

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-109-119

უკ.111.111

გვალვების უარყოფითი ეკოლოგიური და ეკონომიკური ზეგავლენის შეფასების სირთულეები საქართველოში

მარიამ ციცაგი, ზაზა გულაშვილი, ანა ფალავანდიშვილი, მარიკა ტატიშვილი,
ნანული ზოტიკიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

Mariam.tsitsagi@tsu.ge

რეზიუმე. გვალვა საქართველოს კლიმატური რისკების ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევაა, რომლის ინტენსივობა და გავრცელება ბოლო ათწლეულების განმავლობაში კლიმატის ცვლილების ფონზე საგრძნობლად გაიზარდა. კვლევის მიზანია გვალვის ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზემოქმედების შეფასება და სარწყავი მიწების იდენტიფიცირება გვალვის (SPI, SPEI, EDI) და მცენარეულობის ინდექსების (NDVI, NDMI) გამოყენებით. მონაცემთა ანალიზი ეფუძნება 1991-2020 წლების კლიმატურ ინფორმაციას, რომელიც მიღებულია გარემოს ეროვნული სააგენტოს მეტეოროლოგიური სადგურებიდან და SENTINEL2 თანამგზავრულ მონაცემებზე დაფუძნებულ ვიზუალიზაციებს. კვლევაში გამოვლინდა, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში გვალვის ინდექსების კორელაცია მცენარეულობის ინდექსებთან დაბალია, განსაკუთრებით ბუნებრივ ლანდშაფტებში, რაც განპირობებულია რეგიონის ტემპერატურის და ნალექის ცვალებადობით. განსხვავებით დასავლეთ საქართველოს ნოტიო კლიმატური პირობებისგან, აღმოსავლეთ საქართველოში ტენდენციაა, რომ SPI და SPEI ინდექსების კორელაცია ნალექის პერიოდების ზრდასთან ერთად მცირდება. ასევე გამოვლინდა, რომ NDVI და NDMI ინდექსები უფრო მგრძნობიარეა აგრარული, ერთწლიანი კულტურებით დაფარული ფართობების შემთხვევაში, რაც მიუთითებს ამ კულტურების გვალვაზე მაღალი რეაქციისკენ. მნიშვნელოვანი აღმოჩენა იყო ის, რომ ოფიციალურად არამორწყული ნაკვეთების მნიშვნელოვანი ნაწილი რეალურად მორწყულად შეიძლება ჩაითვალოს ინდექსების მაღალი კორელაციის საფუძველზე. კერძოდ, თელავის მუნიციპალიტეტის არამორწყული ნაკვეთების 48.3%-ს NDVI/NDMI ინდექსები მორწყულ ფართობებთან მაღალ თანხვედრაშია, რაც შესაძლოა მიუთითებდეს არაფორმალურ მორწყვის პრაქტიკაზე. პარალელურად, ინდექსების მკვეთრად დაქვეითებული 43.2% მაჩვენებლები აღინიშნება, რაც მათ მაღალი გვალვაგრძნობადობის მდგომარეობაში აყენებს. კვლევის შედეგად შესაძლებელი გახდა სარწყავი სისტემების ეფექტიანობის შეფასება და არაოფიციალური მორწყვის გამოვლენა, რაც მნიშვნელოვანი საფუძველია წყლის რესურსების უკეთ მართვისა და სოფლის მეურნეობის მდგრადი განვითარებისათვის.

საკვანძო სიტყვები: კლიმატის ცვლილება, გვალვის და მცენარეულობის ინდექსები, თანამგზავრული ვიზუალიზაცია, სარწყავი სისტემა

შესავალი. გვალვა მიეკუთვნება იმ ბუნებრივ პროცესებს, რომლებსაც მრავალი (ეკოლოგიური, სოციალური, ეკონომიკური) უარყოფითი შედეგი აქვთ. გვალვის პოლიტიკური და სოციალური ეფექტები, ადამიანური მსხვერპლის და მატერიალური ზარალის გარდა, შეიძლება გამოვლინდეს უშუალოდ გვალვის დროს ანდა მის შემდეგ, განსაკუთრებით იმ ქვეყნებში, რომლებსაც ნაკლები ადაპტაციის პოტენციალი აქვთ [3]. გვალვები ხასიათდება ბუნებრივი წყლის, ატმოსფერული ნალექების, მდინარის ჩამონადენის ან მიწის ქვეშა წყლების ხელმისაწვდომობის შემცირებით [2]. ატმოსფერული ნალექების დეფიციტის გარდა, გვალვები დაკავშირებულია აორთქლებასა და აორთქლებადობასთან, ნიადაგის ტენიანობის დეფიციტთან და მიწისქვეშა წყლების დონის შემცირებასთან. გვალვა ასევე კორელაციაშია რეგიონულ გარემო პირობებთან [6]. ამ მრავალფეროვნების გამო, განსხვავებენ მეტეოროლოგიურ, სასოფლო-სამეურნეო, ეკოლოგიურ და სხვა ტიპის გვალვებს. მეტეოროლოგიური გვალვები, სხვა პროცესებთან ერთად, გავლენას ახდენს ჰიდროლოგიურ და სასოფლო-სამეურნეო გვალვებზე. ნალექების ანომალიური შემცირება იწვევს სასოფლო-სამეურნეო გვალვას, რომელზეც ძლიერ გავლენას ახდენს მიწის ზედაპირის ტემპერატურა, აორთქლება, ნიადაგის თვისებები და მცენარის ფიზიოლოგიური ან ეკოლოგიური მახასიათებლები [4]. სასოფლო-სამეურნეო გვალვა საკმაოდ რთული ფენომენია და მასზე გავლენას ახდენს მეტეოროლოგიური გვალვები ნიადაგის თვისებების, მიწისქვეშა წყლების არსებობისა და ირიგაციის გამო. სერიოზული შედეგების მიუხედავად, გვალვა ერთ-ერთი ყველაზე ნაკლებად შესწავლილი სტიქიური პროცესია მისი რთული ბუნებრივი გარემოსა და სხვა რთული ფაქტორების სხვადასხვა ზემოქმედების გამო. კლიმატის ცვლილების კონტექსტში გვალვების ინტენსიფიკაცია ზრდის ინტერესს მისი კვლევისა და შეფასების მიმართ. შექმნილია მრავალი ინდექსი. გვალვის ინდექსებს შეუძლიათ უზრუნველყონ ტერიტორიისთვის გვალვის ხარისხობრივი შეფასება

