

UTILIZAREA TEHNOLOGIILOR AVANSATE BAZATE PE APLICAREA DRONELOR ÎN EVALUAREA AGROCENOZELOR

THE USE OF ADVANCED TECHNOLOGIES BASED ON THE APPLICATION OF DRONES IN THE EVALUATION OF AGROCENOSSES

Ana BÎRSAN, ORCID: 0000-0003-1696-080X
Veaceslav SPRINCEAN, ORCID: 0000-0001-6719-7387
Universitatea de Stat din Moldova

CZU: 623.746-519:63

e-mail: anabirsan@yahoo.com
e-mail: sprincean@gmail.com

Advanced UVA-based technologies have been used to monitor small-scale agricultural fields in the private sector. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) analysis, with a decisive role in ensuring plant productivity, was carried out with the help of multispectral cameras. Multispectral sensors have been shown to be effective in the phenotyping of some agricultural crops, in establishing the physiological state of plants, depending on the development phase, highlighting the density of plants and the presence of weeds, but also in identifying some problems in the field, caused by the improper processing of land, demonstrating opportunities for their use in monitoring agricultural fields and improving the quality of agroecosystem services.

Keywords: *Unmanned Aerial Vehicles, agricultural crops, vegetation indices, NDVI.*

INTRODUCERE

Actualmente, managementul terenurilor agricole necesită introducerea unor tehnologii avansate și a unor utilaje performante, pentru eficientizarea procesului agricol și a serviciilor agroecosistemice. Numeroase studii au evidențiat posibilitățile de utilizare a UAV în agricultura inteligentă [1-5]. Astfel, în agricultura de precizie, dronele echipate cu utilaj optoelectronic de înaltă rezoluție asigură supravegherea rapidă, neinvazivă a culturilor, fără perturbarea suprafețelor survolate, reprezentând un instrument eficient în capturarea, procesarea, analiza imaginilor și obținerea datelor cu privire la dinamica creșterii și dezvoltării plantelor, dar și la starea lor fiziologică pe întreaga durată a perioadei de vegetație. S-a stabilit că, în comparație cu alte instrumente, dronele prezintă avantaje semnificative datorită capacității de a furniza rapid date mai detaliate, cu rezoluție temporală, spațială și spectrală mai mare și de o mai înaltă precizie despre starea agroecozozelor decât cele oferite de sateliți [2,6]. Astfel, dronele pot zbura la altitudini joase pentru a oferi imagini aeriene cu ultra-rezoluție spațială care permite detectarea detaliilor fine ale vegetației. Zborurile pot fi programate cu mare flexibilitate în funcție de momentele critice impuse de dinamica vegetației în timp. Pe drone pot fi instalați diverși senzori și sisteme de percepție în spectrul vizibil, infraroșu, termic. De asemenea, UAV-urile sunt un instrument rentabil pentru obținerea de date 3D ale plantelor, cu rezoluție spațială ridicată, care nu pot fi obținute cu platforme aeriene, satelitare sau cu dispozitivi-

vele de la sol și alte sisteme tradiționale de teledetecție. În plus, imaginile digitale bazate pe UAV pot completa datele colectate prin lucrul manual pe teren, care este adesea anevoios și, uneori, oferă informații inconsistente și subiective.

Spre deosebire de platformele aeriene convenționale, UAV-urile pot nu doar reduce cheltuielile operaționale, dar și pot contribui la predicția și soluționarea unor probleme locale concrete, făcând posibilă distingerea unor suprafețe, a unor indivizi și chiar a unor organe de plante afectate de diverși factori abiotici sau biotici. În practică, s-a stabilit că dronele sunt mult mai flexibile și mai ușoare în exploatare. De asemenea, ele pot prelua imagini de înaltă calitate și de înaltă rezoluție în zilele înnorate [4,7]. Din aceste considerente, imaginile aeriene colectate cu drone sunt din ce în ce mai frecvent utilizate ca un instrument important pentru monitorizarea vegetației și a ecosistemelor [8,7].

