

UDC 556.114.6 : 004.451.5

SCOPUS CODE 1508

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-2-100-110>

**მდინარე მტკვრის მიკროშენაკადების – ლოჭინისა და ორხევის ზედაპირული წყლების
ანთროპოგენური დაბინძურების ჰიდროქიმიურ მაჩვენებელთა
კორელაციური სტატისტიკური ანალიზი**

ჯიმშერ ქერქაძე	პროფ. ვ. ერისთავის სახელობის გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა და ეკოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69 E-mail: j.kerkadze@gtu.ge
გიული ჯოხაძე	ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69 E-mail: g.jokhadze@gtu.ge
ირაკლი როსტომაშვილი	ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69 E-mail: rostomashviliirakli@yahoo.com
მარინა კაშიბაძე	ინტერდისციპლინური ინფორმატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: kashibadze.marina08@gtu.ge

რეცენზენტები:

მ. ახოზაძე, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი, ტექნიკის
მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: m.akhobadze@gtu.ge

დ. ერისთავი, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის პროფესორი, ქიმიის
მეცნიერებათა კანდიდატი

E-mail: d.eristavi@gtu.ge

ანოტაცია. ბუნებრივი გარემოს ობიექტების
მდგომარეობის მონიტორინგი, მათი დაბინძურების
წყაროების გამოვლენა, ასევე სამომავლო მდგომა-

რეობის პროგნოზირება და ანალიზი მეტად აქტუა-
ლური ამოცანაა. წარმოდგენილია ქალაქ თბილისის
ადმინისტრაციულ საზღვრებში არსებული მდინა-
რე მტკვრის ორი მარცხენა მიკროშენაკადის – ლო-

ჭინისა და ორხევის იმპაქტური მონიტორინგული კვლევის შედეგების კორელაციური სტატისტიკური ანალიზი.

აღნიშნული საკვლევი ობიექტების ზედაპირული წყლებისთვის, 2022–2024 წლების სხვადასხვა ჰიდროლოგიურ სეზონებში, საველე და ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული ჰიდროქიმიური ანალიზების შედეგად, მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული მასალა დაგროვდა. ამ მასალის ერთგვარი სისტემატიზაციისა და ძირითად ჰიდროქიმიურ მახასიათებლებს შორის არსებული კორელაციური ურთიერთკავშირის გამოვლენით დადგინდა მდ. ორხევის უფრო მკვეთრად გამოხატული ანთროპოგენური დაბინძურება, რაც გამოწვეულია ორხევის დასახლებაში მომრავლებული ტყავის გადამამუშავებელი მცირე საწარმოების მიერ აღნიშნულ მდინარეში დაბინძურებული ჩამდინარე წყლების უკონტროლო და სისტემატური ჩაშვებით.

საკვანძო სიტყვები: დისპერსიული ფუნქცია; ზედაპირული წყლები; კორელაცია; კორელაციის კოეფიციენტი; რეგრესიის კოეფიციენტი; ჰიდროქიმიური მაჩვენებლები.

შესავალი

თბილისის ადმინისტრაციულ საზღვრებში მოქცეული მდინარე მტკვარი მიკროშენაკადებითა და მათი შესართავებით ისეთ ერთიან დატოტვილ სამდინარო ქსელს ქმნის, რომელიც განსაზღვრავს არა მარტო ჩვენი დედაქალაქის გარეგნულ სახეს, არამედ განაპირობებს კიდევ მისი გარემომცველი

ზუნებრივი გარემოს კომპონენტების მდგრად განვითარებასა და ურბანული მკვიდრი მოსახლეობის ჯანსაღ მომავალს.

იმპაქტური მონიტორინგული კვლევის ჩატარების მიზნით, შეირჩა მდ. მტკვრის ორი მარცხენა მიკროშენაკადი – ლოჭინი და ორხევი, რომელთა კალაპოტები გაედინება ამავე სახელწოდების საცხოვრებელ მასივებსა და მცირე სამრეწველო ობიექტების არსებობით გამორჩეულ ინდუსტრიულ ზონებზე, რაც აღნიშნული მდინარეებისათვის ტოქსიკური სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით ანთროპოგენური დაბინძურების განმაპირობებელია.