კონკრეტული პერიოდისთვის, რისთვისაც იყენებს კლიმატის მონიტორინგს სხვადასხვა დროითი მასშტაბით მოკლევადიანი და გრძელვადიანი გვალვის ეპიზოდების ამოცნობისთვის [7]. გვალვის არსებული ინდექსების უმეტესობა შემუშავებულია კონკრეტული რეგიონებისთვის და მათი გამოყენება შეზღუდულია სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში გვალვის ფენომენების თანდაყოლილი სირთულის გამო. სამეცნიერო ლიტერატურაში გვალვის შეფასების მრავალრიცხოვან ინდექსებს შორის, ყველაზე გავრცელებულია ატმოსფერული ნალექების სტანდარტული ინდექსი (SPI) და ატმოსფერული ნალექების და აორთქლებადობის სტანდარტული ინდექსი (SPEI) [4], ეფექტური გვალვის ინდექსი (EDI) [4] და სხვა. SPI არის გვალვის ინდექსი, რომელიც დაფუძნებულია ნალექების დაგროვების ალბათობაზე მოცემულ პერიოდში. იგი გამოიყენება როგორც ზოგადი ინდექსი მეტეოროლოგიური გვალვის სიმძიმის შესაფასებლად [8]. მიუხედავად იმისა, რომ SPI წარმოდგენილია მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის მიერ (2009), როგორც უნივერსალური ინდექსი, ერთი ინდიკატორი შეიძლება არ იყოს საკმარისი რთული გვალვის დასახასიათებლად. ერთი ინდექსი ვერ იძლევა გვალვის სრულ სურათს. სწორედ ამიტომ გამოიყენება მრავალი ინდექსი გვალვის მოვლენის დასახასიათებლად. SPEI ეფუძნება წყლის ბალანსის ანომალიებს, ნალექების დეფიციტს და აორთქლებადობის ინდექსს [10]. SPI იყენებს ატმოსფერული ნალექების მონაცემებს, ხოლო SPEI იყენებს ნალექების და მაქსიმალური და მინიმალური ტემპერატურის მონაცემებს. SPI და SPEI კარგი ინდიკატორებია გვალვისადმი მიდრეკილი ტერიტორიების რეგიონული მასშტაბით იდენტიფიცირებისთვის. მისი გამოთვლა შესაძლებელია 1-24 თვიანი პერიოდებისთვის. EDI SPI-ის მსგავსად ნალექების მონაცემებს იყენებს. EDI შეიძლება გამოითვალოს როგორც დღიურ, ასევე ყოველთვიურ დროითი მასშტაბით. კლიმატური მონაცემების მიხედვით გვალვის შეფასება ყველაზე გამოყენებადია, მაგრამ ამავე დროს, გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მცენარეთა ინდექსებსაც. ბუნებრივ პირობებში, ნახევრადმშრალი მცენარეულობა არ უნდა დაზიანდეს ექსტრემალური გვალვის მოვლენებით, რადგან ის მნიშვნელოვნად მდგრადია და შეუძლია აღდგენა. სხვა სოციალურ-ეკონომიკური და ბიოფიზიკური ცვლადების ანალიზთან ერთად, დისტანციური ზონდირების მონაცემებმა შეიძლება ხელი შეუწყოს მიწის დეგრადაციის მექანიზმების და გვალვის ევოლუციისა და სიმძიმის შედეგების უკეთ გაგებას [9]. ზოგადად, გვალვის მონიტორინგი შესაძლებელია როგორც მიწისზედა დაკვირვებით, ასევე დისტანციური ზონდირებით. მიწისზედა დაკვირვება გვალვის მონიტორინგის პირდაპირი და ზუსტი მეთოდია, მაგრამ რეგიონული მონიტორინგისთვის საკმარისი სივრცითი ინფორმაციის მიღება რთულია. ის ასევე საკმაოდ შრომატევადი და ხარჯიანია [9], განსაკუთრებით სასოფლო-სამეურნეო გვალვის შეფასებისას. მეორეს მხრივ, სასოფლო-სამეურნეო გვალვების მხოლოდ მეტეოროლოგიური გვალვის ინდექსებით შეფასება არაეფექტურია. საყოველთაოდ მიღებულია, რომ მშრალი პირობები მხოლოდ ჰიდროლოგიური ციკლის კონკრეტულ ეტაპზე ხდება და ხშირად არ აჩვენებს წყლის დეფიციტს ნიადაგის ტენიანობაში, ნაკადულებში, წყალსაცავებსა და მიწისქვეშა წყლებში. შესაბამისად, დისტანციურ ზონდირებაზე დაფუძნებული ინდექსები სასურველია სასოფლო-სამეურნეო გვალვის მონიტორინგისთვის [8]. ეს წარმოადგენს გვალვის მონიტორინგის სწრაფ და ეკონომიურ მეთოდს, მაგრამ საჭიროებს პრაქტიკული მიდგომის შემუშავებას საკვლევი რეგიონისთვის. მიკროტალღური დისტანციური ზონდირების ბოლოდროინდელი მიღწევები მიუთითებს, რომ არსებობს ნიადაგის ზედაპირული ტენიანობის და მცენარეულობის წყლის შემცველობის რადონობრივი განსაზღვრის შესაძლებლობები [8]. გვალვის კვლევებისთვის თანამგზავრული სურათების გამოყენებამ, რომლებიც არ საჭიროებენ სხვადასხვა პარამეტრების შეგროვებას გვალვის გამოსათვლელად და არ არიან დამოკიდებული მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებზე, შეიძლება გაზარდოს სივრცითი სტატისტიკის შედეგების სიზუსტე. ასეთ კვლევებში განსაკუთრებით ინტენსიურად გამოიყენება ნორმალიზებული სხვაობის მცენარეული ინდექსი (NDVI) [9]. 1980-იანი წლებიდან მოყოლებული, ბევრმა მკვლევარმა გამოიყენა ნორმალიზებული სხვაობის მცენარეული ინდექსი (NDVI), როგორც მცენარეულობის ზრდისა და სტატუსის ინდიკატორი და მცენარეულობის სივრცითი სიმკვრივისა და ფენოლოგიის დასადგენად [9]. ამასობაში, გვალვის გავლენა ხმელეთის ეკოსისტემებზე სულ უფრო მწვავე ხდება. მცენარეულობის რეაქცია გვალვაზე კლიმატის კვლევაში მნიშვნელოვანი სამეცნიერო საკითხია. კვლევამ აჩვენა, რომ NDVI-ს კარგი კორელაცია აქვს ნალექებთან და ტემპერატურასთან. წყლის საშუალო წლიური ბალანსი მცენარეულობის ცვლილების მამოძრავებელი ფაქტორია, განსაკუთრებით არიდულ და ნახევრად არიდულ რეგიონებში [11].

გვალვის გენეზისი საქართველოში დამოკიდებულია ციკლონურ და ანტიციკლონურ მოძრაობებზე. პირველ შემთხვევაში ხშირია წვიმიანი დღეები, ხოლო მეორე შემთხვევაში მშრალი პერიოდები, სხვადასხვა ხანგრძლივობის მაღალი ტემპერატურით და დაბალი ტენიანობით. თუ არქტიკიდან მიმართული ჰაერის მასები მშრალი და ცივია, ისინი ვრცელდება გრძელ ტერიტორიებზე და ევროპის აღმოსავლეთ-სამხრეთ ნაწილებში სტაბილური ანტიციკლონური სისტემა იქმნება. ასეთ სიტუაციაში საქართველოში მშრალი პერი-

ოდა. თუ აღმოსავლეთიდან ჰაერის მასები შემოიჭრებიან, მაღალი ტემპერატურა და დაბალი ტენიანობა მშრალი ამინდია. ასეთი პერიოდები უფრო სასტიკი და საშიშია [6]. ოფიციალური ინფორმაციით, 200 000 ჰექტარზე მეტი ფართობი ამჟამად ძლიერ დაზარალებულია ინტენსიური გვალვებით. გვალვით გამოწვეული ქონებრივი ზიანიც ძალიან მნიშვნელოვანია [8].

