



ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere

Andrei BUZATU

MONITORIZAREA ŞI EVALUAREA STĂRII
FITOSANITARE A PĂDURILOR PRIN
UTILIZAREA UNOR TEHNICI ALE
TELEDETECŢIEI

MONITORING AND ASSESSMENT OF THE
PHYTOSANITARY STATUS OF FORESTS
USING SOME REMOTE SENSING
TECHNIQUES

REZUMAT

Conducător științific

CS I. Dr. Ing. Nicolae Ovidiu BADEA

BRAŞOV, 2023



CUPRINS

	Teză	Rezumat
LISTĂ DE ABREVIERI	5	-
PREFAȚĂ	6	-
1. INTRODUCERE	7	4
2. SCOP ȘI OBIECTIVE	10	7
3. MATERIAL ȘI METODĂ	11	8
3.1. LOCALIZAREA CERCETĂRILOR.....	11	8
3.2. METODOLOGIA DE LUCRU.....	12	9
3.2.1. Monitorizarea activității insectelor și evaluarea vătămărilor de la sol.....	12	9
3.2.2. Monitorizarea și evaluarea vătămărilor prin utilizarea imaginilor digitale satelitare și aeriene.....	16	12
4. REZULTATE ȘI DISCUȚII	22	14
4.1. Monitorizarea și evaluarea vătămărilor (defolierilor) produse de <i>Lymantria dispar</i> ..	22	14
4.1.1. Caracteristicile cantitative și calitative ale populațiilor de <i>Lymantria dispar</i> și evaluarea, de la sol, a vătămărilor produse de acestea.....	22	14
4.1.2. Evaluarea defolierilor produse de <i>Lymantria dispar</i> pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2.....	24	15
4.1.2.1. Evaluarea defolierilor produse de <i>Lymantria dispar</i> pe baza indicilor biofizici.....	24	15
4.1.2.2. Evaluarea defolierilor produse de <i>Lymantria dispar</i> pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul infraroșu apropiat (NIR).....	30	17
4.1.2.3. Evaluarea defolierilor produse de <i>Lymantria dispar</i> pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB).....	47	18
4.1.2.4. Analiza comparativă a rezultatelor evaluărilor defolierilor stabilite de la sol cu cele obținute din imagini satelitare.....	55	19
4.1.3. Evaluarea defolierilor produse de <i>Lymantria dispar</i> pe baza imaginilor aeriene capturate cu drona.....	58	22
4.1.3.1. Evaluarea defolierilor produse de <i>Lymantria dispar</i> pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB).....	58	22
4.1.3.2. Evaluarea defolierilor produse de <i>Lymantria dispar</i> pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB), pentru arbori individuali.....	67	23
4.1.3.3. Evaluarea vătămărilor produse de <i>Lymantria dispar</i> pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul infraroșu apropiat (NIR).....	70	24
4.1.3.4. Analiza comparativă a rezultatelor evaluărilor defolierilor stabilite de la sol cu cele obținute pe baza imaginilor capturate cu drona.....	74	25
4.2. Monitorizarea și evaluarea vătămărilor (decolorărilor) produse de <i>Corythucha arcuata</i>	78	29
4.2.1. Caracteristicile vătămărilor produse de <i>Corythucha arcuata</i>	78	29
4.2.2. Evaluarea decolorărilor produse de <i>Corythucha arcuata</i> pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2.....	81	30
4.2.3. Evaluarea decolorărilor produse de <i>Corythucha arcuata</i> pe baza imaginilor capurate cu drona.....	82	31
4.2.3.1. Evaluarea decolorărilor produse de <i>Corythucha arcuata</i> pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB).....	82	31



4.2.3.2. Evaluarea decolorărilor produse de <i>Corythucha arcuata</i> pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul infraroșu apropiat (NIR).....	86	32
4.2.3.3. Analiza comparativă a rezultatelor evaluărilor decolorărilor stabilite de la sol cu cele obținute pe baza imaginilor capturate cu drona.....	88	33
5. CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR.....	92	35
5.1. CONCLUZII.....	92	35
5.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE.....	95	38
5.3. DISEMINAREA REZULTATELOR.....	96	-
LISTA DE FIGURI.....	98	-
LISTA DE TABELE.....	102	-
BIBLIOGRAFIE.....	103	40
SCURT REZUMAT.....	107	-

1. INTRODUCERE

Insectele defoliatoare care produc cele mai mari pagube în pădurile de foioase sunt reprezentate de *Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758), *Tortrix viridana* (Linnaeus, 1758) și diverse specii de Geometridae (*Operophtera brumata* (Linnaeus, 1758), *Erannis defoliaria* (Clerck, 1759), *Erannis aurantiaria* (Hübner, 1796-1799), *Erannis marginaria* (Fabricius, 1777), *Erannis leucophaearia* (Schifferrmüller), etc.), care dezvoltă gradații frecvente de mare amploare în arboretele de cvercinee. În ultimii ani, tot în pădurile de cvercinee, pe fondul schimbărilor climatice și intensificării comerțului intercontinental, s-au semnalat vătămări semnificative, produse de specia invazivă *Corythucha arcuata* (Hemiptera, Tingidae, Say, 1832), de origine nord-americană, manifestate prin decolorarea frunzișului arborilor. În pădurile de rășinoase, în special molidișuri, pagubele cele mai importante pot fi produse de insecta defoliatoare *Lymantria monacha*, iar pentru arboretele de brad *Choristoneura murinana* (Hübner, 1799) și *Zeiraphera (Semasia) rufimitrana* (Herrich-Schäffer, 1851), cu gradații foarte rare.

Până în prezent în România monitorizarea acțiunilor factorilor biotici și abiotici vătămători s-a realizat exclusiv de la sol, prin observații directe.

Având în vedere evoluția tehnologiei și preocupările existente în alte țări în acest sens, se impune ca și în țara noastră să se dezvolte un sistem de supraveghere a ecosistemelor forestiere, bazat pe tehnicile de teledetecție, prin imagini satelitare sau imagini aeriene capturate cu ajutorul vehiculelor aeriene fără pilot-drone (Unmanned Aerial Vehicle-UAV), echipate cu diverși senzori specifici de capturare a imaginilor. Atât imaginile satelitare cât și cele capturate cu ajutorul dronelor, pot fi folosite ulterior, pentru analiză și interpretare. Senzorii preiau imagini digitale aeriene, pe baza radiației electromagnetice, provenite de la o sursă externă (soare), emise de detaliile de la sol. Acestea pot fi preluate în domeniul vizibil (RGB), infraroșu apropiat (NIR), infraroșu (IR), termal, hiperspectral etc (Vorovencii, 2015).

Aceste tehnologii se bazează pe faptul că orice obiect care primește energie de la soare, absoarbe, transmite și reflectă înapoi în atmosferă, ca rezultat al proprietăților lui spectrale, radiație solară cu diferite lungimi de undă, într-un mod care generează un model particular al semnalului reflectanței (C. D. Rullan-Silva et. al. 2013). Acest semnal specific, cunoscut ca semnătură spectrală, permite detectarea, identificarea și clasificarea diferitelor forme de vătămare a arborilor (defoliere, decolorare, doborâtură/ruptură de vânt sau zăpadă, uscare, etc.) datorate acțiunii negative a factorilor biotici sau abiotici dăunători (Ciesla et al., 2008, C. D. Rullan-Silva et. al. 2013).

Aplicarea tehnicilor de teledetecție, pe baza imaginilor satelitare și aeriene, permite cartografierea și cunoașterea distribuției în spațiu și timp a intensității vătămărilor produse de diverși factori biotici sau abiotici (Hall et al., 2016)

Cartografierea vegetației sau a atacurilor de insecte presupune folosirea algoritmilor de clasificare (nesupervizată, supervizată) pentru obținerea de hărți tematice. În ultimul timp, se utilizează o tehnică de clasificare relativ nouă, bazată pe metoda arborilor de regresie (regression tree classification), metodă neparametrică, cu o precizie similară sau mai bună decât cea specifică clasificării supervizate sau nesupervizate (Vorovencii, 2015)

La nivel internațional, preocupări privind utilizarea imaginilor aeriene în protecția pădurilor, au existat cu mai mult de 75 de ani în urmă. Hall et. al., 2016, fac un scurt istoric al utilizării tehnicilor de teledetecție în care menționează câteva studii. Primele dintre acestea au fost realizate încă din 1946, în America de Nord. Imaginile alb-negru, în infraroșu, preluate din avion sau elicopter, au surprins defolierile pe baza nuanțelor de gri. Astfel, nuanțele închise reprezentau arborii sănătoși (Spurr, 1946). În 1951 s-au făcut comparații între imagini aeriene pancromatice, infraroșii și naturale pentru evaluarea vătămărilor produse de *Dendroctonus brevicomis* (LeConte, 1876) (Wear and Bongberg, 1951). În 1978 au fost folosite fotografii în domeniul vizibil și în infraroșu pentru stabilirea defolierilor produse de *Lymantria dispar* (Talerico et al., 1978).

Utilizarea imaginilor satelitare, în activitățile de protecția pădurilor a fost studiată încă din anii '70, de la apariția primelor programe satelitare (Landsat 1 – 1972, SPOT 1 - 1986), în special în Statele Unite ale

Americii și Canada. În anul 1974 s-au utilizat imagini satelitare Landsat 1 pentru cartografierea vătămărilor produse de defoliatorul *Lambdina fuscicornis* (Guenée, 1857) (Beaubien et al., 1974) (Hall et al., 2016).

Utilizarea dronelor pentru capturarea imaginilor digitale aeriene și folosirea lor în supravegherea stării fitosanitare a pădurilor este relativ recentă, preocupările în acest sens fiind la început, dar cu perspective de utilizare pe scară largă în viitor.

În anul 2014, în Scoția, s-a utilizat un senzor de fotografiere termal montat pe dronă pentru a monitoriza vătămările care au determinat creșterea temperaturii la nivelul coronamentului în arborete compuse din *Pinus sylvestris* (Linnaeus 1753) și *Pinus contorta* (Douglas ex Loudon 1838) afectate de *Dothistroma pini* (Hulbary, 1941). A fost folosită o dronă de tip aripa fixă Qpod (QuestUAV Ltd., Marea Britanie) echipată cu cameră TIR PI450 (Optris GmbH, Germania) și pentru o altă misiune cu cameră digitală VNIR DMC-LX5 (Panasonic Ltd., Japonia). Pe teren, s-a efectuat o evaluare vizuală prin care s-a estimat proporția din coroana arborilor afectată de *Dothistroma pini*. Pe baza imaginilor termale, a fost posibilă determinarea temperaturilor la nivelul coroanei arborelui prin media a cel puțin șase pixeli centrali ai fiecărei coroane, apoi aceste valori fiind comparate cu nivelul de infecție măsurat la sol, obținându-se o corelație pozitivă moderată ($R = 0,527$, $p = 0,001$) între temperatură și evoluția intensității vătămărilor (Smigaj et al., 2014).

În Finlanda au fost efectuate cercetări cu privire la posibilitatea utilizării fotogrametriei bazate pe imagini aeriene hiperspectrale, capturate cu ajutorul UAV, pentru cartarea decolorărilor produse la nivelul coroanelor arborilor, dintr-o pădure urbană din sudul țării, de către gândacul de scoarță *Ips typographus* (Linnaeus, 1758). S-a utilizat un octocopter echipat cu o camera hiperspectrală Fabry – Pérot Interferometer (FPI) setată să înregistreze date în 22 de benzi cu lungimi de undă cuprinse între 500 și 900 nm (VNIR). Separat, în altă misiune de zbor, a fost folosită camera normală RGB Samsung NX1000 (Samsung Ltd., Coreea de Sud). Pe baza imaginilor aeriene colectate, apoi corectate și orientate, s-a obținut modelul digital al terenului, iar pentru fiecare arbore a fost creat modelul coroanei, și s-au extras caracteristicile spectrale, permițând astfel, realizarea clasificării în trei clase (arbori sănătoși, infestați și morți), precizia generală a fost 76%. La o clasificare a arborilor în două clase (sănătoși și morți), precizia generală obținută a fost de 90%. Arborii izolați au fost detectați cu o precizie de 74,7% (Näsi et al., 2015).

În vara anului 2013, au fost efectuate cercetări privind utilizarea imaginilor aeriene NIR preluate cu ajutorul senzorilor de fotografiere instalați pe UAV. Cercetările au fost localizate în nord-vestul Germaniei (Northrhine Westfalia), în două trupuri de pădure infestate cu *Agilus biguttatus* (Fabricius, 1777). Pe baza acestor imagini au fost create hărți tematice, în funcție de nivelul infestărilor. Pentru cercetări s-a utilizat un aparat de zbor de tip quadcopter MD4-200 (Microdrones GmbH, Germany), echipat cu o camera de fotografiere VIS-RGB IXUS 100 (Canon Inc., Japan), modificată să înregistreze în spectrul infraroșu apropiat. Imaginile capturate au fost asamblate cu PhotoScan Professional Edition 0.9.0 (Agisoft LLC, Rusia) și georeferențiate în ArcGIS v. 10.2 (ESRI, SUA) folosind punctele de control la sol și obiecte distinctive din teren. Clasificarea imaginii s-a realizat pe baza NDVI utilizându-se 5 clase de acoperire cu vegetație (ramuri sănătoase, infestate, moarte, alt tip de vegetație, goluri în coronament), obținându-se un indice general de concordanță, $k=0,81$ (foarte bun) pentru suprafața de 0,85 ha corespunzătoare unuia dintre cele două trupuri de pădure și respectiv, $k=0,77$ (bun) pentru suprafața de 2,05 ha, aferentă celui de-al doilea trup de pădure (Lehmann et al. 2015).

Începând cu anul 2017 s-au efectuat zboruri experimentale cu diverse tipuri de drone (aripă fixă, quadcopter) echipate atât cu senzor de fotografiere în domeniul vizibil (RGB) cât și termal. Zborurile au avut ca scop studierea posibilității utilizării imaginilor aeriene pentru evaluarea vătămărilor produse de insectele defoliatoare, insectele sugătoare sau doborâturile de vânt. Astfel, în vara 2017 s-au efectuat zboruri pentru surprinderea defolierilor produse de *Tortrix viridana*, cu o dronă de tip aripă fixă eBee SenseFly echipată atât cu senzor de fotografiere în domeniul vizibil (RGB) cât și termal (ThermoMap). Zborurile s-au desfășurat în trei etape: înainte de aplicarea tratamentelor avio, după defolierile produse în suprafața cu infestări puternice și după reînfrunzire. Pentru capturarea imaginilor termice s-au ales mai multe înălțimi de zbor: 100 m, 120 m, 130 m și 150m. Datorită condițiilor meteo (temperaturi

reduse, vânturi puternice) din timpul hrănirii larvelor insectelor și mortalităților ridicate ca urmare a aplicării tratamentelor aeriene (eficacitatea tratamentelor 98,2%), defolierile realizate au fost scăzute (inesizabile) (5-10%) și distribuite uniform. Astfel, observațiile de la sol asupra defolierilor și informațiile oferite de imaginile aeriene, în domeniul vizibil (RGB), arată un nivel scăzut al vătămărilor. Analiza de la sol a caracteristicilor vătămărilor și a imaginilor termale preluate cu drona, la diferite înălțimi, nu a evidențiat o legătură clară între defolieri și temperatura de la nivelul coronamentului. Având în vedere eficacitatea ridicată a tratamentelor aplicate, nivelul scăzut al defolierilor realizate, diferențele de nuanță de pe ortofotoplan nu au avut legătură cu vătămările, motiv pentru care nu a putut fi trasă o concluzie cu privire la utilizarea senzorului termal la aprecierea defolierilor produse de insecte (Buzatu, 2020).

În toamna 2018 s-a utilizat o dronă de tip quadcopter, 3DR Solo, echipată cu senzor de fotografiere în domeniul vizibil (GoPro Hero 3), pentru a observa decolorările produse arborilor de cvercinee de *Corythucha arcuata*. Interfața de comunicare între dronă și utilizator (tabletă) a constituit-o programul specializat Solex. Înălțimea de zbor a variat, din 10 în 10 m, de la 50 m la 120 m. În teren s-au amplasat, cu ajutorul unui dispozitiv GPS Trimble Juno SB, 30 de puncte pentru determinarea diverselor specii de arbori (stejar pedunculat, tei, frasin, păr, etc) din compoziția arboretului și a diferitelor niveluri de infestare pentru speciile de cvercinee. Din setul de imagini aeriene colectate, s-a ales o imagine reprezentativă, realizată la înălțimea de 100 m, care a fost georeferențiată, pe baza unor puncte de coordonate cunoscute de la sol, cu ajutorul programului ArcGis. Ulterior aceasta a fost supusă unor procese de clasificare, putându-se observa diferențele între specii și între nivelurile de decolorare produse de *Corythucha arcuata* frunzișului arborilor de cvercinee (Buzatu, 2020).

2. SCOP ŞI OBIECTIVE

Cercetările desfășurate au avut drept **scop** utilizarea unor metode ale teledetecției pentru monitorizarea, evaluarea și clasificarea diferitelor forme de vătămare a arborilor, sub acțiunea diversilor agenți biotici dăunători, prin analiza comparativă a informațiilor oferite de imaginile digitale (satelitare/aeriene) cu cele obținute de la sol.

Obiectivul general al cercetărilor îl constituie stabilirea posibilităților de utilizare a imaginilor satelitare sau preluate cu ajutorul dronelor pentru detectarea, monitorizarea și evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar* și a decolorărilor cauzate de *Corythucha arcuata*, în aboretalele de cvercinee.

Pentru realizarea obiectivului general au fost stabilite mai multe **obiective specifice**:

- Stabilirea caracteristicilor cantitative și calitative ale populațiilor celor două specii de insecte în suprafețele experimentale și evaluarea de la sol a vătămarilor produse de acestea.
- Evaluarea vătămarilor produse de cele două specii pe baza imaginilor satelitare prin utilizarea indicilor biofizici și de vegetație calculați pentru domeniul vizibil (RGB) și infraroșu apropiat (NIR).
- Evaluarea vătămarilor produse de cele două specii pe baza imaginilor capturate cu ajutorul dronei prin utilizarea indicilor de vegetație calculați pentru domeniul vizibil (RGB) și infraroșu apropiat (NIR).
- Analiza comparativă a rezultatelor evaluărilor vătămarilor produse de cele două specii obținute pe baza imaginilor digitale (satelitare/aeriene) cu cele obținute de la sol.

3. MATERIAL ŞI METODĂ

3.1. LOCALIZAREA CERCETĂRIILOR

Atât pentru defolierile produse de *Lymantria dispar* cât şi pentru decolorările produse de *Corythucha arcuata*, care produc vătămări în arboretele de cvercinee, studiile s-au concentrat într-un trup de pădure din zona Olteniei, unde defoliatorul *Lymantria dispar* a intrat în gradaţie în perioada 2018-2020 iar *Corythucha arcuata* a produs vătămări în anul 2021 (figura 1). Arboretele se află pe raza Direcţiei Silvice Dolj, Trupul Ciuturica (44° 15'N – 23° 31'E) (figura 2), UP I Criva, OS Craiova. Trupul de pădure este localizat în zona de câmpie, la o altitudine medie de 165 m, cu o suprafaţă de aproximativ 310 ha şi are în compoziţie, în principal, speciile cer (*Quercus cerris*) şi gârniţă (*Quercus frainetto*), cu vârsta medie 65 de ani şi consistenţa variabilă, între 0.5-0.9.

