

**ACADEMIA OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMANIA**



**Monitorizarea eutrofizării din Delta Dunării pe baza  
algoritmilor de tip deep learning**

**- Științe geonomice -**

**- RAPORT INTERMEDIAR (AUGUST – DECEMBRIE 2024) -**

**Director Proiect**

**CS III dr. Sabin Rotaru**

**Membru Proiect**

**AC drd. Andrei Toma**

## I Introducere

**Calitatea apei** este o componentă critică a sănătății mediului, a bunăstării umane și a gestionării durabile a resurselor. În mod tradițional, monitorizarea calității apei a fost realizată prin prelevarea de probe din teren și analiza în laborator, metode care, deși precise, pot fi costisitoare, **consumatoare de timp** și limitate ca acoperire spațială și temporală. Pe măsură ce corpurile de apă la nivel global se confruntă cu provocări tot mai mari din cauza poluării, schimbărilor climatice și creșterii populației, există o nevoie tot mai mare de metode mai **eficiente, scalabile și rapide** de monitorizare a calității apei. Aici intervine teledetecția prin satelit, în special prin platforme precum **Sentinel-2 și Landsat**, care joacă un rol tot mai important.

### **Rolul imaginilor satelitare în monitorizarea calității apei**

Teledetecția prin satelit oferă o abordare revoluționară pentru monitorizarea calității apei. Prin captarea de imagini din spațiu, sateliții furnizează date aproape în timp real pe suprafețe spațiale vaste, permițând observarea continuă a corpurilor de apă la o scară imposibil de realizat prin metodele tradiționale. Datele satelitare oferă **imagini multispectrale**, adică surprind valorile de reflectanță pe mai multe benzi ale spectrului electromagnetic. Aceste benzi includ lungimile de undă din spectrul vizibil, infraroșu apropiat (NIR) și infraroșu cu lungime de undă scurtă (SWIR), care sunt deosebit de utile în detectarea și analiza diverselor parametri ai calității apei.

Parametrii cheie ai calității apei care pot fi monitorizați folosind datele satelitare includ:

1. **Concentrația de clorofilă-a:** Un indicator pentru înfloririle algelor, care reflectă nivelurile de nutrienți și eutrofizarea.
2. **Turbiditatea și materialele solide în suspensie:** Măsurate prin analiza dispersiei și absorbției luminii în apă.
3. **Materia organică dizolvată:** Ajută la identificarea prezenței poluanților organici.

### **Sentinel-2: Un satelit cheie pentru monitorizarea calității apei**

Dintre diversele misiuni satelitare, seria de sateliți **Sentinel-2**, parte a Programului Copernicus al Uniunii Europene, este deosebit de bine adaptată pentru monitorizarea calității apei. Combinația Sentinel-2 de **rezoluție spațială ridicată, capabilități multispectrale și frecvența mare de reîntoarcere** face din acesta un instrument puternic pentru monitorizarea mediului, inclusiv a corpurilor de apă interioare, cum ar fi lacurile, râurile, rezervoarele și zonele de coastă.

1. **Capabilități de imagistică multispectrală Sentinel-2** are 13 benzi spectrale, variind de la vizibil la infraroșu cu lungime de undă scurtă (SWIR), fiecare fiind proiectată pentru a surprinde caracteristici diferite ale mediului. Pentru monitorizarea calității apei, cele mai relevante benzi includ:
  - **Benzile vizibile (B2 – Albastru, B3 – Verde, B4 – Roșu):** Aceste benzi sunt esențiale pentru detectarea turbidității, clorofilei și fitoplanctonului.

