

Universitatea de Științele Vieții “Regele Mihai I” din Timișoara



Școala Doctorală: Ingineria Resurselor Vegetale și Animale

MĂGUREANU MARGARETA CECILIA

**REZUMAT
TEZĂ DE DOCTORAT**

**DINAMICA ȘI MONITORIZAREA PAJIȘTILOR MONTANE
ÎN CONTEXTUL SCHIMBĂRILOR SPAȚIO-TEMPORALE ȘI
SOCIO-ECONOMICE**

Conducător Științific

Prof.univ.dr.ing. COJOCARIU LUMINIȚA

Timișoara

2024

REZUMAT

Scopul tezei de doctorat cu titlul „**Dinamica și monitorizarea pajiștilor montane în contextul schimbărilor spațio-temporale și socio-economice**” este evaluarea comprehensivă a dinamicii suprafețelor de pajiști și a vegetației acestora în contextul schimbărilor spațio-temporale și socio-economice. Zona de studiu este formată din Grupa Retezat-Godeanu a Carpaților Meridionali, Munții Banatului și Munții Poiana Ruscă. Pentru atingerea scopului propus, s-au stabilit trei obiective principale:

- analiza dinamicii suprafețelor de pajiști în timp și spațiu;
- aprecierea dinamicii spațio-temporale a vegetației pajiștilor prin indici biofizici și de vegetație;
- analiza pajiștilor sub impactul schimbărilor socio-economice din zona de studiu.

Teza de doctorat intitulată „*Dinamica și monitorizarea pajiștilor montane în contextul schimbărilor spațio-temporale și socio-economice*” este organizată în două părți principale, în conformitate cu specificațiile metodologice actuale: Stadiul actual al cunoașterii în domeniu și Cercetări proprii.

Prima parte, intitulată Stadiul actual al cunoașterii în domeniu, cuprinde două capitole în care sunt prezentate succint cercetările de interes în domeniu, orientările actuale în cercetarea multidisciplinară a pajiștilor, precum și caracterizarea spațiului geografic luat în studiu.

Primul capitol al lucrării, intitulat „**Pajiștile și metode moderne de investigare a lor**”, este subiectul a numeroase cercetări științifice privind pajiștile permanente, desfășurate la nivel mondial, regional și local, în diverse contexte și cu diferite abordări.

În secțiunea „**Pajiștile, în context global și regional**” este analizată distribuția pajiștilor pe continente, importanța resurselor de pajiști și modul de utilizare a pajiștilor.

Pajiștile, terenuri acoperite cu vegetație erbacee perenă, sunt vitale pentru agricultură, economie, societate, turism și ecologie. Ele contribuie semnificativ la sustenabilitatea mediului și bunăstarea umană.

Pajiștile sunt distribuite variabil pe toate continentele, adaptându-se la condițiile climatice și geografice locale, și joacă roluri esențiale în agricultură și menținerea biodiversității.

Pajiștile sunt cruciale pentru ecologie, stocând aproximativ 343 gigatone de carbon (FAO, 2010), contribuind astfel la reducerea CO₂ și combaterea schimbărilor climatice. Ele sunt esențiale pentru conservarea biodiversității, oferind habitat pentru numeroase specii de plante și animale. Pajiștile susțin agricultura și turismul rural.

Practicile precum pășunatul rotativ și sistemele agroforestiere promovează sustenabilitatea și protecția biodiversității pajiștilor.

În secțiunea „**Metode și tehnici geospațiale utilizate în analiza pajiștilor**” sunt prezentate metode aplicate în analiza pajiștilor, din sfera a diferite domenii precum Sistemele Informatice Geografice (GIS), teledetecție, inteligența artificială, etc.

Analiza și managementul pajiștilor au avansat semnificativ datorită progreselor tehnologice. Metodele moderne utilizate includ: Sisteme Informatice Geografice (GIS), care permit integrarea și analiza datelor geospațiale pentru a crea hărți detaliate și a monitoriza schimbările în timp; teledetecția, care utilizează sateliți și drone pentru a colecta date despre pajiști, inclusiv starea sănătății vegetației și tipurile de vegetație; inteligența Artificială (AI) și Big Data, care includ algoritmi de machine learning și procesează volume mari de date pentru a identifica tipare și tendințe; modelarea ecologică, care utilizează modele matematice și computaționale pentru a simula dinamica pajiștilor și a prezice răspunsurile acestora la diferite scenarii de mediu.

Aceste metode sunt esențiale pentru gestionarea și conservarea pajiștilor, oferind instrumente avansate pentru a răspunde provocărilor legate de managementul acestor ecosisteme.

În secțiunea „**Analiza schimbărilor în suprafețele de pajiști**” au fost abordate instrumente și metode utilizate pentru identificarea schimbărilor și efectele schimbărilor produse în suprafețele de pajiști.

Analiza schimbărilor în suprafețele de pajiști este crucială pentru gestionarea acestor resurse naturale și protejarea biodiversității. Tehnologii moderne, precum imagistica satelitară, senzorii terestri, modelele de simulare și datele meteorologice, sunt utilizate pentru a monitoriza și a anticipa aceste schimbări.

Printre metodele utilizate pentru analiza schimbărilor se numără: imagistica satelitară (observă schimbările pe termen lung și identifică degradarea terenurilor); senzorii terestri (oferă date precise despre starea actuală a pajiștilor); modelele de simulare (anticipează schimbările viitoare pe baza datelor istorice).

Printre efectele schimbărilor produse în suprafețele de pajiști se numără: degradarea ecosistemelor: (pierderea biodiversității și a habitatelor naturale); eroziunea solului și scăderea capacității de reținere a apei; impactul asupra comunităților locale și economiei (afectează producția agricolă și atractivitatea turistică).

În secțiunea „*Indici de teledetecție cu aplicabilitate în pratologie*” sunt descrise metode și mijloace de teledetecție aplicate în analiza pajiștilor.

Teledetecția este crucială pentru studierea și monitorizarea pajiștilor, oferind date precise despre vegetație și sol prin imagini satelitare sau aeriene analizate cu diferiți indici, cum ar fi NDVI, fAPAR, fCover, MSAVI, SAVI și LAI, care ajută la evaluarea densității vegetației, sănătății, productivității și răspunsurilor ecologice la schimbările de mediu.

În **Capitolul 2** este prezentat „**Contextul fizico-geografic și socio-economic al zonei de studiu**”.

În secțiunea „*Regionarea fizico-geografică*” ale zonei de studiu. Arealul analizat în această lucrare este o zonă fizico-geografică complexă, cu o altitudine variind de la 54 m în văi și depresiuni până la 2473 m pe culmile montane. Include diverse unități de relief din Carpații Meridionali (Grupa Retezat-Godeanu), Munții Banatului și Munții Poiana Ruscă. Grupa Retezat-Godeanu, parte a Carpaților Meridionali, se distinge prin peisaje spectaculoase, relief glaciari, lacuri glaciare și biodiversitate remarcabilă, având o compoziție geologică predominant din șisturi cristaline. Munții Banatului și Munții Poiana Ruscă sunt renumiți pentru diversitatea geologică și relieful impresionant, cu vârfuri acoperite de păduri, chei adânci și cascade, compuși din șisturi cristaline, conglomerate, gresii și marmură, evidențiind o istorie geologică tumultuoasă.

O altă secțiune este „*Regionarea administrativ-teritorială*”. Istoria teritoriului din vestul României este marcată de numeroase evenimente și transformări administrative, fiind influențată de diferite state și imperii de-a lungul timpului. Zona de studiu se suprapune parțial județelor Caraș-Severin, Hunedoara, Gorj, Mehedinți și Timiș, fiecare având specificități geografice, demografice și administrative distincte. Zona montană din vestul României se confruntă cu provocări demografice semnificative, inclusiv depopulare, natalitate scăzută, mortalitate crescută și îmbătrânirea populației, influențate de migrarea economică și schimbările socio-economice. Pentru a contracara aceste tendințe, sunt necesare politici publice de revitalizare economică și socială, alături de îmbunătățirea infrastructurii și a serviciilor de sănătate.

Ultima secțiune a Capitolului 2 este „*Protecția naturii și a patrimoniului cultural*”. În Europa și România, zonele rurale și montane au trecut prin transformări demografice și socio-economice semnificative datorită politicilor agricole și pieței globale. Aceste schimbări afectează atât negativ cât și pozitiv pășunile naturale și semi-naturale. Gestionarea eficientă a pajiștilor necesită strategii adaptate condițiilor locale, implicând managerii ariilor protejate și instituțiile de conservare a naturii. Ariile protejate sunt esențiale pentru conservarea biodiversității și atragerea de fonduri europene, acoperind 51.67% din zona de studiu. Subvențiile pentru păstrarea biodiversității sunt accesibile prin măsuri de agromediu și climă, agricultură ecologică și zone cu constrângeri naturale, stimulând practici agricole sustenabile.

