CZU: 632.112:633/635(478:282.2) **https://doi.org/10.59295/sum6(186)2025_10**

UTILIZAREA IMAGINILOR SATELITARE ÎN MONITORIZAREA STRESULUI HIDRIC LA PLANTE. STUDIU DE CAZ – BAZINUL RÂULUI IALPUG

Iurie BEJAN, Rodion DOMENCO,
Universitatea de Stat din Moldova

Monitorizarea resurselor de apă și aprecierea stării hidrice a vegetației prin teledetecție reprezintă o metodă eficientă de evaluare a secetei și a impactului schimbărilor climatice. Studiul evaluează aplicabilitatea indicilor NDMI și NDWI în analiza stresului hidric la plante, utilizând imagini Sentinel-2 L2A pentru perioada martie–octombrie 2025, în bazinul râului Ialpug. Valorile NDMI au fost calculate și cartografiate în ArcMap 10.8.2, la o rezoluție de 10 m. Rezultatele indică o creștere a umidității vegetației până în iunie, urmată de o scădere accentuată în lunile de vară, specifică regiunilor semiaride. Hărțile medii NDMI arată predominanța stresului hidric moderat spre sever și evidențiază zonele cu reziliență ecologică ridicată, utile pentru managementul durabil al resurselor de apă.

Cuvinte-cheie: *NDMI, NDWI, stres hidric, Sentinel-2, secetă, Ialpug.*

USING SATELLITE IMAGERY TO MONITOR PLANT WATER STRESS: A CASE STUDY OF THE IALPUG RIVER BASIN

Remote sensing of water resources and vegetation moisture is an efficient method for assessing drought intensity and climate change impacts. This study evaluates the applicability of the NDMI and NDWI indices for detecting water stress in crops using Sentinel-2 L2A images from March to October 2025 in the Ialpug River Basin (southern Moldova). NDMI values were calculated and mapped in ArcMap 10.8.2 at 10-m resolution. Results show an increase in vegetation moisture until June, followed by a sharp decline during summer, typical of semiarid regions. Average NDMI maps reveal the predominance of moderate to severe water stress and highlight ecologically resilient areas that can support sustainable water management and adaptation strategies.

Keywords: *NDMI, NDWI, water stress, Sentinel-2, drought, Ialpug Basin.*

Introducere

Monitorizarea resurselor de apă reprezintă o componentă critică în managementul mediului, asigurând o bază științifică pentru utilizarea durabilă a resurselor naturale. Aceasta presupune evaluarea continuă a dinamicii apelor de suprafață și subterane, precum și a cantității și calității acestora. Ultimele estimări (ale EUWI+ East) [1] arată că resursele medii multianuale disponibile de ape de suprafață în limitele bazinului râului Ialpug sunt de numai 0.04 km³. În același timp, schimbările climatice din perioada 1991-2020 denotă o creștere a temperaturii aerului (cu 1.1... 1.5°C) și o menținere relativ constantă a cantităților anuale de precipitații, ceea ce determină intensificarea proceselor de aridizare [2]. În acest context, devine esențială monitorizarea resurselor de apă și a stării hidrice a vegetației prin metode moderne, bazate pe observații satelitare.

În ultimul deceniu, utilizarea indicilor spectrali în analiza stresului hidric s-a extins semnificativ la nivel internațional. Studii realizate de Gao [3], Ceccato et al. [4], Gu et al. [5] au demonstrat o corelație strânsă între indicii NDMI (Normalized Difference Moisture Index) și NDWI (Normalized Difference Water Index) și conținutul de apă al vegetației, confirmând aplicabilitatea acestora în monitorizarea secetei și evaluarea stării ecosistemelor. Acești indici sunt frecvent integrați în platforme operaționale de teledetecție precum Copernicus Sentinel și MODIS, oferind informații de înaltă rezoluție spațială și temporală pentru gestionarea durabilă a resurselor de apă.

Cercetările lui Ceccato et al. [4] au oferit baza teoretică pentru dezvoltarea indicilor spectrali destinați evaluării conținutului de apă din vegetație. Rezultatele au demonstrat că utilizarea combinată a benzilor

NIR și SWIR permite detecția precisă a variațiilor umidității vegetației. Aceste contribuții au consolidat rolul indicilor NDMI și NDWI ca instrumente de teledetecție esențiale pentru monitorizarea stresului hidric, întrucât aceștia valorifică diferențele de reflectanță dintre benzile NIR și SWIR, sensibile la starea fiziologică a vegetației și la umiditatea solului.