- **Benzile Red-Edge (B5, B6, B7):** Sensibile la pigmentii vegetali și algali, aceste benzi sunt esențiale pentru estimarea concentrațiilor de clorofilă-a și detectarea înfloririlor algale nocive (HAB).
  - **Infraroșu apropiat (NIR, B8):** NIR este utilizat pentru monitorizarea clarității apei și detectarea materialelor în suspensie. De asemenea, este valoros pentru diferențierea suprafețelor de apă și sol.
  - **Infraroșu cu lungime de undă scurtă (SWIR, B11, B12):** Aceste benzi sunt utile pentru a distinge între diferite tipuri de corpuri de apă și pentru a detecta stresul apei, precum și pentru cartografierea materiei organice și a poluanților.
2. **Rezoluție spațială ridicată Sentinel-2** - furnizează date la o rezoluție spațială de 10 metri pentru benzile vizibile și NIR și la o rezoluție de 20 de metri pentru benzile Red-Edge și SWIR. Această rezoluție ridicată permite monitorizarea detaliată a chiar și celor mai mici corpuri de apă, cum ar fi râurile, lacurile și rezervoarele, oferind date mai detaliate despre schimbările din corpurile mari de apă.
  3. **Frecvență mare de reîntoarcere Sentinel-2** - are un ciclu de reîntoarcere de cinci zile la ecuator, ceea ce îmbunătățește acoperirea temporală și permite monitorizarea frecventă a proceselor dinamice din corpurile de apă, cum ar fi plumele de sedimente, înfloririle algelor sau evenimentele de poluare. Această frecvență ridicată de reîntoarcere este deosebit de utilă pentru monitorizarea evenimentelor tranzitorii, cum ar fi înfloririle algale bruște sau scurgerile de poluanți, și pentru crearea analizelor de serii temporale pentru a detecta tendințele pe termen lung.

**Parametrii de calitate a apei monitorizați cu datele Landsat** Sateliții Landsat, prin senzorii lor avansați, pot măsura diverși parametri cheie ai calității apei, cum ar fi:

1. **Concentrația de clorofilă-a:** Indicator al înfloririlor algale și al nivelurilor de nutrienți.
2. **Turbiditatea și materialele solide în suspensie:** Reflectă claritatea apei și prezența particulelor în suspensie.
3. **Temperatura de suprafață a apei:** Utilă pentru identificarea zonelor cu poluare termică și pentru analiza schimbărilor climatice.
4. **Materia organică dizolvată:** Indicativă pentru poluarea organică și starea ecosistemului.

**Landsat: O platformă esențială pentru monitorizarea calității apei** Seria Landsat, cu o tradiție de peste 50 de ani de observații spațiale, este una dintre cele mai longevive și fiabile resurse pentru monitorizarea mediului global. Cele mai recente misiuni, Landsat 8 și 9, integrează tehnologii avansate pentru colectarea datelor, fiind optimizate pentru o gamă largă de aplicații, inclusiv monitorizarea calității apei.

1. **Capabilități multispectrale** Sensorii Landsat, precum Operational Land Imager (OLI) și Thermal Infrared Sensor (TIRS), captează imagini în mai multe benzi spectrale, inclusiv în spectrul vizibil, infraroșu apropiat (NIR) și termic. Pentru monitorizarea calității apei, benzile relevante includ:
  - **Spectrul vizibil (B2 – Albastru, B3 – Verde, B4 – Roșu):** Util pentru analiza turbidității și detectarea algelor.
  - **Infraroșu apropiat (NIR, B5):** Indispensabil pentru determinarea clarității apei și a particulelor în suspensie.
  - **Infraroșu de lungime de undă scurtă (SWIR, B6 și B7):** Folosit pentru analiza compoziției apei și detectarea poluării.
  - **Bandă termică (TIRS):** Măsoară temperatura suprafeței apei, oferind informații despre încălzirea globală și impactul poluării termice.
2. **Rezoluție spațială și temporală** Landsat furnizează date la o rezoluție spațială de 30 de metri, suficient de detaliată pentru analiza corpurilor de apă de dimensiuni medii și mari, cum ar fi lacurile, râurile și estuarele. Frecvența de reîntoarcere a sateliților Landsat (16 zile) permite crearea de serii temporale care pot fi utilizate pentru a urmări tendințele de lungă durată în calitatea apei.
3. **Disponibilitate și accesibilitate** Datele Landsat sunt gratuite și disponibile prin intermediul platformelor de acces deschis, cum ar fi USGS Earth Explorer. Această accesibilitate facilitează monitorizarea frecventă a resurselor de apă.

