BOGDAN ANDREI MIHAI

TELEDETECȚIE

Volumul I



Introducere în procesarea digitală a imaginilor

editura universității din bucurești

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Bogdan Andrei Mihai

TELEDETECŢIE

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Bogdan Andrei Mihai

TELEDETECŢIE

Vol. I

Introducere în procesarea digitală a imaginilor

MBD 356120
BD 356121
g 260

editura universităţii din bucureşti
2007

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

BIBLIOTECA CENTRALĂ UNIVERSITARĂ
BUCUREȘTI
COTA II 484 811
48/08

Referenți științifici: Prof.univ.dr. Mihai GRIGORE
Prof.univ.dr.ing. Constantin NIȚU

© editura universității din bucureşti
Şos. Panduri, 90-92, Bucureşti – 050663; Telefon/Fax: 410. 23. 84
E-mail: editura_unibuc@yahoo.com
Internet: www.editura.unibuc. ro

B.C.U. Bucuresti
C20080175

Au colaborat:
Asist. drd. Ionuț SĂVULESCU (grafică, subcapitolul 5.7)
Drd. Ionuț ȘANDRIC (subcapitolele 3.1.1, 3.2.4, 3.2.9, 3.2.11, 4.2, 5.7,8)

Coperta: Ionuț SĂVULESCU, Bogdan MIHAI
Tehnoredactare computerizată: Meri POGONARIU

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
MIHAI, ANDREI BOGDAN

Teledetecție / Bogdan Andrei Mihai – Bucureşti: Editura Universității din Bucureşti, 2007

vol.

ISBN 978-973-737-364-9
Vol. 1: Introducere în procesarea digitală a imaginilor – 2007 – Bibliografie – ISBN 978-973-737-365-6

528.8

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

CUVÂNT ÎNAINTE

Teledetecția este unul dintre domeniile geotehnologiilor cu cea mai accelerată dinamică în ultimele trei-patru decenii. De la lansarea primilor sateliți de teledetecție s-au scurs peste 40 de ani, timp în care senzorii s-au diversificat la nivel tehnic, iar imaginile obținute s-au perfecționat la nivel de rezoluție și nu numai. Imaginile satelitare și-au găsit utilitatea în cele mai diverse domenii, de la științele naturii, geografiei, geologie, ecologie etc., la domenii de mare importanță socială, economică și politică (agricultură, urbanism, resurse, urbanism și amenajarea teritoriului sau riscuri și hazarde naturale). Posibilitățile oferite de noile aplicații software au mărit potențialul acestor date, tot mai utilizate încă din anii 80 în cadrul Sistemelor Informaționale Geografice.

De la apariția primei cărți de la noi destinată exclusiv acestor tehnici, în 1979, s-au scurs aproape trei decenii, perioadă în care contribuțiile de acest tip au fost rare și orientate mai mult către teoretizări, relativ sărace în imagini și exemple de aplicații. În schimb, literatura internațională este extrem de bogată, în lucrări teoretice (Jensen, 1986, Sabins, 1997, Lillesand, Kiefer, Chipman, 2004 etc.), dar mai ales în studii de mare valoare științifică, apărute mai ales în marile jurnale de specialitate. Realizările, progresele în domeniul teledetecției sunt atât de evidente, încât se tinde spre o specializare a diferitelor direcții de cercetare.

Teledetecția a devenit un obiect de studiu de mare interes în universitățile de pe întreg Globul. La Facultatea de Geografie a Universității din București, aceast curs se predă permanent din 1972, prin contribuția statornică a prof. dr. Mihai Grigore, fondatorul laboratorului de specialitate. Din anul 2003, s-au inițiat teme de laborator bazate pe procesare digitală de imagini, asemeni multor facultăți de renume din Europa, SUA și Canada .

Lucrarea pe care o propunem se dorește a fi o modestă contribuție la promovarea domeniului teledetecției în literatura științifică din România. Interesul studenților, doctoranzilor și al colegilor în a se iniția în utilizarea imaginilor digitale ne-a determinat să scriem o carte pe care o dorim utilă. Este un manual, un îndreptar, care deschide doar calea către problemele specifice exploatării imaginilor. Accesul la imagini Landsat prin intermediul arhivei Global Land Cover Facility, găzduită de Universitatea din Maryland din SUA, a avut un rol esențial, fără de care această carte nu ar fi apărut.

Cartea dorește să deschidă seria unor lucrări, de inițiere în domeniile teledetecției, fotogrammetriei, analizei imaginilor și SIG, de o reală necesitate în contextul științific și tehnologic actual. Ea nu ar fi fost posibilă fără ajutorul valoros oferit de către colegii mei, Ionuț Șandric și Ionuț Săvulescu, dar și al profesorului dr. Mihai Ielenicz, care ne-a sprijinit total în dezvoltarea noului laborator de teledetecție și în promovarea noilor tehnici de lucru.

Autorul

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Cuprins

1. Introducere 9

1.1. Spectrul electromagnetic. Aplicații practice în teledetecție 9
1.2. Radiațiile electromagnetice și raportul cu suprafața terestră 13
1.3. Comportamentul spectral al vegetației, solului și apelor. Aplicații în teledetecție 14

2. Imagini satelitare Landsat ETM+. Aplicații geografice 19

2.1. Caracteristici ale sistemelor de teledetecție LANDSAT 19
2.2. Imaginile satelitare LANDSAT ETM+. Elemente de interpretare geografică 21
2.3. Interpretarea geografică a unei subscene satelitare LANDSAT ETM 24
2.4. Combinații de benzi LANDSAT ETM+. Aplicații în cercetarea geografică 38

3. Procesarea digitală a imaginilor de teledetecție. Aplicații pe imagini Landsat.. 62

3.1. Rectificarea/repararea imaginilor 63
3.1.1. Corecții geometrice ale imaginilor (geocorecții) 63
3.1.2. Corecții radiometrice 70
3.3.3. Eliminarea distorsiunilor. Reconstituirea imaginilor 84
3.2. Perfecționarea imaginilor 87
3.2.1. Îmbunătățirea contrastului 88
3.2.2. Diferențierea tonurilor de culoare (density slicing) 104
3.2.3. Filtrarea imaginilor. Întărirea contururilor 105
3.2.4. Întocmirea mozaicurilor digitale 112
3.2.5. Exploatarea stereoscopică 113
3.2.6. Vizualizarea tridimensională 115
3.2.7. Transformările cromatice 116
3.2.8. Combinații pansharpened 121
3.2.9. Analiza componentelor principale (PCA) 127
3.2.10. Rapoarte de benzi. Elemente de matematică spectrală 134
3.2.11. Indici normalizați de diferențiere 140

4. Clasificări pe imagini satelitare multispectrale 158

4.1. Clasificarea nesupervizată 159
4.2. Clasificarea supervizată 162
4.3. Clasificările mixte 171

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

5. Analiza schimbărilor pe imagini satelitare (Change Detection)..... 173

5.1. Analiza vizuală comparativă a imaginilor multitemporale 174
5.2. Diferențierea imaginilor multitemporale 177
5.3. Rapoartul de imagini multitemporale 179
5.4. Analiza bazată pe regresia lineară..... 179
5.5. Analiza vectorilor de schimbare 181
5.6. Analiza prin componente principale a schimbării..... 182
5.7. Diferențierea selectivă a clasificărilor de pixeli din imaginile multitemporale 184

6. Aplicații ale imaginilor în Sistemul Informațional Geografic (SIG)..... 189

6.1. Elaborarea hărților satelitare 189
6.2. Vizualizarea combinată a datelor generate în SIG cu imaginile 191
6.3. Elaborarea hărților vegetației și utilizării terenului 193
6.4. Vizualizarea combinată cu date de topografie (Modele Numerice Altitudinale). Integrarea datelor de teledetecție în analize SIG 196
6.5. Integrarea datelor de teledetecție în analize SIG 197

Bibliografie..... 207

Resurse internet..... 208

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

1. INTRODUCERE

1.1. Spectrul electromagnetic. Aplicații practice în teledetecție

Teledetecția, definită ca domeniu tehnic preocupat de identificarea, măsurarea, înregistrarea, vizualizarea și analiza caracteristicilor obiectelor și fenomenelor de pe suprafața terestră (și a altor corpuri cereşti), este o sursă obiectivă de informații pentru domeniul geografie și științele Pământului, în general.

Informațiile de teledetecție sunt stocate în primul rând sub forma **imaginilor obiectelor şi fenomenelor**. Aceste reprezentări, indiferent de formatul lor, sunt rezultatul înregistrării răspunsului obiectelor și al fenomenelor din natură, în urma interacțiunii lor cu radiația solară (*sistemele de teledetecție pasivă*) sau cu radiații generate artificial și controlate sub raportul parametrilor caracteristici (*sisteme de teledetecție activă*).

Indiferent de sistemul tehnic utilizat, teledetecția are la bază radiațiile elecromagnetice, mai precis o parte a acestora, care sunt în fapt purtătoare de informație geografică, recompusă și vizualitată în imagini (fotografice sau nefotografice, după principiu).

Spectrul electromagnetic (fig. 1.1) reunește toate intervalele de lungimi de undă detectabile și măsurabile de către om cu diferite mijloace. Dintre aceste numai o parte pot fi recompuse sub forma imaginilor ce fac obiectul interpretării geografice.

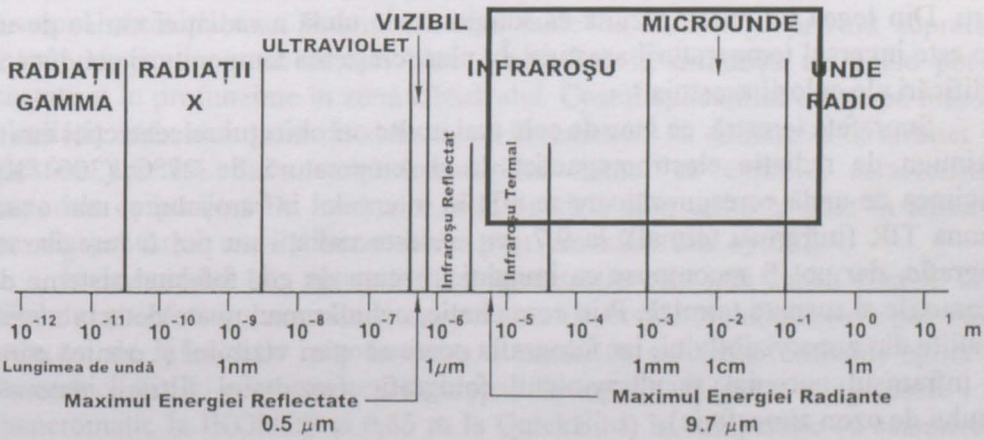


Fig. 1.1 **Spectrul electromagnetic și segmentele cu aplicații în teledetecție – reprezentare schematică** (după Sabins, 1997, cu completări)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Intervalele spectrului sunt separate orientativ şi doar în raport cu sistemele tehnice de măsurare şi înregistrare, respectiv vizualizare. Viteza de propagare a radiaţiilor electromagnetice este o constantă numită şi viteza luminii ($c = 3x\ 10^8$ m/s, raportat la vidul extraatmosferic). Acesta este produsul dintre lungimea de undă şi frecvenţa ($c = \lambda\upsilon$). Cu cât lungimea de undă este mai mică, frecvenţa este mai mare. În practică, lungimile de undă mai mici sunt mai uşor de detectat şi nu necesită amplificări şi modificări. În acest fel, radiaţiile vizibile şi infraroşii sunt mai uşor de detectat decât microundele. Ultimele fac obiectul detecţiei cu senzori optici, termici sau radiometrici. Microundele sunt mult mai folosite în detecţia activă care se bazează pe emisii controlate de radiaţii în vederea explorării obiectelor şi fenomenelor din natură.

În domeniul teledetecţiei, cele mai multe sisteme de senzori acoperă un interval limitat din spectru. Acesta cuprinde domeniile :

- Vizibilului (0,4-0,7μm unde 1 $\mu m = 10^{-6}$ m).
- Infraroşului apropiat, mijlociu şi termal (0,7-14 μm).
- Microundelor sau undelor RADAR (0,1-100 cm).

Teledetecţia se bazează pe emisia de energie a tuturor corpurilor (obiecte, fenomene) la temperaturi mai mari de zero absolut (0°K = – 273° C). Energia radiantă totală a acestora este exprimată de legea Stefan-Boltzmann, prin expresia:

$$M = \sigma T^4,$$

unde:

M – energia radiantă totală (W),

σ – constanta Stefan-Boltzmann ($5,6697\times 10^{-8}$ W/m2°K^4),

T – temperatura absolută a obiectului (°K).

Din relaţia de mai sus rezultă că emisia energetică este direct proporţională cu temperatura absolută a corpului. Valoarea maximă este caracteristica unui corp negru. Din legea lui Wien rezultă că lungimea de undă a radiaţiei emise de un corp este inversul temperaturii acestuia. În plus, creşterea temperaturii conduce la modificări ale culorii acestuia.

Suprafaţa terestră, ce face de cele mai multe ori obiectul teledetecţiei emite maximum de radiaţie electromagnetică la o temperatură de 27°C (300 °K). Lungimea de undă corespunzătoare se află în intervalul infraroşului şi mai exact în zona TIR (infraroşu termal), la 9,7 μm. Aceste radiaţii nu pot fi înregistrate fotografic, dar pot fi recompuse ca imagini în scara de gri, folosind sisteme de radiometrie şi scanare termică. Prin comparaţie, ochiul uman poate detecta numai radiaţiile din zona vizibilului, iar fotografia poate acoperi vizibilul şi o mică parte din infraroşul apropiat şi ultravioletul fotografic (rezultatul filtrării datorate stratului de ozon atmosferic).

Captarea, înregistrarea şi vizualzarea radiaţiilor în teledetecţie depinde în bună măsură de *mediul atmosferic*, caracterizat prin neomogenitate.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Comortamentul radiațiilor electromagnetice depinde de lungimea lor de undă, intensitate și condițiile atmosferice. De exemplu radiațiile vizibile nu pot trece prin masele de nori, în schimb cele infraroșu termal și mai ales microundele pot penetra masele de nuclee de condensare, cristale de gheață și vapori de apă. Atmosfera acționează în direcția absorbției și difuziei radiațiilor, însă prima caracteristică influențează decisiv procesul teledetecției și mai ales al celei satelitare, din spațiul extratmosferic. În acest caz au fost evidențiate ferestrele atmosferice, respectiv acele intervale de lungimi de undă care pot penetra masa atmosferei, fără a fi absorbite de vapori de apă, ozon, dioxid de carbon etc. (Fig.1.2). Esențiale sunt ferestrele care corespund radiațiilor ce pot fi detectate și recompuse în imagini de teledetecție, și anume cele ale vizibilului (0,4-0,9 μm), infraroșului termic unde radiația poartă informații privind căldura corpurilor (3-5 și 8-14 μm) și ale microundelor folosite în sisteme active de tip RADAR (1mm-1m).

În procesul teledetecției, sistemele de senzori au fost adaptate în raport cu ferestrele atmosferice care permit captarea radiației purtătoare de informații privind imaginea și proprietățile obiectelor de pe suprafața terestră (sau a altor planete sau sateliți naturali care prezintă învelișuri gazoase similare atmosferei terestre). Stabilirea senzorilor necesari captării radiațiilor luminoase și nu numai, depinde în principal de zona spectrală de sensibilitate a acestuia, prezența sau lipsa ferestrei atmosferice corespunzătoare și de obiectele și fenomenele de pe suprafața terestră care fac obiectul teledetecției și care au un anumit răspuns spectral, ele constituind surse de radiații.

În fig.1.2 se observă modul în care sistemele de senzori s-au adaptat ferestrelor atmosferice. Cele mai multe acoperă aplicații în vizibil, unde și captarea se realizează mai ușor ca urmare a transmisiei atmosferice ce depășește 80-90% și chiar se apropie de 100% la ultravioletul filtrat de ozon și albastru. Principalii senzori combină aplicațiile aferente vizibilului cu cele ale infraroșului, în scopul obținerii unui volum cât mai mare de informații privind suprafața terestră. Vegetația poate fi mai bine evidențiată în infraroșu iar apele pot fi detectate și în profunzime în zona albastrului. Costul aplicațiilor crește pe măsură ce radiația este mai greu de detectat și înregistrat, ca urmare a absorbției în atmosfera terestră. Este cazul infraroșului termal ce exprimă caracteristici caloriceale corpurilor. De asemenea, microundele sunt utilizate doar în anumite zone ale spectrului, unde și transmiterea prin atmosferă este optimă.

În ansamblul lor, aplicațiile de teledetecție cele mai multe sunt în aria vizibilului și infraroșului, unde scannerele multispecrale și radiometrele pot capta maximum de informație prin fereastra atmosferică existentă. Senzorii optici și radiometrici au aici putere de rezoluție spațială superioară (poate atinge peste 1 m în pancromatic la IKONOS și 0,65 m la QuickBird) în comparație cu scannerele termice (60 m la LANDSAT ETM+) dar mai ales cu cei radar (25-100 m, maximum 8 m la Radarsat 1).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

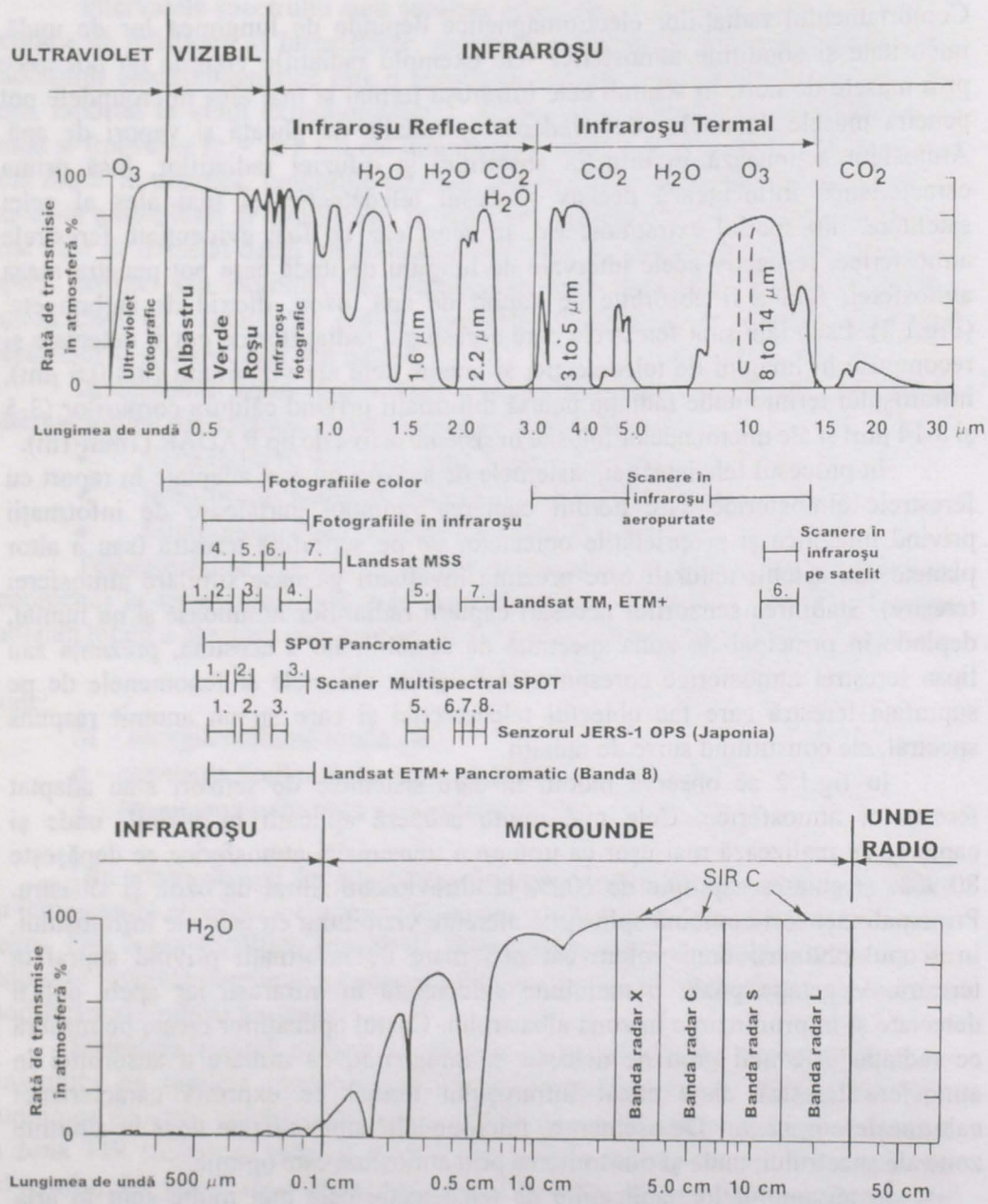


Fig. 1.2. **Zonele spectrale şi principalele sisteme de senzori şi ferestre atmosferice** (după Sabins, 1997)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

1.2. Radiațiile electromagnetice și raportul cu suprafața terestră

Radiația electromagnetică are rolul de purtător de informații în teledetecție. Sistemele tehnice se bazează pe comportamentul radiațiilor incidente pe suprafața terestră. Cele mai multe aplicații utilizează radiația solară incidentă, iluminarea pe cale naturală fiind caracteristica teledetecției pasive cu scannere, radiometre și camere de televiziune.

Radiația Solară intră în contactcu suprafața terestră, care este un mediu neomogen . Reflexia, absorbția și difuzia în atmosferă sunt procesele ce rezultă la trecerea luminii silare prin atmosferă către obiectele și fenomenele de pe suprafața terestră. Din procesul difuziei sau transmisiei prin atmosferă rezultă iluminarea acesteia și imaginea cerului albastru, în lipsa norilor.

Comportamentul obiectelor este diferit în raport cu radiația solară incidentă pe suprafața lor. Acesta depind de proprietățile fizice ale lor și de condițiile locale. De exemplu vegetația absoarbe în mare măsură lungimile de undă ale albastrului și roșului dar le reflectă pe cele din zonele verde și infraroșu, în funcție de calitatea clorofilei. Apa poate permite trecerea și reflecarea lungimilor de undă ale albastrului dar le absoarbe pe cele ale infraroșului atunci când ea este curată sau conține numai sedimente minerale.

Reflectanța este caracteristica obiectelor ce compun mediul terestru de a reflecta o parte a radiației solare incidente în direcția senzorului de teledetecție, în funcție de proprietățile lor fizice și chimice. Ea stă la baza celor mai folosite sisteme de teledetecție, a celor optice mai ales,care produc imagini în care peisajul poate fi vizualizat și analizat tocmai în raport cu aceste caracteristici. Reflectanța se exprimă prin relația :

$$\rho_\lambda = E_{R\lambda} / E_{I\lambda} \times 100 ,$$

unde:

ρ_λ – reflectanța exprimată în procente (%),

$E_{R\lambda}$ – energia radiației luminoase reflectată (W),

$E_{I\lambda}$– energia radiației luminoase incidentă (W).

Obiectele din natură iluminate de către Soare răspund diferit în aceeași zonă spectrală. De exemplu, în infraroșu poate fi observată diferențadintre pădurea de foioase și cea de conifere. În vizibil, diferențierea dintre acestea se face mai mult pe baza formei coroanelor arborilor izolați. Culoarea este un element de diferențiere doar în anumite momente ale anului ca primăvara și toamna, în zona temperată.

Culoarea percepută de ochiul uman, este rezultatul variațiilor de reflectanță pe care corpurile le au în cele trei zone de bază ale spectrului vizibil (albastru,verde și roșu). Din combinarea celor trei lungimi de undă rezultă imaginea color cu roate nunațele cunoscute. Din combinarea egală a acestora rezultă albul. Cele trei culori aferente spectrului vizibil se mai numesc și culori aditive.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Reflecanța depinde și de rugozitatea, de neuniformitatea suprafețelor luminate. Reflectorii sunt în ansamblu toate surafețele ce reflectă lumina. În natură, aceştia nu sunt omogeni, chiar dacă apparent proprietățile lor fizice şi chimice sun uniforme. Cei perfecți se numesc şi speculative şi nu generează difuzarea luminii (model fizic). Cei mai mulți sunt difuzi şi impun corecții radiometrice în cadrul preprocesării imaginilor de teledetecție. De exemplu apa lacurilor, aparent omogenă duce la difuzarea luminii reflectate ca efect al ondulațiilor de suprafață sau al conținutului în soluții sau suspensii.

În concluzie, suprafața terestră poate fi identificată, cartografiată şi analizată pe baza caracteristicilor spectrale diferite ale obiectelor ce o compun.

1.3. Comportamentul spectral al vegetației, solului şi apelor. Aplicații în teledetecție.

Diferențierea răspunsului spectral al obiectelor şi fenomenelor a impus adaptarea aplicațiilor specifice teledetecției de la sistemele de senzori la algoritmii de analiză şi reprezentare grafică şi cartografică. Imaginile de teledetecție prezintă atât forma obiectelor dar prin rezoluția lor spectrală aduc informații ascunse, codificate în structura obiectului cu anumite proprietăți fizice şu chimice. Fiecare atom sau moleculă are un anumit comportament spectral. Astfel, cele trei elemente de bază ale peisajului pot fi caracterizate din acest punct de vedere.

Vegetația conține clorofilă, substanță pe care se sprijină comportamenul ei spectral. Clorofila absoarbe albastrul şi roşul în vizibil dar tot aici reflectă verdele, în cazul în care plantele nu sunt afectate de poluare (Fig.1.3). În cazul degradării acesteia, răspunsul ei spectral se schimbă deoarece este relectat roşul care în amestec cu verdele produce culoarea galbenă. În infraroşul apropiat şi mijlociu, în intervalul 0,7-1,3 μm, răspunsul spectral al vegetației este mai nuanțat, astfel încât plantele, arborii pot fi diferențiate ca genuri şi câteodată, la rezoluții spectrale mai mari, ca specii (sistemele ASTER, MODIS, NOAA cu ajutorul radiometriei multispectrale sau AVIRIS sau GER cu scannere hiperspectrale). După Bauer citat de Lillesand et al. (2004), reflectanța aparatelor foliare ale arborilor devine maximă în infraroşul apropiat de la opt straturi de frunze în perioada maximului de sezon vegetal.

Detecția vegetației devine ineficientă dincolo de 1,3 μm, ca effect al absorbției radiațiilor de către gazele şi vaporii atmosferici. Umiditatea conținută de vegetație face însă posibilă înregistrarea radiațiilor reflectate în ferestrele 1,4 , 1,9 şi 2,7 μm cu un optim la 1,6 μm. Eficiența procesului depinde de grosimea frunzelor, de volumul de clorofilă stocat între epidermele acestora.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

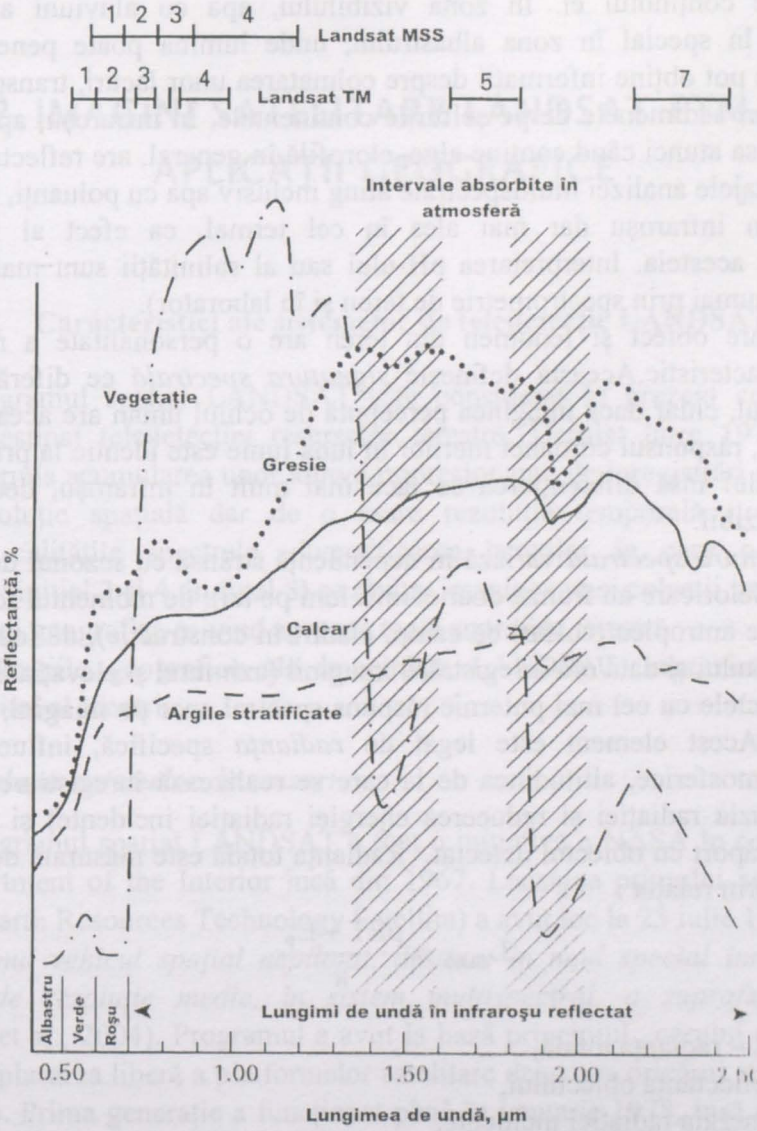


Fig. 1.3 **Reflectanța unor elemente ale peisajlui în raport cu vizibilul și infraroșul** (dupa Sabins, 1997)

Solul sau scoarța de alterare are reflectața condiționată de textură, de procentul de argilă, praf, nisip, de rugozitatea suprafeței și de conținutul în oxizi de fier și substanță organică. Umiditatea mare imprimă de asemenea o reflectanță scăzută. Nisipul și solul nisipos reflectă mult lumina în zona vizibilului, însă solul argilos și scoarța de alterare au o reflectanță mare în infraroșu, între 1,4 și 2,2 μm. Solul organic, turba răspunde mai mult în infraroșu.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Apa are un comportament nuanțat, în funcție de calitățile ei fizice și chimice, de conținutul ei. În zona vizibilului, apa cu aluviuni are o mare reflectanță, în special în zona albastrului, unde lumina poate penetra mediul acvatic și se pot obține informații despre colmatarea unor lacuri, transportul solid al râurilor ori sedimenele de pe șelfurile continentale. În infraroșu, apa absoarbe radiațiile, însa atunci când conține alge, clorofilă în general, are reflectanță relativ mare. Avantajele analizei multispectrale ating inclusiv apa cu poluanți, ce se poate interpreta în infraroșu dar mai ales în cel termal, ca efect al modificării temperaturii acesteia. Interpretarea pH-ului sau al salinității sunt mai dificil de vizualizat (numai prin spectrometrie de teren și în laborator).

Fiecare obiect și fenomen din teren are o personalitate a răspunsului spectral caracteristic.Aceasta definește *signatura spectrală* ce diferă de la un obiect la altul, chiar dacă imaginea percepută de ochiul uman are aceași culoare. De exemplu, răspunsul coroanei merilor în luna iunie este identic la prima vedere cu al prunului însă diferențierea se face mai mult în infraroșu, deci în afara spectrului vizibil.

Signatura spectrală variază în dependență strânsă cu sezonul de vegetație (cazul foioaselor care au frunze doar câteva luni pe an), de momentul fotografierii la elementele antropice (culturi de camp, clădiri în construcție), de localizarea în teren a obiectului și data/ora înregistrării imaginii (azimutul și elevația Soarelui).

Obiectele cu cel mai puternic răspuns spectral apar pe imagini, de regulă, strălucitor. Acest element este legat de *radianța* specifică, influențată de condițiile atmosferice, altitudinea de la care se realizează înregistrarea (de care depinde difuzia radiației și reducerea energiei radiației incidente) și de poziția Soarelui în raport cu obiectul detectat. Radianța totală este măsurată de senzor și se exprimă prin relația :

$$L_{IRAD} = \frac{\rho ET + L_P}{\pi}$$

unde:

L_{IRAD} – radianța totală,
ρ – reflectanța obiectului,
E – energia radiației incidente,
T – transmisia atmosferică a radiației,
L_P – radianța difuză.

Radianța este specifică fiecărui punct de pe suprafața terestră și crește odată cu reflectanța și cu iluminarea Solară. Obiectele cu radianță mare apar în nuanțe dechise care tind către alb atunci când Soarele se află la amiază, la solstițiul de vară și cerul nu prezintă nori. Este cazul nisipurilor care datorită și rugozității suprafeței lor generează radiație difuză.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

2. IMAGINI SATELITARE LANDSAT ETM+ APLICAŢII GEOGRAFICE

2.1. Caracteristici ale sistemelor de teledetecţie LANDSAT

Programul spaţial LANDSAT este considerat în prezent cel mai lung program destinat teledetecţiei resurselor terestre. Derulat între 1972 şi 2002, acesta a permis acumularea unor arhive impresionante de înregistrări satelitare de medie rezoluţie spaţială dar de o mare rezoluţie temporală (trei decenii). Adăugând calităţile spectrale, diversificarea benzilor în care s-au realizat înregistrări (iniţial 3 şi 4, în final 8) se obţine imaginea unei colecţii impresionante de informaţii geografice privind aproape toată suprafaţa terestră.

Aplicaţiile geografice ale imaginilor LANDSAT, reprezintă subiectul acestui capitol al lucrării.

Evoluţia sistemelor de senzori

Programul spaţial LANDSAT a fost o iniţiativă a NASA în colaborare cu US Department of the Interior încă din 1967. Lansarea primului satelit, numit ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellite) a avut loc la 23 iulie 1972. Acesta a fost *primul vehicul spaţial nepilotat, destinat în mod special înregistrărilor repetate, de rezoluţie medie, în sistem multispectral, a suprafeţei terestre* (Lillesand et al., 2004). Programul a avut la bază principiul „cerului deschis", ce prevede deplasarea liberă a platformelor satelitare deasupra oricărui stat şi regiuni de pe Glob. Prima generaţie a funcţionat până în ianuarie 1978, însă din ianuarie 1975 a intrat pe orbită LANDSAT 2, cu o configuraţie similară primului dar cu senzori mai performanţi.

Au existat cinci sisteme de senzori de teledetecţie şi trei generaţii de platforme satelitare, respectiv şapte sateliţi.

Prima generaţie LANDSAT (1,2 şi 3) a cuprins sateliţi ce aveau forma aproximativă a unui fluture, masa de 815 kg, orbita heliosincronă (fig. 2.1.) în plan polar de formă aproximativ circulară cu un timp de parcurgere de 103 minute.

BIBLIOTECA CENTRALA UNIVERSITARA BUCUREŞTI

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

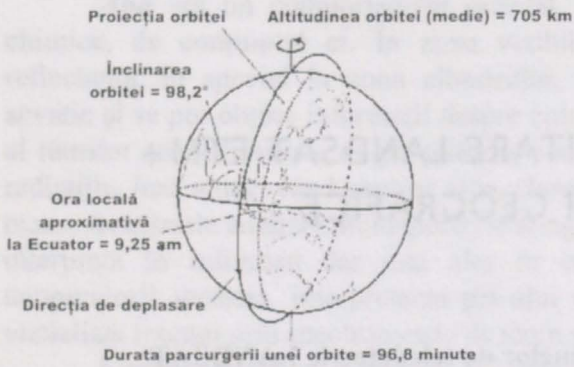


Fig. 2.1 **Orbita heliosincronă a satelitului LANDSAT 7** (după USGS)

Altitudinea de zbor era în medie de 900 km (880-940 km). Senzorii preluau aceaşi înregistrare la un interval de timp de 18 zile, fapt ce însemna repetarea aceleiaşi scene satelitare de 20 de ori în cursul unui an. Orbitele învecinate erau distanțate prin proiecția lor terestră la 2760 km şi se schimbau de la est la vest, odată cu rotația Pământului. Satelitul se afla deasupra Ecuatorului la Ora Solară Locală (9.42), iar direcția de deplasare era nord-sud. Avantajul cel mai mare era trecerea deasupra zonei Ecuatoriale în condiții de cer senin, dimineața când perturbațiile atmosferice erau slabe. În plus, orbita heliosincronă asigura condiții optime de iluminare a suprafeței înregistrate la o viteză constantă a satelitului. Aplicațiile ce folosesc această caracteristică sunt legate de realizarea mozaicurilor de imagini realizate în momente diferite şi în detecția schimbărilor (Change detection). Cu toate aceste se impun calibrări ale senzorului în funcție de efectele topografiei, azimutului şi elevației Soarelui în momentul preluării scenei satelitare.