თითოეულ საკვლევ ობიექტზე, წინასწარ შერჩეული ოთხ-ოთხი სადამკვირვებლო პუნქტიდან, 2022–2024 წლების განმავლობაში, სეზონურად აღებული ზედაპირული წყლების სინჯებზე, საველე და ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული ჰიდროქიმიური ანალიზების მეშვეობით, მიღებულია საკვლევ მდინარეთა ანთროპოგენური დაბინძურების დამადასტურებელი მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული მასალა, რომელთა ერთგვარი სისტემატიზაციისა და ძირითად ჰიდროქიმიურ მახასიათებლებს შორის არსებული ურთიერთკავშირების გამოსავლენად საჭირო გახდა კორელაციური სტატისტიკური ანალიზის ჩატარება ორ დამოუკიდებელ ცვლადს შორის კორელაციური კავშირის დასადგენად, სტატისტიკური ანალიზის თეორიაზე დაყრდნობით [1].

ორ ცვლადს შორის არაფუნქციურ კავშირს, როდესაც ცვლადის ერთ მნიშვნელობას მეორე ცვლადის რამდენიმე მნიშვნელობა შეესაბამება, უწოდებ-

ბენ კორელაციურ კავშირს. კორელაციური ანალიზი სტატისტიკური მეთოდია, რომელიც ადგენს, არის თუ არა კავშირი ცვლადებს შორის და რამდენად ძლიერია. იმის გასაგებად, თუ რამდენად მჭიდროდაა დაკავშირებული ორი ცვლადი, შემოღებულია ინდიკატორის ანუ კორელაციის კოეფიციენტის ცნება, როგორც ორი ცვლადის ურთიერთკავშირის ერთობლივი ცვალებადობის რაოდენობრივი საზომი.

Ms Excel-ის კომპიუტერული პროგრამის საშუალებით საკვლევი ორივე მდინარისათვის აგებულია წერტილოვანი გაბნევის დიაგრამები და გამოთვლილია კორელაციისა და რეგრესიის კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები. კორელაციური ანალიზის ძირითადი ამოცანაა შემთხვევით ცვლადებს შორის კავშირის იდენტიფიცირება და შეფასება, რეგრესიული ანალიზისა კი – ფორმის დადგენა და შემთხვევით ცვლადებს შორის ურთიერთდამოკიდებულების შესწავლა.

გარდა ამისა, თითოეული მდინარისათვის ცალკე შედგენილია თორმეტკომპონენტისანი მატრიცული ცხრილები, რითაც საბოლოოდ დადგენილია მჭიდრო კორელაციური კავშირი ერთმანეთთან დაწყვილებულ ცვლადებს შორის. ამ გზით თითოეული მდინარისათვის ინდივიდუალურად დამოუკიდებელ ცვლადებს შორის გამოვლინდა დადებითი და უარყოფითი კორელაციები (ანუ შესაბამისად, პირდაპირპროპორციული და უკუპროპორციული ფუნქციური დამოკიდებულებები) მაღალი და დამაკმაყოფილებელი სანდოობით.

დამატებით განხილულია კერძო შემთხვევა, როდესაც დამოუკიდებელ ცვლადებს შორის კავშირი

არაწრფივია. ამ შემთხვევაში კორელაციური ფუნქციის მაგივრად გამოყენებულია დისპერსიული ფუნქციები. ისინი ნებისმიერი ტიპის კავშირს ასახავს ორ შემთხვევით ცვლადს შორის, მაშინაც კი, როდესაც კორელაცია მათ შორის ნულის ტოლია.

ძირითადი ნაწილი

თბილისის მასშტაბით სამდინარო ეკოსისტემის არსებული სიჭრელიდან და სირთულიდან გამომდინარე, ჩვენ მიერ საკვლევად შეირჩა მდინარე მტკვრის მარცხენა ორი მიკროშენაკადი – ლოჭინი და ორხევი, შემდეგი 3 (სამი) ძირითადი კრიტერიუმიდან გამომდინარე:

1) ორივე გაედინება თბილისის ჩრდილო-აღმოსავლეთით არსებულ ზონაში, სადაც ბევრი მცირე და საშუალო სიმძლავრის სამრეწველო ობიექტია განლაგებული, რომელიც, თავის მხრივ, მძლავრი ანთროპოგენური დატვირთვის მატარებელი დაბინძურების კერებია.

2) ორივე მდინარე მუდმივი წლიური წყალუხვი ჩამონადენით გამოირჩევა, რაც, კალენდარული წლის განმავლობაში, სეზონურად მათზე იმპაქტური მონიტორინგული კვლევების ჩატარების შესაძლებლობას იძლევა.

