	ალაზანი	86	64	51	51	8
5	ბაკურიანი	72	72	48	48	60

ცხრილი 1.14.

ბოსტნეული კულტურების მორწყვის ნორმები (მმ) ნიადაგის  
0-50 სმ სისქის ფენისათვის

№	პუნქტი	ოვე			
		V	VI	VII	VIII
1	გარდაბანი	62	50	50	62
2	ბოლნისი	67	45	56	56
3	გორი	48	38	38	48
4	საშური	70	58	46	70
5	ცხინვალი	72	52	41	52

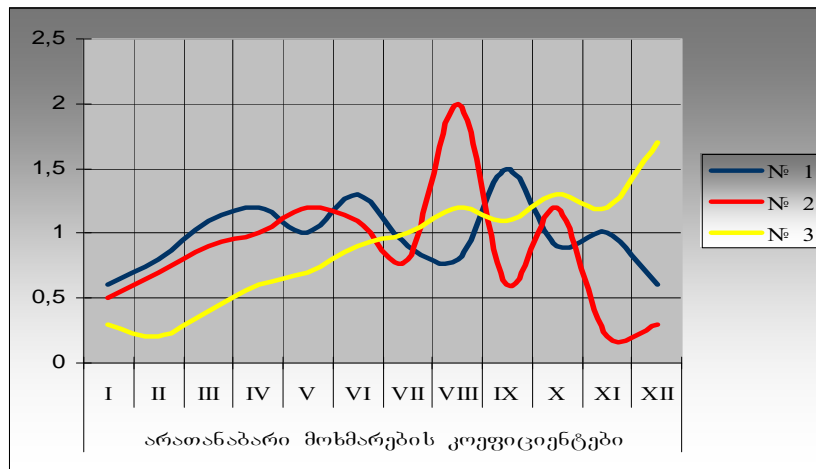


დანართი 2

ცხრილი 2.1. წყლის არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტები თვეების მიხედვით

მომხმარებლები	არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტები											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
№ 1	0,6	0,8	1,1	1,2	1,0	1,3	0,9	0,8	1,5	0,9	1	0,6
№ 2	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,1	0,8	2,0	0,6	1,2	0,2	0,3
№ 3	0,3	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,1	1,3	1,2	1,7

ნახაზი 2.1. წყლის არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტები თვეების მიხედვით

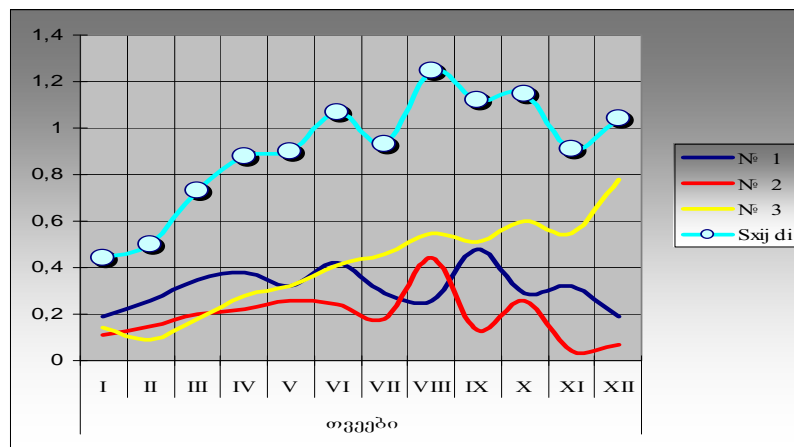


ცხრილი 2.2. წყლის არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტი (მაქსიმუმით) და მისი შეფასების ზედა ზღვარი

მომხმარებლები	თვეები											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
№ 1	0,19	0,26	0,35	0,38	0,32	0,42	0,29	0,26	0,48	0,29	0,32	0,19

№ 2	0,11	0,15	0,20	0,22	0,26	0,24	0,18	0,44	0,13	0,26	0,04	0,07
№ 3	0,14	0,09	0,18	0,28	0,32	0,41	0,46	0,55	0,51	0,60	0,55	0,78
$\sum_i x_{ij} \delta_i$	0,44	0,50	0,73	0,88	0,91	1,07	0,92	1,25	1,12	1,15	0,92	1,04

ნახაზი 2.2. წყლის არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტის ამსახველი გრაფიკი



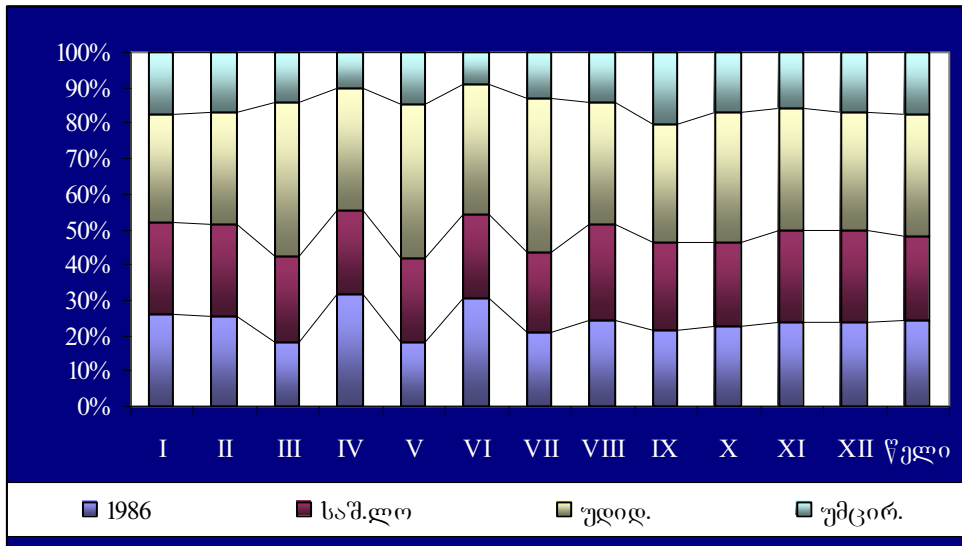
ცხრილი 2.3. არათანაბარი ჩამონადენის კოეფიციენტი (მინიმუმით) მ. მტკვარი – ს. ხერთვისი

დაკვირვების წ.ბი	წყლის საშუალო ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974	8,40	9,64	33,40	38,70	117,00	38,50	10,20	6,35	14,80	8,46	7,66	7,40	25,04
1975	7,14	7,22	10,90	104,00	77,60	48,40	22,10	13,20	12,70	18,20	16,00	10,80	29,02
1976	8,82	8,88	11,70	120,00	211,00	70,30	34,00	15,40	15,70	14,80	14,80	12,40	44,82
1978	11,30	13,30	19,40	130,00	192,00	48,40	16,20	13,80	12,50	10,70	10,20	9,12	40,58
1979	12,30	13,20	16,30	65,90	113,00	64,30	34,00	15,70	11,60	13,00	16,50	12,70	32,38
1980	12,30	12,40	31,90	134,00	85,50	18,20	11,00	12,80	10,90	11,70	12,00	11,70	30,37
1981	11,50	11,80	17,60	42,00	87,00	73,60	19,90	12,70	11,60	11,60	12,10	12,20	26,97
1982	11,60	11,50	12,10	109,00	115,00	41,60	13,80	11,50	11,20	11,50	11,40	11,50	30,98
1983	11,60	11,10	13,60	40,00	71,40	43,70	12,80	11,30	11,70	11,80	15,80	14,30	22,43
1984	11,70	11,60	30,70	99,70	138,00	47,30	16,70	12,50	10,70	10,30	10,80	10,00	34,17
1985	10,20	10,60	11,80	98,90	74,80	20,40	10,20	10,00	9,72	10,40	10,40	10,00	23,95
1986	10,60	10,80	13,80	121,00	89,10	61,30	16,30	10,90	10,20	11,20	11,40	10,30	31,41

ცხრილი 2.4. წყლის ხარჯი

საგუშაგოს №	მდინარე საგ. ადგ. მდებ. წყალშუქრ. ფართი. დაკვირ. წ-ბი	წლები და მახასიათებლები	საშუალო ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ.												
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	წელი
1, 85 86 87 88	მდ. მტკვარი-ს. სურთუისი 4980 კმ <sup>2</sup>	1986	10,6	10,8	13,8	12,1	89,1	61,3	16,3	10,9	10,2	11,2	11,4	10,3	31,4
		საშ-ლო	10,6	11	18,6	92,0	114	48	18,1	12,2	11,9	11,9	12,4	11	31
		1974-1976 უდიდ.	12,3	13,3	33,4	134	211	73,6	34,0	15,7	15,7	18,2	16,5	14,3	44,8
		1978-1986 უმცირ.	7,14	7,22	10,9	38,7	71,4	18,2	10,2	6,35	9,72	8,46	7,66	7,4	22,4

ნახაზი 2.3. წყლის ხარჯების ამსახველი გრაფიკი



ცხრილი 2.5. წყლის წლიური ხარჯი

წლები შედეგი	1974	1975	1976	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
	$\min_j Q_{ij}$	6.35	7.14	8.82	9.12	11.6	10.9	11.5	11.2	11.1	10.0	9.72
$\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} Q_{ij}$	25.0	29.0	44.8	40.6	32.4	30.4	27.0	31.0	22.4	34.2	24.0	31.4
$x_i = \frac{\min_j Q_{ij}}{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} Q_{ij}}$	0,25	0.25	0.20	0.22	0.36	0.36	0.43	0.36	0.50	0.29	0.41	0.32

ცხრილი 2.6. მ. მტკვარი – ს. მინაძე

დაკმ-ის წ.ბი	წყლის საშუალო ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974	26,10	25,30	53,70	62,00	186,00	62,70	25,70	23,40	31,90	25,00	25,40	25,40	47,7
1975	25,30	25,30	31,50	163,00	135,00	78,30	32,20	24,40	24,80	27,20	26,30	24,60	51,5
1976	24,80	25,00	28,30	147,00	270,00	106,00	55,10	27,90	27,00	29,20	28,00	27,10	66,3
1978	25,50	27,30	36,40	158,00	238,00	90,40	33,30	26,40	24,20	25,10	25,40	25,30	61,3
1979	25,40	26,10	36,10	107,00	171,00	114,00	65,60	26,50	23,50	26,20	30,80	26,00	56,5
1980	26,40	25,50	47,80	178,00	150,00	42,50	25,10	27,90	24,70	27,30	28,30	27,90	52,6
1981	27,30	27,80	37,20	69,10	133,00	108,00	40,40	27,20	26,00	26,50	28,20	27,50	48,2
1982	26,20	26,80	27,90	154,00	161,00	70,50	33,20	24,20	25,10	25,20	25,40	24,20	52,0
1983	24,00	24,10	30,70	76,70	110,00	77,00	29,20	22,10	27,30	26,60	35,50	28,90	42,7
1984	25,20	24,70	58,60	162,00	215,00	86,60	38,40	26,20	23,40	23,30	24,60	23,90	61,0
1985	23,90	24,20	26,70	146,00	128,00	54,70	27,00	23,00	25,20	29,00	30,00	29,30	47,3
1986	29,00	30,10	35,00	158,00	134,00	95,90	36,30	26,80	26,70	30,40	30,60	28,00	55,1

ცხრილი 2.7. მ. მტკვარი – ჭითახევი ჰეს-ის კაშხალის ზემოთ

დაკმ-ის წ.ბი	წელის საშუალო ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974	32,00	32,00	69,00	80,60	268,00	93,50	37,80	35,60	46,90	31,30	30,30	30,00	65,58
1975	30,00	30,00	35,60	254,00	196,00	102,00	51,40	32,90	33,00	34,90	40,60	30,60	72,58
1976	30,00	30,00	43,60	196,00	371,00	126,00	64,80	34,10	32,90	41,60	35,40	31,50	86,41
1978	27,70	32,70	52,20	234,00	348,00	134,00	43,70	31,70	31,10	32,10	33,30	31,90	86,03
1979	29,70	34,60	56,90	174,00	277,00	157,00	86,20	35,90	32,20	36,90	43,50	34,60	83,21
1980	30,80	31,20	65,30	244,00	186,00	47,50	31,70	32,40	31,90	31,70	32,50	32,50	66,49
1981	32,00	32,50	49,90	106,00	210,00	165,00	55,30	32,80	31,70	32,50	35,90	33,80	68,12
1982	33,10	32,60	33,70	228,00	262,00	109,00	49,10	30,80	33,30	35,30	33,00	31,10	75,92
1983	31,20	33,10	51,40	152,00	198,00	125,00	39,40	28,80	34,30	35,80	52,00	36,20	68,10
1984	35,80	35,40	71,80	223,00	282,00	112,00	54,40	37,30	34,50	32,40	34,10	32,00	82,06
1985	31,60	31,60	33,20	258,00	193,00	63,20	28,50	27,40	28,80	31,60	32,00	33,80	66,06
1986	28,30	27,50	35,70	217,00	199,00	128,00	41,50	33,20	33,50	39,10	36,70	33,30	71,07