საქართველოში მრავალი კლიმატური ზონაა, რომლებიც წარმოდგენილია ორ მნიშვნელოვან რეგიონში - დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს კლიმატურ რაიონებში, რომლებიც გამოყოფილია აჭარა-იმერეთისა და ლიხის ქედებით. დასავლეთ საქართველოს აქვს ზღვის ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატი რბილი ზამთრითა და ცხელი ზაფხულით, რომელიც სიმაღლის მატებასთან ერთად იცვლება მაღალმთის ნოტიო კლიმატად უხვი თოვლითა და მყინვარებით. ქვეყნის ცენტრალური ნაწილიდან ზღვის ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატი იცვლება ზომიერ ნოტიო კონტინენტურში. აღმოსავლეთ საქართველოს აქვს სუბტროპიკული კლიმატური ზონები ცხელი ზაფხულითა და ზომიერად ცივი ზამთრით. ამის საპირისპიროდ, სამხრეთ საქართველოს მთიან რეგიონებში არის გარდამავალი კლიმატური ქვეზონები ზომიერი სუბტროპიკულიდან მაღალმთიან მშრალ სუბტროპიკულამდე. საქართველოში კლიმატის ფორმირებაზე გავლენას ახდენს მზის რადიაცია, ატმოსფერული ცირკულაცია და მიწისქვეშა ბუნების ბუნება. ზოგადად, ქვეყანაში მზის ნათების ხანგრძლივობა მაღალია. მისი მაჩვენებელი საქართველოს თითქმის მთელ ტერიტორიაზე 2000 საათს აღემატება [1]. აქ რადიაციული ბალანსი დადებითია მთელი წლის განმავლობაში. კოლხეთის ვაკის კვლევით ზოლში წლიური ჯამური რადიაცია დაახლოებით 120-130 კკალ/კვ. სმ-ია [2]. მაქსიმალური მაჩვენებელი ფიქსირდება ივნისსა და ივლისში, ხოლო მინიმალური - დეკემბერსა და იანვარში. მაგ., სენაკში მთლიანი რადიაცია მაქსიმუმს ივნისში აღწევს, ხოლო მინიმუმს - დეკემბერში. სანაპირო ზონაში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა 14-15°C-ია [(3)]. ეს მაჩვენებელი ასევე მცირდება ზღვის დონიდან სიმაღლის მატებასთან ერთად. დასავლეთ საქართველოში იანვრის საშუალო ტემპერატურა დაახლოებით +4.6°C-ია. შავი ზღვის სანაპირო ზონაში ის 6.7°C-ია [2], ხოლო ივლისის ტემპერატურა სანაპირო ზოლში შავი ზღვის სიახლოვის გამო 23°C-ის ფარგლებშია. ტემპერატურა ასევე მცირდება ზღვიდან დაშორებისა და ზღვის დონიდან სიმაღლის მატების მიხედვით. კოლხეთის სანაპირო ზოლში შეინიშნება ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის მაღალი მაჩვენებელი, სადაც მისი წლიური მაჩვენებელი 80-82%-ის ტოლია [2]. სანაპირო ზონაში ფარდობითი ტენიანობა მინიმალურია ზამთარში (64-75%), მაქსიმალურია აგვისტოსა და სექტემბერში (75-85%), ზღვიდან მოშორებით მინიმალურია აპრილში (64-72%), ხოლო მაქსიმალური ივლის-აგვისტოში (76-84%) [3]. ნალექები ყველაზე მნიშვნელოვანი კლიმატური ელემენტია, რომელიც განსაზღვრავს წყლის ბალანსს დასავლეთ საქართველოში. სანაპირო ზონაში ნალექების რაოდენობა 1800-1900 მმ-ია და დამოკიდებულია ზღვიდან დაშორებაზე. ის მცირდება 1100-1200 მმ-მდე [3]. თოვლის საფარი ნალექების აუცილებელი ელემენტია. დასავლეთ საქართველოში თოვლის საფარის ხანგრძლივობა ზღვის დონიდან 200-300 მეტრზე 30-35 დღეა. სიმაღლის მატებასთან ერთად, თოვლის საფარის ხანგრძლივობა იზრდება. თოვლის საფარის გამოჩენის დროც განსხვავებულია.

ისტორიული ჩანაწერების საფუძველზე, საქართველოს ტერიტორია გვალვის 60%-იანი განმეორებადობის ქვეშაა [7]. ყველაზე გვალვიანი რეგიონებია ქვემო ქართლის, შირაქისა და ელდარის დაბლობები და საქართველოს აღმოსავლეთ ნაწილების სხვა დაბლობები. ეს რეგიონები ხასიათდება ნიადაგებში პროდუქტიული ტენიანობის დეფიციტით. ამ ადგილებისთვის დამახასიათებელია პროდუქტიული ტენიანობის ორი ტიპი: კაპილარული დატენიანება და სრული გაზაფხულის დასველება. პირველ შემთხვევაში, 1 მეტრის ნიადაგის ფენაში პროდუქტიული ტენიანობის მარაგი 100-200 მმ-ია, ხოლო დანარჩენებში - 50-150 მმ, ხოლო დასავლეთ საქართველოში ტენიანობის მარაგი 400 მმ-ს არ აღემატება. ბუნებრივი ფაქტორების გარდა (ქარიანი ეროზია და ნალექების შემცირება), ანთროპოგენური დატვირთვაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გაუდაბნოების პროცესზე. კერძოდ: ნიადაგის, ტყის და წყლის რესურსების უმართავი გამოყენება, ნიადაგის დამლაშება.

ზოგიერთი ადრეული შეფასებით, გასული საუკუნის 80-იან წლებში ზოგიერთ რაიონში მისი სიხშირე 40%-ს აღემატებოდა. ბოლო ათწლეულების განმავლობაში კლიმატის ცვლილების თანმხლები ხშირი გვალვების შედეგად დაფიქსირდა ბუნებრივი ლანდშაფტების მრავალი სახეობის ტრანსფორმაცია. აღმოსავლეთ საქართველოს სტეპებისა და ნახევრადუდაბნოების ლანდშაფტის გაუდაბნოების ალბათობა მეოცე საუკუნის ბოლოსთვის 25-30%-ს მიაღწია. ოფიციალური მონაცემებით, ინტენსიური გვალვების შედეგად ამჟამად 200 000 ჰექტარზე მეტი ფართობი ძლიერ დაზარალებულია [5]. გვალვით გამოწვეული ქონებრივი ზიანი ძალიან მნიშვნელოვანია.

უკანასკნელ ხანებში ჩატარდა არაერთი კვლევა, რომელიც გვალვების ეკოლოგიურ და ეკონომიკურ შედეგებს ეხებოდა. წინამდებარე ნაშრომი წარმოადგენს მცდელობას გაანალიზოს კვლევებში გამოყენებუ-

ლი მეთოდოლოგია, მიღებული შედეგები და ფოკუსირება მოახდინოს იმ გამოწვევებზე, რაც მსგავსი ტიპის კვლევებს ახლავს საქართველოში.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია. კვლევების მეთოდოლოგია უმთავრესად ეფუძნება გვალვის და მცენარეული ინდექსების გამოთვლას. პირველი დაფუძნებულია მეტეოროლოგიურ მონაცემებზე, ხოლო მეორე თანამგზავრულ გამოსახულებებზე. კვლევაში მეტეოროლოგიური გვალვების შესაფასებლად გამოყენებული იქნა სამი ინდექსი: SPI, SPEI და EDI, ხოლო სასოფლო-სამეურნეო გვალვების შესაფასებლად გამოყენებული იქნა ორი Sentinel 2-ზე დაფუძნებული ინდექსი (ნორმალიზებული სხვაობის მცენარეულობის ინდექსი (NDVI) და ნორმალიზებული სხვაობის ტენიანობის ინდექსი (NDMI)). Copernicus Sentinel2-ის მისია დაფუძნებულია ერთსა და იმავე ორბიტაზე განლაგებული ორი იდენტური თანამგზავრის თანავარკვლავებზე. თითოეული თანამგზავრი შეიცავს ინოვაციურ ფართოზოლოვან მაღალი გარჩევადობის (10მ) მულტისპექტრულ ვიზუალიზატორს 13 სპექტრული ზოლით, რაც ჩვენი მიზნისა და მცენარეულობის ახალ პერსპექტივას უზრუნველყოფს.

ორივე ინდექსის მნიშვნელობა +1.0-დან -1.0-მდე მერყეობს. ფრიალო კლდეების, ქვიშის ან თოვლის ფართობებზე, როგორც წესი, ძალიან დაბალი NDVI მნიშვნელობებია (მაგალითად, 0.1 ან ნაკლები). იშვიათი მცენარეულობა, როგორცაა ბუჩქები და ბალახოვანი მცენარეები ან დაბერების პროცესში მყოფი კულტურები, შეიძლება გამოიწვიოს ზომიერი NDVI მნიშვნელობები (დაახლოებით 0.2-დან 0.5-მდე). მაღალი NDVI მნიშვნელობები (დაახლოებით 0.6-დან 0.9-მდე) შეესაბამება მკვერთ მცენარეულობას. მაშინ როდესაც NDMI-ის ყველაზე დაბალი მნიშვნელობები მიუთითებს მცენარეულობის დაბალ წყლის შემცველობაზე, ხოლო ყველაზე მაღალი - მაღალ წყლის შემცველობაზე. სარწყავი ტერიტორიებისთვის, ჩვენ გამოვთვალეთ VI-ების საშუალო მნიშვნელობები (აპრილი-აგვისტო, როგორც ვეგეტაციის სეზონი) და შევადარეთ ისინი ოფიციალური არამორწყული ტერიტორიების მნიშვნელობებს. ნაკვეთები, რომელთა პირსონის კორელაცია 0.5 და მეტია, იდენტიფიცირებული იქნა, როგორც სარწყავი (ამ შემთხვევაში არაოფიციალური წყაროებიდან) [14].