La scară continentală, analiza efectuată de Ionița & Nagavciuc [6] pentru perioada 1901-2019 a evidențiat o intensificare a proceselor de aridizare în Europa Centrală și în regiunea Mediteraneeană, concomitent cu o creștere a umidității în nordul continentului. Studiul arată că, în ultimele trei decenii, temperatura aerului și evapotranspirația potențială au devenit factori dominanți în declanșarea secetelor, în timp ce rolul precipitațiilor a scăzut considerabil.

Aceste tendințe confirmă că regiunile din sud-estul Europei, inclusiv sudul Republicii Moldova, se încadrează între arealele cele mai vulnerabile la secete hidrologice și agricole, unde indicii tradiționali, bazați exclusiv pe precipitații, nu mai surprind corect intensitatea deficitului de umiditate. În acest context, utilizarea indicilor NDMI și NDWI, care integrează reflectanțele spectrale asociate conținutului de apă din vegetație și din sol, devine o metodă eficientă pentru evaluarea stresului hidric în ecosistemele agricole semiaride.

În România, țară cu condiții climatice similare celor din Republica Moldova, analiza secetei prin teledetecție s-a dezvoltat considerabil în ultimele două decenii, numeroase cercetări demonstrând potențialul indicilor NDMI și NDWI și NDDI (Normalized Difference Drought Index) pentru evaluarea stresului hidric și a condițiilor agroclimatice. Studii recente [7, 8, 9, 10] au evidențiat rolul major al imaginilor Sentinel și MODIS în identificarea episoadelor de secetă, în special în sudul și estul României, unde frecvența și intensitatea acestora au crescut semnificativ după 1990.

Un aport deosebit aduce studiul lui Dobri et al. [11], care a analizat frecvența și severitatea secetelor din România prin intermediul NDDI, calculat pe baza imaginilor MODIS pentru perioada 2001–2020. Rezultatele au arătat o expunere accentuată la secetă a regiunilor de câmpie și podiș din sud-estul țării (Bărăgan, Dobrogea, Podișul Moldovei), confirmând corelațiile negative dintre NDDI și precipitațiile anuale și subliniind valoarea indicilor spectrali derivați (NDMI, NDWI, NDDI) pentru evaluarea stresului hidric la nivel regional. Aceste rezultate sunt în concordanță cu tendințele observate și în sudul Republicii Moldova, unde regimul pluviometric redus și evapotranspirația sporită favorizează procesele de aridizare.

În Republica Moldova, unde resursele de apă sunt limitate și variabilitatea climatică este ridicată, utilizarea datelor satelitare reprezintă o soluție rapidă și rentabilă pentru evaluarea stresului hidric și completarea rețelei de observații meteorologice. Monitorizarea spectrală a vegetației permite o detecție timpurie a perioadelor de secetă, facilitând adoptarea unor măsuri de răspuns de adaptare în agricultură și silvicultură.

În acest context, prezentul studiu își propune să evalueze performanța și utilitatea indicilor spectrali NDMI și NDWI în monitorizarea suprafețelor acvatice și a conținutului de apă din vegetație. Scopul principal este de a analiza variația spațială și temporală a valorilor NDMI în perioada martie–octombrie 2025 și de a identifica sectoarele cu stres hidric accentuat din cadrul bazinului râului Ialpug. Cercetarea oferă, totodată, un cadru metodologic aplicabil și altor bazine hidrografice din zone semiaride ale Republicii Moldova și Europei de Sud-Est.

Metode și materiale aplicate

În calitate de obiect de studiu a fost selectat bazinul râului Ialpug, situat în extremitatea sudică a Republicii Moldova, cu o suprafață totală de 3198,96 km² (fig. 1). Conform Programului de gestionare a resurselor de apă pentru Districtul Dunărea-Prut și Marea Neagră [1], bazinul Ialpug este subdivizat în 18 corpuri de apă de suprafață (subbazine), utilizate ca unități de analiză în cadrul acestui studiu (fig. 2). Bazinul este caracterizat printr-un climat continental semiarid, cu precipitații medii multianuale de 450-575 mm (fig. 3) și temperaturi medii de 10,5-11°C. Distribuția spațială a precipitațiilor prezintă un gradient nord-sud, cu valori mai ridicate în partea nordică (peste 550 mm) și minime sub 500 mm în sud. Această diferență pluviometrică explică vulnerabilitatea hidrică mai accentuată a subbazinelor sudice și centrale, unde se manifestă frecvent procese de aridizare și stres hidric la vegetație.