## II Metodologie – conceperea modelului de calitate a apei pe baza U-Net

U-Net este o arhitectură de rețea neuronală profundă utilizată pe scară largă în teledetecție pentru segmentarea semantică a imaginilor satelitare, oferind performanțe remarcabile în aplicații precum clasificarea tipurilor de teren, detectarea corpurilor de apă, cartografierea utilizării terenurilor și analiza schimbărilor de-a lungul timpului. Arhitectura sa se bazează pe un design simetric de tip encoder-decoder, care permite extragerea și reconstrucția precisă a caracteristicilor spațiale și spectrale din imagini multispectrale și hiperspectrale. Encoder-ul constă dintr-o serie de blocuri convolutive, fiecare incluzând două straturi de convoluție 2D, urmate de funcții de activare ReLU, și operații de pooling care reduc dimensiunea imaginii, crescând simultan domeniul de percepție al rețelei. La fiecare etapă, numărul de filtre convolutive crește exponențial, de exemplu de la 64 la 128, 256 și 512, pentru a capta caracteristici din ce în ce mai complexe. Partea de bottleneck, situată la cea mai mică rezoluție, are rolul de a rafina reprezentările caracteristicilor extrase prin convoluții suplimentare, un aspect crucial pentru teledetecție, unde relațiile spectrale și spațiale complexe, cum ar fi diferențele dintre vegetație, apă și clădiri, sunt deosebit de importante. În partea de decoder, imaginile sunt

extinse progresiv prin operații de convoluții transpozate sau upsampling, iar conexiunile skip între encoder și decoder permit transferul direct al informațiilor spațiale detaliate pierdute în procesul de pooling, cum ar fi marginile clădirilor sau detaliile corpurilor de apă. Aceste conexiuni contribuie semnificativ la segmentarea precisă a detaliilor fine din imagini. Stratul final al U-Net constă într-o convoluție 1x1, care reduce numărul de canale la numărul de clase necesare pentru segmentare, urmat de o funcție de activare sigmoidă pentru segmentare binară sau softmax pentru segmentare multclasă. În contextul teledetecției, U-Net este adaptat pentru a procesa imagini satelitare mari, prin împărțirea acestora în plăci de dimensiuni mai mici, cum ar fi 256x256 sau 512x512, permițând gestionarea eficientă a dimensiunilor mari și procesarea pe GPU-uri. Imagistica multispectrală sau hiperspectrală poate fi integrată direct în arhitectură, fiecare bandă spectrală fiind tratată ca un canal suplimentar. Benzile spectrale esențiale, cum ar fi cele din spectrul NIR sau SWIR, sunt folosite pentru a detecta caracteristici specifice, cum ar fi vegetația, apa sau solul. Pentru a face față zgomotului din imaginile satelitare, cum ar fi umbrele sau norii, pot fi integrate mecanisme avansate, cum ar fi Attention U-Net, care prioritizează regiunile importante din imagini, îmbunătățind precizia segmentării. Aplicațiile U-Net în teledetecție sunt diverse și includ cartografierea utilizării terenurilor, monitorizarea corpurilor de apă și a calității acestora, detectarea schimbărilor cauzate de dezastre naturale, cum ar fi inundațiile sau incendiile, și analiza dinamicii urbane. Capacitatea de generalizare a modelului îl face robust în fața variațiilor din seturile de date, iar integrarea augmentării datelor, cum ar fi rotațiile, decupările sau reflecțiile, asigură performanțe ridicate chiar și în condiții de antrenare cu date limitate.

În cadrul acestui studiu, se utilizează o abordare bazată pe teledetecție pentru monitorizarea calității lacurilor din Delta Dunării, folosind imagini satelitare Sentinel-2 și Landsat. Tehnicile de prelucrare a datelor satelitare permit o evaluare rapidă și extinsă a parametrilor de calitate a apei, precum concentrația de clorofilă-a, sedimentele în suspensie și materia organică dizolvată. Pentru a asigura o acuratețe crescută a rezultatelor, datele satelitare sunt calibrate cu măsurători efectuate în teren pe lacuri reprezentative.