Partea a doua a tezei de doctorat prezintă **Cercetările proprii**, expuse în trei capitole.

Capitolul 3, este denumit „**Analiza dinamicii suprafețelor de pajiști în timp și spațiu**”.

Scopul cercetărilor cuprinse în acest capitol a urmat două direcții de cercetare: (1) analiza dinamicii spațio-temporale a suprafețelor de pajiști din zona de studiu, în perioada 1990 – 2018 și (2) analiza pajiștilor în funcție de factorii de relief (altitudine, pantă, expoziție), cu influență directă asupra acestora.

Pentru atingerea scopului propus, s-au stabilit următoarele obiective:

- analiza generală a modului de utilizare a terenului, în perioada 1990 – 2018;
- analiza schimbărilor cantitative produse în clasa pajiștilor, pe praguri temporale și pe întreg intervalul 1990 – 2018, din punct de vedere al câștigurilor și pierderilor de suprafață de la alte categorii de utilizare a terenului;
- analiza schimbărilor nete ale pajiștilor, pe praguri temporale și pe întreg intervalul 1990 – 2018;
- identificarea și cuantificarea contribuției altor clase de utilizare a terenului, prin plus și minus de suprafață, în clasa pajiștilor, pe praguri temporale și pe întreg intervalul 1990 – 2018;
- generarea și interpretarea hărților tranzițiilor în cazul suprafețelor de pajiști;
- identificarea factorilor care au contribuit la producerea schimbărilor și a consecințelor dinamicii suprafețelor de pajiști în timp și spațiu;
- reprezentarea și cuantificarea pajiștilor în perioada actuală;
- reprezentarea pajiștilor în funcție de unitățile de relief din zona de studiu;

- gruparea suprafețelor de pajiști în funcție de altitudine, panta și expoziția versanților, prin aplicarea analizelor multistrat.

Metodologia de lucru a fost etapizată conform fig. 1.

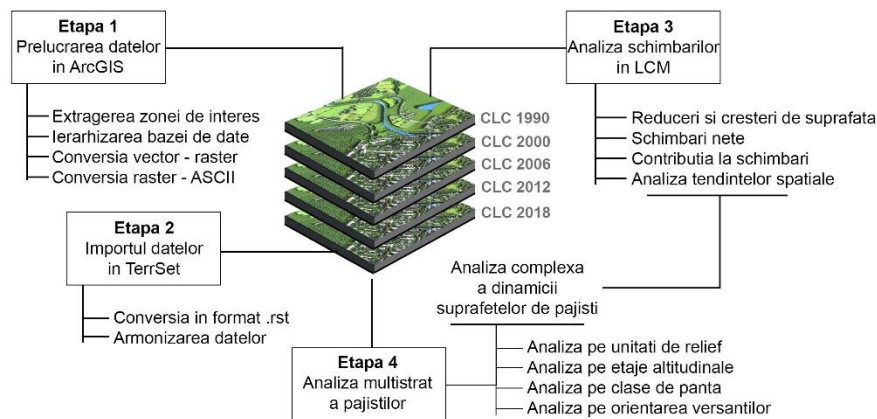


Fig. 1. Metodologia de studiu

În acest capitol al lucrării s-a abordat: analiza modului de utilizare a terenului în perioada 1990 -2018; analiza schimbărilor în suprafețele de pajiști; mecanismele și consecințele schimbărilor spațio-temporale ale suprafețelor de pajiști în perioada 1990 – 2018 și analiza suprafețelor de pajiști în corelație cu mediul fizic.

În perioada 1990-2018, analiza modului de utilizare a terenului a fost realizată folosind date geospațiale obținute prin tehnici de teledetecție și GIS. În zona de studiu, care acoperă 1.112.683 ha, în 2018, predominau suprafețele forestiere (70%), urmate de pajiști (14.75%). Alte categorii de utilizare a terenului reprezentau sub 5%. Pajiștile sunt răspândite uniform, cu suprafețe mai mari în toate formele și unitățile de relief.

Evoluția utilizării terenurilor a arătat o reducere a spațiilor pentru construcții și activități antropice și a plantațiilor pomi-viticole, concomitent cu o creștere a suprafețelor forestiere și agricole. Suprafața pajiștilor a crescut ușor după 2006, datorită Politicilor Agricole Comune aplicate odată cu aderarea României la UE. Deși schimbările nete pe perioada analizată sunt nesemnificative, au existat variații spațiale notabile în intervale temporale distincte.

În ceea ce privește analiza schimbărilor în suprafețele de pajiști, în lucrare au fost etapizate schimbările produse, pe intervale predefinite, dar și în întreaga perioadă analizată (1990 – 2018).

Astfel, în intervalul 1990 – 2000, pajiștile au câștigat suprafețe de la alte categorii de utilizare a terenului, în unele zone, de 741 ha, dar au și pierdut suprafețe în cuantum de 846 ha, în alte zone. Sub aspectul schimbărilor nete, pajiștile au scăzut cu 105 ha (de la 161.001 ha, în 1990, la 160.897 ha, în 2000), transformându-se în principal în păduri de foioase și vegetație arbustivă.

În intervalul 2000 – 2006, pajiștile au câștigat suprafețe, în unele zone, de 27.970 ha, dar au și pierdut suprafețe în cuantum de 27.810 ha, în alte zone. Sub aspectul schimbărilor nete, pajiștile au crescut cu 160 ha (de la 160.897 ha, în 2000, la 161.057 ha, în 2006), câștigând suprafețe de la vegetație arbustivă, terenuri agricole cu vegetație naturală, păduri de foioase și plantații pomicole.

În intervalul 2006 – 2012, pajiștile au câștigat suprafețe, în unele zone, de 16.666 ha, dar au și pierdut suprafețe în cuantum de 13.602 ha, în alte zone. Sub aspectul schimbărilor nete, pajiștile au crescut cu 3064 ha (de la 161.057 ha, în 2006, la 164.121 ha, în 2012), aceasta fiind cea mai mare creștere netă din intervalul analizat. Plusul de suprafață a provenit, în special, de la clasele culturi complexe, terenuri agricole cu vegetație naturală și plantații pomicole.

În intervalul 2012 – 2018, suprafețele de pajiști au pierdut 29 ha, transformându-se în terenuri destinate activităților antropice.

În întreaga perioadă analizată (1990 – 2018) pajiștile au câștigat suprafețe, în unele zone, de 39.569 ha și au pierdut suprafețe în cuantum de 36.479 ha, în alte zone. Sub aspectul schimbărilor nete, pajiștile au crescut cu 3.090 ha (de la 161.001 ha, în 1990, la 164.092 ha, în 2018). Creșterile de suprafață s-au datorat curățirii terenurilor cu vegetație arbustivă și naturală, conversiei culturilor complexe și plantațiilor pomicole și îndepărtării vegetației arbustifere, de la liziera pădurilor de foioase. Pierderile de suprafață s-au datorat transformării pajiștilor în păduri de foioase, teren arabil, teren agricol cu vegetație naturală și vegetație arbustivă.

Schimbările în clasa pajiștilor, sub influența factorilor naturali și antropici, pot avea implicații diverse: peisagistice, economice, ecologice, sociale și culturale. Creșterea suprafețelor de pajiști a fost influențată de transformarea terenurilor acoperite cu vegetație arbustivă și terenurilor agricole cu vegetație naturală în pajiști, proces intensificat între 2006-2012. Aceasta a fost stimulată de integrarea României în UE și aplicarea Politicilor Agricole Comune (PAC), prin diverse programe naționale și europene. Reducerea suprafețelor de pajiști s-a produs prin invazia vegetației lemnoase și împădurirea naturală a acestora, în absența lucrărilor de întreținere.

În cadrul cercetărilor a fost analizată o suprafață totală de pajiști de 164.092 ha, conform bazei de date Corine Land Cover. Pajiștile sunt distribuite în toate unitățile și formele de relief.

Zona analizată include 16 unități de relief, din Grupa Retezat-Godeanu a Carpaților Meridionali, Munții Banatului și Munții Poiana Ruscă. Suprafețele semnificative de pajiști sunt localizate în: M-ții Semenice (23.729 ha, cca.14% din totalul pajiștilor și cca. 19% din suprafața unității montane); M-ții Poiana Ruscă (21.933 ha, cca. 13% din totalul pajiștilor și 13% din suprafața unității montane); M-ții Țarcu (14.150 ha, cca. 9% din totalul pajiștilor și 14% din suprafața unității montane); Culoarul Timiș-Cerna (14.612 ha, cca. 9% din totalul pajiștilor și 26% din suprafața unității respective).

