A XVI-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti"
SEBEŞ, 2016

IMPORTANȚA UTILIZĂRII DATELOR DE TELEDETECȚIE PENTRU MONITORIZAREA STĂRII DE VEGETAȚIE A CULTURILOR AGRICOLE

Argentina Teodora NERȚAN, Valeriu PANAITESCU

THE IMPORTANCE OF USING REMOTE SENSING DATA FOR CROP VEGETATION STATE MONITORING

The paper highlights the usefulness of remote sensing data for crops vegetation state monitoring. For this was chosen as a study area, the Agricultural Research Station Caracal, located in Olt County, in the Region IV South-West Oltenia. As remote sensing were used high resolution (Landsat, spatial resolution 30 m data) and medium (MODIS (spatial resolution of 500 m) satellite images. They were used to calculate to the following vegetation indices: the normalized difference of vegetation index (NDVI), normalized difference water index (NDWI) and normalized difference drought index (NDDI). For a complete analysis was performed a correlation between the vegetation indices and main agro-meteorological parameters registered to Caracal meteorological station (rainfall and soil moisture).

Keywords: crops, remote sensing data, NDVI, NDWI, NDDI
Cuvinte cheie: culturi agricole, date de teledetecție, NDVI, NDWI, NDDI

1. Introducere

Imaginile satelitare, prin creșterea și diversificarea numărului de senzori, viziunea sinoptică a teritoriului și multitudinea de date biofizice și geomorfologice pe care le reprezintă, se relevă ca un instrument deosebit de important și util în managementul fenomenului extreme (secetă, inundații, incendii de pădure etc.). În acest sens,

datele de teledetecție oferă informații spectrale care și-au dovedit eficiența în multe aplicații din domeniul managementului dezastrelor. În general rețelele de monitorizare de pe teren, sunt insuficiente prin densitatea scăzută a punctelor de observații; platformele satelitare asigură o acoperire spațială destul de largă fără limitări de acces. Seturile de date furnizate de sistemele satelitare referitoare la suprafețele acoperite cu vegetație pot fi utilizate în studii la scări globale, regionale sau locale, în scopul obținerii datelor de intrare folosite la realizarea diferitelor modelele de bilanț energetic, bilanț hidric etc. Din date de teledetecție se pot extrage parametri biofizici, biologici sau structurali ai vegetației: indicele suprafeței foliare-LAI, biomasă, fracțiunea zilnică de radiație fotosintetică activă absorbită de acoperirea vegetală-fAPAR, indicele de vegetație diferență normalizată-NDVI, indicele de apă diferență normalizată-NDWI, indicele de secetă diferență normalizată – NDDI etc.

2. Zona de studiu

Zona test aleasă pentru realizarea obiectivelor studiului o reprezintă Stațiunea de Cercetare–Dezvoltare Agricolă Caracal din județul Olt. Este amplasată în zona de sud a Câmpiei Române, respectiv Câmpia Caracalului, coordonatele geografice fiind următoarele: latitudine nordică = 44°06’, longitudine estică = 24°21’ şi altitudine de 98 m (figura 1).

În ceea ce priveşte repartizarea precipitaţiilor, se remarcă distribuţia neuniformă în vegetaţie şi numărul mic de zile cu precipitaţii, îndeosebi cele efective (5,0 mm/zi) din anotimpul de vară, în medie 3-4 zile, valori nesatisfăcătoare pentru asigurarea cerinţelor fiziologice ale plantelor pe parcursul perioadelor critice. Cuantumul mediu anual de precipitaţii (565,3 l/m^2) semnifică un regim pluviometric moderat secetos, fluctuaţiile anuale ale precipitaţiilor determinând însă variaţii semnificative în randamentul culturilor agricole. Precipitaţiile totalizate în sezonul rece al anului agricol, respectiv intervalul noiembrie-martie, care corespunde cu perioada de acumulare a apei în sol, caracterizează un regim pluviometric optim (209,7 l/m^2), favorabil pentru pornirea în vegetaţia activă din primăvară a culturilor cerealiere de toamnă (la desprimăvărare) şi însămânţarea culturilor de primăvară. Pentru sezonul cald al anului (aprilie-octombrie) care corespunde perioadei active de vegetaţie a culturilor agricole este specific caracterul moderat secetos (353,6 l/m^2), cele mai mici valori înregistrându-se în iulie-august (106,9 l/m^2) şi septembrie-octombrie

(64,5 l/m^2) cu efecte negative asupra creşterii şi dezvoltării plantelor, îndeosebi în anii extremi.