Astăzi, aparatele de zbor fără pilot la bord vin în ajutorul fermierilor la supravegherea culturilor extinse, dar și la inspecția și analiza culturilor la scară mică, mai ales în cazul culturilor sezoniere, atunci când acestea se află în etapele critice și orice eroare în monitorizarea plantelor în aceste etape poate duce la compromiterea întregii recolte. Utilizând dronele, fermierii economisesc timp și resurse pentru a primi o înregistrare rapidă și precisă a daunelor, în timp real. Aceste informații sunt cruciale pentru a anticipa posibile probleme și pentru a lua decizii prompte, eficiente în cazul anumitor hazarduri naturale.

Metodologia studiului

Observațiile cu ajutorul dronelor asupra agrocenozelor luate în studiu (satul Ișnovăț, raionul Criuleni) au fost efectuate în vara anului 2023, în luna iunie, perioadă în care culturile agricole examinate (grâul, porumbul și lucerna) se aflau în diverse faze de creștere și dezvoltare.

Analiza multispectrală s-a realizat cu ajutorul aparatului de zbor DJI Phantom 4 Multispectral (P4M), care este un sistem compus dintr-o dronă (UAV), utilizată pentru activități de aerofotografiere și filmări aeriene pretabile pentru prelucrarea de date, în vederea obținerii de informații legate de creșterea și sănătatea plantelor, monitorizarea

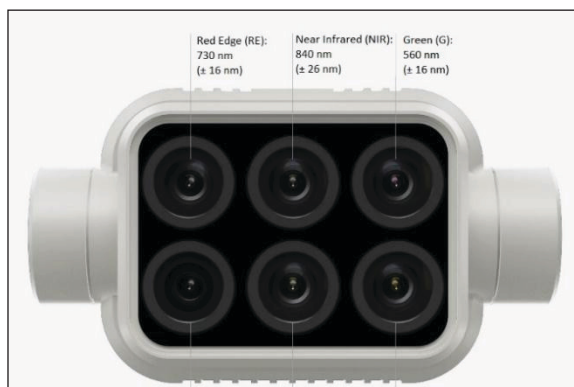


Fig. 1. Camera multispectrală

mediului etc. P4M include un modul Kinematic în timp real (RTK) complet integrat, care oferă utilizatorilor informații cu un nivel de precizie centimetric, în timp real. De asemenea, el include un modul de Sistem Global de Navigație prin Satelit (GNSS) redundant, datorită căruia este posibilă menținerea stabilității zborului în locuri cu semnal slab. Drona se adaptează oricărui flux de lucru și se poate conecta în mai multe moduri: conectare la stația mobilă

D-RTK 2 (asemenea unui sistem baza-rover), conectare prin protocol NTRIP (Rețeaua de transport RTCM prin Internet Protocol) sau sistemul național „Moldpos”. Conexiunea se poate realiza prin 4G (USB dongle), Wi-Fi, OcuSync sau LAN, ceea ce garantează o transmisie de date stabilă și neîntreruptă. Serviciul TimeSync sincronizează continuu controlerul de zbor, camera și modulul RTK, pentru a beneficia la maxim de modulele de poziționare ale P4M. P4M include o camera cu 6 senzori 1/2.9” CMOS ce include și RGB. Fiecare cameră are 2.08 MP (Albastru, Verde, Roșu, Roșu-apropiat, Infraroșu-apropiat și RGB). Parametrii camerei sunt: (Red Edge (RE): 730 nm (± 16 nm); Near Infrared (NIR): 840 nm (± 26 nm); Green (G): 560 nm (± 16 nm); Visible Light (RGB); Red (R): 650 nm (± 16 nm); Blue (B): 450nm (± 16 nm).

Un senzor spectral de soare integrat pe partea de sus a dronei captează radiația solară, maximizând acuratețea și consistența colectării datelor în diferite momente ale zilei. Combinate cu datele post-procesate, aceste informații permit obținerea celor mai precise valori NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Cu sistemul DJI TimeSync putem obține date precise de poziție și măsurători precise la nivel centimetric, în timp real, pentru fiecare dintre cele șase camere. Sistemul TimeSync aliniaza continuu controlerul de zbor, camerele RGB și NB și modulul RTK pentru a se asigura că fiecare fotografie utilizează metadatele cele mai precise și fixează datele de poziție în centrul CMOS. Toate camerele au trecut printr-un proces de calibrare riguros care măsoară distorsiunea radială și tangențială a lentilei. Parametrii de distorsiune sunt stocați în metadatele fiecărei imagini, astfel încât software-ul (**Pix4Dmapper**) de post-procesare poate fi personalizat pentru fiecare utilizator.