Distribuția și caracteristicile pajiștilor variază semnificativ pe intervale altitudinale diferite. Majoritatea pajiștilor se găsesc între altitudinile de 301 - 600 m (32%) și 601 - 800 m (18%), predominând pantele de până la 30° și expozițiile sudice, sud-vestice și vestice. La altitudini joase (53 - 300 m) și înalte (1601 - 2473 m), pajiștile sunt mai rare (11%, respectiv 13%), iar la altitudini de peste 1000 m, pajiștile cedează treptat locul pădurilor.

Capitolul 4 al lucrării este intitulat, „**Aprecierea dinamicii spațio-temporale a vegetației pajiștilor prin indici biofizici și de vegetație**”. Cercetările prezentate în acest capitol au avut ca principal scop analiza acoperirii și dinamicii în timp și spațiu a vegetației pajiștilor din zona de studiu, în funcție de grupe de munți și etaje altitudinale, pe baza unor indici biofizici și de vegetație în corelație cu condițiile climatice.

Realizarea scopului propus a presupus îndeplinirea următoarelor obiective:

- analiza condițiilor climatice din zona de studiu, în special temperatura aerului și precipitațiile atmosferice, care dictează repartitia vegetației în teritoriu;
- calcularea indicilor climatici pentru analiza factorilor meteorologici, pentru 11 stații meteo de pe teritoriul și din proximitatea zonei de studiu;
- procesarea imaginilor satelitare pentru generarea hărților indicilor de teledetecție specifici în funcție de grupe de munți și etaje altitudinale;
- analiza vegetației pajiștilor pe baza valorilor numerice ale indicilor de teledetecție în funcție de grupe de munți și etaje altitudinale.

Metodologia de lucru a fost etapizată conform fig. 2.

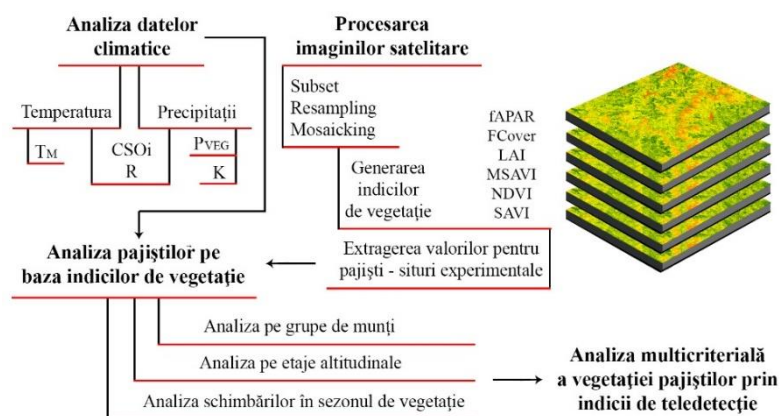


Fig. 2 Metodologia de lucru

Cercetările din acest capitol se bazează pe suprafețe de pajiști reprezentative (zone-test) situate în fiecare dintre cele trei grupe distincte de munți, respectiv Munții Banatului, Munții Poiana Ruscă și Carpații Meridionali, Grupa Retezat-Godeanu, dispuse în etajele altitudinale: 53 – 300 m, 301 – 600 m, 601 – 800 m, 801 – 1000 m, 1001 – 1200 m, 1201 – 1400 m, 1401 – 1600 m și 1601 – 2473 m.

Pentru a surprinde modificările în vegetația pajiștilor, au fost aplicați trei indici biofizici, respectiv The Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (fAPAR), Fraction of green Vegetation Cover

(FCover) și Leaf Area Index (LAI) și trei indici de vegetație, Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) și Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), în diferite perioade ale anului 2022: 22.03, 16.05, 15.07, 08.09, 18.10. În fiecare perioadă, s-au făcut vizite în teren, pentru aprecierea stării vegetației, a gradului de acoperire și a modului de utilizare a pajiștilor.

Pentru evidențierea caracteristicilor climatice ale zonei de studiu au fost colectate date de la 11 stații meteorologice și au fost aplicați 5 indici și indicatori climatici.

Indicele ombrotermic compensat de vară (CSOi) arată că zonele joase au condiții subumede (CSOi 3.0 – 5.5), iar zonele înalte și depresiunile au climat umed (CSOi > 5.5).

Valorile Tetragramei Mayer (TM) sunt mai mari în zonele joase și la baza munților (20 – 22.58°C), favorizând vegetația de stepă și silvostepă, și scad la altitudini mari (până la 8.50°C la peste 2000 m).

Suma precipitațiilor în lunile cu temperatura medie > 10°C (PVEG) - la altitudini mici (până la 200 m), 70% din precipitații anuale cad în perioada aprilie-octombrie; la altitudini mari (peste 2000 m), doar iulie și august contribuie cu cca. 30% din precipitații anuale.

În cazul Indicelui de ploaie Lang (R), valorile sunt foarte ridicate în zonele montane, indicând un climat umed, în condițiile specifice anului 2022.

Pentru Indicele pluviometric lunar Angot (K), valorile maxime se înregistrează în lunile aprilie, mai, septembrie, ocazional în august și octombrie, iar valorile minime în lunile de iarnă (decembrie, ianuarie, februarie). Valorile K cresc în lunile de primăvară și toamnă, indicând perioade de activitate meteorologică intensă.

Utilizarea combinată a celor șase indici (fAPAR, FCover, LAI, NDVI, SAVI și MSAVI) este esențială pentru o caracterizare detaliată, precisă și cuprinzătoare a vegetației pajiștilor. Acești indici oferă informații diverse și complementare despre productivitatea plantelor, densitatea foliară, sănătatea ecosistemului, facilitând monitorizarea continuă și evaluarea schimbărilor vegetației în secvențe de timp și pe termen lung.

Indicele fAPAR măsoară fracțiunea de radiație solară absorbită de frunzele vii pentru fotosinteză, indicând eficiența absorbției luminii de către plante.

În martie, valorile fAPAR sunt scăzute, sugerând activitate fotosintetică redusă la începutul primăverii. Valorile cresc semnificativ în lunile de vară și toamnă, indicând o activitate fotosintetică ridicată. Se observă o prelungire a sezonului de vegetație datorită condițiilor climatice favorabile.

Analiza clusterială a indicelui fAPAR arată că există diferențe și asemănări între grupurile montane analizate. Vegetația de la altitudini mari (peste 1000 m) prezintă similarități semnificative, în timp ce sub 1000 m, similaritățile sunt influențate de condițiile locale. Munții Banatului și Munții Poiana Ruscă prezintă similitudini vegetative până la altitudinea de 600 m, iar valorile fAPAR sunt similare la altitudini peste 1001 m în toate unitățile montane.

Indicele fCover măsoară procentul de suprafață terestră acoperită de vegetație verde și este esențial pentru evaluarea biomasei, productivității primare nete și sănătății ecosistemelor de pajiști. Este util, de asemenea, în gestionarea pășunatului, monitorizarea degradării pajiștilor și optimizarea managementului pajiștilor.

În 2022, valorile FCover au crescut de la începutul primăverii (martie) până la mijlocul toamnei (octombrie), indicând o îmbunătățire a acoperirii vegetative și a sănătății vegetației.

Gruparea ierarhică a valorilor indicelui fCover arată patru cluster majore de similitudine, indicând condiții vegetative similare între diferite grupe de munți și etaje altitudinale. Munții Poiana Ruscă și Munții Banatului prezintă similarități vegetative până la altitudinea de 600 m, iar etajele superioare ale munților au valori similare ale FCover.

Indicele LAI măsoară suprafața frunzelor pe unitatea de suprafață a solului și este esențial în ecologie și agronomie pentru monitorizarea creșterii și productivității vegetației. LAI este corelat cu biomasa verde și randamentul fotosintetic, oferind o măsură indirectă a productivității pajiștilor și permițând identificarea schimbărilor sezoniere și a tendințelor pe termen lung.

Schimbări sezoniere reflectate prin indicele LAI, arată că, la începutul primăverii (martie), valorile LAI sunt scăzute, indicând o acoperire vegetativă redusă. Până în octombrie, valorile cresc, reflectând îmbunătățirea acoperirii vegetative și sănătatea vegetației.