ნალექის უწყვეტი მონაცემის მიხედვით საქართველოში შევარჩიეთ შემდეგი პუნქტები: ახალციხე, ამბროლაური, ბოლნისი, გორი, მთა -საბურთი, ფასანაური, ფოთი, ქუთაისი, თბილისი და თელავი. დამუშავდა ტემპერატურისა და ნალექების მონაცემები 1991-2020 წლების პერიოდისთვის. ნალექის საზომები შეირჩა სხვადასხვა კლიმატური პირობების გვალვის შესახებ წარმოდგენის შესაქმნელად. ორივე ინდექსის შემთხვევაში, გვალვები განაწილებულია შემდეგი კრიტერიუმებით: უკიდურესად ნოტიო (2- <), ძლიერი ნოტიო (1.5-2), ზომიერად ნოტიო (1-1.5), ნორმალური ახლოს (-1-1), ზომიერად მშრალი (-1.5- -1), ძლიერი მშრალი (-1.5- -2). ქვეყანაში გამოწვევად რჩება სარწყავი წყლით სათანადო მომარაგება და დანაკარგების დადგენა. კვლევის მიზანია აღმოსავლეთ საქართველოს (თელავის მუნიციპალიტეტი) ვენახებში წყლის მდგომარეობის დადგენა გვალვის ინდექსებისა და მცენარეულობის ინდექსების (VI) გამოყენებით არაოფიციალური მორწყვის დასადგენად.

შერჩეული პუნქტები ხასიათდება ზომიერად ცივი ზამთრით და ცხელი ზაფხულით, ნალექების მინიმუმი წელიწადში ორჯერ აღინიშნება. გვალვა ძირითადად გაზაფხულის, ზაფხულის და შემოდგომის სეზონებზეა მოსალოდნელი. ზამთარში, ხშირი ციკლონური და ფრონტალური პერიოდების გამო, მშრალი დღის ხანგრძლივობა უფრო მოკლეა. კვლევის არეალში ვენახების შესახებ მონაცემები მიღებულია ქვეყნის ვენახების კადასტრიდან (2020). მუნიციპალიტეტში ოფიციალური სარწყავი ფართობების შესახებ მონაცემები მიღებულია საქართველოს მელიორაციის (GA) სამსახურიდან. კვლევაში გამოყენებული იქნა საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოს (NEA) მიერ მოწოდებული მეტეოროლოგიური სადგურიდან მიღებული დღიური ნალექებისა და ტემპერატურის მონაცემები (1991-2020).

ექსპერიმენტული შედეგები და განსჯა. გვალვების კვლევებში უპირველესი საკითხი იყო ინდექსებს შორის კორელაციის ცვლილება კლიმატური პირობების მიხედვით. მაგალითად, ახალციხის შემთხვევაში, ყველა პერიოდის კორელაციის კოეფიციენტები შედარებით დაბალია (ცხრ.1) სამივე პერიოდის გათვალისწინებით, ჩანს, რომ კორელაცია შედარებით მაღალია 3 თვიანი პერიოდისთვის (0.92). ამის საპირისპიროდ, ხანგრძლივი პერიოდების კორელაციის კოეფიციენტი მცირდება 0.90-მდე და 0.87-მდე 6 და 12-თვიანი პერიოდებისთვის.

ამბროლაურის შემთხვევაში, კორელაციის კოეფიციენტი შედარებით მაღალია. სამივე პერიოდისთვის 0.96 ახალციხის მსგავსად, გორის შემთხვევაში კორელაციის კოეფიციენტები პერიოდების მიხედვით განსხვავდება. ის შედარებით მაღალია (0.90) 3 თვიანი პერიოდისთვის, ხოლო 6 და 12-თვიანი

პერიოდებისთვის 0.87-მდე და 0.81-მდე მცირდება. მთა-საბუეთი კორელაციების თვალსაზრისით საინტერესო სურათს გვთავაზობს. აქ სამივე პერიოდის კორელაცია თითქმის იგივეა და 0.98. ფასანაურის შემთხვევაშიც აღმოსავლეთ საქართველოს სხვა წვიმის საზომების მსგავსად, აქაც კორელაციები პერიოდის ზრდასთან ერთად მცირდება. თუ 3 თვის განმავლობაში ის 6 თვის განმავლობაში 0.98 იყო, ხოლო 12-თვიანი პერიოდისთვის ის მცირდება და 0.97-დან 0.95-მდე ეცემა. ფოთი კორელაციების საინტერესო სურათს გვაჩვენებს. ამ შემთხვევაში, სამივე პერიოდის კორელაციის კოეფიციენტი 0.98-დან 0.99-მდე მერყეობს.. ქუთაისში დასავლეთ საქართველოში არსებული სხვა წვიმის საზომების მსგავსად, ამ შემთხვევაშიც კორელაციის კოეფიციენტები მსგავსია და სამივე პერიოდისთვის 0.98-ს შეადგენს. თბილისის შემთხვევაში, ტენდენცია მეორდება და კორელაციები პერიოდის ზრდასთან ერთად მცირდება. თუ ის 3-თვიანი პერიოდისთვის 0.93-ია, 6 თვისთვის 0.9-მდე და 12-თვიანი პერიოდისთვის 0.87-მდე მცირდება. თელავი აღმოსავლეთ საქართველოში კიდევ ერთი წვიმის საზომია, სადაც მსგავსი ტენდენცია შეინიშნება. ამ წვიმის საზომის შემთხვევაშიც საქმე გვაქვს კორელაციის კოეფიციენტის შემცირებასთან. 3-თვიანი პერიოდისთვის 0.95, ხოლო 6 და 12-თვიანი პერიოდებისთვის 0.94 და 0.93.

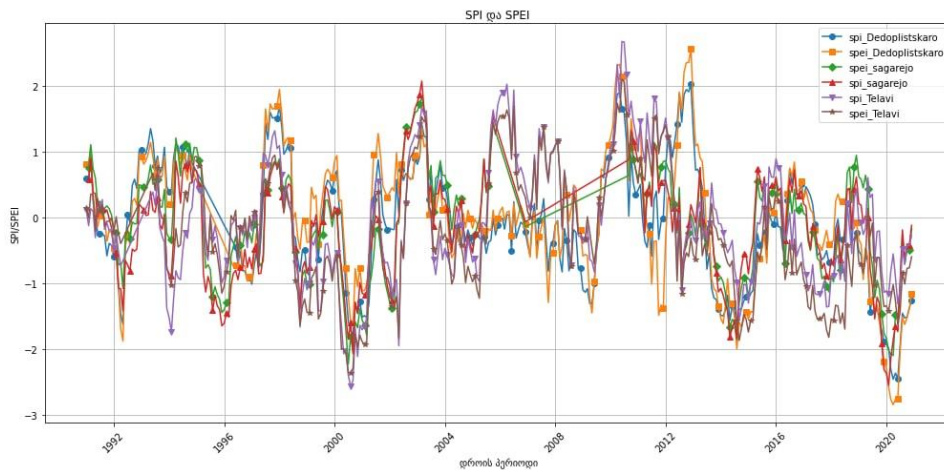
ცხრილი 1. 1991-2020 წლების პერიოდისთვის SPEI-SPI (3, 6, 12 თვე) გვალვის ინდექსების სადგურებსა და ურთიერთ შორის პირსონის კორელაცია

სადგური	Pearson SPI 3- SPEI 3	Pearson SPI 6- SPEI	Pearson SPI 2- SPEI 12
თელავი	0.951749	0.943172	0.928499
ახალციხე	0.921328	0.900248	0.866863
ამბროლაური	0.960683	0.956609	0.960253
გორი	0.898262	0.867283	0.808437
მთა-საბუეთი	0.977971	0.980275	0.979545
ფასანაური	0.97667	0.965895	0.944941
ფოთი	0.982357	0.986272	0.987388
ქუთაისი	0.980448	0.977414	0.978158
თბილისი	0.925437	0.903093	0.873974
თელავი/გორი	0.475601	0.484241	0.53356
ახალციხე/მთა-საბუეთი	0.509075	0.492155	0.503413
თბილისი/ქუთაისი	0.314346	0.337496	0.443787
თბილისი/მთა-საბუეთი	0.300097	0.314582	0.433386
ბოლნისი/ფასანაური	0.242862	0.157741	0.262271
თბილისი/ახალციხე	0.430081	0.389833	0.433268