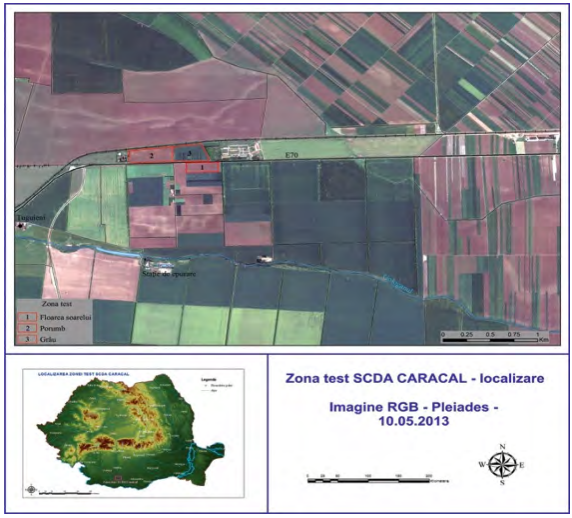


Fig. 1 Localizarea zonei test – SCDA Caracal

3. Date agrometeorologice şi de teledetecţie

3.1. Date agrometeorologice

Cantitatea de precipitații și rezerva de umiditate din sol sunt parametrii importanți în monitorizarea și analiza secetei, a dinamicii vegetației.

În studiul de față au fost folosite datele de precipitații (medii decadale) (tabelul 1) și rezerva de umiditate din sol înregistrate la stația meteorologică Caracal (tabelul 2), corespunzătoare perioadei analizate, Mai – Septembrie 2013.

Tabelul 1

Luna	Decade	PP (l/mp)
1-10.03	I	2.4
11-20.03	II	15.2
21-31.03	III	44.2
1-10.04	I	33.5
11-20.04	II	4.4
21-30.04	III	0
1-10.05	I	6.4
11-20.05	II	4.2
21-31.05	III	21.4
1-10.06	I	14.6
11-20.06	II	29.8

21-30.06	III	89.2
1-10.07	I	26.8
11-20.07	II	2.2
21-31.07	III	12.4
1-10.08	I	0

11-20.08	II	3.2
21-31.08	III	20.3
1-10.09	I	0
11-20.09	II	9.2
21-30.09	III	25.6

Tabelul 2

Data	**Umiditatea solului (m^3/ha) (0-100 cm)**	**Clasa**	**Faza fenologică**
23.05.2013	Grâu: 381	Secetă pedologică puternică	maturitate
	Porumb: 302	Secetă pedologică moderată	formarea frunzelor
10.07.2013	Porumb: 1318	Aprovizionare aproape normală	înflorire panicul, mătăsire, umplere bob
26.07.2013	Porumb: 802	Secetă pedologică moderată	înflorire panicul, mătăsire, umplere bob
27.08.2013	Porumb: 374	Secetă pedologică puternică	se continuă înflorirea panicul, mătăsirea, maturitate lapte, maturitate ceară,
12.09.2014	Porumb: 65	Secetă pedologică extremă	maturitate lapte, maturitate ceară, maturitate deplina, recoltare maturitate deplină

În intervalul 01-31.05.2013, la stațiile agrometeorologice din zona Olteniei s-au înregistrat valori ale precipitațiilor cuprinse între 26-50 l/m^2, care corespund unui deficit de umiditate în sol, seceta pedologică fiind moderată și puternică pentru.

În intervalul 01-28.06.2013, la stațiile agrometeorologice din zona Olteniei s-au înregistrat valori ale precipitațiilor cuprinse între 101-125 l/m^2, care corespund unui deficit de umiditate în sol, seceta pedologică fiind moderată, ca urmare a cantităților de precipitații scăzute din luna anterioară.

În intervalul 01-31.07.2013 la stațiile agrometeorologice din zona Olteniei s-au înregistrat valori ale precipitațiilor cuprinse între 26-50 l/m^2, care corespund unui deficit de umiditate în sol, seceta pedologică fiind moderată.

