

**UNIVERSITATEA „BABEȘ - BOLYAI” DIN CLUJ NAPOCA  
FACULTATEA DE GEOGRAFIE  
ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOGRAFIE**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**UTILIZAREA APLICAȚIILOR DE TELEDETECȚIE ÎN  
DETECTAREA ȘI ANALIZA DOBORÂTURILOR  
PRODUSE DE VÂNT DIN AREALUL MUNȚILOR  
APUSENI**

Coordonator științific:  
**Prof. Univ.Dr. IRIMUS Ioan-Aurel**

Doctorand:  
**FURTUNĂ (DUMA)  
Paula-Roxana**

**Cluj-Napoca  
-2020-**

## CUPRINS

1. INTRODUCERE.....	4
<b>1.1</b> Scopul și obiectivele cercetării.....	7
<b>1.2</b> Localizarea și caracterizarea Munților Apuseni.....	9
2. PROBLEMA DOBORÂTURILOR DE PĂDURI.....	14
<b>2.1</b> Aspecte noționale și clasificarea doborâturilor.....	14
<b>2.2</b> Scurt istoric al doborâturilor produse de vânt în Munții Apuseni.....	17
<b>2.3</b> Stadiul cunoașterii temei de cercetare.....	24
2.3.1 Stadiul cunoașterii temei de cercetare la nivel național.....	26
2.3.2 Stadiul cunoașterii temei de cercetare la nivel internațional.....	28
<b>2.4</b> Factorii care influențează producerea doborâturilor de pădure.....	33
2.4.1 Factori climatici.....	33
<i>a) Vântul.....</i>	34
<i>b) Precipitațiile.....</i>	38
<i>c) Temperatura.....</i>	38
2.4.2 Factori reliefului.....	39
<i>a) Alitudinea.....</i>	39
<i>b) Panta terenului.....</i>	40
<i>c) Expoziția versanților.....</i>	41
2.4.3 Factori edafici (Solul).....	43
2.4.4 Factori antropici.....	44
3. DATE UTILIZATE ȘI METODOLOGIE.....	45
<b>3.1</b> Date utilizate.....	45
3.1.1 Date în format digital.....	46
3.1.2 Date cartografice.....	48
3.1.3 Date meteorologice.....	18

<b>3.2 Metodologie</b> .....	49
3.2.1 Pre-procesarea imaginilor satelitare.....	51
3.2.2 Mascarea apei și a solului închis la culoare.....	53
3.2.3 Clasificarea în zone împădurite și zone neîmpădurite.....	54
3.2.3.1 <i>Extragerea automată a pixelilor forestieri</i> .....	55
3.2.3.2 <i>Clasificarea supervizată</i> .....	56
3.2.4 Utilizarea Indicele de Perturbare (Disturbance Index).....	58
3.2.5. Evaluarea acurateții .....	60
<b>3.3 Limitările studiului</b> .....	62
<b>4. ANALIZA DOBORÂTURILOR PRODUSE DE VÂNT DIN MUNȚII APUSENI</b> .....	64
<b>4.1</b> Variabilitatea spațio-temporală a zonelor forestiere 2001-2014.....	70
<b>4.2</b> Vulnerabilitatea zonelor forestiere la doborâturile produse de vânt.....	78
<b>4.3</b> Influența factorilor morfometri în producerea doborâturilor.....	82
<b>4.4</b> Influența factorilor meteorologici.....	89
4.5.1 <i>Studiu de caz: Doborâtura din 20 iulie 2011</i> .....	92
<b>5. STUDIU COMPARATIV: Munții Apuseni (Romania) și Munții Vosges (Franta)</b> .....	99
<b>5.1</b> Caracteristicile furtunei hibernale Xynthia si datele utilizate.....	100
<b>5.2</b> Evaluarea schimbărilor forestiere.....	102
<b>5.3</b> Rezultate comparative.....	106
<b>6. CONCLUZII</b> .....	109
<b>7. BIBLIOGRAFIE</b> .....	114
<b>ANEXE</b> .....	129

