

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

**Raportul științifico-tehnic (etapa ianuarie 2017-decembrie 2017) al
proiectului**

**Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei
și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real
(IMDROFLOOD)**

Decembrie 2017

CUPRINS:

1 Introducere	3
2 Dezvoltarea platformei geospatiale de analiza si prognoza a secetelor	3
2.1 Construirea bazei de date dedicate proiectului prin proceduri de integrarea datelor climatologice, hidrologice si a observatiilor de radar meteorologic si teledetectie	3
2.1.1 Baza de date SIG de referință	4
2.1.2 Indici climatici.....	4
2.1.3 Indicii satelitari de vegetație	7
2.1.4 Clientul cartografic IMDROFLOOD	10
2.2 Dezvoltarea procedurilor de actualizare a bazei de date în timp real	11
2.2.1 Selectarea metodologiei de actualizare a bazei de date in timp real	11
2.2.2 Implementarea standardelor, protocolurilor si procedurilor stiintifice la actualizarea bazei de date dedicate proiectului in timp real	11
2.3 Organizarea dialogului cu beneficiarii informațiilor științifice generate de proiect	11
3 Caracteristicile observate ale episoadelor de seceta și inundații în bazinul Prut	12
3.1 Evaluarea vulnerabilității la secetă si inundatii în bazinul Prut - partea I.....	12
3.2 Evaluarea modelelor hidro-ecologice si a datelor de teledetectie pentru a identifica impactul vegetației asupra secetei și inundatiilor în bazinul Prut - partea I.....	13
3.2.1 Modelarea hidro-ecologică a secetelor și inundațiilor in sub-bazinul jiliei	13
3.2.2 prognoza probabilista hidrologică de medie durata pentru alerte de inundatii la radauti-prut.....	15
3.2.3 Evaluarea raspunsului secetei și a inundatiilor la hazardele climatice în funcție de tipuri de vegetație în bazinul Prut - partea I.....	16
4 Concluzii	17
5 Bibliografie	18

Rezumat

În această etapă, a fost continuată activitatea de construire a bazei de date IMDROFLOOD ce poate fi accesată și analizată folosind servicii de date conforme cu specificațiile directivei INSPIRE. Baza de date IMDROFLOOD cuprinde date SIG de referință, indicatori hidroclimatici ce integrează date de observație de la stații meteorologice, hidrometrice și date radar, indicatori de secetă derivați din date satelitare. O parte din aceste date și indicatori poate fi deja accesată public prin geoportalul IMDROFLOOD (<http://imdروفlood.meteoromania.ro/geoportal/>). Pentru dezvoltarea procedurilor privind actualizarea indicatorilor de secetă și a episoadelor cu precipitații abundente, în timp real, au fost trecute în revistă toate produsele ce pot contribui la monitorizarea bazinului Prut precum: datele de la stațiile meteorologice și datele radar din regiunea românească a bazinului, date de temperatură și precipitații obținute în flux operativ, prin convenții bilaterale, cu Ucraina și Republica Moldova și produse de reanaliză.

Activitatea de evaluarea a vulnerabilității vegetației la secetă și inundații, pentru bazinul Prut, a început prin analiza variabilității și schimbării climatice în statistica secetelor și perioadelor cu exces de precipitații, atât pentru clima prezentă cât în condițiile scenariilor viitoare ale schimbării climatice. Tendințele observate pentru indicii Palmer de severitate a secetei, mediați la nivelul bazinului Prut, indică, pentru intervalul 1901-2015, o tendință ușoară de aridizare, mai pronunțată în lunile mai-septembrie. Același tip de tendințe se observă și pentru proiecțiile viitoare, mai pronunțate în cazul scenariului pesimist, cu creșterea cea mai mare a concentrației globale a gazelor cu efect de seră. Pentru evaluarea impactului vegetației asupra fenomenului de secetă, în această etapă a fost testat modelul semi-distribuit ModClark pentru simularea bilanțului apei în sub-bazinul Jijiei. Concluziile rulărilor cu acest model, referitoare atât la capacitatea de stocare a apei de vegetație, cât și la pierderile de apă prin procesul de evapotranspirație reală, vor fi folosite în etapa următoare. Pentru operaționalizarea prognozei hidrologice probabiliste de medie durată pentru Rădăuți/Prut, a fost realizată configurarea modelului de prognoză hidrologică în bazinul superior al Prutului astfel încât să permită elaborarea operativă de prognoze hidrologice de tip ansamblu (probabiliste). Această activitate va fi continuată în etapa următoare.

Organizarea dialogului cu beneficiarii informațiilor științifice, generate de proiect, s-a realizat, în această etapă, prin activități de (1) organizare la Iași a unei întâlniri a potențialilor utilizatori cu membri în echipa IMDROFLOOD; (2) elaborarea primului buletin al proiectului, afișat pe situl web IMDROFLOOD; (3) includerea în situl IMDROFLOOD a unui forum de discuții ce va fi activat și dezvoltat în etapele următoare. În concluzie, au fost îndeplinite toate obiectivele etapei raportate și s-a construit baza continuării eficiente a activităților proiectului în etapele ce urmează.

1 INTRODUCERE

Obiectivele principale ce au fost prevăzute și îndeplinite în a etapa raportată a proiectului IMDROFLOOD (ianuarie 2017-decembrie 2017) sunt următoarele :

- dezvoltarea platformei geospațiale (geoportalul IMDROFLOOD) și popularea sa cu informații relevante pentru potențialii utilizatori;
- analiza preliminară a statisticii episoadelor de secetă și episoadelor cu precipitații abundente ce pot determina inundații în bazinul Prut.
- identificarea unor potențiali utilizatori ai rezultatelor proiectului și organizarea dialogului cu aceștia.

2 DEZVOLTAREA PLATFORMEI GEOSPATIALE DE ANALIZA SI PROGNOZA A SECETELOR

2.1 CONSTRUIREA BAZEI DE DATE DEDICATE PROIECTULUI PRIN PROCEDURI DE INTEGRAREA DATELOR CLIMATOLOGICE, HIDROLOGICE SI A OBSERVATIILOR DE RADAR METEOROLOGIC SI TELEDETECTIE

Baza de date IMDROFLOOD poate fi accesată și analizată folosind servicii de date conforme cu specificațiile directivei INSPIRE. Aceste servicii pot fi folosite ca interfețe de acces la date de către

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

instituțiile relevante, funcționând după principii și protocoale de comunicație similare cu cele ale serviciilor web clasice (XML-RPC, UDDI, WSDL, SOAP).

2.1.1 BAZA DE DATE SIG DE REFERINȚĂ

Data fiind diversitatea mare și caracteristicile diferite ale datelor spațiale de referință a fost foarte important ca încă de la început să se facă un inventar cu toate aceste date, să se proiecteze modele de date adecvate și să se stabilească proceduri clare de integrarea a acestora în baza de date de tip Sistem Informațional Geografic (SIG). Baza de date geospațială include atât date recente cât și date istorice.

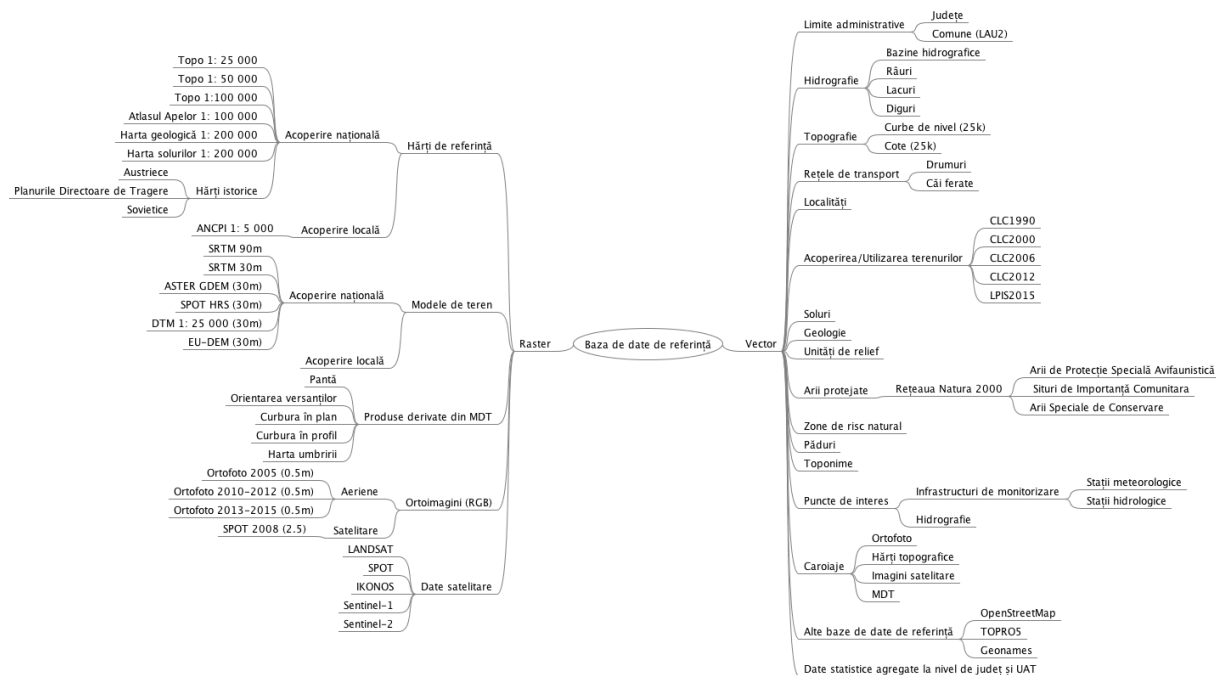


Figura 1. Conținutul bazei de date geospațiale de referință

Diagrama din Figura 1 prezintă tipurile de date geospațiale stocate în baza de date de referință.

2.1.2 INDICI CLIMATICI

Geoportalul a fost populat cu indicii climatici prezentați în tabelul 1. Setul de date gridate la rezoluția de 1 km x 1 km, cu valori ale temperaturii zilnice ce acoperă bazinul Prut (tabelul 1) a fost realizat folosind datele zilnice de temperatură și precipitații de la 21 de stații meteorologice românești, la care s-au adăugat observațiile de temperatură zilnică de la 16 stații și cantitățile zilnice de precipitații înregistrate la 17 stații de pe teritoriul Republicii Moldova și Ucrainei, extrase din arhiva globală Global Historical Climatology Network-Daily (GHCND-D) (Menne et al. 2012).

Controlul calității datelor, omogenizarea și interpolarea datelor lipsă s-a realizat cu pachetul R CLIMATOL (Guijarro 2016). Pentru spațializarea datelor obținute din observații, la rezoluția fină de 1km x 1km, au fost folosite o serie de date ce caracterizează relieful și distribuția uscat/mare: altitudine, latitudine, distanța față de Marea Neagră. Aceste date au fost derivate, la rezoluția de 1 km x 1 km din setul USGS SRTM30 DEM (Jarvis et al. 2008). Ca informații ajutătoare au fost folosite și datele de temperatură a aerului la 2 m din reanalizele MERRA – 2 (Molod et al. 2015).

