

# ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენება წყლის რესურსების ეფექტიანი მართვისთვის

მზია კიკნაძე, ნატალია გაბაშვილი, ეკატერინე ბოჭორიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

[m.kiknadze@gtu.ge](mailto:m.kiknadze@gtu.ge), [n.gabashvili@gtu.ge](mailto:n.gabashvili@gtu.ge), [e.bochoridze@gtu.ge](mailto:e.bochoridze@gtu.ge)

## რეზიუმე

კლიმატის ცვლილება, მოსახლეობის ზრდა და ურბანიზაცია ქმნის მნიშვნელოვან გამოწვევებს წყლის რესურსების მართვის პროცესში. ტრადიციული მეთოდები ხშირად ვერ ასახავს ჰიდროლოგიური და კლიმატური პროცესების სირთულეს, რის გამოც საჭიროა ინოვაციური მიდგომების დანერგვა. ხელოვნური ინტელექტი (AI) წარმოადგენს ეფექტიან ინსტრუმენტს წყლის რესურსების მონიტორინგისა და პროგნოზირებისათვის. სტატია განიხილავს AI-ის მეთოდების გამოყენებას წყლის რაოდენობისა და ხარისხის ზუსტი პროგნოზირებისთვის.

კვლევის ფარგლებში ნაჩვენებია, რომ AI ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა ინტეგრირდეს სხვადასხვა წყაროდან მიღებული მონაცემები (მეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური, სატელიტური და IoT სენსორების), რაც ზრდის პროგნოზების სანდოობას.

შედეგები ცხადყოფს, რომ ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია წყლის რესურსების მართვაში არა მხოლოდ ზრდის გადაწყვეტილებების სიზუსტესა და ეფექტიანობას, არამედ ხელს უწყობს მდგრადი განვითარების სტრატეგიების განხორციელებას. ეს ქმნის წინაპირობას წყლის რესურსების სამართლიანი განაწილებისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების დაცვისათვის გლობალურ დონეზე.

**საკვანძო სიტყვები:** ხელოვნური ინტელექტი, წყლის რესურსები, პროგნოზირება, მანქანური სწავლება, ნეირონული ქსელები

## 1. შესავალი.

წყლის რესურსების ეფექტიანი მართვა წარმოადგენს გლობალურ გამოწვევას, რომლის მნიშვნელობა განსაკუთრებით იზრდება კლიმატის ცვლილებისა და მოსახლეობის ზრდის პირობებში. გარემოს დინამიკური ცვლილებები, ნალექების არათანაბარი განაწილება და ჰიდროლოგიური ციკლის დარღვევები ქმნის სერიოზულ რისკებს როგორც ეკოლოგიური, ისე სოციალურ-ეკონომიკური მდგრადობისთვის. აღნიშნული პროცესები საჭიროებს თანამედროვე, მონაცემებზე დაფუძნებულ მიდგომებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ წყლის რაოდენობისა და ხარისხის ზუსტ პროგნოზსა და ოპტიმალურ განაწილებას [1].

მოსახლეობის ზრდა, კლიმატის ცვლილება და ურბანიზაცია ზეწოლას ახდენს არსებულ წყალმომარაგების სისტემებზე, რაც აუცილებელს ხდის ინოვაციური მეთოდების დანერგვას. თანამედროვე ტექნოლოგიები, განსაკუთრებით ხელოვნური ინტელექტი (AI), ქმნის ახალ შესაძლებლობებს წყლის რესურსების მონიტორინგისა და ოპტიმალური გამოყენებისთვის.

ხელოვნური ინტელექტის (AI) ტექნოლოგიები იძლევა შესაძლებლობას რეალურ დროში დამუშავდეს მეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური, სატელიტური და სენსორული მონაცემები. ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმები, მათ შორის მანქანური სწავლება, ღრმა ნეირონული ქსელები და კომპიუტერული ხედვა, იძლევა მაღალი სიზუსტით პროგნოზის

შესაძლებლობას, ადგენს რთულ კავშირებს სხვადასხვა ფაქტორებს შორის და უზრუნველყოფს წყლის რესურსების მართვის პროცესის ოპტიმიზაციას.