**Cuvinte cheie:** doborâturi produse de vânt, teledetectie, rafale maxime, indicele de perturbare, munții Apuseni

## REZUMAT

Prezența pădurilor este cunoscută de când omul și-a făcut simțită prezența pe suprafața pământului. Rolul și importanța pădurilor au fost recunoscute încă de la începuturi dar importanța lor a fost percepută diferit de-a lungul timpului, în strânsă dependență cu dezvoltarea socio-economică. Ocupând cea mai mare parte din suprafața uscatului aceste pădurile au pierdut în mod continuu, dar în ritmuri diferite, din distribuția spațială. Dintre toate ecosistemele terestre pădurea realizează aspectul cel mai impunător și mai măreț. Pădurile reprezintă o resursă naturală extrem de importantă care poate fi gestionată în mod durabil având în vedere complexitatea structurală și funcțională, determinată de populațiile de arbori, arbuști, plante erbacee, animale și descompunători ce o alcătuiesc.

Frecvența tot mai ridicată a doborâturilor produse de vânt în cadrul Munților Apuseni și intensificarea fenomenelor meteorologice extreme care duc la producerea lor au constituit o altă motivație în efectuarea acestui studiu. Din momentul începerii lucrării de față, în anul 2013, au fost înregistrare tot mai multe fenomene meteorologice ce au produs pagube însemnate, pe tot teritoriul României, nu doar pe zona studiată. Efectele lor sunt în primul rând legate de presiunea exercitată de vânt asupra arborilor cât și de cantitatea de precipitații căzută în timpul fenomenului meteorologic.

Principala motivație a acestei lucrări este dată în primul rând de dorința de aprofundare a problematicii doborâturilor produse de vânt la nivelul României cât și la nivelul Munților Apuseni.

Scopul acestui studiu este acela de a utiliza metode de analiză spațială, (GIS și teledetecție) în vederea detectării și evaluării doborâturilor produse de vânt în Munții Apuseni. În același timp se urmărește aplicabilitatea și eficiența datelor Landsat în detectarea doborâturilor și dezvoltarea unei metodologii care să permită analiza într-un timp scurt a zonelor forestiere afectate de furtuni.

Lucrarea este structurată pe 6 capitole, fiecare din aceste capitole corespund obiectivelor propuse în elaborarea lucrării.

*Capitolul 1* este un capitol de introducere în care sunt prezentate informații generale referitoare la importanța doborâturilor produse de vânt și la impactul acestora asupra ecosistemelor forestiere. Tot în acest capitol sunt prezentate obiectivele și scopul acestei lucrări, localizarea geografică și o scurtă caracterizare a Munților Apuseni.

În *capitolul doi* este prezentată problematica doborâturilor de pădure, prin prezentarea aspectelor noționale cu care se va opera pe parcursul lucrării cât și clasificarea doborâturilor

produse de vânt. După consultarea numeroaselor tipuri de clasificări ale doborâturilor produse de vânt, având la bază diferite criterii de încadrare și clasificare a pagubelor, la nivel internațional a fost adoptată și utilizată clasificarea propusă de Miller în anul 1985. Astfel doborâturile au fost împărțite în 2 mari grupe, respectiv doborâturi produse de vânt cu efecte catastrofale și doborâturi produse de vânt cu caracter endemic. Doborâturile catastrofale apar rar, atunci când vânturile extrem de puternice provoacă daune pe scară largă și pe suprafețe mari. Doborâturile endemice apar mai des, având o frecvență mai regulată deoarece sunt cauzate de vânturi cu viteză mai redusă, însă au efecte economice mari prin cumulara acestora. Acest tip de doborâtură cuprinde atât doborâturile izolate (grupuri mici de arbori) dar și doborâturi care afectează o zonă mai extinsă, însă care nu este inclusă în categoria doborâturilor catastrofale.

Tot în acest capitol este prezentat un scurt istoric al doborâturilor produse de vânt în Munții Apuseni. Cele mai vechi consemnări legate de doborâturile produse de vânt în arealul Munților Apuseni sunt din anul 1962, atunci când au fost amintite două doborâturi, una în perioada 1939-1941 fiind afectați 650 m<sup>3</sup> de arbori iar cealaltă în perioada 1958-1969 când au fost afectați 500 m<sup>3</sup> de arbori.