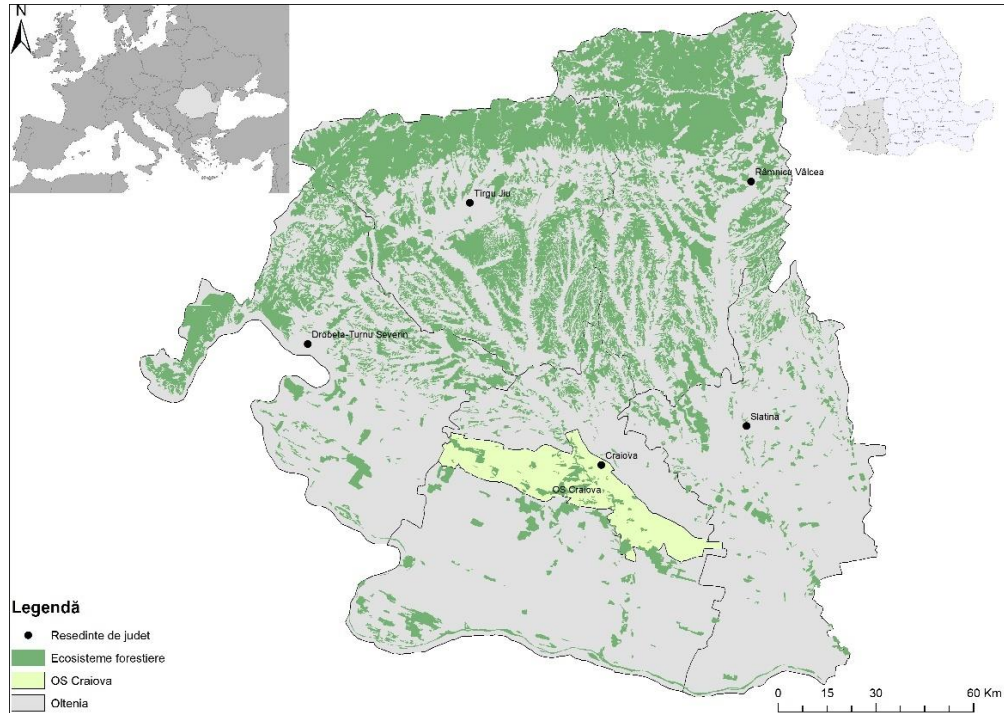


Figura 1. Localizarea cercetărilor

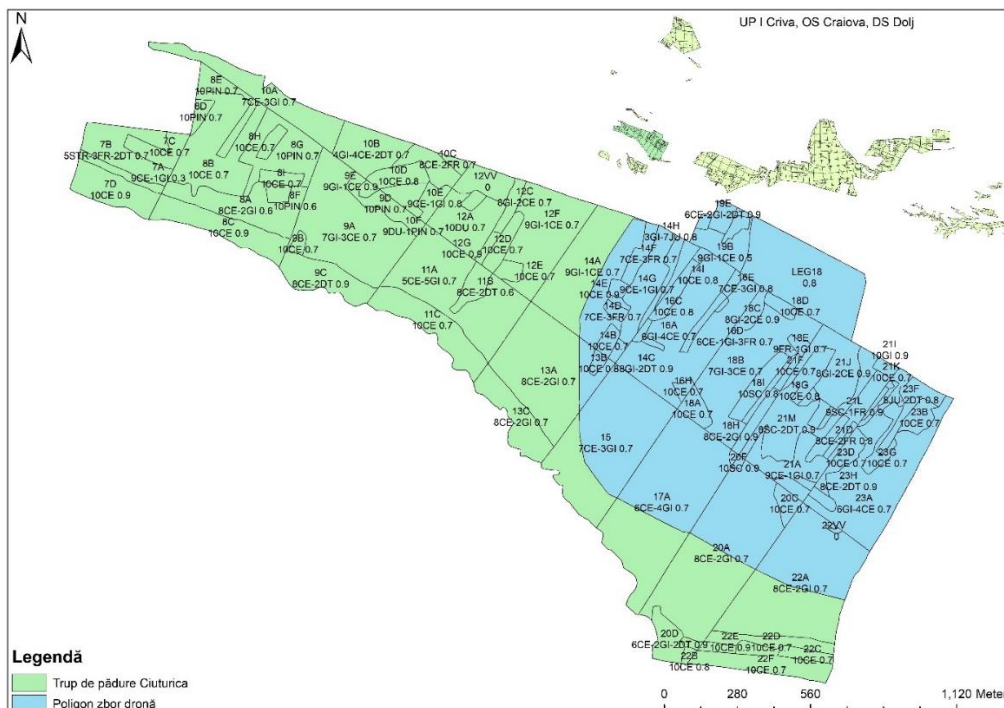


Figura 2. Trupul de pădure Ciuturica, UP I Criva, OS Craiova, DS Dolj

3.2. METODOLOGIA DE LUCRU

3.2.1. Monitorizarea activităţii insectelor şi evaluarea vătămarilor de la sol

Monitorizarea şi evaluarea stării fitosanitare a pădurilor presupune o supraveghere permanentă a acestora. Supravegherea este o componentă operaţională în cadrul activităţii de control integrat al agenţilor vătămători, prin care se stabilesc tendinţele de evoluţie în timp, ariile de răspândire ale acestora şi vătămările produse. Metodele de supraveghere se stabilesc în funcţie de mărimea suprafeţei pădurii, agenţii biotici sau abiotici urmăriţi şi speciile de arbori afectate. (Berryman, 1986)

Vătămările produse de cele două specii de insecte în trupul de pădure Ciuturica, în anii 2020 şi 2021, deşi sunt de tip diferit (defolieri – *Lymantria dispar*, decolorări – *Corythucha arcuata*) se produc la nivelul frunzişului.

Defolierea exprimă pierderea (consumarea totală sau parţială) de frunze sau ace din coroana unui arbore, comparativ cu altul al cărui aparat foliar este complet (arbore de referinţă) (Berryman, 1986).

Defolierile produse de *Lymantria dispar* s-au estimat prin apreciere vizuală a coroanei arborilor componenţi ai suprafeţelor de probă cu mărimea de un ha, exprimată în valori întregi, din cinci în cinci procente (5, 10, 15%), folosindu-se drept referinţă un arbore din aceeaşi specie, cu frunziş complet. Datele înregistrate procentual au fost clasificate în cinci grade de defoliere: foarte slab 1-10%, slab 11-25%, mijlociu 26-50%, puternic 51-75% şi foarte puternic >75%.

Decolorările produse de insecta sugătoare, invazivă, *Corythucha arcuata* s-au estimat prin aprecierea vizuală a proporţiei masei foliare care se abate de la culoarea normală. Datele înregistrate au fost împărţite după aceeaşi scară de apreciere ca cea folosită pentru defolierile produse de *Lymantria dispar*.

Pentru stabilirea caracteristicilor cantitative şi calitative ale populaţiilor celor două specii de insecte şi evaluarea de la sol a vătămărilor produse de acestea, s-a amplasat o reţea rectangulară de 70 suprafeţe de probă cu mărimea de un ha, de formă pătrată, cu latura de 100 m, proiectate cu ajutorul programelor ArcGIS (ESRI, SUA) (funcţia *Create Fishnet* din cadrul modulului *Data Managment Tools - Feature class*) şi AutoCAD (AutoDesk, SUA), ale căror colţuri au fost materializate în teren cu ajutorul unui dispozitiv GPS Trimble Juno SB (Timble, SUA). În jurul fiecărui colţ al acestor suprafeţe de probă, s-au materializat cercuri de probă cu raza de 12.62 m (500 m²) în care s-au făcut observaţii cu privire la caracteristicile cantitative (densitate, distribuţia în spaţiu) şi calitative (fecunditate, parazitare, sterilitate, indice sexual) ale populaţiilor celor două specii de insecte şi s-a determinat nivelul infestărilor şi al vătămărilor produse, în cei doi ani (figura 3).

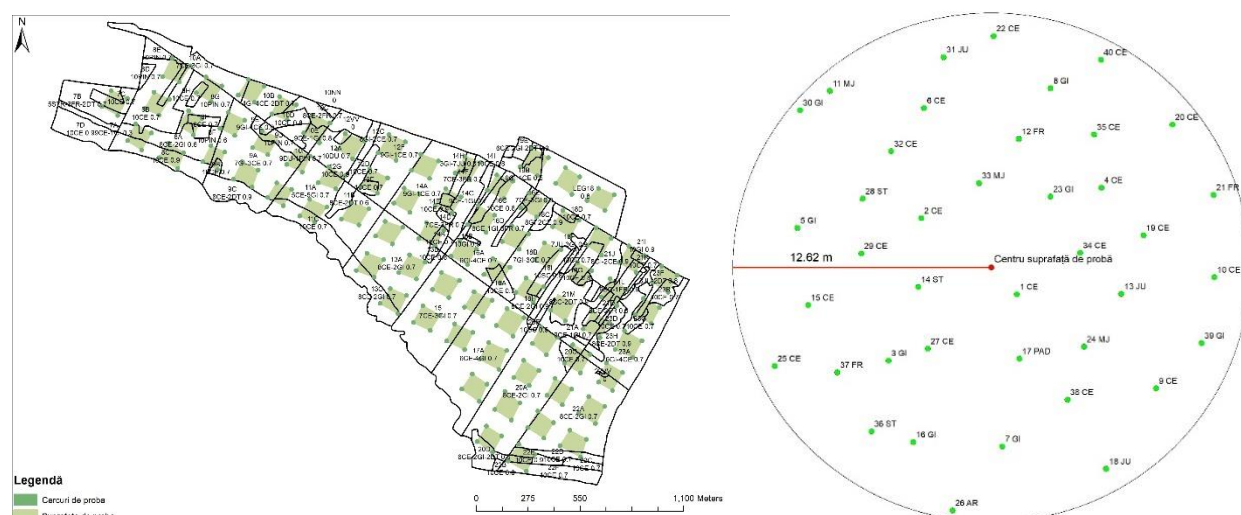


Figura 3. Reţeaua rectangulară de suprafeţe de probă amplasată în trupul de pădure Ciuturica (OS Craiova) cu detaliu asupra cercului de probă în care s-au făcut observaţii

Datele înregistrate în cercurile de probă cu privire la densitatea populaţiei, nivelul defolierilor produse de *Lymantria dispar* şi al decolorărilor produse de *Corythucha arcuata*, au fost folosite pentru realizarea unor hărţi tematice pentru cei doi ani cu vătămări (2020 şi 2021), cu ajutorul programului ArcGIS,

aplicând funcția specifică de interpolare bazată pe algoritmul *Inverse distance weighted (Spatial Analyst Tools – Interpolation – IDW)*, care au permis determinarea suprafețelor afectate în diferite grade de vătămare din cuprinsul trupului de pădure Ciuturica.

Pentru compararea informațiilor de pe hărțile tematice obținute pe baza observațiilor de la sol, cu informațiile oferite de imaginile digitale, au fost preluate, imagini satelitare Sentinel 2, de pe platforma *Copernicus* (European Space Agency – ESA), din zona trupului de pădure Ciuturica, pentru anii 2020 și 2021, din perioada celei de-a treia decade a lunii iulie, după încetarea procesului de hrănire a larvelor și înainte de reînfrunzirea arborilor defoliați (figura 4).

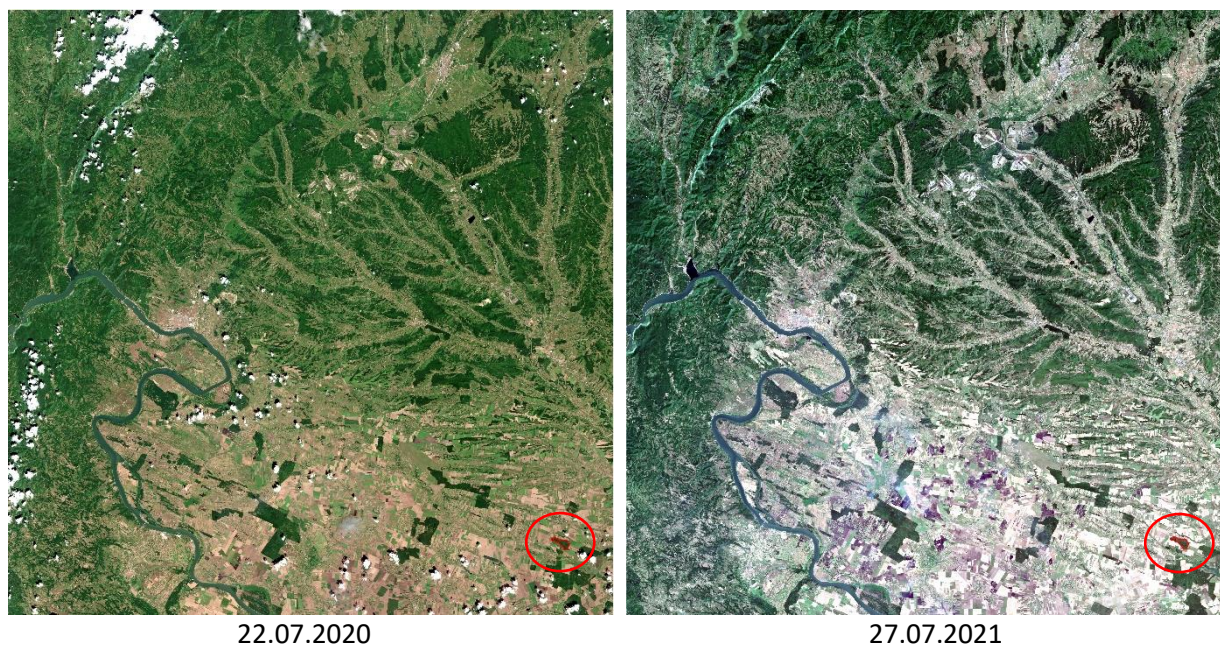


Figura 4. Imagini satelitare Sentinel 2 din zona studiată, în perioada celor doi ani cu vătămări, cu evidențierea trupului de pădure Ciuturica

Pentru o prelucrare mai ușoară, având în vedere că trupul de pădure are o suprafață relativ mică, aproximativ 310 ha și o imagine satelitară acoperă cca. 1205000 ha, din imaginea satelitară brută a fost extras trupul de pădure studiat. Aceasta s-a realizat cu ajutorul funcției *Extract by Mask* (Spatial Analyst Tools, Extraction) din ArcGIS, având ca bază ("mască") poligonul care reprezintă conturul trupului de pădure (figura 5).



Figura 5. Imagini satelitare Sentinel 2 pentru trupul de pădure Ciuturica, UP I Criva, OS Craiova

Imaginile digitale aerine capturate cu ajutorul dronei, au fost obținute, în vara anului 2020, pentru partea de est a trupului de pădure Ciuturica (cca. 100 ha), după finalizarea hrănirii și împuparea larvelor, prin efectuarea de zboruri cu o dronă de tip aripă fixă *eBee Plus* (senseFLY SA, Switzerland), echipată cu senzor de fotografiere în domeniul vizibil, *senseFly S.O.D.A.* (senseFLY SA, Switzerland). Totodată, în vara

anului 2021, în aceeaşi locaţie şi pe aceeaşi suprafaţă, s-au efectuat zboruri cu acelaşi tip de dronă, echipată cu senzor de fotografiere multispectral *multiSPEC 4C* (senseFLY SA, Switzerland).

Drona *eBee Plus* este de tip aripă fixă, uşoară (1,1 kg) (figura 6 a, b), care poate fi echipată cu senzori de fotografiere RGB, multispectral şi termal. Planificarea şi controlul zborului se realizează cu ajutorul softului *eMotion 3* (senseFLY SA, Switzerland). Conexiunea se realizează prin unde radio, fiind furnizate informaţii în timp real cu poziţia dronei, autonomia acumulatorului, timpul zburat, distanţa la care se află, calitatea conexiunii, viteza şi direcţia vântului, viteza de deplasare şi altitudinea de zbor (figura 6c) (www.sensefly.com).

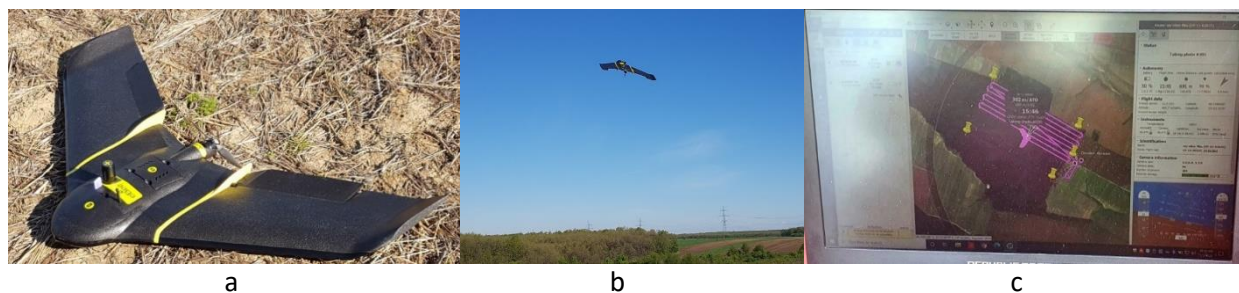


Figura 6. Drona de tip aripă fixa eBee (a, b), detaliu soft eMotion (c)

Senzorul de fotografiere în domeniul vizibil *senseFly S.O.D.A.* are o rezoluţie de 20 mp şi permite capturarea imaginilor în benzile spectrale roşu (red, 660 nm), verde (green, 520 nm) şi albastru (blue, 450 nm) cu o rezoluţie la sol de 2,3 cm/pixel, de la o altitudine de 100 m.

Senzorul de fotografiere multispectral *multiSPEC 4C* permite capturarea imaginilor în benzile spectrale verde (green, 550 nm), roşu (red, 660 nm), roşu îndepărtat (red edge, 735 nm) şi infraroşu apropiat (NIR, 790 nm) cu o rezoluţie la sol de 10 cm/pixel, de la o altitudine de 100 m.

Misiunile de zbor s-au desfăşurat pe baza unui plan de zbor prestabilit, la o altitudine de 305 m (2020), 265 m (2021), cu o suprapunere a imaginilor de 80 m atât pe linie cât şi lateral.

Imaginile digitale aeriene preluate cu drona, au fost procesate cu softwar-ul specializat *Pix4D* (senseFLY SA, Switzerland), obţinându-se imaginea digital aeriana, de ansamblu, a arboretului (figura 7).

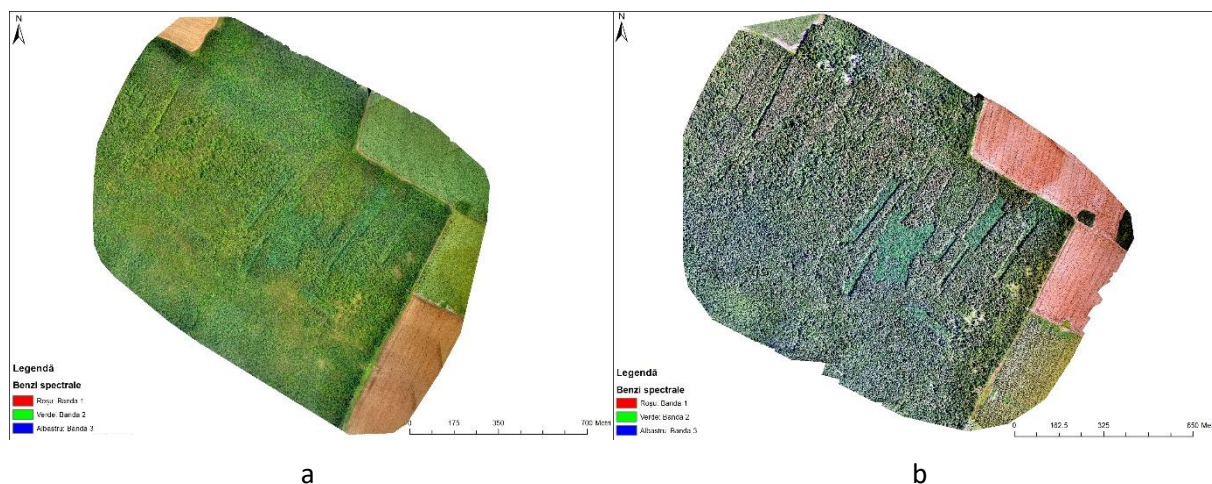


Figura 7. Imagini capturate cu ajutorul dronei pentru partea de est a trupului de pădure Ciuturica, UP I Criva, OS Craiova, în anii 2020 (a) şi 2021 (b)

Având în vedere rezoluţia superioară a imaginilor obţinute cu drona comparativ cu imaginile satelitare, în anul 2020, când nivelul defolierilor a fost mai ridicat, s-au evaluat de la sol vătămările pentru 70 de arbori individuali, cu diferite grade de defoliere, răspândiţi în cuprinsul poligonului de zbor al dronei, în vederea unei analize mai detaliate a informaţiilor suplimentare oferite de imaginile capturate cu drona (figura 8).

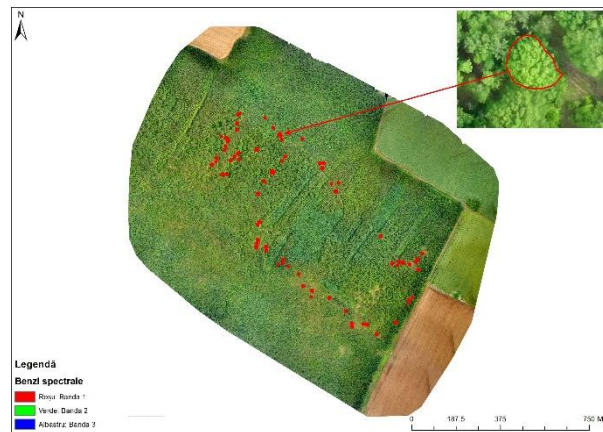


Figura 8. Localizarea arborilor individuali, cu detaliu la nivelul coroanei

3.2.2. Monitorizarea și evaluarea vătămărilor prin utilizarea imaginilor digitale satelitare și aeriene

Pentru cercetările de față s-au utilizat imagini composite color din domeniul vizibil (RGB) și multispectrale bazate pe banda infraroșu apropiat (NIR).

Imaginile din domeniul vizibil au fost folosite la identificarea, monitorizarea și evaluarea vătămărilor produse de insecte foliofage, care provoacă defolieri (*Lymantria dispar*) sau decolorari (*Corythucha arcuata*), prin determinarea unor indici de vegetație.

Având în vedere faptul că vegetația are o semnătură spectrală unică în domeniul infraroșu apropiat, imaginile multispectrale au fost folosite pentru evidențierea diferitelor grade de vătămare. Reflectanța vegetației este slabă atât în zona albastru cât și în roșu ca urmare a absorbției radiațiilor de către clorofilă pentru procesul de fotosinteză. Aceasta are un vârf în regiunea care generează culoarea vegetației (verde) iar în zona infraroșu apropiat reflectanța este mult mai mare decât în benzile din vizibil datorită structurii celulare a frunzelor. Astfel imaginea aeriană este reprezentată prin diferite nuanțe de roșu în funcție de starea de sănătate a arborilor. (Vorovencii, 2015)

Pe baza acestui contrast puternic al comportamentului vegetației în privința absorbției și reflectării energiei electromagnetice s-a dezvoltat o serie de indici biofizici (LAI, FAPAR, FVC, CAB, CWC) (tabelul 1) și o multitudine de indici de vegetație (G%, GLI, RGBVI, NDVI, EVI, etc.) (tabelul 2).