**Detalierea componentelor scriptului utilizat pentru detectarea automată a corpurilor de apă și estimarea concentrațiilor de clorofilă-a din imaginile Sentinel-2 (compatibilitate ridicată cu Landsat – diferă ordinea benzilor și pragurile spectrale):**

### **1. Valori prag pentru detectarea apei**

- **Praguri MNDWI (Indicele de Apă Normalizat Modificat) și NDWI (Indicele de Apă Normalizat):**
  - Scriptul definește praguri pentru detectarea corpurilor de apă. Pragurile sunt stabilite la 0,42 pentru MNDWI și 0,4 pentru NDWI, acestea fiind recomandate pentru Sentinel-2.

- Aceste praguri ajută la diferențierea apei de alte elemente terestre (zone urbane, sol expus).

## 2. Funcția de identificare a corpurilor de apă (WBI)

- Funcția **wbi()** calculează mai mulți indici legați de apă, inclusiv:
  - **NDVI (Indicele de Vegetație Normalizat)**: Utilizat pentru a diferenția între zonele vegetale și cele non-vegetale.
  - **MNDWI, NDWI**: Folosit pentru detectarea corpurilor de apă.
  - **AWEI (Indicele Automat de Extracție a Apei)**: Sunt calculate două versiuni, care ajută la detectarea apei în condiții variate.
- **Condiții pentru detectarea apei:**
  - Scriptul consideră un pixel ca reprezentând apă dacă anumite condiții sunt îndeplinite (de exemplu, valorile MNDWI sau NDWI depășesc pragurile sau se ating anumite valori AWEI).
  - Dacă sunt detectate zone urbane sau sol expus, aceste pixeli sunt filtrați.
- Rezultatul acestei funcții determină dacă un pixel reprezintă apă sau nu ( $ws = 1$  pentru apă,  $ws = 0$  pentru non-apă).

## 3. Vegetație plutitoare (FAI)

- Se calculează **FAI (Indicele Algărilor Plutitoare)**, care ajută la identificarea vegetației plutitoare, cum ar fi înfloririle algale.
- Acest calcul folosește trei benzi (B04, B07, B8A) și este deosebit de util pentru detectarea algelor plutitoare în corpurile de apă.

## 4. Detectarea clorofilei-a (NDCI)

- **NDCI (Indicele de Clorofilă Normalizat)** este folosit pentru a estima concentrația de clorofilă-a, un indicator al prezenței algelor.
- Formula:

$$NDCI = \frac{B05 - B04}{B05 + B04}$$

- Folosind această valoare NDCI, concentrația de clorofilă-a este estimată printr-o ecuație polinomială:

$$chl = 826,57 \times NDCI^3 - 176,43 \times NDCI^2 + 19 \times NDCI + 4,071$$

## 5. Redare în culori reale

- Dacă pixelul nu reprezintă apă, se returnează o reprezentare în culori reale (valorile RGB scalate cu un factor de 3).

## 6. Cartografiere în culori în funcție de concentrația de clorofilă

- Dacă un pixel reprezintă apă, scriptul verifică prezența vegetației plutitoare (FAI > 0,08). Dacă aceasta este adevărată, pixelul este redat într-o culoare roșu-portocalie.
- Pentru pixeli de apă fără vegetație plutitoare, scriptul categorizează concentrația de clorofilă-a în mai multe intervale, redând fiecare interval cu nuanțe diferite de albastru, verde, galben sau roșu, în funcție de concentrație.
- Scriptul este de uz general pentru detectarea nivelurilor de clorofilă-a și a corpurilor de apă și este conceput pentru a fi aplicat pe date satelitare, care pot acoperi cu siguranță corpuri de apă mari, cum ar fi Delta Dunării.
  - Indicii precum MNDWI și NDWI sunt eficienți pentru a distinge apa de uscat, iar utilizarea concentrației de clorofilă-a permite monitorizarea înfloririlor algale.