Senzorii aflați la bordul sateliților de primă generație au funcționat între 1972 şi 1983 şi erau de două tipuri :

- RBV (Return Beam Vidicon) – un sistem de televiziune satelitară dotat cu trei camere TV cu baleiere sau scanare în trei zone ale spectrului (acoperă spectrul vizibil şi parțial infraroşul – albastru/verde, verde/roşu, roşu/infraroşu).
- MSS (Multi Spectral Scanner) – un sistem de scanare multispectrală, acoperind simultan patru benzi spectrale (verde, roşu şi două în infraroşul apropiat şi mediu).

Primul sistem de senzori a funcționat continuu o perioadă scurtă, în iulie-august 1972, când au fost obținute doar 1690 scene satelitare. În rest, el a funcționat cu intermitență fiind purtat la bordul platformei satelitare şi având adesea probleme tehnice. Scenele obținut cu RBV aveau 98 x 98 km în teren, forma fiind pătrată. Patru scene RBV acopereau o suprafață echivalentă cu o scenă MSS. Rezoluția finală a imaginilor era dimensionată la 30 m, prin modificarea distanței focale a obiectivului camerelor.

Scenele satelitare LANDSAT MSS erau realizate prin scanarea simultană în cele patru benzi spectrale. Lipsa benzii albastru nu a permis realizarea de combinații de benzi în culori naturale, fapt pentru care imaginile color MSS sunt doar falscolor. Sunt utilizate pe scară largă şi în prezent mai ales în aplicațiile de

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

detecție a schimbărilor de peisaj. Pentru prima dată, la bordul lui LANDSAT 3 a fost plasat și un sistem de senzori de scanare termică, în banda infraroșului termal, care, însă nu a funcționat din motive tehnice. Rezoluția spațială a imaginilor este de 79 m (aproximativ 80 m), în condițiile unei deschideri maxime a sistemului de oglinzi atașate scannerului, de circa 11°56'. Imaginile rezultate erau matrici formate din 2340 de linii a câte 3240 de pixeli. Dimensiunea reală a pixelului în teren era de 56 × 79 m, ca efect al conturului rezultat din scanarea punct cu punct, pixel cu pixel a suprafeței terenului, de pe orbita nord-sud și de la vest către est. În scop comercial și pentru o mai ușoară utilizare, dimensiunea pixelului din imagine a fost convertită de la 56 × 79 m la 57 × 57 m (aproximativ 60 × 60 m). Pentru fiecare detector se obține o imagine alb-negru, ce corespunde unei benzi spectrale, cu forma de paralelogram și latura de 185 km în teren.

În anul 1984, arhivele LANDSAT vor fi administrate în sistem privat, de către firma EOSAT, după ce, inițial, ele au fost gestionate de către guvernul american, prin administrația oceanelor și atmosferei (NOAA). Arhiva de înregistrări MSS și RBV, a depășit în 1983, 1,3 milioane scene satelitare a căror proces de declasificare era deja început.Din această cauză a fost perfecționat un sistem de nomenclatură a acestor imagini, numit și Worlwide Reference System (WRS). Acesta are ca scop localizarea scenelor LANDSAT în raport cu spațiul terestru, pe trasee de orbite numerotate de la 01 la 251 de la est către vest și linii.

A doua generație LANDSAT (4,5) erau sateliți mai performanți, cu aceeași orbită heliosincronă dar cu plafon de zbor mai coborât, la 705 km, fapt cea permis atât o întreținere mai ușoară cât mai ales creșterea rezoluției spațiale. Orbita de formă aproximativ circulară era înclinată cu 98,2° față de Ecuator (trecerea se realiza zilnic la 9.45). Distanța dintre două orbite alăturate era de 2752 km, la Ecuator și se reducea cptre nord și sud. Sistemul de localizare al scenelor (WRS) are 233 de orbite (path) localizate de la est la vest, prima dintre acestea (001), fiind localizată la meridianul de 64°36'. Deschiderea totală a sistemului de oglinzi, numită și *câmp angular de vedere* (AFOV sau Area Field of View) era de 14°92'.

Scenele satelitare erau obținute cu sisteme de senzori mai performanți decât în generația anterioară (TM, cu șapte benzi spectrale, numerotate prin similitudine cu benzile LANDSAT MSS). Informația era convertită în sisteme de 8 biți (față de numai 6, la înregistrările MSS), imaginile fiind în scară de gri, cu pixeli cuprinși între valorile radiometrice 0 (negru) și 255 (alb). În acest mod, răspunsul spectral al obiectelor și fenomenelor de pe suprafața terestră era mult mai nuanțat.

Scenele satelitare LANDSAT TM (Thematic Mapper) sunt mult îmbunătățite calitativ, în rimul rând datorită rezoluției spațiale de circa 30 m (28,5 m în proiecția SOM-Space Oblique Mercator). În infraroșul termal, aceasta era de

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

120 m. Aceasta a permis şi o acurateţe mai mare a corecţiilor geometrice prin localizarea mai exactă a punctelor de control în teren (GCP). A crescut, de asemenea şi rezoluţia spectrală, prin montarea unui număr mai mare de detectori. La sistemele MSS, existau câte şase detectori pentru fiecare bandă (total 24) iar la TM au fost prevăzuţi 16 detectori/bandă netermală şi patru pentru infraroşul termal (în total 100 de detectori). Aceştia erau amplasaţi în aliniamente , astfel încât primii, pe bază de siliciu şi aliaj InSb erau destinaţii benzilor 1-4 (vizibil, infraroşu apropiat), respective 5-7 (infraroşu mediu/apropiat) iar pe ultimul aliniament erau cei din HgCdTe, sau telurură de cadmiu şi mercur, sensibili la infraroşul termal. Cele şapte benzi spectrale erau de asemenea imagini în scară de gri, preluate prin scanare multispectrală (termică în banda 6), folosind sisteme de oglinzi ajustabile şi dispozitive de calibrare a radiaţiei, respective de sincronizare în procesul de scanare cu deplasarea satelitului pe orbită. Calitativ acestea sunt superioare scenelor MSS şi RBV, şi de aceea sunt utilizate pe scară largă (sistemul TM 5 a funcţionat cu mult peste termenul proiectat, până la sfârşitul anilor 90).

A treia generaţie LANDSAT (6 şi 7) deşi intrată în seviciu relativ târziu, la 15 aprilie 1999, prin LANDSAT 7 (după eşecul lui LANDSAT 6 în octombrie 1993), a adus noi perfecţionări sistemului de senzori şi calităţii imaginilor. S-a asigurat continuitatea misiunilor anterioare, prin menţinerea senzorilor aferenţi benzilor 1-4, 5 şi 7. Sistemul ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) a inclus o nouă bandă, pancromaticul, cu o lăţime mai mare, cuprinzând o mare parte din vizibil (mai mult verde şi roşu), precum şi o parte din infraroşul apropiat. Rezoluţia spaţială a acesteia este de 14,25 m (15 m). În plus, banda 6, a infraroşului termal, a fost înbunătăţită prin dublarea rezoluţiei spaţiale la 58,5m (60 m). Toate cele opt imagini sunt convertite în sistem de 8 biţi, fapt ce permite numeroase operaţii de procesare digitală. Utilităţile de calibrare s-au perfecţionat prin montarea calibratoarelor cu lampă de bord (cu marjă de 5%).

Scenele satelitare din această etapă sunt cele mai bune calitativ. În plus sunt posibile redimensionări ale calităţii spaţiale a datelor multispectrale, prin realizarea unor combinaţii de tip PanSharpened, folosind pancromaticul şi o combinaţie de trei benzi. Rezultă asfel imagini color naturale sau falscolor la rezoluţia de 15 m.

Managementul proiectului LANDSAT a revenit din 1992 în sectorul guvernamental, prin NASA, USAF, dar din 2000, arhivele sunt gestionate de USGS (United States Geological Survey).

Scenele satelitare LANDSAT ETM+ vor face subiectul interpretării geografice, în a doua parte a acestui capitol.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

2.2. Imaginile satelitare LANDSAT ETM+. Elemente de interpretare geografică

Scena satelitară LANDSAT ETM+, poate fi definită drept o suprafață de formă pătrată, în limitele căreia se realizează scanarea simultană și detecția răspunsului spectral al obiectelor și fenomenelor. Prin conversia digitală în sistem de matrice de pixeli, de 8 biți, rezultă imagini digitale, în scară de gri ale acestora, așa cum apăreau ele în momentul preluării scenei. La satelitul LANDSAT 7 se obțin opt imagini, care vor face obiectul interpretării geografice.

Suprafața unei scene satelitare este de circa 34.000 km^2, fapt ce înseamnă o arie mult mai mare decât a unei fotografii aeriene (aerofotogramă).În fapt aceasta ar cuprinde spațiul echivalent ocupat de 1600 de fotograme aeriene de format obișnuit (23 × 23 cm). Imaginile sunt compatibile la rezoluția de 30 m, cu harta topografică la scara de circa 1 : 200.000.

Exploatarea stereoscopică este relativ puțin utilizată. Suprapunerea laterală a scenelor satelitare este de numai 14% la Ecuator și crește spre poli (la 85%). La latitudini mari, de peste 70° se pot obține stereomodele și modele digitale de teren (DEM), cu exagerări de 0,4. Din această cauză, exploatarea topografică a scenelor LANDSAT este pe plan secundar.

Proprietățile spectrale ale imaginilor sunt cele mai importante în diferențierea elementelor din spațiul geografic (Tabelul nr. 1). Comportamentul spectral al obiectelor din peisaj poate fi sintetizat sub forma diagramelor de reflectanță (fig. 2.2).

Cunoașterea personalității spectrale a unui element de peisaj și raportarea la anumite benzi sau combinații de benzi stă la baza celor mai multe aplicații specifice acestor imagini. Obținerea de mozaicuri corectate geometric este un pas necesar realizării de hărți satelitare și tematice (geologice, de vegetație și utilizarea terenului etc.).

Cercetarea fenomenelor terestre presupune alegerea de imagini în condițiile meteo cele mai favorabile. Inundațiile sau erupțiile vulcanice pot fi surprinse doar dacă perioada de revizitare de 16 zile (de parcurgere a 233 de orbite) se corelează cu dinamica fenomenelor.

Din analiza graficului din fig. 2.2, se poate constata pretabilitatea maximă a benzilor infraroșului mediu în analiza vegetației. De asemenea, terenul arat și cel erodat, au reflectanța cea mai mare în banda infraroșului apropiat. Apele, în schimb, răspund cel mai puternic în benzile albastru și verde, în cazul primei benzi fiind și maximul reflectanței apei cu sedimente. Pe măsură ce trecem din spectrul vizibil spre infraroșu, apele absorb radiațiile și pot fi mai ușor diferențiate limitele spațiilor pe care acestea le ocupă (maluri, țărmuri etc.). Elementele antropice, în schimb au o mare reflectanță în primele trei benzi, în zona vizibilului, datorită materialelor de construcții de la petriș și nisip la beton, alcătuit la rândul lui din nisip, petriș, praf de ciment (calcaros sau de altă natură).

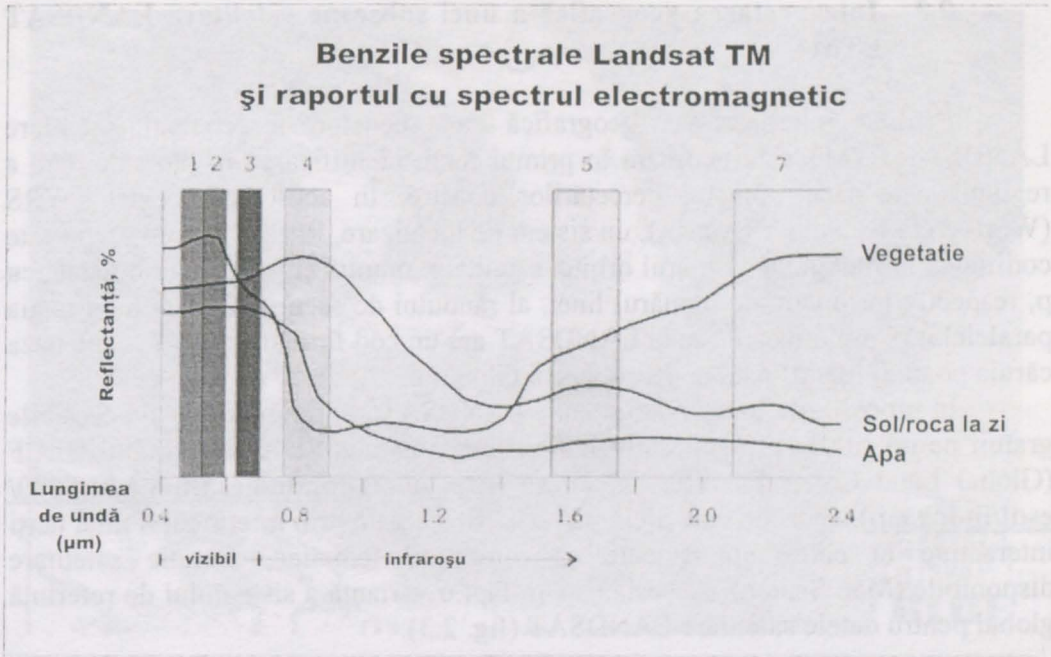
https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Tabelul nr. 1

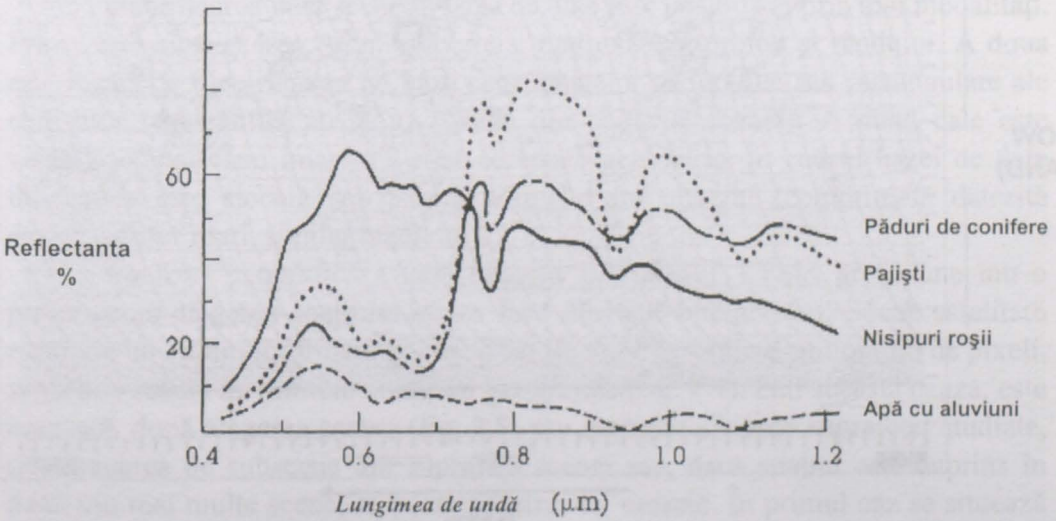
Aplicațiile benzilor LANDSAT ETM+ în interpretarea peisajului
(adaptare după Sabins, 1979, Lillesand et al., 2004 și USGS, 2004)

Banda spectrală LANDSAT ETM+	Lungimea de undă (μm)	Rezoluția spațială (m)	Caracteristici geografice (interpretare)
1. Albastru (B)	0,45-0,52	30	• penetrează apa • utilă în interpretarea zonelor ocupate de apă (râuri,lacuri) și a celor costiere • diferențierea sumară sol-vegetație în funcție de fenofază • identificarea elementelor antropice (așezări,drumuri,diguri,cariere,aeroporturi etc.)
2. Verde (G)	0,52-0,60	30	• se suprapune maximului de reflectanță al vegetației • permite diferențierea calitativă a vegetației • utilă în identificarea elementelor antropice (așezări,drumuri,diguri,cariere,aeroporturi etc.)
3. Roșu (R)	0,63-0,69	30	• se suprapune zonei de maximă absorbție radiativă a clorofilei. • permite deosebirea speciilor de plante • permite identificarea elementelor antropice de peisaj (așezări,drumuri,diguri,cariere,aeroporturi etc.)
4. Infraroșu apropiat (NIR)	0,76-0,90	30	• permite determinarea tipurilor de vegetație. • permite evaluarea productivității biologice și a calității biomasei • permite cartografierea precisă a malurilor de râuri, lacuri și linii de țărmuri. • diferențiază umiditatea din soluri
5. Infraroșul mediu (MIR)	1,55-1,75	30	• diferențiază umiditatea din soluri și vegetație (utilă pentru identificarea excesului de umiditate) • diferențiază zăpada de formațiunile noroase
6. Infraroșu termal (TIR)	10,4-12,5	60	• prezintă proprietățile termice ale corpurilor pe intervale de 2° C. • permite identificarea nivelului de umiditate al solurilor. • permite analiza degradării covorului vegetal. • permite analiza poluării apelor.
7. Infraroșu mediu (MIR)	2,08-2,35	30	• permite diferențierea solurilor și a scoarțelor de alterare, inclusiv a produșilor hidrotermali (minerale,roci utile). • sensibilă la diferența de umiditate de la nivelul vegetației.
8. Pancromatic	0,52-0,92	15	• permite identificarea precisă a limitelor vegetației și a tipurilor de vegetație. • permite interpretarea în detaliu a elementelor antropice de peisaj și mai ales a habitatului. • permite diferențierea solului cultivat de cel dezgolit.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



a.



b.

Fig. 2.2. **Curbe de reflectanță ale unor elemente de peisaj, în raport cu benzile spectrale LANDSAT TM** (după USGS)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

2.3. Interpretarea geografică a unei subscene satelitare LANDSAT ETM+

Pentru interpretarea geografică a scenelor/subscenelor satelitare LANDSAT ETM+ este necesară în primul rând, identificarea în baza de date a regiunii care face obiectul cercetărilor noastre. În acest scop există WRS (Worldwide Reference System), un sistem de localizare, în care fiecare scenă este codificată în funcție de numărul orbitei satelitare, numită și path și simbolizată cu p, respectiv în funcție de numărul linei, al rândului de scene orientate pe direcția paralelelor (row). Fiecare scenă LANDSAT are un cod format din p...r... , pe baza căruia poate fi identificată în cadrul hărții Globului.

În procesul de învățământ, datele LANDSAT și nu numai pot fi accesibile gratuit pe un site aparținând Universității din Maryland/SUA, cu portalul GLCF (Global Land Cover Facility, cu adresa **http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp**). Baza de date aferentă poate fi accesată prin intermediul unei hărți interactive în care sunt stocate ca informații tematice, scenele satelitare disponibile (Map Search). Aceasta este în fapt o variantă a sistemului de referință global pentru datele satelitare LANDSAT (fig. 2.3).

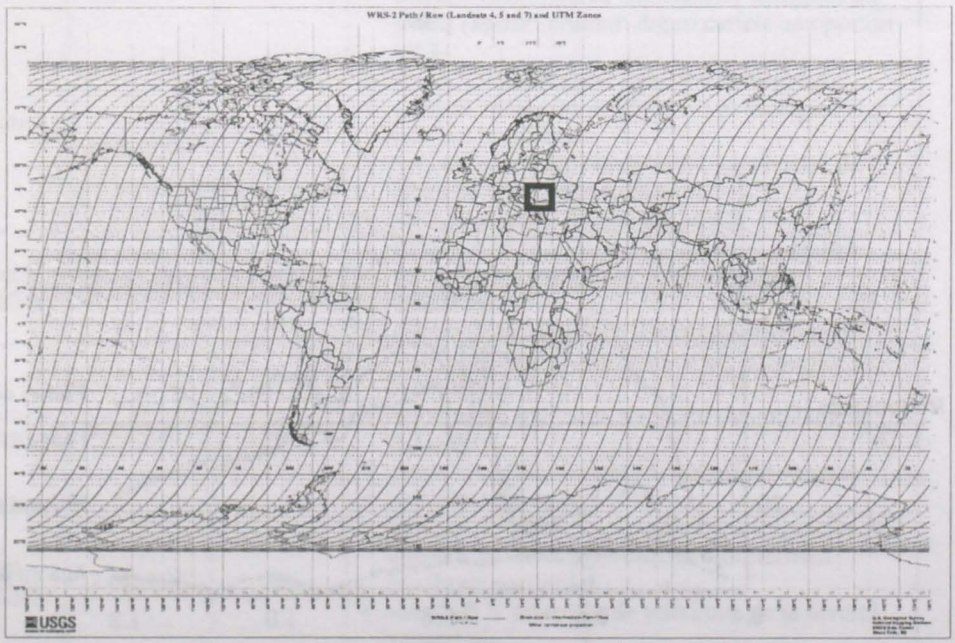


Fig. 2.3 **Harta de referință a WRS, cu traseele orbitelor** (paths) **și rândurilor** (row) **plasate în proiecție UTM** (Sursa USGS-Landsat Project). **Se observă spațiul acoperit de înregistrările LANDSAT. Pătratul indică teritoriul României**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

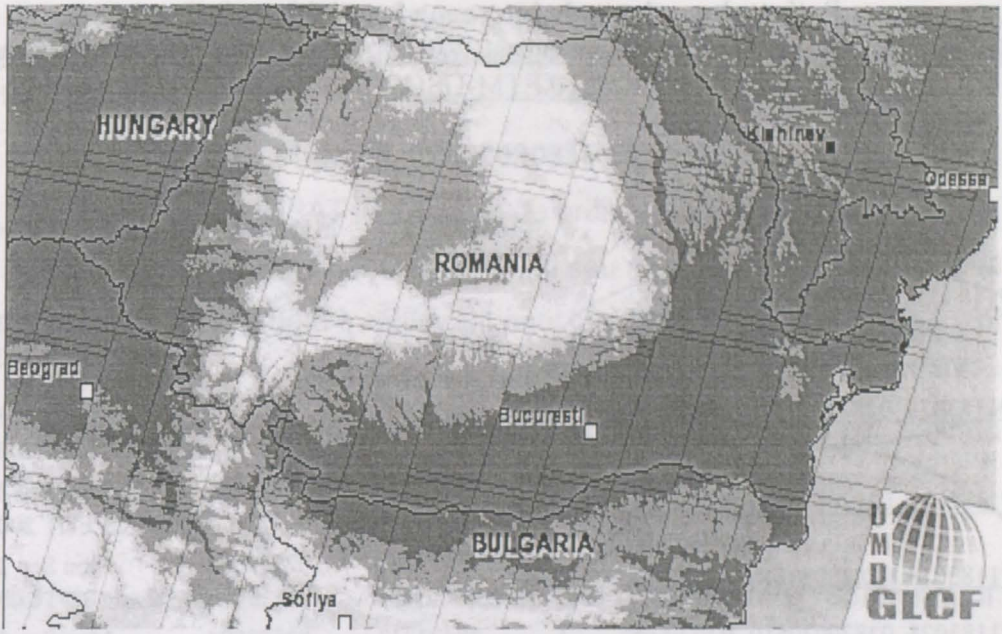


Fig. 2.4 **Teritoriul României şi împărţirea în scene satelitare LANDSAT ETM+. Sursa Global Land Cover Facility, University of Maryland**

Identificarea unei scene în baza de date este posibilă şi prin alte modalităţi. Prima este cunoaşterea codului acesteia, mai exact, a orbitei şi rândului. A doua este legată de identificarea pe baza coordonatelor geografice sau rectangulare ale colţurilor (sunt suficiente două puncte din colţurile scenei). A doua cale este valabilă atunci când imaginile sunt corectate geometric. În cadrul bazei de date informaţia este stocată sub forma arhivelor de imagini (comprimată datorită dimensiunilor mari, similar tabelului 2).

Analiza geografică a unei imagini LANDSAT ETM+ presupune într-o primă etapă alegerea spaţiului ce va face obiectul interpretării. Scena satelitară cuprinde un volum informaţional deosebit de mare de ordinul milionului de pixeli, şi nu ţine seama de limitele unităţilor geografice (fig. 2.4). Din această cauză, este necesară, după alegerea scenei (fig. 2.5) sau scenelor aferente suprafeţei studiate, şi extragerea de subscene din suprafaţa scenei sau, daca spaţiul este cuprins în două sau mai multe scene, se poate construi un mozaic. În primul caz se situează în fapt şi aplicaţia propusă de noi, localizată în Carpaţii Curburii şi Depresiunea Braşov, în cadrul scenei ale cărei date de identificare le-am prezentat în tabelul 2.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Path (calea, adresa de internet a locației imaginii) :
ftp://ftp.glcf.umiacs.umd.edu/glcf/Landsat/WRS2/p183/r028/L71183028_02820020510.ETM-USGS/

Tabelul nr. 2

Fișierul	Mărimea arhivată	Mărimea reală	Momentul stocării în baza de date
L71183028_02820020510.browse.jpg **FISIERE DE CĂUTARE ŞI VIZUALIZARE PRELIMINARĂ**	84337 bytes		Mon Sep 29 15:58:25 EDT 2003
L71183028_02820020510.preview.jpg	5442 bytes		Mon Sep 29 16:02:37 EDT 2003
L71183028_02820020510_B10.tif.gz	24151508 bytes	62533030 bytes	Mon Sep 29 16:03:27 EDT 2003
L71183028_02820020510_B20.tif.gz	25535431 bytes	62533030 bytes	Mon Sep 29 15:59:09 EDT 2003
L71183028_02820020510_B30.tif.gz	28473312 bytes	62533094 bytes	Mon Sep 29 15:59:49 EDT 2003
BENZI SPECTRALE			
L71183028_02820020510_B40.tif.gz	32752650 bytes	62533094 bytes	Mon Sep 29 16:00:56 EDT 2003
L71183028_02820020510_B50.tif.gz	34158255 bytes	62533030 bytes	Mon Sep 29 16:01:49 EDT 2003
L71183028_02820020510_B61.tif.gz	5502861 bytes	15692430 bytes	Mon Sep 29 16:02:10 EDT 2003
L71183028_02820020510_MTL.txt **FISIER METADATA (DATELE IMAGINII)**	6967 bytes		Mon Sep 29 15:57:41 EDT 2003
L72183028_02820020510_B62.tif.gz **BENZI SPECTRALE**	6915704 bytes	15692366 bytes	Mon Sep 29 16:02:25 EDT 2003
L72183028_02820020510_B70.tif.gz	31921277 bytes	62533030 bytes	Mon Sep 29 16:04:33 EDT 2003
L72183028_02820020510_B80.tif.gz **BENZI *SPECTRALE***	110392804 bytes	249225522 bytes	Mon Sep 29 15:56:55 EDT 2003
README.GTF **INSTRUCȚIUNI DE FOLOSIRE, CREDITE**	7352 bytes		Mon Sep 29 15:57:59 EDT 2003

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Modul de codificare al imaginii este compus după structura de mai jos, precizată de către Institute for Advanced Computer Studies, University of Maryland, SUA.

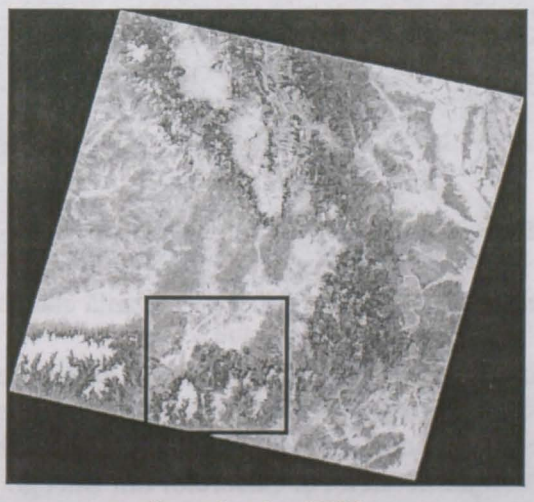
L71183028_02820020510.ETM-USGS

L7/ misiunea LANDSAT 7/ **1/**nivelul de prelucrare (level)/ **183/** numărul orbitei sau path/ **028_/** numărul rândului sau row/ **028/** numărul rândului sau row **/20020510/**data înregistrării-anul,luna,ziua**./ETM/** tipul de senzor-**USGS/**managerul proiectului

Fiecare bandă spectrală este o imagine digitală, în sistem 8 biți, stocată sub forma unui fişier arhivat, după următorul sistem.

L71183028_02820020510_B20.tif.gz

L7/ misiunea LANDSAT 7/ **1/**nivelul de prelucrare (level)/ **183/** numărul orbitei sau path/ **028_/** numărul rândului sau row/ **028/** numărul rândului sau row **/20020510/**data înregistrării-anul,luna,ziua/ **B20/** numărul benzii (aici banda 2, verde 0,52-0,60μm)/ **tif./**extensia fişierului imagine/**gz/**situația fişierului (arhivat)



a. Scena Landsat ETM+ L71183028_02820020510.ETM-USGS (183×170 km)



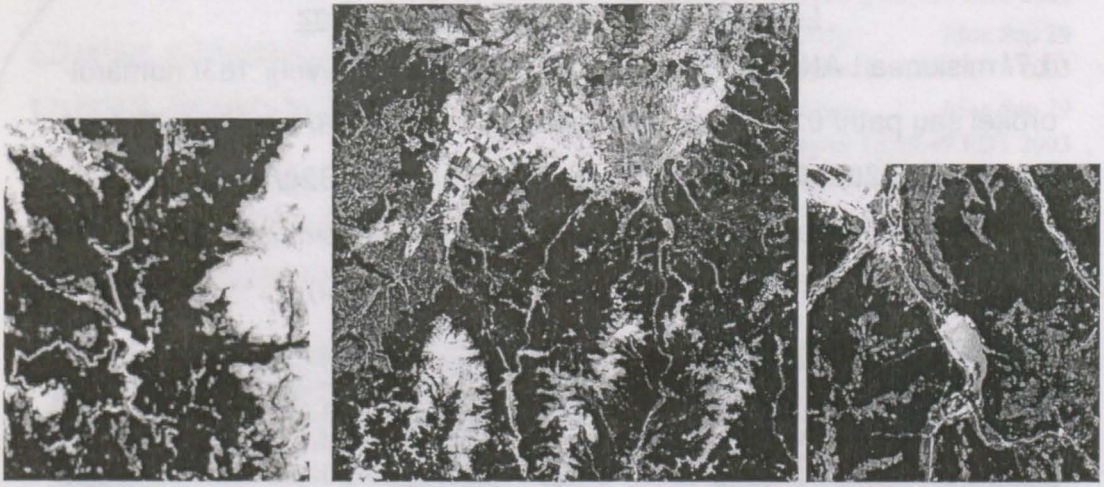
b. Subscena LANDSAT ETM+. Vestul Carpaților Curburii, sudul Depresiunii Brașov

Fig. 2.5 **Extragerea unei subscene în vederea interpretării geografice**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Interpretarea presupune analiza separată a benzilor spectrale la nivel individual şi comparativ, pentru spaţiul ales anterior. Scopul este legat de alegerea celor mai utile benzi şi combinaţii de benzi pentru analiza peisajului în ansamblu sau la nivel de componente (vegetaţie, morfodinamică, geologie, ape, aşezări sau utilizarea terenurilor). Analiza are ca finalitate fie studiul geografic regional, cât mai ales rezolvarea unor probleme practice legate de amenajarea teritoriului, gestiunea unor fenomene de risc, dinamica structurilor spaţiale etc. Un element însemnat pentru aceste aplicaţii îl reprezintă şi momentul înregistrării scenei. În cazul de faţă, al scenei p183r 28, data înregistrării este de 05 mai 2002, iar ora este aproximativ 7.30 (ora locală). Imaginea este de primăvară, în care aspectul fenofazelor vegetaţiei impune diferenţieri în raport cu imagini din alte anotimpuri. Alegerea trebuie să ţină cont şi de acest aspect.

Banda 1 (albastru)



L. Bolboci **L. Târlung**

Fig. 2.6 **Subscena LANDSAT ETM+. Banda 1, spectru vizibil, albastru**

Analiza geografică a imaginii în zona albastrului (fig. 2.6) prezintă câteva aspecte caracteristice:

- lacurile (v. detaliul) se pot interpreta mai ales în raport cu gradul de colmatare sau conţinutul în aluviuni al cuvetelor; prin comparaţie se poate observa conţinutul mic de aluviuni al cuvetei lacului Bolboci de pe V. Ialomiţei, situat în aria conglomeratelor şi calcarelor din Bucegi.
- o separare clară între pădure (tonurile cele mai închise) şi terenul neacoperit de pădure, ce permite delimitarea depresiunilor şi bazinetelor depresionare – Braşov, Sinaia, Teşila, Cheia, Platforma Branului etc. şi a etajului subalpin de cele forestiere.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- sunt evidente văile importante situate pe contacte structurale şi petrografice (Prahova, Doftana, Teleajen etc.) datorită răspunsului spectral puternic al aluviunilor din lunci.
- aşezările sunt uşor de separat în raport cu pădurile, mai ales pe văi (Sinaia, Predeal) şi mai dificil la contactul cu terenurile arate din depresiune (Braşov); în egală măsură se pot identifica drumurile în păduri sau barajele de pe Ialomița sau Tărlung.
- zăpada şi norii sunt elemente evidente în etajul subalpin şi alpin, dar nu pot fi separate (Bucegi) în această imagine.
- albiile minore sunt greu de definit, ca urmare a dimensiunii lor dar mai ales ca efect al penetrării maselor de apă încărcate cu sedimente.

În concluzie, banda 1 permite separarea vegetației şi a elementelor antropice de cele naturale, dar mai ales oferă posibilitatea analizei gradului de colmatare şi batimetriei cuvetelor lacustre.

Banda 2

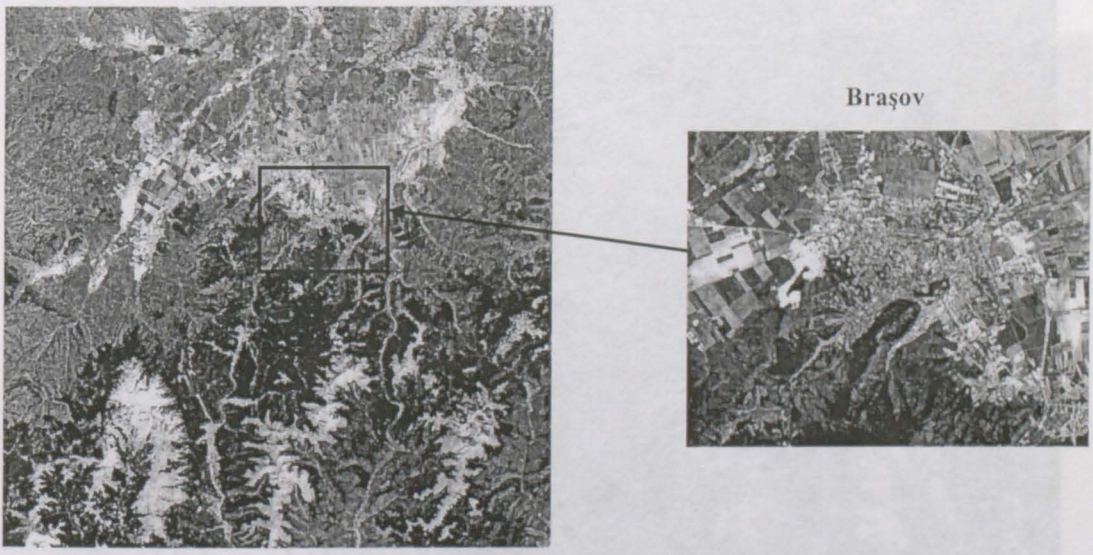


Fig. 2.7 **Subscena LANDSAT ETM+. Banda 2, spectru vizibil, verde.**

Analiza geografică a imaginii în zona verdelui (fig. 2.7) prezintă câteva aspecte caracteristice:

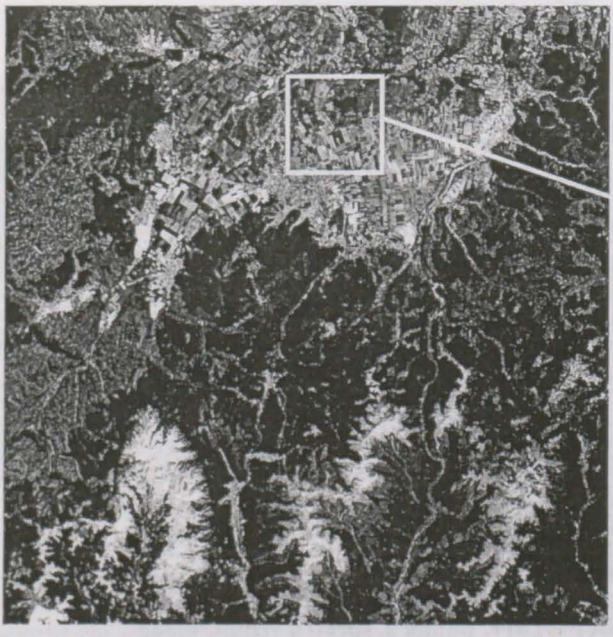
- datorită răspunsului clorofilei, de culoare verde, vegetația forestieră se prezintă mult mai nuanțat decât în banda albastrului, astfel încât pot fi deosebite pădurile de foioase ce apar cu un ton deschis de cele de conifere, ce apar cu un ton de culoare închis; explicația poate fi legată şi de calitatea clorofilei ce diferă de la foioase la conifere.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- vegetația forestieră este mai ușor de diferențiat și în raport cu pajiștile subalpine/alpine dar și cu terenurile agricole (în mare pare arate în această perioadă, în Depresiunea Brașov).
- diferențierea elementelor antropice și mai ales a așezărilor în raport cu vegetația, inclusiv în cazul vetrelor din depresiune, unde signatura spectrală a construcțiilor este ceva mai nuanțată comparativ cu terenul agricol (Brașov, Săcele, Codlea, Bod etc.).
- albiile râurilor sunt de asemenea ușor identificabile, mai ales în spațiul montan, unde răspunsul spectral al aluviunilor în raport cu pădurea este evident.