3.2 Date de teledetecție

Baza de date pentru studiul de față include următoarele tipuri de date satelitare:

1. *Produsele de reflectanţă MOD09A1.* Au rezoluţia spaţială de 500 m. Estimarea reflectanţei din imagini satelitare necesită corecții atmosferice, topografice și de variații diurne, valorile acestor parametri modificându-se de-a lungul unui sezon ca urmare a evoluției fenologice. Estimarea reflectanţei din date satelitare necesită imagini clare, fără nori, de aceea produsul MOD09A1 este un produs compozit la 8 zile.
2. *Date LANDSAT.* Sistemul Landsat reprezintă cel mai vechi sistem de colectare a datelor satelitare de rezoluție medie, primul satelit Landsat fiind lansat în 23.07.1972. Cel mai recent satelit al sistemului, Landsat 8 a fost lansat în 11.02.2013. Pentru acest studiu s-au folosit date Landsat 8, cu rezoluție spațială de 30 m.

4. Calculul indicilor de vegetație. Rezultate

Datele de teledetecţie oferă informaţii spectrale care şi-au dovedit eficienţa în multe aplicaţii din domeniul managementului dezastrelor. În general, reţelele de monitorizare de pe teren, sunt insuficiente prin densitatea scăzută a punctelor de observaţii; platformele satelitare asigură o acoperire spaţială destul de largă fără limitări de acces. Din date de teledetecţie se pot extrage parametri biofizici, biologici sau structurali ai vegetaţiei: indicele suprafeței foliare-LAI, biomasa, fracţiunea zilnică de radiaţie fotosintetică activă absorbită de acoperirea vegetală-fAPAR, indicele de vegetaţie diferenţă normalizată-NDVI, indicele de apă diferenţă normalizată-NDWI.

Structura vegetaţiei este caracterizată prin poziţia, orientarea, mărimea şi forma elementelor de vegetaţie. Arhitectura structurii vegetale se modifică cu timpul, de la fracţiuni de secunde şi minute (vânt, stres hidric etc.) la sezon (evoluţie fenologică, constrângeri de mediu) şi ani (dinamicele ecosistemului). Indicii de vegetaţie (IV) sunt un subset al indicilor spectrali şi se bazează exclusiv pe interpretarea răspunsurilor spectrale ale obiectelor care interacţionează cu radiaţia solară incidentă. Cele mai utile domenii spectrale pentru supravegherea vegetaţiei prin teledetecţie sunt situate între 600-700 nm şi 750-1350 nm.

Indicele de vegetaţie diferenţă normalizată (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) reprezintă o transformare non-

lineară a benzilor vizibil (RED - roşu) şi infraroşu apropiat (NIR) fiind definită ca diferenţa dintre aceste două benzi, împărţită la suma lor [NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)] [1, 2].

NDVI este o „unitate de măsură" a dezvoltării şi densităţii vegetaţiei şi este asociat cu parametrii biofizici ca: biomasa (tone/ha), indicele suprafeţei foliare (LAI), folosit foarte des în modele de creștere a culturilor, procentul de acoperire cu vegetaţie al terenului, activitatea fotosintetică a vegetației. În general valorile NDVI sunt cuprinse între -1,0 şi 1,0, valorile negative indicând nori sau apă iar valorile pozitive apropiate de 0 indicând solul neacoperit de vegetație, valorile NDVI pozitive mari indică vegetaţie rară (0,1-0,5) până la vegetație densă (> 0,6).

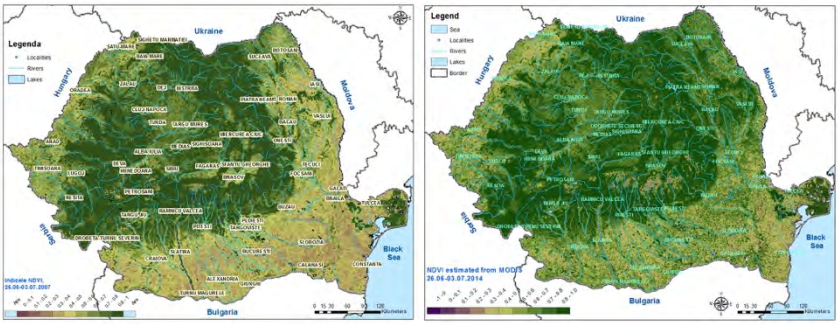
Indirect, NDVI este folosit la estimarea efectelor precipitațiilor pe o anumită perioadă de timp, la estimarea stării de vegetaţie a diferitelor culturi şi la calitatea mediului ca habitat pentru diferite animale, dăunători şi boli.