Distribuție procentuală a valorilor LAI este diferită, în perioada analizată. În martie, majoritatea suprafeței are valori LAI foarte scăzute (0.0-1.0). În mai și iulie, valorile cresc semnificativ, indicând o creștere activă a vegetației. În septembrie și octombrie, valorile LAI rămân ridicate, dar încep să scadă ușor.

Etajele superioare ale Carpaților Meridionali și Munților Banatului au valori LAI similare la altitudini peste 1201 m. La altitudini între 1001-1200 m, valorile LAI sunt similare în toate grupele de munți analizate. Vegetația pajiștilor sub 1000 m prezintă valori LAI similare între ele, dar diferite de celelalte clustere.

MSAVI este un indice spectral care îmbunătățește măsurarea vegetației prin reducerea influenței solului asupra datelor de teledetecție. MSAVI este aplicat pentru monitorizarea sănătății vegetației, evaluarea productivității, cartografierea pajiștilor și detectarea schimbărilor în acoperirea vegetală.

În privința schimbărilor sezoniere reflectate prin valorile indicelui MSAVI, în primăvară (martie), acestea sunt scăzute, indicând o acoperire vegetală redusă. În toamnă (octombrie), valorile sunt mai ridicate, reflectând o vegetație densă și sănătoasă. Această creștere sugerează o revenire a vegetației după ploile din septembrie, respectiv o creștere vegetativă a plantelor în toamnă.

Primăvara, valorile MSAVI indică un început de sezon de creștere. Vara, se observă o îmbunătățire semnificativă a sănătății vegetației. Toamna, valorile ridicate MSAVI sugerează o vegetație matură și complet dezvoltată, susținută de ploi și prelungirea sezonului de vegetație.

Analiza clusterială a indicelui MSAVI arată că regiunile montane pot fi împărțite în două sub-clustere principale, unul la altitudini de 53 - 1200 m și altul la altitudini de 1201 - 2473 m, fiecare cu valori similare ale MSAVI. Un cluster secundar include regiuni cu valori de vegetație diferite sau condiții de mediu unice, evidențiind diversitatea ecologică în funcție de altitudine și condiții locale.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) este utilizat pentru estimarea biomasei vegetale, fiind un indicator esențial pentru gestionarea pășunatului, evaluarea productivității pajiștilor și planificarea activităților agricole.

Din punct de vedere al variației sezoniere, la începutul primăverii (martie), valorile NDVI sunt scăzute, indicând vegetație rară sau inexistentă. Până în mai și iulie, valorile NDVI cresc, indicând o îmbunătățire semnificativă a vegetației. În septembrie și octombrie, valorile NDVI rămân ridicate, sugerând o vegetație densă și sănătoasă.

Analiza clusterială a NDVI arată două grupuri majore. Primul grup include regiunile la altitudini între 601-800 m și etajele superioare (peste 1201 m), sugerând valori de vegetație diferite sau condiții de mediu unice. Al doilea grup include restul regiunilor, subdivizate în funcție de altitudine și regiune, cu subgrupuri în Munții Banatului, Poiana Ruscă și Carpații Meridionali.

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) este un indice spectral utilizat pentru a măsura densitatea și starea vegetației, ajustând influența reflectanței solului.

Variația sezonieră a indicelui SAVI arată că în martie, valorile SAVI sunt predominante în intervalul -1.0 până la 0.25, sugerând condiții nefavorabile pentru vegetație. Până în mai și iulie, valorile cresc, indicând o îmbunătățire semnificativă a condițiilor vegetative, cu intervalele 0.26 până la 0.50 și 0.51 până la 0.75 devenind dominante. În septembrie și octombrie, valorile SAVI rămân ridicate, indicând vegetație densă și sănătoasă.

Analiza clusterială a indicelui SAVI relevă două clustere principale, unul la altitudini între 1001-1200 m și altul la altitudini mai mari, cu valori SAVI similare, indicând condiții ecologice comparabile. Clusterul inferior, format din subclustere la altitudini variabile, sugerează o variabilitate mai mare a valorilor SAVI, influențată de altitudine și condițiile climatice locale.

În Munții Banatului, vegetația prezintă un grad mare de similaritate până la altitudinea de 600 m, o diferențiere ușoară între 601-800 m, o diferențiere clară între 1001 - 1200 m și o schimbare a caracteristicilor la altitudini peste 1200 m. În Munții Poiana Ruscă, vegetația se diferențiază ușor între etajele altitudinale 53 - 300 m, 301 - 600 m și 600 - 800 m, iar vegetația, la peste 1001, se deosebește clar de cea inferioară. În Grupa Retezat-Godeanu a Carpaților Meridionali, există diferențieri clare între vegetația etajelor 53 - 300 m și 301 - 600 m, diferențieri ușoare între 601 - 1000 m, diferențiere clară între 1001 - 1200 m și o schimbare a caracteristicilor la altitudini peste 1200 m. Vegetația este similară în toate grupele de munți la altitudinea de 1001 - 1200 m și prezintă caracteristici foarte asemănătoare la altitudini peste 1200 m. Caracteristici similare ale vegetației din Munții Poiana Ruscă se regăsesc, în general, la un etaj mai jos în Munții Banatului și Grupa Retezat-Godeanu a Carpaților Meridionali.

Capitolul 5 al tezei, este denumit „**Analiza pajiștilor sub impactul schimbărilor socio-economice din zona de studiu**”. Scopul cercetărilor prezentate în acest capitol a fost scindat în două direcții: (1) evaluarea impactului reducerii populației umane asupra pajiștilor, în timp și spațiu, cu implicații directe și/sau indirecte în exploatarea acestora și (2) studiul pajiștilor, prin analiza SWOT și TOWS, pentru a evidenția caracteristicile acestora, sub aspect fizico-geografic și socio-economic.

Pentru îndeplinirea scopului cercetărilor au fost stabilite următoarele obiective:

- analiza dinamicii populației umane, la nivel de UAT, în timp și spațiu;
- analiza dinamicii suprafețelor de pajiști, la nivel de UAT, în timp și spațiu;
- aprecierea relației pajiști – populație umană și a schimbărilor produse în timp și spațiu, pe baza Indicelui de Impact Antropic asupra Pajiștilor - IIAP (Grassland Anthropic Impact Index - GAI);
- analiza SWOT și TOWS a pajiștilor din zona de studiu.

Metodologia de cercetare este prezentată în fig. 3.

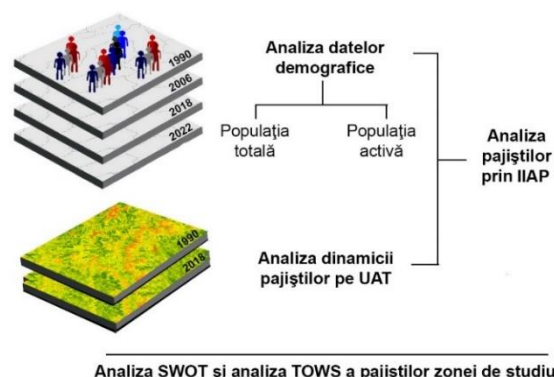


Fig. 3 Metodologia de lucru

În această secțiune a lucrării a fost analizată evoluția numărului de locuitori (populația totală și populația activă), evoluția suprafețelor de pajiști, la nivel de UAT, corelația între datele demografice și suprafețele de pajiști (prin Indicele de Impact Antropic asupra Pajiștilor – IIAP) și aspecte legate de impactul factorilor socio-economici asupra pajiștilor (Analiza SWOT, completată cu analiza TOWS).

În cadrul cercetărilor din această secțiune a lucrării, analiza numărului total de locuitori s-a făcut pe perioada 1990 – 2022, pentru a evidenția tendințele până în perioada actuală. Analiza pajiștilor și a IIAP (care implică populația totală și populația activă) s-a făcut pe intervalul 1990 – 2018, acesta fiind ultimul an cu date disponibile pentru suprafețele de pajiști, în baza de date CLC.

Analiza evoluției numărului de locuitori în perioada 1990-2022 arată o scădere semnificativă a populației în zona de studiu, determinată de încetarea activităților industriale și miniere, precum și de migrația internă și externă.

În perioada 1990-2006, populația a scăzut cu 6.5%, înregistrând reduceri variate în diferite UAT-uri, cu cele mai mari scăderi în comunele Bunila, Lunca Cernii de Jos, Cerbăl, Bătrâna și Cireșu. Între 2006-2018, s-a observat o continuare a scăderii populației, deși unele comune au înregistrat creșteri datorită dezvoltării activităților turistice.

În perioada 2018-2022, populația a continuat să scadă, cu câteva creșteri minore în unele UAT-uri.