În ansamblu, banda 2 este prima în care vegetația forestieră tinde să se diferențieze, ca urmare a răspunsului diferit al clorofilei. Așezările umane sunt în același timp ușor de diferențiat, mai ales în raport cu vegetația și chiar cu terenul cultivat.

Banda 3



Arealul Sânpetru-Hărman



Fig. 2.8 **Subscena LANDSAT ETM+. Banda 3, spectru vizibil, roșu**

Analiza geografică a imaginii în zona roșului (fig. 2.8) prezintă câteva aspecte caracteristice, dintre care se pot menționa :

- diferențierea evidentă a vegetației forestiere în raport cu cea ierboasă, și culturile agricole, pe fondul unei absorbții diferențiate a radiației de către clorofilă.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- delimitarea clară a terenurilor arate (imaginea este datată 5 mai) în raport cu cele înierbate, tot ca urmare a absorbției lungimilor de undă din zona roşu de către vegetația ce conține clorofilă.
- delimitarea evidentă a spațiului montan de Depresiunea Braşov, pe fondul contactului tranşant, tectonic şi de eroziune dintre cele două trepte de relief, marcat de diferențe de vegetație şi de utilizarea terenurilor (în munte sunt pădurile, în depresiune predomină culturile agricole).
- o separare clară a habitatului în raport cu celelalte forme de acoperire a terenului, în special în raport cu pădurile (Sinaia, Buşteni, Cheia etc.) dar şi față de terenurile agricole (Braşov, Săcele, Râşnov şi multe sate din depresiune ca Bod, Feldioara, Sânpetru, Ghimbav etc.).

Banda 4



Zona Prejmer-Lunca Câlnicului



Fig. 2.9 **Subscena LANDSAT ETM+. Banda 4, spectru invizibil, infraroşu apropiat**

Analiza geografică a imaginii în zona infraroşului apropiat (fig. 2.9), prezintă câteva aspecte caracteristice, dintre care se pot menționa :

- datorită reflectanței mai mari, vegetația forestieră apare diferențiată cel mai clar în foioase (tonuri deschise-păduri de fag, fag şi gorun, de stejar pedunculat în M.Perşani de sud şi M. Întorsurii) şi conifere (molid şi mai puțin larice şi brad, cu tonuri închise, în masivele Bucegi, Baiului-vest, Piatra Mare şi Postăvaru la peste 1000-1100 m).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- delimitarea pajişti-păduri este mai neclară pe fondul slabei consistenţe a vegetaţiei ierboase în raport cu pădurile de foioase şi cele de conifere.
- reflectanţa mare la nivelul pădurilor de foioase arată o masă vegetală densă, compactă şi viguroasă în condiţiile fenofazei incipiente din perioada lunii mai (astfel se pot realiza evaluări preliminarii asupra consistenţei vegetaţiei şi productivităţii de biomasă, deoarece frunzele conţin mai multă clorofilă decât acele).
- sunt uşor de evidenţiat plantaţiile de pin şi molid la altitudini joase, de numai 550-900 m, de pe foste terenuri defrişate situate în jurul aşezărilor (Tâmpa, Lempeş, Joaderele Mari, Dealul Cetăţii la Râşnov, Highiş la Săcele); în egală măsură sunt evidente şi unele inversiuni de vegetaţie, menţinute de topoclimatul de depresiune şi bazinete închise (V. Timişului, Noua-Dârste, nordul platforme Branului, parţial în M. Întorsurii); aceste apreciere necesită, însă documentare în teren, deoarece, plantaţiile de conifere au fost destinate în ultimii 200 de ani, stabilizării unor terenuri intens degradate, cu substrat permeabil, de calcare, gresii, conglomerate.
- absorbţia infraroşului de către apă, la suprafaţă, face imposibilă penterarea luciului de apă, asemeni albastrului şi mai puţin verdelui, fapt ce devine deosebit de util în analiza microreliefului albiilor de râuri sau cuvetelor lacustre (apa apare în ton foarte închis şi astfel devin evidente malurile albiilor, meandrele, ostroavele, belciugele, popinele, braţele părăsite la fel ca în cazul Oltului în aval de Lunca Câlnicului).
- banda infraroşului apropiat este prima în care terenurile răspund diferenţiat în funcţie de conţinutul în umiditate, de adâncimea pânzei de ape freatică ; cele mai evidente situaţii pot fi urmărite în cadrul Depresiunii Braşov, unde terenul cultivat din aria piemontană (Piemontul Săcele, Câmpul Frumos de pildă) este mai uscat şi apare cu tonuri închise, pe fondul marii permeabilităţi a pietrişurilor şi nisipurilor ; la polul opus se află albiile majore (luncile) Oltului, Bârsei, Râului Negru, Hămăradiei sau Tărlungului şi Timişului, ce apar în afara albiei minore cu tonuri deschise ca urmare a excesului de umiditate evident (sunt clare şi ariile subsidente din lungul Râului Negru, în dreapta imaginii, dar şi cea de la Prejmer-Lunca Calnicului, unde au fost create reţele de drenuri şi canale similare unor poldere).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

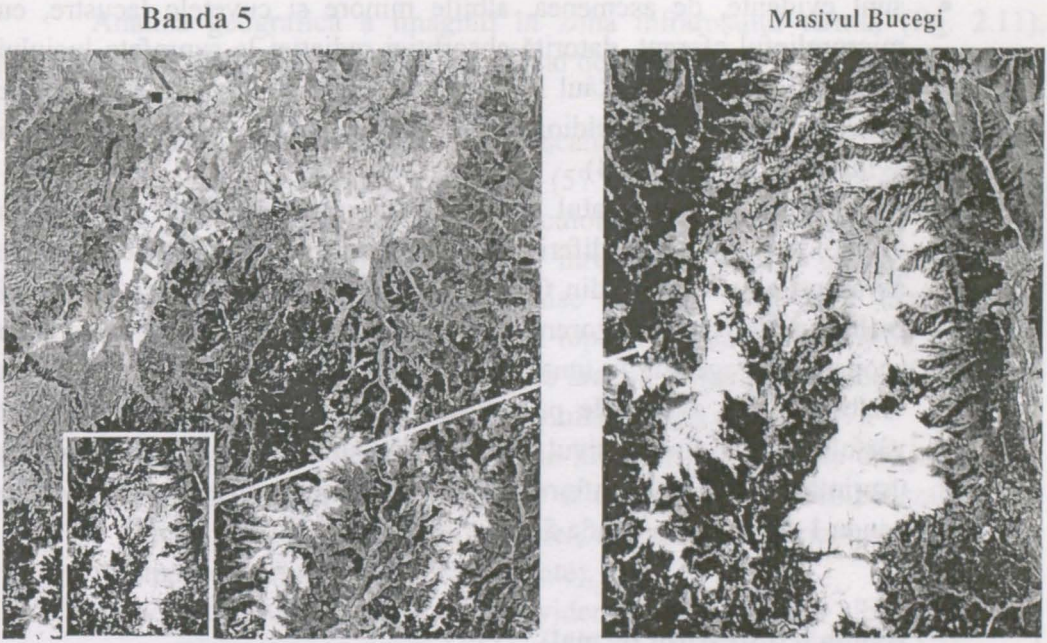


Fig. 2.10 **Subscena LANDSAT ETM+. Banda 5, spectru invizibil, infraroşu mijlociu**

Analiza geografică a imaginii în zona infraroşului mijlociu (fig. 2.10), prezintă câteva aspecte caracteristice, dintre care se pot menționa :

- diferențierea vegetației forestiere în foioase şi conifere este de asemenea clară şi în această secțiune a spectrului infraroşu, ca urmare a reflectanței mari de la nivelul foioaselor şi conținutului diferențiat de umiditate al masei vegetale (volumul de apă reținut de frunze este mai mare decât cel stocat în acele coniferelor); astfel se explică de ce foioasele apar în tonuri deschise, iar coniferele în tonuri închise.
- umiditatea solului este cel mai bine evidențiată în această bandă spectrală, astfel încât terenurile cu exces de umiditate sau cu apa freatică aproape de suprafață, apar prin tonuri deschise (se pot observa pajiştile subalpine din munții Baiului, Grohotiş, Ciucaş sau Bucegi care sunt umede, saturate în apă, în luna mai, după ce zăpada s-a topit sau stagnează pe suprafețe umbrite, favorabile solifluxiunilor); un caz similar sunt luncile râurilor din depresiune, ca Oltul, Râul Negru sau Bârsa, unde tonurile deschise arată apropierea freaticului (în egală măsură, în partea terminală a unor piemonturi, apar tonuri ceva mai dechise la nivelul parcelelor arate sau înverzite, fapt ce arată apropierea liniei de izvoare de la marginea piemonturilor, ca în cazul Piemontului Săcele la sud de Hărman, ori al Piemontului Sohodol, către V. Pârâului Mare).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- sunt evidente, de asemenea, albiile minore şi cuvetele lacustre, cu microrelieful aferent, datorită absorbţiei radiaţiei la suprafaţa luciului de apă (Oltul, Bârsa, Râul Negru, lacurile de pe Tărlung sau iazurile piscicole de la Bod-Feldioara sau Codlea apar cu negru, ceva mai evident decât în banda 4).
- se diferenţiază clar stratul de zăpadă în raport cu norii şi ceaţa, ca urmare a conţinutului diferit de umiditate; pe Platoul Bucegi sau pe abrupturile structurale din Ciucaş, zăpada remanentă apare cu tonuri închise pe talveguri de torenţi şi ogaşe, în raport cu terenul umed, slab acoperit cu vegetaţie în luna mai, iar în Baiu-Neamţu şi Grohotiş sunt vizibile nişele nivale de pe interfluvii (norii sunt prezenţi în jurul vârfului Omu din Masivul Bucegi, dar sunt subţiri şi penetraţi cu uşurinţă de radiaţiile infraroşului mediu, fapt pentru care ei apar în banda 1 şi lipsesc în banda 5).

Banda 6 (infraroşu termal)

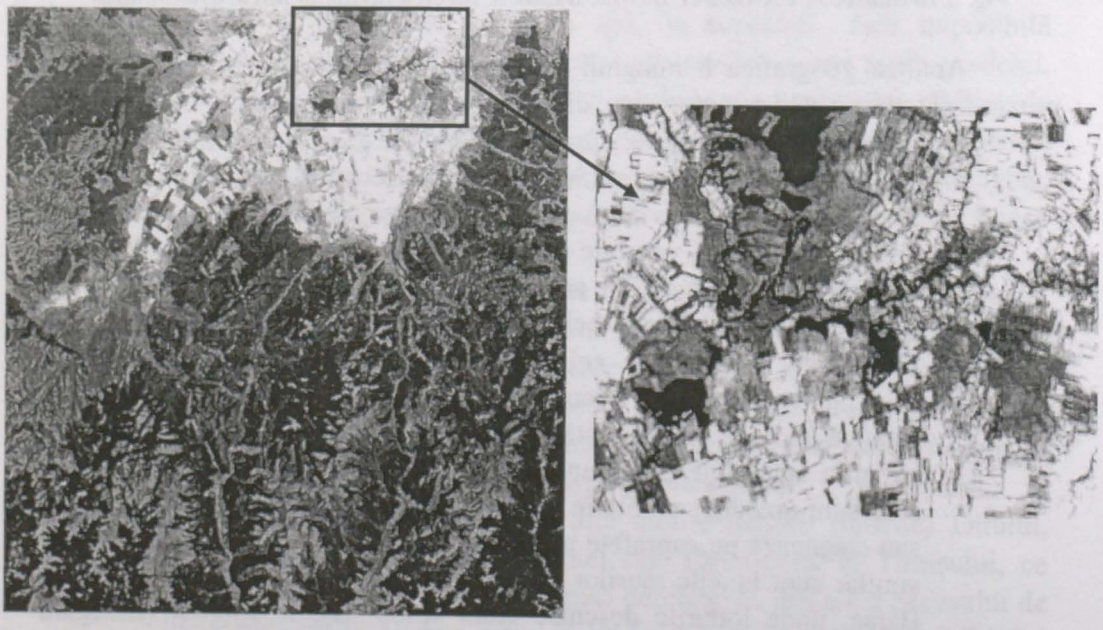


Fig. 2.11 **Subscena LANDSAT ETM+. Banda 6, spectru invizibil, infraroşu termal**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Analiza geografică a imaginii în zona infraroşului termal (fig. 2.11), prezintă câteva aspecte caracteristice, radical deosebite în raport cu celelalte benzi dintre care se pot menționa:

- tipul special de sensor destinat scanării termice permite obținerea unei imaginii de rezoluție mai mică (57 m nominal, aproximativ 60 m) în care diferențele de tonuri de culoare exprimă potențialul caloric şi termic al corpurilor din spațiul înregistrat; tonurile deschise exprimă suprafețe calde iar cele închise pe cele reci, fapt exprimat de diferențierea pădurilor ce au un topoclimat umed şi răcoros, în raport cu terenul cultivat, în mare parte arat cu orizonturi molice şi ocrice de culori relativ închise ce absorb multă energie calorică.
- aşezările apar evident mai calde în raport cu pădurile din jur (Valea Prahovei, Braşovul) ca urmare a emisiei calorice considerabile din încălzirea locuințelor, trafic rutier, activități industriale etc. (la fel se impun şi drumurile sau căile ferate).
- norii din jurul vârfului Omu, evidenți în banda 1 sau albastru nu mai apar, ca urmare a penetrării lor totale în acest interval spectral ; în mod similar, zăpada apare cu tonuri foarte închise pe platoul Bucegi şi în văile de abrupt sau în nişele nivale din Baiu şi Grohotiş, ca urmare a temperaturii sale reduse, în apropiere de zero grade.
- umiditatea din soluri modifică potențialul termic al acestora, asfel încât terenul cu exces de umiditate apare mai rece decât cel uscat (golurile montane recent descoperite de zăpadă sau arealele umede din Depresiunea Braşov – pe Râul Negru sau în aria Prejmer-Lunca Calnicului).
- starea vegetației, este un alt element uşor de evidențiat în această bandă spectrală, prin diferențele de ton ce exprimă uscarea pădurilor ca urmare a poluării (pădurile sănătoase apar cu tonuri închise, însă cele poluate sunt vizibile prin tonuri deschise, ca efect al absorbției calorice şi temperaturii mai mari); datorită rezoluției spațiale mici, astfel de areale sunt greu de observat, dar apar pe suprafețe limitate mai ales în jurul aşezărilor sau în lungul drumurilor.
- albiile râurilor şi suprafețele lacustre sunt vizibile prin ton foarte închis, la fel ca în toate benzile din zona infraroşului, ca urmare a potențialului termic al apei, cu un microclimat total diferit de cel al pădurilor (Tărlung) sau terenului agricol (Feldioara).
- în cadrul aşezărilor se diferențiază uşor parcurile şi gradinile de construcții, pe fondul unui potențial termic deosebit.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Banda 7

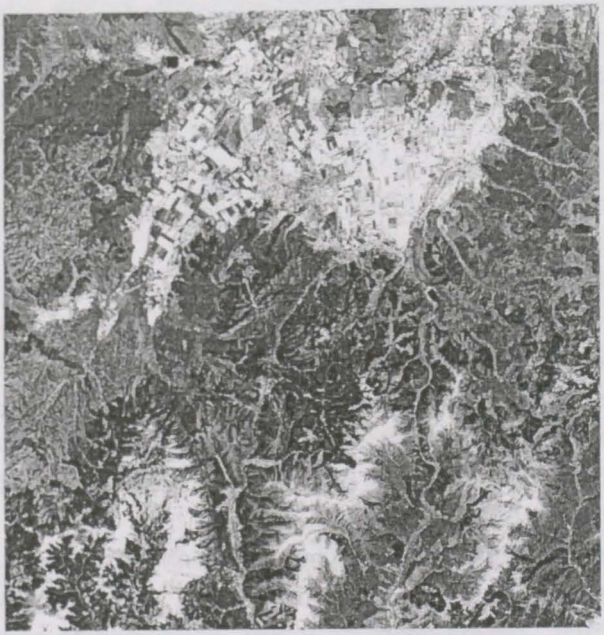


Fig. 2.12 **Subscena LANDSAT ETM+. Banda 7, spectru invizibil, infraroşu mijlociu**

Analiza geografică a imaginii în zona infraroşului mijlociu, banda 7 (fig. 2.12), prezintă câteva aspecte caracteristice, dintre care se pot menţiona :

- o diferenţiere clară a suprafeţelor acoperite de vegetaţie în raport cu cele dezgolite, ca urmare a diferenţei de conţinut de umiditate.
- separarea pădurilor de conifere în raport cu cele de foioase, de asemenea în funcţie de volumul de apă reţinut în coronamentul arborilor (banda se pretează şi separării pădurilor de amestec de fag şi conifere).
- solul şi scoarţele de alterare argiloase se pot diferenţia prin reflectanţ mai mare în raport cu cele bogate în materie organică (pot fi observate în golurile montane din munţii suprapuşi flişului care generează depozite de alterare argiloase ca cele din Baiu, Grohotiş sau M. Întorsurii, uşor de observat în luna mai când vegetaţia ierboasă este puţin consistentă, prin tonurile de gri dechis-alb).
- în aria depresionară, prezenţa solului arat ce conţine produse de alterare este evidentă prin tonurile apropiate de alb, care devin cenuşii în arealele cu exces de umiditate, unde solul hidromorf şi turba eutrofă (Oltul la Hărman-Prejmer sau Râul Negru au orizontul superficial sărac în argile dar bogat în materie organică.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- delimitarea calcarelor este legată de tonul de culoare alb (Bucegi-Piatra Arsă, în raport cu flișul în tonuri de cenușiu deschis, de regulă puternic alterat și acoperit de deluvii și soluri).
- zăpada este în tonuri închise și bine diferențiată de masele noroase.
- în cadrul așezărilor sunt ușor de diferențiat spațiile verzi și gradinile în raport cu elementele construite, ca efect al diferențelor de umiditate (similar se pot delimita vetrele de localități mai ales în raport cu pădurea și chiar drumurile și căile ferate în raport cu terenurile agricole arate).
- terenurile erodate au reflectanță mare și se pot contura cel mai ușor în raport cu pădurile, de aceea se pot localiza amplasamente de stâne și târle vechi sau de cabane legate prin drumuri și poteci degradate în golurile montane subalpine din Baiu, Ciucaș, Bucegi, Grohotiș sau Clăbucetele Predealului (Taurului, Azugii, Diham, Piatra Arsă).

Banda 8 (pancromatic)



Fig. 2.13 **Subscena LANDSAT ETM+. Banda 8, pancromatic (rezoluția 14,25 m)**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Analiza geografică a imaginii în banda 8, pancromatic (fig. 2.13) prezintă câteva aspecte caracteristice, dintre care se pot menționa:

- rezoluția de circa 15 m, face posibilă identificarea unui volum dublu de detalii în raport cu benzile anterioare, dintre care se pot aminti structura și textura așezărilor, tramele stradale majore (Brașov), construcțiile din beton fiind mai evidente prin signatura spectrală în raport cu cele din cărămidă și țiglă, parcurile și gradinile, ravene și ogașe, alunecările areale (M. Întorsurii sau M. Grohotiș), solifluxiunile din M.Baiului cu forma de văluriri pe mase vechi de alunecare, cabane și stâne ; se pot diferenția și arterele rutiere după însemnătate prin signatura spectrală mai evidentă la cele importante față de cele secundare sau chiar căile ferate în zona gărilor mari și triajelor (Brașov).
- rezoluția spectrală acoperă intervalul mai larg dintre verde, în vizibil și infraroșul apropiat inclusiv, în zona invizibilului, fapt ce permite în egală măsură delimitarea pădurii de conifere de celelalte terenuri (pajiști, culturi, așezări) dar și a apelor de suprafață și arealelor umede (zone de subsidență ca Prejmer-Lunca Calnicului sau Râul Negru).
- zăpada persistentă apare cu alb ca urmare a prezenței benzilor din zona vizibilului, fiind suprapusă ariilor de talveguri torențiale și culoarelor de avalanșe (în jurul vârfului Omu).
- separarea foioaselor de conifere este evidentă și pe fondul fenofazei, dar mai ales ca urmare a acoperirii infraroșului apropiat (o problemă este separarea în imaginea de primăvară a coniferelor de terenurile cultivate și mai ales de cele înverzite, similare ca răspuns spectral în banda verde).
- fragmentarea intensă a versanților este mai evidentă decât pe alte benzi ca efect al umbririi versanților la o anumită valoare a azimutului (142,42°) și elevației (57,10°) Soarelui în momentul preluării scenei satelitare.
- albiile cu intense aluvionări apar mai bine definite în aria cu păduri, unde bolovănișurile, pietrișurile, nisipurile au o reflectanță mai mare în vizibil iar pădurea în zonele verde și infraroșu apropiat.

2.4. Combinații de benzi LANDSAT ETM+. Aplicații în cercetarea geografică

Benzile spectrale LANDSAT ETM oferă informații geografice numeroase însă limitate la diferențele de tonuri de culoare. Adesea, ochiul uman nu are puterea de a diferenția elemente ale scării tonurilor de culoare și de aceea por

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

apare confuzii şi în final erori în analiza geografică calitativă şi cantitativă. Două fenomene diferite pot avea pentru interpretator aceeaşi signatură spectrală. Un astfel de exemplu este zăpada care se poate uşor confunda cu norii în banda 1 şi chiar în banda 2 (albastru şi verde). O altă situaţie similară este generată şi de construcţiile din beton şi albiile de râuri cu un mare debit solid, de asemenea în banda 1. Utilizarea în sistem comparativ a benzilor spectrale introduce, de multe ori, problema corelării benzilor la nivel de valori radiometrice, fapt rezolvat prin determinarea componentelor principale (capitolul următor).

Apariţia în domeniul civil a imaginilor LANDSAT TM, în anii 80, a introdus posibilitatea diversificării modului de exploatare a acestor informaţii satelitare. S-au obţinut imagini color mult mai diversificate comparativ cu cele legate de înregistrările LANDSAT MSS (cu numai patru benzi dintre care lipsea albastrul şi deci posibilitatea realizării de imagini în culori naturale). Mult timp s-a folosit combinaţia falscolor TM 432 în RGB, similară celei de bază realizată cu benzi MSS.

Teoretic şi practic, au crescut posibilităţile de obţinere a imaginilor color, astfel încât, în cazul imaginilor TM, existau 120 de combinaţii posibile (6 benzi luate câte trei în cele trei zone ale spectrului vizibil-albastru, verde, roşu). Dintre acestea nu pot fi reţinute pentru aplicaţiile lor geografice-environmentale decât o mică parte, ce au un caracter complementar, asemeni benzilor ce stau la baza lor.

Alegerea unei combinaţii optime depinde de:

- specificul terenului (de exemplu varietatea reliefului, fragmentarea ce impune umbra versanţilor în zona vizibilului, evidentă mai ales în munte şi mai puţin în podişuri);
- climă (în climatele umede, infraroşul se dovedeşte de o mai mare utilitate datorită sensibilităţii umidităţii şi penetrării relative a formaţiunilor noroase);
- specificul aplicaţiei, fapt ce impune căutarea celor mai expresive imagini în benzile unde elementul ce face obiectul interpretării apare cel mai evident (de exemplu, pentru vegetaţie sunt optime benzile din zona infraroşului şi verde din zona vizibilului, unde răspunsul clorofilei este nuanţat, sau pentru aşezările umane şi căile de comunicaţii, benzile verde şi roşu pot prezenta mai bine signatura spectrală a acestor elemente etc.);
- momentul preluării scenei, condiţionează fenofazele vegetaţiei, fapt ce permite sau limitează diferenţierea tipologică a vegetaţiei (în zona temperată, la latitudinile de circa 45°, rezultate optime în diferenţierea pădurilor sunt legate de imagini de toamnă sau de vară târzie);
- azimutul şi elevaţia Soarelui în momentul înregistrării ete legată de data înregistrării şi ora acesteia şi impun pe de o parte o diferenţiere

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

spectrală a pixelilor ce au aceeași semnificație în teren, fapt ce necesită calibrarea imaginilor, iar pe de altă parte pot sprijini sau limita interpretarea unor elemente (de pildă structura geologică și raportul ei cu relieful este mai expresivă în imagini de iarnă, cu o elevație mică a Soarelui).

- dimensiunea spațială a elementelor ce fac obiectul interpretării impune alegerea unei combinații în care acestea să fie evidente prin signatura spectrală contrastantă (este cazul microreliefului albiilor unor râuri mici ce intră în contrast cu apa și aluviunile în zona benzilor din infraroșu sau al drumurilor și căilor ferate în raport cu pădurea sau terenul arabil, în unele zone din vizibil); îmbunătățirea calității acrestor combinații este posibilă și prin mărirea rezoluției imaginilor, folosind procedura numită „Image Sharpening" sau „Pan Sharpening", ce presupune utilizarea pancromaticului cu rezoluția de 15 m, în realizarea de combinații de benzi spectrale.

În cele ce urmează vom analiza individual și comparativ cele mai importante combinații de benzi LANDSAT ETM+ cu aplicație la aceeași arie din vestul Carpaților Curburii și din sudul Depresiunii Brașov .

Combinația 123

Aceasta cuprinde trei benzi din zona vizibilului (albastru, verde, roșu), combinate în sistemul RGB al culorilor aditive ce stau la baza imaginilor color, percepute de ochiul uman. Din această cauză rezultă o combinație numită și în culori naturale.

Tabelul nr. 3

Signatura spectrală (culoarea)	Banda optimă	Semnificația geografică
verde deschis	2	păduri de foioase (fag, fag cu gorun, stejar, mesteacăn etc.) pajiști secundare și terenuri agricole înierbate
verde închis/violet	2	păduri de conifere (molid, brad)
verde închis/negru	2	păduri de conifere (molid, pin)
albastru deschis	2,1,3	pajiști subalpine și alpine
alb	2,3	așezări, gospodării izolate,drumuri terenuri arate cu luvisoluri albice și soluri brune eu-mezobazice (soluri brune luvice) cariere de piatră (calcar) zăpada, nori albii de râuri cu aluviuni
galben-auriu	1	lacuri colmatate (cu sedimente)
cafeniu	2,3	terenuri arate (soluri cernoziomoide) sau cu procese de pseudogleizare

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

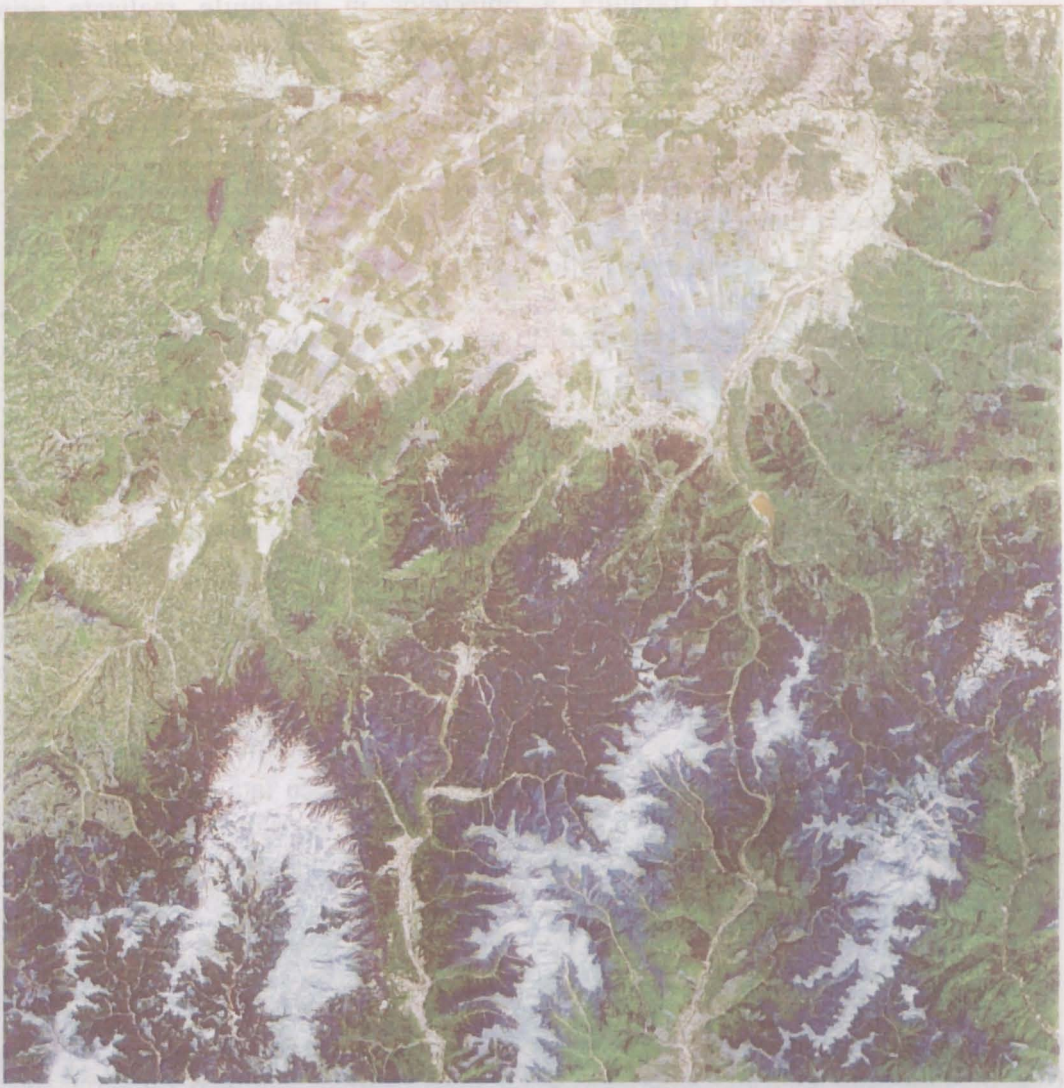


Fig. 2.14 **Combinația de benzi LANDSAT ETM+ RGB 123** (culori naturale)

Din analiza imaginii rezultate din combinarea benzilor vizibilului (fig. 2.14) rezultă noi signaturi spectrale. Conversia culorilor în elemente din teren este prezentată în tabelul nr. 3. Principalele caracteristici geografice rezultate sunt:

- diferențierea vegetației de pădure în foioase și conifere este clară, ca efect al fenofazelor corespunzătoare începutului lunii mai (5 mai) și nu este de regulă o caracteristică a imaginilor din alte perioade (iulie-august sau septembrie-octombrie); decalajul fenofazelor este evident de la o treaptă altimetrică la alta.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- umbra este o trăsătură a obiectelor în imaginile realizate prin combinarea benzilor în vizibil; în cazul de față, ora locală la care s-a realizat scanarea multispectrală este circa 7.30 a.m., Soarele se afla în est-sud-est, fapt pentru care coniferele apar în nuanțe variate, în funcție de expunerea versantului (asemeni golurile subalpine din Baiu, Neamțu sau Grohotiș expuse spre sud-est și est apar în tonuri de albastru-verzui dechis).
- zăpada și norii nu pot fi diferențiate în jurul vârfului Omu, ca urmare a benzii 1 (albastru), însă culoarele de avalanșe de pe abrupturile din Bucegi (Coștila, Caraiman, Bucșoiu, Jepi etc.) sunt bine diferențiate în raport cu pădurea de conifere (în mod similar sunt marcate și ariile afectate de nivație, în golurile montane subalpine din Baiu sai Grohotiș).
- colmatarea cuvetelor lacustre (asemeni albiilor de râuri) este evidentă ca efect al benzii 1 ce poate penetra suprafața apei și poate surprinde adâncimea dar și conținutul în sedimente datorate aportului afluenților (lacul Tărlung, cu tributari din zona flișului cretacic marno-grezos și marno-calcaros); albiile de râuri pot fi diferențiate mai ușor în ariile cu păduri, ca urmare a aluviunilor, dar nu pot fi observate malurile, nici la râurile mai mari din depresiune (Olt).
- așezările umane se diferențiază ușor numai în raport cu pădurile (Predeal, Sinaia, Bușteni, Cheia) sau cu pajiștile și livezile (Bran și sate risipite ca Sohodol sau Măgura), și mult mai greu față de terenul arabil, neacoperit de vegetație ierboasă (Brașov, Zărnești, Hărman, Codlea etc.).
- în spațiul depresionar, drumurile sunt evidente mai mult în raport cu terenurile umede, prin signaturi mai apropiate de alb (Brașov-Ghimbav-Codlea, Brașov-Hărman), iar căile ferate prin cenușiu (Brașov-Bod, Hărman-Întorsura Buzăului).

În ansamblu, combinația 123 se prezintă utilă în analiza colmatării cuvetelor lacustre, în aprecierea batimetriei, în observarea structurilor de habitat (dar nu întotdeauna în delimitarea vetrelor de așezări în câmpii). Banda 1 sau albastru este cea care limitează considerabil diferențierea unor elemente ca zăpada și norii. Diferențierea vegetației este slabă și numai în condiții de etajare evidentă și fenofaze favorabile ea poate fi sesizată. Umbra versanților poate genera confuzii, asemeni signaturilor spectrale apropiate de alb, specifice atât aluviunilor cât și calcarelor sau betonului.