ცხრილი 2.8. მ. მტკვარი – ჭითახევი ჰეს-ი

დაკმ-ის წ.ბი	წელის საშუალო ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974	27,80	30,60	46,80	78,20	205,00	74,20	31,70	28,10	40,60	30,30	31,60	30,30	54,60
1975	27,80	28,60	39,80	209,00	143,00	85,90	40,10	28,10	27,00	38,60	33,30	28,00	60,77
1976	29,30	28,40	40,60	155,00	256,00	121,00	67,80	33,80	35,20	45,90	37,90	33,60	73,71
1978	30,90	36,30	56,20	176,00	275,00	125,00	47,10	38,20	31,00	32,30	35,30	35,10	76,53
1979	33,10	38,60	52,30	139,00	201,00	122,00	76,10	35,40	29,90	35,90	46,20	35,20	70,39
1980	30,90	31,90	61,40	206,00	168,00	46,40	26,60	31,10	27,80	32,70	36,10	31,60	60,88
1981	29,60	33,60	46,20	53,50	144,00	123,00	48,10	32,60	31,20	31,80	34,60	33,00	53,43
1982	28,50	30,60	34,60	218,00	205,00	78,90	45,10	31,50	33,60	34,80	35,80	27,70	67,01
1983	25,60	29,40	41,40	118,00	162,00	102,00	39,30	28,30	35,20	38,30	48,80	37,60	58,83
1984	32,90	32,30	53,90	191,00	233,00	94,90	47,50	35,80	30,10	29,40	32,10	26,50	69,95
1985	33,80	29,00	33,60	180,00	165,00	59,40	28,50	25,90	28,40	35,40	77,10	31,70	60,65
1986	28,70	30,40	40,90	184,00	164,00	99,80	37,70	29,90	30,00	34,80	35,20	29,80	62,10

ცხრილი 2.9. მ. მტკვარი – ს. ლიკანი

დაკმ-ის წ.ბი	წელის საშუალო ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974	34,20	36,70	76,00	89,40	258,00	76,50	32,50	27,90	41,10	31,80	33,00	36,60	64,48
1975	32,30	32,30	46,00	267,00	216,00	111,00	38,00	26,80	29,00	35,40	34,00	32,30	75,01
1976	32,80	33,70	49,30	238,00	390,00	140,00	72,90	32,00	32,00	42,30	39,10	36,70	94,90
1978	31,30	34,40	58,00	274,00	411,00	159,00	49,20	37,00	30,60	31,80	33,00	32,90	98,52
1979	35,50	39,30	61,80	203,00	305,00	167,00	92,20	37,10	30,40	34,20	48,40	33,40	90,61
1980	33,50	37,30	72,60	301,00	240,00	53,80	30,40	34,80	32,10	34,40	38,20	34,40	78,54
1981	32,50	33,20	56,10	128,00	259,00	198,00	57,30	34,20	32,80	33,80	34,50	33,70	77,76
1982	33,20	32,80	37,00	313,00	321,00	120,00	52,20	34,00	34,80	36,50	37,20	35,00	90,56
1983	44,90	32,80	48,30	169,00	228,00	131,00	42,60	30,80	36,00	39,00	60,20	44,60	75,60
1984	35,60	33,20	78,80	245,00	344,00	139,00	56,90	40,20	33,60	33,10	35,50	35,40	92,53
1985	34,20	35,10	43,80	266,00	228,00	80,40	34,80	30,00	31,20	38,80	42,60	38,40	75,28
1986	34,00	34,80	48,00	250,00	226,00	142,00	46,60	34,10	33,80	35,20	39,90	35,00	79,95

ცხრილი 1.10. მ. მტკვარი – ს. გრაკალი

დაკმ-ის წ.ბი	წელის საშუალო ხარჯი, მ³/წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974	45,80	47,20	115,00	135,00	345,00	87,20	44,60	37,50	65,30	44,30	47,80	47,60	88,53
1975	46,90	47,00	147,00	444,00	298,00	137,00	49,80	33,90	37,40	67,50	54,70	48,30	117,63
1976	47,30	48,90	97,80	368,00	566,00	236,00	98,50	54,90	65,20	126,00	77,30	66,50	154,37
1978	60,90	84,00	155,00	346,00	557,00	282,00	126,00	122,00	50,40	64,70	77,80	84,20	167,50
1979	105,00	121,00	137,00	266,00	302,00	189,00	120,00	54,70	47,20	61,60	76,70	69,90	129,18
1980	62,00	60,80	114,00	369,00	330,00	87,80	38,30	39,60	40,10	52,60	67,00	55,70	109,74
1981	49,00	56,90	104,00	152,00	289,00	232,00	90,50	43,30	46,80	47,70	59,80	54,60	102,13
1982	50,90	51,40	74,30	413,00	350,00	153,00	135,00	68,80	57,60	60,40	64,00	58,20	128,05
1983	56,00	58,00	115,00	238,00	251,00	182,00	63,50	45,10	61,00	74,90	148,00	96,70	115,77
1984	77,60	71,40	139,00	359,00	390,00	214,00	70,50	48,80	40,60	44,30	50,40	49,10	129,56
1985	48,20	52,80	89,90	342,00	244,00	130,00	59,30	39,20	50,40	72,00	74,80	73,80	106,37
1986	58,90	64,40	100,00	277,00	262,00	235,00	65,90	41,10	42,60	56,70	61,70	54,90	110,02

ცხრილი 2.11. მ. მტკვარი – ზაჰესი

დაკმ-ის წ.ბი	წელის საშუალო ხარჯი, მ³/წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974	54,50	58,50	153,00	206,00	539,00	204,00	86,60	51,20	125,00	55,40	57,00	56,20	137,20
1975	53,60	51,30	155,00	528,00	444,00	278,00	101,00	41,30	44,30	120,00	80,70	61,30	163,21
1976	60,40	62,30	147,00	572,00	809,00	426,00	234,00	65,60	67,70	129,00	83,90	68,30	227,10
1978	77,90	110,00	231,00	590,00	639,00	347,00	154,00	107,00	66,20	81,90	99,00	97,10	216,68
1979	108,00	131,00	153,00	376,00	422,00	289,00	190,00	61,60	44,60	71,40	111,00	89,70	170,61
1980	68,60	71,10	143,00	502,00	461,00	152,00	61,50	58,40	44,90	75,80	86,80	71,00	149,68
1981	59,00	72,60	129,00	149,00	376,00	320,00	166,00	84,40	72,20	66,20	85,10	72,00	137,63
1982	61,50	65,60	111,00	-	481,00	192,00	-	123,00	69,30	67,20	68,30	56,00	107,91
1983	52,50	54,80	121,00	257,00	294,00	253,00	95,00	59,30	150,00	121,00	191,00	127,00	147,97
1984	93,80	70,50	151,00	610,00	564,00	300,00	115,00	103,00	60,00	57,60	63,10	55,00	186,92
1985	56,30	61,10	110,00	395,00	378,00	197,00	62,00	26,30	25,50	68,30	68,80	69,90	126,52
1986	57,30	71,80	119,00	322,00	301,00	301,00	70,50	39,30	39,30	56,80	64,60	58,20	125,07

ცხრილი 2.12. მ. მტკვარი – ს. ძეგვი

დაკმ-ის წ.ბი	წელის საშუალო ხარჯი, მ³/წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974	75,00	79,40	161,00	209,00	516,00	181,00	67,60	61,40	108,00	65,50	69,90	72,60	138,87
1975	70,00	67,80	158,00	634,00	477,00	274,00	80,70	44,40	51,20	103,00	92,40	72,20	177,06
1976	72,70	78,00	146,00	544,00	764,00	369,00	192,00	66,50	70,00	127,00	89,20	79,40	216,48
1978	88,80	136,00	221,00	612,00	697,00	360,00	139,00	101,00	72,20	90,60	119,00	112,00	229,05
1979	150,00	168,00	183,00	384,00	456,00	295,00	166,00	62,50	62,00	102,00	146,00	124,00	191,54
1980	102,00	100,00	159,00	462,00	432,00	174,00	77,50	85,10	83,90	117,00	132,00	117,00	170,13
1981	98,90	92,10	146,00	192,00	340,00	277,00	122,00	65,00	68,60	67,90	86,90	80,40	136,40
1982	71,80	77,20	115,00	426,00	358,00	218,00	361,00	157,00	94,30	83,50	89,90	75,20	177,24
1983	74,20	74,70	147,00	282,00	291,00	230,00	90,40	64,50	92,50	96,80	161,00	114,00	143,18
1984	94,80	81,80	196,00	525,00	459,00	250,00	107,00	78,80	60,90	64,80	72,70	67,10	171,49
1985													
1986													

ცხრილი 2.13. მ. მტკვარი – ე. თბილისი

დაკმ- ის წ.ბი	წელის საშუალო ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974	82,80	84,90	207,00	258,00	594,00	267,00	114,00	74,00	150,00	86,30	91,80	86,70	174,71
1975	79,20	72,50	194,00	668,00	551,00	336,00	119,00	58,30	64,90	144,00	96,00	92,40	206,28
1976	93,80	95,60	191,00	680,00	947,00	454,00	262,00	96,10	105,00	158,00	120,00	110,00	276,04
1978	112,00	175,00	280,00	650,00	740,00	434,00	183,00	123,00	76,40	87,70	113,00	101,00	256,26
1979	124,00	153,00	184,00	406,00	440,00	344,00	244,00	98,60	61,20	87,40	124,00	105,00	197,60
1980	83,80	80,90	167,00	590,00	556,00	214,00	108,00	94,70	78,80	114,00	128,00	107,00	193,52
1981	79,30	87,40	145,00	211,00	415,00	353,00	184,00	96,20	84,70	78,30	95,30	85,20	159,53
1982	78,50	80,20	121,00	532,00	504,00	281,00	306,00	132,00	85,80	79,50	84,40	77,80	196,85
1983	72,30	72,60	130,00	318,00	359,00	324,00	118,00	81,40	142,00	136,00	213,00	140,00	175,53
1984	99,20	83,50	187,00	564,00	534,00	312,00	141,00	110,00	71,00	68,10	71,40	68,80	192,50
1985	68,10	70,00	122,00	410,00	361,00	205,00	78,20	45,20	52,60	83,00	89,10	88,60	139,40
1986	78,30	87,20	141,00	350,00	354,00	345,00	116,00	63,80	62,50	78,00	86,00	81,40	153,60

ცხრილი 2.14. მ. მტკვარი – ხულუფი

დაკმ- ის წ.ბი	წელის საშუალო ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974	150,00	151,00	302,00	389,00	687,00	323,00	137,00	110,00	305,00	127,00	122,00	137,00	245,00
1975	138,00	141,00	264,00	720,00	706,00	408,00	138,00	67,80	86,10	217,00	164,00	151,00	266,74
1976	156,00	166,00	262,00	796,00	1160,00	707,00	414,00	116,00	128,00	212,00	168,00	158,00	370,25
1978													
1979	205,00	211,00	205,00	441,00	525,00	465,00	273,00	93,60	83,70	130,00	190,00	169,00	249,28
1980	162,00	159,00	223,00	682,00	669,00	221,00	85,60	88,90	78,40	137,00	146,00	137,00	232,41
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													

ცხრილი 2.15. მ. მტკვარი – ს. ყირზანი

დაკმ- ის წ.ბი	წელის საშუალო ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ												წელიწადში (Σ/12)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1974													
1975													
1976													
1977													
1978													
1979	175,00	196,00	213,00	442,00	502,00	434,00	263,00	98,20	90,90	132,00	184,00	163,00	241,09
1980	168,00	164,00	241,00	659,00	650,00	232,00	91,20	92,70	78,40	138,00	148,00	133,00	232,94
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													

## დანართი 3

### 1. სატიტულო გვერდი

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html>
<head>
<title>resursebi</title>
<META HTTP-EQUIV="Content-Type" CONTENT="text/html; charset=charset=UTF-8">
<style type="text/css">
body
{
background-color: #295079;
font-family: AcadMtavr;
font-size: 30px;
margin:0;
padding: 0;
font-weight: bold;
}
div#body
{
border: 2px solid black;
height: 550px;
width: 800px;
position: absolute;
background-color:#ff8000;
top:50%;
left: 50%;
margin-left: -400px;
margin-top: -275px;
}
div#banner
{
border: 2px solid black;
width: 800px;
height: 100px;
position: absolute;
top: 0px;
left: 0px;
}
div#menu
{
border-right: 2px solid black;
width: 250px;
height: 450px;
top: 100px;
left: 0px;
position: absolute;

font-size: 18px;
text-align:center;
}
a.a1:hover
{
border:6px red;
color: white;
background-color: black;
}
}
```

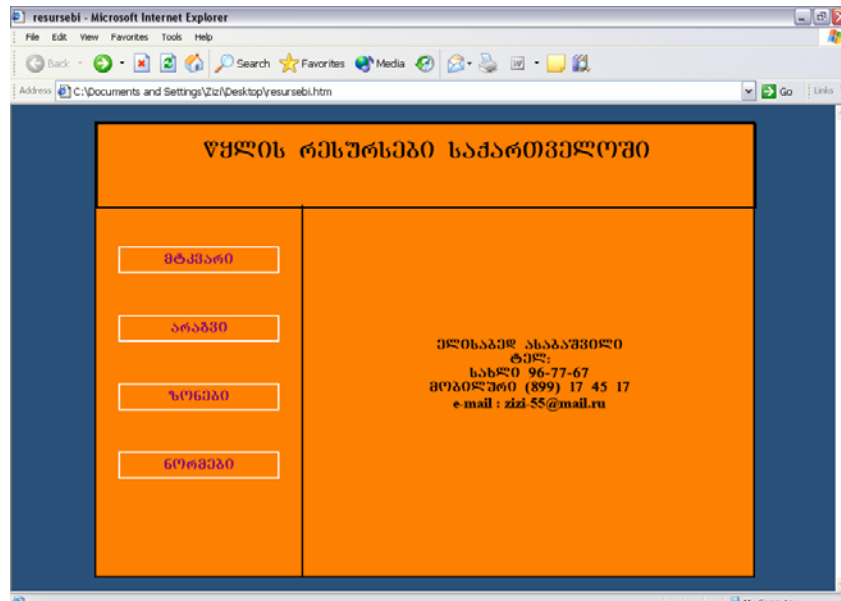