În *capitolul 3* sunt redate principalele date utilizate în elaborarea studiului, prezentându-se seturile de date satelitare Landsat utilizate în această lucrare. Astfel un număr de 15 seturi de imagini cuprinzând 210 benzi spectrale au fost utilizate. Imaginile utilizate în acest studiu au fost alese să fie pentru sezonul de vegetație (jumătatea lunii Mai – începutul lunii Septembrie) pentru a reduce impactul vegetației din sezoane diferite.

Pentru analiza meteorologică s-au folosit date de la radarul Doppler WSR-98D de la Bobohalma. Deoarece, în literatura de specialitate se menționează că arborii sunt doborâți de rafalele puternice, peste 90km/h, pentru perioada analizată, s-au luat în calcul rafalele maxime egale sau mai mari de 90km/h (25m/s). Rafalele maxime au fost disponibile doar pentru perioada 2004-2014.

Tot în capitolul 3 sunt prezentați pașii metodologici parcurși în elaborarea acestei lucrări. Sunt prezentate etapele de pregătire a imaginilor satelitare cât și pași de procesare a acestor date pentru detectarea și analiza doborâturilor din cadrul Munților Apuseni. Pentru a obține zonele forestiere imaginile au fost clasificate, evidențiindu-se 2 clase, zone împădurite (forestiere) și zone neîmpădurite (alte clase de acoperire al terenului, altele decât păduri). Această etapă a fost realizată urmând doi pași:

- extragerea automată a pixelilor forestieri pe baza histogramei
- clasificarea supervizată a imaginilor satelitare.

Următorul pas a fost utilizarea clasificării supervizate. După rularea algoritmului de clasificare, imaginile obținute au fost reclasificate în zone împădurite și zone neîmpădurite.

La final cele două imagini cu zonele forestiere, (obținute prin utilizarea histogramei respectiv în urma clasificării supervizate), au fost suprapuse iar pixelii care au fost clasificați incorect în cele două imagini au fost excluși din analiză

*Capitolul 4* este dedicat prezentării și interpretării rezultatelor obținute în urma aplicării metodologiei de detectare cu ajutorul imaginilor satelitare a doborâturilor produse de vânt. Doborâturile de vânt vor fi numite zonele în care am detectat o scădere de vegetație de la o imagine la alta și unde am putut confirma cu datele oficiale sau cu datele meteorologice care să indice că zona a fost afectată de rafale puternice.

O primă analiză am făcut asupra Indicelui Normalizat de Diferențiere a Vegetație (NDVI) care a fost utilizat pentru mascarea apelor și suprafețelor închise la culoare.

După calcularea NDVI pentru a delimita clasele de acoperire a terenului respectiv pentru mascarea zonelor acoperite cu apă și sol trebuie stabilit un prag. În acest studiu pragurile utilizate sunt de 0.3, care au ajutat la mascarea zonelor cu apă și sol. Această etapă a făcut posibilă identificarea și eliminarea pixelilor care pot fi problematici în derularea etapelor următoare.

Pentru extragerea datelor cu vegetație forestieră am utilizat metoda de clasificare supervizată. Rezultatul obținut în urma clasificării imaginilor pentru fiecare an în parte ne-a permis o analiză vizuală, în primul rând, a schimbărilor survenite în arealul de studiu.

Studiile care au la bază hărți satelitare necesită efectuarea unei etape de validare a rezultatelor obținute. Cea mai des utilizată metodă de evaluare a preciziei/acurateții rezultatului este reprezentată de calcularea matricei de eroare care a fost utilizată în numeroase studii de clasificare a terenurilor și a devenit o componentă crucială a acestei cercetări. Acuratețea metodologiei aplicate a fost evaluată pentru: a) clasificarea supervizată și b) clasificarea imaginilor în trei categorii (zone cu pădure, zone cu scăderi de vegetație și alte clase).

Având în vedere că pe arealul Munților Apuseni este localizat Parcul Natural Apuseni, zonă care se supune altor norme de management forestier, am încercat să facem și o analiză separată a acestei zone.