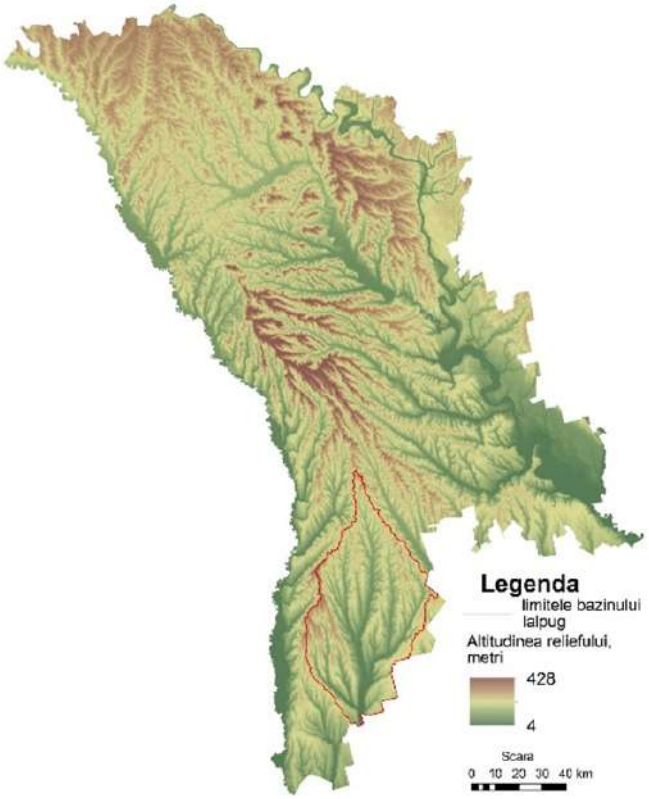


Figura 1. Poziția bazinului râului Ialpug

Relieful prezintă altitudini cuprinse între 180 m în nord și 20-30 m în sud, fiind dominat de versanți cu pante line și o rețea hidrografică slab dezvoltată. Ponderea terenurilor agricole și a plantațiilor multianuale este de aproximativ 69%, conform estimărilor Land Cover Explorer (2024), ceea ce justifică interesul pentru monitorizarea stresului hidric la culturile agricole.

Pentru analiza indicilor NDMI și NDWI s-au utilizat imagini Sentinel-2 L2A (nivel de procesare corectat atmosferic) descărcate din platforma Copernicus Data Space Ecosystem (https://browser.dataspace.copernicus.eu/). Au fost selectate opt date satelitare corespunzătoare lunilor martie - octombrie 2025: 22 martie, 21 aprilie, 21 mai, 20 iunie, 25 iulie, 27 august, 21 septembrie și 20 octombrie. Toate rasterele au fost reproiectate în sistemul ETRS89 / UTM Zone 35N și uniformizate la o rezoluție spațială de 10 m.

Pentru toate scenele s-a impus criteriul de nebulozitate sub 5%, asigurând calitatea ridicată a produselor raster. Imaginile au fost procesate în ArcMap 10.8.2, utilizând extensia Spatial Analyst. Zonele de interes au fost decupate conform limitelor hidrografice ale bazinului Ialpug. Pentru fiecare set de date au fost calculați doi indici spectrali fundamentali:

NDMI = **(B08 - B11) / (B08 + B11)** (1)

NDWI = **(B03 - B08) / (B03 + B08)** (2)

unde B3 reprezintă banda verde (0,56 μm), B8 – infraroșu apropiat (0.84 μm), iar B11 – infraroșu cu unde scurte (1.61 μm).

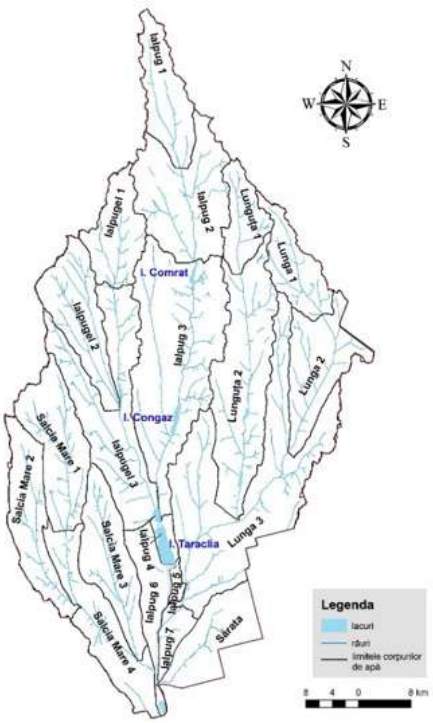


Figura 2. Corpurile de apă de suprafață din cadrul bazinului râului Ialpug



Figura 3. Distribuția precipitațiilor medii multianuale (1991–2020) în bazinul râului Ialpug