Indicele de apă diferenţă normalizată (NDWI – Normalized Difference Water Index) combină informații din infraroșu apropiat și infraroșu în unde scurte (SWIR) {NDWI = (NIR – SWIR)/ (NIR + SWIR)]. NDWI este un bun indicator al conținutului de apă din frunze, fiind utilizat pentru detectarea și monitorizarea condițiilor de umiditate al acoperirilor vegetale. Se ştie că în perioadele secetoase vegetaţia este supusă stresului hidric, fapt care afectează dezvoltarea plantelor şi care poate cauza distrugerea culturilor în zonele agricole [1, 2].

Datorită faptului că este influențat de deshidratarea și ofilirea plantelor, poate fi un mai bun indicator al monitorizării secetei decât NDVI. Prin furnizarea către utilizatori de date aproape în timp real, referitoare la stresul hidric al plantelor poate fi îmbunătăţit managementul resurselor de apă, în special prin irigarea zonelor agricole afectate de secetă, în funcţie de necesarul de apă. Valorile NDWI variază între -1 și 1, valorile corespunzătoare vegetaţiei verzi fiind cuprinse între -0,1 și 0,4.

Indicele de secetă diferență normalizată (Normalized Difference Drought Index) este un indice relativ nou utili pentru monitorizarea secetei, fiind calculat ca raportul dintre diferența dintre indicele de vegetație diferență normalizată și indicele de apă diferență normalizată și suma lor [NDDI = (NDVI – NDWI)/ (NDVI + NDWI)] [1, 2]. Combinând informații din vizibil, infraroșu apropiat și infraroșu în unde scurte, NDDI reprezintă un indicator de secetă mai sensibil, în special în perioadele de vară. NDDI constituie o informație suplimentară precisă și utilă în monitorizară secetei, alături de datele în-situ și agrometeorologice.

Prin compararea unei imagini al unui IV nouă cu o imagine a unui IV din ultimul an sau chiar cu mai mulți ani în urmă, corespunzând aceleiași perioade de timp, se poate determina dacă starea curentă de sănătate a culturilor este sau nu mai bună decât în anul sau anii precedenți. Figura 2 prezintă un exemplu de comparație între două produse NDVI obținut din date MODIS de reflectanta – sinteze la 8 zile (MOD09A1), pentru perioada 25.06 – 02.07 din 2014, respectiv 2007.



(a) NDVI: 25.06 – 02.07.2007 NDVI: (b) 25.06 – 02.07.2014

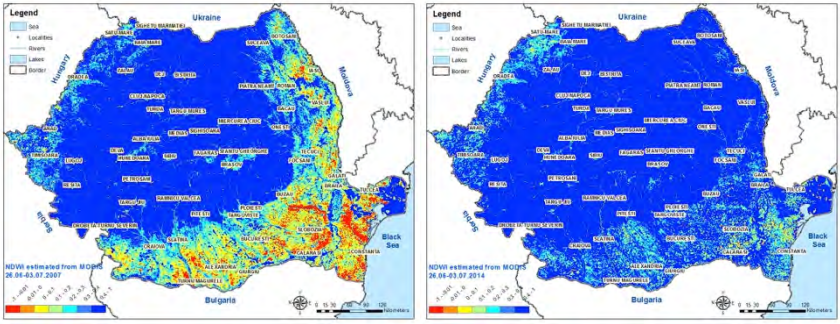
Fig. 2 Variația spațială a indicelui NDVI obținută din date MODIS (MOD09A1)

NDVI este un indicator al prezenței, densității şi stării de sănătate a vegetației raportat la un pixel (în cazul produselor MOD09A1 folosite, dimensiunea pixelului este de 500 m, astfel valorile pozitive sunt colorate în nuanțe de la verde deschis până la verde închis iar valorile negative sunt colorate în nuanțe de la galben deschis până la maro închis, indicând absența vegetației sau o stare de sănătate proastă. Prin compararea celor două imagini se poate observa, că față de 2014, considerat un an normal din punct de vedere climatic, în anul 2007 sudul și estul României au fost afectate de secetă (NDVI [0,1-0,3]).

Figura 3 prezintă un exemplu de comparație între două produse NDWI, pentru aceiași perioadă de timp.