```

a.a1
{
width: 180px;
border: 2px solid white;
display: block;
font-size: 18px;
margin: 50px auto;
padding: 6px;
text-decoration: none;
}
iframe#frame{
position:absolute;
height: 200px;
width: 599px;
background: white;
right: 0px;
bottom: 0px;
margin: 0px;
padding: 0px;
}
div#satauri
{
text-align: center;
margin: 20px;
}
div#avtori {
font-family:"AcadMtavr";
position:absolute;
text-align:absolute;
margin:-220px auto;
margin-left:280px;
}
span.k {
font-family: Times New Roman;
}
</style>
</head>
<body>
<div id="body">
<div id="banner">
<div id="satauri">
wylis resursebi
saqarTveloSi</div>
</div>
<div id="menu">
<a href="mtkvvari.html" class="a1">mtkvvari</a>
<a href="aragvi.html" class="a1">aragvi</a>
<a href="zonebi.html" class="a1">zonebi</a>
<a href="normebi.html" class="a1">normebi</a>
<div id=avtori>
elisabed asabaSvili <div id="span.k"></div>
<div id="p">tel:</div>
<div id="o">saxli 96-77-67 mobiluri (899) 17 45 17</div>
<div id="u"><span class=k>e-mail : zizi-55@mail.ru</span></div>
</div>
</body>
</html>

```

ნახაზი 3.1. ვებ-საიტი „წყლის რესურსები საქართველოში“ - სატიტულო გვერდი



2. პროგრამა დილაკისათვის „მტკვარი“.

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html>
<head>
<title>mtkvari</title>
<META HTTP-EQUIV="Content-Type" CONTENT="text/html; charset=UTF-8">
<style type="text/css">
    body {
        background:#c8e8f8;
        font-family: AcadNusx;
        font-size: 20px;
        margin: 0px;
        padding: 0px;
    }
    div#text2{
        font-size: 14px;
        left: 55px;
        position: absolute;
        height: 580px;
        width: 780px;
        overflow: auto;
        text-align: justify;
        padding: 0px;
        text-indent: 30px;
        font-size: 14px;}
    img#pic1 {
        position: absolute;
        left:0px;
        top:0px;
        padding:0px 0px 0px 0px;
    }
    img#k1 {
        position: absolute;
        left:0px;

```

```

        top:360px;
        padding: 0px 0px 0px 0px;
    }
    img#k2{
        position: absolute;
        left:0px;
        top:470px;
        padding: 0px 0px 0px 0px;
    }
    img#k3{
        position: absolute;
        left:0px;
        top:580px;
        padding: 0px 0px 0px 0px;
    }
    div#text3 {
        font-size: 14px;
        position: absolute;
        width:500px;
        right: 25px;
        padding:10px;
    }
    div#head{
        font-size: 36px;
        text-align: center;
        padding:20px;
    }
}

```

```
</style>
```

```
</head>
```

```
<body>
```

```
<div id="text2">
```

```

```

```

```

```

```

```

```

```
<div id="text3">
```

```
<div id="head">mtkvvari</div>
```

aRmosavleT saqarTvelos TiTqmis yvela mdinare qmnis mtkvris erTian sistemas da Caedineba kaspis zRvaSi, dasavleT saqarTvelos mdinareebi ki damoukideblad erTvian Sav zRvas. mtkvari saqarTvelos (aseve amierkavkasiis) udidesi mdinarea. saqarTvelos teritoriazea mxolod misi Suaweli (400 km farglebSi). saTave TurqeTSi aqvs, kaspis zRvas erTvis azerbaijanis teritoriaze. mTavari Senakadebia focxoviswyali, liaxvi, qsani, aragvi, faravani, algeTi, qcia-xrami. mingeCauris wyalsacavis Seqmnamde mtkvris udidesi Senakadi iyo alazani ivriT, amJamad isini mingeCauris wyalsacavs erTvian. kaspis zRvis auzs ekuTvnis agreTve mdinareebi Tergi (saqarTvelos farglebSi 85 km-ze miedineba) da andis yoisus mdgenelebi - piriqiti alazani da TuSeTis alazani. saqarTvelos mdinareebi sazrdoobs myinvaris, Tovlis, wvimisa da miwisqveSa wylebiT.mdinareTa qselis ZiriTad nawils warmoadgenen sruliad patara da Zalian patara klasis mdinareebi, romelTa sigrZe <10 km-ze. maT wilze modis 25 aTasi (97%) mdinare, saerTo sigrZiT - 43 aTasi km (72%). aseve bevria patara klasis mdinare, romelTa sigrZe 10-100 km-s Seadgens. maT wilze modis 690 (2.6%) mdinare, saerTo sigrZiT 13 aTasi km (22%). Zalian umniSvneloa saSualo klasis mdinareTa raodenoba, romelTa sigrZe Seadgens 101-500 km-s. aseTi mdinare sul 14-ia (0.027%). isini gamoirCevian Senakadebis didi raodenobiT. pirvel adgilzea md. mtkvari, romlis auzSi iricxeba 6434 (24.7%) mdinare, saerTo sigrZiT 13656 km (22.9%). md. mtkvari s. xerTvisi; wylis saSualo xarji, m3/wm: 1974 minimaluri 6,35 - 8 Tve; 1975 minimaluri 7,14 - 1 Tve; 1976 minimaluri 8,82 - 1 Tve; 1978 minimaluri 9,12 - 12 Tve; 1979 minimaluri 11,6 - 9 Tve; 1980 minimaluri 10,9 - 9 Tve; 1981 minimaluri 11,5 - 1 Tve; 1982 minimaluri 11,2 - 9 Tve; 1983 minimaluri 11,1 - 2 Tve; 1984 minimaluri 10,0 - 12 Tve; 1985 minimaluri 9,72 - 9 Tve; 1986 minimaluri 10,2 - 9 Tve.weliwadSi (jami/12): 25,0; 29,0; 44,8; 40,6; 32,4; 30,4; 27,0; 31,0; 22,4; 34,2; 24,0; 31,4. md. mtkvari - s. minaZe: 1974 - 23,4 - 8 Tve; 1975 - 24,4 - 8 Tve; 1976 - 24,8 - 1 Tve; 1978 - 24,2 - 9 Tve; 1979 - 23,5 - 9 Tve; 1980 - 24,7 - 9 Tve; 1981 - 26,0 - 9 Tve; 1982 - 24,2 - 8 Tve; 1983 - 22,1 - 8 Tve; 1984 - 23,3 - 10 Tve; 1985 - 23,0 - 8 Tve; 1986 - 26,7 - 9 Tve.weliwadSi (jami/12): 47,7;

51,5; 66,3; 61,3; 56,5; 52,6; 48,2; 52,0; 42,7; 61,0; 47,3; 55,1. md. mtkvari - WiTaxevi hes-is kaSxalis zemoT:

1974 - 30,0 - 12 Tve; 1975 - 30,0 - 1 Tve; 1976 - 30,0 - 1 Tve; 1978 - 27,7 - 1 Tve; 1979 - 29,7 - 1 Tve; 1980 - 30,8 - 1 Tve; 1981 - 31,7 - 9 Tve; 1982 - 30,8 - 8 Tve; 1983 - 28,8 - 8 Tve; 1984 - 32,2 - 12 Tve; 1985 - 27,4 - 8 Tve; 1986 - 27,5 - 2 Tve. weliwadSi (jami/12): 65,6; 72,6; 86,4; 86,0; 83,2; 66,5; 68,1; 75,9; 68,1; 82,1; 66,1; 71,1. md. mtkvari - WiTaxevi hes-i. 1974 - 27,8 - 1 Tve; 1975 - 27,0 - 9 Tve; 1976 - 28,4 - 2 Tve; 1978 - 30,9 - 1 Tve; 1979 - 29,9 - 9 Tve; 1980 - 26,6 - 7 Tve; 1981 - 29,6 - 1 Tve; 1982 - 27,7 - 12 Tve; 1983 - 25,6 - 1 Tve; 1984 - 26,5 - 12 Tve; 1985 - 25,9 - 8 Tve; 1986 - 28,7 - 1 Tve. weliwadSi (jami/12) 54,6; 60,8; 73,7; 76,5; 70,4; 60,9; 53,4; 67,0; 58,8; 70,0; 60,7; 62,1.

md. mtkvari - sadguri likani: 1974 - 27,9 - 8 Tve; 1975 - 26,8 - 8 Tve; 1976 - 32,0 - 9 Tve; 1978 - 30,6 - 9 Tve; 1979 - 30,4 - 9 Tve; 1980 - 30,4 - 7 Tve; 1981 - 32,5 - 1 Tve; 1982 - 32,8 - 2 Tve; 1983 - 30,8 - 8 Tve; 1984 - 33,1 - 10 Tve; 1985 - 30,0 - 8 Tve; 1986 - 33,8 - 9 Tve. weliwadSi (jami/12)

64,5; 75,0; 94,9; 98,5; 90,6; 78,5; 77,8; 90,6; 75,6; 92,5; 75,3; 80,0. md. mtkvari - s. grakali:

1974 - 37,5 - 8 Tve; 1975 - 33,9 - 8 Tve; 1976 - 47,3 - 1 Tve; 1978 - 50,4 - 9 Tve; 1979 - 47,2 - 9 Tve; 1980 - 38,3 - 7 Tve; 1981 - 43,3 - 8 Tve; 1982 - 50,9 - 1 Tve; 1983 - 45,1 - 8 Tve; 1984 - 40,6 - 9 Tve; 1985 - 39,2 - 8 Tve; 1986 - 41,1 - 8 Tve; weliwadSi (jami/12) 88,5; 118; 154; 168; 129; 110; 102; 128; 116; 130; 106; 110. md. mtkvari - zahesi: 1974 - 51,2 - 8 Tve; 1975 - 41,3 - 8 Tve; 1976 - 60,4 - 1 Tve; 1978 - 66,2 - 9 Tve; 1979 - 44,6 - 9 Tve; 1980 - 44,9 - 9 Tve; 1981 - 59,0 - 1 Tve; 1982 - 56,0 - 12 Tve; 1983 - 52,5 - 1 Tve; 1984 - 55,0 - 12 Tve; 1985 - 25,5 - 9 Tve; 1986 - 39,3 - 8 Tve. weliwadSi (jami/12)

137; 163; 227; 217; 171; 150; 138; 108; 148; 187; 127; 125. md. mtkvari s. Zegvi: 1974 - 61,4 - 8 Tve; 1975 - 44,4 - 8 Tve; 1976 - 66,5 - 8 Tve; 1978 - 72,2 - 9 Tve; 1979 - 62,0 - 9 Tve; 1980 - 77,5 - 7 Tve; 1981 - 65,0 - 8 Tve; 1982 - 71,8 - 1 Tve; 1983 - 64,5 - 8 Tve; 1984 - 60,9 - 9 Tve. weliwadSi (jami/12): 139; 177; 216; 229; 192; 170; 136; 177; 143; 171. md. mtkvari q. Tbilisi: 1974 - 74,0 - 8 Tve; 1975 - 58,3 - 8 Tve; 1976 - 93,8 - 1 Tve; 1978 - 76,4 - 9 Tve; 1979 - 61,2 - 9 Tve; 1980 - 78,8 - 9 Tve; 1981 - 78,3 - 10 Tve; 1982 - 77,8 - 12 Tve; 1983 - 72,3 - 1 Tve; 1984 - 68,1 - 10 Tve; 1985 - 45,2 - 8 Tve; 1986 - 62,5 - 9 Tve. weliwadSi (jami/12): 175; 206; 276; 256; 198; 194; 160; 197; 176; 193; 139; 154. xulufi:

1974 - 110 - 8 Tve; 1975 - 67,8 - 8 Tve; 1976 - 116 - 8 Tve; 1979 - 83,7 - 9 Tve; 1980 - 78,4 - 9 Tve.

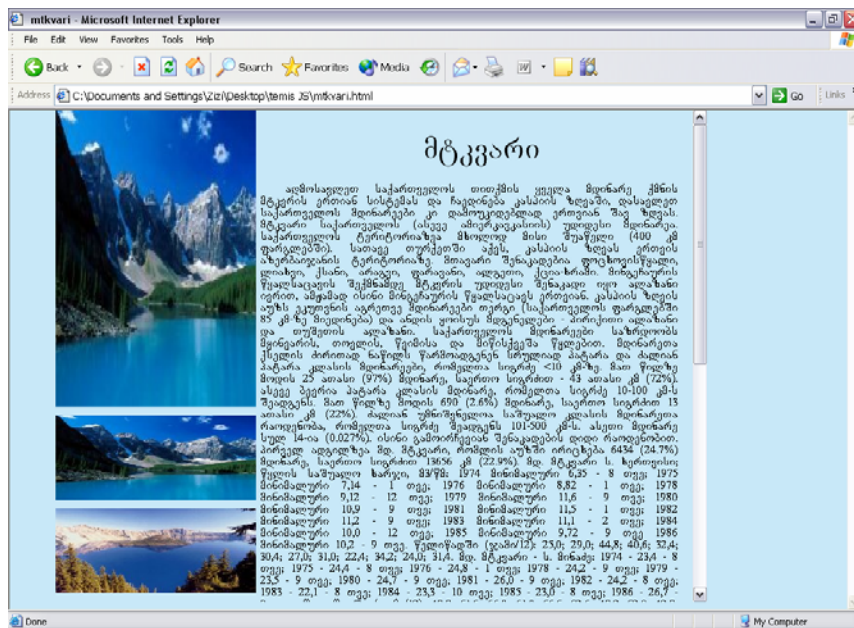
weliwadSi (jami/12): 245; 267; 370; 249; 232. md. mtkvari - s. yirzani: 1979 - 90,9 - 9 Tve; 1980 - 78,4 - 9 Tve. weliwadSi (jami/12): 241; 233.