AI-ზე დაფუძნებული მიდგომები არა მხოლოდ ხელს უწყობს წყალდიდობისა და გვალვის რისკების დროულ შეფასებას, არამედ ეფექტიანად ახორციელებს წყლის ხარისხის მონიტორინგს, დაბინძურების წყაროების იდენტიფიკაციასა და გრძელვადიანი კლიმატური ტენდენციების გათვალისწინებას. შედეგად, ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია ჰიდრომეტეოროლოგიურ ანალიზში წარმოადგენს მნიშვნელოვან ნაბიჯს მდგრადი განვითარების სტრატეგიების ჩამოყალიბებისა და წყლის რესურსების სამართლიანი განაწილების მიმართულებით.

## 2. ძირითადი ნაწილი.

**1. მონიტორინგი და პროგნოზირება.** მონიტორინგი და პროგნოზირება წარმოადგენს წყლის რესურსების მართვის სისტემის ფუნდამენტურ კომპონენტს, რომელიც განსაზღვრავს როგორც მოკლევადიან, ისე გრძელვადიან სტრატეგიულ გადაწყვეტილებებს. ტრადიციული მეთოდები მეტწილად ეფუძნება სტატისტიკურ ანალიზს და ემპირიულ მონაცემებს, რაც ხშირად ვერ ასახავს კლიმატური და ჰიდროლოგიური პროცესების კომპლექსურ და არაწრფივ ბუნებას. სწორედ აქ იძენს მნიშვნელობას ხელოვნური ინტელექტის (AI) მეთოდების ინტეგრაცია, რომელიც საშუალებას იძლევა სხვადასხვა წყაროებიდან აღებული მონაცემების (მეტეოროლოგიური სადგურები, ჰიდროლოგიური ობიექტები, სატელიტური სურათები, IoT სენსორები) ერთიანად დამუშავება და მოდელირება. ხელოვნური ინტელექტის საშუალებით შესაძლებელია [2,3]:

- **წყლის დონის ცვლილებების პროგნოზირება,** მდინარეთა და ტბების დინამიკის ანალიზის საფუძველზე.
- **ნალექების სეზონური ცვალებადობის გათვალისწინება.** რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სარწყავი სისტემებისა და ჰიდროენერგეტიკის დაგეგმვის პროცესში.
- **წყალდიდობისა და გვალვის რისკების შეფასება** ხდება ისტორიული და რეალური დროის მონაცემების ინტეგრირებული მოდელირების გზით.
- **კლიმატური ტენდენციების გრძელვადიანი შეფასება.** რაც საშუალებას იძლევა ჩამოყალიბდეს მდგრადი რესურსების მართვის სტრატეგიები.

კვლევებში ხშირად გამოიყენება მანქანური სწავლების მოდელები (წრფივი რეგრესია, Random Forest), ღრმა ნეირონული ქსელები და კომპიუტერული ხედვის მეთოდები. მათი დახმარებით შესაძლებელია რთული კავშირების იდენტიფიცირება, მყინვარების დნობისა და გვალვების ზუსტი განსაზღვრა, ასევე სატელიტური და დრონებით მიღებული მონაცემების ინტერპრეტაცია ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით.

**2. რესურსების ოპტიმიზაცია.** წყლის რესურსების ოპტიმიზაცია ერთ-ერთ ყველაზე კრიტიკულ ამოცანას წარმოადგენს თანამედროვე ეკონომიკური და ეკოლოგიური განვითარების პირობებში. ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება ამ პროცესში მნიშვნელოვნად ზრდის ეფექტიანობას, ვინაიდან შესაძლებელს ხდის წყლის განაწილებისა და მოხმარების პროცესის დეტალურ ანალიზსა და დანაკარგების მინიმიზაციას.