NDWI fiind un indicator al stresului hidric al plantelor, se observă cum în anul 2007 sudul și estul României sunt afectate de secetă. Valori foarte mici ale NDWI (valori negative) s-au înregistrat, în special în zonă Olteniei, Câmpia Bărăganului și Dobrogea). De asemenea, valori foarte mici ale NDWI, cuprinse între 0 și 0,2 s-au înregistrat pe arii mari din sudul și estul României, reprezentate de zonele agricole. Aceste zone s-au evidențiat printr-un stres hidric

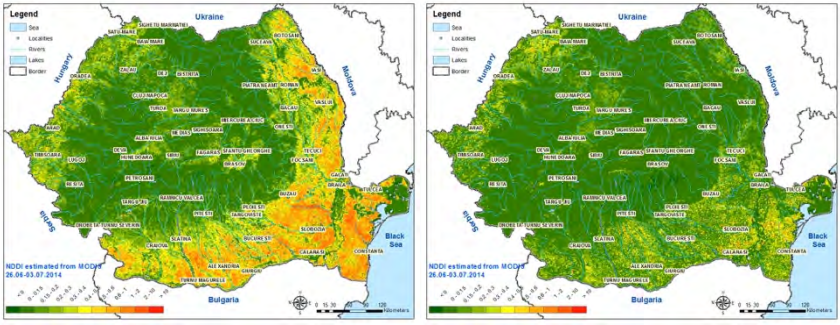
puternic, ce a afectat serios evoluția fenologică normală a culturilor agricole și livezilor.



(a) NDWI: 25.06 – 02.07.2007 NDWI: (b) 25.06 – 02.07.2014

Fig. 3 Variația spațială a indicelui NDWI obținută din date MODIS (MOD09A1)

Indicele NDDI este un foarte bun indicator al secetei, în special pe perioada de vară, evidențiind foarte clar zonele afectate (figura 4). Valorile foarte mari ale NDDI (peste 0,5) evidențiază foarte clar zonele afectate de secetă (zonele agricole din sudul și estul României).

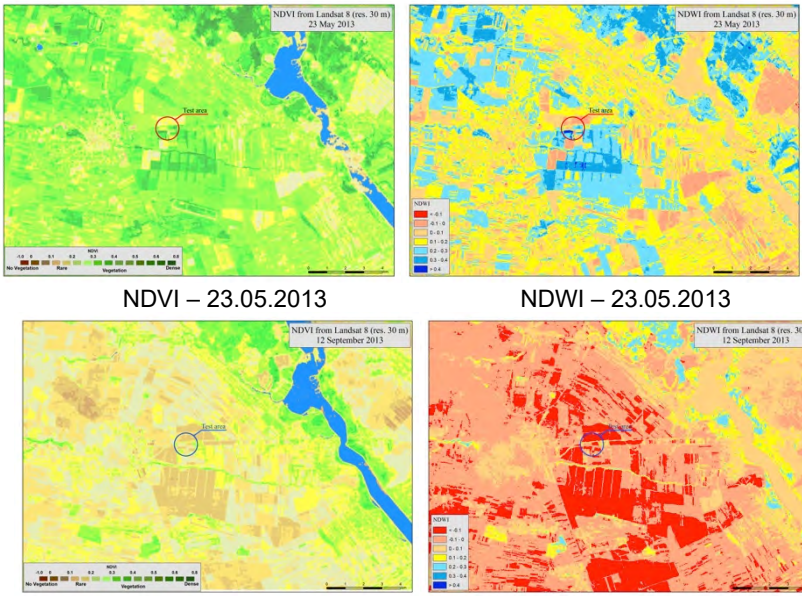


(a) NDDI: 25.06 – 02.07.2007 NDDI: (b) 25.06 – 02.07.2014

Fig. 4 Variația spațială a indicelui NDDI din date MODIS (MOD09A1)

Zonele afectate de secetă evidențiate de cei trei indici sunt în concordanță cu valorile de temperatură, precipitații și de umiditate a solului înregistrate în vara lui 2007. În vara anului 2007, în sudul Câmpiei Române, în lunile Iunie și Iulie s-au înregistrat valori ale temperaturii peste 40 °C, iar cantitățile de precipitații înregistrate au fost cu mult sub media normală pentru perioada respectivă (sub 15 l/m^2).

Imaginile se pot compara și pe anumite perioade de interes, în cursul unui an, pentru a monitoriza etapele de dezvoltare ale culturilor și de a determina evoluția acestora în timp (figura 8 și figura 9). În aceste figuri sunt prezentate câteva exemple de monitorizare a stării de vegetație, prin intermediul celor 3 indici prezentații anterior, pe perioada Mai-Septembrie 2013, estimați din date Landsat 8.



