Sistem software bazat pe tehnici de învățare automată, analiza și fuziunea datelor de teledetecție pentru asistarea deciziilor în prognoza vremii

Raport științific și tehnic 2026

- REZUMAT -

COD PROIECT: PN-IV-P7-7.1-PED-2024-0121

CONTRACT: 13PED/2025

2026

REZUMATUL ETAPEI

Conform Organizației Meteorologice Mondiale multe dezastre naturale care provoacă pagube și pierderi de vieți se datorează vremii și, în special, vremii severe. Cea mai mare parte a proceselor de luare a deciziilor în meteorologie se bazează într-o mare măsură, cel puțin la nivel național, pe experiența meteorologilor din domeniul operativ, dar datorită caracterului haotic al atmosferei, analiza eficientă a unui volum mare de date de către meteorologi este o sarcină dificilă pentru aceștia. Proiectul WinDMiL urmărește să contribuie la îmbunătățirea proceselor decizionale în meteorologie, la nivel național, printr-o durată mai scurtă de luare a deciziilor și precizie crescută a acestora, precum și să furnizeze un prototip funcțional de laborator al unui sistem software pentru analiza datelor meteorologice și asistarea proceselor decizionale în meteorologie. Beneficiarul direct al WinDMiL este Administrația Națională de Meteorologie din România (ANM). WinDMiL integrează metode de extragere a cunoștințelor din date de reanaliză și teledetecție, pentru o analiză rapidă și precisă a acestora și o componentă pentru vizualizarea rezultatelor, care să faciliteze luarea deciziilor meteorologice.

Obiectivul principal al proiectului este de a îmbunătăți procesul decizional în meteorologie prin utilizarea tehnicilor de învățare automată și de descoperire a cunoștințelor în date (reanaliză, teledetecție). Scopul este acela de a oferi meteorologilor informații relevante din situații similare din trecut și asistarea acestora în luarea deciziilor (de exemplu, predicția zonelor afectate de fenomene meteorologice severe, prognoza precipitațiilor și a grindinei, prognoza cantitativă a precipitațiilor pe termen scurt) și în efectuarea analizelor climatologice. Sistemul software WinDMiL vizat în cadrul proiectului va asista meteorologii operaționali în sarcinile lor zilnice, oferindu-le vizualizări relevante ale rezultatelor tehnicilor de extragere a cunoștințelor din date.

Rezultatele proiectului sunt: **(1)** Module software (incluse în sistemul WinDMiL) care implementează modelele de învățare automată dezvoltate pentru analiza datelor, **(2)** Publicații științifice pentru diseminarea rezultatelor științifice obținute și **(3)** Rapoarte științifice și tehnice care conțin metodele originale de extragere a cunoștințelor din date și învățare automată dezvoltate în vederea analizării datelor meteorologice.

Acest raport prezintă rezultatele obținute în urma cercetărilor efectuate în cadrul proiectului în scopul îndeplinirii obiectivelor științifice și tehnice propuse în planul de realizare a proiectului pe anul 2026. Sunt prezentate stadiul curent al implementării proiectului, modul în care au fost îndeplinite activitățile asumate în planul de lucru precum și modalitatea în care au fost diseminate rezultate obținute în cadrul etapei 2026. Pentru a sumariza, rezultatele obținute în cadrul proiectului în anul 2026 sunt:

- Tehnici de data mining pentru analiza datelor meteorologice.
- Modulul software pentru analiza datelor.
- Pagina web a proiectului (https://www.cs.ubbcluj.ro/windmil/) și organizarea workshopului WeADL 2026 (https://www.cs.ubbcluj.ro/weadl/).
- 6 articole științifice: 3 articole sunt publicate, 2 articole sunt în curs de publicare, 1 articol este submis spre publicare (în curs de evaluare). Dintre publicații, menționăm următoarele: 1 publicație în volumul unei conferințe internaționale indexate în Web of Science Conference (WoS) și clasificată C conform CORE, 1 publicație în volumul unei conferințe internaționale indexate în WoS și clasificată B conform CORE, 1 publicație într-o revistă indexată în WoS - Proceedings Citation Index (CPCI); 1 articol în curs de publicare în revistă indexată în Scopus și în WoS-CPCI; 1 articol în curs de publicare în volumul unei conferințe internaționale clasificate D, indexate în WoS; 1 articol submis la o conferință clasificată C, indexată în WoS.

Considerăm că obiectivele proiectului aferente anului 2026 au fost atinse, lucru dovedit de prezentul raport de cercetare. Obiectivele planificate pentru anul 2026, precum și activitățile aferente acestora au fost realizate în totalitate și desfășurate conform planului de realizare a proiectului. De asemenea, criteriul minim de performanță prevăzut pe anul 2026 în ceea ce privește diseminarea rezultatelor (cel puțin 2 publicații în jurnale/conferințe) a fost îndeplinit.