Combinația 321

Este o altă variantă a combinației în culori așa-zise naturale (fig. 2.15). Este cea mai apropiată de realitate, întrucât toate culorile corespund întocmai celor trei zone ale spectrului vizibil (culori aditive).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

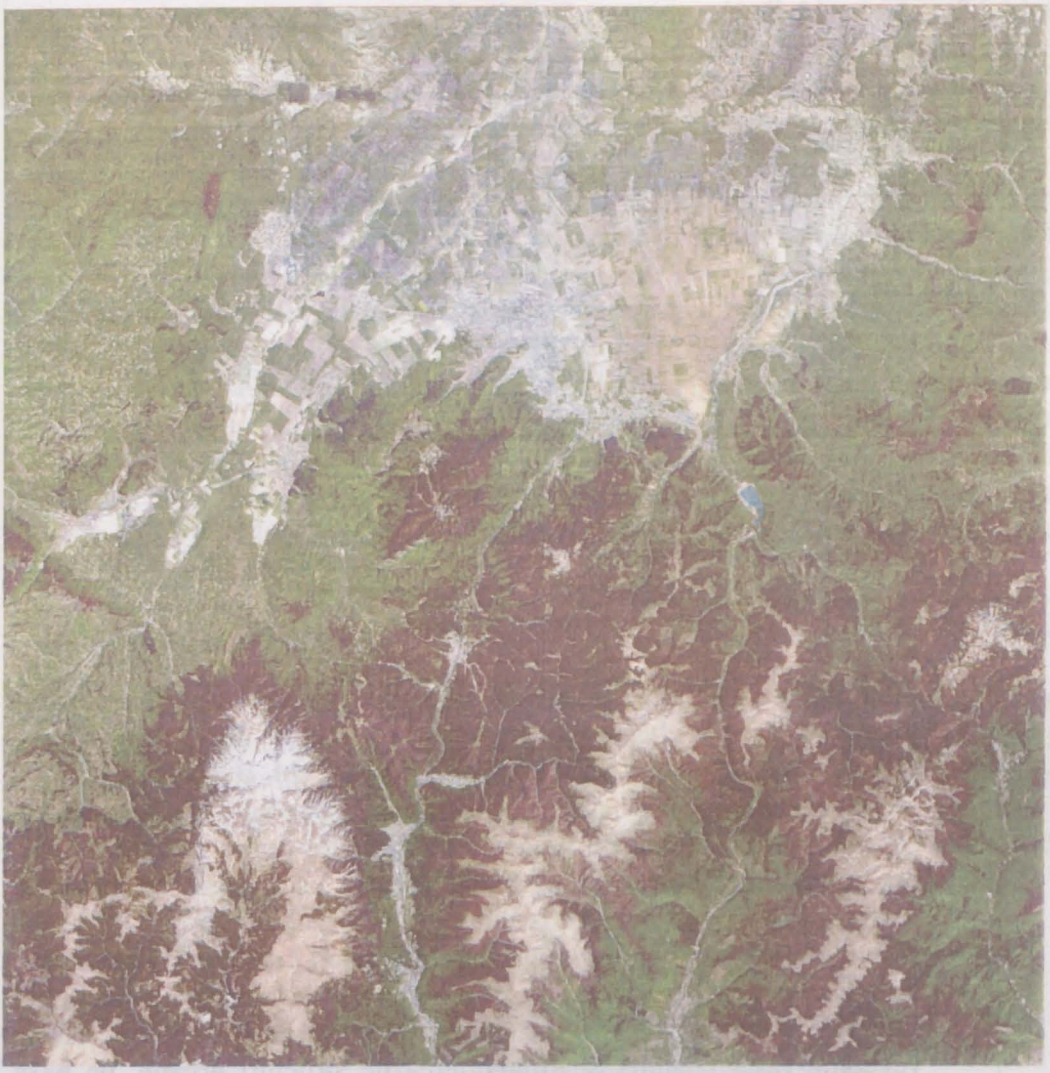


Fig. 2.15 **Combinația de benzi LANDSAT ETM+ RGB 321** (culori naturale)

Din analiza imaginii rezultate din combinarea benzilor vizibilului 321, rezultă noi signaturi spectrale. Conversia culorilor în elemente din teren este prezentată în tabelul nr. 3. Principalele caracteristici geografice rezultate sunt :

- vegetația forestieră se diferențiază în conifere și foioase numai în condițiile date de momentul înregistrării scenei satelitare (iluminarea solară din ESE implică o nuanțare a culorii coniferelor pe versanții expuși).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Tabelul nr. 4

Signatura spectrală (culoarea)	Banda optimă	Semnificația geografică
verde închis-negru/cafeniu	2	păduri de conifere (molid,brad), inclusiv jnepenişuri pe Platoul Bucegi
verde deschis	2	păduri de foioase
verde deschis	2	păşuni şi fânețe
alb	1 2,3	zăpadă, nori, terenuri arate cu luvisoluri albice sau soluri brune luvice aluviuni în albii de râuri drumuri,şosele,pârtii de schi (Predeal-Clăbucet) construcții în vetre de aşezări şi gospodării risipite, soluri erodate, cariere de calcar şi abrupturi cu roca la zi
cafeniu deschis	1,2	soluri montane brune acide şi spodosoluri slab protejate de vegetația de pajişti subalpine şi alpine
cafeniu	1,2 2,3	terenuri arate cu soluri cernoziomoide pe roci permeabile (aluviunile de piemont) construcții acoperite cu țiglă (Cetatea Braşovului)
violet	1	terenuri arate cu soluri cernoziomoide afectate de hidromorfism în şesurile aluviale
albastru deschis	1	cuvete lacustre colmatate

- diferențierea stratului de zăpadă în raport cu norii nu este posibilă datorită lipsei unei benzi din domeniul infraroşului şi a culorii albe ce rezultă din combinarea celor trei culori de bază (M. Bucegi).
- lipsa vegetației face posibilă identificarea orizontului de la suprafața solului, atât pe terenurile proaspăt deszăpezite de pe munți cât şi în depresiune (într-o anumită măsură, aceasta este legată de culoarea foarte apropiată de cea din realitate) ; în ansamblu se pot diferenția clase de soluri şi mai puțin tipuri, fapt imposibil însă sub păduri.
- aşezările pot fi mult mai uşor delimitate ca urmare a rezoluției spectrale a benzilor 2 şi 3, în raport cu terenul arat sau acoperit de vegetație (este posibilă şi diferențierea de structuri urbane, pe baza criteriului fizionomic, ca de exemplu în cazul Braşovului unde Cetatea prezintă construcții acoperite cu țiglă ce au altă signatură comparative cu cele din beton sau acoperite cu tablă); pot fi uşor apreciate textura şi structura vetrelor de aşezări.
- albiile de râuri sunt evidente mai mult în spațiul montan însă delimitarea celor minore de cele majore este imposibilă ca efect al benzii 1 ce penetrează apa.
- lacurile puțin profunde ca cel de e Tărlung pot fi sesizate prin culoarea albastru deschis, iar gradul de colmatare se poate estima mai bine în combinația 123, ca rezultat la radiației corespunzătoare benzii 1.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- drumurile şi mai ales şoselele naționale/europene sunt evidente prin signaturi ce tind către alb din ce în ce mai mult în funcție de gradul lor de modernizare (DN 12-E 577 către Sfântu Gheorghe, cu patru benzi până la Hărman sau DN1-E 68 către Codlea, în aceeaşi situație) ; potecile şi drumurile pot apare clar şi pe fondul vegetației forestiere dar greu de diferențiat atunci când urmăresc văile râurilor.

Combinația prezentată se apropie cel mai mult de situația din teren, fapt pentru care este uşor de interpretat dacă se cunoaşte şi momentul preluării scenei satelitare. Fenofazele vegetației pot introduce variații de signatură spectrală destul de mari şi pot influența rezultatul analizei. Cele două benzi (2 şi 3) aduc un maximum de informații privind elementele antropice atât la nivelul habitatului, cât şi la cel al căilor de comunicații şi carierelor. Banda 1 permite aprecierea batimetriei lacurilor şi mai puțin identificarea sedimentelor lacustre. Combinația este optimă pentru interpretarea de elemente antropice şi batimetriei apelor şi doar în anumite condiții a vegetației (lipsa infraroşului nu permite diferențieri majore la nivel de tipuri de păduri sau pajişti). Umbra versanților influențează omogenitatea signaturilor spectrale.

Combinația 234

Presupune introducerea pe lângă două benzi din spectrul vizibilului, a infraroşului apropiat, zonă a spectrului unde răspunsul vegetației începe a fi mai nuanțat, iar formațiunile noroase pot fi mai uşor penetrate (fig. 2.16). Semnificația culorilor este prezentată în tabelul nr. 5.

Tabelul nr. 5

Signatura spectrală (culoarea)	Banda optimă	Semnificația geografică
violet	2,4	păduri de foioase, păşuni şi fânețe, terenuri arabile înierbate
verde închis/negru	2	păduri de conifere
negru	2	lacuri antropice, albii minore de râuri
galben deschis-alb	4	zăpada, diferențiată de nori
galben deschis	2,3	terenuri cu solul la zi (arate, pajişti subalpine şi alpine, erodate, abrupturi şi cariere)
galben-verzui	3,4	terenuri arate cu diferite grade de hidromorfism (în funcție de nuanță)
galben-cenuşiu	2,3	aşezări, construcții diferențiate după material şi densitate, drumuri
roşcat	2	lacuri antropice cu un anumit grad de colmatare

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

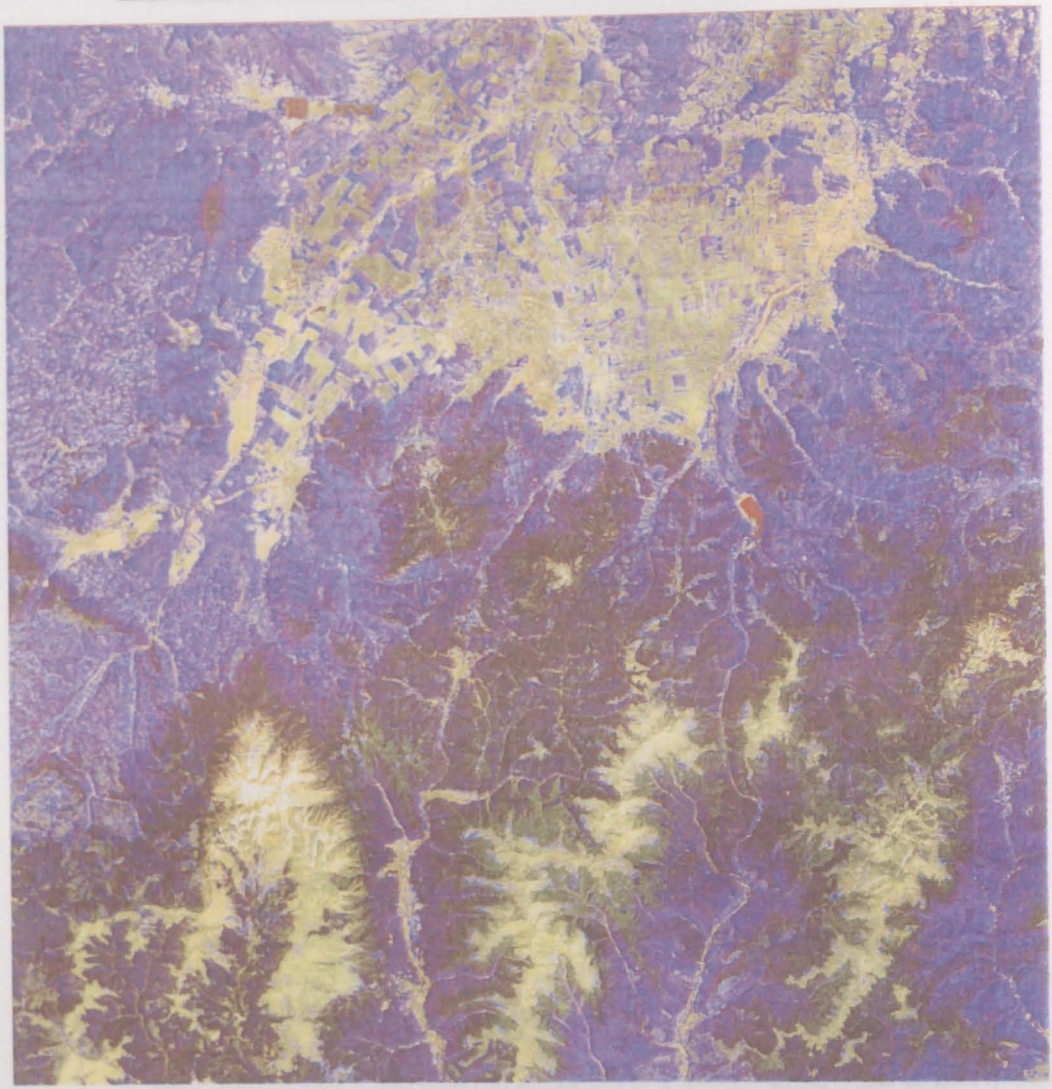


Fig. 2.16 **Combinația de benzi LANDSAT ETM+ RGB 234** (falscolor)

Modificarea radicală a culorilor este datorată eliminării benzii 1 (albastru) și introducerii infraroșului apropiat în locul roșului. Caracteristicile rezultate din analiza imaginii în această combinație sunt :

- diferențierea tranșantă a terenurilor acoperite de cele neacoperite de vegetație ca efect al prezenței, respectiv absenței clorofilei ce reflectă radiație în banda 4 și în banda 2 (violetul contrastează puternic la începutul lunii mai cu galbenul).
- separarea lesnicioasă a conifere lor de foioase pe fondul etajării vegetației forestiere și al plantațiilor de pe terenuri erodate realizate în

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

ultimele două secole (Tâmpa, Dealul Cetății-Râşnov, Highiş-Săcele, Măgura Codlei etc.).

- identificarea propagării fenofazelor vegetației în altitudine, prin diferențele de nuanță (la sub 1400-1600 m, pajiştile sunt deja acoperite de vegetație ierboasă, în schimb în etajul subalpin la peste 1500 m, petice de vegetație apar numai la limita superioară a pădurii, în Baiu, pe Valea Ialomiței în Bucegi, în Piatra Mare, Ciucaş, Grohotiş etc.).
- efectul de umbrire a versanților este diminuat, dar apare în condițiile prezenței benzilor din zona vizibilului (2,3).
- pajiştile se diferențiază mai greu de pădurile de foioase în contextul fenofazelor de înfrunzire şi inierbare incipientă, specifice lunii mai în zona montană la peste 1000 m altitudine.
- albiile de râuri şi malurile lacurilor sunt mult mai evidente decât în combinațiile anterioare, ca efect al benzii infraroşului apropiat în care radiația este absorbită de apă la suprafață (unele variații de culoare pot apare ca urmare a benzii 2 în care se produce o slabă penetrare a apelor); în acest mod, pot fi separate albiile minore de cele majore doar la râuri mari, cum este, de pildă, Oltul-cea minoră apare cu negru şi meandrată iar cea majoră este cultivată în mare măsură).
- umiditatea din soluri este evidentă datorită benzii 4, ce separă terenurile cu soluri hidromorfe ca lăcoviştile şi solurile gleice din şesul aluvial al Depresiunii Bârsei, de terenurile mai uscate din piemonturi (Săcele şi Golful Râşnov-Zărneşti); nuanțele de galben din ce în ce mai deschise arată, la aceste soluri, o coborâre a nivelului freatic pe roci permeabile de tipul pietrişurilor, bolovănişurilor şi nisipurilor.
- aşezările por fi delimitate mai greu de terenul fără vegetație în ariile piemontane (Săcele, Braşov, Cristian, Zărneşti etc.) dar mult mai uşor în ariile cu exces de umiditate (Prejmer, Hălchiu, Bod), cu ajutorul benzilor 2 şi 3 (textura şi structura aşezărilor devin clare prin diferențierea grădinilor şi parcurilor de terenul construit).
- delimitarea depresiunii de munte este evidentă mai ales acolo unde abrupturile cu păduri intră în contact direct cu depresiunea (teren arat sau construit).

Combinația de benzi 234 este prima ce cuprinde şi o bandă a infraroşului. Ea permite o diferențiere a terenurilor acoperite de cele neacoperite de vegetație şi în funcție de situație a tipurilor de vegetație forestieră. În cazul analizat, diferența mare de altitudine (circa 2000 m, între albia Oltului şi vf. Omu) implică şi o nuanțare fenologică şi deci a răspunsului spectral al vegetației. Rezoluția spectrală limitată impune căutarea unor combinații mai expresive pentru analiza vegetației. Solurile pot fi deosebite după gradul de hidromorfism, mai ales în perioada lui

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

mai, când scurgerea de suprafață și cea subterană sunt importante după topirea zăpezilor la altitudini mari. Habitatul este mai dificil de delimitat de celelate forme de utilizare a terenurilor, însă este ușor de investigat sub raportul structurii și texturii specifice (compact la Brașov sau Râșnov, risipit și liniar în zona Bran-Moieciu).

Combinația 432

Presupune introducerea pe lângă două benzi din spectrul vizibilului, a infraroșului apropiat, zonă a spectrului unde răspunsul vegetației începe a fi mai nuanțat, iar formațiunile noroase pot fi mai ușor penetrate. Semnificația culorilor (fig. 2.17) este prezentată în tabelul nr. 6.

Tabelul nr. 6

Signatura spectrală (culoarea)	Banda optimă	Semnificația geografică
roșu intens	2,4	păduri de foioase
roșu deschis		pajiști în înverzite terenuri arabile înierbate
verde închis-negru	2	păduri de conifere
albastru-verzui deschis	2,3	terenuri cu solul la zi (teren arat în depresiune cu apa freatică la adâncime, pajiști subalpine și alpine proaspăt eliberate de zăpadă)
alb	2,4	zăpada remanentă pe talveguri, culoare de avalanșe sau nișe nivale, norii denși în jurul vf. Omu
verzui	4	terenuri cu exces de umiditate (soluri afectate permanent-nuanța închisă sau temporar-nuanța deschisă de hidromorfism)
albastru	2	lacuri și albii minore de râuri
verzui-dechis spre alb	2,3	așezări (nuanțe diferite închise la construcții din beton și mai deschise la cele din cărămidă)

Analiza geografică a combinației 432 în falscolor, conduce la următoarele aspecte:

- diferențierea foioaselor de conifere este evidentă prin contrastul culorilor în orice perioadă de vegetație, dar mai ales primăvara ăi toamna (o anumită nuanțare apare și între pădurile de foioase și pajiștile înierbate/terenul cultivat înierbat, ca efect al signaturii diferite dată de clorofilă).
- succesiunea etajelor de vegetație în altitudine este mai bine exprimată prin signatura spectrală a clorofilei, prin atenuarea efectului umbrelor (se exprimă inclusive asimetrii bioclimatice și inversiuni de vegetație, dar mai ales influența antropică prin replantarea pădurilor).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

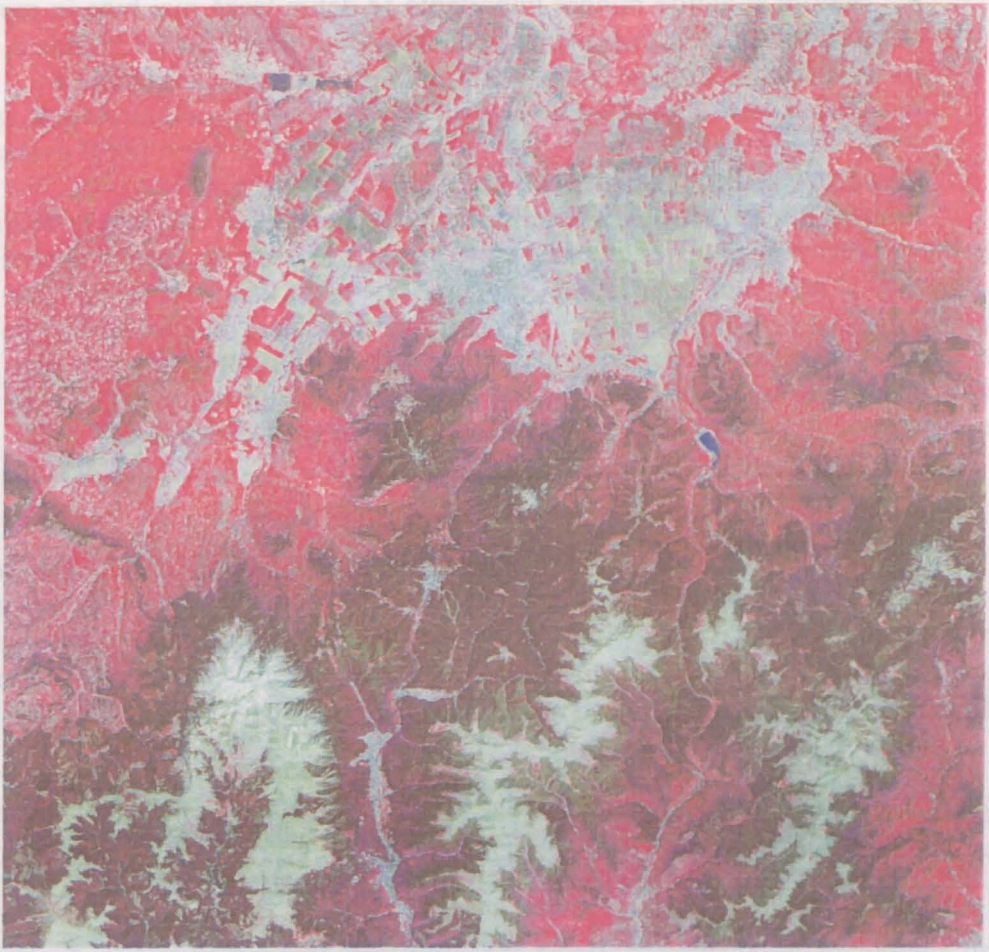


Fig. 2.17 **Combinația de benzi LANDSAT ETM+ RGB 432** (falscolor)

- fenofazele se diferențiază în sens altitudinal, prin apariția vegetației la limita superioară a pădurii, în urma topirii zăpezii ce subliniază acum culoarele de avalanșe în Bucegi și Ciucaș și nișele nivale din Baiu și Grohotiș.
- diferențerea norilor în raport cu zăpada este mai clară, însă formațiunile dense sunt greu de penetrate de către radiațiile infraroșului apropiat.
- conținutul în umiditate al solurilor neacoperite de pădure se diferențiază prin nuanțe de la verzui deschis la solurile uscate de pe terase și piemonturi în golful Zărnești și până la cele umede în permanență din șesul depresionar drenat de către Olt, Bârsa, Hămăradia,Râul Negru, Ghimbășel și Timiș (în etajul subalpin solurile sunt relative umede imediat după topirea zăpezilor, însă nuanța este ușor mai închisă pe deluvii și eluvii argiloase, impermeabile, pe fliș sau acolo unde, vântul și solifluxiunile au îndepărtat orizontul superficial).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- lacurile şi albiile minore importante se delimitează mai bine în raport cu arealul din vecinătate, însă culoarea albastră generată de banda 2, nu permite o delimitare lesnicioasă a treptelor luncii (cazul Oltului).
- aşezările pot fi investigate ca structură şi textură şi delimitate mai uşor în ariile cu păduri sau exces de umiditate (spaţiile verzi pot fi evaluate uşor în raport cu terenul construit).

Combinaţia de benzi 432 este prima de cea mai mare utilitate în analiza vegetaţiei. Separarea tipurilor de păduri este posibilă în orice perioadă a sezonului de vegetaţie.O problemă aparte este delimitarea pajiştilor în raport cu pădurea de foioase. Aceasta impune alegerea unor perioade (fenofaze) incipente când solul este dezgolit iar pădurea de fag a înmugurit. Excesul de umiditate este uşor de evidenţiat şi cartografiat, însă nu aceasta este combinaţia optimă. Poate fi de asemenea evaluată viabilitatea suprafeţei înverzite din vetre de aşezări.

Combinaţia 453

Combinaţia reuneşte deja două benzi din domeniul infraroşului, în care signatura spectrală a vegetaţiei este mai nuanţată. În plus masele noroase sunt aproape în totalitate eliminate, iar suprafeţele acoperite de apă bine izolate prin maluri (fig. 2.18). Excesul de umiditate din sol şi vegetaţie contribuie în mare măsură la diferenţierea lor. Signaturile spectrale caracteristice sunt evidenţiate în tabelul nr. 7.

Tabelul nr. 7

Signatura spectrală (culoarea)	Banda optimă	Semnificaţia geografică
portocaliu intens	4,5	păduri de foioase, livezi
portocaliu deschis, cenuşiu deschis	4,5	pajişti înierbate terenuri arabile înierbate
portocaliu intens-verde închis	4,5	păduri de amestec (fag şi conifere)
verde închis	4,5	păduri de conifere (molid, pin,brad)
albastru-verzui deschis	5	pajişti subalpine cu solul dezgolit după topirea zăpezii, soluri pe roci permeabile, în depresiune
roz	4,5	zăpada remanentă
verde deschis	5	terenuri cu exces de umiditate permanent
albastru	5	aşezări (construcţii din beton), drumuri, terasamente de cale ferată (triaje)
negru	-	albii de râuri, canale de desecare, lacuri
alb-albastru	5	aşezări (construcţii predominant din cărămidă)

Principalele aspecte geografice ale combinaţiei 453 pot fi rezumate astfel:

- este cea mai clară diferenţiere de până acum a etajelor şi tipurilor de vegetaţie, cu limite clare şi tranziţii evidente prin păduri de amestec (sunt bine conturate şi fenofazele), fapt impus de diferenţele de umiditate în banda 5 şi de producţie de biomasă în banda 4.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

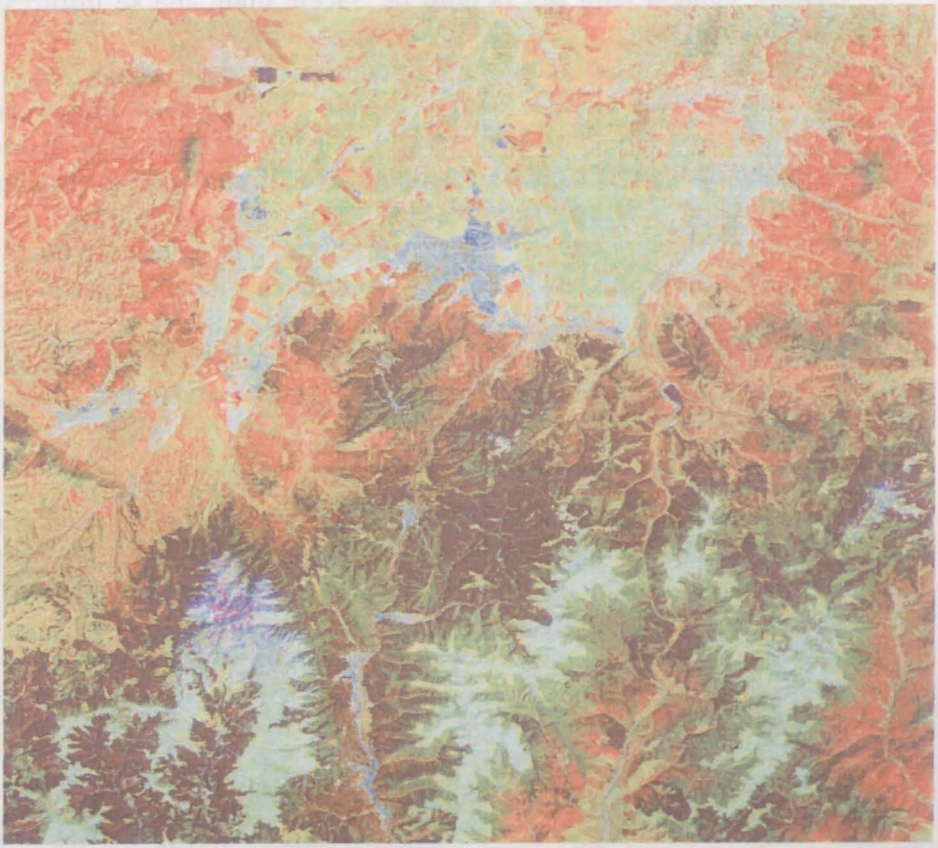


Fig. 2.18 **Combinația de benzi LANDSAT ETM+ RGB 453** (falscolor)

- efectul de umbră al versanților este mai redus, prin includerea unei singure benzi spectrale din zona vizibilului (roșu).
- dispar masele noroase în mare măsură, ca urmare a penetrării lor de către lungimile de undă ale infraroșului (zăpada este mult mai clar delimitată pe versanții și platourile din jurul vf.Omu, pe talvegurile de la obârșiile văilor, la peste 2200 m).
- pajiștile cu diferite grade de înierbare, pot fi ușor evidențiate prin ponderea cenușiului (sol slab acoperit) cu portocaliul sau albastrul foarte deschis.
- albiile minore ale râurilor și cuvetele lacustre se pot delimita ușor pe fondul absorbției radiațiilor la suprafața apei (meandrele sunt clare, asemeni și canalele de desecare de la Boroșneu Mare-Reci sau Canalul Timiș și datorită diferenței de signaturi spectrale între apă și vegetație).
- excesul de umiditate din soluri apare prin nuanțe de verde deschis în aria șesului aluvionar al Depresiunii Bârsei unde debușează pânze de apă din cuverturi piemontane și glacisuri (la polul opus sunt terenurile uscate de pe piemonturi sau terase,ori glacisuri ca cele din aria

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Râşnov-Tohanu Nou sau la nord de Săcele unde apa se infiltrează în aluviuni groase).

- la nivelul aşezărilor, banda 5 diferenţiază şi construcţiile materialele din care au fost clădite (betonul apare albastru fiind mai uscat iar cărămida, mai alb, fiind mai umedă), situaţie prezentă şi la drumui şi şosele ce apar pe sectoarele reabilitate recent cu signature în albastru (Braşov-Codlea, Braşov-Predeal etc.)

Combinaţia analizată este cea mai cuprinzătoare sub aspectul caracterelor vegetaţiei. Banda 5 poartă informaţii privind umiditatea elementelor din peisaj, fapt ce permite o nuanţare evidentă a solurilor, vegetaţiei dar şi a aşezărilor (partea veche poate fi delimitată de cea nouă după materialul de construcţie, aşa cum se poate observa la Braşov în cartierele noi sau zonele industriale).

Combinaţia 457

Combinaţia reuneşte exclusiv benzi spectrale din zona infraroşului apropiat şi mediu, fapt ce determină o diversificare a signaturilor spectrale (tabelulul nr. 8) şi posibilitatea de a distinge detalii cu dimensiuni mai reduse decât rezoluţia spaţială. Vegetaţia şi solurile sunt elementele cu cea mai mare expresivitate, combinaţia fiind utilă în analiza mediilor regiunilor umede (Sabins, 1997). Rezoluţia spectrală limitată este un avantaj (prin lipsa unei benzi din zona spectrului vizibil sunt eliminate efecte ale umbririi versanţilor şi chiar formaţiunile noroase).

Tabelul nr. 8

Signatura spectrală (culoarea)	Banda optimă	Semnificaţia geografică
portocaliu închis	4,5	păduri de foioase (fagul este predominant)
portocaliu deschis	4	pajişti secundare înverzite, terenuri arabile şi păşuni înierbate (cartoful predomină), în Depresiunea Braşov parcuri, scuaruri, grădini în oraşe şi sate
portocaliu şi verde închis	4,5	păduri de amestec (fag şi conifere)
portocaliu-verzui	5	pajişti secundare neînverzite cu sol slab protejat şi exces de umiditate (terenuri favorabile alunecărilor şi solifluxiunilor)
verde închis-negru	5,7	păduri de conifere (molid, brad, larice, pin) jnepenişuri (Platoul Bucegi)
roşu	4,5	zăpada remanentă pe talveguri şi culoare de avalanşe sau nişe nivale
verde-albăstrui	5,7	terenuri arabile, pajişti subalpine cu soluri la zi şi conţinut de umiditate diferit datorat topirii zăpezii şi scurgerii subterane
albastru-bleu	7	construcţii, aşezări, în nuanţe închise realizate din beton, în nuanţe deschise din alte materiale şi ciment (inclusiv drumuri importante)
bleumarin-negru	5,7	albii de râuri, cuvete lacustre, iazuri de decantare, amenajări piscicole şi de retenţie
cenuşiu-verzui	4,5	terenuri cu exces de umiditate sau apă freatică apropiată de suprafaţă

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



Fig. 2.19 **Combinația de benzi LANDSAT ETM+ RGB 457** (falscolor)

Din analiza geografică a imaginii din figura 2.19, se poate observa un volum mare de informații spațiale. Infraroșul separă mai mult entitățile geografice fapt ce favorizează utilizarea acesteia și în delimitarea unor entități mici de tipul caselor izolate, drumurilor secundare sau tăieturilor de pădure pentru funiculare. Câteva aspecte semnificative sunt :

- o diferențiere mai clară a vegetației forestiere, inclusiv a pădurilor de amestec, pe fondul sensibilității la conținutul specific umiditate ale benzilor 5 și 7 (fenofazele pot introduce dificultăți în separarea foioaselor de pajiștile abia înverzite).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- o separare evidentă a terenului cu vegetație de cel descoperit, a solurilor de roca în loc, prin prezența benzii 7 în care produsele de alterare și solul au reflectanța mare (cariera de la Răsăritul, la vest de Brașov apare în nuanțe de alb, comparative cu terenul acoperit de sol ce apare în albastru-verzui deschis).
- lipsa norilor face posibilă interpretarea spațiilor montane înalte, la peste 2000 m, unde zăpada este evidențiată prin nuanță de roșu ca urmare a benzilor 4 și 5.
- decalajul fenologic este de asemenea vizibil prin existența pe trepte hipsometrice diferite a suprafețelor de pajiști înverzite și cu soluri dezgolite și umede ca urmare a topirii zăpezii.
- excesul de umiditate din soluri este diferențiat de benzile 4 și 5, și apare evident la nivelul șesului aluvial depresionar, în luncile Oltului și Râului Negru, dar și pe suprafețele de eroziune din zona înaltă unde apar cu nuanțe închise microdepresiuni cu înmlăștiniri sau chiar lacuri nivale (Baiu).
- terenurile cu solifluxiuni și alunecări superficiale apar slab acoperie de vegetație, cu nuanța de cenușiu și se suprapun arealelor observate de noi în teren sau pe harta geologică (V.Gârcinului, nord de Predeal, Dl. Pleșei-Râșnov).
- diferențierea structurilor urbane este lesnicioasă la orașele mari, de tipul Brașovului unde se disting hale industriale (Tractorul, Rulmentul) sau cartierele de blocuri ale ultimelor 30-40 de ani prin signatura betonului, diferită de cea a cărămizii (se pot observa trama stradală și parcurile/grădinile).
- căile de comunicații pot fi ușor distinse în special în depresiune, unde se deosebesc după lățime și nuanța de albastru-cenușiu drumurile și chiar căile ferate (în munte sunt mai greu de definit în raport cu albiile dar pot fi observate la traversarea orașelor, ca de pildă la Predeal sau Sinaia unde lățimea crește în dreptul gărilor, unde liniile de cale ferată sunt mai numeroase).
- apele pot fi separate prin absorbția infraroșului la suprafață, astfel încât se pot contura bine meandrele, belciugele, albiile părăsite și incintele cu apă pentru piscicultură sau lacul de baraj de pe Tărlung.

Combinația prezentată este poate cea mai consistentă sub raport informațional prezentată până acum. Signatura spectrală în infraroșu diferențiază entitățile geografice, chiar și pe cele mai mici. Umiditatea caracteristică obiectelor este în fapt proprietatea ce le deosebește în infraroșu iar clorofila nu face excepție. Alegerea fenofazei optime este esențială în diferențierea culturilor agricole de păduri, a pajiștilor subalpine de cele secundare din văi.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Combinația 247

Combinația de benzi 247 (fig. 2.20) impune un efort suplimentar în recunoașterea entităților geografice din teren datorită cromaticii nefamiliare. Prezența a două benzi ale infraroșului mediu alături de o bandă a vizibilului mărește rezoluția spectrală și posibilitatea de a distinge categorii de vegetație în raport cu soluri și scoarțe roci parentale. Signaturile spectrale sunt explicate în tabelul nr. 9.

Tabelul nr. 9

Signatura spectrală (culoarea)	Banda optimă	Semnificația geografică
roz închis	7	pajiști și terenuri arabile cu solul la zi sau slab acoperit cu vegetație terenuri construite în vetre de așezări
portocaliu-roșu	7	terenuri cu roca la zi pe abrupturi și nu numai, deluvii argiloase drumuri asfaltate construcții din beton (blocuri,hale industriale)
galben	4	zăpada remanentă în talveguri, nișe nivale sau trepte structurale
verde deschis	4	păduri de foioase terenuri arabile acoperite de vegetație (cartof mai ales) livezi (diferite ca nuanță) pășuni în depresiune
verde închis–albastru închis	2,7	păduri de conifere
albastru deschis	7	terenuri cu exces de umiditate în șesul aluvial sau cu apa freatică la suprafață clădiri din cărămidă, acoperite cu țiglă
negru	4,7	albii minore de râuri, incinte lacustre fără afluenți
roșcat-negru	2	cuvetă lacustră colmatată cu sedimente argiloase

Analizând imaginea în această combinație se pot constata diferențieri importante între soluri/roci și vegetație:

- pădurile de foioase se separă evident de cele de conifere și se pot observa și cele de amestec, ca urmare a benzii 4, cu un răspuns nuanțat al clorofilei și benzii 7 ce exprimă diferența de umiditate din coronamentul arborilor.
- terenul cu sol sau rocă la zi este ușor de separat de cel cu vegetație din cauza prezenței benzii 7 în care signatura spectrală a argilei este importantă.
- excesul de umiditate în soluri și chiar scurgerea subterană pot fi vizualizate prin banda 4, astfer încât nuanța de albastru din imagine

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

(fig. 2.20) este cea mai intensă în șesul aluvial și mai slabă pe măsură ce urcăm pe treapta piemontană (în Piemontul Săcele este ușor de observat prezența unor benzi paralele albastre de la sud la nord, unde apare o linie de izvoare în preajma luncii Oltului); în egală măsură, excesul de umiditate poate fi surprins și în terenurile cu pajiști subalpine.



Fig. 2.20 **Combinația de benzi LANDSAT ETM+ RGB 247** (falscolor)

- diferențierea zăpadă-sol, zăpadă-rocă, apă-sol și apă rocă sunt și aici evidente pe fondul conținutului diferit de umiditate, de aceea se pot

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

obseva uşor talveguri de ravene şi torenți (Baiu, Grohotiş, Bucegi) şi culoare de avalanşe.

- structura cutată şi şariată este uşor evidențiată prin vizualizarea văilor adaptate şi chiar a şirurilor paralele de cueste şi hogbackuri, datorită diferențelor de umiditate şi umbririi de la ora locală 7.30 când s-a înregistrat scena satelitară (Grohotiş-Sloeru Mărcoşanu, Ciucaş, Piatra Mare, Postăvaru).
- albiile şi cuvetele lacustre se disting uşor mai ales acolo unde conținutul în aluviuni nu este semnificativ (argila din apă impune unele diferențieri ca urmare efectului dat de banda 2, vecină benzii 1 care penetrează apele).
- materialele de construcții se impun în contextul unei umidități diferite şi aceasta permite inclusive diferențierea de structuri urbane după vechime şi funcții, însă complică identificarea tramei stradale mai ales în sate şi chiar delimitarea vetrelor de terenul din jur în perioada de început a sezonului de vegetație.