Indicii biofizici sunt obținuți prin algoritmi de calcul ce constau în principal în generarea unor baze de date cu caracteristicile vegetației și reflectanțele spectrale din partea superioară a coronamentului, pe baza diverselor imagini satelitare (Sentinel 2, Landsat 8, MERIS, SPOT) (Weiss et al., 2020).

Tabel nr. 1. Indici biofizici pentru imagini digitale multispectrale

Indici biofizici	Definiție	Referință
Leaf Area Index	LAI —este definit ca jumătate din suprafața dezvoltată a elementelor fotosintetice active ale vegetației (frunzelor) pe unitate de suprafață orizontală a solului.	(Weiss et al., 2020)
Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation index	FAPAR —corespunde fracției de radiație fotosintetică absorbită de coronament și depinde de structura arboretului, de proprietățile optice ale vegetației și de condițiile de iluminare.	(Weiss et al., 2020)
Fractional Vegetation Cover	FVC —corespunde fracției de decalaj pentru direcția nadirului și este folosit pentru a separa vegetația și solul în procesele de echilibrare energetică, inclusiv temperatura și evapotranspirația și nu depinde de condițiile de iluminare în comparație cu FAPAR.	(Weiss et al., 2020)
Chlorophyll a and b	Cab - reprezintă cantitatea totală de clorofilă a unei frunze pe unitatea de suprafață și este folosit ca indicator al stresului prin lipsa de azot și al eficienței fotosintetice	(Ali et al., 2020)

Canopy Water Content	CWC – estimează conținutul de apă stocată în frunze, măsurat pe unitatea de suprafață.	(Cernicharo et al., 2013)
----------------------	--	---------------------------

Indicii biofizici au fost obținuți automat cu ajutorul programul SNAP (ESA Sentinel Application Platform v8.0) care, pe baza caracteristicilor vegetației și a reflectanței spectrale, facilitează obținerea în mod direct a valorilor acestor indici.

Indicii de vegetație reprezintă, din punct de vedere matematic, un număr generat de anumite combinații de benzi ale imaginilor digitale și care are anumite legături cu cantitatea de vegetație din cadrul unui pixel. În lucrările de specialitate este indicat faptul că acești indici de vegetație sunt bazați, în general, pe o evidență empirică și nu pe baze biologice, fizice sau chimice. (Vorovencii, 2015)

Tabel nr. 2. Indici de vegetație pentru imagini digitale în domeniul infraroșu apropiat (NIR) și vizibil (RGB)

Indici de vegetație	Algoritm de calcul	Referință
NIR		
Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	(Rouse et al., 1974)
Soil-Adjusted Vegetation Index	$SAVI = ((NIR - R) / (NIR + R + 0.5)) \times 1.5$	(Huete, 1988)
Modified Soil-Adjusted Vegetation Index 2	$MSAVI2 = 1/2(2(NIR + 1) - \sqrt{((2NIR + 1)^2 - 8(NIR - R))})$	(Qi et al., 1994)
Difference Vegetation Index	$DVI = NIR - R$	(Richardson et al., 1977)
Ratio Vegetation Index	$RVI = NIR / R$	(Richardson et al., 1977; Vorovencii, 2015)
Perpendicular Vegetation Index	$PVI = (NIR - a \cdot XR - b) / \sqrt{1 + a^2}$	(Richardson et al., 1977; Vorovencii, 2015)
Infrared Percentage Vegetation Index	$IPVI = NIR / (NIR + R)$	(Crippen, 1990)
Weighted Difference Vegetation Index	$WDVI = NIR - R$	(Clevers, 1991)
Transformed Normalized Difference Vegetation Index	$TNDVI = \sqrt{\frac{NIR - R}{NIR + R} + 0,5}$	(Tucker, 1979; Senseman et al., 1996)
Green Normalized Difference Vegetation Index	$GNDVI = (NIR - G) / (NIR + G)$	(Gitelson et al., 1996)
Atmospherically Resistant Vegetation Index	$ARVI = (NIR - rb^{**}) / (NIR + rb^{**})$	(Kaufman și Tanre, 1992)
Normalized Difference Index 45	$NDI45 = (Re_{705} - R_{665}) / (Re_{705} + R_{665})^{***}$	(Delegido et al., 2011b)
Inverted Red-Edge Chlorophyll Index	$IRECI = (Re_{783} - R_{665}) / (Re_{705} / Re_{740})^{***}$	(Frampton et al., 2013)
Pigment Specific Simple Ratio	$PSSRa = Re_{783} / R_{665}^{***}$	(Blackburn, 1998)
Normalised Difference Red Edge	$NDRE = (NIR - Re_{705}) / (NIR + Re_{705})$	(Gitelson et al., 1994)
Inverse Ratio Vegetation Index	$IRVI = R_{665} / NIR$	(Junior et al., 2016)
Green Ratio Vegetation Index	$GRVI = NIR / G$	(Sripada et al., 2006)
Vogelmann Red Edge Index	$VREI = NIR / Re_{705}^{***}$	(Vogelmann et al., 1993)
RGB		
Modified Photochemical Reflectance Index	$MPRI = (G - R) / (G + R)$	(Yang et al., 2008)
Visible Atmospherically Resistant Index	$VARI = (G - R) / (G + R - B)$	(Gitelson et al. 2002)
Green Percentage Index	$G\% = G / (R + G + B)$	(Richardson et al., 2007)
Excess Green	$ExG = 2 \times G - R - B$	(Woebbecke et al., 1995)

Green Leaf Index	$GLI = \frac{(G-R) + (G-B)}{2G+R+B}$	(Louhaichi et al., 2001)
Red Green Blue Vegetation Index	$RGBVI = \frac{G^2 - (B \times R)}{G^2 + (B \times R)}$	(Bendig et al., 2015)
Triangular Greenness Index	$TGI = G - 0.39 \times R - 0.61 \times B$	(Hunt et al., 2011)
Modified Green Red Vegetation Index	$MGRVI = \frac{G^2 - R^2}{G^2 + R^2}$	(Bendig et al., 2015)
<p>R – red G – green B – blue NIR – Near Infrared *a – panta liniei solului *b – gradientul liniei solului Re – Red edge **rb = $R - \gamma(B-R)$, γ – variabilă dependent de tipul aerosolilor din atmosferă, ia valoarea 1 atunci când nu sunt informații despre tipul aerosolilor. Scopul rb este de a reduce influența atmosferică pentru a obține o evaluare mai precisă a valorii reflectanței în banda roșu. ***R₆₆₅ = Banda 4 Sentinel 2 - Red ***Re₇₀₅ = Banda 5 Sentinel 2 – Vegetation Red Edge ***Re₇₄₀ = Banda 6 Sentinel 2 – Vegetation Red Edge ***Re₇₈₃ = Banda 7 Sentinel 2 – Vegetation Red Edge</p>		

O parte dintre indicii de vegetație (NDRE, IRVI, GRVI, VREI, MPRI, VARI, GPI, ExG, GLI, RGBVI, TGI, MGRVI) au fost calculați cu ajutorul funcției *Raster Calculator (Spatial Analyst Tools – Map Algebra)* a programului *ArcGIS*, iar o altă parte (NDVI, SAVI, MSAVI2, DVI, RVI, PVI, IPVI, WDV, TNDVI, GNDVI, ARVI, NDI45, IRECI, PSSRa) au fost furnizați automat de programul SNAP (ESA Sentinel Application Platform v8.0) care facilitează obținerea în mod direct a valorilor indicilor de vegetație pe baza informației spectrale.

Pentru fiecare indice biofizic și de vegetație obținut s-au calculat, pentru fiecare suprafață de probă de 1 ha, valorile medii ale pixelilor componenți, prin utilizarea funcției *Zonal Statistics as Table (Spatial Analyst Tools – Zonal)*. Pe baza nivelului mediu de defoliere respectiv de decolorare evaluat în teren, și a valorilor medii ale pixelilor, pentru fiecare suprafață de probă, aplicând metoda *Regresiei multiple și Analiza varianței*, cu ajutorul programului specializat *Statistica 12.0*, s-au stabilit relațiile matematice între valorile vătămarilor observate și valorile pixelilor.

Prelucrarea acestor imagini, sub formă de indici biofizici și de vegetație, a permis stabilirea unor intervale de variație a valorilor pixelilor specifice fiecărui grad de vătămare. Pe baza acestor intervale de variație a valorilor pixelilor, au fost realizate hărți tematice cu privire la nivelul vătămarilor, care au fost comparate cu hărțile tematice obținute cu date înregistrate de la sol. Hărțile tematice realizate pe baza indicilor biofizici și de vegetație, au fost obținute cu ajutorul programului *ArcGis*, prin reclasificarea imaginilor digitale (funcția *Reclassify* din modulul *3D Analyst Tools*) care redau indicii respectivi, în funcție de intervalele de variație a pixelilor, specifice fiecărui grad de vătămare.

Pe baza hărților tematice obținute, atât pentru observațiile înregistrate de la sol, cât și pentru indicii biofizici și de vegetație, prin utilizarea funcției *Raster to Polygon* din modulul *Conversion Tools* al programului *ArcGis*, au fost determinate suprafețele afectate de defolieri sau decolorări, pe grade de vătămare, în vederea realizării analizei comparative.

4. REZULTATE ȘI DISCUȚII

4.1. Monitorizarea și evaluarea vătămarilor (defolierilor) produse de *Lymantria dispar*

4.1.1. Caracteristicile cantitative și calitative ale populațiilor de *Lymantria dispar* și evaluarea, de la sol, a vătămarilor produse de acestea

Începând cu anul 2018 defoliatorul *Lymantria dispar* a intrat în gradație în zona de sud a Câmpiei Olteniei, infestând numeroase trupuri de pădure, în special, de tipul cereto-gârnițetelor precum este

trupul de pădure Ciuturica, din OS Craiova, selectat ca suprafață experimentală pentru realizarea obiectivelor cercetărilor.

În generația 2019-2020 populația defoliatorului s-a aflat în faza creșterii numerice, cu fecunditatea medie 684 ouă, parazitare în stadiul de ou de 7%, sterilitate de 2.4% și cu o densitate medie de 1.98 ponte/arbore, cu o variație de la 0.1 – 4.9 ponte/arbore (coeficient de variație 61.1%), în funcție de caracteristicile staționale și de structură ale arboretelor. Pe baza caracteristicilor cantitative și calitative determinate s-a prognozat o defoliere medie de 169% cu variații, de la arboret la arboret, cuprinse între 5% și 405% (coeficient de variație 14.78%). Ca urmare a uniformizării infestărilor în spațiu, realizată prin acțiunea vântului în stadiul de larva tânără și a mortalităților naturale defolierea realizată a fost cu mult sub cea prognozată, cu o medie de 23.4% și variații cuprinse între 6% și 49% (coeficient de variație 16.93%).

Pentru generația 2020-2021 populația defoliatorului a evoluat de la faza creșterii numerice la faza de erupție, cu fecunditatea medie 495.75 ouă, parazitare în stadiul de ou de 11%, sterilitate de 4.2% și cu o densitatea medie de 19.77 ponte/arbore, cu o variație de la 0.5 – 49 ponte/arbore (coeficient de variație 43.7%), în funcție de caracteristicile staționale și de structură ale arboretelor care constituie trupul de pădure. Pe baza caracteristicilor cantitative și calitative determinate s-a prognozat o defoliere medie de 293% cu variații, de la arboret la arboret, cuprinse între 1% și 622% (coeficient de variație 14.29%). În primăvara anului 2021, ca urmare a infestărilor puternice și foarte puternice din cuprinsul trupului de pădure, s-au aplicat tratamente aerinene care au dus la reducerea defolierilor realizate față de cele prognozate, la 12.4%, cu variații cuprinse între 1% și 22% (coeficient de variație 18.09%).

Datorită gradului de infestare foarte ridicat din generațiile anterioare, după aplicarea tratamentelor aeriene, în generația 2021-2022, a rămas o populație reziduală, în faza de criză, care a avut o fecunditate medie de 418 ouă, parazitare în stadiul de ou de 9.33%, sterilitate 8.67%, densitate medie de 0.013 ponte/arbore, cu o variație de la 0.01-0.025 ponte/arbore (coeficient de variație 27.77%). Pe baza caracteristicilor cantitative și calitative determinate s-a prognozat o defoliere medie de 1.17% cu variații, de la arboret la arboret, cuprinse între 0% și 9% (coeficient de variație 8.02%), defolierea medie realizată fiind de 3.83%, cu variații de la 0% la 10% (coeficient de variație 13.39%).

Pe baza datelor, cu privire nivelul defolierilor realizate, înregistrate în rețeaua rectangulară a cercurilor de probă, s-au întocmit hărți tematice cu distribuția în spațiu a vătămarilor, pe grade de defoliere pentru generația 2019-2020 (figura 9a) și 2020-2021 (figura 9b).

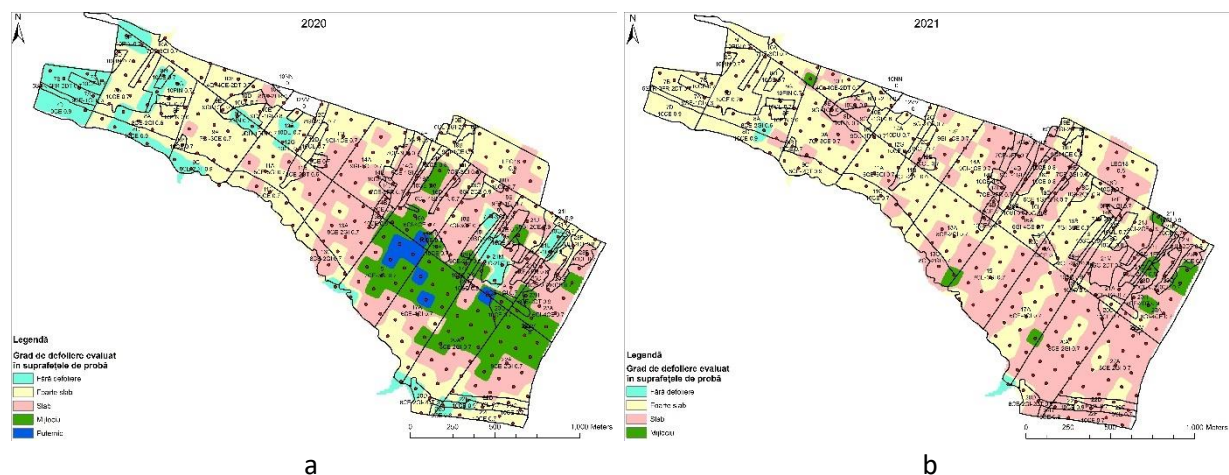


Figura 9. Hărți tematice cu distribuția în spațiu a defolierilor produse de omizile de *Lymantria dispar* pe grade de intensitate, pentru generația 2019-2020 (a) și generația 2020-2021 (b) în trupul de pădure Ciuturica, OS Craiova

4.1.2. Evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar* pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2

4.1.2.1. Evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar* pe baza indicilor biofizici

Pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2 obținute pentru trupul de pădure Ciuturica la momentul fenologic de după încetarea hrănirii omizilor de *Lymantria dispar* (ultima decadă a lunii iulie) din

generațiile 2019-2020 și 2020-2021, au fost determinați toți cei cinci indici biofizici, oferți de programul ESA Snap, care se bazează pe generarea unor baze de date cu caracteristicile vegetației și reflectanțele spectrale din partea superioară a coronamentului arborilor, evidențiați în figura 13.

Cu șirurile de valori ale pixelilor, oferite de programul ArcGis prin funcția *Zonal Statistics as Table (Spatial Analyst Tools - Zonal)*, pentru fiecare indice biofizic, au fost stabilite valorile medii și indicii dispersiei. Totodată, prin analiza regresiei simple s-a stabilit, pentru fiecare indice biofizic, corelația dintre defolierile realizate, evaluate în teren, pentru fiecare suprafeță de probă eșantionată, în cele două sezoane de vegetație (2020, 2021) și valoarea medie a pixelilor din suprafețele respective (tabelul 3).

Tabel nr. 3. Parametri statistici de bază ai indicilor biofizici obținuți și corelația dintre valorile pixelilor și defolierile realizate de *Lymantria dispar* în două generații consecutive

Indici biofizici	Parametri statistici de bază pentru anul									
	2020					2021				
	Media	Ab. Std.	Coef. de variație (%)	Coef. de corelație (r)	Nivel semnificație (p)	Media	Ab. std.	Coef. de variație (%)	Coef. de corelație (r)	Nivel semnificație (p)
LAI	2.698	0.313	11.59	-0.609	2.2×10^{-8}	2.217	0.223	10.07	-0.587	9×10^{-8}
FAPAR	0.716	0.045	6.32	-0.599	4.2×10^{-8}	0.655	0.037	5.65	-0.565	3.5×10^{-7}
FVC	0.649	0.051	7.87	-0.608	2.4×10^{-8}	0.604	0.038	6.31	-0.557	5.6×10^{-7}
CAB	106.350	21.438	20.16	-0.672	1.9×10^{-10}	91.338	13.631	14.92	-0.572	2.3×10^{-7}
CWC	0.033	0.005	16.17	-0.748	1×10^{-13}	0.037	0.003	7.95	-0.620	1×10^{-8}

Din analiza informațiilor înscrise în tabelul 4 reiese că toți indicii biofizici obținuți, pentru cei doi ani cu defolieri, au coeficienți de variație mici, ceea ce înseamnă că valorile pixelilor au un grad de împrăștiere redus. De asemenea, se constată existența unei relații strânse, foarte semnificative ($p < 0.001$), între respectivele șiruri statistice (șirul valorilor pixelilor și șirul valorilor defolierilor), cu coeficienți de corelație cuprinși între 0.60-0.75, pentru anul 2020 și 0.56-0.62 pentru anul 2021.

Prin analiza varianței simple s-au calculat erorile standard și intervalul de variație față de media valorilor pixelilor din suprafețele eșantionate, pentru fiecare indice biofizic, pe grade de defoliere, în cei doi ani consecutivi (tabelul 4).

Tabel nr. 4. Intervalul de variație a valorilor pixelilor pentru indicii biofizici, în raport cu eroarea standard

Grad de defoliere*	2020				2021				Interval de variație a valorilor pixelilor 2020-2021 ($\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$; $\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$)
	\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)	\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)	
CWC									
fs	0.037	0.001	0.037	0.038	0.039	0.0004	0.038	0.039	0.037-0.039
s	0.032	0.001	0.032	0.033	0.035	0.0004	0.035	0.036	0.032-0.036
m	0.027	0.001	0.026	0.028					0.026-0.028
fs – foarte slab s – slab m - mijlociu									

Analiza datelor cu privire la intervalul de variație a valorilor pixelilor în cei doi ani cu defolieri arată că unii indici biofizici (LAI, FAPAR, FVC, CAB) prezintă suprapuneri mai mari sau mai mici între gradele de defoliere (ex. Pentru indicele LAI este o suprapunere între gradele de defoliere foarte slab și slab în intervalul 2.30-2.74, respectiv între gradele de defoliere slab și mijlociu în intervalul 2.29-2.43). În schimb, pentru indicele CWC intervalele de variație a valorilor pixelilor în cei doi ani sunt distincte, ceea ce sugerează existența unui grad mai ridicat de stabilitate al acestui indice în evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar*.

4.1.2.2. Evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar* pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul infraroșu apropiat (NIR)

Pe baza imaginilor satelitare, prin operații matematice între diferite benzi spectrale, în special infraroșu apropiat, roșu, verde și albastru, au fost calculați o serie de indici de vegetație, care au la bază capacitatea vegetației de absorbție maximă în benzile roșu și albastru și reflectanță puternică în banda infraroșu apropiat. Acești indici de vegetație au fost obținuți, o parte cu ajutorul programului ESA Snap (NDVI, SAVI, MSAVI2, DVI, RVI, PVI, IPVI, WDV, TNDVI, GNDVI, ARVI, NDI45, IRECI și PSSRa), iar ceilalți calculați în programul ArcGIS (NDRE, IRVI, GRVI și VREI), pentru trupul de pădure Ciuturica la momentul fenologic de după încetarea hrănirii omizilor de *Lymantria dispar* (ultima decadă a lunii iulie) din generațiile 2019/2020 și 2020/2021.

Pentru fiecare indice de vegetație, pe baza șirurilor de valori ale pixelilor, oferite de programul ArcGis prin funcția *Zonal Statistics as Table (Spatial Analyst Tools - Zonal)*, au fost stabilite valorile medii și indicii dispersiei. Totodată, prin analiza regresiei simple s-a stabilit, pentru fiecare indice în parte, corelația dintre defolierile reale, evaluate în teren, pentru fiecare suprafeță de probă investigată, în cele două sezoane de vegetație (2020, 2021) și valoarea medie a pixelilor din suprafețele respective (tabelul 5).