NDVI – 23.05.2013 NDWI – 23.05.2013

NDVI – 12.09.2013 NDWI – 12.09.2013

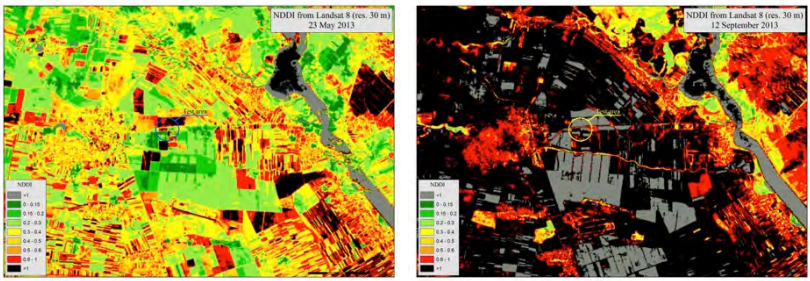
Fig. 8 Variația NDVI și NDWI, estimată din date Landsat 8, Mai – Septembrie 2013

Analizând tabelul 2 și variația celor 3 indici se pot observa următoarele:

- în 23.05.2013, pentru cultura de porumb (zona test) NDVI variază între 0,1 – 0,2. Aceste valori corespund vegetației rare. În această perioadă porumbul se află în faza de apariție și dezvoltare a frunzelor. În cazul grâului de toamnă, NDVI are valori între 0,2 - 0,3, valori normale, având în vedere că se află în faza de maturitate. Cât privește indicele NDWI, valorile acestuia variază între -0,1 și 0,1 pentru cultura de porumb și 0,2 - 0,3 pentru grâu. Ținând cont de valorile din tabelul de mai sus se poate observa că valorile relativ

mici ale NDWI sugerează apariția stresului hidric pentru cultura de porumb, lucru dovedit de valorile NDDI (>0,6). Pentru grâu, NDDI variază între 0,15 – 0,3, valori apropiate de normal.

- În 12.09.2013, NDVI are valori foarte mici |(< 0,15), iar NDWI indică stresul hidric puternic (-0,1 – 0) pentru cultura de porumb, rezultat confirmat și de valorile foarte mari ale NDDI (>0,1) și de parametrii agrometeorologici înregistrați. Acest fapt indică seceta extremă înregistrată la sfârșitul lunii august și începutul lunii septembrie din zona de studiu.



23.05.2013 12.09.2013

Fig. 9 Variația NDDI obținută din date Landsat 8, Mai – Septembrie 2013

Pentru a îmbunătăți calitatea informațiilor necesare monitorizării și evaluării corecte a secetei se pot face și corelații între diferiții indici de vegetație și principalii parametrii agrometeorologici (figurile 10 – 11).

În ceea ce privește cultura de porumb, se observă că variația NDVI și NDWI este relativ normal. Valorile acestor indici sunt mai mici în prima parte a lunii mai, ca urmare a cantităților de precipitații reduse din intervalul de timp anterior (faza fenologică de apariție și dezvoltare a frunzelor). În această perioadă indicele NDDI are valori mari, ceea ce indică existența stresului hidric.

Deși în primele două decade ale lunii iulie, cantitățile de precipitații sunt aproape inexistente, valorile NDVI și NDWI sunt normale, ca urmare a rezervei de apă acumulată în sol, datorită cantităților mari de precipitații înregistrate în luna iunie.

Valorile NDVI și NDWI încep să scadă începând din ultima decadă a lunii iulie, când rezerva de umiditate din sol scade, că urmare a lipsei de precipitații din lunile iulie și august. Existența secetei pedologice este evidențiată și de valorile foarte ridicate la NDDI (> 0,6) (figura 10 și figura 11).