Datele de reanalize au fost ajustate la rezoluția de 1 km x 1 km folosind modelul MicroMet (ce cuantifică relația altitudine/temperatură) (Liston and Elder 2006). Construcția setului de date zilnice ale cantității de precipitații la rezoluția de 1 km x 1 km s-a realizat combinând datele observate la stațiile meteorologice cu câmpurile de reflectivitate radar. Reflectivitatea radar a fost furnizată de stația radar Bârnova WSR-98D și a fost prelucrată pentru obținerea informațiilor privind rata de precipitații conform procedurii prezentate de Burcea și colaboratorii (2012). Seturile gridate de temperatură și precipitații, construite la rezoluția de 1 km x 1 km, au fost validate încrucișat.

Tabelul 1. Indici hidroclimatici încărcăți și vizualizați în portalul geospațial IMDROFLOOD.

N r.	Variabla și unitatea de măsură	Pasul de timp	Rezoluție spațială	Intervalul de timp	Controlul calității datelor (Da/Nu)	Omogenizare (Da/Nu)	Formatul fișierelor (e.g ASCII, raster etc)
1	Temperatură (°C)	zilnice	1 km x 1 km	2000-2016	Da	Da	NetCDF
2	Precipitații (mm)	zilnice	1 km x 1 km	2003-2016	Da	Da	NetCDF
3	Evapo-transpirație (mm)	lunare	10 km x 10 km	1961-2016	Da	Da	NetCDF
4	SPEI (adimensional)	lunare	10 km x 10 km	1961-2016	Da	Da	NetCDF

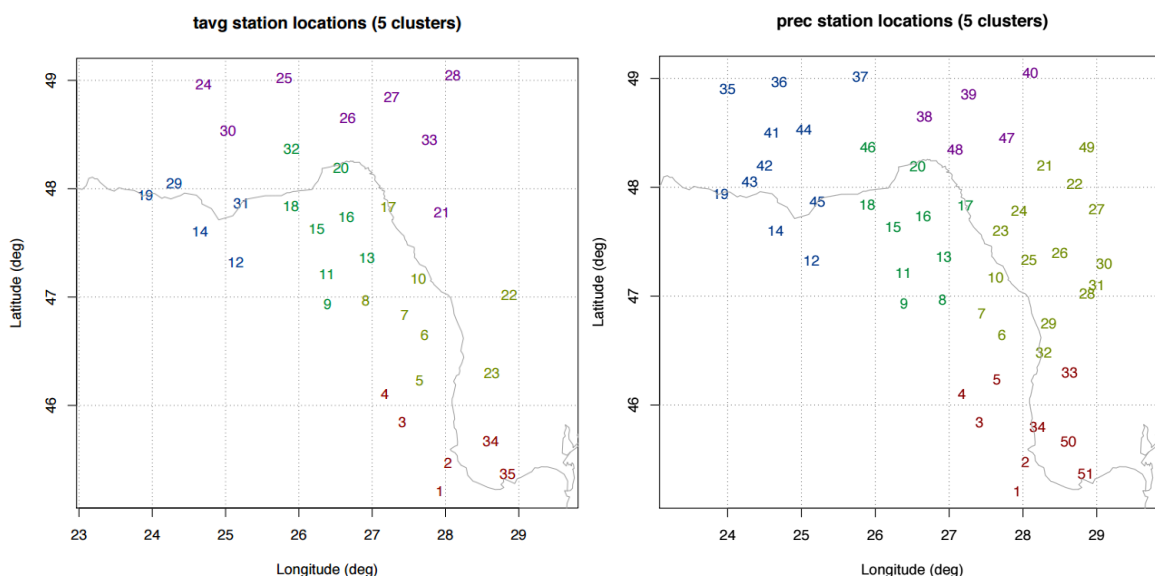


Figura 2. Locația stațiilor folosite la construirea produsului gridat cu valori ale indicelui de secetă precipitații/evapotranspirație pentru bazinul Prut, pentru intervalul 1961-2016.

Folosind valori lunare observate ale temperaturii și cantității de precipitații, s-au calculat evapotranspirația potențială și indicele standardizat precipitații/evapotranspirație (SPEI), ce caracterizează excesul/deficitul resursei de apă, pentru arealul bazinului Prut. Locațiile stațiilor ale căror date climatice au fost folosite la construirea indicelui standardizat precipitații/evapotranspirație – SPEI (Vicente-Serrano et al 2010) sunt reprezentate în figura 2.

Pentru produsele gridate ale indicatorului de secetă SPEI au fost folosite date de temperatură de la 35 stații și datele de precipitații de la 51 stații din zona de interes. Date radar

Măsurătorile radar utilizate pentru setul de date gridat cu valorile zilnice ale cantității de precipitații, ce acoperă bazinul Prut, cu rezoluția spațială foarte fină (1km x 1 km) sunt cele de reflectivitate, măsurate la primele elevații ale antenei. Zgomotul de sol (rezultat în urma interacțiunii fasciculului radar cu formele de teren înalte sau terenul din jurul amplasamentului radar) și ecourile radar specifice propagării anormale sunt rezultatul mai multor factori, incluzând : modelul de propagare al radiației, înălțimea față de sol a antenei, unghiul de elevație, relieful local și profilul atmosferic al indicelui

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

de refracție, care este la rândul lui afectat de profilul presiunii, temperaturii și umezelii aerului. Cele din urmă reprezintă factorul dominant și sunt responsabile pentru variația orară și zilnică ce sunt caracteristice modelului spațial al ecourilor zgomotului de sol și al propagării anormale.

Ținând cont de faptul că pentru o cât mai bună estimare cantitativă a precipitațiilor în aria de acoperire a radarului meteorologic este nevoie de măsurători cât mai aproape de suprafața solului, algoritmul de identificare și eliminare a țintelor meteorologice construiește o elevație hibridă din datele de la primele elevații. Acest lucru este realizat în urma procesării elevațiilor cele mai joase. Astfel, frecvența de detecție a ecourilor radar calculată pentru luna iunie 2016, pentru elevația hibridă, după prelucrarea datelor prin intermediul algoritmului, este ilustrată în Fig. 4 (stânga). Se observă că după eliminarea ecourilor non meteorologice, distribuția este mult mai simetrică și mai aproape de modelul circular. Algoritmul a eliminat cea mai mare parte a zgomotului rezidual din datele radar. Comparând cu Fig. 3 (stânga), se observă că frecvența și extinderea valorilor mari s-au redus. Același lucru este evidențiat și de graficul frecvenței de detecție medie în funcție de distanța față de radar (Fig. 4 dreapta). Valoarea reprezintă media aritmetică a frecvenței de detecție cu o rezoluție de distanță de 1 km, folosind valorile de pe toate azimuturile (i.e. 0°-360°) grilei polare caracteristică datelor. Linia plină reprezintă media obținută din date inițiale, iar linia punctată reprezintă media obținută din datele prelucrate cu ajutorul algoritmului.

Se observă, totuși, că la distanțe mari față de radar, algoritmul poate să nu performeze bine, trecerea de la o elevație la alta fiind vizibilă. Acest lucru se întâmplă din cauză că atunci când în aria de detecție sunt prezente sisteme noroase stratiforme, a căror extindere verticală este mai mică (ex. maxim 5–6 km în altitudine) fasciculul se propagă prin limita superioară a norilor sau chiar pe deasupra acestora. În cazul în care sistemele noroase predominante sunt de tip convectiv, însemnând că extinderea lor verticală depășește 10 km, algoritmul furnizează rezultate mult mai bune. Astfel, rezultatul aplicării algoritmului de control al calității datelor radar a fost utilizat pentru a produce grilele reprezentând estimarea zilnică a cantității de precipitații, din date radar.

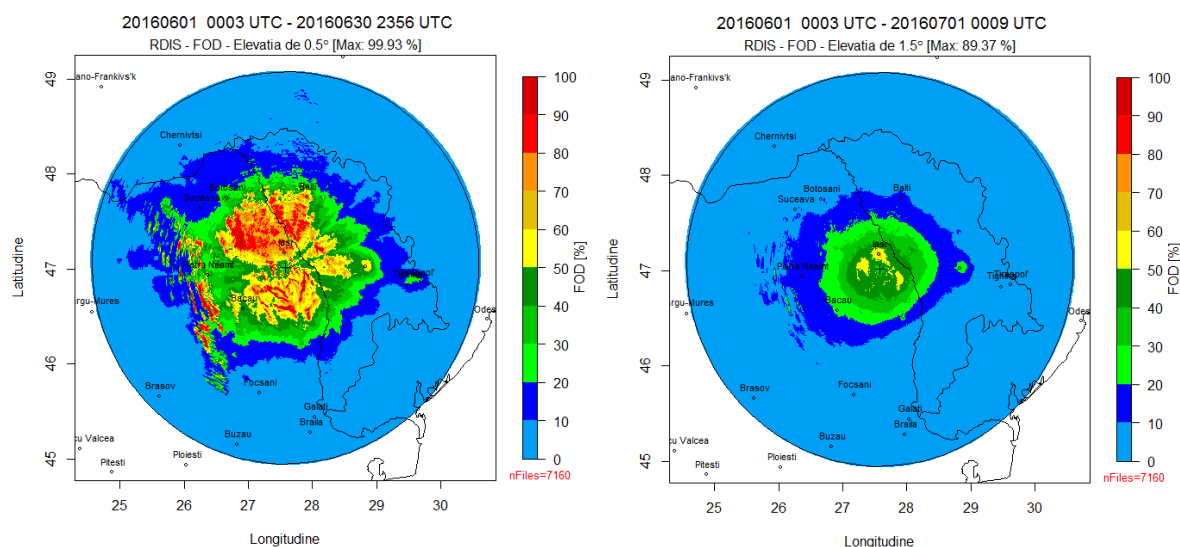


Figura 3. Frecvența de detecție pentru radarul de la Bârnova, elevația de 0.5° (stânga) și cea de 1.5° (dreapta), pentru luna iunie 2016.

Fluxul de producere a acestor grile a fost următorul:

1. rularea algoritmului de control al calității datelor radar
2. transcrierea datelor corectate din grila polară într-una de tip Cartezian
3. calculul intensității instantanee a precipitațiilor
4. calculul acumulării cantității de precipitații de la o scanare la următoarea
5. calculul cantității orare și zilnice a precipitațiilor

Deși datele radar utilizate în estimarea cantitativă a câmpului de precipitații pot fi trecute printr-un algoritm de control al calității, acestea pot avea unele erori (Delobbe et al. 2006, Holleman 2007, Burcea

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

et al. 2012). Grila finală, reprezentând estimarea cantitativă a precipitațiilor din date radar, a fost utilizată pentru generarea hărților acumulării zilnice a precipitațiilor la nivelul bazinului hidrografic Prut, prin ajustarea acestora cu datele măsurate la stațiile meteorologice (figura 5). Setul de precipitații zilnice astfel obținut acoperă intervalul 2003-2016.