### **Detalierea componentelor scriptului utilizat pentru detectarea automată a corpurilor de apă și sedimentelor în suspensie și a materiei organice dizolvată, din imaginile Sentinel-2:**

Metodologia se concentrează pe calcularea a trei indici principali utilizând datele Sentinel-2: **Turbiditatea (NTU)**, **CDOM (Materia Organică Dizolvată Colorată, în  $\mu\text{g/L}$ )** și **Materialele Suspendate Totale (TSS, în  $\text{mg/L}$ )**. Acești indici sunt calculați prin următorii pași:

#### 1. Preprocesarea imaginilor Sentinel-2

Imaginile Sentinel-2 oferă date de înaltă rezoluție pentru multiple benzi spectrale, însă datele brute trebuie prelucrate pentru a asigura o analiză precisă a calității apei. Pașii de preprocesare includ:

- **Mascarea norilor:** Utilizând **Stratul de Clasificare a Scenei (SCL)**, scriptul identifică și maschează zonele acoperite de nori, asigurând că doar pixelii neacoperiți de nori sunt incluși în analiză.
- **Mascarea datelor:** Inputul dataMask este utilizat pentru a identifica pixelii validați pentru analiză, filtrând pixelii necorespunzători, precum cei contaminați de nori sau necorespunzători pentru apă.

#### 2. Detectarea apei cu NDWI (Indicele Normalizat al Apei)

Pentru a se asigura că analiza este aplicată doar asupra corpurilor de apă, scriptul calculează **Indicele Normalizat al Apei (NDWI)** folosind următoarea formulă:

$$NDWI = \frac{B03 - B08}{B03 + B08}$$

- **B03** este banda verde (Sentinel-2),
- **B08** este banda infraroșu apropiat (NIR).

Acest indice distinge apa de uscat exploatând absorbția puternică a luminii NIR de către apă și reflectarea puternică a luminii verzi. Dacă NDWI este **pozitiv**, pixelul este clasificat ca apă și va fi utilizat în analizele ulterioare.

### 3. Calculul Turbidității (Index 5)

**Turbiditatea** este o măsură a clarității apei și este influențată de prezența particulelor în suspensie, cum ar fi sedimentele, algele și materia organică. Turbiditatea ridicată reduce penetrarea luminii, afectând ecosistemele acvatice și calitatea apei.

Scriptul calculează turbiditatea folosind **benzile red-edge (B05) și blue (B02) ale Sentinel-2** cu următoarea formulă:

$$\text{Turbiditatea (NTU)} = 194.79 \times \left( B05 \times \left( \frac{B05}{B02} \right) \right) + 0.9061$$

Unde:

- **B05** (red-edge) este sensibilă la particulele în suspensie și încărcătura de sedimente,
- **B02** (blue) este utilizată pentru a estima efectele de dispersie în apă.

### Vizualizare:

- Valorile de turbiditate rezultate sunt mapate pe o scară de culori folosind funcția **colorBlend**, tranziționând de la **albastru** (turbiditate scăzută) la **roșu** (turbiditate ridicată).
- Această metodă permite identificarea zonelor din fluviul Dunărea cu încărcături mari de sedimente sau poluare, care pot fi legate de evenimente pluviale, scurgeri sau deversări industriale.

### 4. Calculul Materiei Organice Dizolvate Colorate (CDOM, Index 6)

**CDOM** se referă la molecule organice dizolvate în apă care influențează culoarea apei. CDOM poate proveni din material vegetal în descompunere, scurgeri agricole sau poluare organică și este un indicator al calității apei.

Scriptul calculează concentrațiile CDOM utilizând **benzile red (B04) și blue (B02) ale Sentinel-2**, după cum urmează:



$$\text{CDOM } (\mu\text{g/L}) = 2,4072 \times \left(\frac{B04}{B02}\right) + 0,0709$$

Unde:

- **B04** (red) și **B02** (blue) sunt utilizate deoarece CDOM absoarbe mai puternic lumina albastră decât cea roșie.

**Vizualizare:**

- Valorile CDOM sunt vizualizate de asemenea folosind funcția **colorBlend**, cu concentrații mai mici reprezentate de **albastru** și concentrații mai mari de **roșu**.
- Monitorizarea CDOM în Deltă este importantă pentru detectarea poluării organice, în special în zonele din aval de centrele agricole și urbane.