Utilizarea indicelui **NDMI** permite gestionarea proactivă a stresului hidric la plantele de cultură. Indicele de umiditate cu diferență normalizată (NDMI) este o metodă de referință pentru detectarea stresului hidric la culturi și optimizarea irigării. Acesta ne permite să determinăm conținutul de apă în vegetație prin combinarea reflectanței în infraroșu apropiat (near-infrared) și infraroșu cu unde scurte (short-wave infrared) într-o formulă dovedită științific [12].

Pentru fiecare raster NDMI s-au calculat valorile medii, minime, maxime și abaterea standard la nivelul celor 18 subbazine, utilizând instrumentul Zonal Statistics as Table. Datele au fost centralizate într-un fișier Excel pentru analiza temporală a variației NDMI în perioada martie–octombrie 2025.

Valorile indicelui NDMI pot varia în intervalul de la -1 la +1 (Tabel 1). Interpretarea valorilor s-a realizat conform pragurilor utilizate în literatura de specialitate: valorile mai mari indică o vegetație sănătoasă și cu surplus de umiditate, în timp ce valorile mai mici sugerează o stare de secetă sau de stres hidric [12].

Tabelul 1. Interpretarea valorilor NDMI

Interval NDMI	Interpretare
-1 până la -0.8	sol gol / lipsit de orice vegetație
-0.8 până la -0.6	vegetație aproape absentă
-0.6 până la -0.4	vegetație ocazională / acoperire cu vegetație foarte rară
-0.4 până la -0.2	acoperire rară cu vegetație, care este uscată
-0.2 până la 0	acoperire moderat-rară cu vegetație, stres hidric ridicat sau acoperire rară cu stres hidric scăzut
0 până la 0.2	acoperire medie cu vegetație, stres hidric ridicat sau acoperire moderat-rară, cu stres hidric scăzut
0.2 până la 0.4	acoperire moderat-ridicată cu vegetație, stres hidric ridicat sau acoperire medie cu stres hidric scăzut
0.4 până la 0.6	acoperire densă cu vegetație, fără stres hidric (fără secetă)
0.6 până la 0.8	acoperire foarte densă cu vegetație, fără stres hidric
0.8 până la 1	acoperire compactă / completă cu vegetație, fără stres hidric/cu surplus de apă

Pe baza acestor praguri s-au delimitat clasele de condiții hidrice, reprezentate cartografic și analizate statistic pentru fiecare lună. Evoluția lunară a indicelui NDMI a fost examinată atât la nivel de bazin, cât și pe subbazine, pentru a evidenția diferențele spațiale și tendințele sezoniere.

NDWI, indicele normalizat diferențiat a apei este utilizat pentru a monitoriza schimbările legate de suprafața corpurilor de apă. Deoarece corpurile de apă absorb puternic lumina în spectrul electromagnetic vizibil până la infraroșu, NDWI utilizează benzi verzi și infraroșu apropiat pentru a evidenția corpurile de apă [13].

Indicele NDWI a fost calculat pentru aceleași perioade și scene satelitare, având rolul de a identifica modificările suprafețelor acvatice din interiorul bazinului și de a evalua relația dintre disponibilitatea apei de suprafață și stresul hidric al vegetației. Corelarea spațială NDMI-NDWI a fost analizată prin suprapunerea rasterelor derivate, oferind o imagine complexă asupra interacțiunilor dintre vegetație și regimul hidric local.

Rezultate și discuții

Analiza valorilor medii ale indicelui NDMI pentru perioada martie-octombrie 2025 evidențiază o variabilitate pronunțată atât în plan temporal, cât și spațial la nivelul subbazinelor componente ale bazinului râului Ialpug. Evoluția lunară a NDMI (fig. 4) indică o creștere progresivă a umidității vegetației în prima parte a sezonului de vegetație, urmată de o diminuare accentuată în a doua jumătate a anului.