Tabel nr. 5. Parametri statistici de bază ai indicilor de vegetație obținuți în domeniul infraroșu apropiat și corelația dintre valorile pixelilor și defolierile realizate de *Lymantria dispar* în două generații consecutive

Indici de vegetație	Parametri statistici de bază pentru anul									
	2020					2021				
	Media	Ab. std.	Coef. de variație (%)	Coef de corelație (r)	Nivel semnificație (p)	Media	Ab. std.	Coef. de variație (%)	Coef de corelație (r)	Nivel semnificație (p)
NDVI	0.821	0.026	3.12	-0.538	1.5x10⁻⁶	0.738	0.024	3.27	-0.553	6.8x10⁻⁷
SAVI	0.490	0.032	6.56	-0.602	3.6x10⁻⁸	0.464	0.022	4.74	-0.539	1.4x10⁻⁶
MSAVI2	0.438	0.035	8.03	-0.607	2.6x10⁻⁸	0.415	0.023	5.55	-0.538	1.6x10⁻⁷
DVI	0.272	0.025	8.99	-0.613	1.7x10⁻⁸	0.267	0.016	6.01	-0.516	4.9x10⁻⁶
RVI	10.637	1.693	15.91	-0.550	8.1x10⁻⁷	6.747	0.709	10.51	-0.564	3.6x10⁻⁷
PVI	0.192	0.017	8.82	-0.594	5.8x10⁻⁸	0.189	0.011	6.01	-0.516	4.8x10⁻⁶
IPVI	0.911	0.013	1.41	-0.538	1.5x10⁻⁶	0.869	0.012	1.39	-0.553	6.8x10⁻⁷
WDVI	0.258	0.026	9.91	-0.611	1.9x10⁻⁸	0.243	0.017	6.95	-0.544	1.1x10⁻⁶
TNDVI	1.149	0.011	0.97	-0.537	1.6x10⁻⁶	1.113	0.011	0.98	-0.553	7.1x10⁻⁷
GNDVI	0.732	0.026	3.6	-0.577	1.7x10⁻⁷	0.670	0.024	3.5	-0.521	3.8x10⁻⁶
ARVI	0.809	0.034	4.21	-0.545	1x10⁻⁶	0.682	0.033	4.8	-0.558	5.2x10⁻⁷
NDI45	0.443	0.023	5.2	-0.290	1.4x10 ⁻²	0.362	0.014	3.77	-0.426	2.4x10⁻⁴
IRECI	0.905	0.166	18.31	-0.596	5.2x10⁻⁸	0.656	0.088	13.39	-0.550	8.2x10⁻⁷
PSSRa	10.637	1.693	15.91	-0.550	8.1x10⁻⁷	6.747	0.709	10.51	-0.564	3.6x10⁻⁷
NDRE	0.598	0.037	6.16	-0.602	3.5x10⁻⁸	0.111	0.007	6.59	-0.489	1.7x10⁻⁵
IRVI	0.099	0.016	15.84	0.535	1.9x10⁻⁶	0.151	0.016	10.62	0.551	7.6x10⁻⁷
GRVI	6.637	0.763	11.49	-0.577	1.7x10⁻⁷	5.228	0.439	8.39	-0.530	2.4x10⁻⁶
VREI	1.228	0.026	2.14	-0.687	5.1x10⁻¹¹	1.251	0.018	1.46	-0.495	1.3x10⁻⁵

Din analiza informațiilor înscrise în tabelul nr. 5 reiese că toți indicii de vegetație determinați în domeniul infraroșu apropiat (NIR), pentru cei doi ani cu defolieri, au coeficienți de variație mici, ceea ce înseamnă că valorile pixelilor au un grad de împrăștiere redus. De asemenea, se constată existența unei relații strânse, foarte semnificative ($p < 0.001$), între majoritatea șirurilor statistice (șirul valorilor pixelilor și șirul valorilor defolierilor), cu coeficienți de corelație cuprinși între 0.29-0.69, pentru anul 2020 și 0.43-0.56 pentru anul 2021.

Prin analiza varianței simple s-au calculat erorile standard și intervalul de variație față de media valorilor pixelilor din suprafețele eșantionate, pentru fiecare indice de vegetație, determinat pe baza benzii infraroșu apropiat (NIR), pe grade de defoliere, în cei doi ani consecutivi (2020-2021) (tabelul 6).

Tabel nr. 6. Intervalul de variație a valorilor pixelilor pentru indicii de vegetație bazați pe banda infraroșu apropiat, în raport cu eroarea standard

Grad de defoliere	2020				2021				Interval de variație a valorilor pixelilor 2020-2021
	\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)	\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)	$(\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}; \bar{X}+\sigma_{\bar{X}})$
DVI									
fs	0.285	0.004	0.281	0.288	0.275	0.002	0.273	0.278	0.273-0.288
s	0.271	0.004	0.267	0.275	0.259	0.002	0.257	0.262	0.257-0.275
m	0.245	0.005	0.240	0.250					0.240-0.250
PVI									
fs	0.201	0.002	0.198	0.203	0.195	0.002	0.193	0.196	0.193-0.203
s	0.192	0.003	0.189	0.195	0.183	0.002	0.182	0.185	0.182-0.195
m	0.174	0.004	0.170	0.177					0.170-0.177
VREI									
fs	1.245	0.003	1.242	1.249	1.258	0.003	1.255	1.261	1.242-1.261
s	1.221	0.004	1.217	1.225	1.245	0.003	1.242	1.248	1.217-1.248
m	1.199	0.005	1.194	1.204					1.194-1.204
fs – foarte slab s - slab m - mijlociu									

Analiza datelor cu privire la intervalul de variație a valorilor pixelilor în cei doi ani cu defolieri arată că indicii de vegetație NDVI, SAVI, MSAVI2, RVI, IPVI, WdVI, TNDVI, GNDVI, ARVI, NDI45, IRECI, PSSRa, NDRE IRVI și GRVI prezintă suprapuneri mai mari sau mai mici între gradele de defoliere foarte slab și slab, slab și mijlociu, și chiar între gradele de defoliere foarte slab și mijlociu. În schimb, pentru indicii de vegetație DVI, PVI și VREI intervalele de variație a valorilor pixelilor în cei doi ani sunt distincte, prezentând mici suprapuneri (0.002 pentru DVI și PVI, respective 0.006 pentru VREI) între gradele foarte slab și slab, ceea ce *evidențiază existența unui grad mai ridicat de stabilitate ale acestor indici în evaluarea defolierilor produse de Lymantria dispar.*

4.1.2.3. Evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar* pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB)

Pe baza imaginilor satelitare, prin operații matematice între benzile spectrale roșu, verde și albastru, au fost calculați o serie de indici de vegetație. Acești indici de vegetație au fost determinați cu ajutorul programului ArcGIS, pentru trupul de pădure Ciuturica, la momentul fenologic de după încetarea hrănirii omizilor de *Lymantria dispar* (ultima decadă a lunii iulie) din generațiile 2019-2020 și 2020-2021.

Pentru fiecare indice de vegetație, au fost stabilite valorile medii și indicii dispersiei. Totodată, prin analiza regresiei simple s-a stabilit, pentru fiecare indice în parte, corelația dintre defolierile realizate, evaluate în teren, pentru fiecare suprafeță de probă eșantionată, în cele două sezoane de vegetație (2020, 2021) și valoarea medie a pixelilor din suprafețele respective (tabelul 7).

Tabel nr. 7. Parametri statistici de bază ai indicilor de vegetație obținuți în domeniul vizibil (RGB) apropiat și corelația dintre valorile pixelilor și defolierile realizate de *Lymantria dispar* în două generații consecutive

Indici de vegetație	Parametri statistici de bază pentru anul									
	2020					2021				
	Media	Ab. Std.	Coef. de variație (%)	Coef. de corelație (r)	Nivel semnificație (p)	Media	Ab. std.	Coef. de variație (%)	Coef. de corelație (r)	Nivel semnificație (p)
MPRI	0.226	0.027	12.01	-0.370	1.6x10⁻³	0.110	0.012	11.06	-0.497	1.2x10⁻⁵
VARI	0.353	0.045	12.76	-0.403	5.4x10⁻⁴	0.185	0.024	12.79	-0.505	8.4x10⁻⁶

GPI	0.451	0.009	2.04	-0.236	5.0×10^{-2}	0.424	0.005	1.28	-0.376	1.3×10^{-3}
ExG	356.402	26.751	7.51	0.077	5.3×10^{-1}	387.214	32.184	8.31	0.055	6.5×10^{-1}
GLI	0.242	0.018	7.21	-0.234	5.1×10^{-2}	0.191	0.011	5.62	-0.377	1.3×10^{-3}
RGBVI	0.458	0.029	6.24	-0.223	6.4×10^{-2}	0.378	0.019	4.91	-0.335	4.5×10^{-3}
TGI	180.658	13.575	7.51	0.140	2.4×10^{-1}	206.942	17.516	8.46	0.118	3.3×10^{-1}
MGRVI	0.427	0.047	10.9	-0.368	1.7×10^{-3}	0.245	0.029	11.89	-0.497	1.2×10^{-5}

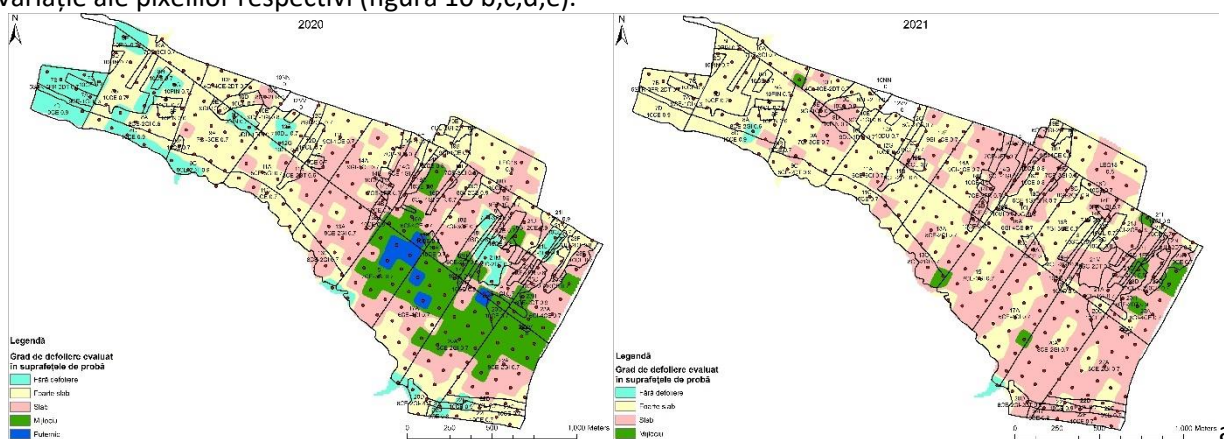
Din analiza informațiilor înscrise în tabelul nr. 7 reiese că toți indicii de vegetație determinați în domeniul vizibil (RGB), pentru cei doi ani cu defolieri, au coeficienți de variație mici, ceea ce înseamnă că valorile pixelilor au un grad de împrăștiere redus. De asemenea, se constată existența unor legături slabe, semnificative ($p < 0.001$) doar pentru indicii de vegetație MPRI, VARI și MGRVI, între șirurile statistice (șirul valorilor pixelilor și șirul valorilor defolierilor), cu coeficienți de corelație cuprinși între 0.08-0.40, pentru anul 2020 și 0.06-0.51 pentru anul 2021.

Prin analiza varianței simple s-au calculat erorile standard și intervalul de variație față de media valorilor pixelilor din suprafețele eșantionate, pentru fiecare indice de vegetație, determinat în domeniul vizibil (RGB), pe grade de defoliere, în cei doi ani consecutivi (2020-2021).

Analiza datelor cu privire la intervalul de variație a valorilor pixelilor în cei doi ani cu defolieri arată că toți indicii de vegetație studiați (MPRI, VARI, GPI, ExG, GLI, RGBVI, TGI, MGRVI) prezintă suprapuneri mai mari sau mai mici între gradele de defoliere foarte slab și slab, slab și mijlociu și foarte slab și mijlociu, ceea ce indică faptul că *acești indici nu pot fi utilizați pentru evaluarea defolierilor produse de Lymantria dispar*.

4.1.2.4. Analiza comparativă a rezultatelor evaluărilor defolierilor stabilite de la sol cu cele obținute din imagini satelitare

Hărțile tematice obținute privind rezultatele evaluărilor defolierilor înregistrate prin evaluările la sol în cei doi ani (2020 și 2021), produse de defoliatorul *Lymantria dispar* și prezentate la capitolul 4.1.1., au permis determinarea suprafețelor afectate, pe grade de defoliere (figura 10 a) De asemenea, hărțile tematice obținute, pe baza indicilor biofizici și de vegetație, determinați pe intervale de variație a valorilor pixelilor, specifice fiecărui grad de defoliere și dovediți statistic cu influență semnificativă (CWC, DVI, PVI, VREI), au permis calculul suprafețelor pe grade de defoliere stabilite în raport cu intervalele de variație ale pixelilor respectivi (figura 10 b,c,d,e).



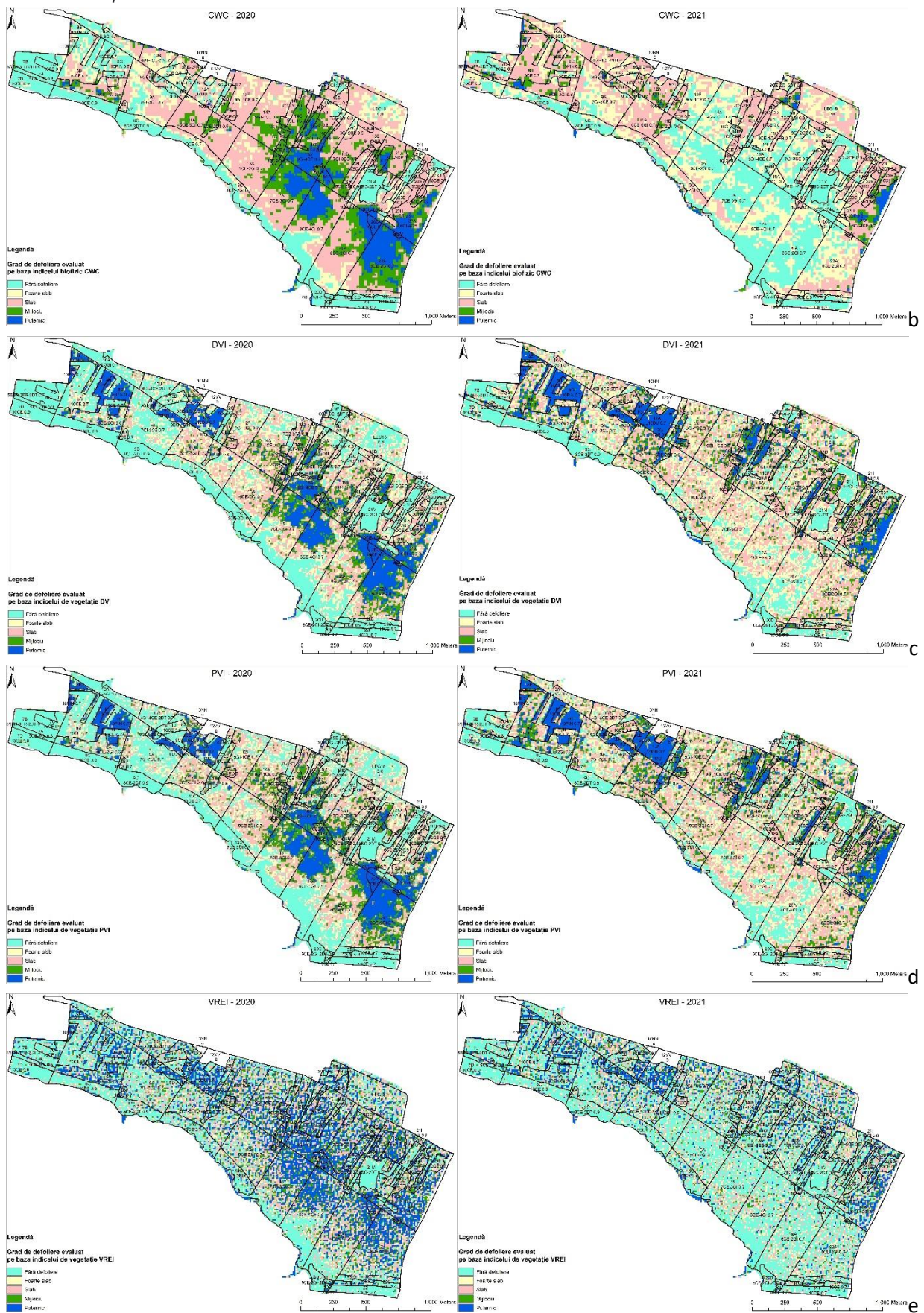


Figura 10. Hărțile tematice obținute pe baza evaluărilor de la sol și a indicilor biofizici (CWC) și de vegetație (DVI, PVI, VREI) pentru anii 2020 și 2021

Compararea vizuală a celor două tipuri de hărți tematice (observațiilor la sol și din imagini satelitare) arată că dintre toți indicii dovediți statistic ca fiind semnificativi, indicele biofizic CWC, care estimează

conţinutul de apă stocată în frunze, pe unitatea de suprafaţă, a oferit, pentru anul 2020, un rezultat al distribuţiei în spaţiu a gradelor de defoliere cel mai apropiat de rezultatul observaţiilor de la sol. Pentru anul 2021, s-a constatat că acest indice oferă aceeaşi tendinţă de apropiere faţă de harta tematică de la sol, însă mai redusă, datorită nivelului de defoliere mult mai scăzut faţă de anul precedent. Aceste diferenţe ale tendinţei, între cei doi ani, oferite de indicele CWC pot fi explicate prin subiectivismul evaluatorilor la sol ai defolierilor, care au tendinţa de a supraevalua vătămările de intensitate foarte slabă. Hărţile tematice obţinute pe baza celorlalţi indici de vegetaţie (DVI, PVI şi VREI), dovediţi ca fiind semnificativi din punct de vedere statistic, *nu surprind în aceeaşi măsură distribuţia gradelor de defoliere pe suprafaţa trupului de pădure.*

Analiza comparativă a suprafeţelor, pe grade de defoliere, stabilite pe hărţile tematice realizate în raport cu intervalele de variaţie ale pixelilor pentru indicele biofizic CWC şi indicii de vegetaţie DVI, PVI, şi VREI şi cele calculate pe hărţile tematice obţinute pe baza observaţiilor de la sol, a arătat că există diferenţe între valoarea suprafeţelor estimate în teren, pe grade de defoliere şi suprafeţele calculate pe baza indicilor, dar şi între cele obţinute pentru fiecare indice în parte (figura 11), astfel:

- suprafeţele considerate, ca fiind neafectate de defoliere, calculate în funcţie de fiecare dintre indicii studiaţi, *au fost mai mari decât cele calculate pentru datele obţinute de la sol;*
- suprafeţele considerate ca fiind afectate de defolieri foarte slabe şi slabe, calculate în funcţie de fiecare dintre indicii studiaţi, *au fost sensibil mai mici faţă de cele calculate pentru datele obţinute de la sol;*
- suprafeţele considerate ca fiind afectate de defolieri mijlocii şi puternice, calculate în funcţie de fiecare dintre indicii studiaţi, *au fost mai mari faţă de cele calculate pentru datele obţinute de la sol.*

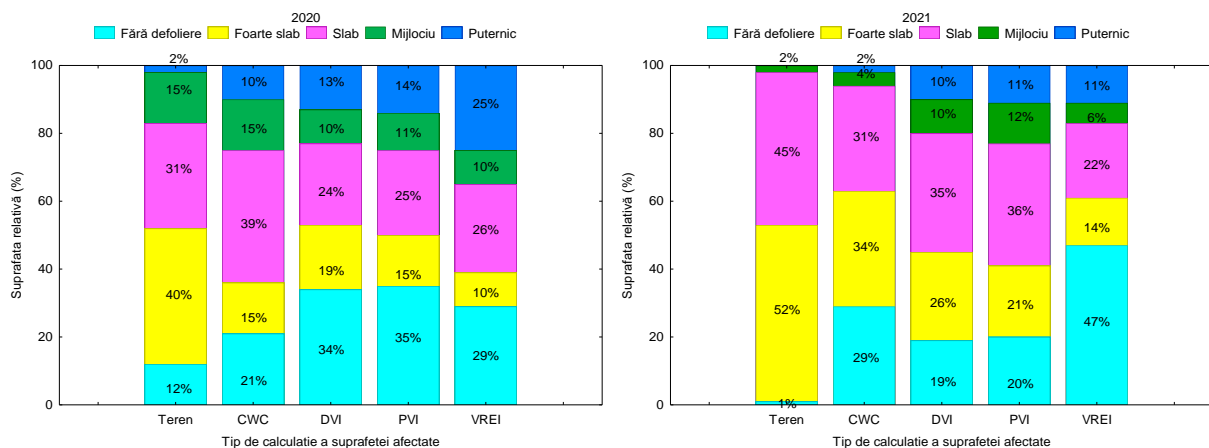


Figura 11. Variaţia comparativă a suprafeţelor relative, pe grade de defoliere, calculate, pe hărţile tematice, obţinute în funcţie de datele înregistrate de la sol şi cele obţinute pe baza indicilor (Teren, CWC, DVI, PVI, VREI)

Diferenţele în minus ale suprafeţelor estimate pe hărţile tematice de la sol, pentru zonele fără defolieri pot fi explicate în parte şi prin subiectivismul evaluatorilor de la sol ai defolierilor, care tind să încadreze arbori nedefoliaţi la arbori defoliaţi foarte slab. Totodată, diferenţele în plus, constatate la suprafeţele estimate pe hărţile tematice obţinute pe baza indicilor faţă de cele calculate pentru datele de la sol, pot fi explicate prin erorile sistematice de subevaluare a defolierilor, de către operatori, care nu pot cuprinde, întotdeauna, în câmpul vizual, partea superioară a coroanei, cea mai afectată, şi care este surprinsă mult mai bine pe imaginile digitale satelitare şi aeriene.