## 5. Calculul Materialelor Suspendate Totale (TSS, Index 7)

TSS reprezintă concentrația particulelor suspendate în apă, inclusiv sedimente, materie organică și poluanți. Nivelurile ridicate de TSS pot reduce penetrarea luminii și pot afecta negativ ecosistemele acvatice.

Scriptul calculează TSS utilizând **benzile red-edge (B07) și blue (B02) ale Sentinel-2** cu următoarea formulă:

$$\text{TSS (mg/L)} = 14,464 \times \left(\frac{B07}{B02}\right) + 16,336$$

Unde:

- **B07** (red-edge) este sensibilă la claritatea apei și materialele suspendate,
- **B02** (blue) este utilizată pentru sensibilitatea sa la dispersia materialelor suspendate.

**Vizualizare:**

- Valorile TSS sunt codificate în culori pentru a reprezenta intervalul de la **albastru** (TSS scăzut) la **roșu** (TSS ridicat), ajutând la identificarea zonelor cu încărcături mari de sedimente.
- Monitorizarea TSS în Deltă este importantă pentru gestionarea eroziunii, a depunerilor de sedimente și a sănătății habitatelor acvatice.

## 6. Blending-ul culorilor pentru vizualizare

După ce fiecare indice (Turbiditate, CDOM și TSS) este calculat, scriptul utilizează funcția **colorBlend()** pentru a vizualiza datele:

- Această funcție aplică scala de culori definită de utilizator, care tranziționează de la **albastru** pentru valorile mai mici (indicând o calitate bună a apei) la **roșu** pentru valorile

mai mari (indicând o calitate scăzută a apei sau concentrații ridicate ale parametrului măsurat).

- Fiecare indice este vizualizat pe baza scalei de culori, facilitând interpretarea distribuției spațiale a calității apei în cadrul sectoarelor relevante.

### **Eșantionarea datelor și antrenarea modelelor pentru segmentarea imagisticii satelitare**

Procesul de prelucrare a imaginilor satelitare pentru detectarea și segmentarea caracteristicilor specifice, cum ar fi nivelurile ridicate de clorofilă, implică o serie de pași esențiali.

### **Eșantionarea datelor pentru antrenare**

Pentru a antrena modele de segmentare semantică, cum ar fi U-Net, datele brute (fig. 1) trebuie prelucrate și organizate într-un format optim. În acest caz, imaginile satelitare preprocesate au fost împărțite în plăci (tiles) de dimensiuni  $256 \times 256$ , cu o suprapunere de  $128 \times 128$  (fig. 2). Această abordare asigură că fiecare zonă a imaginii este analizată detaliat și că marginile dintre clase sunt bine reprezentate în setul de date. Fiecare placă a fost salvată în format TIFF, ceea ce facilitează utilizarea datelor în aplicații GIS și în fluxurile de lucru pentru învățarea profundă.

O setare importantă în procesul de export al datelor a fost utilizarea unui sistem de referință geospațial standard (Map Space), care păstrează integritatea spațială între plăci. Această configurație permite integrarea ușoară a datelor în modele și menținerea coerenței în cazul aplicațiilor ce necesită analize geografice detaliate. De asemenea, datele clasificate au fost salvate cu metadata în format „Classified Tiles”, ceea ce permite o identificare precisă a fiecărei categorii în procesul de antrenare.



Figura 1. Exemplu de eşantioane prelevate dintr-o imagine din cubul multitemporal.

| Labeled Objects         | Export Training Data        |
|-------------------------|-----------------------------|
| Output Folder           | SIL2A\202412051300337381878 |
| Mask Polygon Features   | <input type="text"/>        |
| Image Format            | TIFF Format                 |
| Tile Size X             | 256                         |
| Tile Size Y             | 256                         |
| Stride X                | 128                         |
| Stride Y                | 128                         |
| Rotation Angle          | 30                          |
| Reference System        | Map space                   |
| Output No Feature Tiles | <input type="checkbox"/>    |
| Meta Data Format        | Classified Tiles            |

Figura 2. Detalii tehnice privind dimensiunile eşantioanelor.