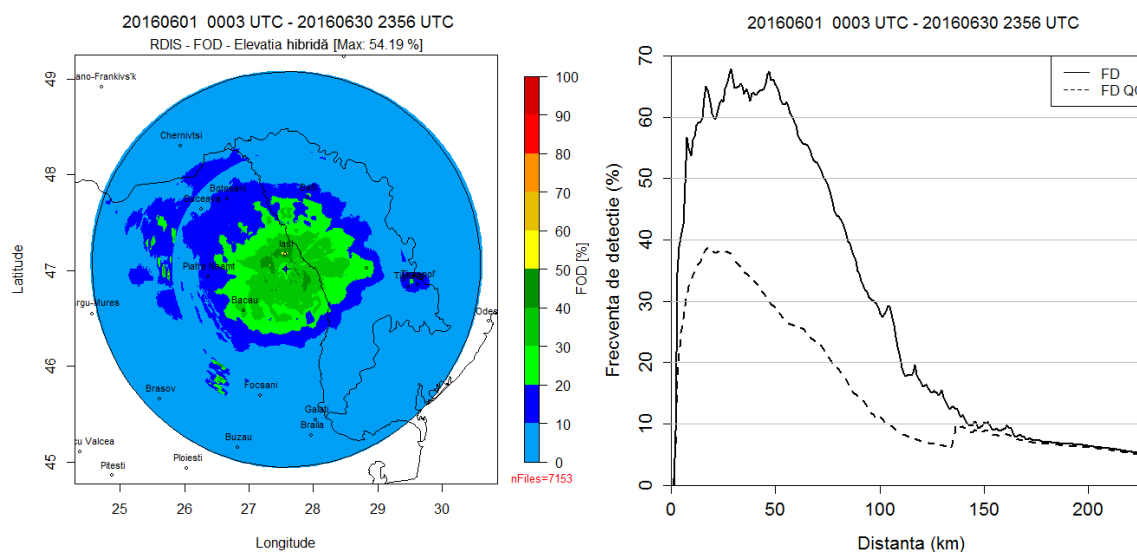


Figura 4. Frecvența de detecție pentru radarul de la Bârnova, elevația hibridă, pentru luna iunie 2016 (stânga) și frecvența de detecție medie în funcție de distanța față de radar.

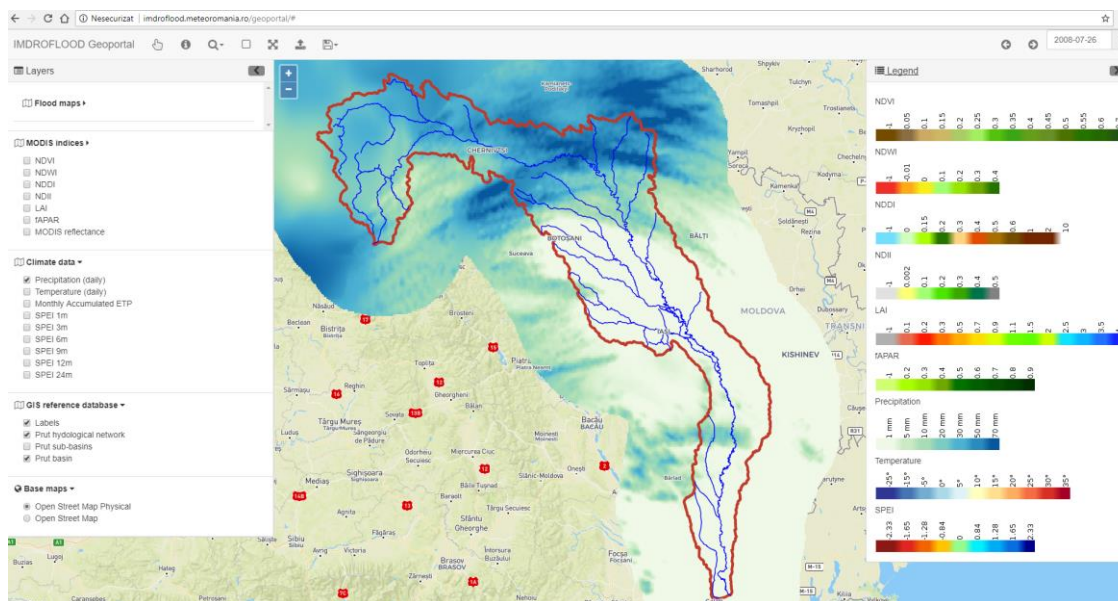


Figura 5. Cantitatea de precipitații (în mm) din 26.07.2008 (în intervalul în care s-au produs inundațiile istorice din iulie 2008), valori gridate la rezoluția de 1 km x 1 km, integrate și vizualizate în geoportalul IMDROFLOOD (<http://imdروفlood.meteoromania.ro/geoportal/>). Cu linie roșie este ilustrat bazinul Prut.

2.1.3 INDICII SATELITARI DE VEGETAȚIE

În cadrul proiectului IMDROFLOOD au fost utilizate datele colectate de senzorul Spectroradiometru cu rezoluție moderată (MODIS), imbarcat la bordul sateliților Terra și Aqua. Orbita satelitului Terra în jurul Pământului este programată astfel încât să treacă de la nord la sud de-a lungul ecuatorului dimineața, în timp ce satelitul Aqua trece de la sud la nord peste ecuator după-amiaza. Terra MODIS și Aqua MODIS acoperă toată suprafața Pământului în 1 - 2 zile.

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

MODIS joacă un rol esențial în dezvoltarea modelelor de validate, globale, interactive, capabile să prezică schimbările globale cu suficientă precizie pentru a ajuta factorii politici să ia decizii solide privind protecția mediului (modis.gsfc.nasa.gov/about/).

Imaginile și produsele MODIS, colecția 6, h19v04 și h20v04 folosite pentru a calcula indicii de vegetație (MOD09A1) și variabilele biofizice (MOD15A2) au fost descărcate de la <https://earthdata.nasa.gov/>. Produsul de reflectanță MOD09A1 este un produs de nivel 3 cu o rezoluție spațială de 500 m și o rezoluție temporală de 8 zile. Estimarea reflectanței din date satelitare necesită imagini clare, fără nori. În acest sens se utilizează imagini consecutive pentru eliminarea acoperirii noroase (<https://modis.gsfc.nasa.gov/data>). Produsul MOD15A2 include Indicele Suprafeței Foliare (LAI) și Frațiunea zilnică de radiație fotosintetică activă absorbită (FAPAR), fiind un produs satelitar de nivel 4, în proiecție sinusoidală, cu o rezoluție spațială de 1 km. Produsul MODIS LAI/FAPAR MOD15A2 este un produs compozit la 8 zile în vederea eliminării dezavantajului creat de acoperirea noroasă (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/api/v1/ MOD15A2>).

Produsele obținute din datele satelitare MODIS au fost integrate în mediul SIG, pentru a facilita realizarea de analize geospațiale obiective care să favorizeze monitorizarea și evaluarea secetei.

A. Indicele de apă diferențială normalizată - NDWI

NDWI reprezintă conținutul de apă al vegetației (Gao, 1996). Acesta poate fi calculat din date brute MODIS sau produse MODIS (produsul MOD09A1). Rezoluția spațială este de 500 m și rezoluție temporală de 8 zile. NDWI deține un potențial considerabil pentru monitorizarea secetei, deoarece cele două benzi spectrale utilizate pentru calculul său sunt receptivă la schimbările în conținutul de apă (banda SWIR). Ca rezultat, NDWI este influențat atât de perioadele extrem secetoase, cât și de perioadele extrem umede și poate fi un indicator mai sensibil al secetei decât Indicele de vegetație diferențială normalizată (NDVI), care nu reflectă modificările conținutului de apă al vegetației (Biswal și colab., 2014). Cantitatea de apă disponibilă în structura internă a frunzei controlează, în mare măsură, reflectanța spectrală în intervalul SWIR al spectrului electromagnetic (Tucker 1980). Produsul de sinteză NDWI, acoperind întregul bazin Prut, a fost calculat pentru intervalul februarie 2000 - octombrie 2017 și integrat în geoportalul IMDROFLOOD (Figura 6).

B. Indicele de Vegetație Diferență Normalizată - NDVI

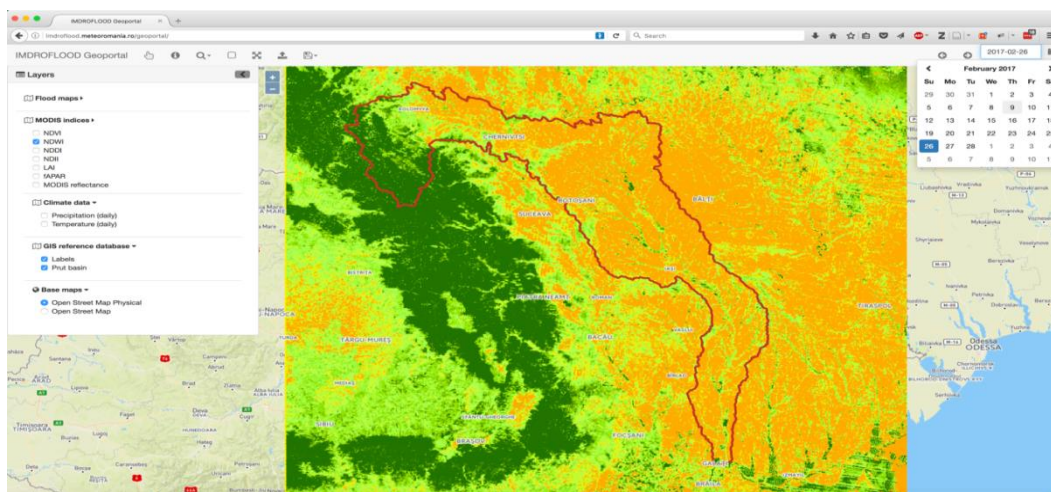


Figura 6 Exemplu de produs NDWI integrat în geoportalul IMDROFLOOD.

NDVI a fost dezvoltat de Kriegler în 1969 și îmbunătățit de Rouse și colab. în 1973. NDVI este o măsură a cantității și vigorii vegetației pe suprafața terenului (Prince și Justice 1991). Este folosit pentru monitorizarea acoperirii vegetale, conținutului de clorofilă și alte proprietăți vegetale. Valorile NDVI variază de la -1,0 la 1,0: (1) valori negative indică norii, apa sau zonele urbane; (2) valori pozitive

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

apropiate de zero indică solul gol; (3) valori pozitive indică vegetația de la slab dezvoltată (0,1 - 0,5) la vegetația densă verde (0,6 și peste).

NDVI este un indicator al prezenței, densității și sănătății vegetației. Acesta poate fi folosit pentru a monitoriza sezonul de vegetație (începutul, sfârșitul și durata) pentru un singur pixel (Reed și colab., 1994) sau pentru zone mari (Zhou și colab., 2001). Fenofazele de plante (înmugurire, înflorire, înfrunzirea, colorarea frunzelor sau defolierea) joacă un rol-cheie în interacțiunile care apar la interfața sol-plantă-atmosferă (Chen și Pan 2002). Produsul de sinteză NDVI, acoperind întregul bazin Prut, a fost calculat pentru intervalul februarie 2000 - octombrie 2017 și integrat în geoportalul IMDROFLOOD.