Analiza vizuală cât şi cea integrată bazată pe calculul suprafeţelor cuprinse în cele două tipuri de hărţi tematice arată că indicele biofizic CWC surprinde cel mai bine atât *zonele fără defoliere* cât pe cele *afectate în diferite grade de vătămare*, produsă de *Lymantria dispar*.

4.1.3. Evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar* pe baza imaginilor aeriene capturate cu drona

4.1.3.1. Evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar* pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB)

Pe imaginile aeriene preluate cu ajutorul dronei, au fost calculați mai mulți indici de vegetație (MPRI, VARI, GPI, ExG, GLI, RGBVI, TGI, MGRVI) prin algoritmi de calcul între benzile spectrale roșu, verde și albastru, în vederea întocmirii unor hărți tematice pe baza cărora se evidențiază zonele afectate de defoliere în diverse grade. Acești indici de vegetație au fost determinați cu ajutorul programului ArcGIS, pentru o parte din trupul de pădure Ciuturica, la momentul fenologic de după încetarea hrănirii omizilor de *Lymantria dispar* (ultima decadă a lunii iulie) din generațiile 2019-2020 și 2020-2021.

Pentru fiecare indice de vegetație au fost calculați principalii parametri statistici (media, abaterea standard și coeficient de variație) ai șirurilor statistice constituite cu valorile pixelilor din suprafețele de probă de 1 ha, în cele două sezoane de vegetație (2020, 2021) (tabelul 8). Totodată, prin analiza regresiei simple, s-a stabilit, pentru fiecare indice în parte, corelația dintre defolierile realizate, evaluate în teren, și valoarea medie a pixelilor din suprafețele respective.

Tabel nr. 8. Parametri statistici de bază ai indicilor de vegetație obținuți în domeniul vizibil (RGB) și corelația dintre valorile pixelilor și defolierile realizate de *Lymantria dispar* în două generații consecutive

Indice de vegetație	Parametri statistici de bază pentru anul									
	2020					2021				
	Media	Ab. Std.	Coef. de variație (%)	Coef. de corelație (r)	Nivel semnificație (p)	Media	Ab. std.	Coef. de variație (%)	Coef. de corelație (r)	Nivel semnificație (p)
MPRI	0.085	0.021	24.6	-0.647	1.1×10^{-4}	0.108	0.023	21.35	-0.622	2.5×10^{-4}
VARI	0.138	0.038	27.76	-0.648	1.1×10^{-4}	0.209	0.051	24.53	-0.633	1.7×10^{-4}
GPI	0.394	0.005	1.37	-0.308	9.8×10^{-2}	0.386	0.006	1.55	-0.355	5.4×10^{-2}
ExG	70.957	5.202	7.3	-0.083	6.6×10^{-1}	32.885	3.477	10.57	0.244	1.9×10^{-1}
GLI	0.130	0.011	8.49	-0.304	1×10^{-1}	0.113	0.012	10.9	-0.357	5.3×10^{-2}
RGBVI	-0.366	0.011	-2.93	-0.224	2.4×10^{-1}	0.228	0.024	10.32	-0.360	5.1×10^{-2}
TGI	38.094	2.905	7.63	0.138	4.7×10^{-1}	29.188	2.537	8.69	-0.293	1.1×10^{-1}
MGRVI	0.168	0.041	24.13	-0.647	1.1×10^{-4}	0.210	0.043	20.66	-0.616	2.9×10^{-4}

Din analiza informațiilor înscrise în tabelul nr. 8 reiese că toți indicii de vegetație determinați în domeniul vizibil (RGB), pentru cei doi ani cu defolieri, au coeficienți de variație mici, ceea ce înseamnă că valorile pixelilor au un grad de împrăștiere redus. De asemenea, se constată existența unei relații strânse, foarte semnificative ($p < 0.001$), între șirurile statistice (șirul valorilor pixelilor și șirul valorilor defolierilor), pentru indicii de vegetație MPRI, VARI și MGRVI, cu coeficienți corelație cu valoarea de 0.65, pentru anul 2020 și cu valori cuprinse între 0.62-0.63 pentru anul 2021.

Prin analiza varianței simple s-au calculat erorile standard și intervalul de variație față de media valorilor pixelilor din suprafețele eșantionate, pentru fiecare indice de vegetație, determinat în domeniul vizibil (RGB), pe grade de defoliere, în cei doi ani consecutivi (2020-2021) (tabelul 9).

Tabel nr. 9. Intervalul de variație a valorilor pixelilor pentru indicii de vegetație calculați în domeniul vizibil, în raport cu eroarea standard

Grad de defoliere	2020				2021				Interval de variație a valorilor pixelilor 2020-2021 ($\bar{X} - \sigma_{\bar{X}}$; $\bar{X} + \sigma_{\bar{X}}$)
	\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	$\bar{X} - \sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X} + \sigma_{\bar{X}}$ (max)	\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	$\bar{X} - \sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X} + \sigma_{\bar{X}}$ (max)	
MPRI									
fs	0.110	0.007	0.103	0.117	0.119	0.007	0.112	0.125	0.103-0.125
s	0.088	0.004	0.084	0.092	0.101	0.005	0.096	0.106	0.084-0.106
m	0.070	0.005	0.065	0.075					0.065-0.075
MGRVI									

fs	0.216	0.014	0.202	0.230	0.230	0.012	0.218	0.243	0.202-0.243
s	0.174	0.008	0.166	0.182	0.198	0.009	0.189	0.207	0.166-0.207
m	0.139	0.009	0.129	0.148					0.129-0.148
fs – foarte slab s - slab m - mijlociu									

Analiza datelor din tabelul nr. 11 cu privire la intervalul de variație a valorilor pixelilor, în cei doi ani cu defolieri, arată că indicii de vegetație VARI, GPI, ExG, GLI, RGBVI și TGI prezintă suprapuneri mai mari sau mai mici între gradele de defoliere foarte slab și slab, slab și mijlociu și, chiar între gradele de defoliere foarte slab și mijlociu. În schimb, pentru indicii de vegetație MPRI și MGRVI intervalele de variație a valorilor pixelilor în cei doi ani sunt distincte, prezentând mici suprapuneri (0.004 pentru MPRI, respectiv 0.006 pentru MGRVI) între gradele foarte slab și slab, ceea ce sugerează existența unui grad mai ridicat de stabilitate al acestor indici în evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar*, ceea ce indică faptul că *acești indici surprind cel mai bine defolierile produse de Lymantria dispar, față de ceilalți indici de vegetație din această categorie.*

4.1.3.2. Evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar* pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB), pentru arbori individuali

În vederea unei analize mai detaliate a informațiilor suplimentare oferite de imaginile cu rezoluție superioară capturate cu ajutorul dronei, în anul 2020, când nivelul defolierilor a fost mai ridicat, s-au evaluat de la sol vătămările pentru cei 70 de arbori individuali, încadrați în diverse grade de defoliere, răspândiți în cuprinsul poligonului de zbor al dronei.

Pe baza acestor imagini au fost calculați aceiași indici de vegetație, prezentați în capitolul 4.1.3.1., prin algoritmi de calcul între benzile spectrale roșu, verde și albastru (MPRI, VARI, GPI, ExG, GLI, RGBVI, TGI, MGRVI).

Pentru fiecare indice de vegetație, au fost stabiliți principalii parametri statistici (media, abaterea standard, coeficient de variație) ai șirurilor statistice constituite cu valorile pixelilor specifici suprafeței coroanei fiecărui arbore, la momentul de după defoliere precum și corelația dintre defolierile realizate, evaluate în teren, și valoarea medie a pixelilor suprafețelor coroanelor arborilor individuali. (tabelul 10).

Tabel nr. 10. Parametri statistici de bază ai indicilor de vegetație obținuți în domeniul vizibil (RGB) și corelația dintre valorile pixelilor și defolierile realizate de *Lymantria dispar* în generația 2019-2020

Indici de vegetație	Media	Ab. Std.	Coef. de variație (%)	Tipul de relație	Coef. de corelație (r)	Nivel semnificație (p)
MPRI	0.064	0.024	38.112	Def. (%)=103.47-938.1*MPRI	-0.781	1.6×10^{-15}
VARI	0.100	0.038	37.385	Def. (%)=103.20-597.5*VARI	-0.763	1.7×10^{-14}
GPI	0.391	0.013	3.356	Def. (%)=689.14-1653*GPI	-0.738	3.0×10^{-13}
ExG	74.437	18.161	24.398	Def. (%)=127.76-1.134*ExG	-0.702	1.3×10^{-11}
GLI	0.124	0.027	21.960	Def. (%)=142.03-799.2*GLI	-0.739	2.9×10^{-13}
RGBVI	-0.371	0.027	-7.206	Def. (%)=248.8-787.8*RGBVI	-0.717	2.8×10^{-12}
TGI	40.955	9.671	23.614	Def. (%)=125.7-2.011*TGI	-0.663	4.2×10^{-10}
MGRVI	0.127	0.048	37.808	Def. (%)=103.99-476.2*MGRVI	-0.781	1.6×10^{-15}

Între valorile pixelilor rezultate de la toți indicii de vegetație calculați și defolierile realizate, estimate în teren, există legături de tip liniar, cu coeficienți de corelație negativi, de intensități mijlocii (GPI, ExG, GLI, RGBVI, TGI) și puternice (MPRI, VARI, MGRVI), foarte semnificative.

Prin analiza varianței simple s-au calculat erorile standard și intervalul de variație față de media valorilor pixelilor pentru coroanele arborilor eșantionați, pentru fiecare indice de vegetație, determinat în domeniul vizibil (RGB), pe grade de defoliere, în generația 2019-2020 (tabelul 11).

Tabel nr. 11. Intervalul de variație a valorilor pixelilor pentru indicii de vegetație calculați cu ajutorul benzilor roșu, verde, albastru (RGB), în raport cu eroarea standard

Grad defoliere	\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variație		\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variație		\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variație	
			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)
	MPRI				VARI				MGRVI			
fs	0.096	0.004	0.092	0.100	0.148	0.007	0.141	0.155	0.190	0.008	0.182	0.198
s	0.078	0.004	0.074	0.083	0.122	0.007	0.115	0.129	0.156	0.009	0.147	0.164
m	0.059	0.004	0.055	0.063	0.092	0.006	0.086	0.098	0.117	0.008	0.109	0.125
p	0.053	0.004	0.049	0.057	0.084	0.006	0.078	0.090	0.106	0.007	0.098	0.113
fp	0.040	0.004	0.036	0.044	0.063	0.007	0.056	0.070	0.079	0.008	0.071	0.088

fs – foarte slab
s – slab
m – mijlociu
p – puternic
fp – foarte puternic

Analiza datelor cu privire la intervalul de variație a valorilor pixelilor arată că indicii de vegetație prezintă suprapuneri mai mari sau mai mici între gradele de defoliere. Pentru testarea semnificației diferențelor dintre gradele de defoliere s-a aplicat testul Fischer LSD (Least Significant Difference).

Analiza diferențelor de semnificație între gradele de defoliere, arată că dintre cei opt indici de vegetație testați, doar trei (MPRI, VARI, MGRVI) surprind diferențe semnificative între defolierile foarte slabe, slabe, mijlocii și foarte puternice și diferențe nesemnificative între gradele mijlociu și puternic înregistrate în anul 2020.

4.1.3.3. Evaluarea vătămarilor produse de *Lymantria dispar* pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul infraroșu apropiat (NIR)

Pe imaginile aeriene preluate cu ajutorul dronei, au fost calculați mai mulți indici de vegetație (RVI, NDVI, EVI, GCI, GNDVI, NDRE) prin algoritmi de calcul pe baza benzii infraroșu apropiat (NIR), în vederea întocmirii unor hărți tematice care permit evidențierea zonelor afectate de defoliere în diverse grade. Acești indici de vegetație au fost determinați, pe imagini capturate la momentul fenologic de după încetarea hrănirii omizilor de *Lymantria dispar* (ultima decadă a lunii iulie) din generația 2020-2021, când s-au înregistrat defolieri foarte slabe și slabe, cu procente cuprinse între 0-22%, pentru aceeași zonă de zbor survolată cu senzorul de fotografiere RGB.

Pentru fiecare indice de vegetație au fost calculați principalii parametri statistici (media, abaterea standard și coeficient de variație) ai șirurilor statistice constituite cu valorile pixelilor din suprafețele de probă de 1 ha. Totodată, prin analiza regresiei simple, s-a stabilit, pentru fiecare indice în parte, legătura dintre defolierile realizate, evaluate în teren, și valoarea medie a pixelilor din suprafețele respective (tabelul 11).

Tabel nr. 11. Parametri statistici de bază ai indicilor de vegetație obținuți în domeniul infraroșu apropiat (NIR) și corelația dintre valorile pixelilor și defolierile realizate de *Lymantria dispar* în generația 2020/2021

Indice de vegetație	Media	Ab. Std.	Coef. de variație (%)	Tipul de relație	Coef. de corelație (r)	Nivel semnificație (p)
RVI	12.738	2.188	17.179	Def. (%)=32.747-1.616*RVI	-0.724	6.2x10⁻⁶
NDVI	0.845	0.024	2.778	Def. (%)=138.13-149.1*NDVI	-0.716	8.5x10⁻⁶
EVI	0.529	0.037	6.963	Def. (%)=55.921-82.72*EVI	-0.624	2.3x10⁻⁴
GCI	7.137	0.903	12.645	Def. (%)=39.939-3.891*GCI	-0.719	7.7x10⁻⁶
GNDVI	0.776	0.022	2.842	Def. (%)=136.12-159.8*GNDVI	-0.721	7.0x10⁻⁶
NDRE	0.225	0.020	9.037	Def. (%)=52.768-180.3*NDRE	-0.751	1.7x10⁻⁶

Între valorile pixelilor rezultate de la toți indicii de vegetație calculați și defolierile realizate, estimate în teren, există legături de tip liniar, cu coeficienți de corelație negativi, de intensități mijlocii (RVI, NDVI, EVI, GCI, GNDVI) și puternice (NDRE), foarte semnificative.

Pentru a stabili intervalele de variație a pixelilor, pe grade de defoliere, prin analiza varianței simple, s-au calculat erorile standard și intervalul de variație față de medie (tabelul 12).

Tabel nr. 12. Intervalul de variație a valorilor pixelilor pentru indicii de vegetație calculați în domeniul infraroșu apropiat, în raport cu eroarea standard

Grad de defoliere	\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variație		\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variație		\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variație	
			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)
	RVI				NDVI				EVI			
fs	13.945	0.607	13.337	14.552	0.858	0.007	0.851	0.864	0.545	0.011	0.534	0.555
s	12.039	0.462	11.577	12.501	0.838	0.005	0.833	0.843	0.520	0.008	0.512	0.528
	GCI				GNDVI				NDRE			
fs	7.542	0.260	7.283	7.802	0.786	0.006	0.779	0.792	0.237	0.006	0.232	0.243
s	6.903	0.198	6.705	7.100	0.770	0.005	0.765	0.775	0.218	0.004	0.214	0.223

fs – foarte slab
s – slab

Analiza datelor din tabel cu privire la intervalul de variație a valorilor pixelilor arată că niciun indice de vegetație nu prezintă suprapuneri între gradele de defoliere. Pentru testarea semnificației diferențelor dintre gradele de defoliere s-a aplicat testul Fischer LSD (Least Significant Difference).

Analiza diferențelor de semnificație între gradele de defoliere, arată că dintre cei șase indici de vegetație testați, doar trei (RVI, NDVI, NDRE) surpind diferențe semnificative între defolierile foarte slabe și slabe înregistrate în anul 2021.

4.1.3.4. Analiza comparativă a rezultatelor evaluărilor defolierilor stabilite de la sol cu cele obținute pe baza imaginilor capturate cu drona

Pentru analizarea comparativă a rezultatelor evaluărilor de la sol și aerian, cu drona, s-a considerat oportună calcularea suprafețelor afectate, pe grade de defoliere. Pentru aceasta, s-au întocmit hărți tematice cu privire la rezultatele evaluărilor defolierilor obținute de la sol, în cei doi ani (2020 și 2021) de atac ai defoliatorului *Lymantria dispar* (figura 11).



Figura 11. Hărțile tematice obținute pe baza evaluărilor de la sol a defolierilor din anii 2020 și 2021

De asemenea, au fost întocmite hărți tematice, pe intervale de variație a valorilor pixelilor, specifice fiecărui grad de defoliere, obținute pe baza indicilor de vegetație, calculați în capitolul 4.1.3.1 și dovedite statistic ca fiind semnificativi (MPRI, MGRVI). Hărțile tematice astfel întocmite au permis calculul suprafețelor afectate, pe grade de defoliere stabilite în raport cu intervalele de variație ale pixelilor (figura 12 a,b).

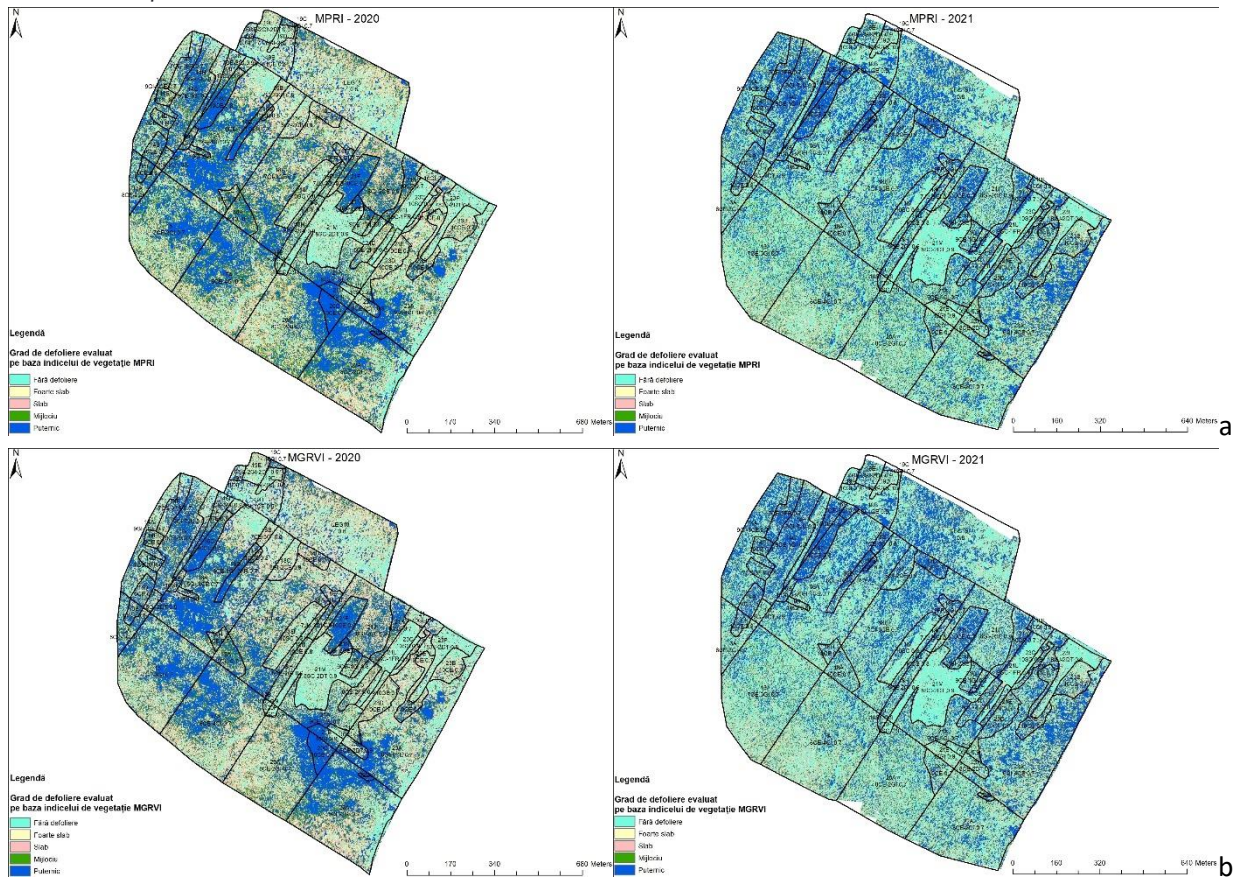


Figura 12. Hărțile tematice obținute pe baza indicilor de vegetație MPRI (a) și MGRVI (b) pentru anii 2020 și 2021

Compararea vizuală a celor două tipuri de hărți tematice (de la sol – figura 11 și din imagini aeriene capturate cu drona – figura 12 a,b) arată că cei doi indici dovediți statistic ca fiind semnificativi, exprimă tendințe ale distribuției în spațiu a gradelor de defoliare, apropiate de rezultatele evaluărilor de la sol, pentru cei doi ani.