PIX4Dmapper este un software specializat în procesarea datelor din imagini aeriene sau terestre pentru a crea hărți 2D și modele 3D precise. Acest software are o gamă largă de aplicații, inclusiv în agricultură. PIX4Dmapper poate fi utilizat în cercetare și agricultură urmând anumiți pași. Utilizând drone sau camere montate pe sol, putem captura imagini aeriene sau terestre ale câmpurilor agricole. PIX4Dmapper procesează aceste imagini pentru a crea hărți detaliate ale culturilor, permițând fermierilor și cercetătorilor să monitorizeze starea și sănătatea plantelor în timp real. Prin analiza imaginilor aeriene obținute cu ajutorul dronelor și procesarea lor cu PIX4Dmapper putem evalua eficiența sistemelor de irigație și putem identifica zonele care necesită irigare sau ajustări ale distribuției de apă. PIX4Dmapper ajută la detectarea precoce a bolilor și dăunătorilor în culturi prin analiza imaginilor, ceea ce permite să se intervină rapid pentru a preveni răspândirea acestora și pentru a reduce pierderile de recoltă. Software-ul poate fi folosit pentru a crea hărți topografice detaliate ale terenurilor agricole, ceea ce poate ajuta la planificarea infrastructurii, precum sistemele de drenaj sau drumurile agricole. PIX4Dmapper oferă informații despre starea culturilor, densitatea plantelor și alți indicatori-cheie. Aceste date ajută la luarea deciziilor mai bune privind momentul optim pentru recoltare și pentru estimarea cantității de recoltă. Prin crearea unor hărți detaliate ale terenului agricol și monitorizarea schimbărilor de-a lungul timpului, PIX4Dmapper ajută la gestionarea resurselor naturale, cum ar fi solul și apa, într-un mod mai sustenabil.

PIX4Dmapper este doar unul dintre numeroasele instrumente disponibile pentru agricultură de precizie. Combinat cu alte tehnologii, cum ar fi dronele, senzorii, GPS-ul și analitica datelor, acest software ajută agricultorii și cercetătorii să îmbunătățească eficiența și să reducă impactul negativ asupra mediului.

PIX4Dmapper poate fi utilizat pentru a obține NDVI din imagini multispectrale sau RGB. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) este un indicator folosit în agricultură și monitorizarea mediului pentru a evalua sănătatea și vigurozitatea vegetației pe baza datelor captate sau transmise de la senzori multispectrali, precum imaginile obținute de la drone sau sateliți.

Modalitatea de obținere a NDVI-ului cu ajutorul PIX4Dmapper constă în efectuarea unor anumiți pași. Înainte de a putea obține NDVI, au fost colectate imagini multispectrale și imagini RGB cu ajutorul dronei DJI Phantom cu aparat multispectral și alte dispozitive echipate cu senzori corespunzători. Senzorii multispectrali sunt capabili să capteze informații în spectrul vizibil și în spectrul infraroșu apropiat, necesare pentru calcularea NDVI. După colectarea imaginilor, ele au fost importate în software-ul PIX4Dmapper. Cu ajutorul PIX4Dmapper am procesat imaginile pentru a crea o hartă și un mozaic cu rezoluție înaltă a terenului. În acest proces, software-ul a efectuat corecții pentru distorsiuni și alinierea imaginilor. După procesarea inițială, s-a trecut la calcularea NDVI, unde PIX4Dmapper ne permite să efectuăm acest lucru folosind imaginile multispectrale corespunzătoare. NDVI s-a calculat conform formulei [9]:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}),$$

unde: NIR (Near-Infrared) reprezintă valoarea din spectrul infraroșu apropiat;

Red reprezintă valoarea din spectrul roșu.

Este de menționat că PIX4Dmapper este doar unul dintre numeroasele instrumente software disponibile pentru procesarea datelor multispectrale și calcularea NDVI.