1. INTRODUCERE

1.1 PROIECTUL WINDMIL

Proiectul WinDMiL urmărește să contribuie la îmbunătățirea proceselor decizionale în meteorologie, precum și să furnizeze un prototip funcțional de laborator al unui sistem software pentru analiza datelor meteorologice și asistarea proceselor decizionale în meteorologie. Beneficiarul direct al WinDMiL este Administrația Națională de Meteorologie (ANM) din România. WinDMiL integrează metode de extragere a cunoștințelor din date de teledetecție și reanaliză, pentru o analiză rapidă și precisă a acestora, metode de învățare automată pentru predicția hărților meteorologice și o componentă pentru vizualizarea rezultatelor, ușor de interpretat pentru meteorologi, care urmărește să faciliteze luarea deciziilor meteorologice.

1.2 OBIECTIVE ȘTIINȚIFICE ȘI TEHNICE

Obiectivul principal al proiectului este de a îmbunătăți procesul decizional în meteorologie prin utilizarea tehnicilor de învățare automată și de descoperire a cunoștințelor în date meteorologice (teledetecție, reanaliză), cu un accent specific pe combinarea datelor de reanaliză cu date radar și imagini satelitare. Scopul este acela de a oferi meteorologilor informații relevante din situații similare din trecut și asistarea acestora în luarea deciziilor (de exemplu, predicția zonelor afectate de fenomene meteorologice severe, prognoza precipitațiilor și a grindinei, prognoza cantitativă a precipitațiilor pe termen scurt) și în efectuarea analizelor climatologice. Sistemul software WinDMiL vizat în cadrul proiectului va asista meteorologii operaționali în sarcinile lor zilnice, oferindu-le vizualizări relevante ale rezultatelor tehnicilor de *data mining* (DM). Acest proiect este aplicativ și interdisciplinar, având două obiective științifice și tehnice principale:

O1. Dezvoltarea și validarea științifică a noilor tehnici de DM special concepute pentru analiza datelor meteorologice (teledetecție, reanaliză). În urma rezultatelor noastre științifice anterioare în analiza datelor meteorologice bazate pe învățare nesupervizată, precum și în prognoza vremii bazată pe învățare profundă (eng. *deep learning* – DL), metode precum *k-nearest neighbor* (kNN), învățarea bazată pe cazuri (eng. *case-based reasoning* – CBR), sisteme cu autosupervizare (eng. *autoencoders* – AEs) și arhitecturi de encoder-decoder recurente profunde, special adaptate pentru date de teledetecție, au fost vizate ca modele DL pentru componentele de DM ale sistemului software.

O2. Dezvoltarea și evaluarea de către utilizatori a sistemului WinDMiL pentru DM descriptiv și predictiv și pentru vizualizarea grafică a rezultatelor exploatării datelor. Acest obiectiv a fost realizat folosind metodele dezvoltate ca parte a O1 și se estimează că va sprijini luarea deciziilor meteorologice.

O3. Contribuții la dezvoltarea cunoștințelor științifice prin diseminarea rezultatelor obținute în publicații științifice și pe site-ul web al proiectului.

2 DISEMINARE

2.1 WORKSHOP WEADL

În vederea diseminării rezultatelor din cadrul proiectului și a cercetărilor recente în domeniul meteorologiei și al învățării profunde, în cadrul proiectului WinDMiL a fost organizată a 5-a ediție a workshopului WeADL (*Workshop on Applied Deep Learning*). Workshopul WeADL a fost organizat în data de 5 iunie 2026. Scopul principal al workshopului a fost creșterea gradului de conștientizare a comunității științifice cu privire la provocările învățării profunde, ale învățării automate sau ale cercetării științifice bazate pe inteligența artificială în domenii interdisciplinare, cu accent pe tehnicile de învățare automată și de descoperire a

cunoștințelor în date meteorologice. Evenimentul a avut loc pe platforma Microsoft Teams, cu programul și discuțiile înregistrate și puse la dispoziție pe site-ul web. La eveniment au participat peste 20 de persoane, dintre care 9 au susținut prezentări. Printre participanți s-au numărat cercetători în domeniu, doctoranzi și masteranzi, precum și oameni de știință din partea partenerului proiectului.

2.2 PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE ȘI PREZENTĂRI

Tabelul 1 și Tabelul 2 prezintă lista publicațiilor științifice, respectiv lista prezentărilor realizate în cadrul Etapei 2 a proiectului WinDMiL.