Populația totală a scăzut cu 18.94% între 1990 și 2022. Populația activă a scăzut și ea cu 12.84% în perioada analizată, cu creșteri în câteva comune, dar reduceri semnificative în zonele montane și cele fără locuri de muncă.

Analiza evoluției suprafețelor de pajiști între 1990 și 2018 în zona montană de studiu relevă modificări semnificative:

- în cinci dintre UAT-urile analizate, respectiv 4.0% din total, suprafața de pajiști a crescut cu peste 100%: Ocna de Fier, Ilovița, Ezeriș, Oravița, Ciuchici, din județul Caraș-Severin;
- în 3 UAT-uri, suprafața de pajiști a crescut cu un procent cuprins între 75 – 100%, iar în 3 UAT-uri, aceasta este mai mare cu un procent cuprins între 50 – 75%;
- în 13% dintre UAT-urile analizate, suprafețele de pajiști s-a redus cu un procent mai mare de 25%; cele mai mari suprafețe de pajiști au fost pierdute în: Sichevița (72%), Berzasca (50%), Pietroasa (49%), Gârnici (47%), Bănița (44%).

Schimbările sunt cauzate de factori precum împădurirea naturală din cauza abandonului, conversia în terenuri agricole sau arabile, și recuperarea terenurilor pentru pășunat și cosit datorită stimulentei financiare. Aceste modificări pot afecta biodiversitatea, dat fiind că pajiștile românești adăpostesc cea mai mare biodiversitate din Europa.

Analiza dinamicii pajiștilor prin Indicele de Impact Antropic asupra Pajiștilor (IIAP) evidențiază modul în care populația umană influențează utilizarea și valorificarea pajiștilor. IIAP, exprimat în hectare per locuitor, a fost folosit pentru a evalua suprafața de pajiști disponibilă pentru fiecare locuitor total și activ (în vârstă de muncă), identificând disparitățile regionale și efectele reducerii populației asupra valorificării pajiștilor.

În perioada 1990-2018, IIAP a variat semnificativ:

În 1990, valorile IIAP au variat între 0.0005 ha/loc și 9.046 ha/loc, cu o medie de 0.817 ha/loc. Cele mai mici valori s-au înregistrat în zonele periferice și depresionare, iar valorile mari au fost în zonele montane cu puțini locuitori.

În 2018, valorile IIAP au fost între 0.014 ha/loc și 8.245 ha/loc, cu o medie de 1.171 ha/loc. Valorile mai mari au fost cauzate de reducerea numărului de locuitori.

Pentru populația activă, valorile IIAP în 1990 au variat între 0.0008 ha/loc și 12.495 ha/loc, cu o medie de 1.258 ha/loc, iar în 2018 între 0.02 ha/loc și 14.08 ha/loc, cu o medie de 1.884 ha/loc.

Creșterea suprafețelor de pajiști per locuitor în perioada analizată a fost, în principal, datorată scăderii numărului de locuitori.

Analiza SWOT și TOWS a pajiștilor din zona de studiu sunt instrumente esențiale pentru evaluarea potențialului actual și viitor al pajiștilor, precum și pentru dezvoltarea strategiilor de planificare bazate pe date specifice. Analiza SWOT se concentrează pe factorii interni (puncte tari și puncte slabe) și externi (oportunități și amenințări), evidențiind principalele elemente definiții ale pajiștilor. Analiza TOWS extinde analiza SWOT, examinând în perechi cele patru componente pentru a furniza soluții și strategii viitoare. Aceasta include patru strategii principale: SO (Maxi-Maxi): utilizarea punctelor tari pentru a maximiza oportunitățile; ST (Maxi-Mini): utilizarea punctelor tari pentru a minimiza amenințările; WO (Mini-Maxi): minimizarea punctelor slabe profitând de oportunități; WT (Mini-Mini): minimizarea punctelor slabe și evitarea amenințările.

Analizele SWOT și TOWS aplicate în cazul pajiștilor din zona de studiu au evidențiat faptul că pajiștile din zona analizată au un potențial semnificativ datorită diversității tipologice, valorificării multiple și conservării biodiversității, susținute de subvenții și practici tradiționale. Cu toate acestea, există provocări majore, inclusiv depopularea, subexploatarea, infrastructura deficitară și veniturile mici, amplificate de vulnerabilitatea la condițiile de mediu și schimbările climatice. Oportunitățile de finanțare și dezvoltare turistică ar putea contrabalansa aceste amenințări, dar necesită investiții și strategii adecvate pentru a fi eficiente.

University of Life Sciences “King Mihai I” from Timișoara



Doctoral School of Plant and Animal Resources Engineering

MĂGUREANU MARGARETA CECILIA

**ABSTRACT
PH.D. THESIS**

**DYNAMICS AND MONITORING OF MOUNTAIN
GRASSLANDS IN THE CONTEXT OF SPATIO-TEMPORAL
AND SOCIO-ECONOMIC CHANGES**

Scientific Coordinator

Prof. COJOCARIU LUMINIȚA, PhD

Timișoara

2024

ABSTRACT

The aim of the doctoral thesis titled "**Dynamics and monitoring of mountain grasslands in the context of spatio-temporal and socio-economic changes**" is to comprehensively evaluate the dynamics of grassland areas and their vegetation in the context of spatio-temporal and socio-economic changes. The study area consists of the Retezat-Godeanu Group of the Southern Carpathians, the Banat Mountains, and the Poiana Ruscă Mountains. To achieve the proposed aim, three main objectives have been established:

- analysis of the dynamics of grassland areas over time and space;
- assessment of the spatio-temporal dynamics of grassland vegetation through biophysical and vegetation indices;
- analysis of grasslands under the impact of socio-economic changes in the study area.

The doctoral thesis titled "Dynamics and monitoring of mountain grasslands in the context of spatio-temporal and socio-economic changes" is organized into two main parts, in accordance with current methodological specifications: The current state of knowledge in the field and Original research.

The first part, titled The current state of knowledge in the field, comprises two chapters that succinctly present the research of interest in the field, current trends in multidisciplinary grassland research, and the characterization of the geographical area under study.

The first chapter of the work, titled "**Grasslands and modern methods for their investigation**" is the subject of numerous scientific studies on permanent grasslands conducted globally, regionally, and locally, in various contexts and with different approaches.

In the section "*Grasslands in global and regional context*" the distribution of grasslands across continents, the importance of grassland resources, and their utilization are analyzed.

Grasslands, lands covered with perennial herbaceous vegetation, are vital for agriculture, the economy, society and ecology. They significantly contribute to environmental sustainability and human well-being.

Grasslands are variably distributed across all continents, adapting to local climatic and geographical conditions, and play essential roles in agriculture and maintaining biodiversity.

Grasslands are crucial for ecology, storing approximately 343 gigatons of carbon (FAO, 2010), thereby contributing to CO₂ reduction and combating climate change. They are essential for biodiversity conservation, providing habitats for numerous plant and animal species. Grasslands support agriculture and rural tourism.

Practices such as rotational grazing and agroforestry systems promote the sustainability and protection of grassland biodiversity.

In the section "*Geospatial Methods and techniques used in grassland analysis*" methods applied in grassland analysis from various fields such as Geographic Information Systems (GIS), remote sensing, Artificial Intelligence, etc., are presented.

The analysis and management of grasslands have significantly advanced due to technological progress. Modern methods used include Geographic Information Systems (GIS), which allow for the integration and analysis of geospatial data to create detailed maps and monitor changes over time; remote sensing, which uses satellites and drones to collect data about grasslands, including vegetation health and types; Artificial Intelligence (AI) and Big Data, which include machine learning algorithms and process large volumes of data to identify patterns and trends; ecological modeling, which uses mathematical and computational models to simulate grassland dynamics and predict their responses to different environmental scenarios. These methods are essential for managing and conserving grasslands, providing advanced tools to address the challenges related to the management of these ecosystems.

In the section "*Analysis of changes in grassland areas*" tools and methods used to identify changes and the effects of changes in grassland areas are addressed.

Analyzing changes in grassland areas is crucial for managing these natural resources and protecting biodiversity. Modern technologies, such as satellite imaging, ground sensors, simulation models and meteorological data, are used to monitor and anticipate these changes.

Methods used for change analysis include: satellite imaging (observes long-term changes and identifies land degradation); ground sensors (provide precise data about the current state of grasslands); simulation models (anticipate future changes based on historical data).

Effects of changes in grassland areas include: ecosystem degradation (loss of biodiversity and natural habitats); soil erosion and reduced water retention capacity; impact on local communities and the economy (affects agricultural production and tourist attractiveness).