აქვე უნდა აღინიშნოს საკვლევ მდინარეთა შორის არსებული განსხვავებაც – თუკი მდინარე ლოჭინი ღია კალაპოტით გაედინება, მდინარე ორხევი ალაგ-ალაგ დახურული გვირაბების გავლით მიედინება და მდინარე მტკვარსაც გვირაბში გაედინების შემდეგ უერთდება.

3) შემაშფოთებელია ორივე საკვლევი მცირე მდინარის შესწავლის ძალზე დაბალი ხარისხი სა-

თანადო სამთავრობო ორგანოთა თუ ადმინისტრაციულ უწყებათა მხრიდან და ასევე დაინტერესებული საზოგადოების მხრიდანაც, რაც აღნიშნულ მდინარეთა მიმართ სრულ უწყურადღებობასა და იგნორირებაში გამოიხატება.

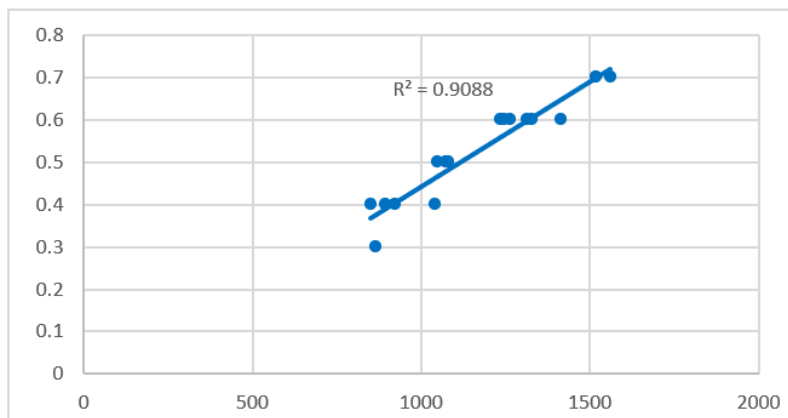
ორივე საკვლევ მდინარეზე ცალ-ცალკე, ჩვენ მიერ წინასწარ შერჩეულ 4-4 სადამკვირვებლო პუნქტზე ე. წ. კვეთებზე, პორტატიული ხელსაწყოთა გამოყენებით უშუალოდ ადგილზე, საველე პირობებში 2022–2024 წლებში (სეზონურად) ჩატარდა 5 (ხუთი) ისეთი მნიშვნელოვანი ჰიდროქიმიური მაჩვენებლის დადგენა, როგორიცაა: წყალბადური მაჩვენებელი (pH), წყლის ტემპერატურა ($^{\circ}\text{C}$), ელექტროგამტარობა ($\mu\text{ sms/cm}$), გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა წყალში ($\%$, მგ/ლ), მარილიანობა (მგ/ლ).

ISO სტანდარტების სრული დაცვით, აღნიშნული ობიექტებიდან აღებული ზედაპირული წყლის სინჯები გაიგზავნა სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტოს ანალიზურ კვლევათა ლაბორატორიაში, სადაც კვლევის სხვადასხვა მეთოდიკის გამოყენებით დადგინდა ისეთი ჰიდროქიმიური მაჩვენებლების, როგორიცაა ძირითადი იონების – კატიონების (კალციუმი, მაგნიუმი, კალიუმი, ნატრიუმი) და ანიონების (სულფატები, ქლორიდები, კარბონატები, ჰიდროკარბონატები), ასევე ბიოგენური

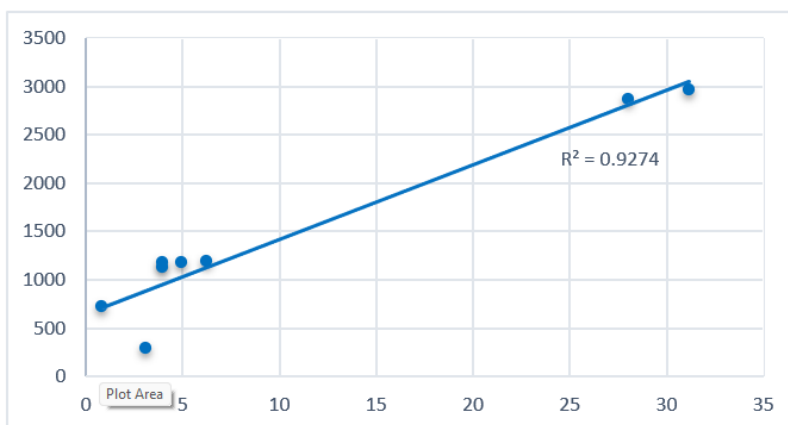
ელემენტების (აზოტი, ფოსფორი) იონური ფორმების (ამონიუმი, ნიტრატები, ნიტრიტები, ფოსფატები) კონცენტრაციათა მნიშვნელობები. აღნიშნულის გარდა, ცვლად პარამეტრებს შორის, საჭირო გახდა ისეთი მნიშვნელოვანი ინგრედიენტების მონაცემებზეც (მგ/ლ-ში) წვდომა, როგორიცაა მინერალიზაცია, ჟანგბადის ბიოქიმიური მოხმარება – ჟბმ, რომლებიც ასევე ემპირიულად დადგინდა.