Au fost efectuate 2 matrici de eroare, una pentru zona Munților Apuseni și alta pentru zona Parcului Natural Apuseni. Acuratețea generală obținută pentru clasificarea supervizată pentru Munții Apuseni este 82.21% și pentru Parcul Natural Apuseni este 80.23%. Coeficientul Kappa 0.88 – Parcul Natural Apuseni în timp ce pentru Munții Apuseni a fost mai scăzut 0.79. În plus, au fost utilizate datele obținute de la Direcțiile Silvice cât și datele istorice referitoare la dinamica suprafețelor acoperite de pădure.

Totodată, pentru a obține o mai bună înțelegere a acurateții rezultatului, am calculat matricea erorilor pentru fiecare clasificare anuală în cele trei categorii: *constant pădure-CF*; *zone cu scăderi de vegetație-FL* și *constant zone fără pădure-CNF*. Astfel și pentru această matrice au fost utilizate 1524 de puncte luate aleatoriu (110 de puncte pentru fiecare an în parte), 560 pe teritoriul Parcului Natural Apuseni.

Zona cu pădure constantă este dată de acele areale care au fost reprezentate de pădure atât în imaginea 1 cât și în imaginea 2, iar zonele care prezintă perturbări sunt acele zone care în imaginea 1 au fost clasificate ca și pădure iar în imaginea 2 nu mai sunt clasificate în clasa pădurilor.

În subcapitolul *Variabilitatea spațio-temporală a zonelor forestiere din Munții Apuseni în perioada 2001-2014* am analizat variabilitatea spațială și temporală a zonelor împădurite din cadrul Munților Apuseni.

Pentru a obține o mai bună înțelegere a distribuției pădurilor în cadrul Munților Apuseni, au fost utilizate hărțile clasificate anterior în zone împădurite și zone neîmpădurite, pentru fiecare an în parte. Utilizând aceste hărți au fost făcute diferențe și rapoarte între imaginile clasificate obținându-se arealele în care zonele forestiere au scăzut sau crescut de la un an la altul. Cele mai multe schimbări au avut loc în zona Parcului Natural Apuseni, unde fiind o zonă protejată normele de gestionare a vegetației sunt diferite de restul zonelor forestiere.

Analizând datele obținute se observă că anul care a înregistrat valorile cele mai scăzute este anul 2002. Procente de până la 5% au fost înregistrate în mai mulți ani, și anume 2004, 2005, 2006, 2008, 2009, 2011, 2013 și 2014. Pentru anul 2004 avem consemnate oficial 2 zone afectate fără a avea însă suprafețele afectate astfel că nu putem compara rezultatul obținut în acest studiu. Pentru anul 2005 nu am găsit date despre producerea doborâturilor.

Cel mai mare procent sa înregistrat în anul 2007, (22,58%). Conform datelor primite în anul 2007, pe raza Munților Apuseni au fost afectate de doborâturi 437,56 hectare. În urma

calculului efectuate în acest studiu am obținut o suprafață afectată, pentru anul 2007, de 762,93 hectare. Locul de desfășurare al acestor doborâturi este localizată în zona de munte, Beliș și Platoul Padiș dar și pe arealul Ocolului Silvic Turda.

Următoarea analiză face referire la vulnerabilitatea zonelor forestiere la doborâturile produse de vânt. Având în vedere faptul că vulnerabilitatea este influențată de foarte mulți factori în mod direct sau indirect, în acest subcapitol am calculat vulnerabilitatea arborilor la acțiunea vântului luând în considerare factorii morfometrici. Au fost luați în considerare 5 factori morfometrici care au fost clasificați în 5 categorii de risc. Clasa de vulnerabilitate cea mai ridicată se suprapune peste zonele cu altitudine cuprinsă 1400-1600, acolo unde se regăsesc în special conifere și iar versanți au înclinare accentuată. Am suprapus peste harta vulnerabilității și unitățile de relief astfel se pot localiza foarte bine văile, depresiunile și culoarele unde întâlnim clasele de vulnerabilitate cele mai scăzute. Pe lângă toți factorii naturali care contribuie la creșterea vulnerabilității zonelor forestiere la acțiunea vântului un alt factor care nu poate fi cuantificat este factorul antropic.