Analiza comparativă a suprafețelor, pe grade de defoliare, calculate pe hărțile tematice realizate în raport cu intervalele de variație ale pixelilor pentru cei doi indici de vegetație și cele calculate pe hărțile tematice obținute pe baza evaluărilor de la sol, a arătat că există diferențe între valoarea suprafețelor estimate în teren, pe grade de defoliare și suprafețele calculate pe baza acestor indici (figura 13).

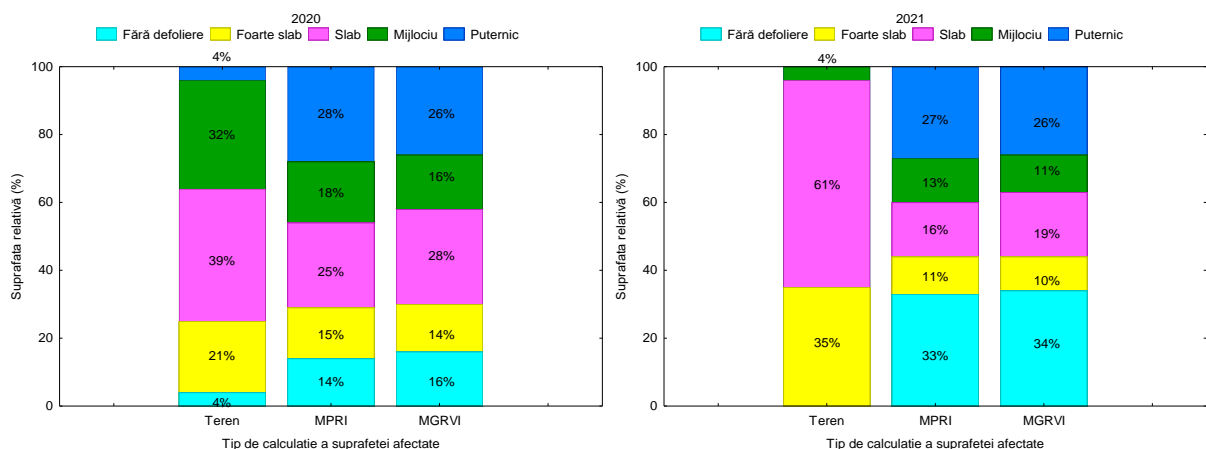


Figura 13. Variația comparativă a suprafețelor relative încadrate, pe grade de defoliare, calculate, pe hărțile tematice, obținute în funcție de datele înregistrate de la sol și cele obținute pe baza indicilor de vegetație (RGB)

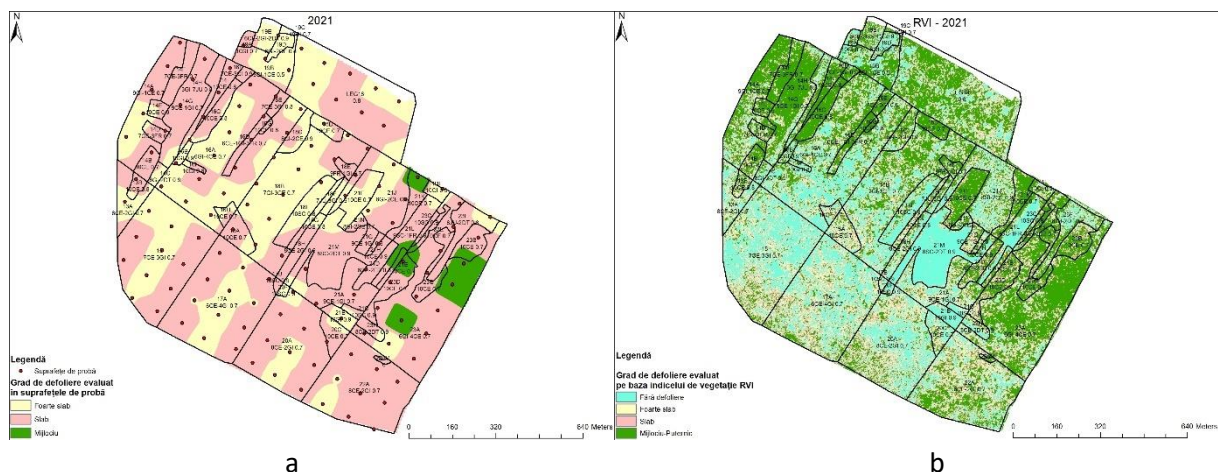
Suprafeţele considerate, ca fiind fără defoliere şi cele cu defolieri foarte slabe, au fost sensibil egale pentru toate situaţiile de calcul în fiecare dintre cei doi ani (25-30% în 2020 şi 35-45% în 2021). Aceste diferenţe se explică prin încadrarea în categoria fără defoliere a arboretelor în compoziţia cărora se găsesc specii care nu sunt gazde pentru *Lymantria dispar* (salcâm, frasin, şa) şi în care nu au fost instalate cercuri de probă.

Zonele cu defolieri mijlocii şi puternice evaluate, în anul 2020, pe baza celor doi indici de vegetaţie şi cele evaluate în teren au fost relativ apropiate (36-46%), cu o supraestimare a defolierilor mijlocii în detrimentul celor puternice, ca urmare a erorilor sistematice ce apar, inerent, la evaluările de la sol. În anul 2021, pe fondul unor defolieri, în general, mai reduse, apar diferenţe între suprafeţele evaluate de la sol şi cele calculate pe baza indicilor de vegetaţie. Aceste diferenţe se pot explica prin subiectivismul evaluatorilor de la sol, prin încadrarea, relativ explicabil, a procentului de defoliere situat la limita gradelor de vătămare şi prin apariţia erorilor sistematice de subestimare a defolierilor cu intensităţi mai mari, ca urmare a vizibilităţii reduse a părţii superioare a coroanelor. Totodată, apariţia unor suprafeţe mai mari, cu defolieri puternice, în cazul evaluărilor pe baza indicilor de vegetaţie, în ambii ani, se explică prin faptul că imaginile aeriene capturate cu drona, având o rezoluţie ridicată, surprind bine golurile din arborete, încadrându-le astfel, în mod eronat în categoria defolierilor puternice.

Analiza vizuală cât şi cea integrată a suprafeţelor delimitate pe cele două tipuri de hărţi tematice arată că *cei doi indici surprind destul de bine atât zonele fără defoliere cât pe cele încadrate în diferite grade de vătămare, produsă de Lymantria dispar.*

De asemenea, pentru anul 2021, când s-a efectuat un zbor cu drona echipată cu sensor multispectral au fost întocmite hărţi tematice, pe intervale de variaţie a valorilor pixelilor, specifice fiecărui grad de defoliere, obţinute pe baza indicilor de vegetaţie bazaţi pe banda infraroşu apropiat (NIR), calculaţi în capitolul 4.1.3.3 şi dovediţi statistic ca fiind semnificativi (RVI, NDVI, NDRE).

Hărţile tematice astfel întocmite au permis calculul suprafeţelor pe grade de defoliere stabilite în raport cu intervalele de variaţie ale pixelilor (figura 14).



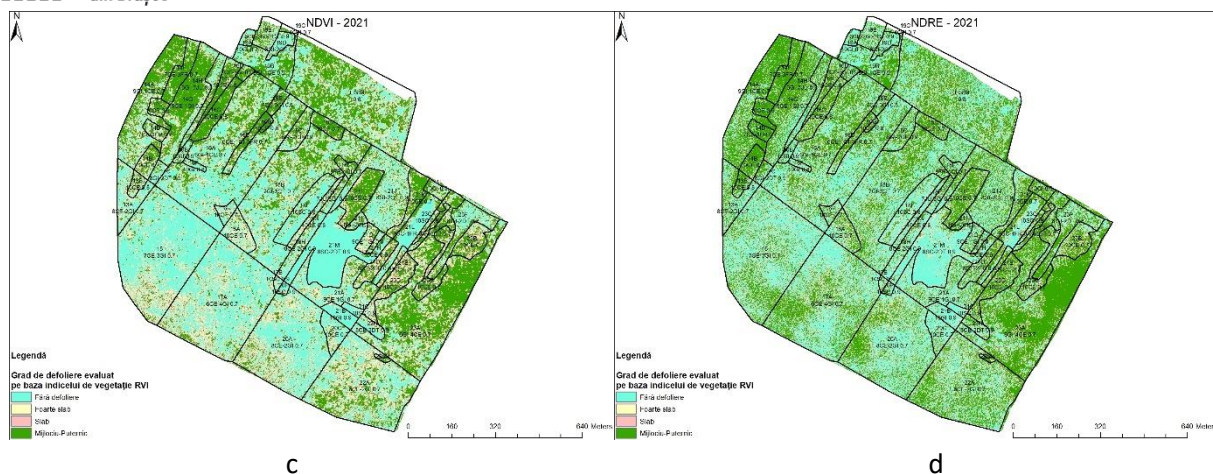


Figura 14. Hărțile tematice obținute pe baza evaluărilor de la sol (a) și a indicilor de vegetație RVI (b), NDVI (c) și NDRE (d) pentru anul 2021

Compararea vizuală a celor două tipuri de hărți tematice (de la sol – figura 14 a și din imagini aeriene capturate cu drona – figura 14 b,c,d) arată că *cei trei indici dovediți statistic ca fiind semnificativi, exprimă tendințe ale distribuției în spațiu a gradelor de defoliere, apropiate de rezultatele evaluărilor de la sol, pentru cei doi ani.*

Analiza comparativă a suprafețelor, pe grade de defoliere, delimitate pe hărțile tematice realizate în raport cu intervalele de variație ale pixelilor pentru cei trei indici de vegetație și cele delimitate pe harta tematică obținută pe baza evaluărilor de la sol, a arătat că *există diferențe între valoarea suprafețelor estimate în teren, pe grade de defoliere și suprafețele calculate pe baza acestor indici* (figura 15).

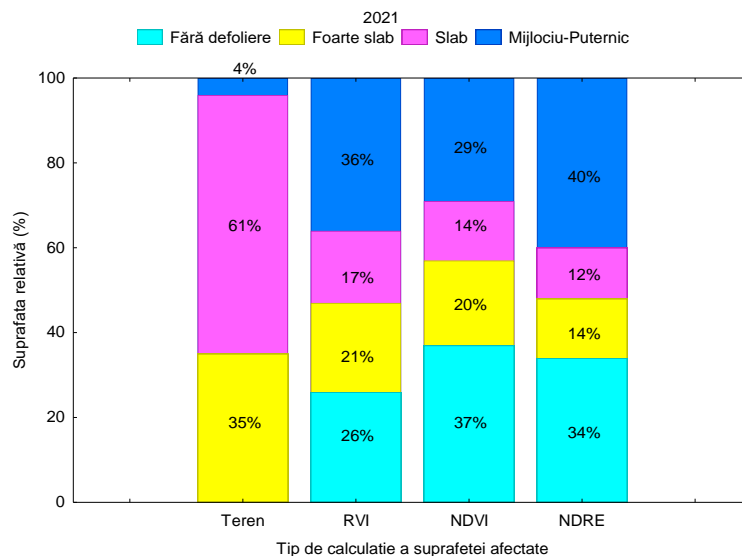


Figura 15. Variația comparativă a suprafețelor relative, pe grade de defoliere, delimitate, pe hărțile tematice, obținute în funcție de datele înregistrate de la sol și cele obținute pe baza indicilor de vegetație (NIR)

Între suprafețele considerate, ca fiind fără defoliere există diferențe destul de mari între diferitele situații de calcul, de la 0% înregistrate la sol la 37%, înregistrate pentru indicele de vegetație NDVI. Ponderea mare a suprafețelor considerate *fără defoliere*, calculate prin indici de vegetație, este explicată prin încadrarea în această categoria a arboretelor în compoziția cărora se găsesc specii care nu constituie gazdă pentru *Lymantria dispar* (salcâm, frasin, șa) și în care nu au fost instalate cercuri de probă și prin tendința evaluatorilor de la sol de a supraestima defolierile situate la limita inferioară a categoriei *foarte slab*. De altfel, analizate împreună, suprafețele delimitate cumulativ pe cele două

categorii (fără defoliere și foarte slab), variază relative puțin de la 35% în cazul evaluărilor de la sol la 57% în cazul evaluării pe baza indicelui de vegetație NDVI.

Între zonele cu defolieri mijlocii - puternice evaluate de la sol și cele identificate pe baza indicilor de vegetație apar diferențe relative mari, care se pot explica prin încadrarea relativ eronat a defolierilor, aflate la limita gradelor de vătămare, de către evaluatorii de la sol și prin apariția erorilor sistematice de subestimare a defolierilor cu intensități mai mari, ca urmare a vizibilității reduse a părții superioare a coroanelor. La acestea se mai adaugă faptul că la imaginile aeriene capturate cu drona, surprinzând mai bine golurile din arborete, există tendința de supraevaluare a suprafețelor identificate cu vătămări din categoriile superioare de defoliere (peste mijlocii).

Analiza vizuală cât și cea integrată a suprafețelor afectate, delimitate pe cele două tipuri de hărți tematice arată că *cei trei indici surprind destul de bine zonele fără defolieri sau pe cele cu defolieri slabe și au o tendință de supraestimare a suprafețelor cu defolieri din categoriile superioare de intensitate*. Totuși, dintre cei trei indici de vegetație se remarcă tendința de temperare a supraevaluării suprafețelor cu defolieri peste mijlocii a indicelui NDVI, care separă vegetația verde de fundalul strălucirii solului și este exprimat ca raport între diferența dintre benzile infraroșu apropiat și roșu și suma aceluiași benzi.

4.2. Monitorizarea și evaluarea vătămărilor (decolorărilor) produse de *Corythucha arcuata*

4.2.1. Caracteristicile vătămărilor produse de *Corythucha arcuata*

Corythucha arcuata este o specie originară din America de Nord (partea de sud a Canadei și mai multe state din SUA). Pe teritoriul României a fost observată pentru prima dată în anul 2015 în Arad, apoi în Timiș (Deta) și București (Rădac et. al., 2017). În 2016 specia a fost identificată atât în jurul municipiului București (Tomescu et. al., 2018, Chireceanu et. al., 2017), cât și în Prahova (Tomescu et. al., 2018). În condițiile din România, specia *Corythucha arcuata* dezvoltă trei generații incomplete pe an și ierneză în stadiul de adult în locuri adăpostite (Bălăcenoiu, 2022).

În cazul infestărilor puternice, dăunătorul poate provoca decolorarea prematură a frunzișului arborilor sau poate crește susceptibilitatea gazdei la diverse boli ori dăunatori. Arborii atacați, priviți de la distanță, prezintă o colorație diferențiată a frunzișului, în funcție de intensitatea atacului. Decolorarea frunzișului atacat se face progresiv, în timp, în funcție de densitatea populației dăunătorului și de numărul de generații care au acționat. Cu cât decolorarea este mai intensă cu atât densitatea populației ploșniței este mai mare și respectiv vătămarea este mai mare. Arborii negazdă pentru ploșniță prezintă un frunziș de o culoare naturală.

În trupul de pădure Ciuturica, *Corythucha arcuata*, a fost semnalată începând cu sezonul de vegetație din anul 2019, când infestările au fost foarte slabe și distribuite punctiform la lizieră sau în golurile mai mari din interiorul pădurii. În anii următori infestările au crescut atât în intensitate cât și în spațiu, ajungând ca, în anul 2021, să cuprindă întreg trupul de pădure la intensități mijlocii și chiar puternice pe alocuri.

Pe baza datelor culese cu privire la intensitatea decolorărilor realizate în anul 2021, înregistrate în rețeaua rectangulară a cercurilor de probă, s-a realizat harta tematică cu distribuția în spațiu a vătămărilor, pe grade de decolorare (figura 15).



Figura 15. Harta tematică cu distribuția în spațiu a decolorărilor produse de *Corythucha arcuata*, pe grade de intensitate, pentru generația 2021 în trupul de pădure Ciuturica

4.2.2. Evaluarea decolorărilor produse de *Corythucha arcuata* pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2

Imaginile satelitare Sentinel 2 preluate, pentru anul 2021, în data de 27 iulie, când frunzișul arborilor a fost afectat, prin decolorare, de acțiunea cumulată a adulților din generația a III-a (hibernantă), a nimfelor și adulților din generația I și a nimfelor din generația a II-a, au stat la baza determinării indicilor biofizici (LAI, FAPAR, FVC, CAB, CWC) și a unor indici de vegetație, calculați în domeniul infraroșu apropiat (NIR) (NDVI, SAVI, MSAVI, DVI, RVI, PVI, IPVI, WDV, TNDVI, GNDVI, ARVI, NDI45, MCARI, IRECI, PSSRa, NDRE, NRVI, IRVI, GVI, VREI) sau pe baza benzilor roșu, verde, albastru (RGB) (MPRI, VARI, GPI, ExG, GLI, RGBVI, TGI, MGRVI).

Pe baza fiecărui indice biofizic și de vegetație obținut, au fost stabiliți principalii parametri statistici (media, abaterea standard, coeficient de variație) ai șirurilor statistice constituite cu valorile pixelilor specifice fiecărei suprafețe de probă, precum și corelația dintre decolorările realizate, evaluate în teren, și valoarea medie a pixelilor din suprafețele studiate.

Prin analiza datelor statistice s-a constatat că:

- la majoritatea indicilor biofizici (LAI, FAPAR, FVC, CAB), coeficienții de corelație dintre valorile medii ale pixelilor și intensitatea medie a decolorărilor evaluate la sol, indică lipsa unor legături, cu excepția indicelui CWC, pentru care există o legătură slabă ($r=-0.228$, $p=0.058$);
- pentru toți indicii de vegetație calculați în domeniul infraroșu apropiat (NIR), coeficienții de corelație dintre valorile medii ale pixelilor și intensitatea medie a decolorărilor evaluate la sol au valori foarte mici (sunt ne semnificative), indicând lipsa unor legături între valorile medii ale pixelilor și intensitatea medie a decolorărilor evaluate la sol;
- la majoritatea indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB), coeficienții de corelație dintre valorile medii ale pixelilor și intensitatea medie a decolorărilor evaluate la sol, indică existența unor legături slabe ($r<0.5$), cu excepția indicelui TGI, pentru care nu există nici o legătură corelativă ($r=-0.171$).

Lipsa unor legături mai puternice între valorile medii ale pixelilor și intensitatea medie a decolorărilor evaluate la sol, pentru toți indicii testați, poate fi explicată prin rezoluțiile relativ scăzute ale imaginilor satelitare Sentinel 2 (100 m²/pixel) și decolorările relativ uniforme distribuite în cuprinsul trupului de pădure, care nu permit diferențierea intensităților vătămarilor pe baza indicilor biofizici și de vegetație determinați pe imaginile satelitare.

4.2.3. Evaluarea decolorărilor produse de *Corythucha arcuata* pe baza imaginilor capurate cu drona

4.2.3.1. Evaluarea decolorărilor produse de *Corythucha arcuata* pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB)

În vederea întocmirii unor hărți tematice pe baza cărora să se evidențieze zonele afectate de decolorare în diverse grade de vătămare, pentru imaginile aeriene preluate cu ajutorul dronei, în domeniul vizibil (RGB), au fost calculați mai mulți indici de vegetație (MPRI, VARI, GPI, ExG, GLI, RGBVI, TGI, MGRVI).

Pentru fiecare indice de vegetație au fost calculați principalii parametri statistici (media, abaterea standard și coeficient de variație) ai șirurilor statistice constituite cu valorile pixelilor din suprafețele de probă de un ha. Totodată, prin analiza regresiei simple, s-a stabilit, pentru fiecare indice în parte, corelația dintre defolierile realizate, evaluate în teren, și valoarea medie a pixelilor din suprafețele respective (tabelul 13).

Tabel nr. 13. Parametrii statistici de bază ai indicilor de vegetație obținuți în domeniul vizibil (RGB) și corelația dintre valorile pixelilor și decolorările realizate de *Corythucha arcuata*, în anul 2021

Indici de vegetație	Indici RGB					
	Media	Ab. Std.	Coef. var. (%)	Tipul de relație	Coef. de corelație (r)	Semnificația (p)
MPRI	0.108	0.023	21.363	Dec. (%)=41.45-165*MPRI	-0.738	3.3x10⁻⁶
VARI	0.209	0.051	24.530	Dec. (%)=39.525-75.88*VARI	-0.756	1.4x10⁻⁶
GPI	0.386	0.006	1.550	Dec. (%)=152.53-334*GPI	-0.388	3.4x10 ⁻²
ExG	32.885	3.477	10.574	Dec. (%)=6.405-52.49*ExG	0.355	5.5x10 ⁻²
GLI	0.113	0.012	10.901	Dec. (%)=42.166-163.6*GLI	-0.392	3.2x10 ⁻²
RGBVI	0.228	0.024	10.326	Dec. (%)=43.436-86.76*RGBVI	-0.397	3x10 ⁻²
TGI	29.188	2.537	8.691	Dec. (%)=41.603-0.615*TGI	-0.303	1x10 ⁻¹
MGRVI	0.210	0.043	20.663	Dec. (%)=42.061-87.68*MGRVI	-0.738	3.2x10⁻⁶

Între valorile pixelilor rezultate pentru toți indicii de vegetație calculați și decolorările realizate, estimate în teren, există legături de tip linear, cu coeficienți de corelație negativi, de intensități mijlocii și puternice (MPRI, VARI, MGRVI), foarte semnificative și de intensități slabe (GPI, GLI, RGBVI, TGI), ne semnificative, cu excepția indicelui de vegetație ExG, pentru care coeficientul de corelație este pozitiv, ne semnificativ.