Segmentarea semantică a imaginilor satelitare a fost realizată utilizând modelul U-Net, configurat pentru clasificarea pixelilor (fig. 3). Această arhitectură este ideală pentru detectarea

și segmentarea detaliată a caracteristicilor spațiale și spectrale din imagini, cum ar fi distribuția vegetației sau a corpurilor de apă. Pentru antrenare, a fost utilizat backbone-ul ResNet-152, care este recunoscut pentru capacitatea sa de a extrage caracteristici complexe și relevante din datele de intrare.

Configurarea procesului de antrenare a inclus mai multe aspecte critice:

- **Augmentarea datelor:** Pentru a crește diversitatea setului de antrenare și a evita supraantrenarea, au fost aplicate augmentări personalizate, inclusiv rotații ale imaginilor cu un unghi de 30 de grade.
- **Batch size:** Batch size-ul a fost setat la 8, o valoare optimă pentru utilizarea eficientă a resurselor GPU.
- **Validare:** 10% din datele de antrenare au fost rezervate pentru validare, iar metrica monitorizată a fost „validation loss”, ceea ce a permis o calibrare constantă a performanței modelului.

Pentru a preveni supraantrenarea, modelul a fost configurat să se oprească automat atunci când nu mai existau îmbunătățiri în performanță. De asemenea, opțiunea de „freeze model” a fost activată pentru a bloca straturile preantrenate, ceea ce reduce timpul de antrenare și crește eficiența procesului.

Model Type  
U-Net (Pixel classification) ▼

Model Arguments

| Name                 | Value                |
|----------------------|----------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> |

▼ Data Preparation

Data Augmentation  
Custom ▼

Batch Size

Validation %

▼ Advanced

Learning Rate

Backbone Model  
ResNet-152 ▼

Monitor Metric  
Validation loss ▼

Stop when model stops improving

Freeze Model

Figura 3. Alegerea modelului și antrenarea acestuia

## Concluzii

### 1. Utilitatea Teledeteției în Monitorizarea Calității Apei:

- Imaginile satelitare oferă o abordare revoluționară pentru monitorizarea calității apei, asigurând acoperire spațială și temporală extinsă. Platformele Sentinel-2 și Landsat facilitează observarea continuă a corpurilor de apă și oferă parametri esențiali pentru analiza calității apei, precum concentrația de clorofilă-a, turbiditatea și materia organică dizolvată.

### 2. Rolul Platformelor Sentinel-2 și Landsat:

- Sentinel-2 se remarcă prin rezoluția sa spațială ridicată, frecvența mare de reîntoarcere și capabilitățile multispectrale, fiind ideal pentru monitorizarea detaliată a corpurilor de apă mici și mari.

- Landsat, cu o tradiție de peste 50 de ani, furnizează date esențiale pentru analiza schimbărilor pe termen lung, contribuind semnificativ la înțelegerea dinamicii calității apei.

### **3. Aplicarea U-Net pentru Segmentarea Imaginilor:**

- Modelul U-Net este eficient pentru segmentarea semantică a imaginilor satelitare, oferind detalii precise asupra caracteristicilor spațiale și spectrale. Configurarea personalizată a modelului pentru acest studiu, inclusiv utilizarea backbone-ului ResNet-152 și augmentarea datelor, va asigurat rezultate robuste și precise.

### **4. Monitorizarea Parametrilor Cheie ai Apei:**

- Metodele utilizate, precum calculul indicilor NDWI, MNDWI, NDCI, și parametrii precum TSS, CDOM și turbiditatea, permit o evaluare rapidă și exactă a calității apei. Vizualizările codificate în culori facilitează interpretarea datelor și identificarea zonelor problematice.

### **5. Importanța Calibrării cu Măsurători de Teren:**

- Integrarea datelor satelitare cu măsurători de teren crește precizia evaluărilor și relevanța rezultatelor, mai ales în zone complexe precum Delta Dunării.

### **6. Implicarea în Gestionarea Durabilă a Resurselor de Apă:**

- Această metodologie sprijină identificarea rapidă a problemelor legate de poluare și schimbări ecologice, contribuind la decizii informate și intervenții eficiente pentru conservarea mediului.