C. Indicele de Secetă Diferență Normalizată – NDDI

Gu și colab. (2007) a calculat indicele de secetă diferențială normalizată (NDDI) care poate fi utilizat pentru monitorizarea secetei. În studiul său Gu și colab. a arătat că NDWI are un răspuns mai puternic la condițiile de secetă decât NDVI. Mediile NDVI și NDWI au fost în mod constant mai scăzute (NDVI < 0,5 și NDWI < 0,3) în condiții de secetă decât în condiții fără secetă (NDVI > 0,6 și NDWI > 0,4). Produsul de sinteză NDDI, acoperind întregul bazin Prut, a fost calculat pentru intervalul februarie 2000 - octombrie 2017 și integrat în geoportalul IMDROFLOOD.

D. Indicele Infraroșu Diferență Normalizată - NDII

NDII a fost dezvoltat folosind raportul dintre diferența valorilor reflectanței din infraroșu apropiat (NIR) și infraroșu în unde scurte (SWIR) și suma acestora. NDII este un indice normalizat, iar valorile variază între -1 și 1. O valoare scăzută NDII și în special sub zero înseamnă că reflectanța de la $\rho_{NIR(0.85)}$ este mai mare decât reflectanța de la $\rho_{SWIR(1.65)}$ iar acest lucru indică stresul de apă al acoperirii vegetale (Sriwongsitanon și colab., 2016). Formula este similară cu NDVI, care este definită valorile benzilor din domeniul roșu și infraroșu apropiat (Sriwongsitanon și colab., 2016). În plus față de determinarea conținutului de apă din vegetație, NDII poate fi eficient utilizat pentru a detecta stresul apei din plante în funcție de reflectanța în infraroșu în unde scurte, legată de conținutul de apă din frunze datorită absorbției mari de către frunze (Steele-Dunne și colab., 2012; Van Emmerik și colab., 2015). Multe studii au găsit relații între EWT (grosimea echivalentă a apei) și reflectanța din domeniul NIR și SWIR a spectrului utilizat pentru derivarea NDII (Gao, 1996;).

NDII a fost dezvoltat pentru a monitoriza conținutul de apă din frunze (Hardisky și colab., 1983), astfel încât există o relație directă între NDII și deficitul de umiditate al zonei radiculare. Pe de altă parte, deficitul este o funcție directă a cantității de umiditate stocată în zona rădăcinii. În acest context, dacă este conectată grosimea apei din frunze și presiunea de aspirație din zona rădăcinii, atunci NDII va reflecta direct conținutul de umiditate al zonei radiculare. Deci, NDII ne-ar permite să vedem vegetația ca un manometru natural, oferind informații despre cantitatea de apă disponibilă în subsol pentru a fi folosită de vegetație. Acesta poate fi un indicator integrat al umidității solului în zona rădăcinii, disponibilă direct la scara de interes (Sriwongsitanon și colab., 2016). Produsul de sinteză NDDI, acoperind întregul bazin Prut, a fost calculat pentru intervalul februarie 2000 - octombrie 2017 și integrat în geoportalul IMDROFLOOD.

E. Indicele suprafeței foliare - LAI

Indicele suprafeței foliare (LAI), definit ca jumătate din suprafața frunzelor verzi proiectată pe unitatea de suprafață a solului, este variabila principală folosită în modelarea mai multor procese, cum ar fi fotosinteză și evapotranspirația (Chen și Black 1992). LAI apare ca o variabilă-cheie în modelele care descriu interacțiunea vegetație - atmosferă, în special în ceea ce privește ciclul carbonului și al apei (GCOS, 2004). Informațiile LAI reflectă procesele biochimice și fiziologice ale vegetației, indicând astfel productivitatea vegetației și servește drept variabilă importantă de intrare în modelele proceselor de suprafață. Fang și colab. (2011) subliniază că înțelegerea LAI pentru culturi și dinamica sa este foarte importantă pentru o gamă largă de studii agricole, cum ar fi monitorizarea creșterii culturilor și estimarea randamentului culturilor.

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

În gama de metode folosite pentru a estima LAI, există două tipuri largi: directe și indirecte (Zheng și Moskal, 2009). Aceste metode constituie fundamentul și baza pentru obținerea unor estimări precise LAI. Metodele directe sunt exacte, dar necesită resurse de forță de muncă și, prin urmare, sunt utilizate într-un mod limitat. Acestea constau în două etape, colectarea frunzelor și măsurarea suprafeței frunzelor. În metodele indirecte, suprafața frunzei este dedusă din observațiile unei alte variabile. Acestea sunt, în general, mai rapide, permit obținerea unui eșantion spațial mai mare, devenind astfel din ce în ce mai importante (Jonckheere și colab., 2004). Produsul de sinteză LAI, acoperind întregul bazin Prut, a fost calculat pentru intervalul februarie 2000 - octombrie 2017 și integrat în geoportalul IMDROFLOOD.

F. Frațiunea de radiație activă în procesul de fotosinteză, absorbită de vegetație (fAPAR)

FAPAR este în general definită ca fracțiunea Radiației active fotosintetice (PAR) absorbită de vegetație, unde PAR este radiația solară incidentă în lungimea de undă cuprinsă între 0,4-0,7μm (Gower, Kucharik, & Norman, 1999). FAPAR este astfel direct legat de fotosinteză și este una dintre puținele variabile care leagă activitatea de structura ecosistemului (Asner, Wessman, & Archer, 1998). FAPAR joacă un rol esențial în balanța energetică a ecosistemelor și în estimarea echilibrului carbonului pe o serie de rezoluții temporale și spațiale (GTOS, 2008). Această variabilă biofizică este direct legată de productivitatea primară a fotosintezei și unele modele o utilizează pentru a estima asimilarea dioxidului de carbon în vegetație. FAPAR poate fi derivat din date satelitare, fiind disponibili algoritmi de ultimă oră pentru a estima această variabilă de mediu. FAPAR poate fi, de asemenea, utilizat ca indicator al stării și evoluției stratului de vegetație; cu această funcție, înlocuiește în mod avantajos NDVI, cu condiția ca aceasta să fie estimată în mod corespunzător.

FAPAR este una dintre cele 50 de variabile esențiale ale climei recunoscute de Sistemul Global de Observare a Climei (GCOS) al ONU, necesar pentru caracterizarea clima Pământului. Produsul de sinteză FAPAR, acoperind întregul bazin Prut, a fost calculat pentru intervalul februarie 2000 - octombrie 2017 și integrat în geoportalul IMDROFLOOD.

2.1.4 CLIENTUL CARTOGRAFIC IMDROFLOOD

Accesul utilizatorilor la resursele geospatiale oferite de geoportalul IMDROFLOOD (<http://imdروفlood.meteoromania.ro/geoportal/>) se realizează prin intermediul unei aplicații client ce rulează în navigatorul web. Prin intermediul acestei aplicații, utilizatorii trimit cereri către serviciul de webmapping și tot aici se vizualizează rezultatele returnate de acesta.

Interfața grafică cuprinde mai multe zone funcționale:

- Harta - conține reprezentarea cartografică a straturilor tematice stocate în baza de date SIG. Straturile sunt accesate prin intermediul serviciilor WMS și WMTS. Harta permite atât reprezentarea elementelor de tip raster cât și a celor de tip vector. Elementele vectoriale pot fi de tip punct, linie sau polygon. În hartă putea fi incluse și etichete ale entităților spațiale reprezentate, etichete generate pe baza atributelor asociate fiecărui element (ex: numele localităților). Reprezentarea simbolurilor cartografice și a etichetelor este ajustată automat în funcție de scara de reprezentare folosind standardul SLD. Harta este „redesenată” la fiecare operațiune efectuată de către utilizator folosind tehnici AJAX.
- Harta de ansamblu - facilitează orientarea utilizatorului în cadrul hărții principale. Permite recentrarea zonei de reprezentare din partea centrală pe o suprafață selectată interactiv prin click mouse stânga pe harta de ansamblu.
- Lista de straturi - Determină compunerea hărții principale prin selectarea interactivă a straturilor ce se doresc a fi reprezentate. Fiecare strat are în dreptul său două casete de selectare. Prima casetă va permite selectarea simultană a straturilor ce vor fi vizibile în hartă (se pot selecta mai multe straturi simultan). A doua casetă va permite selectarea la un moment dat a unui singur strat: stratul activ. Acesta este stratul asupra căruia se vor putea folosi instrumentele de identificare și analiză din bara de instrumente. Informațiile din baza de date pot fi afișate și peste hărți bază de tip OpenStreetMap.
- Bara cu instrumente - conține instrumentele necesare pentru explorarea interactivă a hărții de către utilizatori prin intermediul unor controale consacrate deja în lumea GIS și WebGIS, precum

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

navigare (pan), mărire (zoom in), micșorare (zoom out), zoom anterior, zoom următor, afișare harta la extinderea maximă.

În etapele următoare vor fi adăugate portalului noi funcții ce vizează procesarea de date disponibile în portal și prezentarea lor în forme alese de utilizatori. De asemenea, rezultatele vor putea fi exportate în diverse formate. În etapele viitoare va fi inclus în geoportal și un modul de estimări prognostice probabiliste cu termen de anticipație de medie durată pentru alerte la inundații.

2.2 DEZVOLTAREA PROCEDURILOR DE ACTUALIZARE A BAZEI DE DATE ÎN TIMP REAL

2.2.1 SELECTAREA METODOLOGIEI DE ACTUALIZARE A BAZEI DE DATE ÎN TIMP REAL

Selectarea metodologiei de actualizare a bazei de date în timp real a ținut cont de cerința ca aceasta să permită actualizarea continuă (inclusiv după terminarea proiectului), fără costuri suplimentare în afară de cele legate de menținerea geoportalului și extragerea de date actualizate (dar fără costuri de achiziție). În acest context, au fost trecute în revistă toate datele actualizabile ce pot contribui la monitorizarea în timp real a bazinului Prut din punct de vedere al secetelor și inundațiilor: (1) datele de la stațiile meteorologice și datele radar din regiunea românească a bazinului; (2) date de temperatură și precipitații obținute în flux operativ, prin convenții bilaterale, cu Ucraina și Republica Moldova; (3) date de reanalize.

Metodologia de actualizare se bazează pe metodologia de construcție a seturilor gridate hidroclimatice (din care apoi se deduc indicatorii hidroclimatici), realizate prin modelare statistică multivariată și care integrează datele identificate ca actualizabile, enumerate mai sus. Dintre aceste date, cele mai importante sunt datele de reanalize (au fost folosite deocamdata MERRA-2). Alte produse de reanaliză, mult îmbunătățite față de MERRA-2 - de exemplu, reanalizele regionale pentru Europa și noile reanalize globale ERA 5 - vor fi disponibile începând cu anul viitor, în timp real, în regim deschis și fără costuri de achiziție. Ele vor putea fi folosite în metodologia dezvoltată deja pentru actualizarea în timp real a indicatorilor privind secetele și perioadele cu precipitații abundente pentru bazinul Prut.

2.2.2 IMPLEMENTAREA STANDARDELOR, PROTOCOLURILOR ȘI PROCEDURILOR ȘTIINȚIFICE LA ACTUALIZAREA BAZEI DE DATE DEDICATE PROIECTULUI ÎN TIMP REAL

Procedurile de actualizare se bazează pe modelele de statistică multivariată ce leagă observațiile hidroclimatice din bazinul Prut (incomplete din punct de vedere al acoperirii spațio-temporale pentru bazinul împărțit de 3 țări) de predictorii ce oferă acoperirea completă spațio-temporală – datele de reanalize. În plus, pentru spațializarea foarte fină, modelele statistice dezvoltate și implementate în acest stadiu folosesc în setul de predictorii și parametri de covarianță spațială la rezoluție foarte fină (derivați din produse de tip Digital Elevation Model -DEM) ca altitudinea, latitudinea, distanța față de coasta Mării Negre. Odată cu noile date, mai performante, de reanalize regionale pentru Europa și globale (ERA 5), ce vor fi disponibile din 2018, aceste proceduri vor fi mai departe transferate în flux operațional și afișate pe geoportal.