Pentru a stabili intervalele de variație a pixelilor, pe grade de decolorare, prin analiza varianței simple, s-au calculat erorile standard și intervalul de variație a valorilor pixelilor față de medie (tabelul 14).

Tabel nr. 14. Intervalul de variație a valorilor pixelilor pentru indicii de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB), în raport cu eroarea standard

Grad decolorare	\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variație		\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variație		\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variație	
			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)
	MPRI				VARI				GPI			
s	0.118	0.005	0.113	0.122	0.231	0.010	0.221	0.242	0.388	0.001	0.386	0.389
m	0.093	0.006	0.087	0.099	0.176	0.013	0.163	0.188	0.383	0.002	0.382	0.385
	ExG				GLI				RGBVI			
s	32.223	0.810	31.412	33.033	0.117	0.003	0.114	0.119	0.235	0.005	0.229	0.240
m	33.879	0.992	32.887	34.872	0.108	0.003	0.105	0.111	0.218	0.007	0.212	0.224
	TGI				MGRVI				s – slab m – mijlociu			
s	29.577	0.597	28.980	30.174	0.229	0.009	0.220	0.238				
m	28.605	0.732	27.873	29.336	0.181	0.011	0.171	0.192				

Analiza datelor cu privire la intervalul de variație a valorilor pixelilor arată că indicii de vegetație prezintă suprapuneri mai mari sau mai mici între gradele de decolorare. Pentru testarea semnificației diferențelor dintre gradele de defoliere s-a aplicat testul Fischer LSD (Least Significant Difference).

Analiza diferenţelor de semnificaţie între gradele de decolorare, arată că dintre cei opt indici de vegetaţie testaţi, doar trei (MPRI, VARI, MGRVI) surprind diferenţe semnificative între decolorările slabe şi mijlocii înregistrate în anul 2021.

4.2.3.2. Evaluarea decolorărilor produse de *Corythucha arcuata* pe baza indicilor de vegetaţie calculaţi în domeniul infraroşu apropiat (NIR)

Pentru imaginile aeriene preluate cu ajutorul dronei, în domeniul infraroşu apropiat (NIR), în vederea întocmirii unor hărţi tematice pe baza cărora să se evidenţieze zonele afectate de decolorare în diverse grade, au fost calculaţi o serie de indici de vegetaţie (RVI, NDVI, EVI, GCI, GNDVI, NDRE).

Pentru fiecare indice de vegetaţie au fost calculaţi principalii parametri statistici (media, abaterea standard şi coeficient de variaţie) ai şirurilor statistice constituite cu valorile pixelilor din suprafeţele de probă de 1 ha. Prin analiza regresiei simple, s-a stabilit, pentru fiecare indice în parte, corelaţia dintre defolierile realizate, evaluate în teren, şi valoarea medie a pixelilor din suprafeţele respective (tabelul 15).

Tabel nr. 15. Parametrii statistici de bază ai indicilor de vegetaţie obţinuţi în domeniul infraroşu apropiat (NIR) şi corelaţia dintre valorile pixelilor şi decolorările realizate de *Corythucha arcuata*, în anul 2021

Indici de vegetaţie	Indici NIR					
	Media	Ab. Std.	Coef. var. (%)	Tipul de relaţie	Coef. de corelaţie (r)	Semnificaţia (p)
RVI	12.738	2.188	17.179	Dec. (%)=46.648-1.804*RVI	-0.767	7.7x10⁻⁷
NDVI	0.845	0.024	2.779	Dec. (%)=170.08-173.3*NDVI	-0.790	2.1x10⁻⁷
EVI	0.529	0.037	6.963	Dec. (%)=67.246-82.39*EVI	-0.589	6.1x10⁻⁴
GCI	7.137	0.903	12.645	Dec. (%)=53.857-4.23*GCI	-0.742	2.8x10⁻⁶
GNDVI	0.776	0.022	2.842	Dec. (%)=157.4-172.4*GNDVI	-0.738	3.2x10⁻⁶
NDRE	0.225	0.020	9.037	Dec. (%)=61.441-167.7*NDRE	-0.663	6.5x10⁻⁵

Între valorile pixelilor rezultate pentru toţi indicii de vegetaţie calculaţi şi decolorările reale, estimate în teren există legături de tip liniar, cu coeficienţi de corelaţie negativi, de intensităţi puternice (RVI, NDVI) şi mijlocii (EVI, GCI, GNDVI, NDRE), foarte semnificative.

Prin analiza varianţei simple, s-au calculat mediile şi erorile standard a valorilor pixelilor, în vederea stabilirii intervalelor de variaţie a pixelilor, pe grade de decolorare (tabelul 16).

Tabel nr. 16. Intervalul de variaţie a valorilor pixelilor pentru indicii de vegetaţie calculaţi în domeniul infraroşu apropiat (NIR), în raport cu eroarea standard

Grad decolorare	\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variaţie		\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variaţie		\bar{X}	$\sigma_{\bar{X}}$	Interval de variaţie	
			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)			$\bar{X}-\sigma_{\bar{X}}$ (min)	$\bar{X}+\sigma_{\bar{X}}$ (max)
	RVI				NDVI				GCI			
s	13.537	0.467	13.070	14.005	0.855	0.005	0.850	0.860	7.471	0.192	7.279	7.663
m	11.539	0.573	10.966	12.111	0.830	0.006	0.824	0.836	6.637	0.235	6.402	6.872
	GNDVI				NDRE				s – slab m – mijlociu			
s	0.784	0.005	0.780	0.789	0.233	0.004	0.228	0.237				
m	0.763	0.006	0.757	0.769	0.214	0.005	0.209	0.220				

Analiza datelor din tabelul nr. 20 cu privire la intervalul de variaţie a valorilor pixelilor arată că toţi indicii de vegetaţie, cu excepţia EVI nu prezintă suprapuneri între gradele de decolorare. Pentru testarea semnificaţiei diferenţelor dintre gradele de decolorare s-a aplicat testul Fischer LSD (Least Significant Difference).

Analiza diferenţelor de semnificaţie între gradele de decolorare, arată că dintre cei şase indici de vegetaţie testaţi, *cinci* (RVI, NDVI, GCI, GNDVI, NDRE) surprind diferenţe semnificative între decolorările slabe şi mijlocii înregistrate în anul 2021.

4.2.3.3. Analiza comparativă a rezultatelor evaluărilor decolorărilor stabilite de la sol cu cele obținute pe baza imaginilor capturate cu drona

Compararea vizuală a hărților tematice obținute pe baza indicilor de vegetație, calculați în domeniul vizibil (RGB), pe intervale de variație a valorilor pixelilor, specifice fiecărui grad de decolorare, cu harta tematică a decolorărilor evaluate de la sol, arată că între cei trei indici de vegetație (MPRI, VARI, MGRVI) nu există diferențe evidente, dar se observă, pentru toți indicii de vegetație, o *tendință de supraevaluare a distribuției în spațiu a gradelor superioare de vătămare* (figura 16).

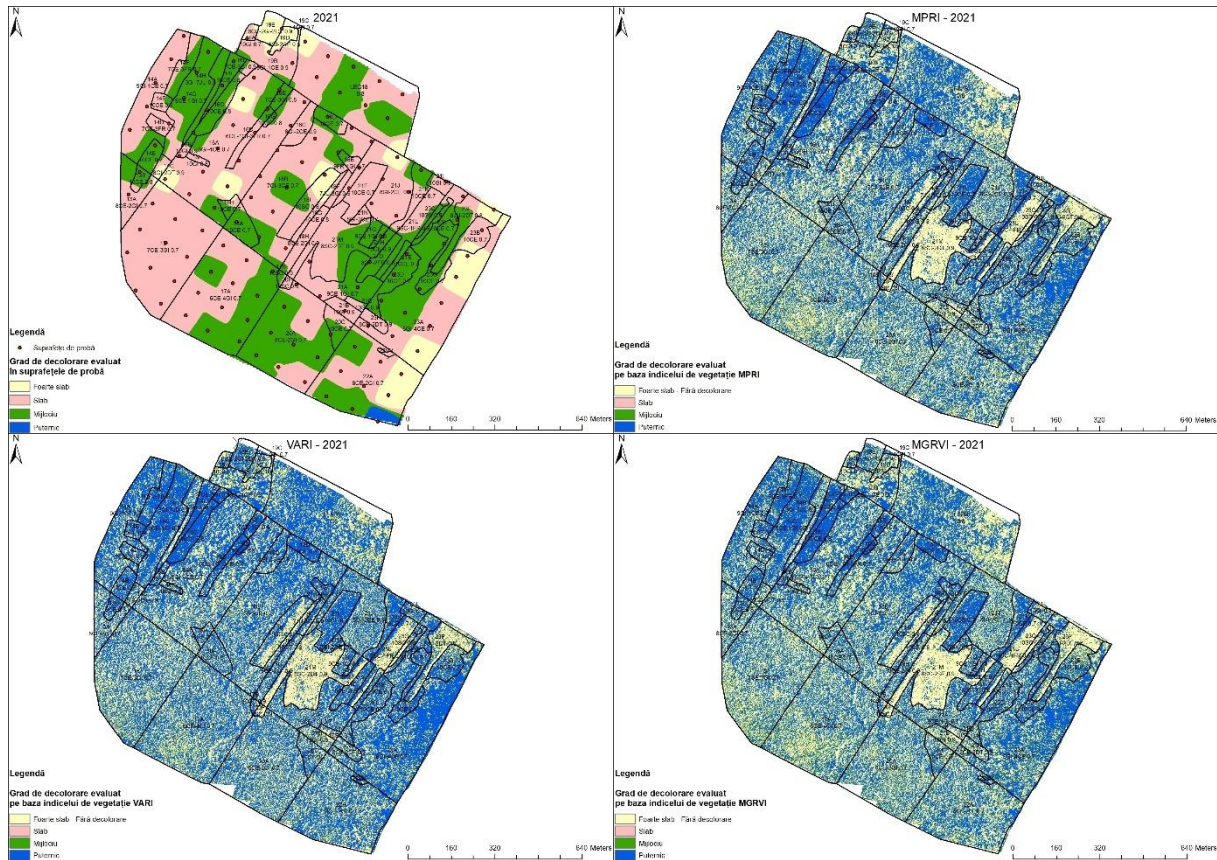
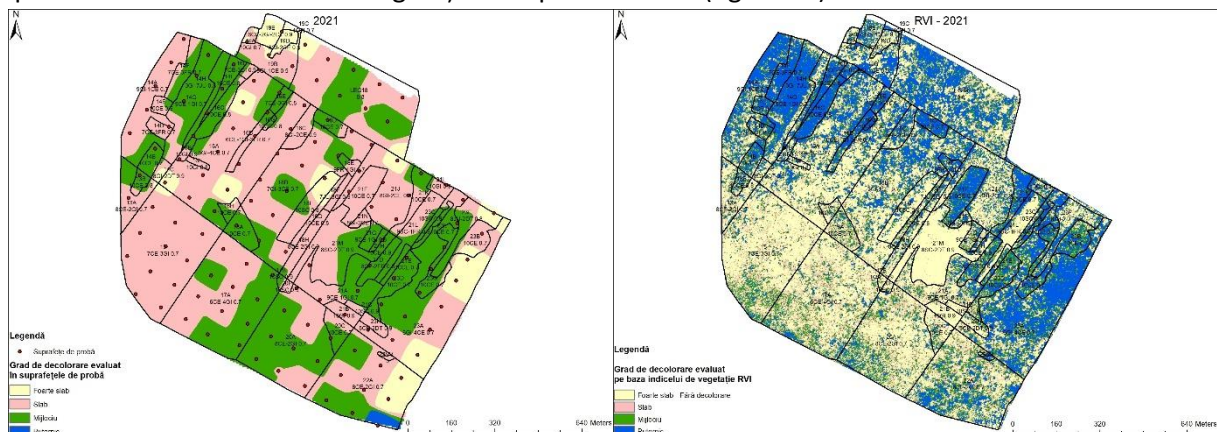


Figura 16. Hărțile tematice obținute pe baza evaluărilor de la sol și a indicilor de vegetație MPRI, VARI și MGRVI pentru anul 2021

Același tip de analiză vizuală comparativă a hărților tematice obținute pe baza indicilor de vegetație, calculați în domeniul vizibil infraroșu apropiat (NIR), pe intervale de variație a valorilor pixelilor, specifice fiecărui grad de decolorare, cu harta tematică a decolorărilor evaluate de la sol, arată aceeași tendință de supraevaluare a distribuției în spațiu a gradelor superioare de vătămare, dar ușor mai estompată în raport cu cea dată de indicii de vegetație din spectrul vizibil (figura 17).



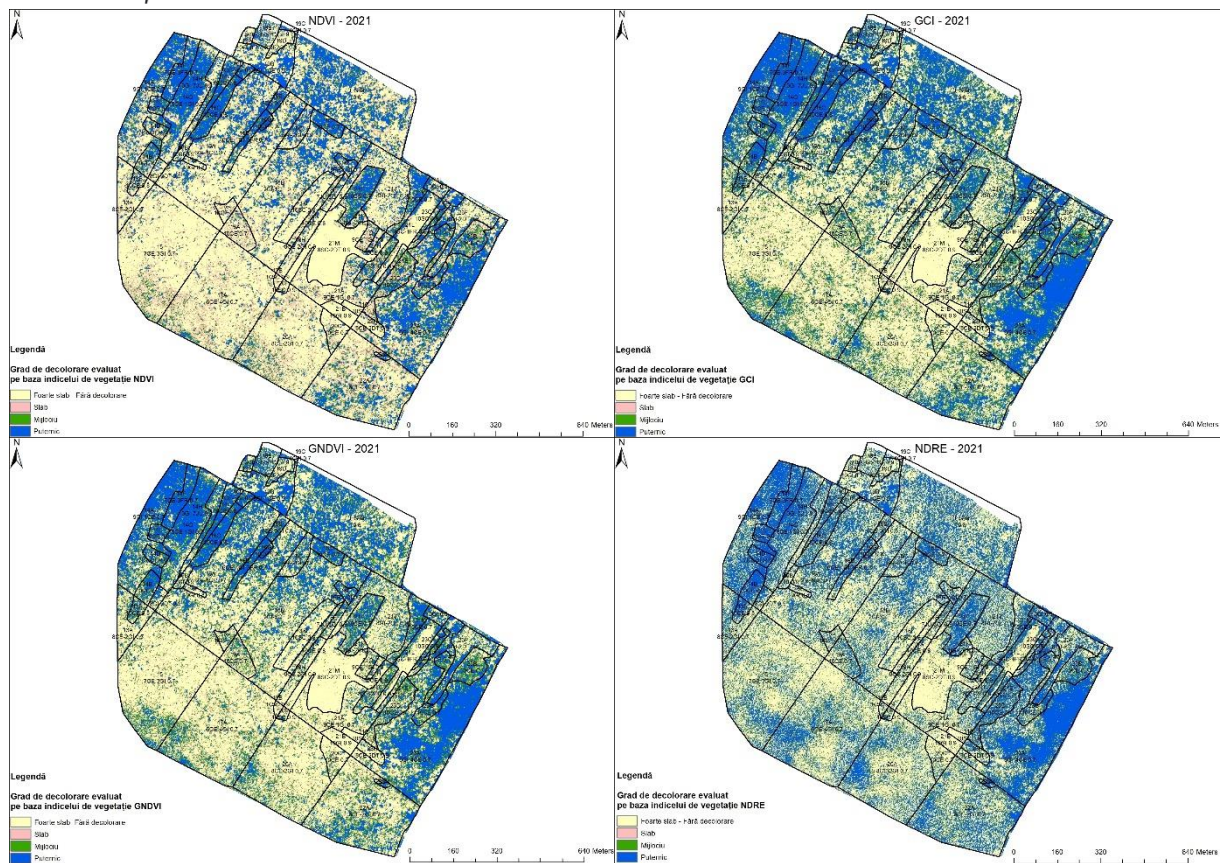


Figura 17. Hărțile tematice obținute pe baza evaluărilor de la sol și a indicilor de vegetație RVI, NDVI, GCI, GNDVI și NDRE pentru anul 2021

Pentru o analiză comparativă mai aprofundată, pe baza hărților tematice, s-au calculat suprafețele relative afectate pe grade de decolorare, atât pentru indicii calculați în spectrul vizibil (RGB) și infraroșu apropiat (NIR), cât și pentru evaluările de la sol (figura 18).

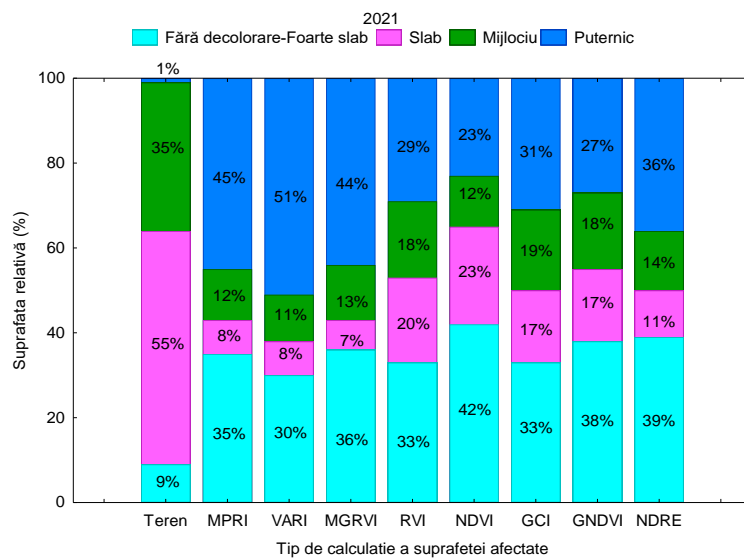


Figura 18. Variația comparativă a suprafețelor relative, pe grade de defoliere, calculate, pe hărțile tematice, obținute în funcție de datele înregistrate de la sol și cele obținute pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (MPRI, VARI, MGRVI) și infraroșu apropiat (RVI, NDVI, GCI, GNDVI, NDRE)

Suprafețele considerate, ca fiind fără decolorare și cele cu decolorări foarte slabe, au fost sensibil egale, delimitate pe baza indicilor de vegetație din domeniul vizibil (30-36%) și infraroșu apropiat (33-42%). Între suprafețele evaluate pe baza indicilor de vegetație și cele evaluate de la sol există deferențe care

se explică prin subiectivismul, relativ manifestat, al operatorilor de la sol, la încadrarea în gradul de decolorare slabă a vătămărilor foarte slabe.

Ponderile suprafețelor evaluate cu decolorări slabe și mijlocii pentru indicii de vegetație din domeniul RGB (19-20%) sunt *inferioare celor obținute pentru indicii de vegetație din domeniul infraroșu apropiat (NIR) (25-38%), dar subestimate față de suprafețele evaluate pe baza observațiilor de la sol.*

Suprafețele cu decolorări puternice evaluate, pe baza indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (44-51%) sunt mai mari față de cele evaluate pentru indicii de vegetație determinați în domeniul infraroșu apropiat (23-36%). Între suprafețele evaluate atât pe baza indicilor de vegetație determinați în spectrul RGB cât și a celor determinați în spectrul infraroșu apropiat și cele evaluate de la sol (1%) există deferențe foarte mari care pot fi explicate prin erorile sistematice de subestimare a decolorărilor cu intensități mai mari, ca urmare a vizibilității reduse a părții superioare a coroanelor și prin faptul că imaginile aeriene capturate cu drona, au o rezoluție ridicată și surprind bine golurile din arborete, încadrându-le astfel, eronat în categoria gradelor superioare de decolorare.

Dintre toți indicii de vegetație calculați, atât în domeniul vizibil (RGB) cât și în infraroșu apropiat (NIR), indicele de vegetație NDVI, caracterizat de un coeficient de corelație, $r=-0.790$, foarte semnificativ, $p=2.1 \times 10^{-7}$ și o capacitate de discriminare foarte bună între gradele de vătămare tabel cap 4.2.3.1., prezintă o tendință de reducere a supraevaluării suprafețelor din categoriile superioare de decolorare, ceea ce indică faptul că *acest indice este cel mai indicat să fie utilizat în evaluarea suprafețelor afectate de vătămări de tipul decolorărilor produse de *Corythucha arcuata*.*

5. CONCLUZII. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR

5.1. CONCLUZII

Rezultatele obținute pe baza prelucrării informațiilor și analizei acestora, cu ocazia cercetărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat intitulată „*Monitorizarea și evaluarea stării fitosanitare a pădurilor prin utilizarea unor tehnici ale teledetecției*” au condus la formularea următoarelor concluzii:

- **Cu privire la caracteristicile cantitative și calitative ale populațiilor de *Lymantria dispar* și *Corythucha arcuata* și a vătămărilor produse de acestea:**
 - În perioada 2018-2022, s-a surprins faptul că defoliatorul *Lymantria dispar* a dezvoltat o gradație de tip eruptiv, generația 2018-2019 trecând prin faza incipientă, generația 2019-2020 prin infestări slabe, mijlocii și puternice, distribuite neuniform, generația 2020-2021 prin faza de erupție, iar generația 2021-2022 prin faza de criză.
 - Insecta sugătoare *Corythucha arcuata*, semnalată începând cu sezonul de vegetație al anului 2019, ca urmare a atacurilor produse de adulții și nimfele acestei insecte, decolorarea frunzișului a crescut treptat de la foarte slab în sezonul de vegetație 2019 la mijlociu și puternic în sezonul de vegetație din anul 2021.
- **Cu privire la evaluarea vătămărilor pe baza imaginilor satelitare prin utilizarea indicilor biofizici și de vegetație calculați pentru domeniul vizibil (RGB) și infraroșu (IR)**
 - Prin cercetările efectuate s-a evidențiat clar existența unor corelații strânse, foarte semnificative, de tip liniar descrescător (negativ) între valorile pixelilor celor cinci *indici biofizici* (LAI, FAPAR, FVC, CAB, CWC), determinați pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2 preluate pentru anii 2020 și 2021, la momentul fenologic de încetare a hrănirii larvelor de *Lymantria dispar*, și intensitățile defolierilor înregistrate de la sol. Dintre acești indici, indicele biofizic *Canopy Water Content* (CWC), este considerat cel mai potrivit pentru evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar*.