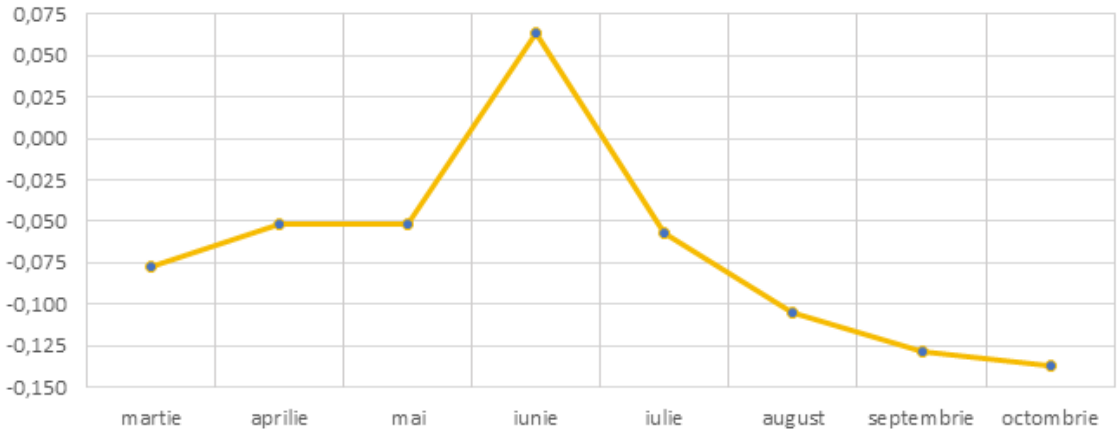


Figura 4. Evoluția lunară a indicelui NDMI – Bazinul Ialpug (martie - octombrie 2025)

Valorile medii negative din lunile martie (-0.078) și aprilie (-0.052) sugerează o stare de stres hidric sever, specifică începutului de sezon, când solurile sunt reci, iar vegetația se află în faza de regenerare. În lunile mai și iunie, NDMI înregistrează o redresare evidentă, atingând un maxim de +0.064 în iunie, ceea ce reflectă condiții hidrice favorabile și o stare fiziologică optimă a covorului vegetal.

Ulterior, în iulie valorile NDMI scad brusc (-0.057), marcând reactivarea stresului hidric, care se accentuează în august (-0.105) și septembrie (-0.129). În octombrie, NDMI atinge minime de -0.138, indicând persistența secetei pedologice și reducerea activității vegetative.

Această evoluție este tipică regiunilor semiaride din sudul Republicii Moldova, unde precipitațiile estivale au distribuție spațio-temporală foarte fragmentată, iar evapotranspirația potențială atinge valori maxime în lunile iulie-august. Rezultatele obținute sunt în concordanță cu tendințele evidențiate de Ioniță & Nagavciuc [6] și Dobri et al. [11], care semnalează o creștere a frecvenței episoadelor de secetă severă în sud-estul Europei în ultimele două decenii.

Harta valorilor medii NDMI (fig. 5) evidențiază o distribuție spațială neuniformă a stresului hidric în interiorul bazinului râului Ialpug. Valorile se înscriu în intervalul -0.094...-0.032, indicând o predominanță a condițiilor de stres hidric moderat, specifice zonelor agricole din sudul Republicii Moldova.

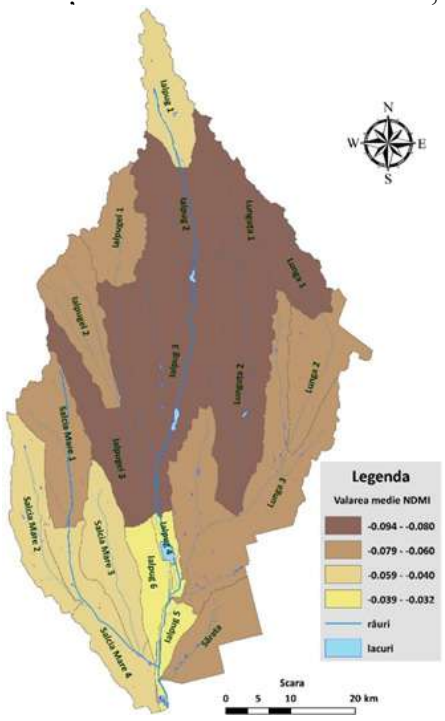


Figura 5. Distribuția pe corpuri de apă a valorilor medii ale NDMI

Cele mai scăzute valori NDMI (-0.094 ... -0.080) sunt înregistrate în subbazinele Ialpug 2-3, Ialpugel, Lunga 1 și Lunguța 1-2, situate predominant în zona centrală și estică a bazinului, unde precipitațiile sunt mai reduse și evapotranspirația ridicată.