- **სოფლის მეურნეობაში** - AI-ს გამოყენება განსაკუთრებულ როლს ასრულებს სარწყავი სისტემების მართვაში. ნიადაგის ტენიანობის, ნალექების და ტემპერატურის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე, ალგორითმები განსაზღვრავენ სარწყავი რეჟიმის ოპტიმალურ პარამეტრებს. შედეგად, მცირდება წყლის ზედმეტი ხარჯვა და

იზრდება მოსავლიანობა, რაც პირდაპირ აისახება აგრარული სექტორის მდგრადობაზე.

- **ენერჯეტიკაში** - განსაკუთრებით ჰიდროელექტროსადგურების ოპერირებაში, AI გამოიყენება მდინარეთა დინების პროგნოზისა და ჰიდროლოგიური ციკლის მოდელირებისთვის. ეს უზრუნველყოფს ელექტროენერჯის გამომუშავების ოპტიმალურ რეჟიმს, რესურსების ზედმეტი ხარჯვის შემცირებას და ეკოლოგიური ბალანსის შენარჩუნებას.

რესურსების ოპტიმიზაციაში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება არა მხოლოდ ეკონომიკურ სარგებელს ქმნის, არამედ უწყობს ხელს ბუნებრივი გარემოს შენარჩუნებასა და ეკოლოგიური მდგრადობის უზრუნველყოფას.

**3. გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერა.** წყლის რესურსების მართვა მოითხოვს ეკონომიკური, ეკოლოგიური და სოციალური ფაქტორების გათვალისწინებას. AI ამ პროცესში მოქმედებს როგორც ანალიტიკური მექანიზმი:

- აფასებს წყლის მოხმარების სარგებელსა და ზიანს სხვადასხვა სექტორში;
- ქმნის სცენარიულ პროგნოზებს კლიმატური პირობების გათვალისწინებით (გვალვა, წყალდიდობა, ჭარბი ნალექი);
- ამცირებს გაუთვალისწინებელ რისკებს და ზრდის სტრატეგიული დაგეგმვის სიზუსტეს.

**4. წყლის ხარისხის კონტროლი.** წყლის რაოდენობასთან ერთად უმნიშვნელოვანესია მისი ხარისხის უზრუნველყოფა. AI გამოიყენება როგორც მონიტორინგისთვის, ისე პრევენციული ღონისძიებების დასაგეგმად:

- დაბინძურების წყაროების იდენტიფიკაციისთვის (pH, ტემპერატურა, მძიმე მეტალები, ტოქსიკური ნივთიერებები);
- რეალურ დროში მონაცემების დამუშავებისთვის IoT სენსორების დახმარებით;
- სატელიტური დაკვირვების საფუძველზე ეკოლოგიური პრობლემების (წყალმცენარეების ჭარბი გავრცელება, ნაპირების ეროზია) დროულად იდენტიფიკაციისთვის;
- პროგნოზირებადი მოდელების შესაქმნელად, რომლებიც მომავალ რისკებს ითვალისწინებს.

**ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმების გამოყენება**

- **Machine Learning (ML):** წრფივი რეგრესია და Random Forest ეფექტიანია მდინარეთა დინების პროგნოზში, ასევე წყალმცირობისა და წყალუხვობის რისკების შეფასებაში.
- **ნეირონული ქსელები:** იდენტიფიცირებენ რთულ და არაწრფივ კავშირებს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გრძელვადიანი კლიმატური ცვლილებების ანალიზში.
- **კომპიუტერული ხედვა (CV):** CNN-ის გამოყენებით ხდება სივრცითი მონაცემების ავტომატური ინტერპრეტაცია (ტბებისა და მდინარეების ფართობის ცვლილება, მცენარეების დნობა, გვალვების მასშტაბი).

განვიხილოთ წყლის ხარისხის პროგნოზირების ალგორითმი მანქანური სწავლების გამოყენებით.

წყლის ხარისხის პროგნოზირება წარმოადგენს ეკოლოგიური უსაფრთხოების და მდგრადი განვითარების ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას. ხელოვნური ინტელექტის მეთოდები, განსაკუთრებით მანქანური სწავლება, საშუალებას იძლევა დამუშავდეს მრავალი წყაროდან მიღებული მონაცემები. ანალიზის საფუძველზე შეფასდეს გარემოს მდგომარეობა და დროულად მოხდეს რისკების გამოვლენა.