</div>

</body>

</html>

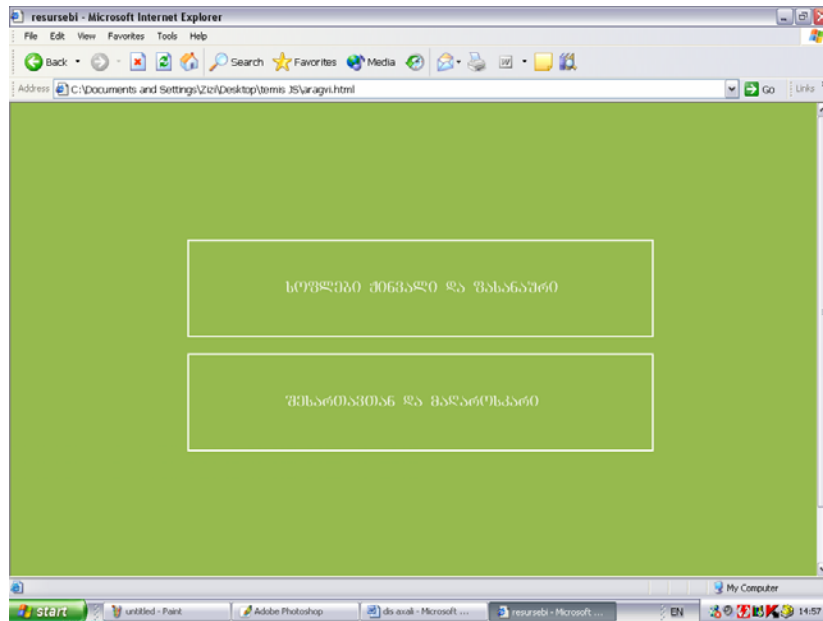
### ნახაზი 3.2. ვებ-გვერდი „მტკვარი“



### 3. პროგრამა დილაკისათვის „არავი“.

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html>
<head>
<title>resursebi</title>
<META HTTP-EQUIV="Content-Type" CONTENT="text/html; charset=charset=UTF-8">
<style type="text/css">
    body {
        background: #96BA4E;
        font-family: AcadMtavr;
        font-size: 28px;
        margin: 150px;
        padding: 0px;
    }
    div#text3 {
        left: 180px;
        position: absolute;
        height: 480px;
        width: 620px;
        overflow: auto;
        text-align: Left;
        padding: 20px;
        text-indent: 120px;
        font-size: 14px;
    }
    a.k1 {
        display: block;
        border: 2px solid white;
        display: block;
        color: white;
        font-size: 20px;
        margin: 20px;
        padding: 50px 0px;
        text-decoration: none;
    }
    a.k1:hover {
        border: 2px solid red;
        color: black;
        background: #2B5B2C;
    }
    div#aragvi {
        font-size: 36px;
        text-align: justify;
        padding: 20px;
    }
</style>
</head>
<body>
<div id=text3>
<a id="a1" name="a1" href="soflebi Jinvali da fasanauri.html" target="frame" class="k1">soflebi
Jinvali da fasanauri</a>
<a id="a1" name="a1" href="SesarTavTan da maRarorskari.html" target="frame"
class="k1">SesarTavTan da maRarorskari</a>
</div>
</body>
</html>
```

### ნახაზი 3.3. ვებ-გვერდი „არაგვი“



#### 4. პროგრამა ღილაკისათვის „სოფლები ჟინგალი და ფასანაური“

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
```

```
<html>
```

```
<head>
```

```
<title>resursebi</title>
```

```
<META HTTP-EQUIV="Content-Type" CONTENT="text/html; charset=charset=UTF-8">
```

```
<style type="text/css">
```

```
body {
    background: #96BA4E;
    font-family: AcadNusx;
    font-size: 20px;
    margin:0px;
    padding:0px;
}
div#text1 {
    font-family:AcadNusx;
    left: 10px;
    position:absolute;
    height: 580px;
    width: 630px;
    overflow: auto;
    text-align:justify;
    padding:20px;
    text-indent:20px;
    font-size:14px;
}
div#head1 {
    font-size:24px;
    text-align:center;
    padding:20px;
    text-indent:20px;
```

```

    }

    div#head2{
    font-size:18px;
    text-align:Left;
    padding:20px;
    text-indent:20px;
    }

    div#head3{
    font-size:18px;
    text-align:Left;
    padding:20px;
    text-indent:20px;
    }

    div#head4{
    font-size:18px;
    text-align:Left;
    padding:20px;
    text-indent:20px;
    }

    div#head5{
    font-size:18px;
    text-align:Left;
    padding:20px;
    text-indent:20px;
    }
</style>
</head>
<body>
<div id=text1>
<div id="head1">wylis maqsimaluri da minimaluri xarji</div>
  <div id="head2">s. JINVALI:</div>
  1970 weli maqsimaluri xarji - 98,2; minimaluri - 22,3; 1971 weli maqsimaluri xarji - 152.0; minimaluri
  - 19.8; 1972 weli maqsimaluri xarji - 91.8; minimaluri - 11.8; 1973 weli maqsimaluri xarji - 96.5;
  minimaluri - 18.2; 1974 weli maqsimaluri xarji - 131.0; minimaluri - 17.1; 1976 weli maqsimaluri xarji
  - 175.0; minimaluri - 29.5; 1977 weli maqsimaluri xarji - 190.0; minimaluri - 13,3; 1978 weli
  maqsimaluri xarji - 138.0; minimaluri - 26.6; 1979 weli maqsimaluri xarji - 123.0; minimaluri - 16.7;
  1980 weli maqsimaluri xarji - 186.0; minimaluri - 20.3; 1981 weli maqsimaluri xarji - 112.0;
  minimaluri - 10.7; 1982 weli maqsimaluri xarji - 228.0; minimaluri - 26.7; 1983 weli maqsimaluri xarji
  - 106.0; minimaluri - 12.4; 1984 weli maqsimaluri xarji - 174.0; minimaluri - 20.4; 1985 weli
  maqsimaluri xarji - 63.0; minimaluri - 12.2; 1986 weli maqsimaluri xarji - 51.4; minimaluri - 0.38;
  1990 weli maqsimaluri xarji - 114.0; minimaluri - 28.0;

  <div id="head4">grafiki</div>

  <div id="head3">s. fasanauri:</div>

  1970 weli maqsimaluri xarji - 24,6; minimaluri - 6,94; 1971 weli maqsimaluri xarji - 49,9; minimaluri -
  6,25; 1972 weli maqsimaluri xarji - 17,8; minimaluri - 6,5; 1973 weli maqsimaluri xarji - 20,2;
  minimaluri - 6,77; 1974 weli maqsimaluri xarji - 31,2; minimaluri - 2,76; 1975 weli maqsimaluri xarji -
  30,2; minimaluri - 6,5; 1976 weli maqsimaluri xarji - 37,9; minimaluri - 5,5; 1977 weli maqsimaluri
  xarji - 55,6; minimaluri - 7,28; 1978 weli maqsimaluri xarji - 41,8; minimaluri - 6,9; 1979 weli

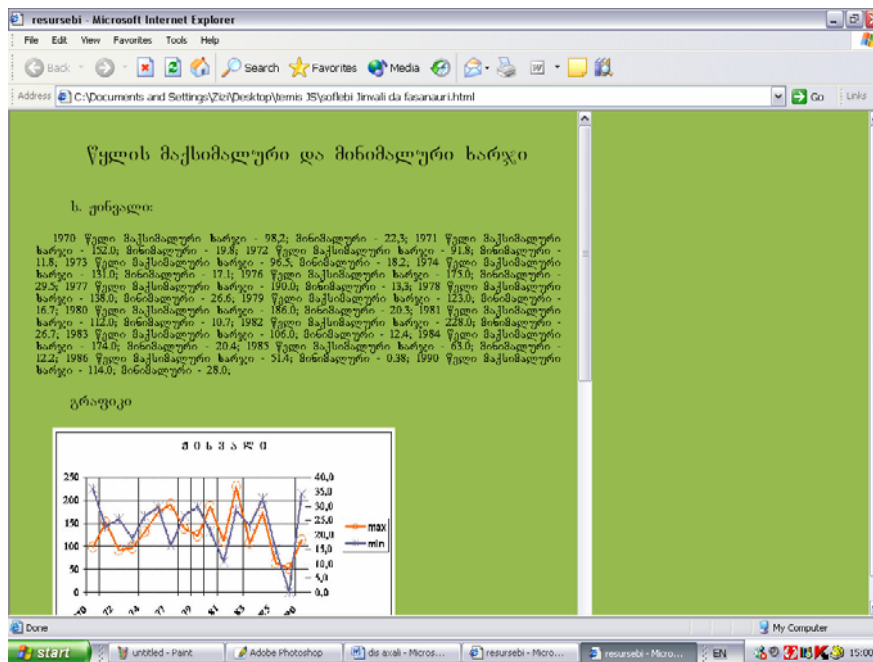
```

მაქსიმალური ხარჯი - 27,1; მინიმალური - 6,62; 1980 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 29,4; მინიმალური - 6,24; 1981 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 19,0; მინიმალური - 5,67; 1982 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 26,0; მინიმალური - 8,85; 1983 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 19,2; მინიმალური - 6,54; 1984 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 31,6; მინიმალური - 7,34; 1985 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 21,8; მინიმალური - 5,7; 1986 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 25,9; მინიმალური - 4,4; 1987 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 83,6; მინიმალური - 4,25; 1988 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 37,8; მინიმალური - 6,67; 1989 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 27,3; მინიმალური - 9,28; 1990 წელი მაქსიმალური ხარჯი - 21,2; მინიმალური - 7,61;

```
<div id="head5">გრაფიკი</div>

</div>
</body>
</html>
```

ნახაზი 3.4. ვებ-გვერდი „წყლის მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯები სოფელ ჟინვალსა და ფასანაურთან“



### 5. პროგრამა ღილაკისათვის „შესართავთან და ს. მაღაროსკარი“

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html>
<head>
<title>resursebi</title>
<META HTTP-EQUIV="Content-Type" CONTENT="text/html; charset=charset=UTF-8">
<style type="text/css">
  body {
    background: #96BA4E;
```