- Între valorile pixelilor celor 19 *indici de vegetație*, determinați, în domeniul *infraroșu apropiat (NIR)*, pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2 și intensitățile defolierilor înregistrate la sol. Cei mai indicați pentru evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar* sunt indicii *Diference Vegetation Index (DVI)*, *Perpendicular Vegetation Index (PVI)* și *Vogelmann Red Edge Index (VREI)*, ei prezentând o legătură corelativă de intensitate medie în raport cu intensitățile defolierilor înregistrate la sol și ale căror intervale de variație a valorilor pixelilor, pe grade de vătămare, suprapunându-se în foarte mica măsură și ne semnificativ.
- Între intensitățile defolierilor înregistrate la sol și cei 8 *indici de vegetație* determinați în domeniul *vizibil (RGB)*, pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2, s-au înregistrat legături slab semnificative (MPRI, VARI, GPI, GLI, MGRVI) sau nu există legături (ExG, RGBVI, TGI). Toți acești indici de vegetație, înregistrând suprapuneri între intervalele de variație a pixelilor, pe grade de vătămare, indică faptul că aceștia nu pot fi utilizați pentru evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar*.
- În urma analizei hărților tematice obținute pe baza intervalelor de variație a pixelilor pentru *indicele biofizic CWC* și *indicii de vegetație DVI, PVI și VREI*, evidențiați ca fiind cei mai potriviți pentru evaluarea prin metode indirecte a defolierilor pe imagini digitale aeriene, s-a constatat că atât indicele biofizic CWC, cât și indicii de vegetație DVI, PVI și VREI au tendința de a supraestima zonele din pădure neafectate de defolieri, de a subestima ușor pe cele afectate de defolieri foarte slabe și slabe și de a supraestima suprafețele afectate de defolieri mijlocii și puternice. Atât analiza vizuală cât și cea bazată pe calculul suprafețelor cuprinse în cele două tipuri de hărți tematice arată că indicele biofizic CWC surprinde cel mai bine atât *zonele neafectate de defoliere* cât pe cele *afectate în diferite grade de vătămare*, produsă de *Lymantria dispar*.
- Între indicii biofizici și de vegetație, determinați atât în domeniul *infraroșu apropiat (NIR)* cât și în domeniul *vizibil (RGB)*, pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2 și intensitățile decolorărilor înregistrate la sol, nu există legături semnificative sau acestea sunt foarte slabe, ceea ce indică faptul că aceștia nu pot fi utilizați pentru evaluarea vătămarilor produse de *Corythucha arcuata*.
- **Cu privire la evaluarea vătămarilor pe baza imaginilor capturate cu ajutorul dronei prin utilizarea indicilor de vegetație calculați în domeniul vizibil (RGB) și infraroșu (IR):**
 - Dintre cei opt *indici de vegetație* (MPRI, VARI, GPI, ExG, GLI, RGBVI, TGI, MGRVI), calculați în domeniul vizibil (RGB), utilizând imagini capturate cu drona doar trei (MPRI, VARI, MGRVI) dintre aceștia sunt semnificativ corelați, intervalele de variație ale pixelilor determinate pentru fiecare, prezentând suprapuneri mai mari între gradele de defoliere foarte slab și slab afectat, în cazul indicelui de vegetație VARI și mai mici pentru MPRI și MGRVI, fapt ce îi recomandă să fie utilizați pentru evaluarea vătămarilor produse de *Lymantria dispar*.
 - Având în vedere rezoluția superioară oferită de *imaginile capturate cu drona*, din cei opt *indici de vegetație* calculați în domeniul vizibil doar trei (MPRI, VARI, MGRVI) surprind diferențe semnificative între defolierile foarte slabe, slabe, mijlocii și foarte puternice și diferențe ne semnificative între gradele mijlociu și puternic, fapt ce confirmă capacitatea indicilor de vegetație MPRI și MGRVI de a surprinde diferențele între diversele grade de vătămare.
 - Între *indicii de vegetație* (RVI, NDVI, EVI, GCI, GNDVI, NDRE), calculați în domeniul *infraroșu apropiat (NIR)*, utilizând *imagini capturate cu drona* și intensitățile defolierilor înregistrate de la sol există legături de tip liniar, cu coeficienți de corelație negativi. Dintre aceștia, doar trei (RVI, NDVI, NDRE) surprind diferențe semnificative între defolierile foarte slabe și slabe, fapt ce indică posibilitatea utilizării acestora la evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar*.
 - Analiza comparativă a suprafețelor, pe grade de defoliere, calculate pe hărțile tematice realizate în raport cu intervalele de variație ale pixelilor pentru cei doi indici de vegetație (MPRI și MGRVI)

calculaţi în domeniul vizibil (RGB) şi cele calculate pe hărţile tematice obţinute pe baza evaluărilor la sol, evidenţiază suprafeţele neafectate de defolier şi pe cele cu defolieri foarte slabe ca fiind sensibil egale. Suprafeţele afectate de defolieri mijlocii şi puternice au fost apropiate, cu o supraestimare a defolierilor mijlocii în detrimentul celor puternice, explicată prin erorile sistematice de subestimare a defolierilor cu intensităţi mari, evaluate de la sol, ca urmare a vizibilităţii reduse a părţii superioare a coroanelor.

- Prin analiza efectuată pentru cei *trei indici de vegetaţie* (RVI, NDVI, NDRE) calculaţi în *domeniul infraroşu apropiat* (NIR) s-a evidenţiat că toţi surprind destul de bine zonele fără defolieri sau pe cele cu defolieri slabe şi au o tendinţă de supraestimare a suprafeţelor cu defolieri din categoriile superioare de intensitate. Dintre cei trei indici de vegetaţie, indicele NDVI, ca urmare a tendinţei de atenuare a supraevaluării suprafeţelor cu defolieri mai mari decât gradul de vătămare mijlociu, este indicat pentru evaluarea defolierilor produse de *Lymantria dispar*;
- În ceea ce priveşte *indicii de vegetaţie* (MPRI, VARI, GPI, ExG, GLI, RGBVI, TGI, MGRVI), calculaţi în domeniul vizibil (RGB), utilizând *imagini capturate cu drona*, doar pentru trei dintre aceştia (MPRI, VARI, MGRVI) există legături foarte semnificative, de intensitate puternică, între valorile pixelilor şi intensităţile decolorărilor înregistrate la sol. Totodată, aceştia surprind diferenţe semnificative între gradele de decolorare, fapt ce indică posibilitatea utilizării acestora la evaluarea vătămarilor produse de *Corythucha arcuata*;
- *Indicii de vegetaţie* (RVI, NDVI, EVI, GCI, GNDVI, NDRE), calculaţi în *domeniul infraroşu apropiat* (NIR), utilizând imagini capturate cu drona, prezintă legături foarte semnificative, de intensitate puternică, între valorile pixelilor şi intensităţile decolorărilor înregistrate la sol. Dintre aceştia, doar unul (EVI) nu surprinde diferenţe semnificative între gradele de decolorare, fapt ce indică posibilitatea utilizării celorlalţi cinci indici la evaluarea vătămarilor produse de *Corythucha arcuata*. De asemenea, analiza suprafeţelor, pe grade de decolorare, calculate pe hărţile tematice realizate în raport cu intervalele de variaţie ale valorilor pixelilor pentru indicii de vegetaţie determinaţi în domeniul vizibil (RGB) şi infraroşu (NIR) şi cele calculate pe hărţile tematice obţinute pe baza evaluărilor la sol, evidenţiază că toţi indicii de vegetaţie, dovediţi semnificativi, supraestimează decolorările din gradele superioare de vătămare, mai puţin indicele de vegetaţie NDVI pentru care supraestimarea este mai redusă, recomandându-l cel mai potrivit pentru evaluarea decolorărilor produse de *Corythucha arcuata*.

5.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE

Pornind de la concluziile desprinse, pe baza rezultatelor obținute cu ocazia cercetărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat, se pot formula câteva contribuții personale cu caracter de originalitate, după cum urmează:

- Dezvoltarea în premieră a unui sistem nou, modern, de monitorizare și evaluare a acțiunii unor agenți biotici vătămători asupra pădurilor, pe baza imaginilor satelitare și/sau capturate cu drona echipată cu senzori de fotografiere multispectrali (RGB, NIR), complementar activităților specifice efectuate la sol.
- Abordarea și fundamentarea științifică a unor aspecte metodologice specifice teledetecției pasive, bazate pe imagini satelitare și/sau capturate cu drone cu privire la evaluarea vătămărilor produse de insecte defoliatoare și sugătoare.
- Utilizarea programelor specializate *ArcGIS* și *SNAP* și a funcțiilor acestora la monitorizarea și evaluarea stării fitosanitare a pădurilor pe baza imaginilor digitale satelitare și aeriene, acestea oferind posibilitatea determinării indicilor biofizici și de vegetație și calculul suprafețelor afectate, pe grade de vătămare, pe baza hărților tematice.
- Dezvoltarea unei modalități de calcul a suprafețelor afectate, pe grade de vătămare, prin utilizarea hărților tematice obținute pe baza vătămărilor evaluate la sol, creându-se astfel posibilitatea comparării acestora cu cele obținute prin tehnici ale teledetecției, permițându-se surprinderea erorilor de estimare a operatorilor la sol și a erorilor sistematice apărute ca urmare a lipsei vizibilității părții superioare a coroanelor arborilor.
- Fundamentarea stabilirii indicelui biofizic, determinat pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2, acesta fiind cel mai indicat pentru evaluarea vătămărilor produse de insecte defoliatoare și a intervalelor de variație a valorilor pixelilor pe grade de defoliere.
- Fundamentarea stabilirii indicilor de vegetație calculați în domeniul infraroșu apropiat (NIR), pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2, aceștia dovedindu-se cei mai indicați pentru evaluarea vătămărilor produse de insecte defoliatoare și a intervalelor de variație a valorilor pixelilor pe grade de defoliere.
- Testarea capacității indicilor de vegetație calculați, în domeniul vizibil (RGB), pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2, pentru surprinderea vătămărilor produse de insecte defoliatoare.
- Testarea capacității indicilor biofizici și de vegetație calculați, atât în domeniul infraroșu apropiat (NIR) cât și vizibil (RGB), pe baza imaginilor satelitare Sentinel 2, pentru surprinderea vătămărilor produse de insecte sugătoare.
- Stabilirea pe baze științifice a indicilor de vegetație, determinați în domeniul infraroșu apropiat (NIR) și vizibil (RGB), pe baza imaginilor capturate cu drone, considerați cei mai potriviți pentru evaluarea vătămărilor produse de insecte defoliatoare și sugătoare și a intervalelor de variație a valorilor pixelilor, pe grade de defoliere și decolorare.
- Dezvoltarea pentru prima dată în țara noastră a unei metode de monitorizare a defolierilor, la arbori individuali, pe baza imaginilor capturate cu drona, în domeniul vizibil (RGB), care să verifice și să confirme valabilitatea indicilor de vegetație considerați ca fiind cei mai indicați pentru evaluarea vătămărilor în suprafețele de probă.



- **Conceptualizarea și aplicarea unei modalități de calcul a suprafețelor afectate de defoliere și decolorare, pe grade de vătămare, pe baza hărților tematice obținute pentru fiecare indice biofizic sau de vegetație, fundamentat din punct de vedere statistic.**

BIBLIOGRAFIE

- Ali, A. M., Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Gara, T. W., O'Connor, B., Roeoesli, C., Heurich, M., Paganini, M., 2020. Comparing methods for mapping canopy chlorophyll content in a mixed mountain forest using Sentinel-2 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 87, 102037.
- Bălăcenoiu, F., 2022, *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera, Tingidae) – O nouă specie de insect invazivă cu potential ridicat de vătămare în pădurile de stejar din România și Europa, Editura Silvică, Voluntari, 106 p.
- Beaubien, J. and Jobin, L. 1974. ERTS-1 imagery for broad mapping of forest damage and cover types of Anticosti Island. *Canadian Surveyor*, 28: 164–166.
- Bendig J., Yu K., Aasen H., Bolten A., Bennertz S., Broscheit J., Gnyp M. L., Bareth G., 2015, Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 39, pp 79–87.
- Berryman, A.A., 1986, *Forest Insects: Principles and Practice of Population Management*, Plenum Press
- Blackburn G. A., 1998, Quantifying Chlorophylls and Carotenoids at Leaf and Canopy Scales: An Evaluation of Some Hyperspectral Approaches, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 66, Issue 3, pp 273-285
- Buzatu, A., 2020, Analiza comparativă a informațiilor privind principalii agenți vătămători, oferite de imaginile obținute cu ajutorul dronelor și a celor observate la sol, inclusiv evaluarea daunelor produse de aceștia, Raport de cercetare, Universitatea “Transilvania” din Braşov, Școala Doctorală Interdisciplinară, Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere
- Cernicharo, J., Verger, A., Camacho, F., 2013. Empirical and Physical Estimation of Canopy Water Content from CHRIS/PROBA Data, *Remote Sensing*, Vol. 5, pp 5265-5284
- Chireceanu, C., Teodoru, A., Chiriloaie, A., 2017a. First record of oak lace bug *Corythucha arcuata* (Tingidae: Heteroptera) in Romania. In: Trichkova T., Tomov R., Vladimirov V., Kalcheva H., Vanev Y., Uludağ A., Tyufekchiev V. (eds.), *Book of Abstracts, 7th ESENIAS Workshop with Scientific Conference 'Networking and Regional Cooperation Towards Invasive Alien Species Prevention and Management in Europe'*, 28–30 March 2017, IBER-BAS, ESENIAS, Sofia, Bulgaria, p. 97.
- Ciesla W., Billings, R., Compton, J., Frament, W., Mech, R., Roberts, M., 2008. Aerial signatures of forest damage in the Eastern United States. The Forest Health Technology Enterprise Team (FHTET). USA. 121 pp.
- Clevers, J. G. P. W., 1991, Application of the WdVI in estimating LAI at the generative stage of barley, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 46 (1991), 37-47
- Crippen, R. E., 1990, Calculating the Vegetation Index Faster, *Remote Sensing of Environment*, Volume 34, Issue 1, October 1990, Pages 71-73.
- Delegido J., Verrelst J., Alonso L., Moreno J., 2011b. Evaluation of Sentinel-2 rededge bands for empirical estimation of green LAI and chlorophyll content, *Sensors*, Vol. 11, pp 7063–7081.
- Frampton W. J., Dash J., Watmough G., Milton E. J., 2013, Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 82, pp 83–92

- Gitelson A. A., Merzlyak M. N., 1994, Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves, *Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology*, Vol. 22, pp 247-252
- Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Merzlyak M. N., 1996, Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS, *Remote Sensing of Environment*, Volume 58, Issue 3, December 1996, Pages 289-298
- Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Stark R., Rundquist D., 2002, Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction, *Remote Sensing of the Environment*, Vol. 80, pp 76–87.
- Hall, R. J., Castilla, G., White, J.C., Cooke, B.J., Skakun, R.S., 2016, Remote sensing of forest pest damage: a review and lessons learned from a Canadian perspective, *The Canadian Entomologist*, Volume 148, Supplement S1: Forest Entomology in Canada: Celebrating a Century of Science Excellence, August 2016 , pp. S296 - S356
- Huete, A. R., 1988, A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, Volume 25, Issue 3, August 1988, Pages 295-309
- Hunt E. R. Jr., Daughtry C. S. T., Eitel J. U. H., Long D. S., 2011, Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content Using a Visible Band Index, *Agronomy Journal*, Vol. 103, Issue 4, pp 1090-1099.
- Junior C. K., Guimarães A. M., Caires E. F., 2016, Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage, *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, .Vol. 36, No. 5, pp 886-894
- Kaufman Y. J., Tanre D., 1992, Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 30, No. 2, pp 261-270
- Lehmann, J. R. K., Nieberding, F., Prinz, T., Knoth, C., 2015, Analysis of Unmanned Aerial System-Based CIR Images in Forestry—A New Perspective to Monitor Pest Infestation Levels, *Forests*, 6, 594-612; doi:10.3390/f6030594
- Louhaichi M., Borman M. M., Johnson D. E., 2001, Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat, *Geocarto International*, Vol. 16(1), pp 65–70.
- Näsi, R., Eija Honkavaara, E., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Blomqvist, M., Litkey, P., Hakala, T., Viljanen, N., Kantola, T., Tanhuanpää, T., Holopainen, M., 2015, Using UAV-Based Photogrammetry and Hyperspectral Imaging for Mapping Bark Beetle Damage at Tree-Level, *Remote Sensing*, 7, 15467-15493; doi:10.3390/rs71115467
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., Sorooshian, S., 1994, A Modified Soil Adjusted Vegetation Index, *Remote Sensing of Environment*, Volume 48, Issue 2, May 1994, Pages 119-126
- Rădac, I. A., Pintilioaie, A. M., Mancu, C. O., Rakosy, L., 2017, Prima semnalare a speciilor *Amphiareus obscuriceps* (Poppius, 1909) și *Corythucha arcuata* (Say, 1832) în România [The first report of *Amphiareus obscuriceps* (Poppius, 1909) and *Corythucha arcuata* (Say, 1832) in Romania.]. Cel de-al XXVII-lea Simpozion Național al Societății Lepidopterologice Române, 07-08 aprilie 2017, Cluj-Napoca.
- Richardson, A. J., Wiegand, C. L., 1977, Distinguishing Vegetation from Soil Background Information, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 43, No. 12, December 1977, pp. 1541-1552
- Richardson A., D., Jenkins J. P., Braswell B. H., Hollinger D. Y., Ollinger S. V., Smith M.-L., 2007. Use of Digital Webcam Images to Track Spring Green-Up in a Deciduous Broadleaf Forest, *Oecologia*, Vol. 152(2), pp 323–334.

- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS-1 Symposium NASA, NASA SP-351, Washington DC, 309-317.
- Rullan-Silva, C. D., Olthoff, A. E., Delgado de la Mata, J. A., Pajares-Alonso, J. A., 2013. Remote monitoring of forest insect defoliation. A review, *Forest Systems*, 22(3): 377-391
- Senseman G. M., Tweddale S. A., Anderson A. B., Bagley C. F., 1996, Correlation of Land Condition Trend Analysis (LCTA) Rangeland Cover Measures to Satellite-Imagery-Derived Vegetation Indices, US Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratories, Technical Report 97/07
- Smigaj, M., Gaulton, R., Barr, S. L., Suárez J. C., 2015, UAV-borne thermal imaging for forest health monitoring: detection of disease-induced canopy temperature increase, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-3/W3, ISPRS Geospatial Week 2015, 28 Sep – 03 Oct 2015, La Grande Motte, France
- Spurr, S.H. 1946. Aerial forest survey. In *Photography by infrared*. Edited by W. Clark. Wiley, New York, New York, United States of America.
- Sripada, R. P., Heiniger, R. W., White, J. G., Meijer, A. D., 2006, Aerial Color Infrared Photography for Determining Early In-Season Nitrogen Requirements in Corn, *Agronomy Journal*, 968-977
- Talerico, R.L., Walker, J.E., and Skratt, T.A. 1978. Quantifying gypsy moth defoliation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44: 1385–1392.
- Tomescu R., Olenici N., Netoiu C., Balacenoiu F., Buzatu A., 2018. Invasion of the oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say.) in Romania: a first extended reporting. *Annals. Of Forest Research*, 61(2): 161-170.
- Tucker, C. J., 1979, Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation, *Remote Sensing of Environment*, vol 8 (1979), pp 127-150.
- Vogelmann J. E., Rock B. N., Moss D. M., 1993. Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 14, No. 8, pp 1563–1575.
- Vorovencii, I., 2015, *Teledetecție satelitară*, Editura MatrixRom, Bucureşti, 600 p.
- Wear, J.F. and Bongberg, J.W. 1951. The use of aerial photographs in forest insect surveys. *Journal of Forestry*, 49: 632–633.
- Weiss, M., Baret, F., Jay, S., 2020. S2ToolBox Level 2 products LAI, FAPAR, FCOVER (Doctoral dissertation, EMMAH-CAPTE, INRAe Avignon).
- Woebbecke, D. M., Meyer, G. E., Von Bargaen, K., Mortensen, D. A., 1995, Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 38(1), 259-269.
- Yang Z., Willis P., Mueller R., 2008, Impact of band-ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy, Pecora 17 – The Future of Land Imaging Going Operational, November 18 – 20, Denver, Colorado