**1. მონაცემთა შეგროვება (Data Collection).** ალგორითმის კონცეპტუალური საფუძველი ეფუძნება მონაცემთა მრავალფეროვანი წყაროებიდან მიღებული ინფორმაციის ინტეგრირებასა და ანალიტიკურ დამუშავებას. პროგნოზირების სიზუსტე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია როგორც ისტორიული, ისე რეალურ დროში შეგროვებული მონაცემების სინთეზზე, რაც საშუალებას იძლევა გარემოს დინამიკის უფრო სრულყოფილი შეფასება განხორციელდეს.

პროგნოზირების მოდელში გათვალისწინებულია შემდეგი ძირითადი პარამეტრები:

- **pH დონე** - წარმოადგენს წყლის მჟავიანობისა და ტუტეობის ბალანსის მნიშვნელოვან ინდიკატორს, რომლის მერყეობა მიუთითებს ეკოსისტემის ქიმიური სტაბილურობის ცვლილებებზე;
- **ტემპერატურა** - მოქმედებს როგორც ბიოქიმიურ პროცესებზე, ისე ჟანგბადის ხსნადობაზე წყალში, რაც განაპირობებს მიკრობიოლოგიური აქტივობის ინტენსივობას;
- **გახსნილი ჟანგბადი (DO)** - წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ პარამეტრს წყლის ეკოსისტემის სიცოცხლისუნარიანობის შესაფასებლად; მისი შემცირებული დონე ხშირად ასოცირდება ანოქსიურ პირობებსა და დაბინძურების მაღალი რისკით;
- **ტოქსიკური ნივთიერებები** - მოიცავს მძიმე მეტალებს (მაგალითად, ტყვია, მერკური), პესტიციდებსა და სხვა ქიმიურ დამაბინძურებლებს, რომლებიც ზემოქმედებენ როგორც წყლის ხარისხზე ისე ბიო მრავალფეროვნებაზე.
- **ნალექები** - ატმოსფერული ნალექის ინტენსივობა განსაზღვრავს ზედაპირული ჩამონადენის მოცულობას, რაც მნიშვნელოვანწილად განაპირობებს დაბინძურების გავრცელების მასშტაბს.

**2. მონაცემთა დამუშავება (Data Preprocessing).** მონაცემთა ხარისხი წარმოადგენს პროგნოზირების მოდელის სიზუსტისა და საიმედოობის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს. პრაქტიკაში შეგროვებული მონაცემები ხშირად შეიცავს ხარვეზებს, დუბლირებას ან შეცდომით დაფიქსირებულ მნიშვნელობებს, რაც ართულებს მოდელის სწორ ფუნქციონირებას. შესაბამისად, მონაცემთა წინამომზადების ეტაპი აუცილებელია მათი სტრუქტურისა და ანალიტიკური გამოყენებისათვის. მონაცემთა დამუშავების ძირითადი პროცესები მოიცავს:

- **დაკარგული მონაცემების შევსება (Imputation)** – მონაცემთა ნაკრებში არსებული ცარიელი მნიშვნელობები ჩანაცვლდება სტატისტიკური ან ალგორითმული მეთოდებით, მაგალითად, საშუალო ან მედიანური მნიშვნელობებით, ან K-უახლოესი მეზობლის (KNN) ალგორითმის მეშვეობით, რაც უზრუნველყოფს მონაცემთა მთლიანობას;
- **ჭარბი მნიშვნელობების აღმოჩენა (Outlier Detection)** – ამ ეტაპზე ხდება ისეთი უკიდურესი მნიშვნელობების იდენტიფიცირება და მოცილება, რომლებიც შეიძლება წარმოიშვას გაზომვის ან მონაცემთა შეგროვების შეცდომის შედეგად.
- **მონაცემების ნორმალიზაცია**, ყველა პარამეტრი მოყვანილია ერთიან მასშტაბზე (მაგალითად, [0,1] დიაპაზონში), რაც თავიდან იცილებს ცვლადებს შორის გავლენის არათანაბრობას და უზრუნველყოფს მოდელის სწორი სწავლების პროცესს.