```

font-family: AcadNusx;
font-size: 20px;
margin:0px;
padding:0px;
}
div#text1 {
font-family: AcadNusx;
left:10px;
position:absolute;
height:580px;
width:630px;
overflow: auto;
text-align: Justify;
padding:20px;
text-indent:20px;
font-size: 14px;
}
div#head1 {
font-size:24px;
text-align:center;
padding:20px;
text-indent:20px;
}
div#head2 {
font-size:18px;
text-align:Left;
padding:20px;
text-indent:20px;
}
div#head3 {
font-size:18px;
text-align:Left;
padding:20px;
text-indent:20px;
}
div#head4 {
font-size:18px;
text-align:Left;
padding:20px;
text-indent:20px;
}
div#head5 {
font-size:18px;
text-align:Left;
padding:20px;
text-indent:20px;
}
</style>
</head>
<body>
<div id=text1>
<div id="head1">wylis maqsimaluri da minimaluri xarji</div>
<div id="head2">SesarTavTan:</div>
1970 weli maqsimaluri xarji - 23,9; minimaluri - 6,95; 1971 weli maqsimaluri xarji - 34,8; minimaluri -
4,42; 1972 weli maqsimaluri xarji - 20,9; minimaluri - 6,14; 1973 weli maqsimaluri xarji - 21,3;
minimaluri - 4,9; 1974 weli maqsimaluri xarji - 31,2; minimaluri - 3,93; 1975 weli maqsimaluri xarji -
33,6; minimaluri - 3,02; 1976 weli maqsimaluri xarji - 24,1; minimaluri - 3,32; 1977 weli maqsimaluri
xarji - 22,1; minimaluri - 3,2; 1978 weli maqsimaluri xarji - 27,0; minimaluri - 3,14; 1979 weli
maqsimaluri xarji - 18,8; minimaluri - 3,09; 1980 weli maqsimaluri xarji - 19,7; minimaluri - 3,71;
1981 weli maqsimaluri xarji - 15,8; minimaluri - 3,76; 1982 weli maqsimaluri xarji - 25,7; minimaluri -

```

4,81; 1983 weli maqsimaluri xarji - 16,6; minimaluri - 3,07; 1984 weli maqsimaluri xarji - 22,8; minimaluri - 3,75; 1985 weli maqsimaluri xarji - 19,9; minimaluri - 2,98; 1986 weli maqsimaluri xarji - 22,8; minimaluri - 3,24; 1987 weli maqsimaluri xarji - 41,6; minimaluri - 4,78; 1988 weli maqsimaluri xarji - 24,7; minimaluri - 5,47; 1989 weli maqsimaluri xarji - 17,3; minimaluri - 3,96; 1990 weli maqsimaluri xarji - 23,1; minimaluri - 5,19;

<div id="head4">გრაფიკი</div>



<div id="head3">s. maRaroskari:</div>

1970 weli maqsimaluri xarji - 31,0; minimaluri xarji - 10,6; 1971 weli maqsimaluri xarji - 67,9; minimaluri - 11,4; 1972 weli maqsimaluri xarji - 39,0; minimaluri - 10,8; 1973 weli maqsimaluri xarji - 42,6; minimaluri - 9,94; 1974 weli maqsimaluri xarji - 58,2; minimaluri - 8,38; 1975 weli maqsimaluri xarji - 48,7; minimaluri - 8,44; 1976 weli maqsimaluri xarji - 77,0; minimaluri - 13,7; 1977 weli maqsimaluri xarji - 105,0; minimaluri - 10,1; 1978 weli maqsimaluri xarji - 73,0; minimaluri - 10,6; 1979 weli maqsimaluri xarji - 54,7; minimaluri - 12,5; 1980 weli maqsimaluri xarji - 92,7; minimaluri - 8,33; 1981 weli maqsimaluri xarji - 43,4; minimaluri - 7,07; 1982 weli maqsimaluri xarji - 66,8; minimaluri - 14,6; 1983 weli maqsimaluri xarji - 43,0; minimaluri - 13,4; 1984 weli maqsimaluri xarji - 60,8; minimaluri - 12,2; 1985 weli maqsimaluri xarji - 47,3; minimaluri - 10,3; 1986 weli maqsimaluri xarji - 49,8; minimaluri - 12,2; 1987 weli maqsimaluri xarji - 91,6; minimaluri - 17,2; 1988 weli maqsimaluri xarji - 71,6; minimaluri - 10,9; 1989 weli maqsimaluri xarji - 44,6; minimaluri - 10,2; 1990 weli maqsimaluri xarji - 58,6; minimaluri - 18,0.

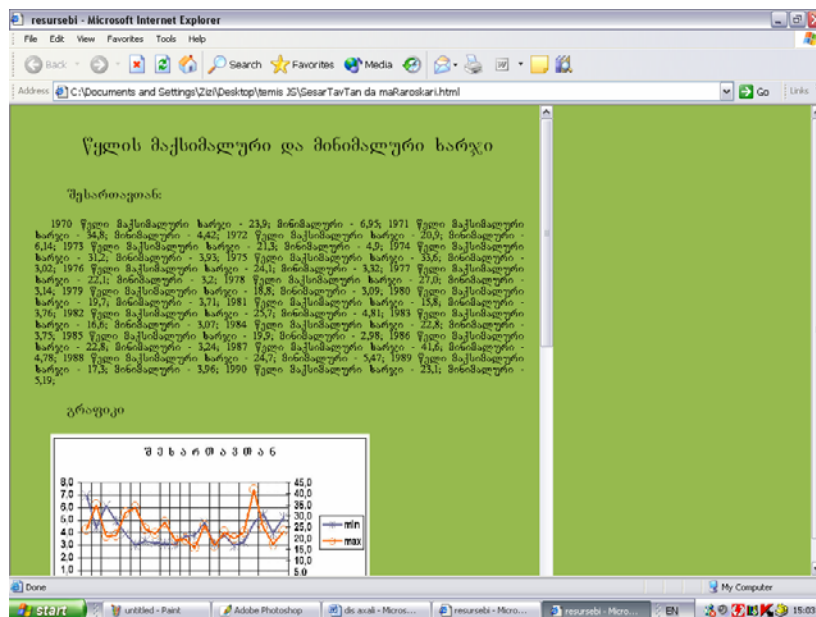
<div id="head5">გრაფიკი</div> 

</div>

</body>

</html>

### ნახაზი 3.5. ვებ-გვერდი „წყლის მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯები შესართავთან და მდაროსკართან“



## 6. პროგრამა დილაკისათვის „ზონები“

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html>
<head>
<title>resursebi</title>
<META HTTP-EQUIV="Content-Type" CONTENT="text/html; charset=UTF-8">
<style type="text/css">
    body {
        background: #c8e8f8;
        font-family: AcadNusx;
        font-size: 20px;
        margin:0px;
        padding:0px;
    }
    div#text {
        left: 0px;
        position: absolute;
        height: 460px;
        width: 710px;
        overflow: auto;
        text-align: justify;
        padding:30px;
        text-indent: 30px;
        font-size: 14px;
    }
    div.satauri {
        text-align: center;
        font-size: 18px;
        padding:25px;
        font-weight: bold;
    }
</style>
</head>
<body>
<div id=text>
<div class="satauri">sarwyavi miwebis ganawileba zonebis, mdinareTa auzebisa da kulturebis
mixedviT</div>
```

sakvlevi teritoria, ukiduresi Crdilo-aRmosavleTi nawilis gamoklebiT, TiTqmis mTlianad mdinare mtkvris auzSi mdebareobs. am mdgomareobam SesaZlebloba mogvca ufro advilad agvericxa irigaciuli wylis resursebi md. mtkvarze (ivrisa da alaznis garda) rogorc saqarTvelo-azerbajianis saxelmwifo sazRvarTan daniSnul Seuswavlel kveTSi, ise q. rusTavTan da q. TbilisTan arsebul Seswavlil uaxloes kveTSi, xolo mdinareebze iorsa da alazanze irigaciuli wylis resursebi aRricxul iqna maTTvis miRebul saangariSo kveTebSi. amrigad, saaRricxvo teritoria, masze irigaciuli wylis resursebis aRricxvisaTvis, miRebul iqna aRmosavleT saqarTvelos farglebSi moqceuli md. mtkvris auzis wyalgamyofi xaziT Semofargluli teritoria, mdinareebis ivrisa da alaznis wyalSemkreb auzebTan erTad. miRebuli teritoria dayofil iqna calkeul xuT saaRricxvo irigaciul zonad, sazRvrebis dadgeniT arsebuli rekomendaciebis Sesabamisad. Cvens mier gamoyofili irigaciuli zonebi kargad Seesabameba "saqwyalproeqTi"-s mier aRmosavleT saqarTvelos teritoriis zonebad dayofas: I. mesxeT- javaxeTi; II. Sida qarTli-TrialeTi; III. Tbilisis zona; IV. qvemo qarTli; V. kaxeTi.

```
<div class="satauri">administraciuli raonebi</div>
<ol>
```

```
    <li>. I zona moicavs 6 administraciul raons: 1. adigenis, 2. axalcixis, 3. aspinZis, 4.
    axalqalaqis, 5. ninowmindis, 6. borjomis;</li>
```

<li>. II zona moicavs 8 raions: 1. kaspis, 2. goris, 3. qarelis, 4. xaSuris, 5. znauris, 6. cxinvalis, 7. javisa da 8. didgoris;</li>

<li>. III zona moicavs 3 raions: 1. duSeTis, 2. mcxeTis, 3. gardabnis (umetes nawils);</li>

<li>. IV zona moicavs 5 raions: 1. walkis, 2. dmanisis, 3. TeTriwyaros, 4. bolnisis, 5. marneulis;</li>

<li>. V zona moicavs 9 raions: 1. TianeTis, 2. lagodexis, 3. yvarelis, 4. axmetis, 5. Telavis, 6. gurjaanis, 7. siRnaRis, 8. sagarejos, 9. dedoflis wyaros da gardabnis raionis nawils (35.6 aTasi ha).</li>

</ol>

<div class="satauri">niadagur-klimaturi zonebi</div>

optimaluri wyalmoTxovnilebis dasadgenad saWiro ramdenime ZiriTad faqorTa Soris aucilebelia sakvlev teritoriaze soflis meurneobis specializaciis, mis safuZvelze sasflo-sameurneo kulturebis Semadgenlobisa da maTi ganawilebis, sarwyavi farTobebis, maTi sidideebis da sarwyav sistemebisa da sarwyavi wylis wyaroebze maTi ganawilebis codna. mxedvelobaSi unda iqnas miRebuli agreTve is garemoebac, rom saqarTvelos, kerZod, aRmosavleT saqarTvelos, pirobebSi vertikaluri niadagur-klimaturi zonaloba gadamwyvet rols TamaSobs. aRniSnulis gaTvaliswinebiT aRmosavleT saqarTveloSi oTx niadagur-klimatur zonas gamoyofen. es zonebia: 1. Tbili, mSrali subtropikuli; 2. zomierad Tbili-mTa-tyis; 3. zomierad Tbili-mTa stepis; 4. zomierad civi - mTa mdelosi.

<div class="satauri">sawarmoo specializaciis zonebi</div>

soflis meurneobis ekonomikisa da organizaciis samecniero-kvleviTi institutis mier Catarebuli kvleviTi samuSaoebis Sedegad aRmosavleT saqarTvelos teritoriaze gamoyofilia soflis meurneobis sawarmoo specializaciis Svidi zona: I - samrewvelo mevenaxeobis zona meTambaqoeobiT, II - sagareubno soflis meurneobis zona, III - aRmosavleT kavkasionis samTo mecxoveleobis zona, IV - samrewvelo mexileobis zona Warxlis moyvaniT, V - mexileobisa da samTo mecxoveleobis zona, VI - javaxeTis zeganis mecxoveleobisa da mekartofileobis zona, VII - samcxe-TrialeTis mecxoveleobisa da mexileobis zona.

<div class="satauri">sarwyavi wylis ZiriTadi wyaro

</div>

arsebuli da dasaxuli perspeqtiuli sarwyavi sistemebis mixedviT dadgenili da miRebulia 17 ZiriTadi mdinare: focxovi, faravani, bugdaSeni, yarabulaxi, maSavera, aslanka, algeTi, qcia-xrami, debeda, didi liaxvi, patara liaxvi, TeZami, qsani, aragvi, mtkvari, iori da alazani.

<div class="satauri">farTobebis ganawileba sarwyavi sistemebis mixedviT:</div>

soflis meurneobis arsebuli da perspeqtiuli specializaciis gaTvaliswinebiT dadgenil iqna sarwyavi sasflo-sameurneo kulturebi, am kulturebis qveS saWiro farTobebsi da maTi ganawileba arsebuli da perspeqtiuli sarwyavi sistemebis mixedviT. dadgenil iqna agreTve am kulturebis procentuli Tanafardoba sarwyavi sistemebis farTobebis mimarT. Catarebuli samuSaoebis safuZvelze miRebulia Sedegebi perspeqtivaSi mosarwyavad dasaxuli miwebis ganawilebis Sesaxeb miRebuli irigaciuli zonebisa da dadgenili kulturebis mixedviT, heqtrebSi da procentebSi.

<div class="satauri">mosarwyavad dasaxuli miwebis ganawileba</div>

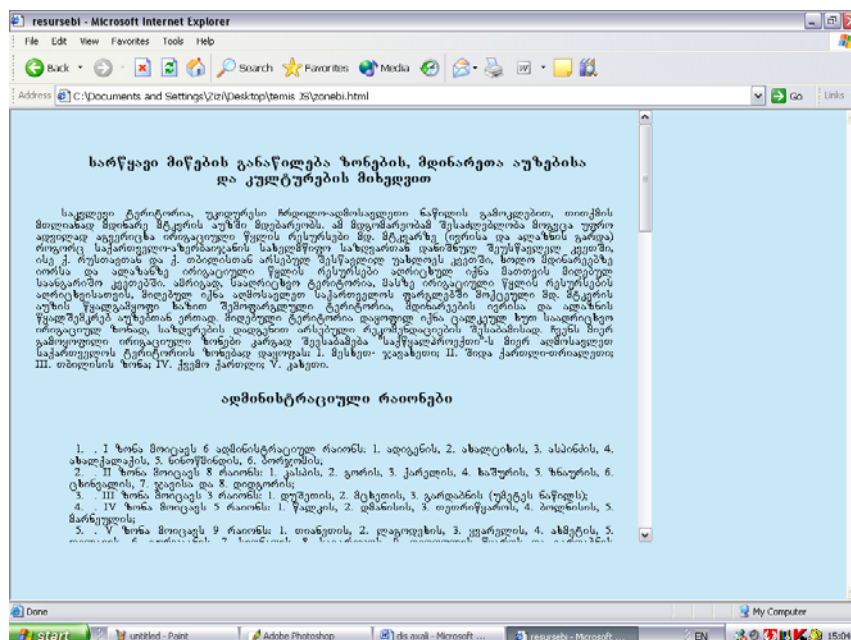
rac Seexeba mosarwyavad dasaxuli miwebis ganawilebas mdinareTa wyalSemkrebi auzebisa da sasflo-sameurneo kulturebis mixedviT (heqtrebSi), aseve miwebis procentuli ganawileba moyvanilia Sesabamis cxrilebSi. aRniSnuli cxrilebis monacemebi Semdeg suraTs izleva. md. focxovis auzSi mosarwyavad dasaxuli miwebis didi nawili, TiTqmis 2/3-ze meti (4918 ha), ukavia xexilis baRebs, kartofils da mravalwlian balaxebis, rac focxovis auzSi moqceuli mTeli sarwyavi farTobis 69.2% Seadgens.md. faravnis auzSi xexilis baRebisa da kartofilis xvedriTi wili SedarebiT naklebia. samagierod didi farTobia moqceuli balaxebis, sxva sakvebi kulturebis da saZovrebis qveS (73.7%). md. bugdaSenis auzSi mravalwlian balaxebis da saZovrebs mTeli sarwyavi farTobis (18.2 aTasi ha) 91.0% ukavia. TiTqmis aseTive suraTia md. yarabulaxis auzSi, sadac saZovrebe modis mTeli sarwyavi farTobis 80.4%.aRniSnuli oTx? mdinaris auzSi sarwyavi balaxebisa da saZovrebis didi

xvedriTi wili ganpirobabilia sakvlevi teritoriis am regionSi soflis meurneobis specializaciis TaviseburebebiT, radgan aq sasoflo-sameurneo warmoebis priortetul mimarTulebas mecxoveleobis ganviTareba warmoadgens.