ამ გზით დაგროვილი უამრავი და მრავალფეროვანი ექსპერიმენტული მასალის რიცხვით მონაცემებზე დაყრდნობით, MS Excel-ის პროგრამით ორივე საკვლევ მდინარისათვის აგებულია წერტილოვანი გაზნევის დიაგრამები, აგრეთვე გამოთვლილია კორელაციისა (r) და რეგრესიის (R^2) კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობებიც. აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ რაც უფრო ახლოსაა კორელაციის კოეფიციენტის სიდიდე ერთთან, მით უფრო დადებითაა გამოხატული ცვლადებს შორის კორელაციური კავშირი [2].

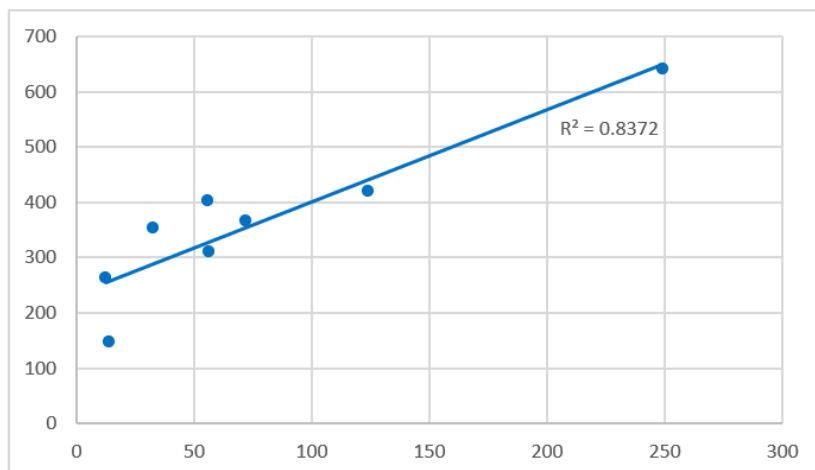
საკვლევ მდინარეებისათვის წერტილოვანი გაზნევის დიაგრამები აგებულია ცვლადი პარამეტრების შემდეგი წყვილებისათვის: მინერალიზაცია/მარილიანობა და ელექტროგამტარობა, ჟბმ და მარილიანობა, სულფატ-იონები და ნიტრატ-იონები და სხვა (სურ. 1-5).



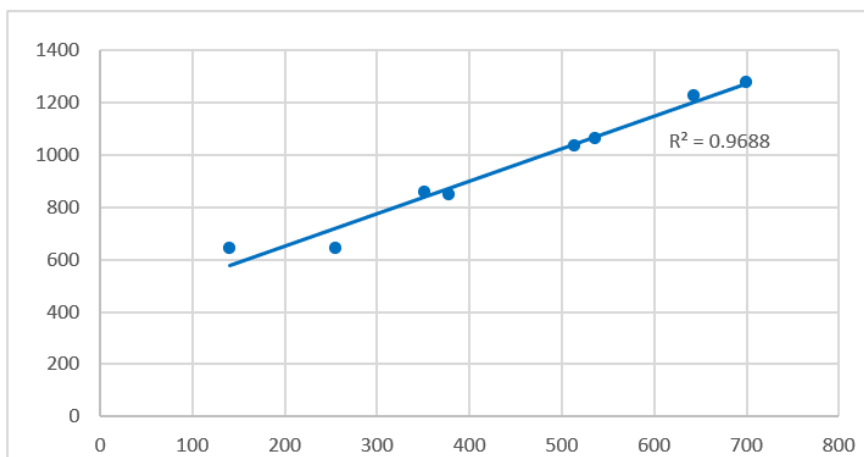
სურ. 1. მდ. ლოჭინის ზედაპირული წყლისათვის კორელაციური კავშირის ($r = 0.95$) დიაგრამა, ელექტროგამტარობასა (X) და მარილიანობას (Y) შორის