გვალვის ინდექსები კლიმატის ცვლილების კარგი მაჩვენებლებია, რადგან ისინი მოიცავს ტემპერატურისა და ტენიანობის ვარიაციების ცვლილებას. 1991-2020 წლების შერჩეულ საკვლევი პერიოდის განმავლობაში, სხვადასხვა ნალექის საზომებისთვის გვალვის SPEI და SPI ინდექსები სხვადასხვა ტენდენციას ავლენს. ამ მოკლე დროის მასშტაბისთვის ტენდენციის ხაზების მრუდი ზოგადად უფრო დაბალია. SPEI_3-ის დიდი რყევები მიუთითებს მის მგრძნობელობაზე ხანმოკლე ნალექების მიმართ, ხოლო SPEI_6 მგრძნობიარეა სველ-მშრალი პერიოდების რყევის მიმართ. გვალვის ინდექსების ქცევა შემდეგია: ახალციხის ნალექის საზომზე, ყველა SPEI ინდექსი არ ავლენს კლების/ზრდის ტენდენციას, ხოლო ყველა SPI იზრდება. ამბროლაურში როგორც SPEI, ასევე SPI ინდექსები ავლენენ კლების ტენდენციას. ბოლნისისთვის SPEI მცირდება, ხოლო SPI გაიზარდა. ფასანაურთან, როგორც SPEI, ასევე SPI მცირდება, გორთან, SPEI ინდექსები შემცირდა, ხოლო SPI-ს ზრდის ტენდენცია აქვს, ხოლო მთა-საბუეთთან ორივე SEI/SPI იზრდება. ფოთის წვიმის საზომისთვის, SPEI_3 და SPEI_6 შემცირდა, ხოლო SPEI_12 გაიზარდა, რადგან ყველა SPI ინდექსი ნალექების შემცირებაზე მიუთითებს. ქუთაისისთვის, გვალვის ყველა ინდექსი მცირდება. თბილისის ტერიტორიაზე, SPI_6-ისა და SPI_12-ის გარდა, ყველა ინდექსი მიუთითებს, რომ ყოველთვიური ნალექები მცირდება, ხოლო წყლის ორთქლის აორთქლება იზრდება. თელავის წვიმის

საზომზე ყველა SPEI ინდექსს აქვს კლების ტენდენცია, ხოლო SPI ინდექსები იზრდება, რაც მიუთითებს ნალექების რაოდენობაზე. ამრიგად, SPEI და SPI ინდექსები ასახავს საქართველოს კლიმატის ცვლილების რთულ მოზაიკურ ხასიათს.

საქართველოში ათი შერჩეული ნალექის მაჩვენებლის მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ დასავლეთ საქართველოში, სადაც ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატია, SPI-სა და SPEI-ს შორის კორელაცია მაღალია და სამივე პერიოდის კორელაციის კოეფიციენტები თითქმის ერთნაირია (მაგ. ფოთი, ამბროლაური, ქუთაისი). აღმოსავლეთ საქართველოში არსებული ნალექის მაჩვენებლების შემთხვევაში სურათი იცვლება. პირველ რიგში, განსხვავება ისაა, რომ კორელაციის კოეფიციენტები უფრო დაბალია დასავლეთ საქართველოში არსებულ ნალექის მაჩვენებლებთან შედარებით და მეორე განსხვავება ისაა, რომ კორელაციის კოეფიციენტები მცირდება პერიოდის ზრდასთან ერთად. აღმოსავლეთ საქართველოს ყველა ნალექის მაჩვენებლის შემთხვევაში, კორელაციის კოეფიციენტი შედარებით მაღალია 3 თვის განმავლობაში, ხოლო ექვსთორმეტთვიანი პერიოდებისთვის მცირდება. მიღებულ შედეგებს ლოგიკური ახსნა აქვს. ამ შემთხვევაში, გადამწყვეტი როლი ტემპერატურას ეკუთვნის. აღმოსავლეთ საქართველოში ტემპერატურის მატება ხელს უწყობს გვალვის გახანგრძლივებას და ნალექებთან ერთად ყველაზე მნიშვნელოვანი ფაქტორია. გარდა ამისა, აღმოსავლეთ საქართველოს აქვს ნალექების განსხვავებული რეჟიმი, რაც გამოიხატება უეცარი კოკისპირული წვიმებითა და ხანგრძლივი გვალვიანი პერიოდებით [4].



ნახ.1 გვალვის ინდექსები სამი სადგურისთვის კახეთის რეგიონში

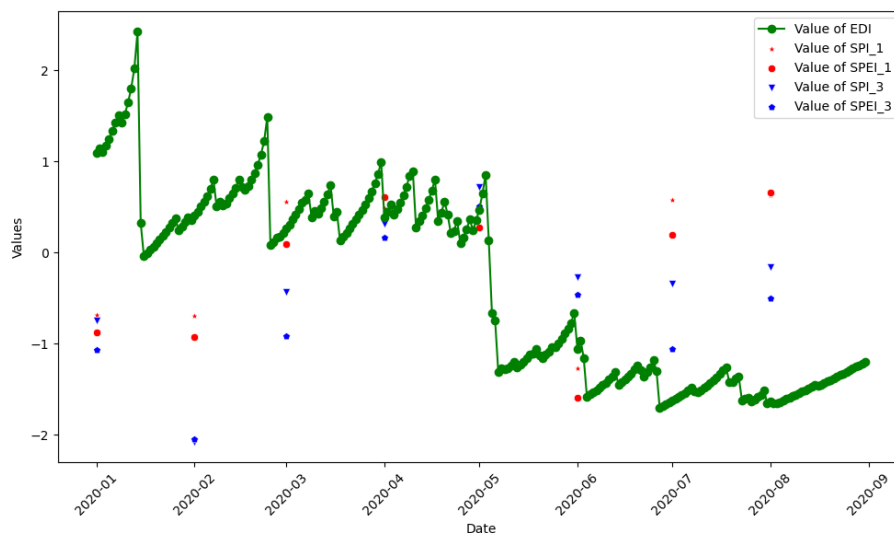
კვლევის კიდევ ერთი მიმართულება არის ნალექების, გვალვის ინდექსებისა და NDVI-ის ცვლილებას შორის კავშირის დანახვა. იმის ანალიზი, განსხვავებულად რეაგირებს თუ არა მცენარეულობა ერთსა და იმავე გვალვის პირობებზე და ამ განსხვავებაზე მოქმედი ფაქტორების შეფასება. შედეგები აჩვენებს, რომ ნალექების შემცირება გვალვის მაპროვოცირებელი ფაქტორია. თუმცა, კახეთის შემთხვევაში, მხოლოდ ნალექი გადამწყვეტი არ არის. უნდა აღინიშნოს, რომ ზაფხულში SPEI უფრო ძლიერ გვალვაზე მიუთითებს, განსაკუთრებით დედოფლისწყაროს შემთხვევაში. ასეთ შემთხვევაში მაღალი ტემპერატურა გადამწყვეტია ნახ.1.