md. maSaveras auzSi mniSvnelovani adgili ukavia sarwyavi mevenaxeobis, marcvlovani kulturebisa da mekartofileobis ganviTarebas. aq maTi xvedriTi wili mTeli sarwyavi farTobis 62.3%-s Seadgens. Tumca aq mniSvnelovani wili ukavia sarwyav balaxებსac -20.0%-mde.md. aslankas auzSi sagrZnoblad aris gazrdili baR-venaxebis xvedriTi wili: maTze mTeli sarwyavi farTobis 29% modis, xil marcvlovan kulturebze - 27.0%-mde.md. algeTis auzSic mniSvnelovani farTobebi ukavia sarwyav baR-venaxebis 32.0%-mde, xolo marcvlovan kulturebze mTeli sarwyavi farTobis 27.0%-mde modis.md. qcia-xramze daqvemdebarebuli 67.1 aTasi ha sarwyavi farTobidan baR-venaxebze modis 22.0%-mde, marcvlovan kulturebze - 21.5%-mde, xolo mravalwlian balaxებსa da saZovrebze 31.5%-mde.md. debedas auzSi sarwyavi farTobis naxevari ukavia baR-venaxebis (28.5%) da marcvlovanebis (32.0%), danarCeni - kartofilis, hostneul-baRceuls da sxva kulturebs. xolo md. didi liaxvis auzSi mTeli sarwyavi farTobis (57.0 aTasi ha) naxevarze meti - 58.4%-i xexilis baRebze modis. aseve didia xexilis baRebis xvedriTi wili md. patara liaxvis auzSi - 59.7%.md. TeZamis auzSi mTeli sarwyavi farTobis naxevarze meti (68.8%) baR-venaxebis ukavia. aseve didia baR-venaxebis xvedriTi wili mdinareebis qsnis, aragvis da mtkvris auzebSi - Sesabamisad 65.3%, 47.8% da 44.0%.md. ivris auzSi didi farTobi ukavia venaxebis - sul 18.5 aTas ha-mde, rac mTeli sarwyavi farTobis 13.6% Seadgens, 10.4%-mde modis saSemodgomo xorbalze, xolo uaRresad didia saZovrebis xvedriTi wili - 40.2% mde, rac zamTris saZovrebisaTvis aq gamoyofili vrceli farTobebiT aris ganpirobabili.md. alaznis auzze modis venaxebis yvelaze didi farTobebi 74.4 aTas ha-ze meti, rac auzis mTeli sarwyavi farTobis 28.2%-s Seadgens. didia agreTve saSemodgomo xorblis xvedriTi wili mTeli - sarwyavi farTis 17.0%-mde.aqac mniSvnelovani farTobebi ukavia zamTris sarwyav saZovrebis-50.0 aTas ha-ze meti, rac mTeli sarwyavi farTis 19.1%-s Seadgens.