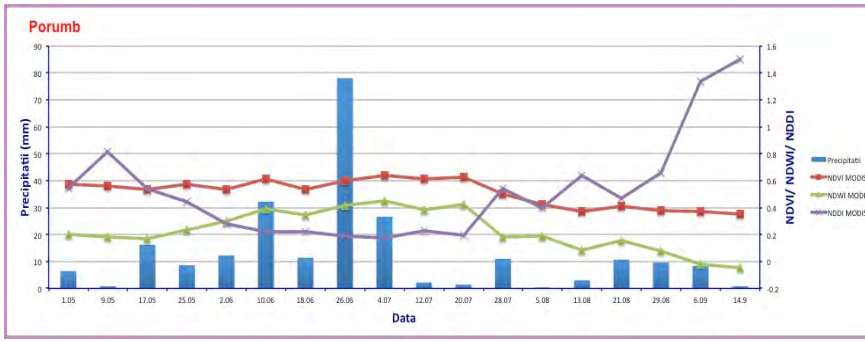


Fig. 10 Variația NDVI, NDWI, NDDI estimate din date MODIS, în funcție de cantitatea de precipitații înregistrată la stația agrometeorologică Caracal, mai-septembrie 2013, pentru cultura de porumb

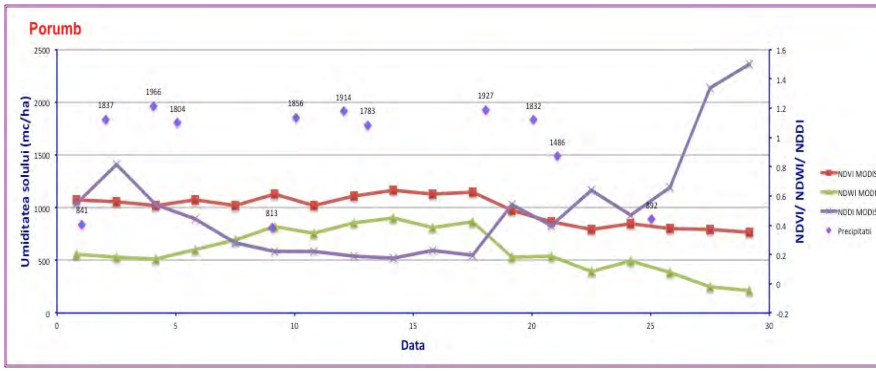


Fig. 11 Variația NDVI, NDWI, NDDI estimate din date MODIS, în funcție de cantitatea de rezervă de umiditate din sol înregistrată la stația agrometeorologică Caracal, mai-septembrie 2013, pentru cultura de porumb

5. Concluzii

■ Datele de teledetecție sunt o sursă importantă de informație deoarece rețelele de monitorizare de pe teren sunt insuficiente prin densitatea scăzută a punctelor de observații, platformele satelitare având avantajul că asigură o acoperire spațială destul de largă fără limitări de acces. În concordanță cu evoluția cercetării științifice pe plan mondial, în domeniul supravegherii și monitorizării vegetației și, implicit a secetei, în cadrul studiului au fost analizați o serie de indici de

vegetație (indicele de vegetație diferență normalizată, indicele de apa diferență normalizată) ce pot fi estimați din date satelitare de medie și înaltă rezoluție, care vin să completeze datele in situ măsurate la stațiile agrometeorologice.

■ Condițiile termice și hidrice optime determină creșterea vegetației (valori NDVI mai mari de 0,6, NDWI>0,3, NDDI<0,6), în timp ce stagnarea sau ofilirea acesteia (valori NDVI cuprinse între 0 și 0,6, NDWI<0,3, NDDI>0,6) sunt determinate de absența precipitațiilor, valori ridicate ale temperaturii aerului, lipsa apei în sol, în strânsă corelație cu fazele fenologice specifice fiecărei culturi.

■ Răspunsul vegetației la precipitații sau la lipsa acestora tinde să aibă o întârziere de 1-2 săptămâni. Indicele de secetă diferență normalizată este foarte util în monitorizarea secetei, în special pe perioada de vară, evidențiind foarte clar perioadele de stres hidric al plantelor.

BIBLIOGRAFIE

[1] Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P and Wardlow, B., *A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central* Great Plains of the United States, Geophysical Research Letters, Vol. 34, 2007.
[2] Renza, D., Martinez, E., Arquero, A., and Sanchez, J., *Drought Estimation Maps by Means of Multidate Landsat Fused Images*, Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage, Rainer Reuter (Editor) EARSeL, pp. 775-782, 2010.

cercetător Argentina Teodora NERȚAN
Administrația Națională de Meteorologie, Departamentul de Teledetecție și SIG
e-mail: argentina.nertan@meteoromania.ro

Prof. emerit Dr. Ing. Valeriu Nicolae PANAITESCU
Universitatea Politehnică București, membru AGIR
e-mail: valeriu.panaitescu@yahoo.com