ზოგადად, ყველა სადგურის მონაცემები აჩვენებს, რომ ბუნებრივი ლანდშაფტების შემთხვევაში, NDVI-ის მნიშვნელობები უფრო მაღალია, ვიდრე NDVI-ის მნიშვნელობები იმავე სადგურის აგრარულ რაიონებში. საგარეჯოს შემთხვევაში, ორივე ინდექსმა დაადასტურა 2019 წელს ძლიერი გვალვა. ზოგადად, 2019 წელი კახეთის მასშტაბით საკმაოდ ცხელი და მშრალი იყო. თუმცა, იმავე საგარეჯოში, 2019 წლის გაზაფხულ-ზაფხულში, როდესაც ორივე ინდექსი ძლიერ გვალვაზე მიუთითებს, ტყეში აღებული GCP-ების NDVI მნიშვნელობები საკმაოდ მაღალია. იგივე სიტუაციაა თელავის შემთხვევაშიც. საგარეჯოს შემთხვევაში, გვალვის ინდექსების კორელაცია NDVI-ის ინდიკატორებთან საკმაოდ დაბალია. ერთი შეხედვით, როგორც ჩანს, დედოფლისწყაროში სურათი განსხვავებულია, სადაც NDVI მნიშვნელობები აღნიშნულ პერიოდში მცირდება. ამ შემთხვევაში, სხვა სადგურებისგან განსხვავებით, NDVI-სა და გვალვის ინდექსებს შორის კორელაცია უფრო მაღალია. იმავე პერიოდში, დედოფლისწყაროში ნალექების შემცირება დაფიქსირდა. ეს ტენდენცია ეხება სასოფლო-სამეურნეო და ბუნებრივ ლანდშაფტებს, ამიტომ NDVI მნიშვნელობების კორე-

ლაცია გვალვის ინდექსებთან ძალიან მსგავსია. სამწუხაროდ, ლაგოდების კლიმატური მონაცემები არასრული იყო, რაც ზუსტი სურათის აღქმას ართულებდა. თუმცა, არსებული მონაცემები ადასტურებს, რომ ტყეების შემთხვევაში, გვალვის ინდექსებსა და NDVI-ის მნიშვნელობებს შორის კორელაცია თითქმის არ არსებობს.

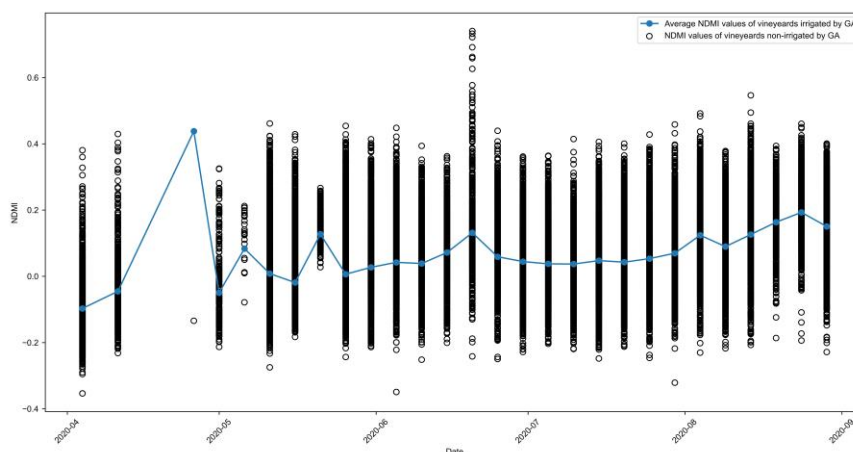
კვლევა ჩატარდა კახეთის მაგალითზე, სადაც მრავალფეროვანი კლიმატური პირობები და ლანდშაფტები არსებობს. შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია გავანალიზოთ NDVI ინდიკატორებს, ნალექებსა და გვალვის ინდექსებს შორის ურთიერთდამოკიდებულება. შედეგები აჩვენებს დაბალ კორელაციას გვალვის ინდექსებსა და NDVI მაჩვენებლებს შორის ყველა სადგურისთვის. ეს განსაკუთრებით შესამჩნევია ბუნებრივი ლანდშაფტების შემთხვევაში. სასოფლო-სამეურნეო ფართობებს შორის კორელაცია შედარებით უკეთესია, თუმცა მაინც დაბალი, რაც შეიძლება აიხსნას იმით, რომ კულტურები უფრო მგრძნობიარეა გვალვის მიმართ. ჩვენს კვლევაში განხილული ტერიტორიის შემთხვევაში, ერთწლიანი კულტურები დიდ ფართობს იკავებს. ეს განსაკუთრებით ეხება დედოფლისწყაროს, სადაც ძირითადად ხორბალი და ქერი მოდის. ამ რეგიონში ივნისის მეორე ნახევარში მოსავალი უკვე აღებულია და შესაბამისად, დაბალ NDVI მნიშვნელობებს იძლევა. იმავე სადგურთან ახლოს მდებარე ტყეები კიდევ უფრო გვალვაგამძლეა და მათი NDVI მნიშვნელობები არ იცვლება ისე სწრაფად. თუმცა, ლაგოდებთან შედარებით, გვალვის შედეგები უფრო სწრაფად აისახება. ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ სასოფლო-სამეურნეო ფართობების შემთხვევაში, NDVI მაჩვენებლები განსხვავდება კულტურების მიხედვით. მაგალითად, NDVI მაჩვენებლები ნაკლებად არის დაკავშირებული გვალვასთან, ვიდრე ერთწლიანი კულტურები ხილისა და ვენახის შემთხვევაში. ასევე მნიშვნელოვანია გავითვალისწინოთ, არის თუ არა ტერიტორია მორწყული [13].

კვლევის კიდევ ერთი მიმართულება იყო სარწყავი და ურწყავი ფართების იდენტიფიცირება. ოფიციალური წყაროებიდან მიღებული მონაცემების თანახმად, თელავის მუნიციპალიტეტში არსებული 6936 ჰა ვენახიდან მხოლოდ 589 ჰა (8.5%) ირწყვება საქართველოს მელიორაციასთან ოფიციალური შეთანხმების საფუძველზე. კვლევის მიზანი იყო იმ ნაკვეთების დადგენა, რომლებიც არ იღებენ სარწყავ წყალს ოფიციალური წყაროდან (GA) გვალვის ინდექსებისა და VI-ების გამოყენებით. მიუხედავად იმისა, რომ გვალვის ინდექსების გამოსათვლელად გამოვიყენეთ 28-წლიანი მონაცემები, ამ კონკრეტულ კვლევაში მხოლოდ 2020 წლის მდგომარეობაა გათვალისწინებული.



ნახ.2. გვალვის ინდექსები თელავის შემთხვევაში

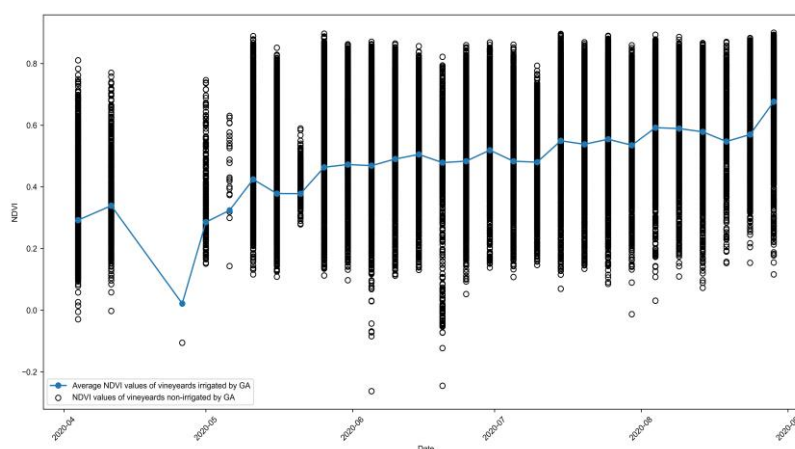
გვალვის ინდექსების ანალიზმა აჩვენა, რომ მიუხედავად იმისა, რომ EDI-ს დღიური მონაცემები აჩვენებს ზომიერად მშრალ პერიოდს შესწავლის ტერიტორიაზე მაისის მეორე დეკადიდან და ივლისში ის გადადის ძლიერ მშრალ მდგომარეობაში, გრძელვადიანი ინდექსები ამას არ ადასტურებს (ნახ. 2). SPI და SPEI (1-თვიანი და 3-თვიანი) მნიშვნელობების საფუძველზე, 2020 წლის ვეგეტაციის სეზონმა თითქმის ნორმასთან (-1-1) ახლოს მდებარე მდგომარეობა განიცადა. ივნისში დაფიქსირდა ზომიერი გვალვა (SPI_1=-1.3, SPEI_1=-1.6), ხოლო ივლისში 3-თვიანი მონაცემებით, SPEI_3-ის მაჩვენებელი -1.1-ია.