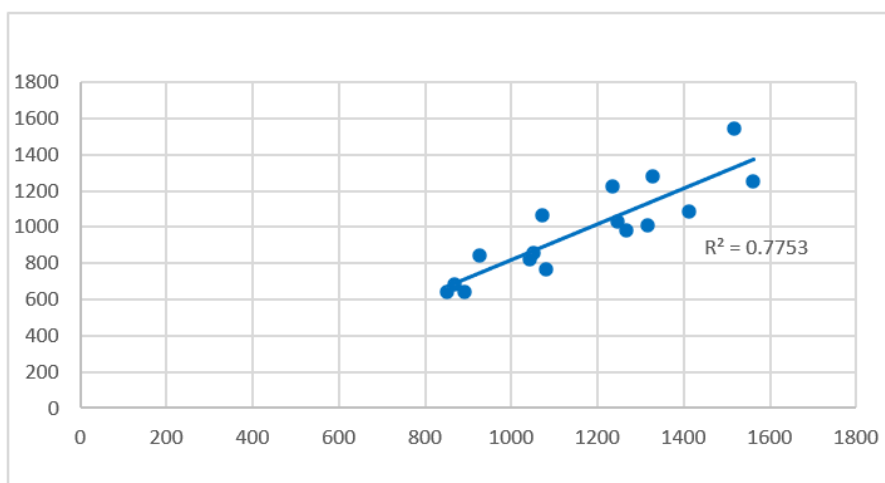
სურ. 2. მდ. ორხევის ზედაპირული წყლისათვის კორელაციური კავშირის ($r = 0.96$) დიაგრამა, სულფატ-იონებსა (X) და ნიტრატ-იონებს (Y) შორის



სურ. 3. მდ. ორხევის ზედაპირულ წყლისათვის კორელაციური კავშირის ($r = 0.91$) დიაგრამა, Ca^{2+} (X) და Mg^{2+} (Y) იონებს შორის



სურ. 4. მდ. ლოჭინის ზედაპირულ წყლისათვის კორელაციური კავშირის ($r = 0.98$) დიაგრამა, სულფატ-იონებსა (X) და მინერალიზაციას (Y) შორის



სურ. 5. მდ. ლოჭინის ზედაპირული წყლისათვის კორელაციური კავშირის ($r = 0.88$) დიაგრამა, მინერალიზაციასა (X) და ელექტროგამტარობას (Y) შორის

საკვლევი მდინარეებიდან აღებული ზედაპირული წყლების სინჯებზე ჩატარებული ჰიდროქიმიური ანალიზის საფუძველზე განსაზღვრულია კორელაციის კოეფიციენტები და შედგენილია 12-კომპონენტური კორელაციური მატრიცები, რომლებიც

ცხრილებშია (1 და 2) წარმოდგენილი, სადაც კორელაციის კოეფიციენტების ის მნიშვნელობები, რომლებიც მჭიდრო კორელაციურ კავშირზე მიუთითებს დაწვევილებულ ცვლადებს შორის, გამოყოფილია მუქი შრიფტით.

მდინარე ორხევის ზედაპირული წყლისათვის დადგენილი ჰიდროქიმიური
მახასიათებლების კორელაციური მატრიცა

კომპონენტები	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	მიწერა- ლოზაცია
Ca ²⁺	1.00											
Mg ²⁺	0.91	1.00										
Na ⁺ + K ⁺	0.26	0.09	1.00									
NH ₄ ⁺	0.72	0.8	0.39	1.00								
HCO ₃ ⁻	0.63	0.53	0.76	0.81	1.00							
CO ₃ ⁻²	-0.49	-0.7	-0.12	-0.66	-0.52	1.00						
Cl ⁻	0.77	0.65	0.62	0.73	0.73	-0.17	1.00					
SO ₄ ⁻²	0.87	0.79	0.64	0.80	0.85	-0.57	0.81	1.00				
PO ₄ ⁻²	-0.31	-0.12	-0.36	0.23	-0.05	-0.23	-0.35	-0.29	1.00			
NO ₃ ⁻	0.84	0.74	0.69	0.83	0.86	-0.42	0.93	0.96	-0.29	1.00		
NO ₂ ⁻	0.87	0.77	-0.11	0.52	0.31	-0.16	0.62	0.57	-0.22	0.58	1.00	
მიწერალოზაცია	0.46	0.41	0.90	0.64	0.85	-0.51	0.64	0.82	-0.21	0.81	0.02	1.00