Combinația 247 se dovedeşte utilă în separarea obiectelor pe criteriul umidității diferite, fapt caracteristic peisajelor temperate cu păduri şi pajişti. Solul este separate de vegetație iar excesul de apă şi scurgerea subterană sunt evidente.

Combinația 742(542)

Deşi este asemănătoare din punct de vedere cromatic cu cea precedentă, signaturile spectrale (tabelul nr.10) pot aduce unele elemente suplimentare utile în analiza geografică.

Tabelul nr. 10

Signatura spectrală (culoarea)	Banda optimă	Semnificația geografică
roz închis	7	pajişti şi terenuri arabile cu solul la zi sau slab acoperit cu vegetație, terenuri construite în vetre de aşezări
verde deschis	4	păduri de foioase, terenuri arabile acoperite de vegetație (cartof mai ales), livezi (diferite ca nuanță), păşuni în depresiune
verde închis–cafeniu	2,7	păduri de conifere
violet	7	terenuri cu roca la zi pe abrupturi şi nu numai, deluvii argiloase, drumuri asfaltate, construcții din beton (blocuri, hale industriale)
bleu	2,4	zăpada remanentă pe talveguri şi culoare de avalanşe sau nişe nivale
albastru închis	2	albii minore de râuri, cuvete lacustre
roz închis-cenuşiu	4,7	teren dezgolit cu exces de umiditate
verde-cenuşiu	4,7	teren înierbat cu exces de umiditate

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



Fig. 2.21 **Combinația de benzi LANDSAT ETM+ RGB 742** (falscolor)

Pricipalele caracteristici ale peisajului ce pot fi evidențiate în această combinație sunt :

- diferențierea tranșantă între terenul cu vegetație și cel dezgolit ca urmare a umidității diferențiate, prin culori contrastante, în condițiile unei reflectanțe mari a scoarțelor de alterare în banda 7, asemeni solurilor ce conțin minerale argiloase .
- separarea tipurilor de păduri și a principalelor etaje de vegetație, plantații forestiere, precum și a decalajelor fenologice în altitudine (pajiștile cu vegetație sunt greu de separat în raport cu pădurile), la

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

care se adaugă inclusiv unele diferențe între esențe de foioase sau conifere (mesteacăn și fag pe Teleajen, în aval de Cheia sau la Reci-mesteacăn, stejar în arealul Cristian-Râșnov).

- orașele sunt mai ușor de diferențiat prin materialele de construcții de tipul betonului sau cimentului (Brașov, coloniile industriale de la Săcele, Râșnov, Zărnești, Codlea etc.) de regulă uscate, în raport cu argila,gresia,balastul sau cărămida, ce reține umiditatea, pământul ce acoperă de multe ori ulițele (din această cauză satele din areale cu exces de umiditate sunt diferențiate cu greu ca de exemplu Hălchiu, Bod, Ozun sau Reci).
- excesul de umiditate este mai puțin evident prin nuanțele mai închise ale culorilor de bază, dar apare la nivelul șesului aluvial al depresiunii.
- banda 2 introduce expresivitate prin menținerea umbrei versanților, ce sugerează fragmentarea impusă de torenții și ravenele din etajul subalpin, în munți ca Baiu, Grohotiș, Ciucaș, Bucegi, Postăvaru; apar evident aliniamente de falii la contactul cu depresiunea (abrupturi ca Tâmpa) dar și linii tectonice NNE-SSV, ce imprimă paralelismul culmilor într-o structură de solzi.
- norii din jurul vf. Omu au dispărut prin eliminarea benzii 1 și introducerea infraroșului mediu-apropiat iar zăpada delimitează, în ansamblu, etajul alpin de cel subalpin.

În concluzie, combinația este utilă diferențierii terenului fără vegetație de cel acoperit, a solurilor cu exces de umiditate, a construcțiilor din beton (de regulă cele mai noi) de cele din materiale ce reține umiditatea (astfel se pate evalua chiar și gradul de degradare al acestora). În plus, răspunsul spectral nuanțat poate sprijini diferențierea speciilor de foioase dar și a celor de conifere sau livezilor, în funcție și de fenofază.

Concluzie generală. Combinațiile de benzi analizate sunt, după cum se observă, complementare. Analiza unor elemente de peisaj impune alegerea celor mai potrivite dintre acestea. Elementul esențial este a cunoaște care este comportamentul spectral al entității ce face obiectul interpretării și în ce anotimp este optim. Alegerea benzilor trebuie realizată și în funcție de tipul terenului, de fragmentare (apare umbra în vizibil) sau de climă și vegetație (combinațiile aplicate în zone umede pot folosi anumite benzi din infraroșu și vizibil, dar în zonele deșertice ele se modifică). Exploatarea geografică a acestora presupune transformări pe cale digitală ce au ca rezultat imagini optimizate. Avantajele și dezavanajele combinațiilorde benzi analizate, se pot ilustra în tabelul nr. 11.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Tabelul nr. 11

Combinația de benzi LANDSAT ETM+	Avantaje	Dezavantaje
1-2-3	- culorile naturale permit recunoașterea ușoară a terenului - permite analiza batimetrică a apelor puțin adânci (litorale, șelfuri, lacuri)	- rezoluția spectrală este limitată de benzile din vizibil, de aceea unele elemente sunt similare ca signatură spectrală - banda 1 limitează diferențierea spectrală a detaliilor (apar incusiv norii ce pot fi confundați cu zăpada și nu numai)
3-2-1	- culorile naturale permit recunoașterea ușoară a terenului (sunt cele mai apropiate de realitate) - permite analiza batimetrică a apelor puțin adânci (litorale, șelfuri, lacuri) și a gradului de colmatare - solurile pot fi identificate după culoarea orizontului de suprafață (asemeni rocilor) - elementele antropice sunt ușor de analizat	- diferențierea vegetației este limitată de lipsa unei benzi infraroșii - vegetația se diferențiază numai în anumite fenofaze - norii limitează calitatea imaginii, și sunt greu de separate în raport cu zăpada
2-3-4	- imaginea este mai nuanțată ca detalii, ca urmare a rezoluției spectrale mai mari - delimitarea lesnicioasă a terenurilor cu vegetație - introducerea infraroșului aduce informații în plus privind vegetația, calitatea ei, precum și excesul de apă din soluri	- cromatica este mai dificil de interpretat - diversificarea vegetației este limitată de prezența benzilor vizibilului în anumite perioade fenologice - efectul umbrelor este persistent
4-3-2	- separarea tipologică a vegetației și mai ales a celei forestiere - diferențierea ușoară și expresivă a zonelor și etajelor biogeografice - delimitarea spațiului construit de cel acoperit cu vegetație	- excesul de umiditate apare nediferențiat - diversificarea pe specii a vegetației este limitată de benzile vizibilului 2 și 3 dar și de fenofaze - norii și zăpada sunt încă slab diferențiate - se mențin umbrele
4-5-3	- diversificare a signaturilor vegetației prin creșterea rezoluției spectrale în infraroșu - diferențieri semnificative în	- porțiunile cu vegetație mai inconsistentă se pot separa mai greu în raport cu cele acoperite consistent, la rezoluția de 30 m

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

	delimitarea ariilor cu exces de umiditate permanent şi temporar, inclusive a terenurilor inundate - se atenuează efectul norilor, prin dispariția celor subțiri - zăpada este mai bine izolată în raport cu norii - se diferențiază construcțiile după material	- în funcție de fenofază, există dificultăți în delimitarea foioaselor de pajiştile înverzite - se menține efectul umbrelor, deşi mai atenuat
4-5-7	- benzile infraroşului apropiat şi mediu pot penetra norii - sunt atenuate umbrele versanților - diferențierea vegetației este posibilă şi la nivel de detaliu dar depinde de fenofaze - pot fi diferențiate structuri urbane - detaliile mici se pot identifica prin diferențe mari de răspuns spectral - se poate analiza micromorfologia albiilor şi a cuvetelor lacustre	- diferențierea umidității este mai puțin expresivă - în funcție de fenofază signature foioaselor se poate suprapune cu cea a pajiştilor consistente
2-4-7	- separarea lesnicioasă a terenului cu vegetație de cel descoperit - diferențierea solului de roca la zi - deosebirea unor specii de arbori în păduri - expresivitate în evidențierea excesului de umiditate şi a terenului inundat - diferențierea expresivă a zăpezilor - deosebiri în cadrul oraşelor la nivelul construcțiilor - lipsa norilor stratiformi	- culori mai dificil de interpretat - delimitarea dificilă a aşezărilor rurale din zone umede - efectul umbririi - fenofazele pot afecta rezultatele datorită benzii 2
7-4-2	- separarea lesnicioasă a terenului cu vegetație de cel descoperit - diferențierea solului de roca la zi (optim în identificarea terenului erodat) - deosebirea lesnicioasă unor specii de arbori în păduri - identificarea unor diferențe structural-tectonice - lipsa norilor stratiformi	- culori mai dificil de interpretat - delimitarea dificilă a aşezărilor rurale din zone umede - expresivitate mai mică a excesului de umiditate - fenofazele pot afecta rezultatele datorită benzii 2 - persistă umbrele versanților

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

3. PROCESAREA DIGITALĂ A IMAGINILOR DE TELEDETECŢIE APLICAŢII PE IMAGINI LANDSAT

Prin **procesarea digitală a imaginilor** se înțelege ansamblul operațiilor matematice complexe, aplicate imaginilor satelitare (și aeriene), în mediu digital (pe computer), în scopul perfecționării calității și în final extragerii informațiilor geografice. Orice imagine satelitară sau aeriană, indiferent de principiul sistemului de teledetecție poate face obiectul acestor operații.

Domeniul procesării digitale s-a dezvoltat încă din anii 60, odată cu apariția computerelor și a pachetelor software destinate manipulării imaginilor digitale. În sfera teledetecției, procesări digitale s-au efectuat pentru prima dată după lansarea satelitului ERTS, în 1972 și a senzorilor LANDSAT MSS, performanțele computerelor aducând permanent noi aplicații.

La nivelul anilor 2000, s-a definit o direcție evidentă în cadrul teledetecției și interpretării geografice a imaginilor. Au apărut noi aplicații bazate pe utilizarea de algoritmi matematici prin intermediul statisticilor ce caracterizează orice imagine digitală (alcătuită din **pixeli** ce au un *număr digital sau valoare spectrală*).

Varietatea acestor operațiuni a impus clasificarea lor în mai multe grupe (Lillesand et al., 2004).

- ***Rectificarea/repararea imaginilor***, numită și ***preprocesarea imaginilor***, are ca scop obținerea de imagini cât mai corecte, în raport cu reprezentarea terenului, prin calibrărilor radiometrice, corecțiilor geometrice și de „zgomot" (paraziților). Este etapa ce pregătește imaginea pentru procesare și analiză.

- ***Perfecționarea sau îmbunătățirea imaginilor*** este un ansamblu de operații matematice-statistice, ce permite obținerea unei imagini de calitate superioară în care detaliile să poată fi diferențiate vizual. Este necesară de cele mai multe ori. În final rezultă fișiere (imagini) noi, de calitate sensibil sporită, mai ușor de interpretat geografic. Etapa, numită și ***procesarea imaginilor*** implică aplicarea de corecții de contrast (strech), filtre sau operatori matematici, analiza Fourier dar și transformări matematice, de tipul raporturilor de benzi spectrale, componentele principale și canonice, componentele vegetației, transformări sau conversii cromatice etc.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- ***Clasificările de pixeli*** sunt tehnici cantitative de identificare și extragere, sub forma de noi fișiere imagine, a informațiilor geografice. Sunt aplicații statistico-matematice ce au ca finalitate imaginea categoriilor de acoperire a terenului (vegetație și utilizarea terenului). Pixelii sunt grupați în clase distincte și rezultă hărți tematice și de regulă strate tematice (layere) utile în analiza SIG.
- ***Validarea*** *sau postprocesarea* are ca scop comparea informațiilor geografice obținute în operațiile anterioare cu realitatea terenului, în vederea pregătirii noilor imagini pentru analiza și interpretarea geografică. Se realizează în teren dar și în laborator prin comparații cu date preexistente (hărți, imagini etc.).
- ***Integrarea datelor în Sistemul Informațional Geografic*** presupune preluarea de imagini corectate și perfecționate, de rezultate din clasificări, în aplicațiile SIG, prin integrarea acestora în proiecte, alături de date de topografie, geologie, cadastru, zonare etc., în scopul obținerii de hărți tematice simple (prin vizualizare simultană, exemplul hărților satelitare, ale utilizării terenului sau modelelor tridimensionale) sau prin analiză matematică (algebră cartografică, cum este cazul hărților de risc sau pretabilitate pentru diferite utilizări).
- ***Alte operații*** sunt legate de analize speciale ca de pildă cea *hiperspectrală,* pe imagini de o mare rezoluție spectrală (aplicații de pildă în prospectarea resurselor minerale) sau *modelarea biofizică a mediilor* (în care sunt extrase din imagini, prin prelucrări complexe date de o mare importanță ecologică, de pildă nivelul de poluare sau productivitatea biologică).

Aceste operații vor constitui în cea mai mare parte obiectul acestui capitol al lucrării noastre.

3.1. Rectificarea/repararea imaginilor

Rectificarea sau repararea imaginilor are ca finalitate o imagine calitativ superioară, normalizată geometric și radiometric, în care informația geografică să apară cu o anumită conformitate în raport cu particularitățile terenului. Acestea apar pe fondul altitudinii mari a orbitelor satelitare, al refracției luminii în atmosferă, curburii terestre, paraziților din transmisiile radio, nesincronizării vitezei satelitului cu rotația terestră etc. În principal de pot defini aici trei operații principale :

- corecții geometrice (geocorecții),
- corecții radiometrice sau calibrări radiometrice,
- eliminarea distorsiunilor din imagine.

3.1.1. Corecții geometrice ale imaginilor (geocorecții)

Geocorecțiile au ca scop eliminarea deformărilor imaginilor satelitare, dar mai ales raportarea fiecărui pixel, prin coordonate geografice sau rectangulare, la

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

un *sistem de proiecție cartografică, descris de un anumit elipsoid*. În acest mod imaginea va dobândi *proprietăți topologice*, devenind un model ce reprezintă la scară redusă, realitatea terenului pe care pixelii o recompun (în mediu digital) sau în format tipărit.

Integrarea imaginilor de teledetecție în *bazele de date SIG*, sub forma de strat tematic sau layer impune corectarea geometrică în concordanță cu celelalte strate tematice în formate vector sau raster (curbe de nivel, rețea hidrografică, litologie, utilizarea terenului, așezări etc.). Informațiile extrase prin clasificări de pixeli, sub forma clusterelor vor păstra întotdeauna proprietățile geometrice ale imaginii din care provin.

Corecțiile geometrice ale imaginilor implică eliminarea unor *deformări sau distorsiuni* ce au caracter *sistematic* (ușor de controlat, ca de pildă, deplasarea liniilor de pixeli către dreapta imaginii, ca efect al rotației Pământului spre est, în timpul scanării scenei satelitare) sau *aleatoriu/arbitrar* (mai greu de controlat și corectat, rezultate din uzura fizică a sistemului de teledetecție ce implică deschiderea inegală a sistemului de oglinzi, variația altitudinii orbitei, viteza variabilă a platformei, refracția luminii în atmosferă, deplasarea radială la imagini de rezoluție mare etc.).

În condiții de detormări geometrice, imaginea satelitară poate deveni un paralelogram (engl.skew distortion), formă incorectă ce trebuie transformată în dreptunghi sau pătrat (deskew). Pixelii vor trebui translatați sau deplasați în poziția lor corectă, în raport cu detaliile terenului. Proiecția inițială a imaginii are un caracter arbitrar, ea nefiind definită matematic (imaginea este o reprezentare în plan a unei părți a suprafeței terestre, deci are o proiecție). La imaginile LANDSAT TM, Sabins (1997), definește o proiecție cosmică oblică Mercator, care este legată de specificul scanării multispectrale în șapte benzi de la peste 900 km altitudine.

O serie de imagini cu rezoluții mari (SPOT, IKONOS, QuickBird) cunosc și alte probleme legate de deplasarea radială sau de relief a detaliilor din marginea scenelor sau efectul topografic legat de apropierea sau depărtarea obiectelor de pe înălțimi sau din văi. Acestea presupun corecții suplimentare (ortorectificări), similare cu cele din cazul fotogramelor aeriene.

Corecția geometrică are la bază atribuirea de coordonate cunoscute, reale, rectangulare sau geografice, unor puncte din imaginea satelitară. Aceste puncte se numesc *puncte de control în teren* (*GCP sau Ground Control Points*) și pot fi cunoscute fie din hărți digitale geocorectate, fie din alte imagini geocorectate, sau mai ales din înregistrări în teren cu ajutorul receptorilor sau stațiilor GPS (fig. 3.1).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

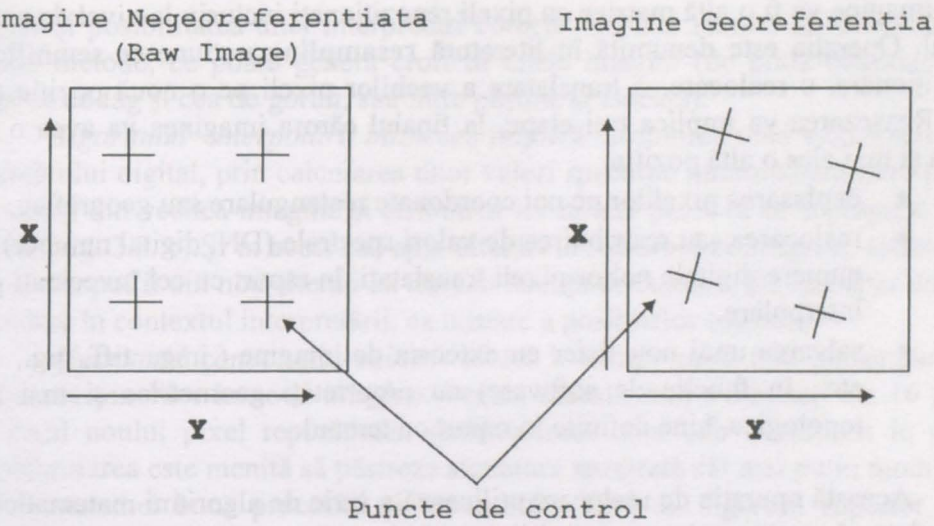


Fig. 3. 1 **Punctele de control în teren și deplasarea lor prin corecția geometrică a imaginii.**

În funcție de punctele reper, sau de control în teren, toți pixelii din imagine vor fi deplasați, translatați sau repoziționați prin intermediul unor transformări matematice numite și *transformări afine*, după relații de tipul:

$$X, Y_{initial} > X, Y_{final} + R_{X,Y},$$

unde,

X, $Y_{initial}$ – perechile de coordonate inițiale (arbitrare) ale punctului de control,

X, Y_{final} – perechile de coordonate finale (reale, în teren) ale punctului de control,

$R_{X,Y}$ – valoarea reziduală pe axele de coordonate X (nord) și Y (est) atașate fiecărui sistem de coordonate.

Transformările au la bază asocierea unor *sisteme de ecuații liniare* ce implică o conversie de valori de coordonate ale unor puncte ce vor fi folosite de către toți pixelii din imagine pentru a-și găsi o poziție corectă, topologică :

$$x = a_0 + a_1 X + a_2 Y \qquad y = b_0 + b_1 X + b_2 Y,$$

unde,

x, y – noile coordonate (reale, topologice)ale punctelor de control,

X, Y – vechile coordonate (arbitrare, fără topologie) ale punctelor de control,

a, b – variabile ce definesc ecuațiile lineare atașate coordonatelor.

Prin aceste transformări, va rezulta ***o nouă imagine satelitară***, în care pixelii vor avea o nouă poziție, bine definită prin coordonate reale, dar totodată

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

noua imagine va fi o altă matrice cu pixeli repoziționați inclusiv la nivel de număr digital. Operația este denumită în literatură **resampling** noțiune ce semnifică o repoziționare, o realocare, o translatare a vechilor pixeli pe o nouă poziție (fig. 3.2). Reașezarea va implica trei etape, la finalul cărora imaginea va avea o altă formă și mai ales o altă poziție:

- deplasarea pixelilor pe noi coordonate rectangulare sau geografice,
- realocarea sau reatribuirea de valori spectrale (DN, digital number) sau numere digitale noilor pixeli translatați, în raport cu cei învecinați prin interpolare.
- salvarea unui nou fișier cu extensia de imagine (.img, .tiff, jpg., .hdr etc., în funcție de software) cu proprietăți geometrice și mai ales topologice, bine definite în raport cu terenul.

Această operație de realocare utilizează o serie de algoritmi matematici de interpolare, în contextul reconstituirii imaginii pe baze noi, în concordanță cu topologia. Cei mai cunoscuți sunt aplicați în coînregistrarea de imagini satelitare cu alte informații geografice. Reconstituirea pe o nouă configurație a imaginii este ușor de explicat prin internmediul unei matrici.

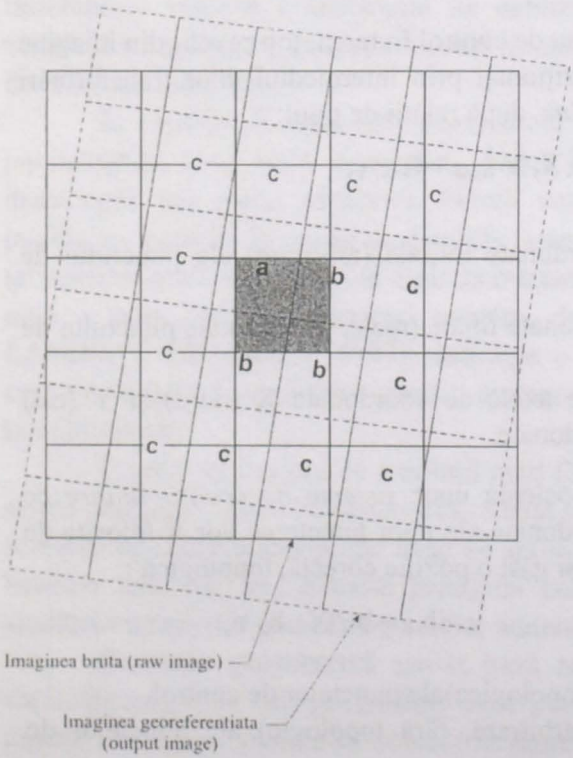


Fig. 3.2 **Poziția pixelilor din imaginea brută** (raw image) **și imaginea georeferențiată** (output image), **modificată prin operația de repoziționare** (resampling)

Algoritmul celui mai apropiat vecin (sau algoritmul „nearest neighbour") este cea mai simplă metodă de interpolare. Algoritmul presupune alocarea noilor valori ale numerelor digitale din noua imagine (matrice), prin atribuirea valorii spectrale a celui mai apropiat pixel din imaginea brută. Deplasarea pixelului poate să atingă la peste un sfert de pixel (până la 7-9 m la imagini LANDSAT multispectrale), așa cum arată Lillesand (2004). În acest mod, noua imagine va avea unele diferențe radiometrice de detaliu. Noii pixeli au unele mici diferențe de număr digital, ce pot altera în anumite cazuri, calitatea

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

datelor şi posibilitatea unei interpretări corecte. De aici rezultă un dezavantaj al acestei metode, ce poate genera erori în unele imagini (de pildă confuzia între pădurea de fag şi cea de gorun, sau între păşune şi fâneaţă).

Algoritmul interpolării bilineare implică atribuirea unei valori mai reale a numărului digital, prin calcularea unor valori spectrale intermediare între pixelii învecinaţi din vechea imagine şi atribuirea lor noului pixel ce se suprapune peste aceştia (fig. 3.3. c).Şi în acest caz apar alterări în radiometria imaginii, astfel încât noii pixeli pot fi din nou alteraţi ca ton sau nuanţă de culoare. De aici apar din nou probleme în contextul interpretării, ca urmare a posibilelor confuzii.

Algoritmul convoluţiei cubice aduce o soluţie mult mai performantă în realocarea pixelilor în noua imagine. Pentru aceasta sunt translataţi cei 16 pixeli din jurul noului pixel repoziţionat (echivalentul unui cub desfăşurat în plan). Transformarea este menită să păstreze signatura spectrală cât mai puţin modificată în vederea unei bune procesări şi interpretări. Este un algoritm superior celor anterioare ca efect al modificărilor mai puţin evidente la nivelul valorilor radiometrice.

Aplicarea acestor algoritmi este necesară pentru corectarea geometrică a datelor şi realizarea overlay-ului în SIG, prin vizualizarea altor date din stratele tematice. Alterarea numerelor digitale ale pixelilor din noua imagine, în raport cu cei din imaginea brută necesită, de multe ori, realizarea corecţiilor geometrice după procesare (corectare radiometrică, de contrast, aplicarea de filtre, operaţii matematice spectrale etc.) şi înainte de clasificările de pixeli. Procedeul este folosit şi în combinaţii de imagini obţinute de senzori diferiţi, prin tehnici de image sharpening, aplicaţii prezentate ulterior.

Exemple de corecţii geometrice

Cele trei exemple sunt reflectate de cele trei situaţii în care coordonatele punctelor de control din teren (GCP) pot fi exploatate în geocorecţie.

Geocorecţia hartă-imagine presupune utilizarea unei hărţi în format digital, geocoretate**, o hartă topografică**, ce are deja o proiecţie acordată în prealabil. Punctele de control din imagine vor fi atribuite coordonatelor punctelor omoloage de pe harta de referinţă. Acestea vor fi alese prin aplicarea de măriri (zoom) ale detaliilor, pe criteriul corespondenţei cu cele din hartă. Pot fi alese repere fixe sau aproape fixe, în teren ca de exemplu, clădiri, poduri, intersecţii de drumuri şi căi ferate etc. Nu sunt alese confluenţele de râuri şi alte puncte instabile, mai ales acolo unde rocile sunt moi şi evoluţia lor în timp este rapidă (câmpii, dealuri, depresiuni). Orice hartă geocorectată poate fi utilizată în geocorecţia imaginilor (de pildă şi o hartă geologică), însă eroarea de geocorecţie a acesteia trebui să fie relativ mică, deoarece valorile reziduale se vor multiplica şi pe noua matrice (imagine) corectată (tabelul 3.1). În plus, este recomandabil ca

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

imaginea digitală să aibă o scară apropiată de harta de referință. Un exemplu este cel al subscenelor LANDSAT ETM+, ce au scara de circa 1:30000- 1:33000, și sunt comparabile, în acest mod, cu harta topografică la scara 1: 25000.

Geocorecția imagine-imagine se aplică în situația în care lipsa unei hărți geocorectate, poate fi suplinită de existența unei alte imagini satelitare sau aeriene (în ultimul caz imaginea trebuie să fie și ortorectificată). Punctele de control pot fi ușor și corect alese în cazul în care rezoluția imaginilor este suficient de mare pentru a permite localizarea lor corectă (fig. 3.3). Sunt alese și în acest caz punctele fixe din teren care sunt sesizabile pe ambele imagini digitale. Noua imagine obținută va avea un sistem de proiecție echivalent imaginii de referință, ce poate fi modificat prin reproiectare automată în funcție de parametrii doriți. Folosirea de imagini aeriene ca imagini de referință este corectă numai după ortorectificare, situație specifică dealtfel și imaginilor satelitare de mare rezoluție de tipul Ikonos sau QuickBird. Același lucru este important și în situația în care se dorește geocorecția unei fotograme aeriene. Lipsa ortorectificării implică propagarea erorilor generate de proiecția centrală.

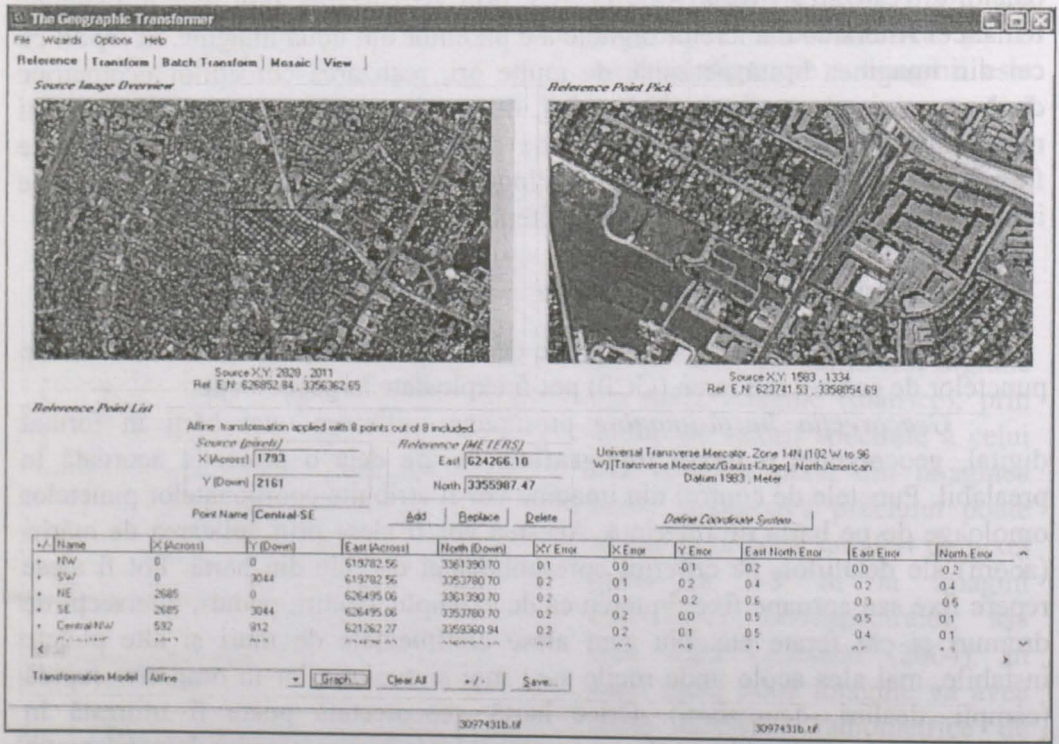


Fig. 3.3 **Geocorecția imagine-imagine și corespondența punctelor de control în teren** (GCP)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Geocorecția pe baza punctelor GPS este utilizată atunci când nu dispunem de hartă sau imagine geocorectate, dar de multe ori se apelează la acest mijloc pentru ortocorecția/geocorecția de precizie a imaginilor satelitare sau aeriene de mare rezoluție. Procesul presupune înregistrarea la teren a unor puncte de control (GCP), folosind receptori GPS sau stații GPS de precizie. Alegerea acestora se face în urma calibrării receptorului sau stației pe un punct ce are coordonate precise și altitudine cunoscută (borne din rețeaua de triangulație sau cote marcate în teren, puncte bine precizate pe hărți și planuri topografice). În acest caz, punctul de calibrare este înregistrat în memorie după care sunt preluate și celelate puncte.

Există și posibilitatea de a avea deja puncte de calibrare în conținutul unor hărți topografice-turistice sau atlase rutiere ca în o serie de state precum Franța, Elveția, Cehia, Germania etc. Numeroase produse cartografice digitale (de exemplu baza de date Twixtel în Elveția, editat Twix AG și SwissImage) sunt compatibile cu date GPS, oferind și coordonate raportate la diferite sisteme.Ele sunt alese tot pe criteriul stabilității în timp, dar se ține seama și de rezoluția imaginii care permite sau nu localizarea exactă a punctului de control în teren. De regulă, existența unei hărți sau imaginii geocorectate în prealabil este utilă pentru vizualizarea punctelor GPS.

Variante utile în alegerea punctelor sunt numeroase : borne topografice (puncte geodezice) mijlocul unor intersecții de drumuri afaltate sau de căi ferate și drumuri, poduri (mijloc sau capete, în funcție de rezoluție), intersecții de canale antropice, colțuri sau mijlocul unor clădiri, gări-peron sau clădiri, macaze de cale ferată, stâlpi sau antene cu diverse destinații etc. De multe ori, aceste repere sunt realativ puține în teren, situație specifică, de pildă, etajului alpin. În aceste cazuri se vor marca pe hartă, puncte de coordonate cunoscute ce pot fi vârfuri, cu sau fără borne, stâlpi de marcaj turistic pe teren stabil și nu pe grohotișuri, cabane daca există sau puncte de confluență pe talveguri bine adâncite în roci dure.

Numărul punctelor de control trebuie să fie suficient de mare pentru ca matricea finală a noii imagini să fie corect construită. Sunt suficiente, de multe ori, numai patru puncte bine poziționate în arealul imaginii, cât mai uniform pentru a deplasa cât mai precis noii pixeli. De multe ori noul fișier imagine (cu extensii variate, ca de plidă .tiff, .img, .jpg etc.) este însoțit de un fișier piramidă (.rrd) ce asigură construirea mai bună a noii imagini ce nu trebuie să își modifice considerabil signaturile spectrale ale pixelilor. Distribuția punctelor trebuie să fie uniformă, fapt pentru care din imaginea de geocorectat se va extrage aria de interes. Verificarea geocorecției se poate efectua după vizualizarea erorilor sau valorilor reziduale pe axele Y(est) și X(nord), prin suprapunerea stratelor tematice vector (curbe de nivel, talveguri de râuri, drumuri, căi ferate etc) sau raster (așezări, păduri, teren agricol etc.) peste imaginea coînregistrată cu acestea. Eventualele nesuprapuneri pot fi corectate prin :

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- modificarea algoritmului de realocare (resample) a pixelilor în noua imagine,
- reintroducerea unor valori de coordonate,
- modificarea coloanelor tabelului la nivel de valori (inversarea lor, atunci când imaginea apare în poziție anormală),
- reproiectarea stratelor tematice sau a imaginii coînregistrate.

3.1.2 Corecții radiometrice

Signatura spectrală a diferitelor elemente componente ale peisajului terestru are un rol esențial în interpretarea imaginilor preluate de senzorii de teledetecție amplasați la bordul sateliților/stațiilor spațiale sau al avioanelor elicopterelor (sau baloanelor). Altitudinea orbitei sau a plafonului de zbor implică diferențieri importante în signatura obiectelor identice în imagini sau chiar în cuprinsul aceleiași scene satelitare.

Un *exemplu* în acest sens este o pădure de foioase din zona montană, care poate avea în aceeași scenă signaturi diferite de la un versant însorit la un versant umbrit, ca efect al unei iluminări inegale a terenului, legată de poziția Soarelui în momentul înregistrării. Acest aspect poate genera erori semnificative în etapa clasificărilor de pixeli, destinate extragerii informațiilor pentru integrarea lor în SIG.

Caracterul relativ neomogen al atmosferei terestre, ce conține pe lângă amestecul gazos cunoscut și mulți vapori de apă, particule de praf, ace de gheață, ce sunt nuclei de formare a norilor, impune alte erori de răspuns spectral, ce se impun a fi corectate/compensate. Imaginile satelitare impun cele mai ample corecții radiometrice legate de atmosferă, deoarece altitudinea orbitei satelitare (de la 400-500 km la Ikonos, la 700-900 km la Landsat și 35.000 km la sateliții meteorologici geostaționari NOAA), implică eliminarea rolului de filtru pentru o serie de radiații electromagnetice captate în formă ușor alterată de senzori.

Corecții impun și curbura suprafeței terestre, evidentă pe măsură ce imaginea cuprinde o arie mai extinsă (185×185 km la Landsat, 60×60 km la SPOT 4 etc.), ce afectează pixelii de margine. În plus desincronizările de la înregistrare, legate de gradul de uzură al senzorului de teledecție, pot conduce la deformări ale pixelilor ce pot fi de asemenea corectate. Sensibilitatea senzorului poate fi de asemenea afectată de uzură, fapt ce generează o diferențiere mai slabă a unor signaturi spectrale apropiate (de exemplu pădurile de brad în raport cu cele de molid în infraroșu). Și aceste pot fi corectate în mediu digital.

Corecțiile de radiometrie au ca scop normalizarea imaginilor sau aducerea obiectelor identice din imagini la aceeași signatură spectrală. Ele se aplică frecvent, înainta celor geometrice ca vor repoziționa pixelii într-o nouă imagine, alterând într-o oarecare măsură proprietățile lor spectrale. De exemplu, realizarea unui mozaic digital de vară al unui masiv montan, implică aducerea signaturilor spectrale ale vegetației, ghețarilor etc. la valori identice. Mozaicul va fi tratat în

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

final, după dimensionare ca o imagine unitară, deoarece a fost realizat după corecții radiometrice și geometrice. Un alt exemplu este cel al analizelor Change Detection (ale dinamicii peisajului) ce necesită operații matematice cu imagini sau clasificări de pixeli de pe imagini pentru a analiza schimbările. De pildă analiza dinamicii unui oraș implică o normalizare radiometrică a pixelilor ce alcătuiesc orașul respectiv și chiar redimensionarea lor în unele situații.