**3. მოდელის არჩევა და ვარჯიში (Model Selection and Training).** მოდელის არჩევისა და ვარჯიშის ეტაპი წარმოადგენს პროგნოზირების სისტემის შემუშავების ცენტრალურ ფაზას, რომლის მიზანია ისეთი ალგორითმის შერჩევა, რომელიც მაქსიმალურად ზუსტად ასახავს

მონაცემთა შაბლონებსა და დამოკიდებულებებს. ამ პროცესში გამოიყენება დამუშავებული და ნორმალიზებული მონაცემები, რაც წარმოადგენს მოდელის სწორი სწავლების საფუძველს.

**მოდელის არჩევა (Model Selection)** - ამ ტიპის პროგნოზირების ამოცანებში ფართოდ გამოიყენება Random Forest და Gradient Boosting Machine (GBM) ალგორითმები. რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი სიზუსტითა და მდგრადობით მონაცემთა ვარიაციებისა და ხმაურის მიმართ [4].

მოდელის მიზანია ფუნქციის  $y = f(x_1, \dots, x_n; \theta)$  შექმნა, რომელიც ასახავს რეალურ მონაცემებს. მასში:

$x_1, \dots, x_n$ ; შესატანი პარამეტრებია, როგორცაა pH, ტემპერატურა, ჟანგბადი, ტოქსიკური ნივთიერებები, ნალექი);

$\theta$  — მოდელის პარამეტრებია

y-პროგნოზირებული შედეგი

- **Random Forest ალგორითმი** წარმოადგენს ისეთ მეთოდს, რომელიც აგებს მრავალ დამოუკიდებელ გადაწყვეტილების ხეს (Decision Tree). თითოეული ხე ქმნის ნაწილობრივ პროგნოზს, ხოლო საბოლოო შედეგი მიიღება მათი საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლით. ასეთი მიდგომა მნიშვნელოვნად ამცირებს ზედმეტი მორგების (**Overfitting**) რისკს და ზრდის მოდელის გენერალიზაციის უნარს;

- **Gradient Boosting Machine (GBM)** აგებს გადაწყვეტილების ხეებს თანმიმდევრულად, სადაც ყოველი ახალი ხე მიზნად ისახავს წინა ხეების შეცდომების კორექციას. შედეგად მიიღება მოდელი, რომელიც ახასიათებს მაღალი საპროგნოზო სიზუსტე და ადაპტირებადობა მონაცემთა რთულ სტრუქტურებთან.

**მოდელის დასწავლა (Training)** დასწავლის პროცესი მოიცავს მონაცემთა ნაკრების გაყოფას ორ ნაწილად:

- **საწვრთნელი ნაკრები (Training Set)**, რომელიც გამოიყენება მოდელის პარამეტრების დასახვეწად და შიდა შაბლონების ამოსაცნობად;

- **სატესტო ნაკრები (Testing Set)**, რომელიც გამოიყენება მოდელის საბოლოო შეფასებისთვის, რათა დადგინდეს, რამდენად ეფექტიანად ახერხებს ის ახალი, აქამდე უცნობი მონაცემების პროგნოზირებას.

ასეთი მიდგომა უზრუნველყოფს მოდელის ზოგადუნარიანობის შეფასებას და თავიდან იცილებს ზედმეტ მორგების რისკს, რაც მნიშვნელოვანია რეალურ პირობებში პროგნოზირების სანდოობისთვის.

**4. მოდელის შეფასება (Model Evaluation).** მოდელის შეფასება წარმოადგენს კრიტიკულ ეტაპს პროგნოზირების სისტემის განვითარების პროცესში, რადგან საშუალებას აძლევს განსაზღვროს მოდელის სიზუსტე, საიმედოობა და ზოგადუნარიანობა. ამ ეტაპზე ხდება შეფასება არა მხოლოდ სასწავლო მონაცემებზე, არამედ სატესტო და ხოლმე ვალიდაციის ნაკრებზეც, რაც უზრუნველყოფს რეალურ პირობებში მოდელის მოქნილობას.