Subbazinele Lunga 2-3, Sărata și Salcia Mare 1 - prezintă valori ușor mai ridicate (-0.079...-0.060), corespunzătoare unui stres hidric moderat, cu o ușoară ameliorare a condițiilor de umiditate datorată reliefului mai jos și apropierii de albiile râurilor.

Cele mai favorabile condiții hidrice sunt observate în subbazinele Ialpug 4-6 și Salcia Mare 2-4, unde NDMI atinge valori de -0.059...-0.032. Acestea coincid cu sectoarele sudice și vestice ale bazinului, caracterizate prin drenaj mai bun, acumulări locale de umiditate și o vegetație mai densă.

Distribuția spațială confirmă existența unui gradient nord-sud și vest-est al umidității vegetației, cu zone de stres hidric accentuat în centrul bazinului și condiții ceva mai favorabile la periferii.

Această configurație reflectă influența combinată a factorilor geomorfologici (pante, altitudine) și a caracteristicilor de utilizare a terenurilor, fiind în deplină concordanță cu tiparele identificate prin NDMI în regiunile sud-estice ale României [7, 11].

Harta mediei NDMI pentru perioada martie-octombrie 2025 (fig. 6) oferă o imagine sintetică asupra distribuției condițiilor de umiditate în cadrul bazinului. Valorile variază între -0.35 și +0.28, fără apariția unor zone cu umiditate excesivă (NDMI > 0.3).

Suprafețele corespunzătoare intervalului -0.35...-0.2 și -0.19...0.0 acoperă circa 85%, caracterizând terenurile cu vegetație afectată de deficit de apă. Zonele cu valori pozitive ale NDMI (0.01-0.28) se concentrează de-a lungul albiilor majore și zonelor depresionare, în special:

- în sectorul sud-vestic (confluența subbazinelor Lunga și Ialpug inferior),
- în partea central-estică, unde sunt prezente lunci umede și fâșii de vegetație naturală,
- izolat, în nordul bazinului, la contactul cu relieful colinar.

Aceste areale corespund unor microzone de reziliență ecologică, unde aportul freatic și acumulările temporare de apă contribuie la menținerea umidității solului. Contrastul pronunțat între ”NDMI negativ” și ”NDMI pozitiv” evidențiază asimetria est-vest a regimului hidric: partea vestică, mai înaltă, înregistrează o pierdere rapidă a apei prin scurgere și evapotranspirație, în timp ce partea estică, mai joasă, conservă mai eficient umiditatea.

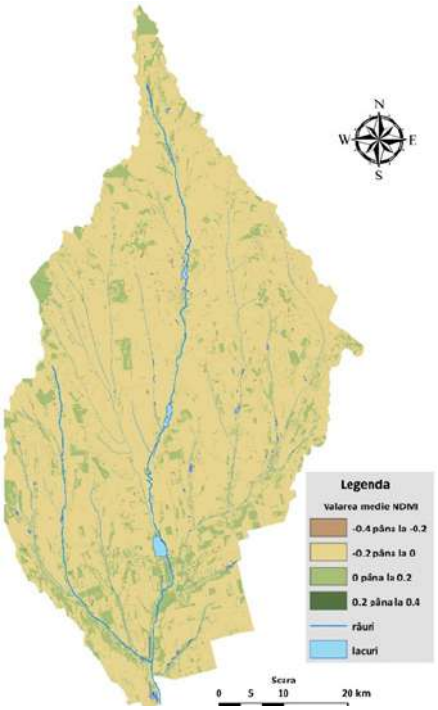


Figura 6. Valorile medii NDMI, perioada martie-octombrie 2025

Compararea indicilor NDMI și NDWI a evidențiat o corelație pozitivă între valorile ridicate ale NDMI și prezența corpurilor de apă identificate de NDWI, confirmând relația directă dintre disponibilitatea apei de suprafață și starea hidrică a vegetației. Zonele cu NDWI pozitiv (>0.1) coincid cu albiile principale și lacurile de acumulare (Ialpug, Lunga, Comrat), susținând ipoteza că vegetația din proximitatea surselor de apă menține o stare fiziologică mai bună.

Analiza a fost validată prin compararea valorilor NDMI cu datele climatice lunare furnizate de SHS (stațiile Cahul, Comrat, Ceadîr-Lunga), evidențiind o corelație negativă între NDMI și temperatura medie și una pozitivă între NDMI și cantitățile de precipitații. Această corelație confirmă sensibilitatea ridicată a indicelui NDMI la variațiile hidrice, aspect subliniat și de Gu et al. [5] și Berca & Horoias. [10] în studiile realizate pentru Europa de Sud-Est.