Rezultate și discuții

Structura vegetației este caracterizată prin poziția, orientarea, mărimea și forma elementelor de vegetație, iar estimarea numărului de plante și a densității acestora este deosebit de importantă pentru gestionarea producției, mai ales la începutul sezonului [10], deoarece la această etapă informațiile exacte cu privire la starea câmpului oferă o șansă de a identifica problemele câmpului și de a corecta la timp greșelile, pentru a nu compromite viitoarea recoltă.

Drona P4M, utilizată de noi ca instrument de lucru, este o dronă cu poziționare de înaltă precizie și prezintă o opțiune excelentă pentru această activitate. Prelevând imagini cu o rezoluție înaltă, la circa 50 de metri înălțime, drona a permis vizualizarea arhitecturii câmpului, evidențierea suprafețelor acoperite cu vegetație și identificarea structurii vegetației.

Platforma alimentată cu softuri inteligente a permis, de asemenea, elaborarea unui model digital de altitudine (DEM) în Agisoft Metashape (Fig. 2 (a)), care a implicat

procesarea imaginilor aeriene pentru a genera o reprezentare 3D a terenului, DEM-ul oferind informații valoroase despre topografia zonei studiate. De asemenea, în baza imaginilor colectate a fost creat un ortomozaic (Fig. 2 (b)) și a fost posibilă marcarea problemelor pe teren, care nu au fost vizibile sau au fost greu de descoperit prin metodele tradiționale.

Hărțile ortomozaice de înaltă precizie sunt utile în cartografie, topografie, agricultură și în alte domenii. Astfel, după ce s-a generat modelul 3D, utilizând funcția “Build Orthomosaic” din meniul “Workflow”, a fost creată harta ortomozaică. Pentru a elabora harta, în fereastra de configurare s-au setat parametrii de rezoluție, proiecție și extindere. După generarea hărții ortomozaice, din fereastra de vizualizare a rezultatelor, utilizând funcția “Export”, aceasta a fost exportată în formatul dorit (de obicei, format raster, cum ar fi TIFF sau JPEG).

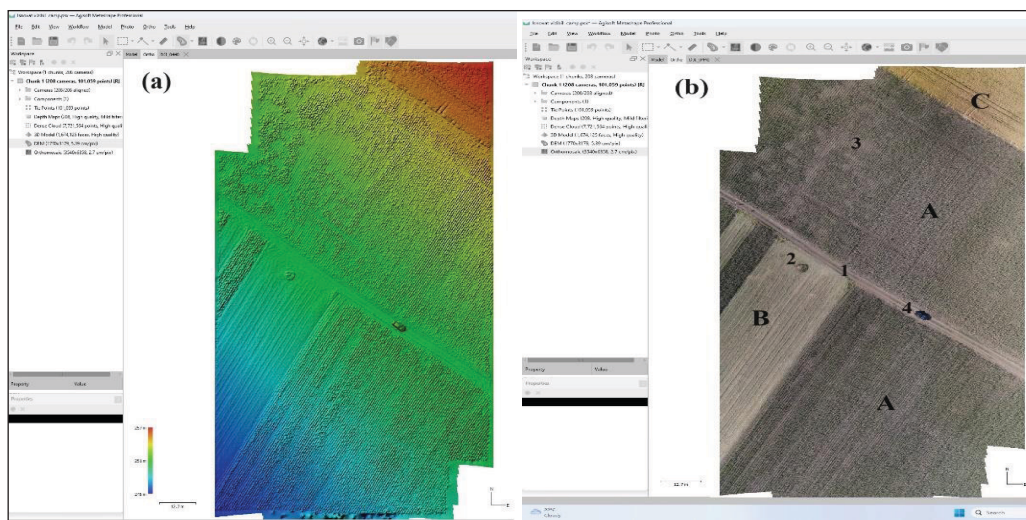


Fig. 2. (a) – model DEM; (b) – model ortomozaic

Cu ajutorul dronei, pe suprafața studiată a fost pusă în evidență prezența a trei specii de plante cultivate: **A** – *Zea mays* (porumb), **B** – *Medicago sativa* (lucernă) și **C** – *Triticum* (grâu), dar au fost identificate și alte elemente din teren: suprafețe în care lipsea vegetația – drum (1), prezența unei groape de gunoi (2), sectoare cu densitate mică a plantelor (3), autovehicol (4), iar în lanul de grâu a fost ușor de identificat impactul tehnicii agricole (a roților de tractor) asupra plantelor. Astfel, monitorizarea câmpului cu drone poate fi utilizată pentru a caracteriza starea de sănătate a plantelor, a solului și a condițiilor câmpului, dronele oferind cartografii precise ale terenului.