ნახ.3. ოფიციალურად არამორწყული ნაკვეთების NDVI-ის და NDVMI-ის (სურ. 3ბ) საშუალო მნიშვნელობები ვეგეტაციის პერიოდში.

ნახ. 3 გვიჩვენებს ოფიციალურად არამორწყული ნაკვეთების NDVI-ის და NDVMI-ის საშუალო მნიშვნელობებს ვეგეტაციის პერიოდში. ორივე ინდექსი თითქმის ერთნაირად რეაგირებს, კერძოდ, აპრილსა და მაისში NDVI-ის შედარებით დაბალი (0-0.3) მნიშვნელობებია, ხოლო ივნისსა და ივლისში, შედარებით მშრალი პირობების მიუხედავად (ნახ.4), VI-ის მნიშვნელობები მკვეთრად არ მცირდება. NDVMI-ის მნიშვნელობები ასევე მერყეობს 0-0.2-ის ფარგლებში ივნისსა და ივლისში, რაც წყლის დაბალ სტრესზე მიუთითებს. ნახ.3 წარმოადგენს ოფიციალურად არამორწყული ნაკვეთების VI-ის მნიშვნელობებს და მათ დამოკიდებულებას მორწყული ნაკვეთების საშუალო მნიშვნელობებთან. ოფიციალურად, ნაკვეთების 6,347.7 ჰა (91.5%) არ არის მორწყული, რაც სულ 14,599 ნაკვეთს შეადგენს.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, პირსონის კორელაციის 0.5 და მეტი მნიშვნელობის მქონე ნაკვეთები არა-ფორმალურად მორწყულად მიჩნეულ იქნა (ანუ ნაკვეთები, რომლებსაც სარწყავ წყალზე წვდომა აქვთ შპს-სთან კონტრაქტის გარეშე), ხოლო დაბალი კორელაციის მქონე ნაკვეთები - არამორწყულად. ამ შემთხვევაში, გათვალისწინებულია ორივე ინდექსთან კორელაცია, ანუ ის უღელტეხილები, რომლებსაც ორივე ინდექსის შემთხვევაში 0.5 ან მეტი კორელაციის ინდექსი ჰქონდათ. მორწყულ და არამორწყულ ნაკვეთებზე VI-ების კორელაციამ დაადასტურა, რომ ნაკვეთების დაახლოებით 48.3%-ს (ოფიციალურად არამორწყული) (3348 ჰა) აქვს მაღალი კორელაცია მორწყული ნაკვეთების საშუალო მაჩვენებელთან, ხოლო 43.2% (2999 ჰა) განსხვავებულად რეაგირებს გვალვაზე და ორივე ინდექსის მნიშვნელობები მცირდება, ანუ წყლის დეფიციტით იტანჯება [14].



ნახ 4. ოფიციალურად არამორწყული ნაკვეთების NDVI-ის და NDVMI-ის (სურ. 3ბ) საშუალო მნიშვნელობები არავეგეტაციის პერიოდში.

დასკვნა. ბოლო დროს კლიმატის ცვლილების გამო გვალვების სიმძიმე იზრდება. გვალვების მრავალმხრივი ბუნების გამო (მეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური, ეკონომიკური, ეკოლოგიური და ა.შ.), ის პირდაპირ თუ ირიბად მოქმედებს საზოგადოების ცხოვრების თითქმის ყველა ასპექტზე, როგორც მოკლევადიან, ასევე გრძელვადიან პერსპექტივაში. საქართველოს ახასიათებს მრავალფეროვანი რელიეფი და, შესაბამისად, კლიმატური პირობები. გვალვის კვლევებში გამოყენებული სხვადასხვა ინდექსის სირთულე დამოკიდებულია გამოყენებული მონაცემების ხელმისაწვდომობაზე. ძლიერი გვალვების სიხშირე გაიზარდა მთელი ქვეყნის მასშტაბით, განსაკუთრებით ბოლო ათწლეულების განმავლობაში. ეს ტენდენცია განსაკუთრებით თვალშისაცემია აღმოსავლეთ საქართველოს დაბლობის შემთხვევაში. აღმოსავლეთ საქართველოს ნალექების მონაცემების მაგალითზე კიდევ ერთი ტენდენცია გამოვლინდა. აქ SPI-სა და SPEI-ს კორელაცია შედარებით დაბალი იყო და შემცირდა პერიოდის ზრდასთან ერთად; მაგალითად, 12 და 24-თვიანი პერიოდების კორელაცია უფრო დაბალი იყო, ვიდრე 3 და 6-თვიანი პერიოდების. ეს აჩვენებს, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში გვალვების შეფასებისას უმნიშვნელოვანესია ტემპერატურის ცვლილების გათვალისწინება ნალექების ცვლილებასთან ერთად. ამიტომ, დასავლეთ საქართველოში, სადაც ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატია, გვალვების ბუნების შესახებ წარმოდგენის შექმნა მხოლოდ SPI-ის გამოყენებით არის შესაძლებელი. აღმოსავლეთ საქართველოს დაბლობზე, სადაც მხოლოდ ერთი ინდექსით ზუსტი სურათის დანახვა ნაკლებად სავარაუდოა, უმჯობესია გამოიყენოთ მრავალცვლადიანი ინდექსები, სადაც ნალექებთან ერთად გათვალისწინებული იქნება ტემპერატურა და სხვა მონაცემები [8]. PCC (3 თვე), რომელიც აჩვენებს SPI-SPEI-ს შორის წრფივ კავშირს, საკმაოდ მაღალია და RMSE (SPI-SPEI) დაბალია ყველა სადგურისთვის, განსაკუთრებით ხაშურისა და თელავისთვის. (ცხრილი 1). SPI-SPEI-სთვის (12 თვე) PCC (12 თვე) მაღალია. R2 დაბალია ყველა სადგურისთვის. RMSE (SPI (12)-SPEI (12)) დაბალია, რაც იდეალურ შესაბამისობას ნიშნავს. ყველაზე ძლიერი კავშირი დაფიქსირდა თანაბარი დროის პერიოდების გამოყენებით ინდექსებს შორის. დროის ჩამორჩენის ზრდასთან ერთად, ცვლადებს შორის კავშირი სუსტდება. სადგურების შიგნით SPI-SPEI ურთიერთობების PCC ძალიან მაღალია, ხოლო სადგურებს შორის - შედარებით დაბალი. ეს შეიძლება აიხსნას იმით, რომ მეტეოროლოგიური პარამეტრების - ტემპერატურის და განსაკუთრებით ნალექების სივრცულ-დროითი განაწილება მრავალფეროვანია სხვადასხვა ადგილისთვის, სხვადასხვა სიმაღლეზე და სადგურები განლაგებულია სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში. სადგურებს შორის მანძილი ასევე მნიშვნელოვანი ფაქტორია [10].

კვლევამ აჩვენა, რომ ნალექებსა და NDVI-ს შორის ურთიერთობა რთულია და მრავალ ფაქტორზე დამოკიდებული. ზოგადად, ტყეების შემთხვევაში, ეს კავშირი უფრო სუსტია, რაც თავის მხრივ დამოკიდებულია ხის ფესვთა სისტემაზე, რაც ხელს უწყობს მცენარეში ტენიანობის ხანგრძლივ შენარჩუნებას, ხოლო ფოთლოვანი ტერიტორია ამცირებს აორთქლებას. მეორეს მხრივ, NDVI-ს, ნალექებსა და გვალვის ინდექსებს შორის კავშირი უფრო მნიშვნელოვანია სასოფლო-სამეურნეო რაიონებში. შესაბამისად, სხვადასხვა ტიპის მცენარეულობა განსხვავებულად რეაგირებს გვალვაზე ერთი და იგივე კლიმატურ პირობებში. NDVI დროის სერიების გამოყენებით, ჩვენ განსაზღვრავთ საშუალო თვიურ მნიშვნელობებს თითოეული წერტილისთვის, რასაც მოჰყვება საშუალო თვიური მნიშვნელობები აგრარული და ბუნებრივი ლანდშაფტებისთვის [13]. კვლევის კიდევ ერთი მიმართულება არის სარწყავი წყლის არაგვეგეგმავი გამოყენების იდენტიფიცირების შესაძლებლობა. განხილული კვლევების მაგალითებმა აჩვენა რომ საქართველოს მასშტაბით გვალვების კვლევისას გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება მეტეოროლოგიური მონაცემების ხარისხს და სადგურების სათანადო სიხშირეს. კიდევ ერთ მთავარ გამოწვევად რჩება ქვეყნის მასშტაბით მიწათსარგებლობის შესახებ მწირი მონაცემები. შესაბამისად საქართველოს მასშტაბით გვალვების ეკოლოგიური და ეკონომიკური გავლენები შესაფასებლად საჭიროა დეტალური კვლევები ყველა ხელმისაწვდომი მონაცემის გათვალისწინებით მათ შორის დისტანციურად ზონდირებული მონაცემები.