</div>  
</body>  
</html>

### ნახაზი 3.6. ვებ-გვერდი „სარწყავი მიწების განაწილება ზონების, მდინარეთა აუზების და კულტურების მიხედვით“



## 7. პროგრამა ღილაკისათვის „ნორმები“

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html>
<head>
<title>resursebi</title>
<META HTTP-EQUIV="Content-Type" CONTENT="text/html; charset=charset=UTF-8">
<style type="text/css">
    body {
        background:#c8e8f8;
        font-family: AcadNusx;
        font-size: 20px;
        margin:0px;
        padding:0px;
    }
    div#text {
        left: 0px;
        position: absolute;
        height: 460px;
        width: 675px;
        overflow: auto;
        text-align: justify;
        padding:30px;
        text-indent: 30px;
        font-size: 14px;
    }
    div.satauri {
        text-align: center;
        font-size: 18px;
        padding:25px;
        font-weight: bold;
    }
</style>
</head>
<body>
<div id=text>
<div class="satauri">morwyvis normebi</div>
morwyvis mizania sasoflo-sameurneo kulturebs mocemul klimatur pirobebSi, niadagSi SevuqmnaT
tenianobis iseTi reJimi, romelic mcenaris zrda-ganviTarebisaTvis saukeTeso iqneba. am miznis
misaRwevad aucilebelia damuSavebul iqnas meTodika, romelic saSualebas mogvcems ganvsazRvroT
is, Tu ra raodenobis wyalia saWiro (morwyvis norma) da rodის unda mivawodoT igi niadags. morwyvis
normas uwodeben wylis im raodenobas, romelic erTma heqtarma farTobma erTi morwyvis dros unda
miiRos. cxadia, morwyvis norma mudmiv sidides ar warmoadgens. igi erTi da igive kulturisaTvis
misi zrda-ganviTarebis fazebis mixedviT icvleba savegetacio periodis ganmavlobaSi. mcenaris
ganviTarebis dasawyisidanve TandaTanobiT izrdeba wyalze moTxovnilebac, rac Tavis maqsimums
aRwevs vegetaciis sawyisi periodis miwuruls, ris Semdeg iwyebs Semicirebas da vegetaciis bolos
TiTqmis qreba. morwyvis norma aseve damokidebulia sasoflo-sameurneo kulturis saxeze, niadagis
meqanikur Semadgenlobaze, misi aqtiuri fenis sisqeze da a.S. miuxedavad imisa, rom sarwyavi
normebis dadgenasa da morwyvis vadebis gansazRvras, anu rwyvis reJimis Seswavlas, mecnierebma
sakmaod adreuli droidan miaqcies yuradReba, sakiTxi dReisaTvis sabolood gadawyvetili ar aris.
swored amis gamoa, rom sarwyav raionebSi rwyva saWiro efeqts ver axdens. ufro metic, zogjer
araswori rwyvis reJimis SemTxvevaSi (rwyva gadidebuli morwyvis normebiTa da vadebis darRveviT)
teritoriaze myardeba wylis arasasurveli balansი. matulobs gruntis wylebis done, rasac mosdevs niadagis
daWaobebe da meoradi damlaSeba. cxრიlSi moyvanilia saSemodgomo xorblis (qeris) morwyvis
normebi mm-Si savegetacio TveebSi niadagis 70sm-ani fenisaTvis. sakvlev teritoriaze am kulturis
Tesva oqtomberSi warmoebs: dablob raionebSi Tvis dasawyisi, xolo maRlobSi -Tvis bolos. Tavisi
aRmocenebisa da normaluri zrda-ganviTarebisaTvis es kultura daTesvisTanave wylis sakmao marags
```

saWiroebs. gansakuTrebIT didi moTxovnilabas uyenebs igi saxnav fenas. Tu am fenaSi wylis maragi 20 mm-ze naklebia, misi aRmoceneba da Semdgomi zrda-ganviTareba sagrZnoblad ferxdeba. aRmosavleT saqarTvelos teritoriaze arsebuli agrometeosadgurebis mier niadagis tenianobaze warmoebuli dakvirvebis masalebis analizma aCvena, rom garda md. alaznismarcxena sanapiros raionebisa, niadagis tenianoba saxnav fenaSi, iSviaTi gamonaklisis garda, 20 mm-ze naklebia. amitom, saSemodgomo xorblis (qeris) rwyva daTesvisTanavea saWiro. gamatenianebeli morwyva SeiZleba vawarmooT mxolod saxnav an mTlian aqtiur fenaSi (0-70sm). Sesabamisad, Semodgomis TveebSi (oqtomberi, noemberi) morwyvis ori norma moyvanili: mricxvelSi - saxnavi, xolo mniSvnelSi - mTliani aqtiur fenisaTvis. morwyvis norma sakvlev raionebSi sakmaod did farglebSi icvleba. saxnav fenaSi igi icvleba 17 mm-dan 33 mm-mde da misi sidide ZiriTadad ganpirobegulia niadagis meqanikuri SemadgenlobiT. mZime meqanikuri Semadgenlobis niadagebSi igi 30 mm-is, xolo mCateSi - 20 mm-is farglebSi. vegetaciis ganaxlebis Semdeg mcenaris moTxovnilaba wyalze izrdeba. niadagi wyliT uzrunvelyofili unda iyos gansakuTrebIT Reros gamoRebis, daTavTavebis da Teslis formirebis dros. am fazTaSoriso periodSi niadagis optimaluri tenianobis qveda sazRvari maRalia, amitomac morwyvis norma mZime meqanikuri Semadgenlobis niadagebisaTvis saSualod 85 mm-is farglebSi, xolo mCate meqanikuri Semadgenlobis niadagebisaTvis 60-67 mm-s aRwevs. bolo rwyva unda Catardes rZiseburi simwifis dawyebamde, radgan am fazTaSoriso periodSi morwyvam SeiZleba mcenaris Cawola da Sesabamisad, mosavlis Semcireba gamoiwvios. cxrilSi moyvanilia morwyvis normebi (mm) vazisaTvis savegetacio TveebSi. es normebi gaTvlilia niadagis 0-100 sm-iani fenisaTvis. rogorc cxrilidan Cans, morwyvis norma vegetaciis ganaxlebis mZime meqanikuri Semadgenlobis niadagebisaTvis 100mm-is farglebSi. agrometeorologiuri monacemebis analizma aCvena, rom vazis yvavilobis dasawyisTvis niadagis tenianoba sakmaod xSirad, xuTidan sam SemTxvevaSi mainc, optimaluri tenianobis sazRvris maxloblobaSi. gamonakliss isev md. alaznis marcxena sanapiro warmoadgens. amitom yvavilobis dawyebamde niadagi erT morwyvas mainc saWiroebs. yvavilobis damTavrebis Semdeg, meteorologiuri pirobegis mixedviT, rwyvis raodenoba erTidan samamde meryeobs. bolos morwyva, rogorc mecnierebi aRniSnaven, unda Catardes simwifis dasawyisamde, radgan am periodSi niadagSi Warbi teni mosavlis xarixis dawevas iwvevs. vegetaciis Sua periodSi morwyvis norma dasawyisTan SedarebiT 20-35 mm-iT mcirdeba sakvlev teritoriaze xexilis baRebis gavrcelobis zona sakmaod didia. cxadia, rom ganviTarebis fazebic yvela raionSi sxvadasxva dros iwyeba da vadebs Soris sxvaobac zogier erT Tves aRwevs. magram, agrometeosadgurebis monacemebis analizma aCvena, rom TiTqmis yvelgan vegetaciis dasawyisTvis niadagi ar aris uzrunvelyofili sakmarisi raodenobis teniT da yvavilobis dasawyisamde xexilis erTi morwyva mainc aucilebelia. rwyvis norma am periodSi 110-144mm farglebSi meryeobs.

yvavilobis Semdeg meteorologiuri pirobegis mixedviT rwyvis saWiro raodenoba samamde izrdeba. morwyvis norma am periodSi 62-86 mm-mde mcirdeba. simindis, iseve rogorc saSemodgomo xorblisa da sxva erTlwiani sasoflo-sameurne kulturebis, aRmoceneba da Semdgomi zrda-ganviTareba saxnav fenaSi wylis raodenobazea damokidebuli. aprilSi ki, roca siminds Tesaven, saxnavi fena sakmaod gamomSralia. amitom, daTesvisTanave rwyva aucilebel RonisZiebad unda CaiTvalos. es xels Seuwyobs

mcenaris droul aRmocenebas da misi wylIT momaragebas zrda-ganviTarebis sawyis etapze. damatenianebeli morwyva SeiZleba Catardes rogorc saxnavi fenisaTvis, aseve mTeli aqtiuri fenisaTvis (0-70 sm). magram, Tu gaviTvaliswinebT, rom sakvlev teritoriaze iSviaTad modis didi naleqebi umjobesi iqneba, rom morwyva mTeli aqtiuri fenisaTvis Catardes. cxrilSi moyvanilia savegitacio Tveebis morwyvis normebi (mm) simindisaTvis. aprilis Tvis svetSi mricxvelSi moyvanilia morwyvis normebi saxnavi fenisaTvis. xolo mniSvnelSi - mTeli aqtiuri fenisaTvis. rogorc cxrilidan Cans, saxnavi fenisaTvis morwyvis norma 17-34 mm-ia, xolo mTeli aqtiuri fenisaTvis 70-114 mm. gansakuTrebIT didia simindis moTxovnilaba wyalze yvavilobis dawyebidan taros gamosaxvamde. am dros fazTaSoriso periodSi morwyvis norma 59-95 mm-is farglebSi da niadagi or-sam morwyvas saWiroebs. vegetaciis bolos mcenaris moTxovnilaba wyalze klebulobs. Sida qarTlSi Saqris Warxali erT-erTi wamyvani kulturaa. misi mosavlianoba didad aris damokidebuli niadagis tenianobaze. savegetacio periodis dasawyisidan gansakuTrebIT foTlebis zrda mimdinareobs, rac ivlisis dasawyisamde grZeldeba.

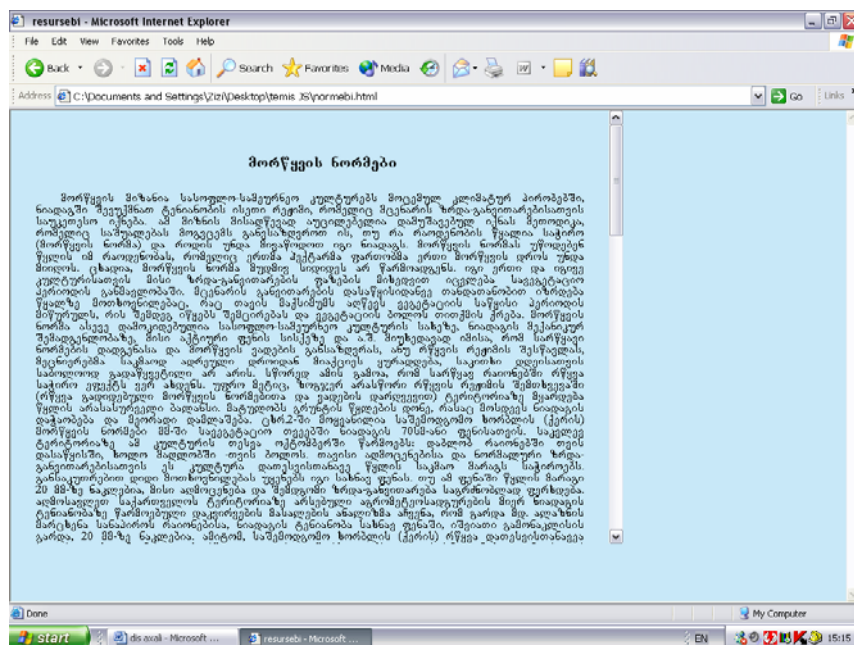
Semdeg, agvistos Sua ricxvebamde swrafad iwyeba Zirebis intensiuri zrda. agvistos Sua ricxvebidan Zirebis zrdis intensivoba klebulobs da gansakuTrebIT drois am monakveTlSi Saqris dagrovebas aqvs adgili. bunebrivia, rom Saqris Warxali gacilebiT met wyals moiTxovs agvistos Sua ricxvebamde, sanam mcenaris zrda mimdinareobs. morwyvis normebi 63-91 mm-is farglebSi. zafxulSi morwyvis normebi SedarebiT mcire - 49-76 mm-is farglebSi, rac imiTaa gamowveuli, rom niadagis optimaluri tenianobis qveda sazRvari vegetaciis im periodSi SedarebiT maRalia.

kartofili saqarTveloSi, ZiriTadad SedarebiT maRal raionebSi mohyavT. vegetaciis dasawyisSi kartofilis morwyvis norma 43-77 mm-is farglebSi meryeobs da mcire atmosferuli naleqebis gamo es

kultura morwyvas dargvisTanave saWiroebs. kartofilis gansakuTrebIT didi moTxovna aqvs wyalze ivnis-ivlisSi, radgan am Tveebs emTxveva fazTaSoriso periodi - sayvavilis warmoqmna-yvaviloba. masiuri yvavilobis damTavrebisTanave misi moTxovniloba wyalze mcirdeba. amis garda, unda gaviTvaliswinoT, rom rwyvis Sedegad niadagis simkvrive matulobs, rac xels uSlis tuberebis ganviTarebas. amitom, morwyvis aucieblobis SemTxvevaSi cxrilSi mocemuli morwyvis normebi unda Semcirde 30-40 procentiT, raTa ar moxdes wylis gadaxarjva da datuberebis ganviTarebis SeCereba. Tambaqo wyals didi raodenobIT saWiroebs rgvis periodSi, rac gamoiyeneba misi fesvTa sistemis gansaviTareblad. aseve didi moTxovniloba aqvs mas wyalze yvavilobis dros. danarCen periodSi igi kargad itans simSrales. rgvis periodSi Tambaqos morwyvis norma niadagis 0-50 sm sisqis fenisaTvis 51-63 mm-is farglebSia. aseve moyvanilia mzesumziris morwyvis normebi (mm) niadagis 70sm sisqis fenisaTvis. mzesumzira gansakuTrebIT gavrcelda siRnaRis, gurjaanis da dedofliswyaros raionebSi. es raionebi mcire naleqiania da amitom, aq saWiroa TesvisTanave rwyva. morwyvis norma mCate meqanikuri Semadgenlobis niadagebisaTvis 85 mm-mde aRwevs, xolo mZime meqanikuri Semadgenlobis niadagebisaTvis 110 mm-mdea. yvavilobis dasawyisisaTvis mcenaris wyalze moTxovniloba izrdeba da radganac niadagis optimaluri tenianobis qveda sazRvaris ricxviTi mniSvnelobac izrdeba morwyvis norma am periodSi 75mm-s ar unda aWarbebedes. saWiroebis SemTxvevaSi mesame morwyva agvistos dasawyisamde unda Catardes, raTa Semdeg niadagis zedmeti tenianobis gamo mcenare, romlis simZimis centri yvaviledSia gadasuli, ar Cawves.bostneulis kulturebs, sxva sasoflo-sameurneo kulturebTan SedarebiT, nakleb siRmeze ganviTarebuli fesvTa sistema aqvT. amitom, cxrilSi moyvanili morwyvis normebi niadagis 0-50 sm-saTvis aris gankuTvnil. zemoT Tqmulis gamo es kulturebi saWiroeben xSir morwyvas (TveSi 2-3-jer): pirvel morwyvas saWiroeben dargvisTanave, Semdeg ki klimaturi pirobebisda mixedviT TveSi orjer an samjer. samwuxarod, monacemebis simciris gamo bostneuli kulturebisaTvis aRniSnuli sakiTxis ufro dawvrilebiT Seswavla ar moxerxda. bolos unda aRiniSnos, rom moyvanil cxrilebSi morwyvis normebi mocemulia savegetacio periodis yvela TveebisaTvis, rac ar niSnavs imas, rom es kulturebi yovelTviurad morwyvas saWiroeben. TiToel wels morwyvis vadebi icvleba da morwyvis Catarebis vadas gansazRvavs rogorc vegetaciis periodis dawyebis dro, aseve am periodSi klimaturi pirobebi. am mizeziT morwyvis normebi mocemulia savegetacio periodis yvela TvisaTvis.

</div>  
</body>  
</html>

### ნახაზი 3.7. ვებ-გვერდი „მორწყვის ნორმები“





## გამოყენებული ლიტერატურა

1. ასაბაშვილი ე. კ. წყლის არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტი (მაქსიმუმით) და მისი შეფასების ზედა ზღვარი. საქ. მეც. აკად. ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, 2005, №10-12, თბილისი, გვ. 50-53.
2. ასაბაშვილი ე. კ. წყლის არათანაბარი მოხმარების კოეფიციენტი (მინიმუმით) და მისი შეფასების ქვედა ზღვარი. პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“, 2005, №3 (23), თბილისი, გვ. 46-50.
3. ასაბაშვილი ე., სტურუა თ. მართვის ოპტიმალური სტრატეგიების განსაზღვრა მოსავლის ფორმირების პროცესში. სტუ-ს საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის «ინფორმაციული ტექნოლოგიები მართვაში» მოხსენებათა კრებული, 2007, ტ. 2. თბილისი, გვ. 365-369.
4. ასაბაშვილი ე., ვართანოვი მ., წვერაიძე ზ. ოპერატიულ წყალგანაწილების ამოცანებში ინფორმაციის შემუშავების პრობლემის განხილვა. სტუ-ს „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ კათედრის დაარსების 35-ე წლისთავისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო შრომები (ნაწ. 2), 2007, თბილისი, გვ. 177-180.
5. ბასილაშვილი ც. ზ. დიდ წყალსაცავებში ჩამდინარე წყლების პროგნოზირება შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები. 2001, ტ. 106, თბილისი, გვ. 159-166.
6. ბასილაშვილი ც. ზ. მდინარეთა წყლიანობა სავეგეტაციო პერიოდში და მათი პროგნოზირება მთავარი სარწყავი სისტემების მომსახურებისათვის. საქ. მეცნ. აკად. სამეცნიერო სესია „გვაღვა და მასთან ბრძოლის პრობლემები“. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები. 2002, ტ. 108, თბილისი, გვ. 59-66.
7. ბასილაშვილი ც. ზ. წყალდიდობის მაქსიმალური ხარჯების პროგნოზირება ჰიდროლოგიური ინფორმაციის შეზღუდულობის პირობებში. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები. 2001, ტ. 106, თბილისი, გვ. 87-96.
8. ბასილაშვილი ც. ზ., ბოლაშვილი ნ., მამასახლისი ჟ. წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯების გაანგარიშება და პროგნოზირება. საერთაშორისო კონფერენციის კრებული. 2001, თბილისი, გვ. 25-29.
9. ბასილაშვილი ც. ზ., ცომაია გ. მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირების განახლება ინფორმაციული ქსელის შემცირების პირობებში. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები. 2001, ტ. 106, თბილისი, გვ. 35-46.
10. ბასილაშვილი ც. ზ., მამასახლისი ჟ., ფანჩულიძე ჯ. სავეგეტაციო პერიოდის ჰიდროლოგიური პროგნოზები მრავალმხრივი

გამოყენების წყალსამეურნეო ობიექტის მომსახურებისათვის, წგნ.: აგრარული მეცნიერების პრობლემები, 2000, თბილისი – ბაქო, გვ. 279-285.

11. ბასილაშვილი ც., კარტაშოვა ნ., ნ. კობახიძე. მდინარეთა წყლიანობა სავეგეტაციო პერიოდში და მისი პროგნოზირება მთავარი სარწყავი სისტემების მომსახურებისათვის. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2002, ტ. №107, გვ. 139.
12. გოგიჩაიშვილი გ., სურგულაძე გ., დოლიძე თ., შონია ო., პოხოვიანი ს., თურქია ე., პეტრიაშვილი ლ., გულუა დ. ეკონომიკური რეფორმების მართვის სრულყოფა უახლესი ინფორმაციული ტექნოლოგიით // სტუ-ს შრომები 2002, №7 (446), თბილისი, გვ. 115-119.
13. ვართანოვი მ. ვ., სტურუა თ. გ. საქართველოს წყლის რესურსების ეკონომიკური შეფასებისა და მისი გამოყენების ეფექტიანობის ზოგიერთი საკითხი სოფლის მეურნეობაში. ჟურნალი „ეკონომიკა“, 2002, №10-11, გვ. 58-64.