În practică se folosesc mai multe corecții radiometrice :

- corecția de distanță Pământ-Soare,
- corecția de elevație solară (datorată poziției diferite a Soarelui în momentul preluării imaginilor),
- corecția (corecțiile) atmosferice,
- corecția efectului de umbrire impus de topografie.

Poziția Soarelui pe bolta cerească este caracterizată de ***azimut*** (unghiul direcției Pământ-Soare în raport cu direcția nord) și ***elevație*** (unghiul direcției Pământ-Soare, în raport cu linia orizontului, reprezentată prin tangenta în locul respectiv la suprafața curbă a Pământului).

Corectarea efectului poziției diferențiate a Soarelui pe boltă se numește și *corecția cosinus* deoarece implică împărțirea valorii spectrale a pixelului la cosinusul unghiului pe care Soarele îl formează la Zenit cu verticala locului (fig. 3.4). Aceasta se poate aborda și în sensul împărțirii valorilor spectrale ale pixelilor la sinusul unghiului elevației solare. Această corecție este unilaterală, deoarece nu ia în calcul și efectele topografice sau difuzia radiației în atmosferă.

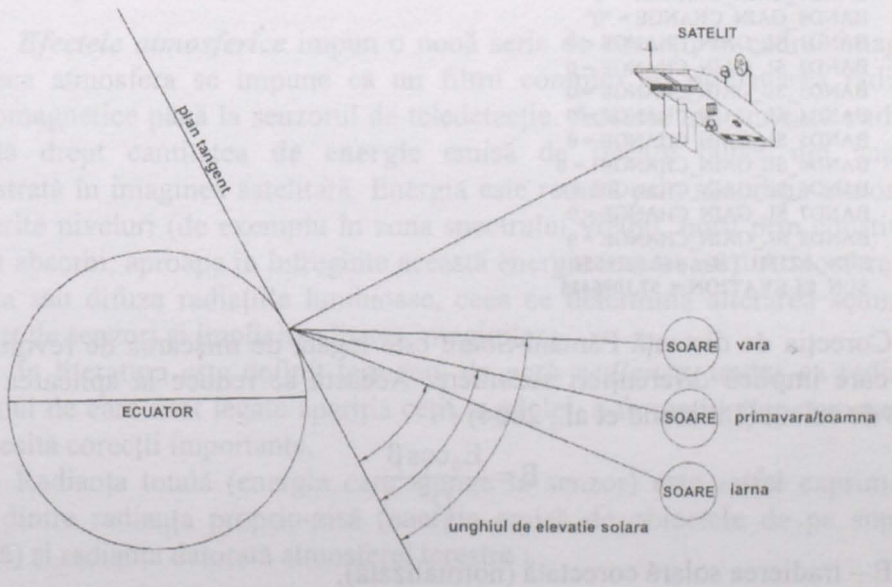


Fig. 3.4 **Elevația solară și poziția satelitului pe bolta cerească în funcție de anotimp** (după Lillesand, 2004)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Valorile azimutului şi elevaţiei solare în momentul preluării scenei satelitare sunt specificate în fişierul de metadate ataşat oricărei scene satelitare, aşa cum se poate observa în fişierul furnizat în baza de data Global Land Cover Facility (fragment).

```
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
  CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND1 = "CPF"
  CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND2 = "CPF"
  CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND3 = "CPF"
  CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND4 = "CPF"
  CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND5 = "CPF"
  CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND61 = "CPF"
  CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND62 = "CPF"
  CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND7 = "CPF"
  CORRECTION_METHOD_GAIN_BAND8 = "CPF"
  CORRECTION_METHOD_BIAS = "IC"
  BAND1_GAIN = "H"
  BAND2_GAIN = "H"
  BAND3_GAIN = "H"
  BAND4_GAIN = "L"
  BAND5_GAIN = "H"
  BAND6_GAIN1 = "L"
  BAND6_GAIN2 = "H"
  BAND7_GAIN = "H"
  BAND8_GAIN = "L"
  BAND1_GAIN_CHANGE = "0"
  BAND2_GAIN_CHANGE = "0"
  BAND3_GAIN_CHANGE = "0"
  BAND4_GAIN_CHANGE = "0"
  BAND5_GAIN_CHANGE = "0"
  BAND6_GAIN_CHANGE1 = "0"
  BAND6_GAIN_CHANGE2 = "0"
  BAND7_GAIN_CHANGE = "0"
  BAND8_GAIN_CHANGE = "0"
  BAND1_SL_GAIN_CHANGE = 0
  BAND2_SL_GAIN_CHANGE = 0
  BAND3_SL_GAIN_CHANGE = 0
  BAND4_SL_GAIN_CHANGE = 0
  BAND5_SL_GAIN_CHANGE = 0
  BAND6_SL_GAIN_CHANGE1 = 0
  BAND6_SL_GAIN_CHANGE2 = 0
  BAND7_SL_GAIN_CHANGE = 0
  BAND8_SL_GAIN_CHANGE = 0
  SUN_AZIMUTH = 142.4219554
  SUN_ELEVATION = 57.1096425
```

Corecţia de distanţă Pământ-Soare este legată de mişcarea de revoluţie a Terrei, care implică diferenţieri sezoniere. Aceasta se reduce la aplicarea unei formule de calcul (Lillesand et al., 2004) :

$$E = \frac{E_0 \cos\beta}{D^2}$$

unde,

E – iradierea solară corectată (normalizată),

E_0 – iradierea solară la distanţa medie Pământ-Soare în momentul preluării imaginii satelitare,

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

ß – unghiul Soarelui cu verticala locului la zenit (fig. 3.4),
D – distanța medie Pământ-Soare în momentul preluării imaginii.

Datele pentru aceste calcule sunt de asemenea incluse în fișierul metadata al imaginii (la nivel de bandă spectrală), iar corectarea efectivă se realizează prin utilizarea unor module de calibrare radiometrică a datelor satelitare, disponibile în o serie de pachete software specializate. Rezultă o imagine nouă, un nou fișier cu extensie de imagine ce poate fi supus după aceea altor corecții (imagine normalizată prin radianță sau reflectanță).

```
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
  LMAX_BAND1 = 191.600
  LMIN_BAND1 = -6.200
  LMAX_BAND2 = 196.500
  LMIN_BAND2 = -6.400
  LMAX_BAND3 = 152.900
  LMIN_BAND3 = -5.000
  LMAX_BAND4 = 241.100
  LMIN_BAND4 = -5.100
  LMAX_BAND5 = 31.060
  LMIN_BAND5 = -1.000
  LMAX_BAND61 = 17.040
  LMIN_BAND61 = 0.000
  LMAX_BAND62 = 12.650
  LMIN_BAND62 = 3.200
  LMAX_BAND7 = 10.800
  LMIN_BAND7 = -0.350
  LMAX_BAND8 = 243.100
  LMIN_BAND8 = -4.700
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
```

Efectele atmosferice impun o nouă serie de corecții în cadrul imaginilor deoarece atmosfera se impune ca un filtru complex în propagarea radiațiilor electromagnetice până la senzorul de teledetecție. Aceasta influențează **radianța**, definită drept cantitatea **de energie** emisă de fiecare punct din suprafața înregistrată în imaginea satelitară. Energia este redusă prin absorbția atmosferică la diferite niveluri (de exemplu în zona spectrului vizibil, norii prin constituenții lor pot absorbi, aproape în întregime această energie luminoasă). Atmosfera poate reflecta sau difuza radiațiile luminoase, ceea ce determină alterarea semnalului receptat de senzori și implicit calitatea imaginilor.

În literatura este definit termenul de ***path radiance***, tradus ca radianță a drumului de care sunt legate apariția ceții, a pâclei, a formațiunilor noroase, ceea ce necesită corecții importante.

Radianța totală (energia care ajunge la senzor) este astfel exprimată ca suma dintre radianța propriu-zisă (energia emisă de obiectele de pe suprafața terestră) și radianța datorată atmosferei terestre :

$$L_{tot} = L_{ef} + L_{atm} = \rho\, ET/\pi + L_P,$$

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

unde

L_{tot} – radianța totală (mW/cm^2/sr/μm),
L_{ef} – radianța efectivă (mW/cm^2/sr/μm), a punctului de la nivelul suprafeței terenului,
L_{atm} – radianța atmosferei (mW/cm^2/sr/μm), legată de particulele componente,
ρ – reflectanța la nivelul suprafeței terenului (%) sau procentul de radiație incidentă, ce a fost reflectată de un punct din teren (dependentă de lungimea de undă și condițiile atmosferice),
E – energia radiației incidente (W), dependentă de lungimea de undă și condițiile atmosferice),
T – transmisia atmosferică a radiației (dependentă de lungimea de undă și condițiile atmosferice).

Corectarea difuziei atmosferice se realizează prin scăderea radianței obiectului de reflectanță zero dintr-o bandă (ce apare în tonuri de negru, cu DN = 0, pe imagini cum ar fi de pildă apa în infraroșul mediu) din radianța totală la nivelul obiectului din imagine.

$$C_{dif\,atm} = L_{tot} - L_{R0},$$

$C_{dif\,atm}$ – corecția de difuzie atmosferică a radiației (mW/cm^2/sr/μm),
L_{tot} – radianța totală (mW/cm^2/sr/μm),
L_{R0} – radianța obiectului de reflectanță zero (mW/cm^2/sr/μm)

Corecția de difuzie atmosferică este ușor de aplicat la imaginile perfect verticale. La cele oblice sau înclinate, se impune inițial realizarea ortorectificării pentru a se asigura normalizarea la nivelul pixelilor. Operația este o simplă diferență de imagini în tonuri de culoare, ce trebuie să fie coînregistrate. În final va rezulta o nouă imagine în care pixelii vor exprima numai radianța la nivelul suprafeței terenului. Se elimină ceața sau pâcla, dar și efectul unor nori (cel mai evident la imagini în infraroșu pentru că radiația penetrează multe tipuri de nori). O alternativă este utilizarea componentelor principale ale imaginii satelitare (ceea ce va face obiectul unui subcapitol următor).

Indicii tasseled cap sunt astfel de imagini în scara de gri, ce exprimă radianța prin intermediul nivelului de strălucire, de ceață, de pâclă, de verde al vegetației (ce exprimă starea de sanogeneză) etc. Aceștia vor fi obiectul unui capitol următor.

De multe ori este necesară *conversia* ***valorilor de radianță spectrală***, în ***valori de reflectanță*** și reciproc, exprimate prin numărul digital sau valoarea spectrală a pixelului (DN), . Această aplicație devine utilă în corelarea datelor provenite de la senzori diferiți, cu sensibilitate spectrală inegală (ceea ce înseamnă diferențe de reflectanță). Situația este frecventă la imaginile Landsat și SPOT,

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

unde benzile spectrale pot fi combinate între ele, deşi rezoluția spectrală şi spațială sunt diferite. Valorile de radianță spectrală absolută, minimă şi maximă, caracterizează sensibilitatea senzorului de teledetecție, pentru fiecare bandă spectrală (ex. Landsat ETM+) şi sunt specificate în fişierul metabază de date (metadata) al scenei satelitare (sursa GLCF), asemeni celor de reflectanță.

```
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
  QCALMAX_BAND1 = 255.0
  QCALMIN_BAND1 =  0.0
  QCALMAX_BAND2 = 255.0
  QCALMIN_BAND2 =  0.0
  QCALMAX_BAND3 = 255.0
  QCALMIN_BAND3 =  0.0
  QCALMAX_BAND4 = 255.0
  QCALMIN_BAND4 =  0.0
  QCALMAX_BAND5 = 255.0
  QCALMIN_BAND5 =  0.0
  QCALMAX_BAND61 = 255.0
  QCALMIN_BAND61 =  0.0
  QCALMAX_BAND62 = 255.0
  QCALMIN_BAND62 =  0.0
  QCALMAX_BAND7 = 255.0
  QCALMIN_BAND7 =  0.0
  QCALMAX_BAND8 = 255.0
  QCALMIN_BAND8 =  0.0
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
```

Valorile sunt cele din momentul lansării pe orbită a senzorului şi nu din momentul preluării imaginii prin scanare multispectrală (nu ține seama de uzura sistemului de senzori). Calibrarea inițială a senzorului (setarea instrumentului la parametrii proiectați) este esențială în acest sens.Relația de conversie reflectanță-radianță se exprimă :

$$DN = GL + B$$

unde

DN – numărul digital sau valoarea spectrală a pixelului (între 0-255, la imaginile în 8 biți),

G – panta răspunsului sau channel gain (rezultată din corelația radianță-reflectanță),

L – radianța la nivelul pixelului ($mW/cm^2/sr/\mu m$),

B – interceptarea funcției de răspuns (channel offset).

$$G = (L_{MAX} - L_{MIN}) / 255$$

Aceste valori pot fi reprezentate grafic (fig. 3.5), iar parametrii sunt specificați în fişierul metadata al imaginii, înainte datelor de azimut şi elevație solară.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

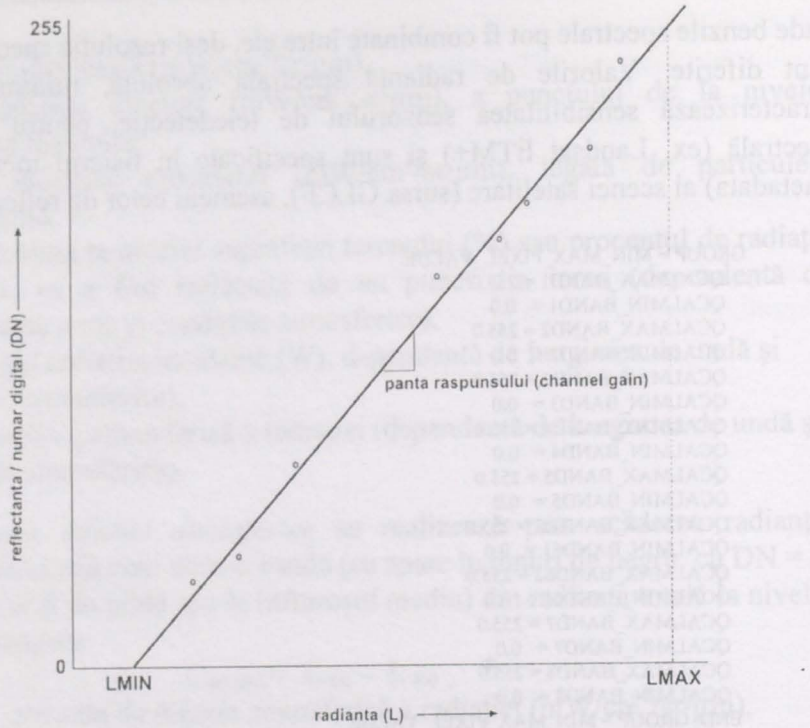


Fig. 3.5 **Regresia lineară între valorile de radianță spectrală și reflectanță**
(după Lillesand et al., 2004)

Conversia valorilor de reflectanță în valori de radianță se bazează pe relația matematică :

$$L = (L_{MAX} - L_{MIN}) / 255 \times DN + L_{MIN},$$

unde

L – radianța spectrală la nivelul pixelului ($mW/cm^2/sr/\mu m$),

L_{MAX} – radianța spectrală *maximă* la nivelul pixelului ($mW/cm^2/sr/\mu m$) echivalentă valorilor saturate (cele mai mari) de reflectanță spectrală, de ex. 255 în banda spectrală ($mW/cm^2/sr/\mu m$),

L_{MIN} – radianța spectrală *minimă* la nivelul pixelului ($mW/cm^2/sr/\mu m$) echivalentă valorilor minime de reflectanță spectrală, de ex. zero în banda spectrală ($mW/cm^2/sr/\mu m$),

DN – numărul digital sau valoarea spectrală a pixelului (între 0-255, la imaginile în 8 biți).

Conversia se realizează pentru fiecare pixel, la nivelul fiecărei benzi spectrale în parte. Parametri de radianță maximă și minimă sunt cunoscuți din fișierul metabază de date al imaginii satelitare. Numărul digital este exprimat prin

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

nivelurile de saturație al imaginii într-o bandă spectrală și caracterizat statistic prin intermediul histogramei imaginii.

Corecția umbririi impuse de topografie (relief) este impusă de fragmentarea terenului și interacțiunea dintre razele solare și suprafața topografică. Acest tip de corecție devine necesar în multe situații și precede etapa clasificărilor de pixeli din imagini. Efectul umbririi determină alterarea signaturilor spectrale în benzile vizibilului, fapt ce introduce erori în procesul clasificărilor.

Cele mai mari probleme apar în zona montană, unde efectul topografiei asupra radiometriei devine vizibil, ca urmare a diferențelor de radianță dintre suprafețele plane și cele înclinate, dintre interfluvii sau șesuri aluviale și versanți. De obicei imaginea prezintă un efect redus de umbrire imediat după răsăritul Soarelui și înainte de apus, însă acesta depinde și de azimutul respectiv elevația solară.

Corectarea umbrelor este astfel esențială. Un exemplu este de pildă iluminarea diferențiată a unor versanți montani cu păduri de molid. Cei expuși Soarelui permit o clasificare corectă a pixelilor, în timp ce versanții umbriți vor apare întunecați iar eroarea de clasificare poate apare.

Există ***trei posibilități*** de eliminare (parțială, dar suficientă) a efectului de umbrire.

Elaborarea de rapoarte de benzi spectrale este cea mai simplă soluție posibilă. Este evident aplicabilă imaginilor multispectrale ce cuprind benzi din domeniile vizibil și infraroșu. Aceasta se bazează la imaginile Landsat TM și ETM+, pe raportarea benzilor din infraroșu la banda roșu pentru diferențierea răspunsului spectral în special în zone acoperite de vegetație. Miltette și colaboratorii (1995), propune în Munții Himalaya, o combinare în sistem RGB a trei rapoarte de benzi Landsat TM (R4/3, G5/3, B7/3). Eficiența metodei depinde de rezoluția spectrală a benzilor dar mai ales de momentul în care a fost înregistrată imaginea. De aceea, rapoartele pot fi adaptate diferitelor situații.Imaginile rezultate sunt în falscolor și necesită un efort de interpretare ceva mai mare.

Un aspect care poate apare este corelarea benzilor ce compun raportul, fapt ce va conduce la rezultate neelocvente, deci inutilizabile. În acest sens, decorelarea prin strech sau componentele principale pot deveni utile.

Mascarea arealelor umbrite este o metodă intuitivă, dar necesită exploatarea unui model digital altitudinal (DEM) realizat la o rezoluție comparabilă cu imaginea în concordanță cu datele de azimut și elevație solară. În principal se va genera o imagine a umbririi DEM în momentul în care imaginea a fost înregistrată. Se va genera astfel o mască în care terenurile umbrite vor fi scăzute din imaginea ce necesită corectarea umbrelor, la nivelul fiecărei benzi în parte. Noile imagini obținute se vor reclasifica și apoi se vor recombina.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Algoritmul este util atunci când dispunem de un DEM corect coînregistrat şi de datele de iluminare solară. Mai mult, diferenţele dintre clasele de acoperire a terenului trebuie să fie clare.

Modelarea şi controlul efectului de umbră este cea mai avansată metodă, recomandată de Clark Labs, producătorul pachetului software IDRISI ©, dar posibilă şi în alte pachete SIG ce suportă operaţii în format raster. Imaginea va avea cele trei benzi calibrate radiometric şi va fi exploatată geostatistic. În prima etapă se va genera histograma imaginii de corectat şi datele geostatistice aferente. Se va genera din modelul digital altitudinal o imagine a umbririi (hillshade) terenului în momentul realizării imaginii. Prin realizarea unei regresii lineare între imaginea iniţială şi imaginea umbririi se vor obţine valorile de intercepţie (channel offset) şi de pantă ale funcţiei de regresie ce vor fi necesare în calibrarea imaginii terenului umbrit. În urma calibrării, terenul umbrit se va scădea din imaginea iniţială printr-o simplă operaţie de algebră cartografică. Rezultatul va fi o imagine în care terenul va apărea uniform din punct de vedere spectral, fără umbre, asemeni unei zone plate.

Transformarea Tasseled Cap constituie o modalitate de conversie a datelor de reflectanţă în date de radianţă spectrală, prin transformarea răspunsului spectral procentual al obiectelor din benzile aferente scenei sau subscenei, într-un grup de 4-6 indici exprimaţi prin imagini în scară de gri. Metoda permite interpretarea imaginilor pentru obţinerea de informaţii utile în aprecierea stării mediului în arealul din imagine şi a fost experimentată prima dată de Kauth et.al, 1979, pe imagini Landsat MSS, exploatate în scopul evaluării productivităţii unor culturi agricole. Ulterior, aplicaţiile au fost extinse şi la imaginile Landsat TM (Crist, Cicone, 1984) şi ETM+ (Huang et al., 2000).

Transformarea este realizată pe imagini calibrate, în care codificarea signaturii spectrale la nivelul pixelilor exprimă diferenţe de reflectanţă. Fiecare bandă spectrală este coînregistrată (geocorectată). Prin conversia reflectanţă-radianţă, pixelii sunt raportaţi unui spaţiu ortogonal, în care numărul de axe este variabil. Fiecare dintre axe reprezintă un indice căruia la care se asociază o imagine în scară de gri, în care diferenţele de signaturi sunt valori de radianţă (energie emisă în spaţiu şi captată de senzorul satelitar).

Aplicaţiile cele mai cunoscute se referă la imagini Landsat, însă ele sunt extinse cu succes şi în cazul altor scene satelitare (ASTER, MODIS, NOAA etc.). Numărul indicilor obţinuţi variază de la un senzor la altul. De exemplu la imaginile Landsat MSS, sunt generaţi patru indici, deci patru imagini (strălucirea solului, indicele de verde, indicele de îngălbenire sau ofilire şi un alt indice). La imaginile TM, se obţin trei indici (strălucirea solului, indicele de verde şi un al treilea indice). În cazul imaginilor ETM+ (de ultimă generaţie) rezultă, ca urmare a rezoluţiei spectrale, un grup de şase indici, deosebit de utili în analiza stării mediului:

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- indicele de strălucire a terenului,
- indicele de verde al vegetației,
- indicele de umiditate,
- indicele de ceață (haze),
- al cincilea indice,
- al şaselea indice.

Interpretarea imaginilor se poate realiza individual, dar prin combinare în sistemul culorilor aditive se obțin şi imagini falscolor, cu diferite grade de expresivitate. În continuare vom oferi câteva exemple de interpretare a imaginilor primilor patru indici.

Indicele de strălucire a terenului

Imaginea reprezintă subscena satelitară Landsat ETM+ din vestul Carpaților Curburii şi Depresiunea Braşov, datată 5/05/2002, ora 7.30 AM (ora locală). Este o imagine de primăvară (fig. 3.6), în care diferențierile cele mai semnificative se referă la raportul dintre vegetația forestieră (tonuri închise, deci radianță mică) şi terenurile fără păduri, în special pajişti şi terenuri agricole (ce apar strălucitor pentru că nu sunt aproape deloc protejate de vegetație ierboasă şi au radianță mare).

Decalajele fenologice sunt evidente pe ecartul altitudinal de aproape 2000 m, între depresiune şi Masivul Bucegi. Zăpada apare clar la peste 1500-1800 m prin strălucirea ei mare (ex. în jurul vf. Omu) şi poate fi uşor diferențiată de pajiştile alpine. La obârşiile torenților din munți ea stagnează şi evidențiază sistemele de ravene (M. Baiului, M. Grohotiş, M. Ciucaş etc.). La nivelul pajiştilor terenul erodat este evident deoarece, vegetația este incipientă acolo unde solul nu este degradat prin surapăşunat (pe rama depresiunii, pe talveguri de torenți şi culoare de avalanşe. Sunt evidente şi albiile cu intense aluvionări. O strălucire aproape similară o au pădurile de fag şi fag cu gorun în raport cu livezile şi pajiştile sau unele terenuri agricole, la sub 1200-1400 m altitudine şi în depresiune/Culoarul Rucăr-Bran. În acest fel se constată propagarea fenofazelor de la nivelul depresiunii spre munte, dar se diferențiază şi foioasele de conifere.

Indicele îşi găseşte aplicații utile în contextul cartografierii terenului erodat sau erodabil, a terenului arat în raport cu cel ocupat de culturi agricole, deoarece radianța acestuia este mult mai mare în raport cu cel împădurit.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

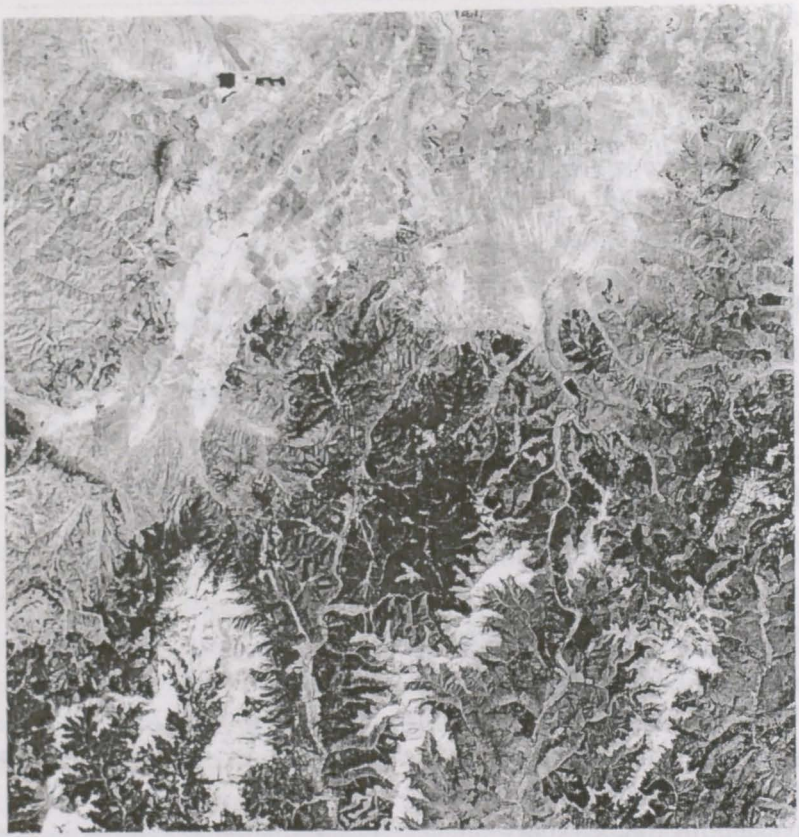


Fig. 3.6 **Indicele de strălucire Tasseled Cap, aplicat unei subscene Landsat ETM+ din aria Carpaților Curburii**

Indicele de verde al vegetației

Imaginea indicelui de verde este deosebit de sugestivă în ariile cu păduri, pajişti şi terenuri agricole, mai ales în sezoanele cu transformări fenologice ce se propagă altitudinal. În fig. 3.7, apare evidentă diferențierea pădurilor în raport cu pajiştea, terenul agricol şi aşezările. Este efectul saturării în verde a acestor formațiuni vegetale, ce se deosebesc şi ca structură, în foioase de un verde crud în luna mai (fag şi pe alocuri gorun şi stejar sau livezi în zona Branului), respectiv conifere de un verde închis dar de saturație mai redusă, în tonuri de gri mai închis. Pădurile plantate de conifere (pin, molid, brad) dar şi cele de amestec, apar prin radianța lor diferită în plin etaj al foioaselor (Tâmpa, Măgura Codlei etc.). Limita pădurii este foarte clară inclusiv pe abrupturi, unde este afectată de avalanşe. Rețeaua de drenaj se impune evident prin modificarea consistenței pădurii pe talveguri. Deşi imaginea are o rezoluție medie de circa 30 m, sunt diferențiate construcțiile risipite, în raport cu terenul învecinat (pajişti, livezi) în Platforma

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Branului. Starea de sănătate a vegetației este ușor de urmărit prin compararea signaturilor exprimate prin radianță. Aceasta depinde însă de fenofază și de tipul de pădure. În imaginea de față, se constată faptul că pădurea este sănătoasă, în situația în care fenologic, ne aflăm la începutul sezonului de vegetație.



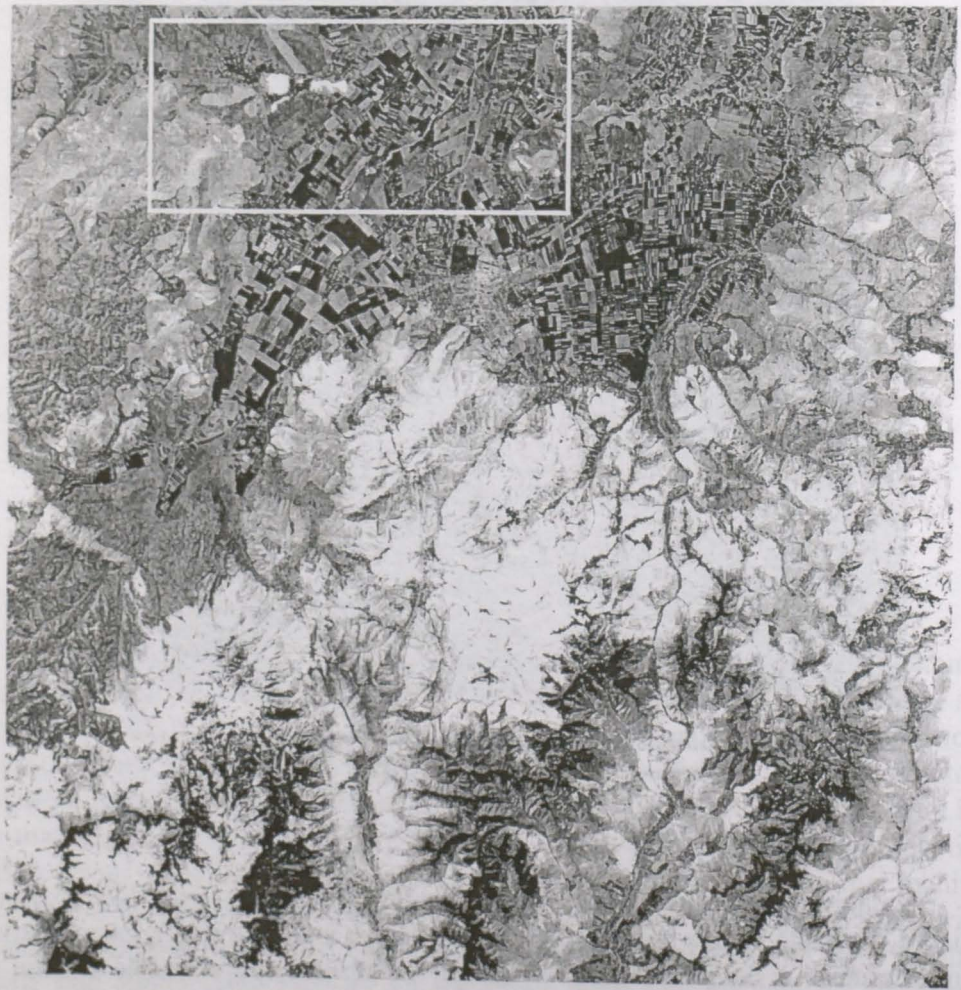
Fig. 3.7 **Indicele de verde Tasseled Cap, aplicat pe subscena Landsat ETM+ din aria Carpaților Curburii**

Indicele de umiditate

Imaginea corespunzătoare indicelui de umiditate (fig. 3.8) exprimă radianța raportată la axa umidității. Strălucirea cea mai mare este caracteristică albiilor minore și lacurilor, luciului de apă în general (pe cursurile Oltului și afluenților ca Bârsa, Timișul sau Râul Negru, în curs inferior, lacurile antropice de pe V. Hămăradia). Acestea ies în evidență în raport cu terenul agricol de pe substrate permeabile, unde predomină pietrișul și nisipul, ceea ce înseamnă un conținut mic de umiditate (piemonturile Săcele , Sohodol sau cele din Culoarul

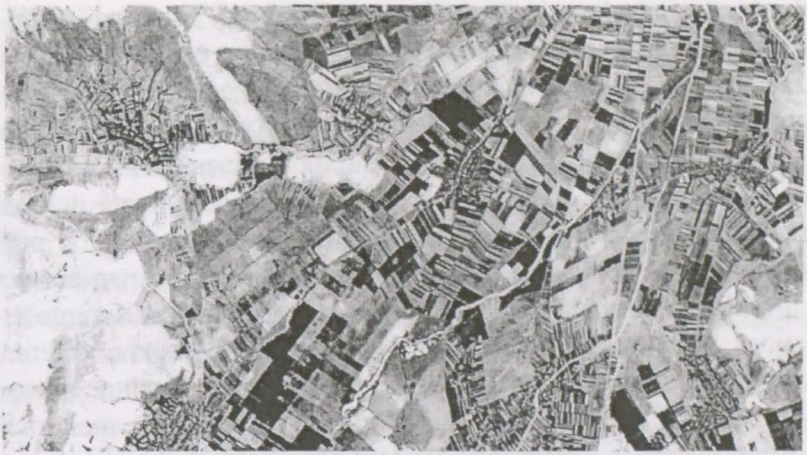
https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Râşnov-Zărneşti). Valori remarcabile de umiditate sunt specifice şi pădurilor de conifere şi de amestec, în urma suprasaturării solurilor şi deluviilor datorită topirii zăpezilor, dar şi a precipitaţiilor de primăvară. Foioasele amplasate pe calcare sau conglomerate reţin mai puţină umiditate decât coniferele. În etajul alpin, zăpada este bine evidenţiată prin tonuri foarte deschise şi se diferenţiază uşor în raport cu pajiştile amplasate pe terenuri permeabile, unde nisipul, pietrişul, gresia, calcarul şi conglomeratul au contribuit la un drenaj rapid în subteran. Talvegurile de ape sunt evidente prin creşterea umidităţii.



a

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



b

Fig. 3.8 **Indicele de umiditate Tasseled Cap, aplicat pe subscena Landsat ETM+ din aria Carpaților Curburii (a). În detaliu lacuri și albii de râuri în vestul Depresiunii Bârsei, cu tonuri de alb (b).**

Indicele de ceață (engl. haze)



Fig. 3.9 **Indicele de ceață Tasseled Cap, aplicat pe subscena Landsat ETM+ din aria Carpaților Curburii**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Cel de-al patrulea indice al transformării Tasseled Cap, prezintă importanță pentru eliminarea radianței suplimentare pe care o implică atmosfera. Alterarea răspunsului spectral al terenului înregistrat este în măsură să genereze erori de interpretare calitativă dar mai ales cantitativă. Din examinarea imaginii (fig. 3.9) se pot observa ariile în care suprafața subiacentă are potențial pentru formarea ceții radiative. Ora preluării imaginii este caracterizată de concentrarea ceții în terenurile joase și umede din albia Oltului în depresiune și pe înălțimile montane învecinate, cu deosebire deasupra limitei pădurilor. Imaginea este utilă în corecțiile de difuzie atmosferică dar și în identificarea diferențelor topo și microclimatice. Sunt evidente la nivelul Depresiunii Brașov, diferența dintre topoclimatul șesului unde stagnează dimineața ceața de inversiune și topoclimatul piemonturilor și glacisurilor, ceva mai blând și cu o durată mai mică a ceții. Radianța diferențiază în ansamblu, potențialul caloric la nivelul suprafeței subjacente.

Obținerea acestor imagini complementare necesită mai întâi calibrarea imaginii satelitare și specificarea tipului de senzor. Sensibilitatea diferită a sistemelor de senzori impune variații ale radianței minime și maxime în limitele cărora are loc conversia reflectanței în radianță.

3.1.3. Eliminarea distorsiunilor. Reconstituirea imaginilor

Eliminarea distorsiunilor sau reducerea „zgomotului'' (engl. noise reduction/ image restoration) este o etapă de multe ori necesară în cazul imaginilor satelitare din primele generații ce sunt cuprinse în analize comparative. Cel mai caracteristic exemplu aparține scenelor Landsat MSS, ce au fost obținute de primii doi sateliți. Scannerele multispectrale și sistemele de televiziune RBV au avut o serie de probleme ce s-au impus și în calitatea imaginilor. Perfecționarea lor a semnificat și îmbunătățirea calității imaginilor, dar în egală măsură tehnicile de preprocesare digitală au contribuit esențial.

Prin ***distorsiune sau „zgomot''***se înțelege *orice perturbație nedorită* ce apare în conținutul imaginii satelitare și care alterează caracteristicile radiometrice ale acesteia. Acestea pot masca, altera, degrada parțial sau total signaturile spectrale. Cauzele sunt de ordin tehnic, legate de defecte ale detectorilor de radiații, transmisie radio necorespunzătoare către stația de sol, digitalizarea incorectă sau înregistrarea defectuoasă pe diferite suporturi (banda magnetică la început). Zgomotul poate fi sistematic, deci controlat și ușor de eliminat dar și aleatoriu, ce poate apărea neprevăzut (de exemplu, uzura senzorilor) și este mai greu de controlat. Ambele categorii sunt corectate pe cale digitală.