მდინარე ლოჭინის ზედაპირული წყლისათვის სინჯებზე დადგენილი ჰიდროქიმიური
მახასიათებლების კორელაციური მატრიცა

კომპონენტები	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	მიწერა- ლოზაცია
Ca ²⁺	1.00											
Mg ²⁺	-0.43	1.00										
Na ⁺ + K ⁺	-0.43	0.52	1.00									
NH ₄ ⁺	-0.37	-0.26	0.15	1.00								
HCO ₃ ⁻	-0.58	0.26	0.90	0.34	1.00							
CO ₃ ⁻²	-0.48	0.68	0.69	0.11	0.74	1.00						
Cl ⁻	0.02	-0.43	0.19	-0.33	0.26	-0.24	1.00					
SO ₄ ⁻²	-0.55	0.88	0.77	-0.03	0.57	0.69	-0.21	1.00				
PO ₄ ⁻²	-0.76	0.28	0.70	-0.03	0.51	0.28	0.32	0.35	1.00			
NO ₃ ⁻	-0.84	0.67	0.77	-0.17	0.58	0.56	-0.17	0.65	0.85	1.00		
NO ₂ ⁻	0.76	-0.03	-0.36	-0.35	-0.48	-0.29	-0.17	-0.18	-0.53	-0.52	1.00	
მიწერალოზაცია	-0.59	0.82	0.86	-0.05	0.67	0.71	-0.04	0.98	0.45	0.73	-0.18	1.00

აღნიშნული ცხრილებიდან ჩანს, რომ პირდაპირპროპორციული ფუნქციური დამოკიდებულება მაღალი სანდოობით ($R^2 > 0.90$) მდ. ორხევის შემთხვევაში გამოვლენილია შემდეგ წყვილებს შორის: სულფატ-იონები და ნიტრატ-იონები; **მინერალიზაცია და Na^+/K^+ -იონები**; ნიტრატ-იონები და ქლორიდ-იონები, ხოლო მდ. ლოჭინის შემთხვევაში – მინერალიზაცია და სულფატ-იონები, ჰიდროკარბონატისა და Na^+/K^+ - იონები.

მდ. ლოჭინის შემთხვევაში დადებითი კორელაციის მაღალი მნიშვნელობა **დამაკმაყოფილებელი სანდოობით** ($R^2 > 0.80$) დამახასიათებელია შემდეგ წყვილებს შორის: ნიტრატ-იონები და ფოსფატ-იონები; მაგნიუმის იონები და სულფატ-იონები; მინერალიზაცია და მაგნიუმის იონები; მინერალიზაცია და Na^+/K^+ -იონები, ხოლო მდ. ორხევის შემთხვევაში – ნიტრატ-იონები და კალციუმის იონები, სულფატ-იონები და ჰიდროკარბონატ-იონები, ნიტრატ-იონები და ჰიდროკარბონატ-იონები, ასევე მინერალიზაციასა და ჰიდროკარბონატ-იონებს შორისაც.

აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ მდ. ლოჭინის საანალიზო სინჯებში მაღალი მნიშვნელობის უარყოფითი კორელაციური კავშირით ხასიათდება ნიტრატ-იონებისა და კალციუმის იონების წყვილი.

წყალში გახსნილი ქანგბადის დონეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მარილიანობა, რადგან მარილიანობის მომატებასთან ერთად ქანგბადის ხსნადობა წყალში საგრძნობლად მცირდება. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ცალსახად უნდა აღინიშნოს საკვლევი მდინარეების ზედაპირულ წყლებში კორელაციური უკუკავშირი გახსნილ ქანგბადსა და მარილიანობას შორისაც.

ჩატარებული კორელაციური ანალიზი ნათლად მიუთითებს, რომ მდინარე ლოჭინთან შედარებით, მდინარე ორხევის ანთროპოგენური დაბინძურება გამოხატულია უფრო მკვეთრად. ყოველივე ეს გამოწვეულია ორხევის დასახლებაში განთავსებული ტყავის გადამამუშავებელი არაერთი მცირე სიმძლავრის საწარმოს მხრიდან მდინარე ორხევაში ძლიერ დაბინძურებული ჩამდინარე წყლების სისტემატური და უკონტროლო ჩაშვებით.