მოდელის ხარისხის შეფასების ანალიზისთვის გამოიყენება შემდეგი ძირითადი პარამეტრები[4]:

- **სიზუსტე (Accuracy)**, განსაზღვრავს მოდელის მიერ სწორად პროგნოზირებული შემთხვევების წილს საერთო პროგნოზებთან მიმართებაში;

$$A = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

• **ზუსტობა (Precision)**, აჩვენებს, თუ რამდენად ზუსტია მოდელის დადებითი პროგნოზები. მაგალითად, თუ მოდელით განისაზღვრება, რომ წყალი დაბინძურებულია, რამდენად ხშირად არის ეს პროგნოზი სწორი.

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

**სისრულე (Recall)**, აჩვენებს, თუ ყველა რეალური დადებითი შემთხვევის (დაბინძურების) რამდენი პროცენტი აღმოაჩინა მოდელმა.

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

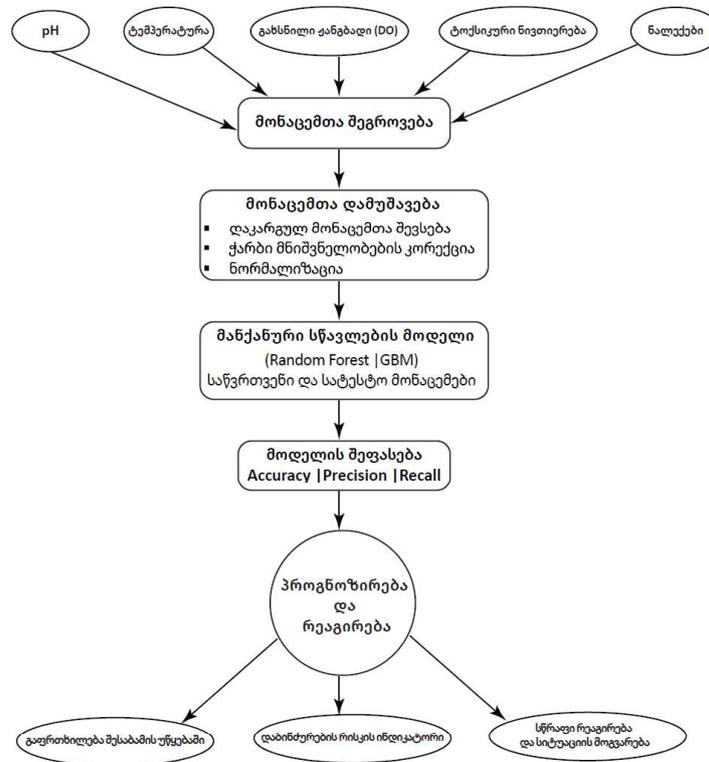
სადაც,

TP- სწორად გამოვლენილი დაბინძურებული შემთხვევები

TN- სწორად გამოვლენილი სუფთა შემთხვევები

FP- მცდარი დადებითი პროგნოზები

FN- აღმოუჩენილი რეალური დაბინძურება



### 5. პროგნოზირება და რეაგირება (Prediction and Response)

მოდელის შეფასებისა და ვალიდაციის დასრულების შემდეგ, სისტემა მზად არის რეალურ დროში გამოყენებისთვის, რაც საშუალებას იძლევა დროულად გამოვავლინოთ წყლის ხარისხის ცვლილებები და რეაგირება მოვახდინოთ ეკოლოგიურ საფრთხეებზე.

- **რეალურ დროში პროგნოზირება**, სენსორებიდან მიღებული მონაცემები მუდმივად მიეწოდება მოდელს, რომელიც ახდენს მათ ანალიზს და პროგნოზირებს წყლის ხარისხის სტატუსს.
- **გაფრთხილება**, თუ მოდელი პროგნოზირებს დაბინძურების მაღალ რისკს, იგი ავტომატურად აგზავნის შეტყობინებებს ან გაფრთხილებებს შესაბამის უწყებებს, მაგალითად, გარემოს დაცვის სააგენტოს;

- **რეაგირება**, სააგენტოებს შეუძლიათ დროულად მიიღონ საჭირო ზომები, როგორცაა წყლის ნიმუშების აღება, დაბინძურების წყაროს იდენტიფიცირება და შესაბამისი ღონისძიებების მიღება, რათა თავიდან იქნას აცილებული სერიოზული ეკოლოგიური პრობლემები.