Prin aceste operații, imaginea va fi readusă la configurația originală, cea pură, și poate fi supusă perfecționării și clasificărilor tematice (extragerii informației).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Aplicațiile ce constituie obiectul exemplificărilor noastre se referă la imagini Landsat MSS de primă generație (din 1979, sursa baza de date GLCF), la care defectele sunt relativ frecvente. Ele sunt legate de scanarea simultană a mai multor linii de pixeli dar şi de transmiterea la sol a imaginilor cu multe perturbații. În cele ce urmează prezentăm câteva metode de corectare a distorsiunilor.

Eliminarea fâşiilor (destripe) este o procedură de eliminare a distorsiunilor lineare (engl. stripes), ce apar sub forma de linii paralele şi orizontale la nivelul celor patru benzi spectrale Landsat MSS. Este un defect specific acestor scene satelitare mai ales, ca efect al scanării simultane a mai multor linii de pixeli. Histograma unei imagini va fi incorectă şi în realitate la fiecare grup de linii de pixeli (minim şase) există o histogramă. Algoritmul de corectare a acestor distorsiuni va întocmi histograme parțiale şi se vor calcula medii ale numerelor digitale aferente pixelilor situați de o parte şi de alta a liniilor de separație (fig. 3.10).



Fig. 3.10 **Aplicarea procedurii destripe unei subscene satelitare Landsat MSS, banda 1** (verde), **zona Munții Ciucaş-Buzău şi Depresiunea Întorsurii** (1979)

Eliminarea liniilor (line drop) presupune corectarea imaginii afectate de prezența unor linii paralele foarte fine ce sunt fie orizontale fie oblice. Sursa lor este pierderea de semnal în timpul scanării imaginilor, fapt ce duce al înlocuirea pixelilor cu linii negre. Algoritmul presupune, asemeni procedurii anterioare medierea aritmetică a numerelor digitale ale pixelilor situați de o parte şi de alta a liniei ce trebuie eliminată (fig. 3.11). Altă posibilitatea este aplicarea unei matrici sau filtru boolean de 3×3 cu valori de 0 şi de exemplu 0,5, în care pixelii învecinați celor afectați vor fi înmulțiți şi se va atribui o nouă valoare pixelului traversat de linie.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



Fig. 3.11 **Aplicarea procedurii line drop unei subscene satelitare Landsat MSS, banda 2** (roşu), **zona Munţii Ciucaş-Buzău şi Depresiunea Întorsurii** (1979)

Eliminarea zgomotului aleatoriu este necesară în cazul în care imaginea prezintă puncte dispuse arbitrar şi cu forme şi dimensiuni variate, suprapuse pixelilor ce conţin informaţia spectrală. Efectul este cel similar răspândirii unor boabe de sare şi piper (Sabins, 1997) ce afectează continuitatea scenei şi implică evident erori de interpretare şi clasificare atât la nivel de bandă spectrală cât şi în contextul combinaţiilor de benzi. Algoritmul presupune raportarea numărului digital pixelilor alteraţi de acest defect la numărul digital al pixeliilor corespunzători învecinaţi. În funcţie de valorile acestor rapoarte se apreciază erorile existente care se vor compara cu o serie de valori-prag.

În practică, repararea acestor deficienţe ale imaginilor satelitare, se realizează frecvent prin intermediul matricilor sau ferestrelor mobile de dimensiuni 3×3, 5×5, 7×7, sau 11×11 pixeli (fig. 3.12). Ferestrele se rulează pe imagine stânga-dreapta şi de sus în jos astfel încât fiecare pixel se va afla în centru la un moment dat. În mod automat se va determina media numerelor digitale ale pixelilor învecinaţi suprapuşi ferestrei, valoare ce se va atribui pixelului din centru (filtru morfologic).

În finalul etapei de reconstituire a imaginilor, vor rezulta în mod evident noi imagini, exprimate prin noi matrici în care pixelii vor avea alocate noi numere digitale (fişiere noi de tip imagine). Aplicarea acestor metode implică şi unele probleme ce impun păstrarea signaturilor spectrale corecte la nivelul imaginii.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

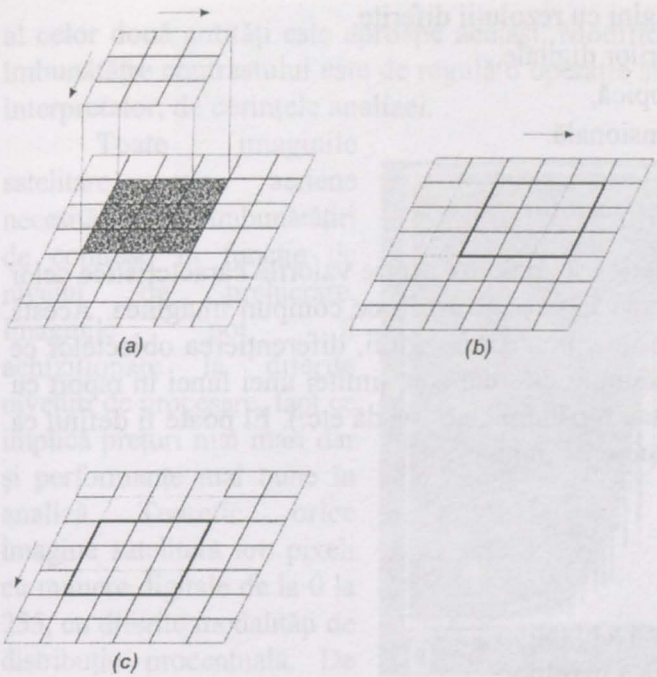


Fig. 3.12 **Principiul ferestrelor mobile în repararea imaginilor satelitare prin medierea valorilor numerelor digitale**

3.2. Perfecționarea imaginilor

Pefecționarea sau îmbunătățirea imaginilor satelitare (engl. image enhancement) este în fapt o etapă de procesare a imaginilor ce urmează corecțiilor geometrice și radiometrice și eventualelor reparații. Aceasta presupune pregătirea imaginilor în vederea extragerii informațiilor geografice din structura lor. Prelucrările sau procesările au ca scop principal obținerea unor imagini de calitate superioară, prin modificarea controlată (corectarea) valorilor spectrale corespunzătoare pixelilor. Noile imagini vor fi mai ușor de interpretat, mai sugestive și vor asigura o mai mare acuratețe a informației obținută prin clasificările de pixeli. Integrarea datelor din imagini în SIG necesită un bun control al erorilor care se pot transmite în analize complexe și pot afecta calitatea hărților ce sprijină luarea unor decizii în gestiunea peisajului, a așezărilor etc.

În literatura internațională și în manualele unor pachete software specializate în procesare de imagini de teledecție, sunt definite mai multe operații ce se aplică imaginilor (fr. traitement des images), pe care le vom prezenta și exemplifica pe scurt :

- îmbunătățirea contrastului imaginilor,
- diferențierea tonurilor de culoare,
- filtrarea imaginilor și întărirea contururilor entităților,
- transformările IHS,

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- combinațiile de imagini cu rezoluții diferite,
- întocmirea mozaicurilor digitale,
- exploatarea stereocopică,
- vizualizarea tridimensională.

3.2.1. Îmbunătățirea contrastului

Contrastul imaginii digitale este raportul dintre valorile caracteristice celor mai strălucitori pixeli şi celor mai întunecați pixeli ce compun imaginea. Acesta poate influența în mod esențial interpretarea imaginii, diferențierea obiectelor ce apar în structura acesteia (de exemplu diferențierea limitei unei lunci în raport cu marginea unui con de dejecție sau o pădure de o livadă etc.). El poate fi definit ca raportul strălucire maximă-strălucirea minimă.

$C = B_{max} / B_{min}$ unde,

B_{max} - stralucirea maximă a pixelilor
B_{min} - strălucirea minimă a pixelilor

Valorile numerice caracteristice contrastului sau raportului de contrast, sunt cuprinse între 0 şi 10, astfel încât el poate fi unitar dacă $B_{max} = B_{min}$, şi este infinit dacă numitorul este egal cu zero. Din interpretarea relației de mai sus, rezultă că cel mai bun contrast are raportul cel mai mare, atunci când strălucirea maximă este mult mai mare, comparativ cu cea minimă.

Expresia contrastului imaginii rezultă din modul de distribuire procentuală a valorilor spectrale sau numerelor digitale alocate pixelilor ce alcătuiesc imaginea satelitară, la nivelul fiecărei benzi spectrale în parte. Modalitatea de vizualizare şi control a acesteia este ***histograma imaginii digitale***. Aceasta reprezintă un grafic în axe rectangulare (fig. 3.13), ce caracterizează fiecare imagine la nivel de bandă spectrală. Citirea este legată de atribuirea fiecărui pixel unui număr digital sau valoare spectrală (0-255 la imaginile în sistem de codificare de 8 biți), în care 0 reprezintă negrul iar 255 este albul. Restul celor 254 de nimere digitale sunt atribuite elementelor scării de gri, astfel încât pixelii cei mai întunecați au DN aproape de zero, iar cei strălucitori au DN apropiat de 255.

Corectarea sau îmbunătățirea contrastului sunt în esență modificări ale histogramei unei imagini (o singură bandă spectrală) ce au ca scop obținerea unei imagini mai sugestive, mai uşor de interpretat. Pixelii vor deveni, în funcție de scopul analizei, mai luminoşi sau mai întunecați astfel încât diferențierea entităților cu signaturi spectrale similare din spațiul imaginii, să fie posibilă. De exemplu un drum situat în lunca unui râu, în banda verde unde răspunsul spectral

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

al celor două entități este aproape același. Modificarea distribuției pixelilor sau îmbunătățire contrastului este de regulă o operație subiectivă, deoarece depinde de interpretator, de cerințele analizei.

Toate imaginile satelitare sau aeriene necesită aceste îmbunătățiri de contrast, în funcție de nivelul de prelucrare. Imaginile pot fi achiziționate la diferite niveluri de procesare, fapt ce implică prețuri mai mari dar și performanțe mai bune în analiză. Teoretic, orice imagine satelitară are pixeli cu numere digitale de la 0 la 255, cu diferite modalități de distribuție procentuală. De aici rezultă un contrast mai mare sau mai mic, ce poate fi corectat pe cale digitală.

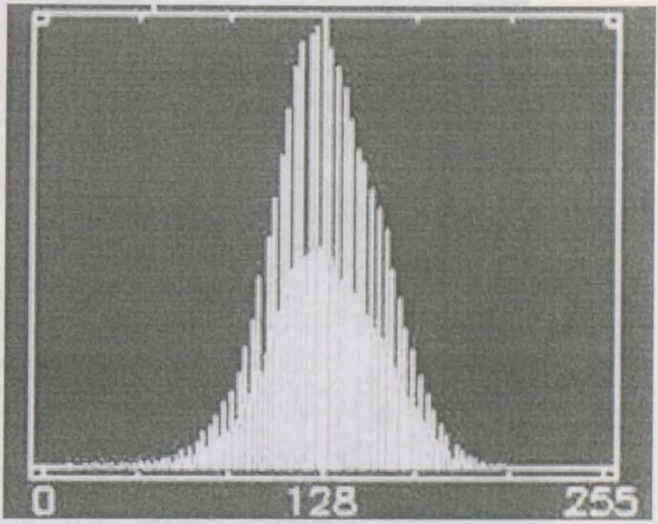


Fig. 3.13 **Histograma unei subscene satelitare**
(pe axa orizontală sunt numerele digitale, pe axa verticală procentul pixelilor din imagine, alocat fiecărui număr digital)

Scenele satelitare LANDSAT ETM+ au de regulă un contrast mic (imagine brută sau engl. raw image), fapt ce poate fi suplinit prin aplicarea unor algoritmi de redistribuire statistică a valorilor spectrale ale pixelilor. Operația se numește și strech sau controlul contrastului. De exemplu banda 8 (pancromatic) este o imagine brută relativ puțin contrastată, astfel încât pădurile de foioase sunt greu de delimitat în raport cu așezările de la poalele muntelui. Singurele element mai evident sunt zăpada de pe vârful Omu și pădurea de conifere, ce corespund, prin signatura lor, pixelilor cu valori extreme (fig. 3.14).

Din analiza histogramei se observă concentrarea mare a pixelilor către zona întunecată a imaginii, fapt ce implică necesitatea corectării contrastului prin redistribuirea procentuală a pixelilor. Pădurile de foioase se confundă cu pajiștile și unele terenuri cultivate, singurele entități ușor de deosebit fiind pădurile de conifere și zăpada. Acesta este contrastul imaginii brute, fapt pentru care aplicarea modificării de contrast se realizează în unele pachete software în momentul vizualizării imaginii, prin algoritm liniar.

Modificarea contrastului presupune mai multe posibilități de realocare procentuală a pixelilor. Distribuirea valorilor spectrale poate fi realizată în mai multe modalități statistice (tipuri de strech sau de redistribuire a pixelilor), pe care le vom prezenta pe scurt.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



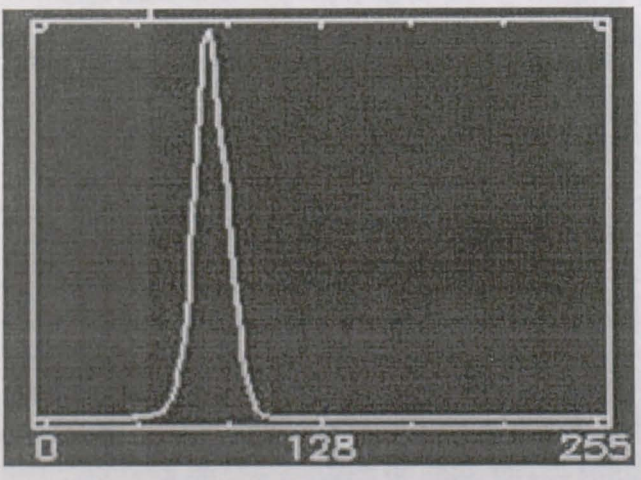


Fig. 3.14 **Subscena satelitară LANDSAT ETM+** (banda 8, pancromatic) **din vestul Carpaților Curburii** (imagine brută engl. raw image) **și histograma aferentă**

Strech-ul linear (redistribuirea lineară) utilizează procedura LUT (lookup table) ce constă în realocarea automată, realizată printr-o singură operație, a unui nou număr digital (DN'), în locul celui alocat pixelului inițial (DN), în funcție de tipul de redistribuire a pixelilor. În realitate are loc înlocuirea de valori numerice dintr-o matrice (input image/matrix) cu alte valori într-o nouă matrice

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

(output image/matrix). Imaginea ce corespunde unei benzi spectrale poate fi modificată la nivelul de strălucire al pixelilor de la o stare nesaturată la una saturată. Aceasta se poate observa în graficul de corelație dintre valorile spectrale inițiale și cele finale (fig. 3.15).



Fig. 3.15 **Trecerea de la nivelul de nesaturat la cel saturat al contrastului prin aplicarea strech-ului linear de 2%** (după Sabins, 1997). **Subscenă LANDSAT ETM+ pancromatic din vestul Carpaților Curburii**

Contrastul nesaturat este definit de distribuția inegală a pixelilor pe valori de numere digitale. Aceștia sunt grupați (concentrați) așa cum arată histograma din figura 3. 16 (a imaginii inițiale), în cea mai mare parte între valorile DN egale cu 36 și 116. Din această cauză imaginea apare relativ întunecată iar tonurile sunt greu de diferențiat.

În practică se aplică o procedură de strech linear de 2%. Aceasta este dovedită de eficiența îmbunătățirii contrastului în cele mai numeroase situații. Procedeul constă în *modificarea distribuției pixelilor în histograma imaginii*

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

finale, prin atribuirea a unui procent de 2% din pixelii cei mai întunecați ai imaginii inițiale (DN între 36 și 59), respectiv 2% dintre cei mai luminoși din aceași imagine (DN între 92 și 116), valorilor saturate de negru (0), respectiv alb (255) în histograma noii imagini. Restul pixelilor (96% din total), vor fi distribuiți linear (prin regresie lineară) între numerele digitale 1 și 254 ale noii histograme, așa cum se observă în figura 3. 18. Imaginea va avea o calitate superioară celei inițiale. Procentul de 2% poate fi modificat în funcție de imaginea analizată, situația fiind diferită de la caz la caz (ex. imagini din deșerturi în raport cu cele din zona forestieră temperată).

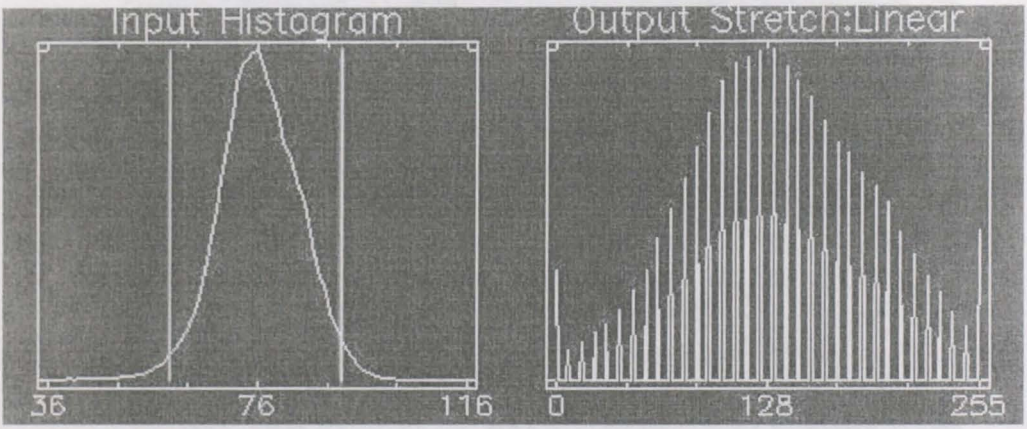


Fig. 3.16 **Transformarea histogramei imaginii inițiale prin aplicarea strech-ului linear de 2%, în cazul subscenei LANDSAT ETM+ din fig. 3.16**

Din interpretarea sumară a imaginii obținute, se observă cu ușurință diferențierea mai clară a pădurilor de foioase în raport cu cele de conifere, însă datorită rezoluției spectrale (banda 8 acoperă și o parte a infraroșului) și a fenofazelor (imagine de primăvară), pădurea de foioase e mai greu de deosebit în raport cu terenurile agricole cu vegetație ierboasă sau cu livezile. Sunt în schimb mai clare rețeaua de râuri, texturile urbane și rurale (unde străzile apar diferențiat în raport cu clădirile mari, fig. 3.17) și căile de comunicații diferențiate de terenul agricol. Aceasta se datorează redistribuirii mai eficiente a pixelilor corespunzători habitatului (DN între 25 și 140 în imaginea brută, DN între 14 și 255 în noua imagine) în zonele cele mai bune ale histogramei, punerii în valoare a informației geografice de acest tip.

În acest sens pachetele software specializate în procesarea imaginilor, s-au adaptat și au impus multe posibilități de realizare a corecției liniare a contrastului în momentul simplei interogări a imaginii într-o bandă spectrală. Pixelii sunt redistribuiți automat pe un nou LUT și rezultă o imagine mult mai sugestivă, foarte diferită de cea inițială.În cazul municipiul Brașov, de pildă, în fig. 3.17. este

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

ușor de observat planul polinuclear, rețeaua stradală poate fi analizată cu ușurință, dar sepot delimita și zone funcționale pe baza configurației clădirilor mai mari de 15 m. Zonele industriale de nord (Tractorul), de est (termocentrala), și de sud-est (Roman autocamioane-Metrom), alături de carierele de calcar (Răsăritul, în vest) sunt ușor de deosebit în raport cu zonele de locuit cu diverse texturi, de la cele vechi (compacte) la cele noi (blocuri ca cele de la sud de gara Brașov).Sunt evidente și marile căi de penetrare, bulevardele și chiar căile ferate în raport cu drumurile (gara-Triajul Brașov, la nord-est).



Fig. 3.17 **Orașul Brașov. Extras din subscena Landsat ETM+, banda 8, rezoluție 14,25 m, mai 2002. Imagine rezultată prin aplicarea unui strech linear de 2%**

Strech-ul Gaussian implică o nouă redistribuire a pixelilor pe histograma imaginii. Aceasta implică trecerea de la distrubuția inegală, concentrată a pixelilor (fig. 3.14) la cea normală, ce urmărește o curbă gaussiană. Valorile spectrale sunt alocate întregului interval de la 0 la 255, după configurația curbei gaussiene, astfel încât cei mai mulți pixeli vor corespunde unei mari diversități a tonurilor de culoare (scara de gri). În acest mod vor fi evidențiați acei pixeli ce corespund unor signaturi spectrale mai mari și mai moderate, care sunt purtătorii celui mai mare volum de informație din imagine. În cazul subscenei din figura 3.14, pixelii

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

cuprinşi între 36 şi 116 vor fi redistribuiţi între 0-255 dar mai cu seamă în intervalul 52-200 al numerelor digitale (fig. 3.18). Realocarea pixelilor ţine seama doar de numărul digital şi nu de numărul lor în cadrul imaginii, fapt pentru care rezultatul nu este întotdeauna cel aşteptat (un contrast optim pentru o bună interpretare).

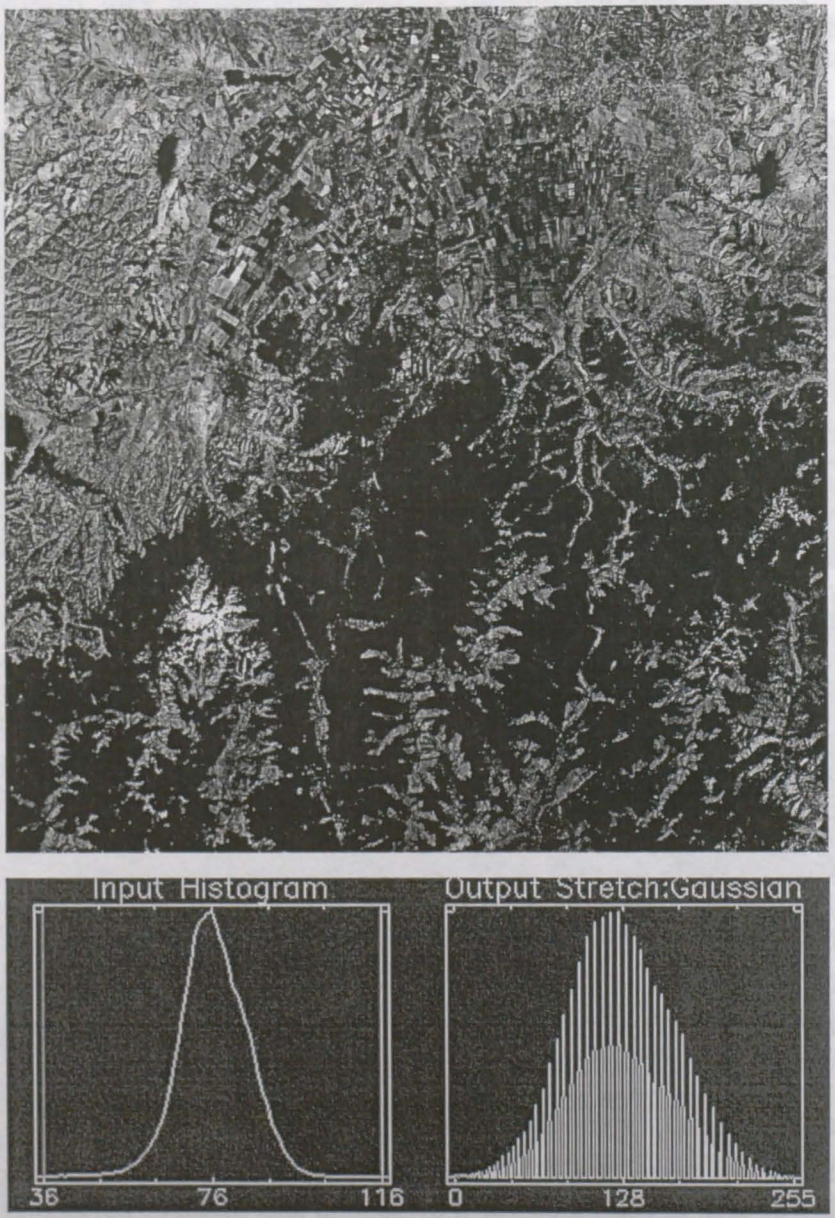


Fig. 3.18 **Imaginea Landsat ETM+ a vestului Carpaţilor Curburii, rezultată prin aplicarea strech-ului gaussian**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Contrastul obținut în cazul de față este departe de a fi cel mai favorabil interpretării. Etajul alpin din Bucegi (fig. 3.19) este mai ușor de interpretat pe fondul prezenței unor elemente cu signaturi spectrale importante în vizibil și infraroșul apropiat, ce se suprapun pancromaticului (zăpadă, pajiști cu vegetație ierboasă crudă, conținut de umiditate în soluri și roci parentale). Alpinul și subalpinul sunt ușor de delimitat în toate masivele din imagine prin exploatarea acestor signaturi (Ciucaș, Grohotiș, Baiu-Neamțu, Piatra Mare etc.). Pădurile de conifere sau amestecurile unde coniferele predomină complică interpretarea ca urmare a aglomerării pixelilor la numerele digitale de sub 128. Aceasta poate fi un avantaj pentru analiza habitatului montan înconjurat de păduri de conifere (ex. Predeal, Azuga, Bușteni) și chiar a raportului culoarelor de avalanșe de pe abrupturi cu limita superioară a pădurii (Coștila, Caraiman, Moraru, Bucșoiu etc.).



Fig. 3.19 **Vizualizarea terenurilor din etajul alpin și subalpin, a habitatului montan de vale, prin aplicarea strech-ului gaussian**
(subscena Landsat ETM+, M. Bucegi și Valea Prahovei între Predeal și Poiana Țapului)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Strech-ul de uniformizare sau de distribuție uniformă, are un avantaj în plus în raport cu cel linear și gaussian, deoarece acesta implică o redistribuire a pixelilor atât după numărul digital cât și după numărul de unități (celule) alocate fiecărui număr digital. Pixelii afectați vor fi cei din partea mediană a histogramei inițiale (majoritatea), în timp ce pixelii de la extremități vor fi mai puțini, deci imaginea va avea (teoretic) mai puține areale albe și negre. Rezultatul depinde de rezoluția spectrală și particularitățile terenului. Astfel, preluarea aceleiași scene din figura 3.19, va avea un rezultat modest, deoarece pădurea de conifere ce domină în zona montană va implica obținerea unei imaginii întunecate, uniforme în care interpretarea va fi dificilă. Din această cauză utilizăm pentru exemplificare o subscenă ce reprezintă orașul Brașov, un spațiu limitat cu signaturi spectrale și mai diferențiate (fig. 3.20).

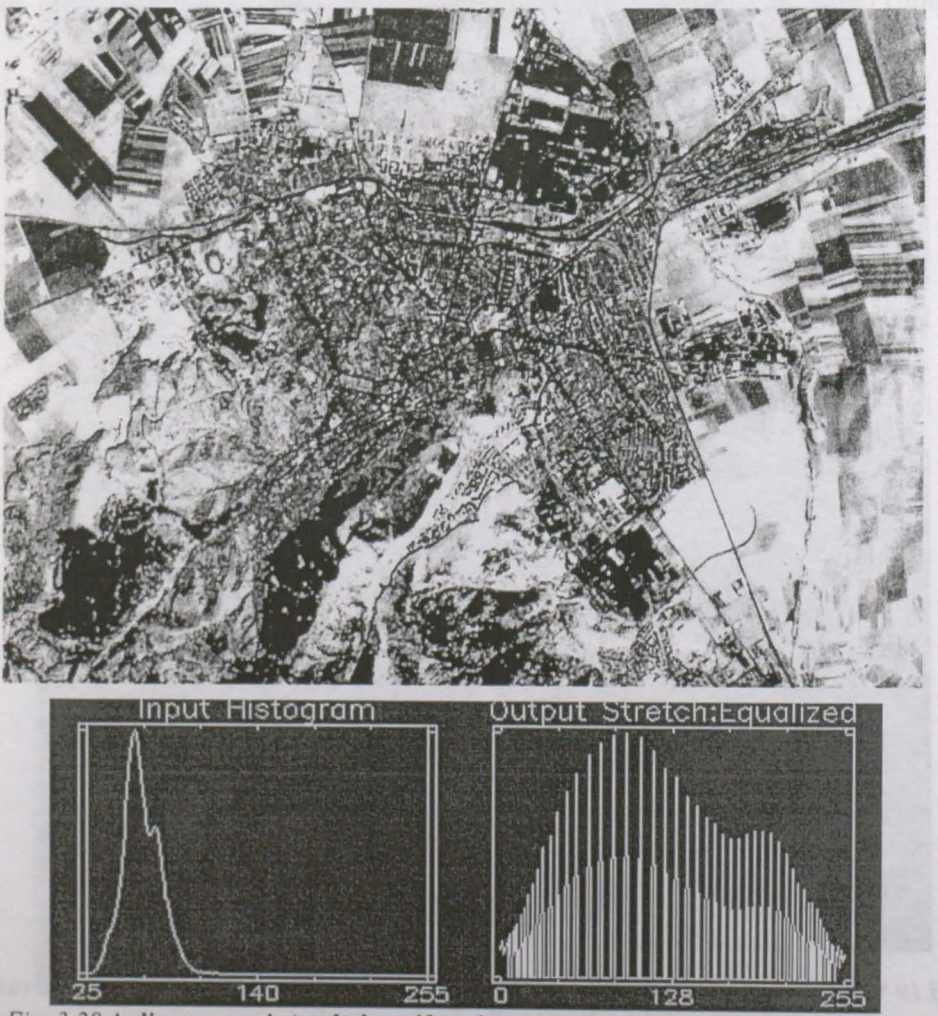


Fig. 3.20 **Aplicarea unui strech de uniformizare sau de egalizare pentru o subscenă LANDSAT ETM+, reprezentând orașul Brașov** (mai 2002).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Din analiza histogramei se observă eliminarea totală a pixelilor cu valorile extreme de 0 și 255 și o realocare a majorității numerice a pixelilor între 42 și 193, fapt ce reprezintă un contrast îmbunătățit. Coloanele histogramei au fost uniformizate pe mai multe paliere, fapt ce poate fi interpretat drept o mai bună distribuție a tonurilor de culoare și un contrast mai mare. Pixelii cu valori în jur de 80, sunt alocați țesutului urban și corespund vârfurilor histogramei, fapt ce aduce maximum de informații în interpretarea orașului. Acesta este clar delimitat de terenul agricol învecinat și de versații cu păduri (mai ales de cei acoperiți cu pin și molid). Apar în detaliu trama stradală și clădirile mari, parcurile și se detașează prin tonuri închise zonele industriale. Se delimitează ușor și terenul arat fără vegetație de cel cu vegetație ierboasă prin diferențe de rezoluție spectrală exploatate de aplicarea strech-ului de uniformizare.

Strech-ul exponențial de rădăcină pătrată se impune drept o categorie aparte ce implică redistribuirea pixelilor după o curbă de tipul unei parabole. Acesta are la bază regresia polinomială de gradul al doilea ce se stabilește între numerele digitale din imaginea inițială și cele ce caracterizează imaginea finală. În acest caz se generează o funcție de gradul al doilea ce va deplasa valorile spectrale atașate pixelilor mai mult către dreapta histogramei, în cazul de față între 100 și 254. Rezultă o predominare a tonurilor deschise și o imagine luminoasă cu un contrast favorabil interpretării zonelor inițial întunecate (în cazul nostru a pădurilor unde predomină molidul, pinul, bradul, laricea). Noua imagine (fig. 3.21) este astfel mult îmbunătățită.

Aplicarea strech-ului de rădăcină pătrată permite diferențierea elementelor de peisaj din zonele întunecate ale imaginilor. Un exemplu este interpretarea tipurilor de păduri montane în benzile din zona vizibilului sau a infraroșului apropiat. Rezultatele sunt mai bune la imaginile de primăvară sau de toamnă din pădurile temperate. În fig. 3.22, se diferențiază atât foioasele (ton deschis ce reprezintă mai ales fagul) cât și coniferele (ton închis, predomină molidul și bradul). În plus, terenul lipsit de pădure este asociat pixelilor strălucitori, tonurile cele mai apropiate de alb fiind legate de excesul de umiditate din luncile și glacisurile (conurile) de pe văile Gărcin (stânga) și Tărlung (cu lac de acumulare, în dreapta). Torențialitatea este evidentă prin apariția tonurilor deschise în lungul talvegurilor, datorate excesului de umiditate de după topirea zăpezilor, fapt ce pune în valoare și microdepresiunile dintre valuri de alunecări masive vechi (pe versantul drept al Văii Gârcinului). În estul Pietrei Mari, sunt evidente pădurile de molid masive,în parte replantări (M. Highiș din stânga imaginii). Prezența unui interval din zona infraroșului, în cadrul imaginii îmbunătățește calitatea interpretării vegetației și poate fi evident exploatată în contextul redistribuirii pixelilor după curba de tip parabolă.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

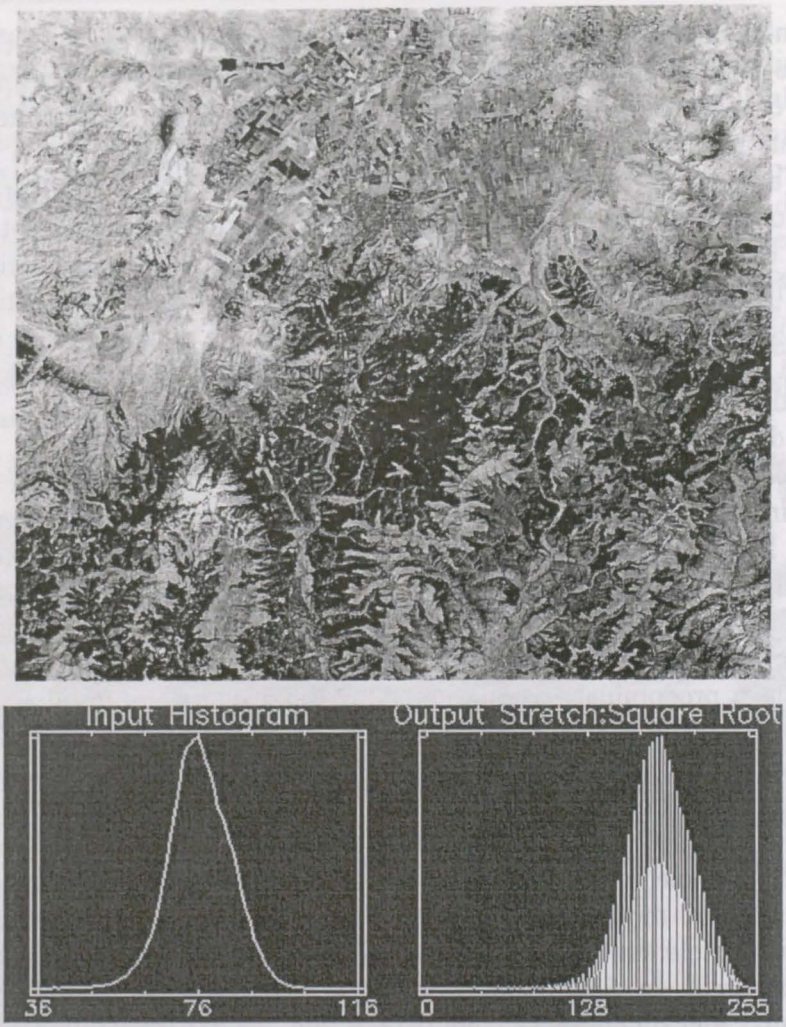


Fig. 3.21 **Aplicarea unui strech de tip rădăcină pătrată subscenei LANDSAT ETM+ din vestul Carpaților Curburii**

Strech-ul personalizat implică adaptarea distribuției statistice a pixelilor la necesitățile de interpretare. Este o operație subiectivă ce se realizează în scopul vizualizării cât mai performante a unor detalii din imagine, în strânsă legătură cu rezoluția spectrală și cu cea spațială. Exemplele pot fi numeroase, de la zone deșertice, la zone costiere, structuri urbane, căi de comunicații (diferențierea căilor ferate de șosele sau canaluri de navigație), culturi agricole, pășuni și fânețe ș.a.m.d. Interpretatorul poate acționa direct, în mod subiectiv, asupra histogramei imaginii satelitare la nivel de bandă spectrală și poate obține alte rezultate diferite de cele specifice celorlalte tipuri de corectare de contrast. De cele mai multe ori se aplică strech pentru decorelarea benzilor ce vor fi combinate în imaginile color sau pentru desaturarea unor imagini spectrozonale în contextul realizării de combinații de imagini cu rezoluții diferite (image sharpening).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



Fig. 3.22 **Diferențierea foioaselor de conifere în cadrul pădurilor de amestec prin aplicarea strech-ului de rădăcină pătrată** (square root). **Clăbucetele Tărlungului, subscena Landsat ETM+, mai 2002**





https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

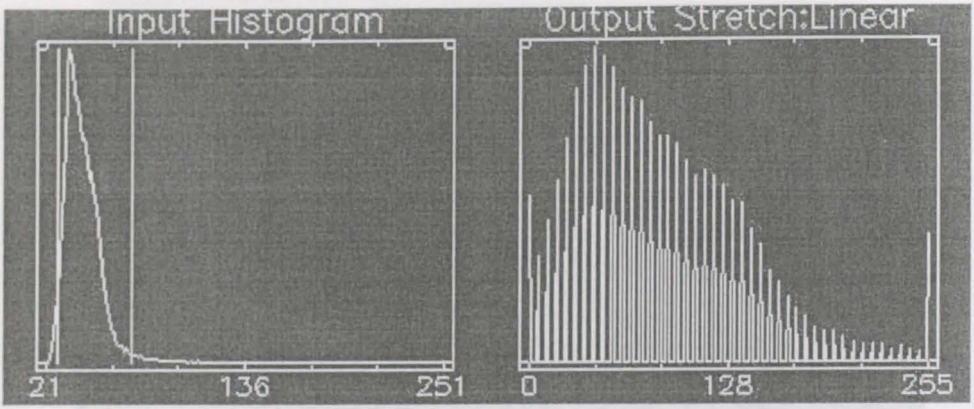


Fig. 3.23 **Aplicarea unui strech personalizat linear pentru vizualizarea aşezării urbane Comarnic. Subscenă SPOT pancromatic, iulie 1997. Valorile spectrale ale pixelilor de interes corespund verticalelor din histograma de intrare** (input)

Rezultatul aplicării strech-ului este o imagine mult îmbunătăţită. Pixelii ce corespund construcţiilor (case, clădiri publice, hale industriale dar şi drumuri şi căi ferate) sunt cuprinşi în mare măsură între numerele digitale 20 şi 80. În raport cu rezoluţia spectrală a imaginii ce acoperă intervale din zona vizibil şi infraroşu apropiat, construcţiile trebuie să apară strălucitoare. Imaginea brută din fig 3.23. nu arată o diferenţă între construcţii şi restul terenului, fapt pentru care ea necesită corectarea contrastului. Aplicarea unor tipuri de strech obiectiv nu a rezolvat, în contextul complexităţii peisajului, problema diferenţierii nete dintre construcţii şi restul elementelor din peisajul depresiunii submontane. Au fost precizate valorile spectrale ce urmează a fi evidenţiate (20-80) şi în funcţie de acestea s-a realizat o redistribuire a celorlalţi pixeli. Distribuţia lor în histogramă a fost lineară, însă personalizată. Noua imagine permite delimitarea aşezării răsfirat-lineare în raport cu pădurile, dar şi în raport cu livezile şi gradinile, cu păşunile şi fânețele, în condiţii de rezoluţie spaţială de 10 m. Albia Prahovei apare cu signatura spectrală similară drumurilor, ca urmare a canalizării acesteia în limitele oraşului. Sunt uşor de identificat drumuri de plai pe care s-au adâncit frecvent rigole şi ogaşe sau chiar terenuri suprapăşunate (Dealul Lânii, Pleşuva).