De menționat că identificarea plantelor cu ajutorul dronei necesită o rezoluție bună, care depinde de obiectiv, acesta fiind ales și ținându-se cont de particularitățile morfologice ale plantelor. Practicienii subliniază că rezoluția ideală în calculul precis al plantelor

de porumb, floarea soarelui, sfeclă de zahăr și de alte culturi este de 0,8 cm pe pixel sau mai puțin. Bunăoară, pentru numărarea precisă a plantelor de porumb acestea trebuie să fie suficient de mari, pentru a fi văzute din aer. Plantele ar trebui să aibă aproximativ 3-7 frunze bine dezvoltate (stadiile de vegetație V3-V7), dar pentru a distinge plantele și a estima densitatea, frunzele nu trebuie să fie poziționate prea aproape una de cealaltă. Menționăm că metoda de teledetecție utilizată de noi a făcut posibilă fenotiparea culturilor agricole din terenul examinat. Ea a permis distingerea clară a plantelor de porumb de cele de grâu (Fig. 3).

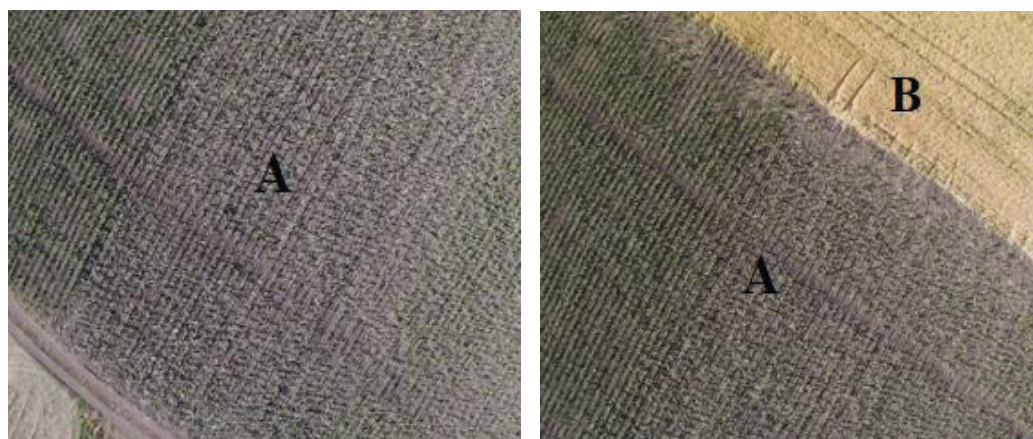


Fig. 3. Fenotiparea unor culturir agricole cu ajutorul UAV

A – porumb; **B** – grâu

Numeroase studii au demonstrat că randamentul culturilor agricole poate fi prezis prin corelarea parametrilor fiziologici ai plantei cu indicii de vegetație, selectați experimental (empiric) și calculați pentru valori ale reflectanței la diferite lungimi de undă. Este cunoscut faptul că reflectia spectrală a vegetației este dependentă de capacitatea pigmentilor clorofilieni de a absorbi selectiv razele solare pentru a realiza procesul de fotosinteză. Deoarece pigmentii clorofilieni prezintă maxime de absorbție în spectrele albastru și roșu și nu absorb în spectrele verde și infraroșu apropiat, reflectanțele în benzile de verde, roșu și infraroșu apropiat sunt utilizate pe scară largă pentru studiul vegetației [1-5].

Imaginile multispectrale pot oferi informații precise despre diferențele subtile dintre culturile sănătoase și cele nesănătoase, care pot fi omise cu ochiul liber. De exemplu, culturile stresate vor reflecta mai puțină lumină în infraroșu apropiat în comparație cu culturile sănătoase. Această diferență nu poate fi detectată întotdeauna de ochiul uman. Cercetările efectuate de noi, axate pe analiza particularităților spectrale ale vegetației, au pus în evidență parcele de teren cu plante sănătoase și porțiuni de teren în care starea plantelor este mai precară (Fig. 4 (a)), dar și suprafețe de teren în care lipseau plantele. Astfel, în lanul de porumb au fost identificate sectoare cu o densitate mai mică a plan-

telor, ca rezultat al numărului mai mic de plante pe rând, care nu au răsărit sau nu au crescut (Fig. 4 (b)).