Evoluția suprafeței corpurilor de apă în perioada martie-octombrie 2025, determinată pe baza indicelui NDWI, confirmă tendința generală de diminuare a resurselor de apă disponibile în bazinul râului Ialpug (fig. 7).

Suprafața totală a corpurilor de apă a înregistrat valori maxime în lunile martie-aprilie (peste 19-20 mil. m²), urmate de o reducere treptată până în luna septembrie, când s-au atins valori minime, sub 13 mil. m². Creșterea din octombrie reflectă acumulările temporare rezultate din precipitațiile de toamnă.

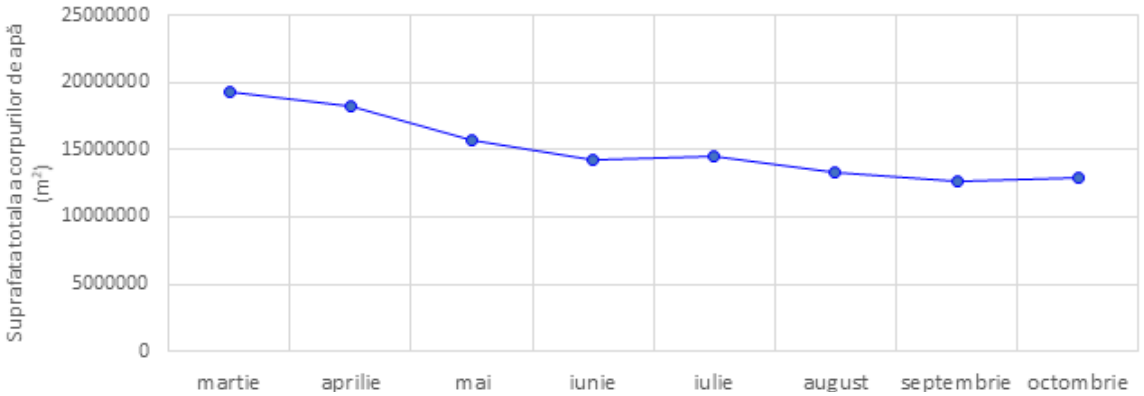


Figura 7. Evoluția suprafeței totale a corpurilor de apă (martie-octombrie 2025) în bazinul râului Ialpug

Dinamica NDWI este, astfel, în concordanță cu evoluția NDMI, indicând un regim hidric deficitar în a doua jumătate a perioadei de vegetație. Această corelație confirmă interdependența dintre resursele de apă de suprafață și starea hidrică a vegetației, aspect evidențiat anterior și de Gu et al. [5] pentru zonele semiaride din Europa de Sud-Est.

Rezultatele obținute confirmă eficiența utilizării indicilor NDMI și NDWI pentru monitorizarea stresului hidric la scară regională. Evoluția temporală a NDMI evidențiază un ciclu anual al umidității vegetației, controlat de regimul pluviometric și de evapotranspirația sezonieră, cu un vârf de umiditate în iunie și minime persistente în august-octombrie. Distribuția spațială subliniază caracterul semiarid al bazinului Ialpug și o vulnerabilitate crescută a terenurilor agricole din sectorul sud-vestic.

Aceste constatări se aliniază cu cele raportate în România de Ioniță & Nagavciuc [5] și Dobri et al. [11], care au demonstrat că regiunile sud-estice ale Europei, inclusiv sudul Republicii Moldova, se confruntă cu o intensificare a proceselor de aridizare și o creștere a frecvenței secetelor severe. În acest context, utilizarea indicilor NDMI și NDWI derivați din imagini Sentinel-2 constituie un instrument operațional valoros pentru identificarea sectoarelor vulnerabile, planificarea irigațiilor și elaborarea măsurilor de adaptare la schimbările climatice.

Concluzii

Analiza indicelui NDMI pentru perioada martie-octombrie 2025 a evidențiat o evoluție sezonieră clară, cu valori pozitive în iunie și negative în restul lunilor, confirmând instalarea stresului hidric moderat spre sever în cea mai mare parte a bazinului Ialpug.

Distribuția spațială a NDMI evidențiază condiții de stres hidric moderat spre sever în centrul și estul bazinului, corelate cu precipitații reduse și evapotranspirație ridicată.