In the section "**Remote sensing indices with applicability in grassland science**" methods and means of remote sensing applied in grassland analysis are described.

Remote sensing is crucial for studying and monitoring grasslands, providing precise data on vegetation and soil through satellite or aerial images analyzed with various indices such as NDVI, fAPAR, fCover, MSAVI, SAVI and LAI, which help evaluate vegetation density, health, productivity, and ecological responses to environmental changes.

In **Chapter 2, "The physical-geographic and socio-economic context of the study area"** is presented.

In the section "**Physical-geographic regioning**" of the study area, the analyzed area in this paper is a complex physical-geographic region with an altitude ranging from 54 m in valleys and depressions to 2473 m on mountain peaks. It includes various relief units from the Southern Carpathians (Retezat-Godeanu Group), the Banat Mountains and the Poiana Ruscă Mountains. The Retezat-Godeanu Group, part of the Southern Carpathians, is distinguished by spectacular landscapes, glacial relief, glacial lakes, and remarkable biodiversity, with a predominantly crystalline schist geological composition. The Banat Mountains and the Poiana Ruscă Mountains are renowned for their geological diversity and impressive relief, with forest-covered peaks, deep gorges, and waterfalls, composed of crystalline schists, conglomerates, sandstones, and marble, highlighting a tumultuous geological history.

Another section is "**Administrative-territorial regioning**". The history of the territory in western Romania is marked by numerous events and administrative transformations, influenced by various states and empires over time. The study area partially overlaps with the counties of Caraș-Severin, Hunedoara, Gorj, Mehedinți, and Timiș, each with distinct geographical, demographic, and administrative specificities. The mountainous area in western Romania faces significant demographic challenges, including depopulation, low birth rates, high mortality rates, and an aging population, influenced by economic migration and socio-economic changes. To counter these trends, public policies for economic and social revitalization, along with improvements in infrastructure and health services, are necessary.

The last section of Chapter 2 is "**Nature and cultural heritage protection**". In Europe and Romania, rural and mountainous areas have undergone significant demographic and socio-economic transformations due to agricultural policies and the global market. These changes affect both negatively and positively natural and semi-natural pastures. Efficient grassland management requires strategies adapted to local conditions, involving protected area managers and nature conservation institutions. Protected areas are essential for biodiversity conservation and attracting European funds, covering 51.67% of the study area. Subsidies for biodiversity preservation are accessible through Agri-environment and climate measures, Organic farming, and Areas with natural constraints, stimulating sustainable agricultural practices.

The second part of the doctoral thesis presents the author's own research, presented in three chapters.

Chapter 3, titled "Analysis of grasslands dynamics in time and space".

The research objectives in this chapter pursued two directions: (1) the analysis of the spatial-temporal dynamics of grasslands in the study area during the period 1990 - 2018, and (2) the analysis of grasslands according to relief factors (altitude, slope, aspect), which directly influence them.

To achieve the proposed goal, the following objectives were established:

- general analysis of land use from 1990 to 2018;
- analysis of quantitative changes in the grassland class over temporal thresholds and the entire period 1990 - 2018, in terms of gains and losses from other land use categories;
- analysis of net changes in grasslands over temporal thresholds and the entire period 1990 - 2018;
- identification and quantification of the contribution of other land use classes, through surface gains and losses, to the grasslands class over temporal thresholds and the entire period 1990 - 2018;
- generation and interpretation of transition maps for grassland surfaces;
- identification of factors contributing to the changes and consequences of the dynamics of grassland surfaces in time and space;
- representation and quantification of grasslands in the current period;
- representation of grasslands according to the relief units in the study area;
- grouping of grasslands surfaces according to altitude, slope, and aspect by applying multistrat analyses.

The working methodology was staged as shown in Figure 1.

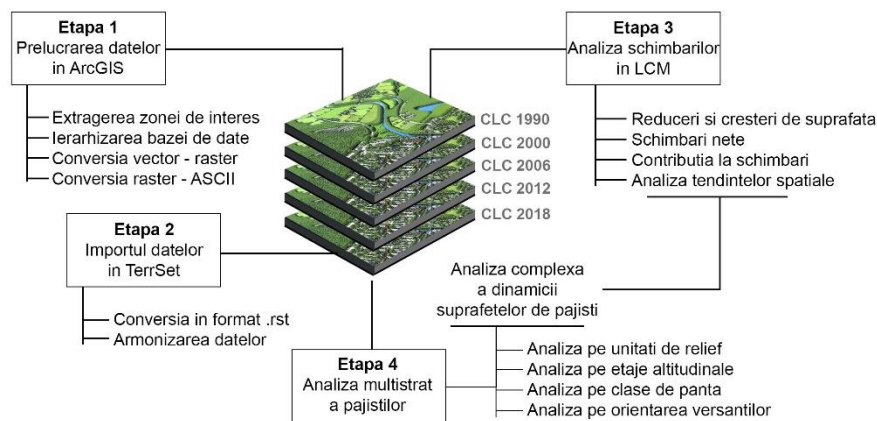


Figure 1. Study Methodology

This chapter addresses: the analysis of land use from 1990 to 2018; the analysis of changes in grassland surfaces; the mechanisms and consequences of the spatial-temporal changes in grassland surfaces during 1990 - 2018, and the analysis of grassland surfaces in correlation with the physical environment.

From 1990 - 2018, the land use analysis was conducted using geospatial data obtained through remote sensing and GIS techniques. In the study area, covering 1,112,683 hectares in 2018, forest areas predominated (70%), followed by grasslands (14.75%). Other land use categories represented less than 5%. Grasslands were evenly distributed, with larger areas across all forms and units of relief.

The evolution of land use showed a reduction in spaces for constructions and anthropogenic activities and a decrease in tree and vine plantations, accompanied by an increase in forest and agricultural areas. The grassland area slightly increased after 2006 due to the Common Agricultural Policies implemented after Romania's accession to the EU. Although net changes over the analyzed period were insignificant, there were notable spatial variations in distinct temporal intervals.

Regarding the analysis of changes in grasslands surfaces, the study phased the changes produced over predefined intervals and the entire analyzed period (1990 - 2018).

In 1990 – 2000, grasslands gained 741 hectares from other land use categories in some areas but lost 846 hectares in others. Net changes showed a decrease of 105 hectares (from 161,001 hectares in 1990 to 160,897 hectares in 2000), mainly transforming into deciduous forests and shrub vegetation.

In 2000 – 2006, grasslands gained 27,970 hectares in some areas but lost 27,810 hectares in others. Net changes showed an increase of 160 hectares (from 160,897 hectares in 2000 to 161,057 hectares in 2006), gaining areas from shrub vegetation, agricultural land with natural vegetation, deciduous forests, and orchard plantations.

In 2006 – 2012, grasslands gained 16,666 hectares in some areas but lost 13,602 hectares in others. Net changes showed an increase of 3,064 hectares (from 161,057 hectares in 2006 to 164,121 hectares in 2012), the largest net increase in the analyzed interval. The surface gain came mainly from complex crops, agricultural land with natural vegetation, and orchard plantations.

In 2012 – 2018, grasslands lost 29 ha, transforming into land intended for anthropogenic activities.

Overall period (1990 - 2018), grasslands gained 39,569 hectares in some areas and lost 36,479 hectares in others. Net changes showed an increase of 3,090 hectares (from 161,001 hectares in 1990 to 164,092 hectares in 2018). Surface gains were due to clearing shrub and natural vegetation, converting complex crops and orchard plantations, and removing shrub vegetation from the edges of deciduous forests. Surface losses were due to the transformation of grasslands into deciduous forests, arable land, agricultural land with natural vegetation, and shrub vegetation.

Changes in the grasslands class, under the influence of natural and anthropogenic factors, can have diverse implications: landscape, economic, ecological, social, and cultural. The increase in grassland surfaces was influenced by the transformation of land covered with shrub vegetation and agricultural land with natural vegetation into grasslands, a process intensified between 2006 - 2012. This was stimulated by Romania's integration into the EU and the implementation of the Common Agricultural Policies (CAP) through various

national and European programs. The reduction in grassland areas occurred through the invasion of woody vegetation and natural afforestation in the absence of maintenance works.

The research analyzed a total grassland area of 164,092 hectares, according to the Corine Land Cover database. Grasslands are distributed across all units and forms of relief.