აუცილებელია აღვნიშნოთ, რომ ცვლადებს შორის არაწრფივი კავშირის დროს კორელაციური კავშირი შესაძლებელია ნულის ტოლი იყოს [3]. ამიტომ, აღნიშნული შეუსაბამობის თავიდან ასაცილებლად, კორელაციური ფუნქციების ნაცვლად დისპერსიულ ფუნქციებს იყენებენ [4,5]. ორ შემთხვევით პროცესს შორის $y(t)$, $t \in T_y$, $x(s)$, $s \in T_x$ ურთიერთდისპერსიული ფუნქცია განისაზღვრება შემდეგი სახით:

$$Q_{yx}(t, s) = M\{[M\{Y_t|X_s\}^2 - M\{Y_t\}]^2\}. \quad (1)$$

თუ ცნობილია მათი განაწილების (სიმკვრივის) ფუნქციები, მაშინ (1) შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$Q_{yx}(t, s) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} y_t \varphi(y_t|x_s) dy_t \int_{-\infty}^{\infty} y_t \varphi(y_t) dy_t \right]^2 \varphi(x_s) dx_s, \quad (2)$$

სადაც $M\{y_t|x_s\}$ y_t შემთხვევითი ფუნქციის პირობითი მათემატიკური ლოდინია $x(s)$ მიმართ, $\varphi(x_s)$ და $\varphi(y_t)$ – შესაბამისად, $x(s)$ და $y(t)$ ერთგანზომილებიანი ალბათობების სიმკვრივეები, ხოლო $\varphi(y_t|x_s) - y(t)$ -ისა და $x(s)$ -ის მიმართ პირობითი ალბათობების სიმკვრივეები.

დისპერსიული ფუნქციები გვიჩვენებს ორ შემთხვევით ფუნქციას შორის ნებისმიერ კავშირს. იმ

შემთხვევაში, როდესაც $y(t)$ და $x(s)$ დამოუკიდებელია, (1)-ის თანახმად:

$$Q_{yx}(t, s) = M\{[M\{y_t\} - M\{y_t\}]^2\} = 0.$$

თუ ორი შემთხვევითი სიდიდე არადისპერსიულია, მაშინ ისინი არაკორელირებულიც იქნება. ცხადია, შებრუნებული დასკვნის გაკეთება არასწორია.

დისპერსიული ფუნქციის საშუალებით დგინდება არაწრფივობის ხარისხი $x(s)$ და $y(t)$ პროცესებს შორის.

არაწრფივობის ხარისხი იმ ოპერატორისა, რომელიც $x(s)$ პროცესს გარდაქმნის $y(t)$ პროცესად, შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$N_{yx}(t, s) = \sqrt{Q_{yx}^2(t, s) - R_{yx}^2(t, s)}.$$

პრაქტიკული ამოცანების გადაჭრისას, დისპერსიული ფუნქციის ნაცვლად, ხშირად იყენებენ დისპერსიული ფუნქციის ნორმირებულ მნიშვნელობებს:

$$q_{xx}(t, s) = \sqrt{\frac{Q_{xx}(t, s)}{D\{x(s)\}}}, \quad (3)$$

სადაც D დისპერსიის სიმბოლოა.

ნორმირებული დისპერსიული ფუნქცია $y(t)$ და $x(s)$ ორ შემთხვევით პროცესს შორის განისაზღვრება შემდეგი სახით:

$$q_{yx}(t, s) = \sqrt{\frac{Q_{yx}(t, s)}{D\{y(t)\}}}. \quad (4)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც y_t და x_s დამოუკიდებელია:

$$Q_{yx}(t, s) = M\{[M\{y_t\} - M\{y_t\}]^2\} = 0.$$

როდესაც $D\{y(t)\} \neq 0$, მაშინ (4)-ის თანახმად გვექნება: $q_{yx}(t, s) = 0$.

თუ y_t და x_s შორის წრფივი დამოკიდებულებაა, მაშინ

$$M\{y_t|x_s\} = a(t, s) + b(t, s)x_s. \quad (5)$$

მარტივი გარდაქმნებით მიიღება:

$$q_{yx}(t, s) = |b(t, s)| \frac{\sqrt{D\{x_s\}}}{\sqrt{D\{y_t\}}},$$

$$q_{yx}(t, s) = |R_{yx}(t, s)|. \quad (6)$$

როგორც სტატისტიკური ანალიზიდან ჩანს (სურ. 1-5), კორელაციური ანალიზი საკმაოდ ზუსტად იძლევა დასკვნის გაკეთების საშუალებას, რადგანაც ორ ცვლადს შორის კავშირი წრფივი დამოკიდებულების იდენტურია.