Harta mediei NDMI sintetizează caracterul semiarid al bazinului, ilustrând o predominanță a terenurilor cu vegetație afectată de lipsa de apă și o asimetrie spațială controlată de relieful fragmentat și de utilizarea agricolă intensivă.

Corelarea indicilor NDMI și NDWI a demonstrat o concordanță între scăderea umidității vegetației și reducerea suprafețelor acvatice, confirmând sensibilitatea indicilor spectrali la dinamica resurselor de apă în regiunile cu climat aridizat.

Rezultatele confirmă eficiența utilizării imaginilor Sentinel-2 și a indicilor NDMI și NDWI pentru monitorizarea stresului hidric la plante. Metodologia aplicată poate fi extinsă la alte bazine hidrografice din Republica Moldova, contribuind la managementul integrat al resurselor de apă și la fundamentarea măsurilor de adaptare la schimbările climatice.

Bibliografie:

1. EUWI+ East. *Planul de management al districtului bazinului hidrografic Dunărea–Prut și Marea Neagră*. Preluat de pe https://euwipluseast.eu/images/2020/11/PDF/Full-RBMP-DPBS_RO.pdf
2. RĂILEANU, V., BEJAN, I., NEDEALCOV, M. *Atlas: Schimbările climatice și starea actuală a peisajelor.* 2021. Chișinău: Impressum. ISBN 978-9975-3482-4-9
3. GAO, B. C. *NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment,* 1996. *58*(3), 257-266. doi: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3
4. CECCATO, P., GOBRON, N., FLASSE, S., PINTY, B., & TARANTOLA, S. *Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1. Remote Sensing of Environment,* 2021. *82*(2-3), 188-197. doi: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00037-8
5. GU, Y., HUNT, E., WARDLOW, B., BROWN, J. *Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for vegetation drought monitoring using Oklahoma Mesonet soil moisture data*. *Geophysical Research Letters,* 2008. *35*(6), L06401. doi: https://doi.org/10.1029/2008GL035772
6. IONITA, M., NAGAVCIUC, V. *Changes in drought features at the European level over the last 120 years. Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2021. 21(5), 1685-1701. doi: https://doi.org/10.5194/nhess-21-1685-2021

7. MINEA, I., ALBULESCU, A.-C. *Drought Over Time: an Investigation of the Impact of Meteorological Drought on Groundwater and Surface Water in the East of Romania*. *Earth Systems and Environment,* 2025. *9*, 1959-1981. https://doi.org/10.1007/s41748-025-00725-9
8. SERBAN, C., MAFTEI C. *Satellite-based assessment of drought evolution and agricultural stress in Dobrogea, Romania using the Normalized Vegetation Soil Water index (NVSWI)*. *Remote Sensing Applications: Society and Environment,* 2025. *40*, 101768 https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101768
9. NERTAN, A. T., STANCALIE, Gh., SERBAN, F. *Agricultural Drought Monitoring Using Satellite - Based Products in Romania*. *Third International Conference on Telecommunications and Remote Sensing,* 2014. 1, 100-106. https://doi.org/10.5220/0005421901000106
10. BERCA, M., HOROIAS, R. *NDMI use in recognition of water stress issues, related to winter wheat yields in Southern Romania. Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development, 2022. 22*(2), 105-112. https://www.researchgate.net/publication/364749950
11. DOBRI, R.-V., SFÎCĂ, L., AMIHĂESEI, V.-A., APOSTOL, L., TÎMPU, S. *Drought extent and severity on arable lands in Romania derived from Normalized Difference Drought Index*. *Remote Sensing,* 2021. *13*(8), 1478. https://doi.org//10.3390/rs13081478
12. NDMI Index For Proactive Water Stress Management. Preluat de pe Earth Observing System: https://eos.com/make-an-analysis/ndmi/ [Accesat: 03.10.2025]
13. NDWI Normalized Difference Water Index. Preluat de pe Sentinel Hub: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ndwi/ [Accesat 29.09.2025] ***N.B.*** *Studiul a fost realizat în cadrul Subprogramului „010801 Sporirea securității ecologice și rezilienței geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu”.*

Date despre autori:
Iurie BEJAN, doctor în geografie, cercetător științific coordonator, Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova.
E-mail: iurie.bejan@sti.usm.md
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5141-0315

Rodion DOMENCO, doctor în științe geonomice, cercetător științific superior, Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova.
E-mail: rodion.domenco@usm.md
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2419-5602

Prezentat: 01.10.2025