[L1]	Orășan Paul-Dumitru, Czibula Gabriela, Albu Alexandra-Ioana, *Using diffusion models for enhancing the performance of semi-supervised image classifiers*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, volume 16516, pp 515–537, 2026 (WoS - Clarivate Analytics, Conference Proceedings Citation Index)
[L2]	Ștefan Alexandrescu, Gabriela Czibula, Alexandra-Ioana Albu, Eugen Mihuleț, *X-CViT: An explainable vision transformer architecture for classification of cloud images*, 15th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM 2026), pages 175-186 (C-ranked, indexed WoS)
[L3]	Gabriela Czibula, Andrei Mihai, Sîrbu Alexandru-Gabriel, Istvan Gergely Czibula, Eugen Mihuleț, Ioan-Ștefan Gabrian, *GEM-Qt: Generating embeddings for meteorological reanalysis data using a quadtree-based approach*, ENASE 2026, pp. 1149-1157 (B-ranked, indexed WoS)
[L4]	Ștefan Alexandrescu, Gabriela Czibula, Eugen Mihuleț, *The impact of data representations for enhancing the performance of photovoltaic energy forecasting*. 2026 IEEE 22nd International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), in press (D-ranked, indexed WoS)
[L5]	Gabriela Czibula, Andrei Mihai, Sîrbu Alexandru-Gabriel, Răzvan Romulus Andro, Istvan Gergely Czibula, Eugen Mihuleț, *An empirical study on evaluating meteorological reanalysis data embeddings for classification of atmospheric circulation*, ICPRAM 2026, submitted (C-ranked, indexed WoS)
[L6]	Gabriela Czibula, Ștefan Alexandrescu, Alexandra-Ioana Albu, Eugen Mihuleț, *On using vision transformer-based models and generative learning for classification of cloud images*, Lecture Notes on Computer Science (LNCS), 2026, in press **(**indexed WoS - Clarivate Analytics, Conference Proceedings Citation Index)

Tabel 5 - Lista publicațiilor științifice realizate în cadrul Etapei 2 a proiectului

Ștefan Alexandrescu, *X-CViT: An explainable vision transformer architecture for classification of cloud images*, 15th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM 2026), March 2, 2026 [link]
Andrei Mhai, *GEM-Qt: Generating embeddings for meteorological reanalysis data using a quadtree-based approach*, ENASE 2026, May 22, 2026 [link]
Raluca Gabrian, *MTG-I1 Lightning Imager NWC SAF Products: overview, algorithm and its applications*, 6th Workshop on Applied Deep Learning, WeADL 2026, June 5, 2026 [link]
Ioan-Ștefan Gabrian, *ICON-LAM Model Configuration: Sensitivity Tests*, 6th Workshop on Applied Deep Learning, WeADL 2026, June 5, 2026 [link]
Andrei Mihai, *GEM-Qt: Generating embeddings for meteorological reanalysis data using a quadtree-based approach*, 6th Workshop on Applied Deep Learning, WeADL 2026, June 5, 2026 [link]

Tabel 6 - Prezentările susținute în cadrul Etapei 2 a proiectului

3 CONCLUZII

În prezentul raport au fost prezentate rezultatele originale obținute în urma cercetărilor efectuate în cadrul proiectului în scopul îndeplinirii obiectivelor științifice și tehnice propuse în planul de realizare pe anul 2026 (Etapa 2). Pentru fiecare partener (**UBB** și **ANM**), raportul indică modul în care au fost îndeplinite activitățile asumate în planul de realizare a proiectului. Sintetizăm rezultatele obținute în cadrul proiectului pe anul 2026 ca fiind următoarele: **(1)** tehnici de data mining pentru analiza datelor (reanaliză, teledetecție); **(2)** modulul software de analiză a datelor; **(3)** pagina web a proiectului (https://www.cs.ubbcluj.ro/windmil/) și organizarea workshop-ului **WeADL 2026** (https://www.cs.ubbcluj.ro/weadl/); **(4)** articole științifice prin care s-au diseminat rezultatele originale obținute în cadrul Etapei 2 de implementare a proiectului. Diseminarea rezultatelor obținute în cadrul proiectului în anul 2026 a fost realizată prin publicarea a 6 articole științifice, după cum urmează: 1 publicație în volumul unei conferințe internaționale indexate în WoS și clasificată C conform CORE, 1 publicație în volumul unei conferințe internaționale indexate în WoS și clasificată B conform CORE, 1 publicație într-o revistă indexată în WoS - Proceedings Citation Index (CPCI); 1 articol în curs de publicare în revistă indexată în Scopus și în WoS-CPCI; 1 articol în curs de publicare în volumul unei conferințe internaționale clasificate D, indexate în WoS; 1 articol submis la o conferință clasificată C, indexată în WoS.

Ca urmare, criteriul minim de performanță prevăzut (cel puțin 2 publicații în jurnale/conferințe) a fost îndeplinit. De asemenea, obiectivele planificate pentru anul 2026 și activitățile aferente acestora au fost realizate în totalitate și desfășurate conform planului de realizare a proiectului.