Examinarea relației dintre factorii morfometrici și perturbările apărute în Munții Apuseni vine în completarea subcapitolului anterior unde am analizat vulnerabilitatea arborilor la doborâturile produse de vânt și am observat strânsa legătură dintre aceste elemente. În același timp se urmărește legătura dintre principalele elemente ale spațiului geografic în diferențierea producerii pagubelor la scară locală. Cele mai afectate zone sunt cuprinse între altitudinile de 1400-1600, cu o valoare procentală de 36%, zona de altitudine peste 1600m cu 20%. Deasemenea procent ridicat îl au și suprafețele cuprinse între 1200-1400 înregistrând o valoare de 15%. Analizând graficul cu clase de acoperire al terenului cele mai însemnate scăderi au fost înregistrate în zonele clasificate cu păduri, cele mai mari procente revenind clasei pădurilor cu conifere (35.05%). Pădurile de foioase au fost clasificate cu scăderi de vegetație cu un procent 24%, mai ridicat decât pădurile mixte care au însumat un procent de 10.55%. Următorul element morfometric analizat este panta. Doborâturile au fost concentrate pe pantele cu valori care corespund claselor moderat înclinat ( $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ) și înclinate ( $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ). După analiza claselor de pantă un alt factor important îl reprezintă expoziția versanților. Zonele cu scăderi de vegetație au fost concentrate pe direcția Nord (12.15%), Nord-Est (14.07%) și Est (12.77%).

Factorul declanșator pentru producerea doborâturilor, vântul, a fost analizat în subcapitolul *Influența factorilor meteorologici*. Făcând o analiză a factorilor care au dus la producerea de



furtuni cu rafale de peste 90km/h în arealul studiat am luat în calcul în primul rând tipul de circulație. Circulația tropicală maritimă a stat la baza a 45.24% din furtunile de vară din zona analizată, în timp ce circulația de blocaj a provocat doar 7.14%.

Dacă facem referire la geneza furtunilor, cele analizate în lucrarea de față, au proveniență mixtă (în masa de aer cald din spatele frontului cald) în proporție de 33.33%. Iar cele mai puține provin din front oclus, 2.38%. Ciclonii de origine islandeză au influențat masele de aer în proporție de 60.71%, urmate de ciclonii de origine mediteraneană (25%).

Tot în acest subcapitol a fost realizat un studiu de caz asupra *Doborâturii din 20 iulie 2011 de pe raza localităților Cîmpeni, Bistra și Vidra din Județul Alba*.

În *capitolul 5* este prezentat un Studiu Comparativ: Munții Apuseni (România) și Munții Vosges (Franța). Din rezultate subliem că ambele areale au fost afectate în zona pădurilor de conifere, la altitudinii diferite 1447m în România și 950 m în Franța. Această diferență altitudinală se datorează altitudinilor mai scăzute din Munții Vosges unde pădurile de conifere se pot întâlni și la altitudinii de 800-900 m. Din analiza pentru furtuna din România reiese că din suprafața afectată peste 80% avea conifere în compoziție iar pentru Franța am obținut un procent de 75%.

O analiză în termeni de suprafețe afectate a fost efectuată, împărțind suprafețele afectate în trei categorii, cele mai mici de un hectar, cele cuprinse între un hectar și cinci hectare respectiv cele care depășesc cinci hectare afectate. Arealul francez a fost afectat într-o proporție mai ridicată, suprafețele care depășesc 5 hectare ocupă un procent de 51.12% comparativ cu 43% pentru teritoriul românesc. Suprafețele afectate au depășit 100 hectare în Apuseni și peste 200 în Vosges, cu expoziția versanților estici și sud-estici în Romania și cei nordici și nord-estici în Franța.

Lucrarea se încheie cu un capitol în care sunt prezentate concluziile generale și specifice ale acestui studiu prin care se evidențiază importanța acestui studiu.