დასკვნა

ჩატარებული კორელაციური სტატისტიკური ანალიზით საკვლევი ობიექტების ზედაპირულ წყლებში გამოვლინდა მაღალი ხარისხის დადებითი და უარყოფითი კორელაციური კავშირები ძირითადი იონების კონცენტრაციებსა და ჰიდროქიმიურ ცვლად პარამეტრებს შორის. აქვე არ შეიძლება არ აღინიშნოს, რომ ორივე საკვლევი მდინარისათვის განსაკუთრებით ცალსახად გამოიკვეთა კორელაციური უკუკავშირი გახსნილ ქანგბადასა და მარილიანობას შორის, ხოლო წერტილოვანი გაზნების დიაგრამების მეშვეობით, რომლებიც აგებულია კორელაციური მატრიცული ცხრილების გამოყენებით, დადასტურდა მდ. ორხევის უფრო მკვეთრად გამოხატული ანთროპოგენური დაბინძურება, მდ. ლოჭინთან შედარებით, რაც, თავის მხრივ, განპირობებულია მდინარე ორხევის მიმდებარედ მომრავლებული ტყავგადამამუშავებელი მცირე საწარმოების საქმიანობით, რომლებიც აღნიშნულ მდინარეში დაბინძურებულ წყლებს უკონტროლოდ და სისტემატურად უშვებენ.

ლიტერატურა

1. Gvasalia, L. (2014). Fundamentals of the Theory of Technological Processes. Part II. Tbilisi: Publishing House „Technical University“.
2. Telia, T. & Motskobili, I. (2017). MS EXCEL in Economics and Business. Chapter II. Regression Equation – Analysis and Forecasting of Statistical Data, 2.3. Dialog Box Format Trendline; Auxiliary Textbook., Batumi State Maritime Academy; Tbilisi: Publishing House „Universal“.
3. Lazrieva, N., Mania, M., Mari, G., Mosidze, A., Toronjadze, A., Toronjadze, T. & Shervashidze, T. (2000). Probability Theory and Mathematical Statistics for Economists. Tbilisi: Foundation „Eurasia“.
4. Furtukhia, O. (2012). Probability Theory and Mathematical Statistics for Economists, Tbilisi: Tbilisi State University Publishing House.
5. Nasledov, A. (2013). IBM SPSS Statistics 20 and AMOS: Professional Statistical Data Analysis. St. Petersburg: Piter.

UDC 556.114.6 : 004.451.5

SCOPUS CODE 1508

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-2-100-110>

Correlation-statistical analysis of Hydrochemical Indicators of Anthropogenic Pollution of Surface Waters of Micro-tributaries of the Kura River – Lochini and Orkhevi

Jimsher Kerkadze	Department of Environmental Engineering and Ecology, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str. E-mail: j.kerkadze@gtu.ge
Giuli Jokhadze	Department of Chemical and Biological Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: g.jokhadze@gtu.ge
Irakli Rostomashvili	Department of Chemical and Biological Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: rostomashviliirakli@yahoo.com
Marina Kashibadze	Department of Interdisciplinary Informatics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: kashibadze.marina08@gtu.ge

Reviewers:

M. Akhobadze, Professor, Doctor of Technical Sciences, Faculty of Informatics and Management Systems, GTU
E-mail: m.akhobadze@gtu.ge

D. Eristavi, Professor, Candidate of Chemical Sciences, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU
E-mail: d.eristavi@gtu.ge

Abstract. Monitoring the condition of natural environment objects, identifying the sources of their pollution, and forecasting and analyzing their future condition are a highly relevant task.

In this article, a correlation-statistical analysis of the results of research monitoring the impact of two left microtributaries of the Kura River - Lochini and Orkhevi, located in the administrative borders of the city of Tbilisi - is presented.

As a result of field and laboratory hydrochemical analyzes of the surface waters of the above-mentioned facilities in various hydrological seasons of 2022-2024. Many experimental materials have been accumulated. Having systematized this material and identified the relationships between the main hydrochemical characteristics, it was possible to identify the river. More pronounced anthropogenic pollution of the river Orkhevi. Compared to Lochin, which, in turn, is caused by the uncontrolled and systematic discharge of polluted sewage into the river by small leather processing enterprises that have grown in the village of Orkhevi, Tbilisi.

Keywords: Correlation; Correlation coefficient; Dispersion function; Hydrochemical indicators regression coefficient; Surface water.

განხილვის თარიღი 24.01.2024

შემოსვლის თარიღი 28.01.2024

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 16.06.2025