The analyzed area includes 16 relief units from the Retezat-Godeanu Group of the Southern Carpathians, the Banat Mountains, and the Poiana Ruscă Mountains. Significant grassland areas are located in: Semenic Mountains (23,729 hectares, about 14% of total grasslands and about 19% of the mountain unit area); Poiana Ruscă Mountains (21,933 hectares, about 13% of total grasslands and 13% of the mountain unit area); Țarcu Mountains (14,150 hectares, about 9% of total grasslands and 14% of the mountain unit area); Timiș-Cerna Corridor (14,612 hectares, about 9% of total grasslands and 26% of the respective unit area).

The distribution and characteristics of grasslands vary significantly across different altitudinal intervals. Most grasslands are found between altitudes of 301 - 600 meters (32%) and 601 - 800 meters (18%), predominantly with slopes up to 30° and south, southwest, and west aspects. At low (53 - 300 meters) and high (1601 - 2473 meters) altitudes, grasslands are rarer (11% and 13%, respectively), and at altitudes above 1000 meters, grasslands gradually give way to forests.

Chapter 4 of the work is entitled "**Appreciation of the spatio-temporal dynamics of grassland vegetation through biophysical and vegetation indices**". The research presented in this chapter primarily aimed to analyze the coverage and dynamics of grassland vegetation in the study area, according to mountain groups and altitudinal levels, based on biophysical and vegetation indices in correlation with climatic conditions.

Achieving the proposed goal involved fulfilling the following objectives:

- analyzing the climatic conditions in the study area, particularly air temperature and atmospheric precipitation, which dictate the distribution of vegetation in the territory;
- calculating climatic indices to analyze meteorological factors for 11 weather stations within and near the study area;
- processing satellite images to generate remote sensing index maps specific to mountain groups and altitudinal levels;
- analyzing grassland vegetation based on the numerical values of remote sensing indices according to mountain groups and altitudinal levels.

The working methodology was staged according to Figure 2.

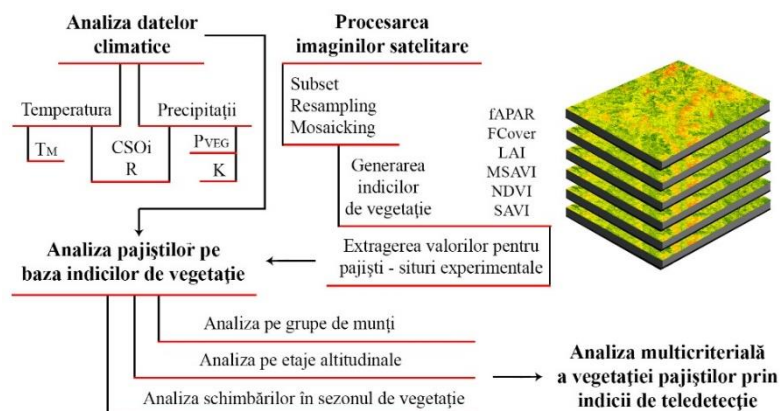


Figure 2 Working Methodology

The research in this chapter is based on representative grassland areas (test-zones) located in each of the three distinct mountain groups, namely the Banat Mountains, Poiana Ruscă Mountains, and the Meridional Carpathians, Retezat-Godeanu Group, distributed across altitudinal levels: 53 – 300 m, 301 – 600 m, 601 – 800 m, 801 – 1000 m, 1001 – 1200 m, 1201 – 1400 m, 1401 – 1600 m, and 1601 – 2473 m.

To capture changes in grassland vegetation, three biophysical indices were applied: The Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (fAPAR), Fraction of Vegetation Cover (FCover), and Leaf Area Index (LAI), as well as three vegetation indices: Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) during different

periods of 2022: 22.03, 16.05, 15.07, 08.09, 18.10. Field visits were made during each period to assess the state of vegetation, coverage degree, and usage mode of the grasslands.

To highlight the climatic characteristics of the study area, data were collected from 11 meteorological stations, and 5 climatic indices and indicators were applied.

The Compensated summer ombrothermic index (CSOI) shows that low areas have subhumid conditions (CSOI 3.0 – 5.5), while high areas and depressions have a humid climate (CSOI > 5.5).

The values of the Mayer Tetragram (TM) are higher in low areas and at the mountain base (20–22.58°C), favoring steppe and forest-steppe vegetation and decrease at high altitudes (up to 8.50°C above 2000 m).

The sum of precipitation in months with an average temperature >10°C (PVEG) - at low altitudes (up to 200 m), 70% of annual precipitation falls between April-October; at high altitudes (over 2000 m), only July and August contribute with approx. 30% of annual precipitation.

For the Lang Rainfall Index (R), values are very high in mountainous areas, indicating a humid climate, under the specific conditions of 2022.

For the Angot Monthly Rainfall Index (K), maximum values are recorded in April, May, September, occasionally in August and October, and minimum values in the winter months (December, January, February). K values increase in spring and autumn months, indicating periods of intense meteorological activity.

The combined use of the six indices (fAPAR, FCover, LAI, NDVI, SAVI, and MSAVI) is essential for a detailed, precise, and comprehensive characterization of grassland vegetation. These indices provide diverse and complementary information about plant productivity, leaf density, and ecosystem health, facilitating continuous monitoring and assessment of vegetation changes over time and in the long term.

The fAPAR index measures the fraction of solar radiation absorbed by live leaves for photosynthesis, indicating the efficiency of light absorption by plants.

In March, fAPAR values are low, suggesting reduced photosynthetic activity at the beginning of spring. Values increase significantly in summer and autumn months, indicating high photosynthetic activity. An extension of the growing season is observed due to favorable climatic conditions.

Cluster analysis of the fAPAR index shows that there are differences and similarities among the analyzed mountain groups. Vegetation at high altitudes (over 1000 m) shows significant similarities, while below 1000 m, similarities are influenced by local conditions. The Banat Mountains and Poiana Ruscă Mountains show vegetative similarities up to 600 m altitude, and fAPAR values are similar at altitudes above 1001 m in all mountain units.

The fCover index measures the percentage of land surface covered by green vegetation and is essential for assessing biomass, net primary productivity, and grassland ecosystem health. It is also useful in grazing management, monitoring grassland degradation, and optimizing grassland management.

In 2022, FCover values increased from early spring (March) to mid-autumn (October), indicating an improvement in vegetative coverage and vegetation health.

Hierarchical grouping of FCover index values shows four major clusters of similarity, indicating similar vegetative conditions between different mountain groups and altitudinal levels. The Poiana Ruscă Mountains and the Banat Mountains exhibit vegetative similarities up to 600 m altitude, and the upper levels of the mountains have similar FCover values.

The LAI index measures the leaf area per unit of soil surface and is essential in ecology and agronomy for monitoring vegetation growth and productivity. LAI is correlated with green biomass and photosynthetic yield, providing an indirect measure of grassland productivity and allowing the identification of seasonal changes and long-term trends.

Seasonal changes reflected by the LAI index show that at the beginning of spring (March), LAI values are low, indicating reduced vegetative cover. By October, values increase, reflecting improved vegetative cover and vegetation health.

The percentage distribution of LAI values is different during the analyzed period. In March, most areas have very low LAI values (0.0-1.0). In May and July, values increase significantly, indicating active vegetation growth. In September and October, LAI values remain high but start to decline slightly.

The upper levels of the Meridional Carpathians and the Banat Mountains have similar LAI values at altitudes above 1201 m. At altitudes between 1001 - 1200 m, LAI values are similar in all analyzed mountain groups. Grassland vegetation below 1000 m shows similar LAI values among them but differs from other clusters.

MSAVI is a spectral index that improves vegetation measurement by reducing the influence of soil on remote sensing data. MSAVI is applied to monitor vegetation health, assess productivity, map grasslands, and detect changes in vegetation cover.

Regarding seasonal changes reflected by MSAVI values, in spring (March), they are low, indicating reduced vegetative cover. In autumn (October), values are higher, reflecting dense and healthy vegetation. This increase suggests a recovery of vegetation after September rains and a vegetative growth of plants in autumn.

In spring, MSAVI values indicate the beginning of the growing season. In summer, a significant improvement in vegetation health is observed. In autumn, high MSAVI values suggest mature and fully developed vegetation, supported by rains and the extension of the growing season.

Cluster analysis of the MSAVI index shows that mountainous regions can be divided into two main sub-clusters, one at altitudes of 53 - 1200 m and another at altitudes of 1201 - 2473 m, each with similar MSAVI values. A secondary cluster includes regions with different vegetation values or unique environmental conditions, highlighting ecological diversity depending on altitude and local conditions.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) is used to estimate vegetation biomass, being an essential indicator for grazing management, grassland productivity assessment, and agricultural planning.