În privința alertelor de inundații, procedurile de actualizare vizează extragerea datelor din ansamblul prognostic de 51 de membri de la Centrul European de Medie Durată (ECMWF) și integrarea lor în modelul de prognoză hidrologic ce furnizează date de debite la Răduți-Prut (în amonte de Stânca Costești). Aceste proceduri de implementare a datelor meteo probabiliste au fost realizate de cercetătorii de la INHGA, subcontractanți în proiect, anul viitor urmând să fie activat fluxul operativ pentru estimarea hidrologică probabilistă (secțiunea 3.2.2). România este membru asociat al ECMWF, astfel că datele meteorologice probabiliste pot fi actualizate continuu și fără costuri speciale de achiziții.

2.3 ORGANIZAREA DIALOGULUI CU BENEFICIARIILOR INFORMAȚIILOR ȘTIINȚIFICE GENERATE DE PROIECT

La data de 18-19 mai a avut loc o întâlnire a potențialilor utilizatori ai produselor și serviciilor hidroclimatice generate de proiect, la Iași (România), oraș situat în bazinul Prut. Utilizatorii locali au fost reprezentanți ai Gărzii de Mediu, Administrației Bazinala a Apelor Prut-Bârlad, Agenției pentru Protecția Mediului Iași, studenții și profesori de la Universitatea Alexandru Ioan Cuza din Iași. Primele versiuni ale

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

produselor de date pentru bazinul Prut au fost prezentate părților interesate, în cadrul reuniunii. A fost creată o listă a persoanelor interesate de rezultatele proiectului IMDROFLOOD privind bazinul Prut, pentru a le transmite informații actualizate odată cu evoluția proiectului și pentru a colecta comentarii/opinii despre produsele și serviciile climatice dezvoltate. Printre participanți a fost și d-na Megan Fleming, Science Fellow al Ambasadei Statelor Unite ale Americii din București și expert la Agenția de Protecție a Mediului din Washington D.C., care a prezentat exemple din activitatea colegilor săi și a sa privind rolul cunoașterii științifice în luarea deciziilor legate de problemele de mediu. Secțiunea Prezentări a fost urmată de discuții privind modul în care rezultatele cercetării științifice ar putea servi mai bine utilizatorilor de produse și servicii climatice. În urma discuțiilor de la această întâlnire, a fost inclus pe situl proiectului un forum de discuții ce va fi activat și dezvoltat în etapele viitoare (<http://imdروفlood.meteoromania.ro/forum/>). A fost elaborat și inclus pe situl proiectului IMDROFLOOD primul buletin (newsletter) al proiectului ce prezintă rezultatele obținute (<http://imdروفlood.meteoromania.ro/products/products>). Acest buletin va fi actualizat anual, conform contractului.

3 Caracteristicile observate ale episoadelor de seceta și inundații în bazinul Prut

3.1 EVALUAREA VULNERABILITĂȚII LA SECETA ȘI INUNDAȚII ÎN BAZINUL PRUT - PARTEA I

Pentru evaluarea vulnerabilității vegetației la secetă și la inundații în bazinul Prut, în această etapă a fost examinată variabilitatea și schimbarea climatică în statistica secetelor și a intervalelor cu precipitații abundente. În analizele climatice au fost folosite cantități lunare de precipitații, mediile lunare ale temperaturii, valorile lunare ale evapotranspirației potențiale extrase din setul global dezvoltat la Climate Research Unit din Marea Britanie (Harris și colab. 2014), debite lunare la stația hidrologică de închidere a bazinului Prut, date ale experimentelor numerice din programul EURO-CORDEX, în condițiile scenariilor climatice viitoare RCP 4.5 și RCP 8.5. Ca metrică pentru analiza secetei și a perioadelor cu exces de precipitații a fost folosit indicele Palmer de severitate a secetei (PDSI) care cuantifică efectul cumulativ al deficitului/surplusului lunar de precipitații față de o valoare definită ca fiind climatic potrivită pentru condițiile existente (Climatologically Appropriate For Existing Conditions - CAFEC) într-o regiune dată (Palmer, 1965) – în cazul nostru, în bazinul Prut.

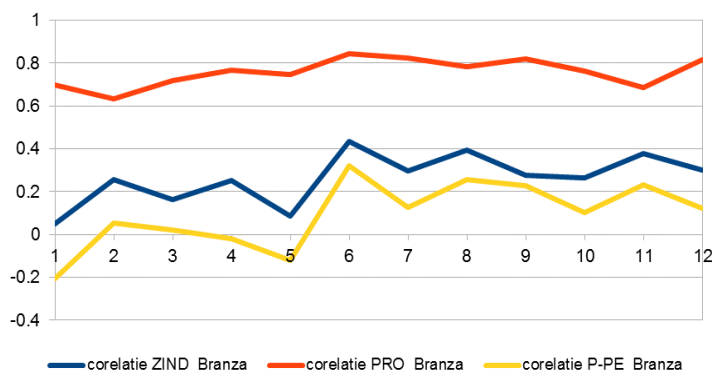


Figura 7. Coeficienții de corelație ale componentelor lunare calculate ale bilanțului apei după modelul Palmer (deficitul/excedentul ZIND, scurgerea potențială PRO) și diferenței lunare între precipitații și evapotranspirație potențială, mediate pe arealul bazinului Prut, cu debitul mediu lunar la stația hidrometrică Brânză (Rep. Moldova), aproape de închiderea bazinului Prut.

Am folosit versiunea autocalibrată a indicelui Palmer introdusă de Wells și colab. în 2004. Validarea folosirii indicelui Palmer pentru regiunea bazinul Prut a fost realizată utilizând date de observație din perioada 1985-2015, când au fost disponibile datele de debit mediu la stația Brânză. Corelațiile între componentele indicelui Palmer și anomaliiile debitelor la stația hidrologică (aproape de închiderea bazinului) sunt prezentate în figura 7. Calcularea lor urmează procedura introdusă prima oară pentru bazinul Bârlad în lucrarea publicată de Dascălu și colab. (2016).

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

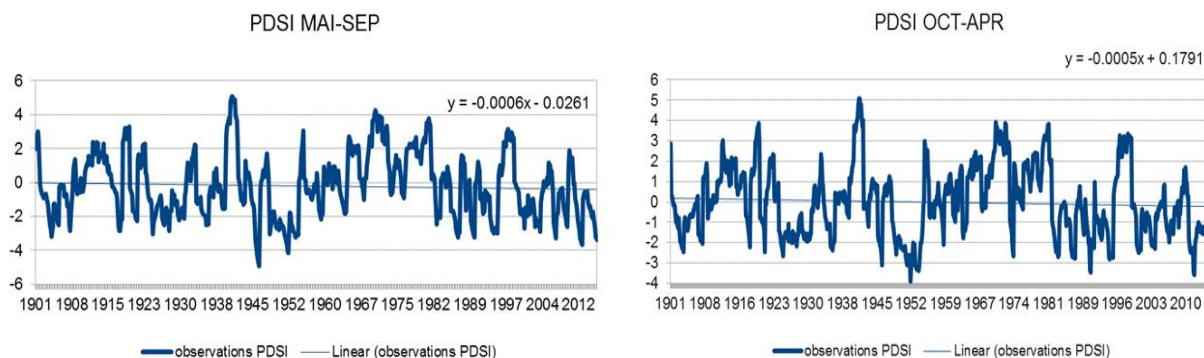


Figura 8. Indicii Palmer de severitate a secetei pentru bazinul Prut și tendințele liniare asociate, calculate din observații, pentru intervalele mai-septembrie 1901-2015 și octombrie-aprilie 1901-2015. Pentru evapotranspirația potențială a fost folosită formularea Penman-Monteith.

Se observă că modelul Palmer furnizează rezultate superioare (coeficienți de corelație semnificativi mai mari) decât procedura simplificată a diferenței între precipitații și evapotranspirație potențială (Figura 15), pe perioada comună. Valorile indicelui Palmer, mediate pe bazinul Prut, au fost, mai departe folosite la analiza tendințelor observate și a proiecțiilor viitoare în condițiile scenariilor climatice RCP 4.5 și RCP 8.5.

Tendențele observate pentru indicii Palmer de severitate a secetei, mediați la nivelul bazinului Prut, indică, pentru intervalul 1901-2015, o tendință ușoară de aridizare, mai pronunțată în lunile mai-septembrie (Figura 8). Același tip de tendințe ce se observă și pentru proiecțiile viitoare, mai pronunțate în cazul scenariului pesimist cu creșterea cea mai mare a concentrației globale a gazelor cu efect de seră (RCP 8.5).

3.2 EVALUAREA MODELELOR HIDRO-ECOLOGICE SI A DATELOR DE TELEDETECTIE PENTRU A IDENTIFICA IMPACTUL VEGETAȚIEI ASUPRA SECETEI SI INUNDAȚIILOR IN BAZINUL PRUT - PARTEA I

3.2.1 MODELAREA HIDRO-ECOLOGICA A SECETELOR ȘI INUNDAȚIILOR IN SUB-BAZINUL JIJIEI

Bazinul hidrografic al râului Prut este frecvent afectat de secetă datorită condițiilor climatice specifice acestui areal. În plus, schimbările intervenite în modul de utilizare a terenurilor din ultimele secole, în special transformarea terenurilor împădurite în terenuri arabile, au condus la intensificarea fenomenelor de secetă prin favorizarea procesului de scurgere pe versanți și reducerea rezervei de apă din sol. În faza actuală a fost selectat și testat modelul hidrologic ModClark implementat în software HEC HMS care utilizează date climatologice gridate (1km x 1 km). Acest model este unul dintre puținele modele hidrologice care utilizează date climatologice gridate, din cauza dificultății de transformare a excesului de precipitații (scurgerii pe versant) în debite lichide. Caracteristicile morfometrice ale subzinelor au fost extrase folosind un model digital al altitudinilor (DEM) la rezoluție 1:25.000. Prin utilizarea modelului de vegetație Canopy model au fost introduse, în modelarea elementelor bilanțului apei, date gridate privind coeficientii de vegetație și capacitatea de stocare a vegetației. Aceste informații sunt extrase din indicele de vegetație diferentiat normalizat NDVI calculat cu ajutorul benzilor spectrale furnizate de senzorii satelitari Sentinel 2 și Landsat.