ლიტერატურა - References - Литература

1. Mumladze, D., Gagua, G., & Lomidze, N. (2013). Climate. In R. Gobejishvili, Geography of Georgia (pp. 78-97). Tbilisi: Tbilisi University Publishing. (in Georgian)
2. Davitaia, E.. Climate. In Georgian. Tbilisi. 1999
3. Gagua, G., Mumladze, D., & Javakhishvili, Sh. (2000). Climate. In Z.Tatashidze, K.Kharadze, J.Kekelia, & R.Khazaradze, Geography of Georgia, Part 1 (pp. 91-103). Tbilisi: Metsniereba. (in Georgian)

4. Tsitsagi, M., Berdzenishvili, A., & Gugeshashvili, M. (2018). Spatial and temporal variations of rainfall-runoff erosivity (R) factor in Kakheti, Georgia. *Annals of Agrarian Science*, 16(2), 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.03.010>
5. Janelidze Z. On some Reasons of Desertification and Climate Aridization of Iori Valley. *Transactions of the Institute of Hydrometeorology*, v. 115, Tbilisi, Georgia, 2008, pp. 51-56.
6. Papinashvili L. Drought in Georgia. *Transactions of the Institute of Hydrometeorology*, v. 107, Tbilisi, Georgia, 2002, pp. 28-33.
7. Tatishvili, M. R. ., Palavandishvili, A. M. ., Tsitsagi, M. B. ., & Suknidze, N. E. . (2022). The Use of Structured Data for Drought Evaluation in Georgia. *Journals of Georgian Geophysical Society*, 25(1). <https://doi.org/10.48614/ggs2520224806>
8. Tsitsagi, M., Gulashvili, Z., Bolashvili, N., and Leuchner, M.: Comparison of Meteorological Drought Indices in Georgia (1931-2020), EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-8917, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-8917>, 2023
9. L Kartvelishvili, M Tatishvili, A Amiranashvili L Megreldze, N Kutaladze Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia Monograph, Publishing House “UNIVERSALI”, Tbilisi, 2023
doi.org/10.52340/mng.9789941334658
10. Tatishvili, M., Palavandishvili, A., Tsitsagi, M., Suknidze, N. (2023). The Big Data for Drought Monitoring in Georgia. In: Geibel, R.C., Machavariani, S. (eds) *Chances and Challenges of Digital Management*. ISPC 2023. Springer Proceedings in Business and Economics. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45601-5_13
11. Meladze, M., & Meladze, G. (2017). Climate change: A trend of increasingly frequent droughts in Kakheti Region (East Georgia). *Annals of Agrarian Science*, 15(1), 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.02.011>
12. Zhang, Q., Kong, D., Singh, V. P., & Shi, P. (2017). Response of vegetation to different time-scales drought across China: Spatio-temporal patterns, causes and implications. *Global and Planetary Change*, 152, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.02.008>
13. Tsitsagi, M., Gulashvili, Z., Bolashvili, N., Tatishvili, M., & Suknidze, N. (2022). RELATIONSHIP BETWEEN NORMALISED DIFFERENCE VEGETATION INDEX, PRECIPITATION AND DROUGHT INDICES (CASE OF KAKHETI, GEORGIA). In: *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM . . .*, 2022, 357–364. <https://doi.org/10.5593/sgem2022/4.1/s19.46>
14. Tsitsagi, M., Palavandishvili, A., & Gulashvili, Z. (2024). DROUGHT INDICES AND VIS-BASED CANOPY STATUS OF VINEYARDS. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2024, 83–90. <https://doi.org/10.5593/sgem2024/3.1/s12.11>

UDC:111.111

Difficulties in Estimating the Negative Ecological and Economic Impacts of Droughts in Georgia/Mariam Tsitsagi, Zaza Gulashvili, Ana Palavandishvili, Marika Tatishvili, Nanuli Zotikishvili/ *Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.109-119. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.*

Drought is one of the main challenges of climate risks in Georgia, the intensity and spread of which have increased significantly in recent decades due to climate change. The aim of the study is to assess the ecological and economic impact of drought and identify irrigated lands using drought (SPI, SPEI, EDI) and vegetation indices (NDVI, NDMI). The data analysis is based on climate information for 1991-2020, obtained from meteorological stations of the National Environment Agency and visualizations based on SENTINEL2 satellite data. The study revealed that the correlation of drought indices with vegetation indices in Eastern Georgia is low, especially in natural landscapes, which is due to the variability of temperature and precipitation in the region. In contrast to the humid climatic conditions of Western Georgia, in Eastern Georgia there is a tendency for the correlation of SPI and SPEI indices to decrease with increasing rainfall periods. It was also revealed that NDVI and NDMI indices are more sensitive in the case of areas covered with agrarian, annual crops, which indicates a high response of these crops to drought. An important finding was that a significant part of officially non-irrigated plots can actually be considered irrigated based on the high correlation of the indices. In particular, 48.3% of non-irrigated plots in Telavi Municipality have NDVI/NDMI indices in high agreement with irrigated areas, which may indicate informal irrigation practices. At the same time, 43.2% of the indices show a sharp decrease, which puts them in a state of high drought sensitivity. The research made it possible to assess the efficiency of irrigation systems and identify informal irrigation, which is an important basis for better management of water resources and sustainable development of agriculture.

УДК: 111.111

Трудности оценки негативных экологических и экономических последствий засух в Грузии/Мариам Цицаги, Заза Гулашвили, Ана Палавандишвили, Марика Татишвили, Нанули Зотикишвили/Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с. 109-119. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Засуха является одним из основных климатических рисков Грузии, интенсивность и распространение которого значительно возросли за последние десятилетия из-за изменения климата. Целью исследования является оценка эколого-экономического воздействия засухи и выявление орошаемых земель с использованием индексов засухи (SPI, SPEI, EDI) и веге-

тационного индекса (NDVI, NDMI). Анализ данных основан на климатической информации за 1991–2020 годы, полученной с метеорологических станций Национального агентства по охране окружающей среды, и визуализациях на основе спутниковых данных SENTINEL2. Исследование показало, что корреляция индексов засухи с индексами растительности в Восточной Грузии низкая, особенно в природных ландшафтах, что обусловлено изменчивостью температуры и осадков в регионе. В отличие от влажных климатических условий Западной Грузии, в Восточной Грузии наблюдается тенденция к снижению корреляции индексов SPI и SPEI с увеличением периодов осадков. Также было выявлено, что индексы NDVI и NDMI более чувствительны в случае территорий, занятых сельскохозяйственными однолетними культурами, что свидетельствует о более высокой реакции этих культур на засуху. Важным выводом стало то, что значительную часть официально неорошаемых участков фактически можно считать орошаемыми на основании высокой корреляции индексов. В частности, 48,3% неорошаемых участков в муниципалитете Телави имеют индексы NDVI/NDMI, находящиеся в высокой степени соответствия с орошаемыми площадями, что может указывать на неформальную практику орошения. При этом наблюдается резкое снижение индексов на 43,2%, что ставит их в состояние высокой засухоустойчивости. Исследование позволило оценить эффективность систем орошения и выявить неформальное орошение, что является важной основой для более эффективного управления водными ресурсами и устойчивого развития сельского хозяйства.