14. სტურუა თ. გ. საქართველოს სარწყავი სისტემების რეაბილიტაციის მათემატიკური მოდელი. ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“. 2003, №10-12, თბილისი, გვ. 32-35.
15. სტურუა თ. გ. საქართველოს სარწყავი სისტემების რეაბილიტაციის პროცესების მართვის მათემატიკური ამოცანის ამოხსნა. სტუ-ს შრომათა კრებული, 2004, №2 (452), გვ. 90-94.
16. სვანიძე გ., ცომაია ვ., მესხია რ. საქართველოს წყლის რესურსების მოწყვლადობა და ადაპტაციის ღონისძიებები. ჰმი-ს შრომათა კრებული. – 2001. – ტ. 106. 11 გვ.
17. ტულუში გ. სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მორწყვის წესები და მათი სრულყოფის გზები (მონოგრაფიული სახელმძღვანელო). თბილისი, გამომც. “საბჭოთა საქართველო”, 1986, 244 გვ.
18. ჩიკვაიძე გ. “საქართველოს სარწყავი რაიონების წყლის რესურსების რაციონალური ხარჯვისა და მოსარწყავად გამოსადეგი მიწების მთლიანი ფონდის ათვისების პერსპექტივები”. სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოს ანგარიში. 1998, თბილისი. 163 გვ. (ჰიდრომეტინსტიტუტის ფონდები).
19. ჩიკვაიძე გ. წვეთოვანი მორწყვის გამოყენების პერსპექტივები საქართველოში. თემის დასკვნითი ანგარიში. თბილისი, 1996, 143 გვ. მანქანაზე ნაბეჭდი (ჰიდრომეტინსტიტუტის ფონდები).
20. ჩიკვაიძე გ., შველიძე ო., გელაძე ი. და სხვ. “საქართველოს გვაღვიანი რაიონების წყლის რესურსების რაციონალურად გამოყენების პრობლემა და წვეთოვანი მორწყვის დანერგვის მოსალოდნელი ეფექტი”. სამეცნიერო კვლევითი სამუშაოს ანგარიში, 1997, ნაწილი I, თბილისი. 163 გვ. (ჰიდრომეტინსტიტუტის ფონდები).

21. ჩიკვაძე გ.დ., შველიძე ო.გ., გელაძე ი.მ., დევდარიანი ნ., კობაძე ს.შ., ჯიჯავაძე ლ.ო. საქართველოს სარწყავი რაიონების წყლის რესურსების რაციონალური ხარჯვისა და მოსარწყავად გამოსადეგი მიწების მთლიანი ფონდის ათვისების პერსპექტივები. თემის დასკვნითი ანგარიში, თბილისი, 1998. 163 გვ. კომპიუტერზე აკრეფილი (ჰიდრომეტინსტიტუტის ფონდები).
22. ჩიკვაძე გ.დ., შველიძე ო.გ., გელაძე ი.მ., დევდარიანი ნ.ნ., კობაძე ს.შ. და სხვ. “საქართველოს პირობებში ძირითადი სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ოპტიმალური წყალუზრუნველყოფის ჰიდრომეტეოროლოგიური ასპექტების დადგენა”. დასკვნითი ანგარიში. თბილისი, 1995. 137გვ. (ჰიდრომეტინსტიტუტის ფონდები).
23. ჩოგოვაძე გ., გოგიჩაიშვილი გ., სურგულაძე გ., შეროზია თ., შონია ო. მართვის ავტომატიზებული სისტემების დაპროექტება და აგება. – თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2001, 744 გვ.
24. ჩხენკელი ი. ა. “სასოფლო-სამეურნეო მელიორაცია”. სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის გამომცემლობა, 1955, თბილისი, 284 გვ.
25. Аверьянов С. Ф., Голованов А. И., Никольский Ю. Н. Расчет водного режима мелиорируемых земель. Гидротехника и мелиорация, 1974, №3, 34-41 с.
26. Багриновский К. А. Основы плановых решений. – М.: Наука, 1977. – 303 с.
27. Бейдеман П. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск: Наука, 1974, 155 с.
28. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. – М.: Наука, 1965. – 458с.
29. Беллман Р., Калба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. – М.: Наука, 1969. – 307 с.
30. Большаков М, Н. О расчете оросительной способности незарегулированных рек. «Гидротехника и мелиорация», 1951, №3, 20-29 с.
31. Будаговский А. И., Лозинская Е. А. Система уравнений тепло-и влагообмена в растительном покрове. – Водные ресурсы, 1976, № 1, с. 78-94.
32. Будаговский А. И., Лозинская Е. А. Теория суммарного испарения и ее приложения. Водные ресурсы, 1976, № 2, 34-56 с.
33. Бусленко Н. П. Моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1968. 355 с.
34. Варაშვილი Н. Г., Гобечия Г. Н. Особенности формирования водного хозяйства горных регионов. Тбилиси, «Мецниереба», 1996, 234 с.
35. Вартанов М. В. Экономическая оценка реабилитации оросительных систем Грузии. // «Грузгидроэкология», сборник научных трудов, Тбилиси, 2003, с. 36-39.

36. Варфоломеев В. И. Алгоритмическое моделирование элементов экономических систем. М., «Финансы и статистика», 2002, 208 с.
37. Верховский Б. С. Стохастические задачи проектирования систем ирригации. Экономика и математические методы, 1970, т.6, вып. 3, 443-454 с.
38. Воропаев Г. В. Совершенствование эксплуатации и техническая реконструкция оросительных систем. Автореф. докт. дис. – М.: 1971, 60 с.
39. Галямин Е. П. О построении динамической модели формирования урожая агроценозов. В кн.: Биологические системы в земледелии и лесоводстве. М.: Наука, 1974, 70-83 с.
40. Глейзер Б.А. К методике определения основных параметров оросительных систем в зоне неустойчивого увлажнения. «Гидротехника и мелиорация», 1974, №9, 42-50с.
41. Иорданишвили И. К. Динамика внутриводоемных процессов горных водохранилищ Грузии. Тбилиси, «Мецниереба», 2004, 194 с.
42. Кардаш В. А. Вопросы анализа плановых решений в сельском хозяйстве. Ч. 2. Экономическая оптимизация в орошении. Новосибирск: 1972. – 213 с.
43. Кардаш В. А. Оптимизационные экономико-математические модели и методы анализа в ирригации. Автореф. докт. дис. Новосибирск: 1973. 42 с.
44. Кардаш В. А., Рапопорт Э. О. Моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. Новосибирск, из-во «Наука», Сибирское отделение, 1979, 157 с.
45. Катамадзе Н. М., Почовян С. М. Автоматизированный расчет режимов орошения сельскохозяйственных культур и радиационный мониторинг. Труды ГТУ, 2001, №4 (437). Междун. научная конф., посвящ. 30-летию кафедры Автоматизированных систем управления ГТУ. Тбилиси.: ГТУ, 139-141 с.
46. Коекин А. Н. Структурный анализ информационных систем управления. – Труды Всес. заоч. политех. ин-та, 1970, вып. 62, 13-42 с.
47. Колесников В., Лордкипанидзе С., Буачидзе В., Угрехелидзе Ш., Симонов В. «Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Куры-Грузинская ССР», 1973, том V, «Сроки и нормы полива», Тбилиси, 42 с. (Фонды Грузгипрорводхоза).
48. Константинов А.Р. Определение оптимальных влагозапасов почвы по периодам развития озимой пшеницы. «Гидротехника и мелиорация», 1975, №2, 38-42 с.
49. Константинов А.Р., Субботин А.С. Методы нормирования орошения. Л., Изд. ЛПИ, 1981. 75с.
50. Конюховский П. В. Математические методы исследования операции. СПб, «Питер», 2001, 192 с.

51. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М., Сельхозгиз, 1960, 621с.
52. Кульба В. В., Ковалевский С. С., Горгидзе И. А. и др. Методы повышения эффективности и качества функционирования автоматизированных информационно-управляющих систем. – М.: КомпьюЛог, 2001. -344 с.
53. Мамиконов А. Г., Ашимов А. А., Кульба В. В. и др. Оптимизация структур данных в АСУ. – М.: Наука, 1988, 256 с.
54. Мамиконов А. Г., Кульба В. В., Лутковский Ю. П. Анализ предметной области банков данных и построение оптимальных структур баз данных с учетом требований к достоверности информации. М.: ИПУ, 1988, 44 с.
55. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973, 344 с.
56. Мечитов И. И., Гершкович М. И. Водохозяйственные балансы. (Учет и распределение водных ресурсов). Тбилиси, Сабчота Сакартвело, 1970, 108 с.
57. Мигунова Г. И., Хубларян М. Г. Численное решение задачи переноса влаги, тепла и солей в почве. – В кн.: Вопросы управления комплексом факторов жизни растений. М.: 1978, 76-82 с.
58. Моренков В. З. Коваленко Б. Г. Расчеты водопотребления и оперативного управления оросительной системой. В кн.: Вопросы водного хозяйства, 1972, вып. 28, 14-35 с.
59. Нерпин С. В., Чудновский А. Ф. Энерго и массообмен в системе растение-почва-воздух. – Л.: Гидрометеиздат, 1975, 358 с.
60. Папелишвили К.А. К расчету оросительной способности рек в условиях восточных районов Грузии, Труды ГрузНИИГиМ, вып. 18-19. Тбилиси, 1957, 18-33с.
61. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г. и др. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1969, 384 с.
62. Почовян С. М., Шония О. Б. Задачи принятия решений в организационных системах. Проблемы прикладной механики 2001, №1(2) Междун. Научный Журнал. Тбилиси.: Мерани 3, 108-111 с.
63. Почовян С. М., Шония О. Б. Принятие решений в организационно-административных системах. Труды ГТУ, Междун. инжен. Акад., Междун. научно-технич. конф. по охране труда, экологии, горному делу и геологии, Тбилиси.: ГТУ, 2000. 61-65 с.
64. Природные ресурсы Грузии и проблемы их рационального использования. АН Грузии. Комисия по изучению производительных сил и природных ресурсов (КЭПС) при Президиуме АН Грузии. Тбилиси. «Мецниереба», 1991, 684 с.
65. Пряжинская В.Г. Оптимальные модели орошения. Автореф. докт. дис. Новосибирск: 1971, 37 с.
66. Сванидзе Г. Г., Цомая В. Ш. и др. Водные ресурсы Закавказья. Л., «Гидрометеиздат», 1988.

67. Сиптиц С. О. Вопросы оптимизации режимов орошения сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов. Автореф. канд. дис. М.: 1977, 24 с.
68. Соломония О. Г. Основы проектирования оптимальной схемы ирригационной системы методами математического программирования. Автореф. докт. дис. М, 1968, 43 с.
69. Стуруа Т. Г. К вопросу оптимизации параметров орошения сельскохозяйственных площадей в Грузии. Georgian Engineering News (GEN), № 3, Тбилиси, 2003, 193-194 с.
70. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Куры Груз. ССР. т.I, Сельхозмелиорация, сводный том, книга 1-ая. Составитель В.И. Колесников. Тбилиси, 1974, (Фонды Грузгипроводхоза).
71. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Куры Груз. ССР. т.VI, Водопотребление на условный гектар. Тбилиси, 1973, 43с. (Фонды Грузгипроводхоза).
72. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Куры Груз. ССР. т.VII, по-объектное водопотребление на иригацию при 95-75-50-25-5% обеспеченности осадками, книга 4, уровень 200г. Тбилиси, 1974, 94с. (Фонды Грузгипроводхоза).
73. Трофимов В.В. К вопросу определения оросительной способности незарегулированного речного стока «Гидротехника и мелиорация», №5, 1952, 23-29 с.
74. Фомин Г. П. Методы и модели линейного программирования коммерческой деятельности. М., «Финансы и статистика», 2002, 128 с.
75. Харченко С. И., Волков А.С. Основы методов определения режимов орошения (обзор). Серия: «Гидрология суши». Обнинск, 1979, 56 с.
76. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. Л., Гидрометеиздат, 1975, 374 с.
77. Химмальблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир, 1973, 423 с.
78. Чайлахян М. Х., Аксенова Н. П. и др. Регуляция цветения у растений различных биотипов. Онтогенез, 1977, т. 8, №6, 599-618 с.
79. Чайлахян М.Х., Аксенова Н. П. и др. Регуляция цветения у растений различных биотипов. Онтогенез, 1977, т. 8, № 6, 599-618 с.
80. Чикваидзе Г.Д. Исследование ресурсов поверхностных вод районов орошаемого земледелия Грузии. Научный отчет по теме. Тбилиси, 1974, 154 с. (Фонды Гидрометинститута).
81. Чикваидзе Г.Д., Швелидзе О.Г. и др. – коллектив авторов. Водные ресурсы Закавказья. Монография под. ред. Г.Г. Сванидзе и В.Ш. Цома. Л., Гидрометеиздат, 1988, 264 с.
82. Чикваидзе Г.Д., Швелидзе О.Г. Установление оптимальных пределов влагообеспеченности основных сельскохозяйственных культур на основе

гидрометеорологической информации в условиях Восточной Грузии. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 92(99), 1990, М., Гидрометеоздат, 133-143 с.

83. Чикваидзе Г.Д., Швелидзе О.Г., Девдариани Н.Н., Копадзе С.Ш. и др. Проблема «Разработать научное обоснование оптимального водного режима и рационального использования водных ресурсов на мелиорируемых землях». Тема «Установление оптимальных пределов влагообеспеченности основных сельскохозяйственных культур на основе гидрометеорологической информации (в конкретных условиях Грузинской ССР). Научный отчет. Тбилиси, 1990, 105 с. Машинопись (Фонды ЗаКНИГМИ).
84. Шавва К. И. Определение оптимальных параметров водохозяйственных объектов и рациональных схем использования водных ресурсов. Фрунзе: Киргизстан, 1972, 251 с.
85. Шелков А. Б. Восстановительное резервирование информационных массивов в АСУ Методы анализа и синтеза автоматизированных систем управления. - М.: ИПУ, 1981, вып. 25. 112-123 с.
86. Швелидзе О.Г. Методика расчета режима орошения (на примере Алазанской долины). Труды ЗаКНИГМИ, вып. 85(92), 1986, 95-102 с.
87. Basilashvili C. Z. Forecasting of the river run-off under the lack of current hydrological information. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, Volume 163, №3, 2001, 498-500 pp.
88. Basilashvili C. Z. Prognosing of water flow in water reservoirs for the aim of its rational use in industry while having limited hydrometeorological information. I International Conference on Ecology and Environmental Management in Caucasus, Foundation „Caucasus Environment“, Tbilisi, 2001, 154-156 pp.
89. Basilashvili C. Z. The method of working – out Hydrological prognosis in conditions of limited information. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, Volume 162, №1, 2000, 110-112 pp.
90. Basilashvili C. Z., Bolashvili N., Mamasakhlisi J. Prognosing high – floods for securing stability of reservoirs. International Conference on Problems of the sustainable development of the mountainous regions, Tbilisi, 2002, 122-123 pp.
91. Basilashvili C. Z., Bolashvili N., Mamasakhlisi J. Prognosing of maximal peak of the high water flows for prevention the loss caused by dangerous events. I International Conference on Ecology and Environmental Management in Caucasus, Foundation „Caucasus Environment“, Tbilisi, 2001, 156-159 pp.
92. Basilashvili C. Z., Gogichaishvili G. Exposure of Soil Erosion Processes in the Kvirila River Basin. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, Volume 163, №3, 2001, 507-509 pp.
93. Basilashvili Ts. Forecasting of the river run – off under the lack of current hydrological information. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 2001, 163, 13.
94. Hocke R., Jeevs J. “Direct search” solution of numerical and statistical problems. – J. Assoc. Comp. Math., 1961, vol. 8, N2, 731-742 p.

95. Netafim. Irrigation equipment and drip systems. One small drop for man. One giant leap for irrigation. Catalog, 6 p. (Kibbutz Hazerim, Kibbutz Magal, Kibbutz Giftah).
96. Rosenbrock H. H. An automatic method for finding the great-est or least value of a function. – Comp. J., 1960, vol. 3, N3.