Testarea modelului semi-distribuit ModClark pentru simularea bilanțului apei care permite utilizarea datelor meteorologice gridate cu rezoluție spațială 1 km x 1 km, folosind diferite metode de transformare a precipitațiilor în pierderi de apă (evapotranspirație și infiltrație) sau în exces de apă (scurgere pe versant) adaptate acestui tip de date urmează etapele:

1. Delimitarea sub-bazinelor pe baza modelului digital al altitudinilor, rezultat din interpolarea curbilor de nivel extrase din hărțile topografice 1:25.000, și extragerea caracteristicilor fizice ale subbazinelor delimitate;
2. Pregătirea seturilor de date meteorologice gridate cu rezoluție spațială 1 km x 1 km prin interpolarea datelor măsurate la stațiile meteorologice cu parametri fizico-geografici și informațiile furnizate de radarul meteorologic instalat la Bârnova, jud. Iași;

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

3. Procesarea seturilor de date meteorologice gridate pentru realizarea fișierelor DSS (Data System Storage), necesare simulării bilanțului apei cu modelul semi-distribuit ModClark;
4. Extragerea vegetației din imagini satelitare și din documente cartografice istorice și prelucrarea lor în format DSS;
5. Simularea bilanțului apei pentru perioada 2005-2015;
6. Analiza seriilor de timp rezultate și estimarea impactului vegetației asupra fenomenului de secetă.

Delimitarea sub-bazinelor s-a realizat pe baza modelului digital al altitudinilor (DEM) rezultat din interpolarea curbilor de nivel extrase din hărțile topografice 1:25.000. Delimitarea sub-bazinelor s-a realizat folosind extensia GEO HMS implementată în software-ul ArcGIS. Această activitate a constatat în pre-procesarea DEM-ului, respectiv corectarea hidrologică a acestuia. În general, DEM-urile reprezintă valori medii de altitudine la intervale regulate din care elementele rețelei hidrografice sau direcțiile de curgere a apei nu pot fi extrase cu acuratețe. Din acest motiv, s-a recurs la o corectare hidrologică a DEM-ului care constă în reinterpolarea acestuia ținând cont de rețeaua hidrologică existentă. Pe baza acestui DEM îmbunătățit au fost extrase următoarele caracteristici: direcția de scurgere, acumularea apei, definirea rețelei hidrografice, ierarhizarea rețelei hidrografice și delimitarea preliminară a sub-bazinelor, corespunzătoare suprafeței integrale a DEM-ului utilizat. Prin stabilirea punctului corespunzător secțiunii hidrologice de închidere a bazinului, a fost delimitată suprafața de drenaj aferentă bazinului hidrografic al râului Jijia pentru care se realizează simularea bilanțului apei (Figura 9). Pregătirea seturilor de date meteorologice gridate a presupus interpolarea, la pas de timp zilnic, pentru intervalul 2005-2015, a următorilor parametri meteorologici: precipitații, temperatura aerului, radiația solară de undă scurtă și radiația solară de undă lungă, folosind factorii fizico-geografici cu rol determinant în distribuția spațială a acestora.

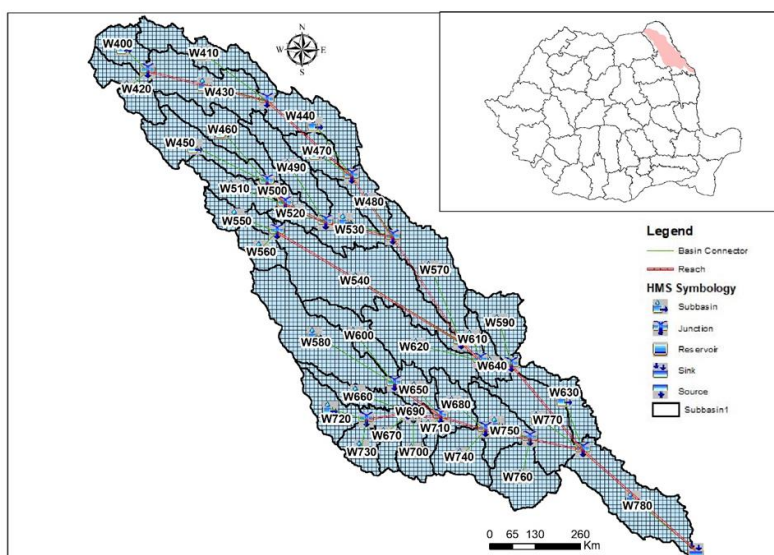


Figura 9 Delimitarea sub-bazinelor din cadrul B. H. Jijia

Simularea bilanțului apei pentru intervalul 2005-2015 în B.H.Jijia s-a realizat folosind următoarele sub-modele: Gridded Canopy (Modelul gridat al vegetației care permite estimarea evapotranspirației în funcție de tipul de vegetație (canopy evapotranspiration) precum și capacitatea de stocare a apei în sistemul foliar (canopy storage), Gridded Surface (Modelul gridat al suprafeței topografice ce permite estimarea cantității de apă reținută în micro-depresiunile topografice), Gridded Soil Moisture Account (Modelul de infiltrație și de percolație a apei în sol) și ModClark (Modelul de transformare a excesului de precipitații în scurgere pe versant și scurgere de bază).

Pentru fiecare sub-bazin au fost simulate următoarele variabile: precipitațiile totale, precipitațiile interceptate de vegetație (canopy storage), evapotranspirația potențială, evapotranspirația reală (canopy evapotranspiration), precipitațiile care au ajuns la nivelul solului (canopy overflow), infiltrația apei în sol, variația rezervei de apă din sol, percolarea apei în subteran, scurgerea apei pe versanti (direct flow) și scurgerea de bază (baseflow).

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

În această etapă preliminară, rularea modelului s-a realizat folosind valorile maxime ale coeficienților de vegetație, obținându-se astfel primele estimări ale evapotranspirației în funcție de tipul de vegetație. În perioada următoare se are în vedere extragerea coeficienților de vegetație în funcție de fazele fenologice din Indicele Normalizat de Vegetație (NDVI) calculat folosind benzile spectrale ale senzorilor satelitari Sentinel 2 și Landsat 8. Rezultatele simulării bilanțului apei pentru intervalul 2005-2015 indică o rezervă de apă în sol (soil storage) deficitară în anii 2007, 2009, 2011, 2012 și 2015 (Figura 10). Valorile rezervei de apă din sol sunt exprimate în mm/m³ și reprezintă toate cele trei faze ale apei în sol: apa peliculară, apa capilară și apa gravitațională.

Valorile reduse ale rezervei de apă din sol sunt influențate atât de perioadele cu precipitații deficitare cât și de capacitatea mică de înmagazinare a apei de către vegetație (canopy storage), în zona predominând terenurile arabile. Pierderea apei prin evapotranspirația reală (canopy evapotranspiration) a prezentat valori maxime de 8 mm/zi. În plus, pierderea apei prin procesul de infiltrație este favorizat de prelucrarea terenurilor agricole (aratul) care permite creșterea porozității de aerație.

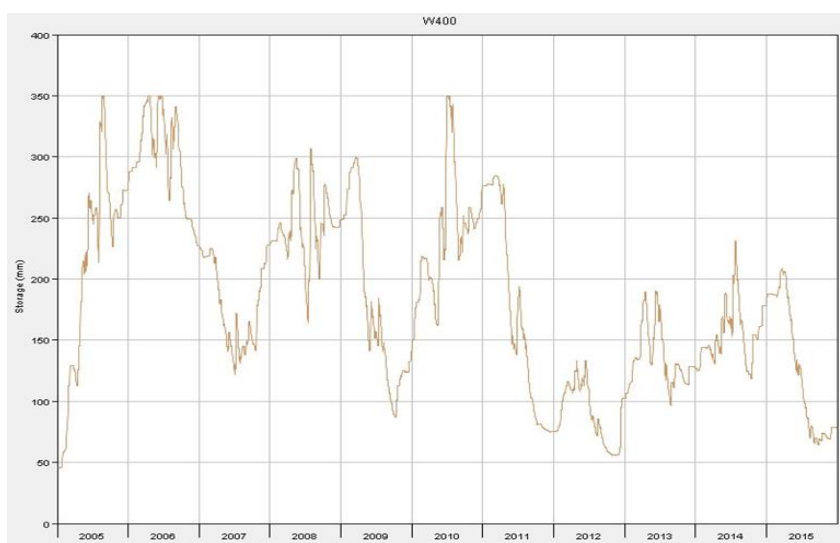


Figura 10. Simularea rezervei de apă din sol (soil storage) în perioada 2005-2015.

3.2.2 PROGNOZA PROBABILISTA HIDROLOGICA DE MEDIE DURATA PENTRU ALERTE DE INUNDATII LA RADAUTI-PRUT

Centrul Național de Prognoze Hidrologice din cadrul I.N.H.G.A. este autoritatea, la nivel național, ce are ca atribuții principale elaborarea și diseminarea de diagnoze, avertizări și prognoze hidrologice de scurtă, medie și lungă durată, pentru râurile interioare și pentru Dunăre. Sistemul Național Operativ de Modelare și Prognoză Hidrologică, ale cărui componente vor fi folosite pentru implementarea unor prognoze probabiliste de medie durată la Rădăuți-Prut (în amonte de Stânca Costești) este un sistem informatic complex, modular, integrat, format din componente specializate pentru simularea și prognozarea proceselor hidrologice la diferite scări spațio-temporale.

Având în vedere cerințele specifice pentru operaționalizarea prognozei hidrologice probabiliste de medie durată, din cadrul proiectului IMDROFLOOD, a fost necesară proiectarea și implementarea unei componente independente de modelare hidrologică, care să asigure funcționalitățile de prognoză hidrologică de tip ansamblu, utilizând ca date de intrare o prognoză numerică meteorologică de tip ansamblu. Pentru implementarea acestei componente specifice de modelare și prognoză hidrologică a fost selectată platforma de modelare RS-Minerve, platformă care este dezvoltată în mod activ, iar distribuția sa se realizează în regim Open Source (<http://rsminerve.hydro10.org/>). Pentru operaționalizarea prognozei hidrologice probabiliste de medie durată pentru Rădăuți/Prut a fost configurat modelul hidrologic pentru bazinul superior al Prutului. A fost selectat modelul ploaie-scurgere conceptual SACRAMENTO (Burnash 1995) (Figura 11). Pentru modelarea evoluției stratului de zăpadă a fost utilizat modelul Snow-GSM. Simularea propagării prin albie poate fi abordată pe baza modelelor St-Venant, Muskingum-Cunge sau Kinematic Wave. Pentru aplicația pilot a fost selectată metoda

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

Kinematic Wave. RS Minerve permite includerea de structuri hidraulice complexe în cadrul modelării proceselor hidrologice dintr-un bazin hidrografic amenajat.