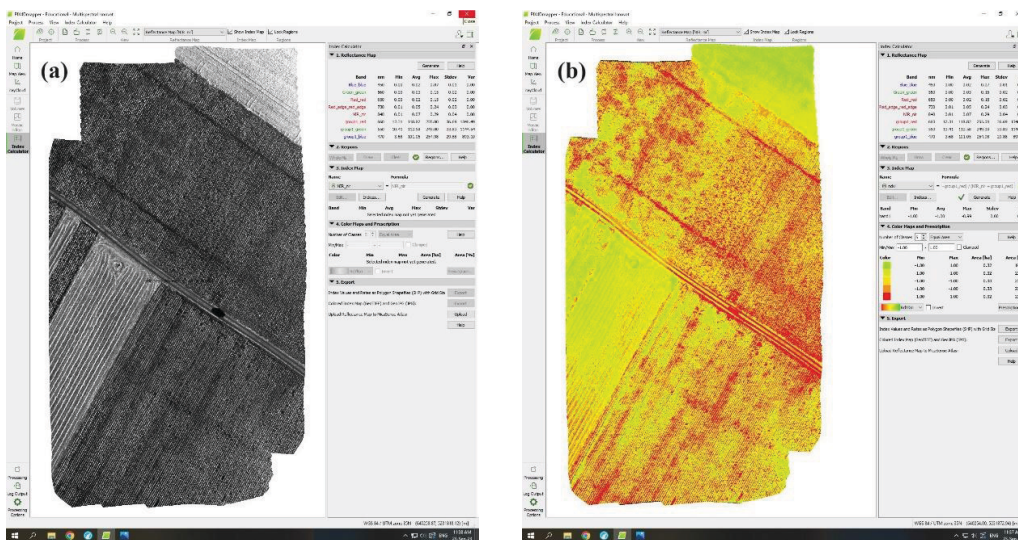


Fig. 4. (a) Model NIR; (b) Model NDVI

Fenotiparea obținută cu ajutorul aparatelor UAV include, dar nu se limitează doar la aprecierea trăsăturilor morfologice. Parametrii fiziologici: conținutul de clorofilă, activitatea fotosintetică, cantitatea de substanțe minerale și de apă din plante pot fi cuantificați neinvaziv prin măsurarea variațiilor în reflectanță spectrală [5], oferind informații fundamentale pentru aprecierea stării normale a plantelor, dar și cu referire la amplitudinea răspunsului plantelor la stresul abiotic/biotic. Subliniem că, deși în această perioadă a verii lucerna era proaspăt cosită, iar grâul era la etapa de maturitate, NDVI-ul plantelor de lucernă și de grâu a fost mai înalt decât al plantelor de porumb. În același timp, plantele localizate lângă porțiunile goale din lanul de porumb au avut un NDVI mai mic, ceea ce indică asupra existenței unor probleme ale solului pe terenul examinat. Astfel, harta NDVI generată ne-a permis să identificăm zonele cu vegetație sănătoasă, precum și eventualele probleme sau stresuri ale plantelor. Aceste informații sunt extrem de necesare pentru planificarea și realizarea corectă a lucrărilor agricole, precum și pentru predicția randamentului agroecosistemelor.

Deoarece dronele zboară aproape de suprafața câmpurilor, o altă problemă identificată cu ajutorul acestui instrument a fost detectarea buruienilor pe anumite suprafețe neprelucrate (Fig. 5).



Fig. 5. Imagine prelevată cu aparatul multispectral înzestrat cu camera RGB
(câmp îmburuienat)

Pentru practicile agricole identificarea la timp a buruienilor este extrem de importantă, deoarece buruienile concurează cu culturile agricole pentru resursele solului, reducând astfel randamentul culturilor. Nefiind extirpate la momentul potrivit, ele formează un număr mare de semințe care germinează în sezonul următor, crescând problema concurenței buruieni-cultură. Astfel, examinarea câmpului cu ajutorul dronei a permis avertizarea proprietarilor de pământ cu privire la necesitatea efectuării lucrărilor agricole corespunzătoare, demonstrând încă o dată că atunci când dronele sunt combinate cu senzori acestea devin platforme de detectare pentru a aduna informațiile actualizate necesare pentru monitorizarea vegetației și a ecosistemelor [11], ajutând utilizatorii finali (fermierii, consilierii și organele administrației publice) în procesul decizional de gestionare a agroecosistemelor.