Regarding seasonal variation, at the beginning of spring (March), NDVI values are low, indicating sparse or non-existent vegetation. By May and July, NDVI values increase, indicating a significant improvement in vegetation. In September and October, NDVI values remain high, suggesting dense and healthy vegetation.

Cluster analysis of NDVI shows two major groups. The first group includes regions at altitudes between 601-800 m and the upper levels (above 1201 m), suggesting different vegetation values or unique environmental conditions. The second group includes the rest of the regions, subdivided according to altitude and region, with subgroups in the Banat Mountains, Poiana Ruscă Mountains, and the Meridional Carpathians.

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) is a spectral index used to measure vegetation density and condition, adjusting the influence of soil reflectance.

Seasonal variation of the SAVI index shows that in March, SAVI values range from -1.0 to 0.25, suggesting unfavorable conditions for vegetation. By May and July, values increase, indicating a significant improvement in vegetative conditions, with ranges 0.26 to 0.50 and 0.51 to 0.75 becoming dominant. In September and October, SAVI values remain high, indicating dense and healthy vegetation.

Cluster analysis of the SAVI index reveals two main clusters, one at altitudes between 1001 - 1200 m and another at higher altitudes, with similar SAVI values, indicating comparable ecological conditions. The lower cluster, consisting of sub-clusters at varying altitudes, suggests greater variability of SAVI values, influenced by altitude and local climatic conditions.

In the Banat Mountains, vegetation shows a high degree of similarity up to 600 m altitude, a slight differentiation between 601 - 800 m, a clear differentiation between 1001 - 1200 m, and a change in characteristics at altitudes above 1200 m. In the Poiana Ruscă Mountains, vegetation differentiates slightly between altitudinal levels 53 - 300 m, 301 - 600 m, and 600 - 800 m, and vegetation above 1001 m distinctly differs from the lower levels. In the Retezat-Godeanu Group of the Meridional Carpathians, there are clear differentiations between the vegetation of levels 53 - 300 m and 301 - 600 m, slight differentiations between 601 - 1000 m, clear differentiation between 1001 - 1200 m, and a change in characteristics at altitudes above 1200 m. Vegetation is similar in all mountain groups at an altitude of 1001 - 1200 m and has very similar characteristics at altitudes above 1200 m. Similar characteristics of vegetation in the Poiana Ruscă Mountains are generally found one level lower in the Banat Mountains and the Retezat-Godeanu Group of the Meridional Carpathians.

Chapter 5 of the thesis is entitled "**Analysis of grasslands under the impact of socio-economic changes in the study area**". The purpose of the research presented in this chapter was divided into two directions: (1) evaluating the impact of human population reduction on grasslands, in time and space, with direct and/or indirect implications in their exploitation, and (2) studying grasslands through SWOT and TOWS analysis to highlight their characteristics, both physical-geographical and socio-economic.

To achieve the research goals, the following objectives were set:

- analysis of human population dynamics, at the ATU level, in time and space;
- analysis of grassland area dynamics, at the ATU level, in time and space;
- assessment of the relationship between grasslands and the human population and the changes occurring over time and space, based on the Grassland Anthropoc Impact Index (GAII);
- SWOT and TOWS analysis of grasslands in the study area.

The research methodology is presented in Figure 3.

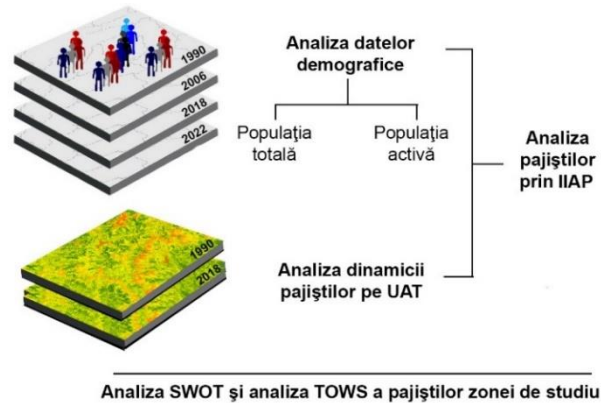


Figure 3 Research Methodology

In this section of the work, the evolution of the number of inhabitants (total population and active population), the evolution of grassland areas at the ATU level, the correlation between demographic data and grassland areas (through the Grassland Anthropic Impact Index – GAI), and aspects related to the impact of socio-economic factors on grasslands (SWOT analysis, complemented by TOWS analysis) were analyzed.

In the research of this section, the analysis of the total number of inhabitants was conducted for the period 1990 – 2022, to highlight trends up to the current period. The analysis of grasslands and the GAI (which involves the total and active population) was conducted for the period 1990 – 2018, the last year with available data for grassland areas in the CLC database.

The analysis of the population evolution between 1990 - 2022 shows a significant decrease in the population in the study area, caused by the cessation of industrial and mining activities, as well as internal and external migration.

Between 1990 - 2006, the population decreased by 6.5%, with varied reductions in different ATUs, with the largest decreases in the communes of Bunila, Lunca Cernii de Jos, Cerbăl, Bătrâna, and Cireșu. Between 2006 - 2018, the population continued to decline, although some communes saw increases due to the development of tourism activities.

Between 2018 - 2022, the population continued to decrease, with minor increases in some ATUs.

The total population decreased by 18.94% between 1990 and 2022. The active population also decreased by 12.84% during the analyzed period, with increases in a few communes but significant reductions in mountainous areas and those without jobs.

The analysis of grassland area evolution between 1990 and 2018 in the mountainous study area reveals significant changes:

- in five of the analyzed ATUs, respectively 4.0% of the total, the grassland area increased by over 100%: Ocna de Fier, Ilovița, Ezeriș, Oravița, Ciuchici, in Caraș-Severin county;
- in 3 ATUs, the grassland area increased by between 75 - 100%, and in 3 ATUs, it increased by between 50-75%;
- in 13% of the analyzed ATUs, grassland areas decreased by more than 25%; the largest grassland areas were lost in: Sichevița (72%), Berzasca (50%), Pietroasa (49%), Gârnic (47%), Bănița (44%).

These changes are caused by factors such as natural afforestation due to abandonment, conversion to agricultural or arable land, and the recovery of land for grazing and mowing due to financial incentives. These changes can affect biodiversity, as Romanian grasslands host the highest biodiversity in Europe.

The analysis of grassland dynamics through the Grassland Anthropic Impact Index (GAI) highlights how the human population influences the use and exploitation of grasslands. The GAI, expressed in hectares per inhabitant, was used to evaluate the grassland area available for each total and active inhabitant (of working age), identifying regional disparities and the effects of population reduction on grassland exploitation.

Between 1990-2018, the GAI varied significantly:

In 1990, GAI values ranged between 0.0005 ha/inhabitant and 9.046 ha/inhabitant, with an average of 0.817 ha/inhabitant. The lowest values were recorded in peripheral and depression areas, while the highest values were in mountainous areas with few inhabitants.

In 2018, GAI values ranged between 0.014 ha/inhabitant and 8.245 ha/inhabitant, with an average of 1.171 ha/inhabitant. Higher values were due to the reduction in the number of inhabitants.

For the active population, GAI values in 1990 ranged between 0.0008 ha/inhabitant and 12.495 ha/inhabitant, with an average of 1.258 ha/inhabitant, and in 2018 between 0.02 ha/inhabitant and 14.08 ha/inhabitant, with an average of 1.884 ha/inhabitant.

The increase in grassland areas per inhabitant during the analyzed period was mainly due to the decrease in the number of inhabitants.

The SWOT and TOWS analysis of grasslands in the study area are essential tools for evaluating the current and future potential of grasslands, as well as for developing planning strategies based on specific data. SWOT analysis focuses on internal factors (strengths and weaknesses) and external factors (opportunities and threats), highlighting the main defining elements of grasslands. The TOWS analysis extends the SWOT analysis, examining the four components in pairs to provide future solutions and strategies. This includes four main strategies: SO (Maxi-Maxi): using strengths to maximize opportunities; ST (Maxi-Mini): using strengths to minimize threats; WO (Mini-Maxi): minimizing weaknesses by taking advantage of opportunities; WT (Mini-Mini): minimizing weaknesses and avoiding threats.

The SWOT and TOWS analyses applied to the grasslands in the study area highlighted that the grasslands in the analyzed area have significant potential due to typological diversity, multiple exploitation, and biodiversity conservation, supported by subsidies and traditional practices. However, there are major challenges, including depopulation, underutilization, poor infrastructure, and low incomes, amplified by vulnerability to environmental conditions and climate change. Funding and tourism development opportunities could counterbalance these threats but require appropriate investments and strategies to be effective.