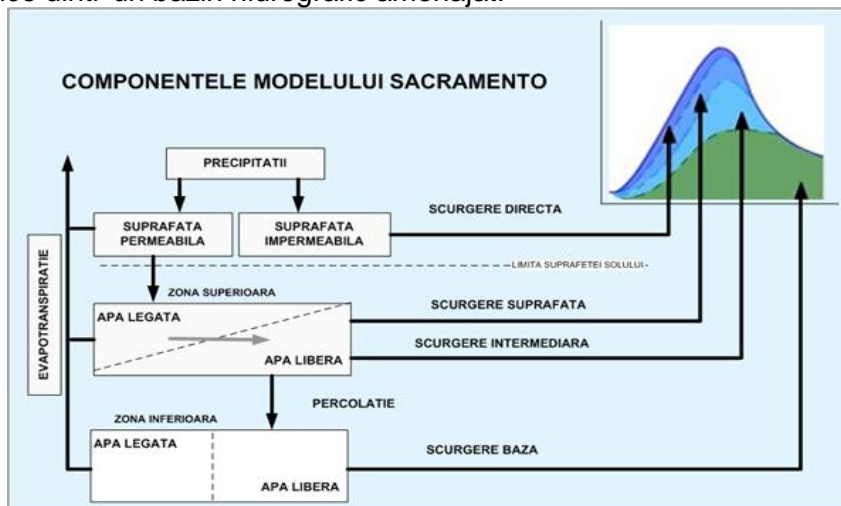


Figura 11. Schema generală și componentele modelului hidrologic conceptual SACRAMENTO

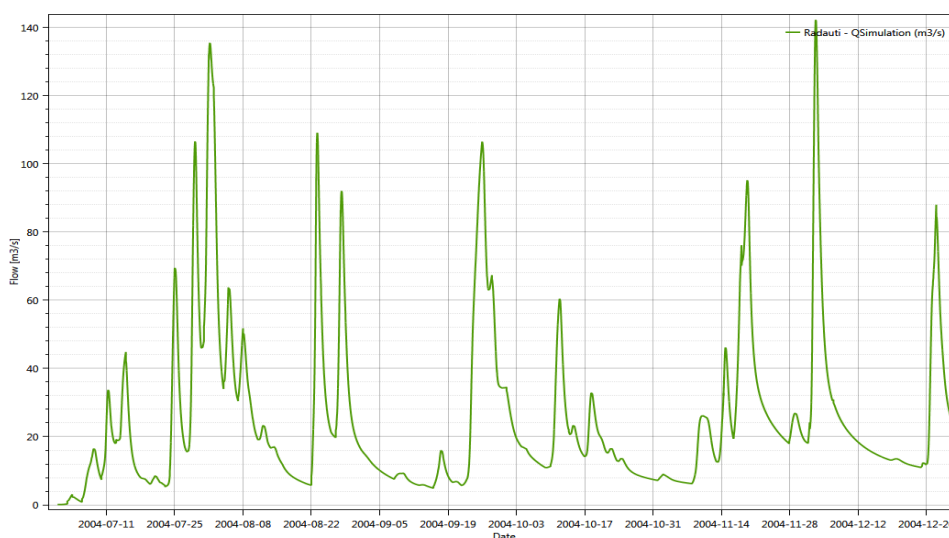


Figura 12 Exemplu de prognoză hidrologică a debitelor la stația hidrometrică Rădăuți-Prut.

Pe baza acestor componente specifice de modelare hidrologică a fost realizat modelul hidrologic de prognoză pentru bazinul hidrografic superior al Prutului. Prin rularea modelului de prognoză hidrologică se obțin hidrografele de debite simulate în secțiunile de prognoză, configurate în principal pentru secțiunile stațiilor hidrometrice (Figura 12). În etapa următoare, va fi configurat și implementat pentru rulare, în regim operativ, întregul ansamblu de preprocesare date intrare, rulare model hidrologic cu prognozele meteorologice de tip ansamblu, transferul prognozelor hidrologice de tip ansamblu către platforma centrală, pentru postprocesare și realizare produse de prognoză hidrologică de tip probabilist.

3.2.3 EVALUAREA RASPUNSULUI SECETEI ȘI A INUNDAȚIILOR LA HAZARDELE CLIMATICE ÎN FUNCȚIE DE TIPURI DE VEGETAȚIE ÎN BAZINUL PRUT - PARTEA I

Impactul diferitelor tipuri de vegetație asupra fenomenelor de seceta și inundații este estimat folosind imaginile satelitare preluate de senzorii satelitari Sentinel 2 și Landsat pe baza cărora se calculează diferiți indici de vegetație (NDVI, LAI, etc) și se extrag informații privind coeficienții de vegetație și capacitatea de stocare a apei de către vegetație. Acești doi parametri sunt utilizați în modulul Canopy al modelului ModClark implementat în software HEC HMS pentru a calcula interceptia precipitațiilor de către vegetație și a estima modul în care precipitațiile fie sunt stocate în diferite rezervoare (vegetație/sol/subteran), fie sunt evacuate din bazin printr-o scurgere pe versant (runoff)

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

semnificativa. Dinamica vegetației joacă un rol determinant în intensitatea proceselor hidrologice ce contribuie la transformarea precipitațiilor în elementele bilanțului apei (evapotranspirația, infiltrația, scurgerea apei pe versanți și în albie). Pentru identificarea impactului vegetației în perioadele cu deficit de precipitații s-a propus utilizarea dinamicii temporale a vegetației, informațiile fiind extrase atât din imagini satelitare preluate de senzorii optici (Sentinel 2 și Landsat 8) cât și din documentele cartografice istorice (Planurile Directoare de Tragere, 1890-1920). Informațiile privind dinamica vegetației vor fi folosite pentru generarea parametrilor necesari modelului de vegetație Gridded Canopy.

În vederea creării unor scenarii privind impactul vegetației în timpul perioadele cu secetă, în următoarea fază a proiectului s-a propus extragerea informațiilor privind utilizarea terenurilor prin digitizarea Planurilor Directoare de Tragere. Această analiză are ca scop simularea bilanțului apei în condițiile climatice actuale folosind utilizarea terenurilor de la începutul secolului al XX-lea, când terenurile erau ocupate de suprafețe întinse cu păduri și compararea acestora cu cazul actual al terenurilor cu culturi agricole distribuite majoritar în arealul sub-bazinului Jijiei. O concluzie a rulărilor realizate cu modelul hidrologic ModClark, implementat în software HEC HMS, care utilizează date climatologice gridate (1 km x 1 km), ce va fi luată în considerare în etapa viitoare, este că analiza rolului vegetației în timpul perioadelor cu precipitații deficitare trebuie să țină cont atât de capacitatea de stocare a apei de vegetație cât și de pierderile de apă prin procesul de evapotranspirație reală. De asemenea, coeficienții de vegetație folosiți în calculul evapotranspirației reale trebuie să fie estimați dinamic, în funcție de fazele fenologice, utilizând indicii de vegetație (NDVI, LAI, etc.) calculați pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2 și Landsat 8.

Analizele realizate cu modelul hidrologic ModClark implementat în software HEC HMS au indicat și că estimarea pierderilor de apă prin procesul de transpirație necesită rafinarea datelor de intrare în modelul de infiltrație a apei în sol Gridded Soil Moisture Account (SMA), care permite calcularea cantității de apă extrasă de plante prin intermediul rădăcinilor (root water uptake).

4 CONCLUZII

A fost continuată activitatea de construire a bazei de date, începută în etapa anterioară. Baza de date IMDROFLOOD poate fi accesată și analizată folosind servicii de date conforme cu specificațiile directivei INSPIRE. Aceste servicii pot fi folosite ca interfețe de acces la date de către instituțiile relevante și utilizatorii interesați, funcționând după principii și protocoale de comunicație similare cu cele ale serviciilor de web clasice. Baza de date IMDROFLOOD cuprinde date SIG de referință, indicatori hidroclimatici ce integrează date de observație de la stații meteorologice, hidrometrice și date radar, indicatori de secetă derivați din date satelitare. O parte din aceste date pot fi deja accesate public prin geoportul IMDROFLOOD (<http://imdروفlood.meteoromania.ro/geoportul/>). În etapele următoare vor fi implementate noi funcții pentru procesarea de către utilizatori a indicatorilor afișați și prezentarea lor în forma potrivită beneficiarilor de produse și servicii hidroclimatiche.

Pentru dezvoltarea procedurilor privind actualizarea indicatorilor de secetă și episoade cu precipitații abundente, în timp real, au fost trecute în revistă toate produsele ce pot contribui la monitorizarea bazinului Prut. Pe lângă datele de la stațiile meteorologice și datele radar din regiunea românească a bazinului, ce se actualizează în timp real, au fost testate produse de reanaliză. La acestea se adaugă date de temperatură și precipitații obținute în flux operativ, prin convenții bilaterale, cu Ucraina și Republica Moldova. Alte produse de reanaliză regionale (de exemplu, reanalizele pentru Europa dezvoltate la Serviciul Suedez Hidrometeorologic - SMHI) și globale (ERA 5) vor fi disponibile începând cu anul viitor. Ele vor putea fi folosite, pentru bazinul Prut, prin adaptări statistice, la actualizarea în timp real a indicatorilor privind secetele și perioadele cu precipitații abundente ce pot duce la inundații.

În această etapă, pentru evaluarea vulnerabilității bazinului Prut la secetă și inundații, au fost examinate variabilitatea și schimbarea climatică în statistica secetelor și perioadelor cu exces de precipitații, atât pentru clima prezentă, cât și în condițiile scenariilor viitoare ale schimbării climatice (scenariul moderat și pesimist). Tendințele observate pentru indicii Palmer de severitate a secetei, mediați la nivelul bazinului Prut, indică o tendință ușoară de aridizare, mai pronunțată în lunile mai-septembrie, pentru intervalul 1901-2015. Același tip de tendințe se observă și pentru proiecțiile viitoare, mai pronunțate în cazul scenariului pesimist, cu creșterea cea mai mare a concentrației globale a gazelor cu efect de seră.

Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, prognozei și atenuării efectelor secetei și inundațiilor pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real

Pentru evaluarea impactului vegetației asupra secetelor și inundațiilor, a fost testat modelul semi-distribuit ModClark pentru simularea bilanțului apei, model care permite utilizarea datelor meteorologice gridate cu rezoluție spațială 1 km x 1 km. Modelul folosește diferite metode de transformare a precipitațiilor în pierderi de apă (evapotranspirație și infiltrație) sau în exces de apă (scurgere pe versant), adaptate pentru datele meteorologice gridate. În acest context, merită menționat faptul că vor putea fi folosite, ca date de intrare, și seturile de reanalize actualizate. Concluziile rulărilor cu acest model, referitoare atât la capacitatea de stocare a apei de către vegetație, cât și la pierderile de apă prin procesul de evapotranspirație reală, vor fi folosite în etapa următoare la evaluarea impactului vegetației asupra fenomenului de secetă și inundații în sub-bazinul Jijiei.

Intr-o primă etapă, pentru operaționalizarea prognozei hidrologice probabiliste de medie durată pentru Rădăuți/Prut, a fost realizată configurarea modelului de prognoză hidrologică în bazinul superior al Prutului astfel încât să permită elaborarea operativă de prognoze hidrologice de tip ansamblu (probabiliste). Această activitate va fi continuată în etapa următoare.

Organizarea dialogului cu beneficiarii informațiilor științifice, generate de proiect, s-a realizat, în această etapă, prin mai multe activități: (1) organizarea unei întâlniri a potențialilor utilizatori ai produselor și serviciilor hidroclimatic generate de proiect, la Iași, în bazinul Prutului; (2) elaborarea primului buletin ce descrie activitățile și rezultatele de până acum ale proiectului, buletin afișat pe situl web IMDROFLOOD (<http://imdروفlood.meteoromania.ro/products/products>); (3) includerea în situl IMDROFLOOD a unui forum de discuții ce va fi activat și dezvoltat în etapele următoare. În concluzie, au fost îndeplinite toate obiectivele etapei raportate și s-a construit baza continuării eficiente a activităților proiectului în etapele ce urmează.