ჩატარებულმა ანალიზმა ცხადყო ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების მაღალი პოტენციალი წყლის რესურსების მართვის პროცესში. წარმოდგენილი მასალები მიუთითებს, რომ AI ტექნოლოგიების გამოყენება – იქნება ეს მანქანური სწავლება, ღრმა ნეირონული ქსელები თუ კომპიუტერული ხედვა – მნიშვნელოვნად ზრდის როგორც პროგნოზების სიზუსტეს, ისე გადაწყვეტილების მიღების ეფექტიანობას. სხვადასხვა წყაროდან მიღებული მონაცემების ინტეგრაცია უზრუნველყოფს ჰიდროლოგიური და კლიმატური პროცესების კომპლექსურ ანალიზს, რაც ხელს უწყობს მდგრადი განვითარების სტრატეგიების ჩამოყალიბებას.

ამრიგად, კვლევის შედეგები ნათლად აჩვენებს, რომ ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია წყლის რესურსების მართვაში არა მხოლოდ აქტუალური, არამედ გარდაუვალი პროცესია, რომელიც უნდა გახდეს გარემოსდაცვითი და ეკონომიკური პოლიტიკის ერთ-ერთი პრიორიტეტული მიმართულება.

#### გამოყენებული ლიტერატურა:

1. **Mosavi, A., Edalati, M., Ardabili, S. (2020).** Machine Learning For Water Quality Prediction: A Review. **Applied Sciences.**
2. **Shen, Y., Et Al. (2021).** A Review Of Deep Learning Applications In Water Resources And Hydrology. **Water Research.**
3. **UNESCO World Water Assessment Programme (WWAP).** The United Nations World Water Development Report (ყოველწლიური გამოცემები).
4. [https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/classification/accuracy-precision-recall?utm\\_source=chatgpt.com](https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/classification/accuracy-precision-recall?utm_source=chatgpt.com) (ბოლოს გადამოწმ. 2025 წლის 20 სექტემბერი)
5. **Vollertsen, J., Et Al. (2018).** Real-Time Monitoring Of Water Quality Using Machine Learning On Sensor Data And Satellite Images. **Journal Of Cleaner Production.**
6. **Hossain, M. S., Et Al. (2022).** Iot And AI-Based Frameworks For Smart Water Management In Smart Cities: A Review. **IEEE Internet Of Things Journal**

## Using Artificial Intelligence Methods for Efficient Water Resources Management

Mzia Kiknadze, Natalia Gabashvili, Ekaterine Bochoridze

Georgian Technical University

[m.kiknadze@gtu.ge](mailto:m.kiknadze@gtu.ge), [n.gabashvili@gtu.ge](mailto:n.gabashvili@gtu.ge), [e.bochoridze@gtu.ge](mailto:e.bochoridze@gtu.ge)

#### Abstract

Climate change, population growth, and urbanization pose significant challenges to water resources management. Traditional methods often fail to capture the complexity and nonlinearity of hydrological and climatic processes, necessitating the adoption of innovative approaches. Artificial Intelligence (AI)

represents an effective tool for monitoring and forecasting water resources. This article discusses the application of AI methods—including machine learning, deep neural networks, and computer vision—for accurate prediction of water quantity and quality.

The study demonstrates that AI technologies enable the integration of data from diverse sources (meteorological, hydrological, satellite, and IoT sensors), enhancing the reliability of forecasts. Special attention is given to assessing changes in water levels, seasonal variability of precipitation, flood and drought risk evaluation, as well as water quality control and timely identification of pollution sources.

The results indicate that the integration of AI into water resources management not only increases the accuracy and efficiency of decision-making but also supports the implementation of sustainable development strategies. This creates a foundation for fair allocation of water resources and the protection of ecological safety on a global scale.

**Keywords:** artificial intelligence, water resources, forecasting, machine learning, neural networks