CONCLUZII

Dezvoltarea recentă a UAV, numite drone, pune la dispoziție instrumente eficiente pentru supravegherea aeriană a culturilor agricole și efectuarea lucrărilor necesare, iar utilizarea imagisticii hiper/multispectrale permite obținerea unor rezultate științifice valoroase, de precizie înaltă cu referire la sănătatea plantelor.

Dronele înzestrate cu softuri inteligente oferă posibilitatea controlului neinvaziv nu numai asupra stării de sănătate nu doar a plantelor, dar și a solului, creând astfel contexte favorabile de sporire a recoltelor și de obținere a producției de calitate înaltă.

Referințe:

1. BERNARD, J-Ph. Indices de teledetection et agronomie. Application de la télédetection pour la réalisation de diagnostics agronomiques sur peuplement végétal. 2016. 16 p. https://opera-connaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=145896

2. BERNI, J. A. J., ZARCO-TEJADA, P. J., SUAREZ, L., FERERES, E. Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 2009, vol. 47, no. 3, pp. 722-738.
3. BÎRSAN, A., SPRINCEAN, V., GANEA, I. Oportunități de utilizare în practică a tehnologiilor inteligente în evaluarea unor variabile biologice // *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe Reale și ale Naturii)*, 2023, numărul 1(171), pp. 53 - 64. ISSN 1814-3237 /ISSNe 1857-498X
4. DE CASTRO, A.I., SHI, Y., MAJA, J.M., PEÑA, J.M. UAVs for Vegetation Monitoring: Overview and Recent Scientific Contributions. *Remote Sensing*. 2021; 13(11):2139. <https://doi.org/10.3390/rs13112139>
5. HASSAN, M.A, YANG, M., RASHEED, A., TIAN, X., REYNOLDS, M., XIA, X., XIAO, Y., HE, Z. Quantifying senescence in bread wheat using multispectral imaging from an unmanned aerial vehicle and QTL mapping. In: *Plant Physiol*. 2021. Nr.187(4), p. 2623-2636. doi: 10.1093/plphys/kiab431.
6. PEÑA, J.M., TORRES-SÁNCHEZ, J., SERRANO-PÉREZ, A., DE CASTRO, A.I., LÓPEZ-GRANADOS, F. Quantifying Efficacy and Limits of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology for Weed Seedling Detection as Affected by Sensor Resolution. *Sensors* 2015, 15, 5609-5626. <https://doi.org/10.3390/s150305609>
7. MANFREDA, S., MCCABE, M.F., MILLER, P.E., LUCAS, R., PAJUELO MADRIGAL, V., MALLINIS, G., BEN DOR, E., HELMAN, D., ESTES, L., CI-RAOLO, G. et al. On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. *Remote Sens*. 2018, 10, 641. <https://doi.org/10.3390/rs10040641>
8. ANDERSON, K., GASTON, K. J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2013, vol. 11, pp. 138–146.
9. ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). *Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, Greenbelt, 1973, 10-14 December, SP-351*, p. 309-317.
10. TORRES-SÁNCHEZ, J., PEÑA, J.M., DE CASTRO, A.I., LÓPEZ-GRANADOS, F. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV // *Calculator. Electron. Agric.* 2014 , 103 , 104–113.
11. SALAMÍ, E., BARRADO, C., PASTOR, E. UAV Flight Experiments Applied to the Remote Sensing of Vegetated Areas. *Remote Sens*. 2014, 6, 11051-11081. <https://doi.org/10.3390/rs61111051>

Notă: Articol elaborat în cadrul proiectului din Programul de Stat (2020-2023) „Tehnologii fizice avansate cu aplicarea UVS în monitorizarea și modelarea factorilor de mediu”. Cifrul 20.80009.7007.05.