5 BIBLIOGRAFIE

- Anderson, M.R., Koren, V.I., Reed, M.S. (2006). *Using SSURGO data to improve Sacramento Model a priori parameter estimates*, Journal of Hydrology 320; 103–116.
- Asner, G. P., Wessman, C. A., & Archer, S. (1998), Scale dependence of absorption of photosynthetically active radiation in terrestrial ecosystems, Ecological Applications, 8, pp. 1003–1021
- Bergström, S. (1976). *Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments*. Ph.D. Thesis. SMHI Reports RHO No. 7, Norrköping.
- Bergström, S. (1992). *The HBV model - its structure and applications*. SMHI Reports RH, No. 4, Norrköping.
- Bérod, D. (1994). *Contribution à l'estimation des crues rares à l'aide de méthodes déterministes. Apport de la description géomorphologique pour la simulation des processus d'écoulement*. Ph.D. Thesis n° 1319, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Biswal, A., Sahay, B., Ramana, K.V., Rao, SVCK., Sessa Sai, MVR. (2014), Relationship between AWIFS derived spectral vegetation indices with simulated wheat yield attributes in Sirsa district of Haryana, Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-8, pp: 689-694, doi: 10.5194/isprsarchives-XL-8-689-2014
- Bosilovich M, Lucchesi R, Suarez M. MERRA-2: File specification. Greenbelt, Maryland 20771: Global Modeling; Assimilation Office, Earth Sciences Division, NASA Goddard Space Flight Center; 2015. Report No.: 9.
- Burcea S., S. Cheval, A. Dumitrscu, B. Antonescu, A. Bell and T. Breza, 2012: Comparison between radar estimated and rain gauge measured precipitation in the Moldavian Plateau, Environ. Eng. Manag. J., 11-4, 723-731.
- Burnash, R. J. C. (1995). *The NWS River Forecast System - catchment modeling*. In: Singh, V. P. (Ed.). Computer Models of Watershed Hydrology, 311-366.
- Ceccato, P., Flasse, S., and Grégoire, J. M. (2002), Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2, Validations and applications, Remote Sens. Environ., 82, 198–207
- Chen, J.M., Black. T. (1992), Defining leaf area index for non-flat leaves, Plant Cell Environ., 15, pp. 421–429
- Chen, X. and Pan, W. (2002), Relationship among phenological growing season, time-integrated normalized difference vegetation index and climate forcing in the temperate region of Eastern China, Int. J. Climatol., 22, pp: 1781-1792

- Dascalu SI, Gothard M, Bojariu R, Bîrsan MV, Cică R, Vintilă R, Adler MJ, Chendeș V, Mic RP. 2016. Drought-related variables over the Bârlad basin (Eastern Romania) under climate change scenarios. *Catena*, 141, pp. 92-99, doi:10.1016/j.catena.2016.02018
- Darcy, H. (1857). *Recherches Expérimentales Relatives au Mouvement de l'Eau dans les Tuyaux* [Experimental Research on the Movement of Water in Pipes]. Mallet-Bachelier, Paris, 268 p. & atlas.
- Delobbe L., Dehem, D., Dierickx, P., Roulin, E., Thunus, M., and Tricot, C., 2006: Combined use of radar and gauge observations for hydrological applications in the Walloon Region of Belgium. Proceedings of ERAD 2006, Barcelona, Spain, 18–22 September 2006, ERAD Publication Series, 3, 418–421
- Di Gregorio, A., Jansen, L.J.M. (2005), Land Cover Classification System Classification: concepts and user manual, Software version (2), in: 8 EaNRS (ed), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- Di Gregorio, A., (2016), Land Cover Classification System Classification: concepts and user manual, Software version (3), in: 8 EaNRS (ed), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- FAO (2000), Land Cover Classification System (LCCS). Classification Concepts and User Manual for software version 1.0. By A. Di Gregorio and L.J.M. Jansen, Rome
- Fang, H., Liang, S., Hoogenboom, G. (2011), Integration of MODIS LAI and vegetation index products with the CSM-CERES Maize model for corn yield estimation, *Int. J. Remote Sens.*, 32, pp. 1039–1065
- Gao, B., C., 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sensing of Environment*, 58, pp: 257-266
- GCOS, 2004, Implementation plan for the Global Observing System for Climate in support of the UNFCCC, Report GCOS – 92 (WMO/TD No. 1219), 136p.
- Gower, S. T., Kucharik, C. J., & Norman, J. M. (1999), Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems, *Remote Sens. Environ.*, 70, pp. 29–51
- GTOS (2008), Terrestrial essential climate variables – for climate change assessment, mitigation and adaptation, Biennial report supplement GTOS, 44
- Gu, Y., Brown, J., Verdin, J., Wardlow, B. (2007), A five-year analysis of MODIS NDVI and VDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L06407, doi: 10.1029/2006GL029127
- Guijarro JA. Climatol: Climate tools (series homogenization and derived products) [Internet]. 2016. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=climatol>
- Harris I., P.D. Jones, T.J. Osborn and D.H. Lister (2014) Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset *International Journal of Climatology*, Volume 34, Issue 3, pages 623–642 doi:10.1002/joc.3711
- Hamdi, Y., Hingray, B. and Musy, A. (2003). *Projet MINERVE, rapport intermédiaire N°1 volet B: Modélisation hydrologique*. Technical report, EPFL.
- Hamdi, Y., Hingray, B. and Musy, A. (2005). *Projet MINERVE, rapport intermédiaire N°3 volet B: Modélisation hydrologique*. Technical report, EPFL.
- Herold, M., Kooistra, L., Van Groenestijn, A., Defourny, P., Schmullius, C., Kalogirou, V., Arino, O. (2012), Chapter 26, Building Saliency, Legitimacy, and Credibility toward Operational Global and Regional Land-Cover Observations and Assessments in the Context of International Processes and Observing Essential Climate Variables, in Giri CP (ed.) *Remote Sensing of Land Use and Land Cover, Principles and Applications*, CRC Press, 397-414
- Holleman I., 2007: Bias adjustment and long-term verification of radar-based precipitation estimates. *Meteorol. Appl.*, 14, 195–203.
- Hunt, E. R. Jr. and Rock, B. N. (1989), Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances, *Remote Sens. Environ.*, 30, 43–54
- Jarvis A, Reuter HI, Nelson A, Guevara E. Hole-filled seamless srtm data v4, international centre for tropical agriculture (ciat). 2008.
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., Baret, F. (2004), Review of methods for in-situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography, *Agric. Forest. Meteorol.*, 121, pp. 19-35
- Koren, V.I., Smith, M., Wang, D., Zhang, Z. (2000). *Use of Soil Property Data in the Derivation of Conceptual Rainfall-Runoff Model Parameters*. Proceedings of the 15th Conference on Hydrology. AMS, Long Beach, CA, pp. 103–106.
- Koren, V., Smith, M., Duan, Q. (2003). *Use of a priori parameter estimates in the derivation of spatially consistent parameter sets of rainfall-runoff models*. In: Duan, Q., Sorooshian, S., Gupta, H., Rosseau, H., Turcotte, H. (Eds.), *Calibration of Watershed Models Water Science and Applications*, vol. 6. AGU, pp. 239–254.

- Kriegler, F.J., Malila, W.A., Nalepka, R.F., Richardson, W. (1969), Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition, in: Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI, pp: 97-131
- Krajewski WF, Smith JA, 2002: Radar hydrology: rainfall estimation. *Adv Water Resour*, 25, 1387–1394.
- Liston GE, Elder K. A meteorological distribution system for high-resolution terrestrial modeling (micromet). *Journal of Hydrometeorology*. 2006;7(2):217–34.
- Maselli, F., (2004), Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data, *Remote Sen. Environ.*, 89, pp: 423-433
- McFeeters, S.K. (1996), The used of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *Int. J. Remote Sens.*, 17, pp: 1425-1432
- Menne MJ, Durre I, Vose RS, Gleason BE, Houston TG. An overview of the global historical climatology network-daily database. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2012;29(7):897–910.
- Molod A, Takacs L, Suarez M, Bacmeister J. Development of the geos-5 atmospheric general circulation model: Evolution from merra to merra2. *Geoscientific Model Development* [Internet]. 2015;8(5):1339–56. Available from: <http://www.geosci-model-dev.net/8/1339/2015/>
- Palmer WC (1965) Meteorological drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C.
- Perrin, C., Michel, C. and Andréassian, V. (2003). *Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation*. *Journal of Hydrology* 279, 275-289.
- Prince, S.D. and Justice, C.O (eds.) (1991), Coarse resolution remote sensing of the Sahelian environment, *Int. J. Remote Sens*, 12, pp: 1133-1421
- Reed, B.C., Brown, J.F., VanderZee, D., Loveland, T.R., Merchant, J.W., Ohlen, D.O. (1994), Measuring phenological variability from satellite imagery, *Journal of Vegetation Science*, 5, pp: 703 – 714
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. (1973), Monitoring vegetation system in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp: 309-317
- Schäfli, B., Hingray, B., Niggli, M. and Musy, A. (2005). *A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments*. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 2, 73-117.
- Simmons, C. T. (2008). Henry Darcy (1803–1858): *Immortalised by his scientific legacy*. *Hydrogeology Journal* 16, 1023-1038.
- Sokal R. (1974), Classification: purposes, principles, progress, prospects, *Science*, v. 185 (4157), 111-123
- Sriwongsitanon, N., Gao, H., Savenije, H.H.G., Maekan, E., Saengsawang, S., Thianpopirug, S. (2016), Comparing the Normalized Difference Infrared Index (NDII) with root zone storage in a lumped conceptual model, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, pp: 3361-3377
- Steele-Dunne, S. C., Friesen, J., Van de Giesen, N. (2012), Using Diurnal Variation in Backscatter to Detect Vegetation Water Stress, *IEEE T. Geosci. Remote Sens.*, 50, 2618–2629
- Steiner, M. and J. Smith, 2002: Use of three-dimensional reflectivity structure for automated detection and removal of non-precipitating echoes in radar data. *J. Atmos. Ocea. Tech.*, 19, 673–686.
- Tucker, C. J. (1980), Remote sensing of leaf water content in the near infrared, *Remote Sens. Environ.*, 10, pp: 23-32
- Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI (2010) A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate* 23: 1696-1718.
- Wells N., S. Goddard, M. Hayes A self-calibrating Palmer Drought Severity Index *J. Clim.*, 17 (2004), pp. 2335-2351.
- White, M.A., Thornton, P.E., Running, S.W. (1997), A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability, *Global Biogeochemical Cycles*, 11, pp: 217 – 234.
- Zhang J, Wang S, Clarke B. 2004. WSR-88D reflectivity quality control using horizontal and vertical reflectivity structure. In Proceedings of 11th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, 4–8 October 2004, Hyannis, MA. American Meteorological Society: Boston, MA.
- Zheng, G., Moskal, L.M. (2009), Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors, *Sensors*, 9, pp. 2719-2745
- Zhou, L., Tucker, C.J., Kaufmann, R.K., Slayback, D., Shabanov, N.V., Myneni, R.B. (2001), Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999, *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 106 (D17), pp: 20 069 – 20 083