Corectarea contrastului impune în prima etapă analiza histogramei imaginii brute. Aceasta se realizează împreună cu interpretarea imaginii iniţiale prin căutarea elementelor de interes. Pixelii ce corespund acestora vor fi localizaţi şi identificaţi la nivel de număr digital, după care se va construi o nouă histogramă. Procesarea imaginii se va efectua după ce contrastul a fost corectat. În practică, imaginile color presupun existenţa a trei benzi cu trei histograme, ceea ce necesită corectarea contrastului la nivel individual, pe fiecare bandă (canal).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Corectarea contrastului imaginilor color. Scopurile aplicării corecțiilor de contrast imaginilor color sunt legate de:

- izolarea unor signaturi spectrale în vederea interpretării,
- decorelarea benzilor spectrale,
- saturarea culorilor unor imagini,
- îmbunătățirea calității fotografice în vederea tipăririi imaginii color.

În practica procesării imaginilor, vizualizarea presupune aproape întotdeauna corectarea de contrast. Unele elemente se diferențiază greu în raport cu cele ce au signaturi spectrale puțin diferite (vegetația în imaginile de vară în culori naturale sau drumurile în raport cu clădirile în imagini de același tip). O serie de benzi spectrale sunt aproape similare la nivelul signaturilor spectrale și necesită o diferențiere a elementelor ce apar în imagine cu signaturi identice, deși au proprietăți diferențiate (aceasa afectează combinațiile de imagini de la senzori diferiți ca de exemplu Landsat și SPOT). Numeroase imagini au culorile puțin expresive, chiar șterse ca urmare a nesaturării benzilor ce le compun, fapt pentru care aplicarea unui strech de saturare va aduce o nouă imagine, mult mai expresivă (de exemlu vegetația forestieră de foioase apare în luna mai la munte, de un verde șters). Mai mult imaginea poate fi transformată în fotografie, în format tipărit, fapt ce impune o îmbunătățire la nivel de contrast prin aplicarea strech-ului fotografic. În acest caz, diminuarea calității depinde și de rezoluția de export și tipul noului fișier imagine destinat tipăririi.

Imaginile color sunt rezultatul combinării a trei benzi spectrale în sistemul culorilor aditive RGB. Expresivitatea culorii în interpretarea acestora este importantă, deoarece culoarea este un criteriu de interpretare ce înlocuiește în cazul imaginilor de rezoluție spațială mică în care forma obiectelor restrânse ca dimensiuni este greu, chiar imposibil de sesizat. Signatura spectrală are astfel o expresie cromatică, ce poate fi controlată după caz. Exemple în acest sens sunt imaginile Landsat ETM+ din figura 3.24.

În fig. 3.24 a, se observă slaba calitate cromatică a subscenei. Pixelii sunt grupați într-un interval restrâns în histogramele celor trei benzi. Acestea corespund zonei vizibilului din spectru, în care corelarea lineară este o trăsătură. Singurul element ușor de interpretat este stratul de zăpadă consistent, cu pixeli de valori spectrale mari în toate cele trei benzi. O oarecare diferență există și între terenul cu păduri și cel despădurit (pajiști, terenuri agricole) ca efect al benzii 2 (verde) în care răspunde clorofila. În acest caz se impune neapărat o corectare a contrastului la nivelul celor trei benzi componente, existând mai multe posibilități. Pădurea apare în fig. 3.24 de un verde intens, saturat în special la foioase și pajiști (imagine de primăvară).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

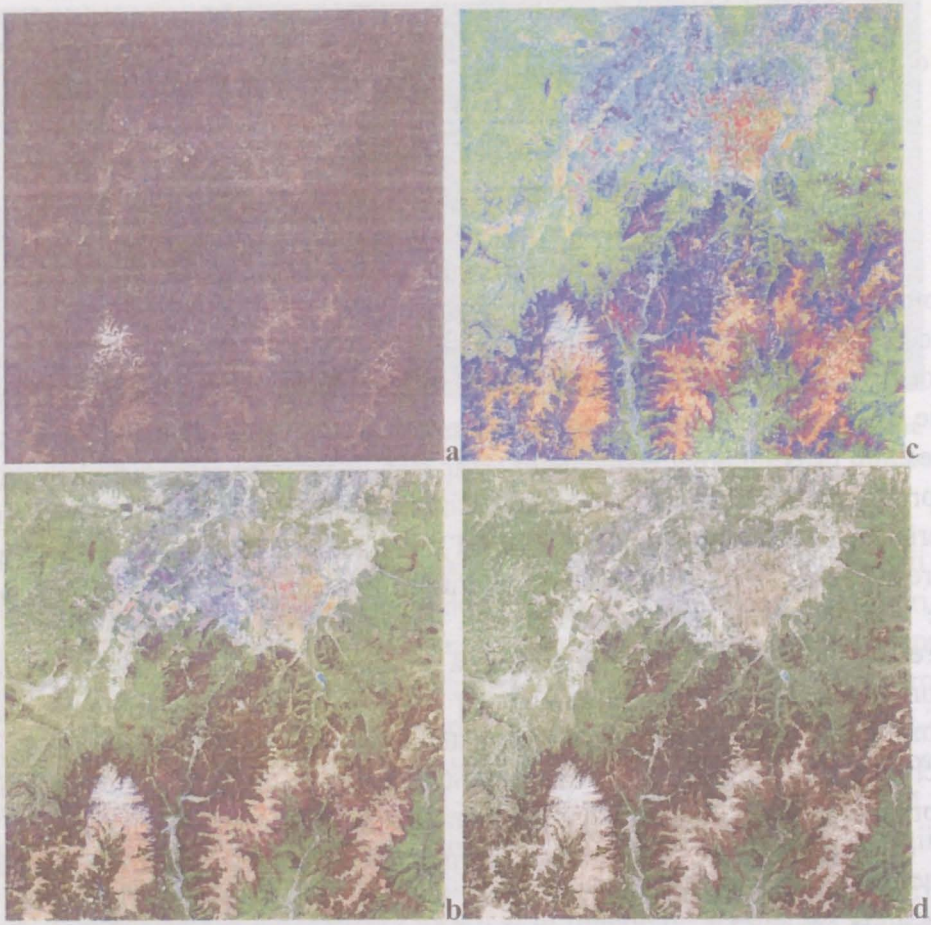


Fig. 3.24 **Aplicarea corecţiilor de contrast pe imagine color** (a.subscena originală-imagine brută, b. strech de saturare cromatică, c.strech de decorelare, d. strech fotografic).
Combinaţie 321, subscena Landsat ETM+, vestul Carpaţilor Curburii

În fig. 3.24 b, s-a aplicat un strech de saturare cromatică. Astfel au fost diferenţiate mult mai bine signaturile spectrale prin saturarea culorilor (la nivelul fiecărei benzi). Principiul este bazat pe conversia imaginii iniţiale (fig. 3.24 a) din sistem RGB în sistem HSV (componentele de culoare HSV, respectiv nuanţă-saturaţie-valoare). Elementul saturare este corectat prin aplicarea unui strech Gaussian în mod automat, până la realocarea unor noi valori spectrale saturate tuturor pixelilor. În final imaginea este reconvertită automat în sistemul culorilor aditive RGB. Interpretarea este uşoară prin diferenţierea culorilor. Limita pădurilor către etajul alpin şi terenul agricol sunt uşor de delimitat, asemeni aşezărilor şi căilor de comunicaţii. Mai mult, este posibilă diferenţierea terenului din depresiune după excesul de umiditate (violet în şesuri aluviale şi oranj în

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

treapta piemontană), al aluviunilor din albiile râurilor (cu nuanțe deschise ca pe valea Bârsa).

Figura 3.24 c, este rezultată prin aplicarea unui strech de decorelare, în scopul diferențierii signaturilor spectrale. Aceasta se impune când imaginea are culori șterse, puțin expresive, fapt ce împiedică diferențierea entităților spațiale. Este și situația noastră (fig. 3.24 a), deoarece singurul element mai ușor de interpretat este zăpada din jurul vf. Omu din Bucegi. Rezultatul este similar aplicării componentelor principale cu rotație inversă a axelor (PC inverse rotation), problemă ce va reprezenta obiectul unui subcapitol următor. Prin reatribuirea unor noi axe de coordonate pixelilor, aceștia vor dobândi noi valori spectrale decorelate. Din combinarea benzilor în RGB rezultă imaginea inițială care va fi transformată în trei componente sau imagini alb-negru cu o mai mare varianță și care recompuse în RGB vor forma noua imagine falscolor de această dată. Culorile sunt total diferite în raport cu cele inițiale, însă este posibilă diferențierea unor elemente cu răspuns spectral apropiat în RGB. Este cazul pădurilor de fag sau fag și gorun, în raport cu pajiștile secundare, al pădurilor de amestec în raport cu cele pure, al așezărilor în raport cu terenul agricol învecinat etc. Este o imagine utilă în clasificările tematice de detaliu.

Fig. 3.24 d, rezultă din aplicarea unui strech linear la nivelul fiecărei benzi, prin realocarea echilibrată a pixelilor luminoși, respectiv întunecați în intervale optime ca valori spectrale pentru obținerea unui cât mai bun contrast, util inclusiv în tipărirea imaginii. Se obține o imagine mai echilibrată sub raport cromatic, prin saturarea echilibrată a culorilor, ce se apropie mult de aspectul terenului în perioada înregistrării scenei satelitare. Așezările sunt ușor de diferențiat în raport cu vegetația, indiferent de dimensiunea lor. Este exemplul satelor risipite și răsfirate brănene, care apar pe fondul vegetației de un verde crud, chiar la rezoluția de 30 m (fig. 3.25).



Fig. 3.25 **Diferențierea detaliilor de mici dimensiuni prin aplicarea strechului fotografic**

Prin abordarea de față s-au prezentat numai câteva exemple privind corectarea contrastului imaginilor. Posibilitățile sunt foarte numeroase, însă ele rezultă din necesitatea unei vizualizări optime a datelor satelitare în cadrul aplicațiilor geografice. Ele depind de elementul urmărit de interpretator, de rezoluția spațială, spectrală și chiat temporală (anotimp), de calitatea imaginilor. În practică, toate imaginile satelitare necesită corectări ale contrastului prin modificarea histogramelor fiecărei benzi spectrale.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

3.2.2. *Diferențierea tonurilor de culoare (density slicing)*

Anumite aplicații necesită o interpretare diferențiată a unor trăsături ale obiectelor și fenomenelor din imaginile satelitare și aeriene. Adeseori ele nu prezintă contrastul dorit care semnifică un număr limitat de tonuri de culoare ușor de diferențiat prin interpretare vizuală. Histograma prezintă în acest caz o mare varietate de valori spectrale ce se transpun în imagini prin numeroase treceri de la o nuanță la alta și la dificultăți de interpretare.

În acest caz există posibilitatea regrupării pixelilor pe intervale bine delimitate de valori spectrale (eng. slices sau secțiuni), ceea ce semnifică crearea unei noi histograme și reducerea numărului de tonuri de culoare. Acestea pot fi delimitate în imagine prin linii de contur sau pot primi chiar și culori, fapt ce permite diferențierea unor trăsături din teren în raport cu cele învecinate. Se elimină astfel tonuri de culoare greu de separat, ce complică analiza imaginii.

Un caz frecvent este utilizarea imaginilor în infraroșul termal, unde pragurile de tonuri semnifică diferențe de potențial caloric al corpurilor (0,5° C la imaginile Landsat TM și ETM+, în banda 6). Diferențele de temperatură pot explica numeroase aspecte ca de exemplu nivelul de poluare a unui râu sau fluviu, starea de deplasare/staționare a unor vehicule sau nave, diferența clădirilor din orașe după materialul de construcție sau consistența spațiilor verzi în localități și microclimatul urban etc.

Metoda este aplicabilă și în alte benzi spectrale. Un exemplu este banda albastru, în care radiația luminoasă poate pătrunde prin apă și evidenția conținutul sedimentelor ce au signatura spectrală identică cu cea a malurilor și a luncii. Astfel, albia minoră poate fi mai bine conturată sau delimitată, în raport cu lunca și malurile râului.

Aplicarea diferențierii de ton de culoare are ca rezultat obținerea unei imaginii color, în nuanțe ce prezintă diferențierile dintre grupurile de pixeli cuprinși în același interval. Imaginea rezultă după specificarea în prealabil a valorilor spectrale extreme din imagine și a numărului de intervale, la care se adaugă și precizarea scării cromatice adoptate.

În figura 3.26, s-a aplicat diferențierea tonurilor în cadrul unei imagini în banda 6, a infraroșului termal. Au rezultat numai 5-6 trepte ce arată deosebiri clare la nivelul potențialului caloric al terenului în funcție de acoperirea acestuia. Pot fi ușor diferențiate pădurile ce apar numai în 2-3 tonuri închise, în funcție de microclimatul lor (cele cu ton închis sunt cele mai reci și sunt alcătuite dominant din conifere). Terenul umed din depresiune este ceva mai rece decât cel de pe conuri și glacisuri unde rocile permeabile au permis infiltrarea rapidă a apei la mari adâncimi. Poienile și așezările (mai ales cele înconjurate de păduri apar evidente). În orașul Brașov apare evidentă diferența dintre terenul construit și spațiul verde al parcurilor și scuarurilor. Particularități interesante rezultă și din

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

compararea tonurilor asociate pădurilor de pe versanții expuși Soarelui (mai deschise), respectiv de pe cei umbriți (mai închise). Permeabilitatea substratului se impune de asemenea în microclimat prin diferențe de tonalitate (ex. pe conglomerate și gresii pădurea are microclimat mai cald decât pe fliș). Sunt evidente și intervențiile antropice prin reîmpăduriri de versanți cu alte esențe decât cele inițiale (conifere în Postăvaru sau Perșani-Măgura Codlei).

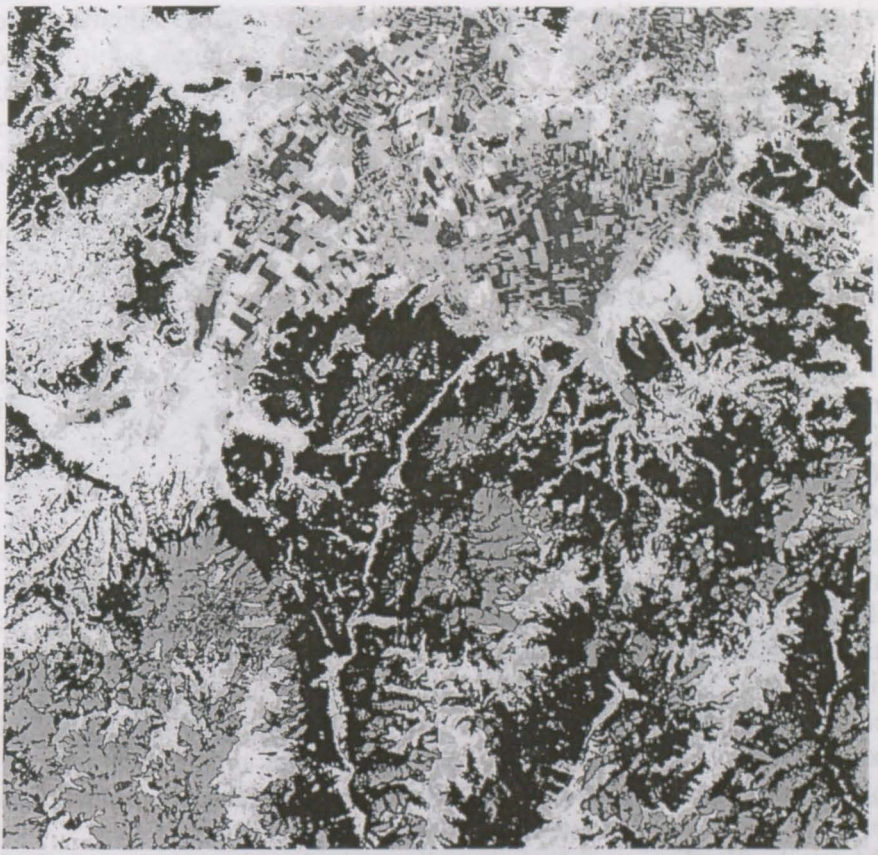


Fig. 3.26 **Aplicarea diferențerii tonurilor de culoare pe subscena satelitară Landsat ETM+ din vestul Carpaților Curburii, banda 6, infraroșu termal** (imagine convertită în scara de gri)

3.2.3. Filtrarea imaginilor. Întărirea contururilor

Perfecționarea imaginilor prin filtrare este de multe ori necesară atunci când nu dispunem de suficient de multe date satelitare la rezoluții spațiale mai mari. Scopul este obținerea unor noi imagini mai expresive. Filtrarea acționează asupra pixelilor unei imagini la nivel de bandă spectrală care pot fi omogeni sau eterogeni în planul valorilor spectrale dintr-o porțiune a unei imagini. Altfel spus,

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

imaginea prezintă o anumită rugozitate (roughness, după Lillesand et al., 2004) tradusă prin frecvența schimbărilor numerelor digitale pe unitatea de suprafață, respectiv a modificărilor de tonalitate de culoare.

Filtrele sunt matrici cu diferite dimensiuni (3×3, 5×5, 7×7, 9×9 etc.) construite în module speciale sau specificate de interpretator și care operează asupra valorilor spectrale în scopul accentuării sau ștergerii unor entități din teren, în funcție de specificul analizei. În diferite lucrări filtrele se mai numesc și operatori, deoarece valorile numerice întregi din matrici operează matematic asupra numerelor digitale. Astfel, sunt modificate frecvențele schimbărilor sau rugozitatea imaginilor, respectiv texturile, în vederea unei mai bune vizualizări și interpretări (ex. un teren agricol cultivat cu grâu poate fi deosebit prin filtrare pe imagini la rezoluții medii de unul cu porumb sau ulițele unui sat pot fi deosebite de case și gospodării).

Filtrarea este în fapt o operație matematică efectuată cu matrici mobile, prin care se reatribuie pixelului un nou număr digital (ton de culoare), în funcție de valorile pixelilor învecinați care sunt operați cu ajutorul numerelor cuprinse în matrice. Rezultă o nouă imagine cu importanță în aplicațiile următoare.

Filtrele pot evidenția diferențele de rugozitate (schimbările locale de signatură spectrală) sau le pot diminua, dar în același timp ele au posibilitatea creșterii expresivității liniilor de contur ale diferitelor entități și mai ales a celor lineare (falii, șariaje, căi ferate, drumuri, canale, albii etc). Prin tipul de operație și rezultate ele se pot grupa în morfologice (afectează forma entităților) și de convoluție (permit îmbunătățirea contururilor, prin modificarea rugozităților, în toate direcțiile dar și pe unele direcții cardinale).

Filtrele morfologice, așa cum arată denumirea sunt destinate modificărilor de formă sau de aranjare a signaturilor spectrale în cadrul diferitelor porțiuni ale imaginii. Scopul este relevarea unor detalii prea mici pentru a fi diferențiate pe imaginea inițială de rezoluție medie prin uniformizarea sau accentuarea strălucirii unor pixeli în raport cu cei învecinați. Mai mult, o altă aplicație este legată și de repararea imaginilor satelitare prin eliminarea unor defecte ca cele lineare sau punctiforme (v. un subcapitol anterior).

Matricile filtrelor morfologice au dimensiuni variate (3×3, 5×5, 7×7, 9×9 etc.) ce se stabilesc în funcție de frecvența schimbărilor sau rugozitatea imaginii la nivelul elementului de interpretat. De exemplu la elemente mari cum ar fi terenul agricol sau pădurile se aleg ferestre mari, iar la cele reduse ca dimensiuni (orașe, sate, poduri etc.) se aleg ferestre mici.

Rularea ferestrei se realizează la nivelul fiecărui pixel, cu excepția celor de margine ce este reatribuit cu un nou număr digital (DN), rezultat prin medierea aritmetică între numerele digitale ale pixelilor din aria ferestrei. Prin modificările de formă sau configurație pe care le produc se definesc în general filtrele de dilatare, de erodare, de deschidere și de închidere a imaginii. Prin filtrare se obțin imagini noi, cu trăsături ce pot fi mai expresive sau mai puțin expresive, după caz.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Filtrul de dilatare permite evidențierea celor mai strălucitoare signaturi spectrale, ce corespund aici terenului construit din intravilanul orașului Predeal, precum și cabanelor turistice de la Clăbucet Plecare-Sosire și Gârbova. Terenul pietruit sau betonat cu signatura evidentă în vizibil (roșu, verde), este diferențiat în raport cu pajiștile respectiv pădurea pe Culmea Clăbucetul Taurului (fig. 3.27). Sunt ușor de interpretat și terenurile erodate, cu roca la zi.

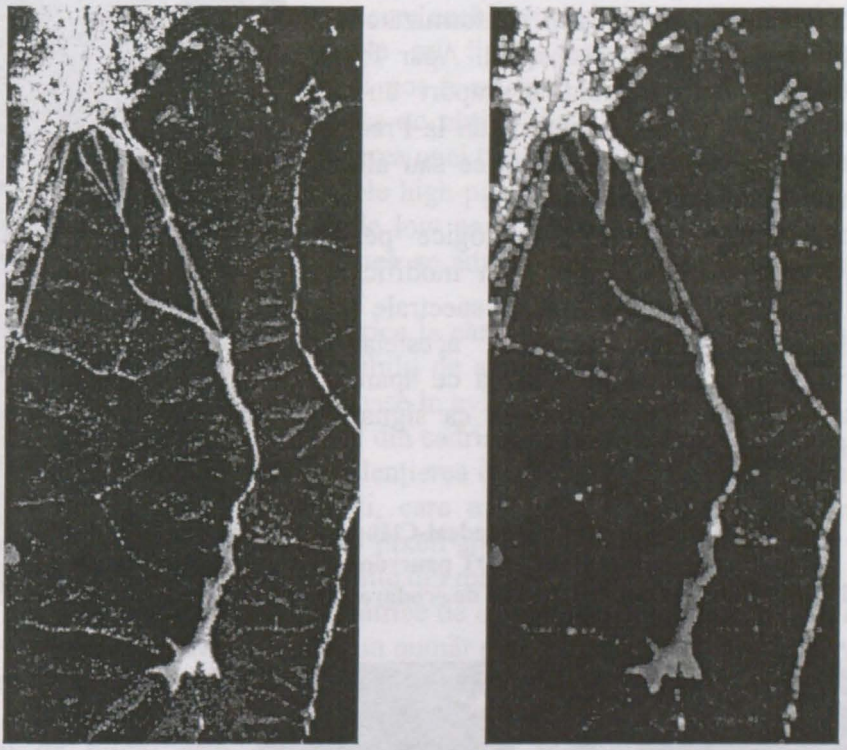


Fig. 3.27 **Domeniul schiabil Predeal-Clăbucet. Subscena satelitară SPOT pancromatic (iulie 1997)-a și rezultatul aplicării filtrului de dilatare 3×3 -b**

Filtrul de erodare (contractare) este util în evidențierea signaturilor spectrale ce corespund unor tonuri închise în raport cu cele strălucitoare care sunt diminuate, pentru ca pixelii izolați și strălucitori să dispară. În acest caz vor fi accentuați pixelii în tonuri închise, respectiv pădurea de amestec. Fagul apare prin tonuri mai deschise în raport cu molidul și bradul. Talvegurile torențiale din bazinele Prahovei (Olăreasa, Ursoaia Mare etc.) sau Limbășelului sunt mai evidente. Efectul este invers în comparație cu filtrul de dilatare (fig. 3.28).

Filtrul de deschidere se aplică în scopul estompării diferențelor de contur și eliminării pixelilor ce definesc obiectele sau entitățile mici, înguste, dar se accentuează signaturile extreme. În cazul fig. 3.29 a, limita pădurii apare clară și

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

sunt definite golurile montane de la Clăbucet-Plecare şi Clăbucetul Taurului. Apar evidente talvegurile torenţiale şi mai ales cele mai adâncite dintre ele, în schimb pârtiile de schi au amplasamentele neclare.

Filtrul de închidere are efect invers celui de deschidere (fig 3.29 b), în contextul în care evidenţiază diferenţele de contururi, pixelii izolaţi apar mai clar dar imaginea este erodată la nivelul signaturilor strălucitoare ce sunt uniformizate aşa cum se întâmplă în spaţiul construit. Apar foarte clare pârtiile, terenul înierbat în raport cu cel pietruit sau betonat, limite de intravilan la Predeal, tăieturi de pădure pentru linii electrice sau albiile mai evoluate cu aluviuni (Limbăşelul).

Unele dintre filtrele morfologice permit editarea ferestrei sau kernelului prin modificarea factorului de multiplicare al signaturii spectrale care se înmulţeşte în scopul corectării acesteia în contextul aplicaţiei. De pildă pădurea ce apare în tonuri închise poate fi mai deschisă ca signatură prin modificarea factorului de la 1 la n.



Fig. 3.28 **Domeniul schiabil Predeal-Clăbucet. Subscena satelitară SPOT pancromatic** (iulie 1997) **după aplicarea filtrului de erodare 3×3**

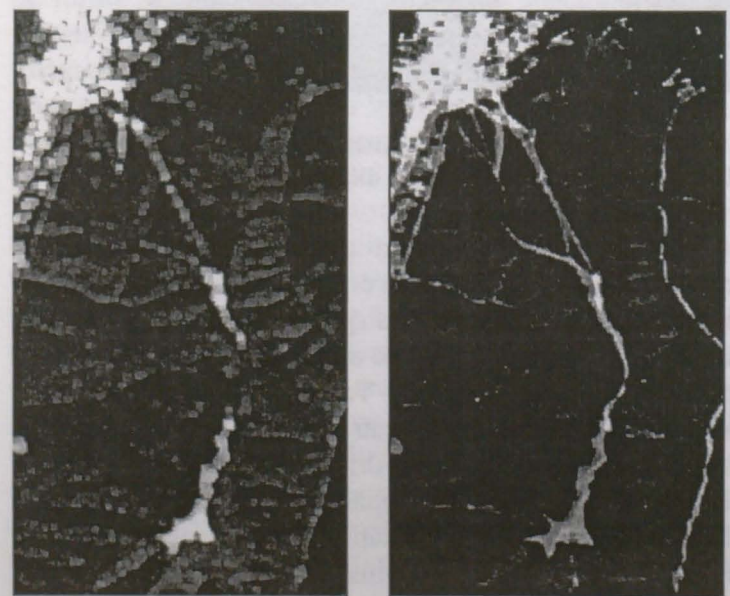


Fig. 3.29 **Domeniul schiabil Predeal-Clăbucet. Subscena satelitară SPOT pancromatic** (iulie 1997) **după aplicarea filtrului de deschidere 5×5-a şi de închidere 5×5-b**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Filtrele de convoluție sunt utile în modificarea rugozității imaginilor și întăririi liniilor de contur ale obiectelor. Convoluția presupune crearea unei matrici sau a unui kernel, cu un număr impar de pixeli pe laturi, de tipul 3×3, 5×5, 7×7, 9×9 etc. Aceasta este deplasată pe toată imaginea. Procedura constă în înmulțirea fiecărui număr din matrice cu numărul digital al fiecărui pixel (NmxDN) și însumarea acestor produși la nivelul fiecărui pixel din imaginea supusă convoluției, în limitele matricei utilizate (fig. 3.30). Convoluția permite obținerea unei noi imagini în care sunt scoase în evidență obiectele dorite ca de pildă așezări, căi ferate și șosele ori limite între structuri geologice etc. Dimensiunile ferestrei sau matricei pot fi oricare, în funcție de scopul urmărit. Rezultatul poate îmbunătăți ceea ce se obține din aplicarea unui filtru. Se pot implementa și ferestre pentru obținerea unei histograme prestabilite a imaginii.

În practică se folosesc filtrele high-pass (evidențiază frecvențele înalte, la nivel de numere digitale) și filtrele low pass (evidențiază frecvențele joase, la nivel de numere digitale). La acestea se adaugă și alte filtre (Laplacian, Sobel, Median sau definite de analist).

Filtrul high pass este o matrice la care valoarea din centru este un număr pozitiv, de regulă mai mare, prestabilit de analist, iar valorile celorlalte numere sunt negative. În acest mod sunt scoase în evidență elementele ce impun cele mai mari schimbări de signatură sau DN din cadrul imaginii.

Filtrul low pass implică evidențierea elementelor secundare care nu impun mari modificări în cadrul imaginii, care nivelează imaginea, impunându-i un caracter monoton. Fereastra de 3×3 pixeli are valori egale în colțuri, iar valoarea centrală rezultă din medierea celorlalte din matrice.

Filtrul Laplacian aplică o matrice de dimensiuni impare pe direcțiile nord-sud sau est-vest (sau altele), având un număr pozitiv în centrul matricii și valori de -1 pe direcțiile menționate. El poate fi prestabilit de către analist.

Filtrele mediane permit eliminarea unor defecte ale imaginilor (de tip punctual de pildă) prin determinarea mediei numărului digital și atribuirea acesteia centrului matricii ce se deplasează pe imagine.

Filtrele direcționale au ferestre sau matrici cu valoarea însumată egală cu zero pe direcțiile prestabilite. Ele sunt deplasate pe imagine în vederea corectării trecerilor de la un nivel de gri la altul și evidențierii unor contururi.

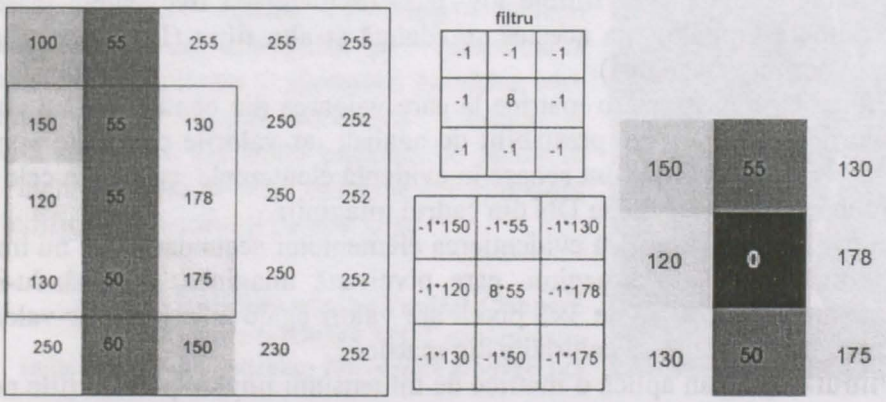
Alte filtre folosesc funcții matematice în modificarea contururilor, ce se reflectă în valorile numerice din matrici (Gaussian, Sobel, Roberts etc.).

Aplicarea acestor filtre se realizează automat în cadrul oricărui modul specializat din pachetele software. Calitatea rezultatului depinde de scopul aplicație și de experiența analistului. Obținerea unui bun rezultat implică și adăugarea unui procent suficient din nivelul de gri inițial, caracteristic fiecărui pixel.

Îmbunătățirea liniilor de contur ale obiectelor din imagini este utilă în cazul apariției frecvențelor înalte ce impun varietate (fig. 3.31). Acestea pot ieși în evidență suficient de mult încât alte elemente, corespunzătoare frecvențelor joase să fie greu de identificat. Filtrarea este necesară pentru a păstra evidente ambele

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

categorii de elemente, prin adăugarea valorilor numerelor digitale exprimate prin scara de gri ale pixelilor din imaginea inițială. Operația presupune alegerea unei matrici sau a unei ferestre cu dimensiuni mari dacă imaginea este uniformă la nivel de signaturi spectrale sau numere digitale sau a uneia mici dacă imaginea este foarte variată. Matricea este aplicată imaginii inițiale (la nivel de bandă spectrală), prin convoluție, rezultând o nouă imagine în care apar diferențiate contururile elementelor (așa zise de frecvență înaltă a schimbării). Pentru fiecare pixel din imagine se adaugă apoi o parte (sau totalitatea) nivelului de ton de culoare (de gri) din imaginea inițială. Procentul de gri este stabilit de către analist, în funcție de complexitatea imaginii la nivelul diferențelor de ton de culoare. În final, ceea ce va rezulta este o imagine nouă, în care obiectele au contururile mai evidente şi totodată elementele cu o oarecare monotonie în signatura spectrală sunt de asemenea evidente (frecvențele joase).



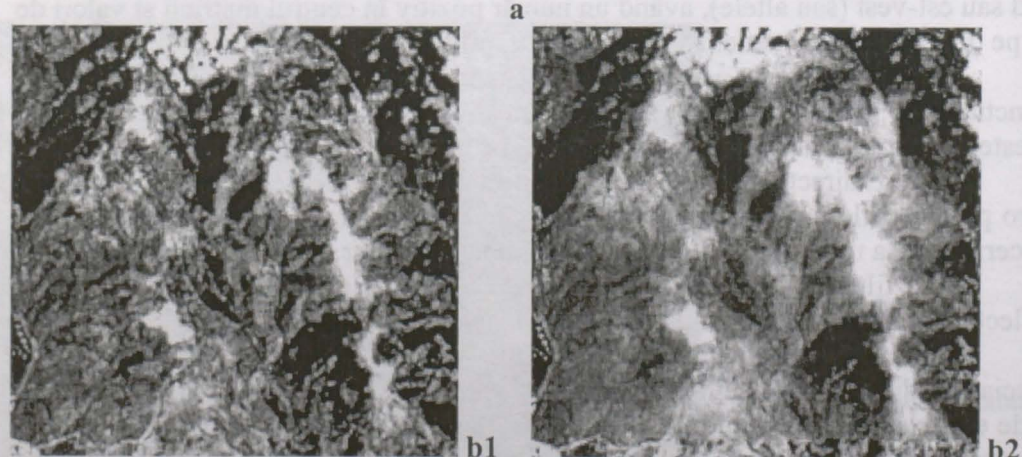
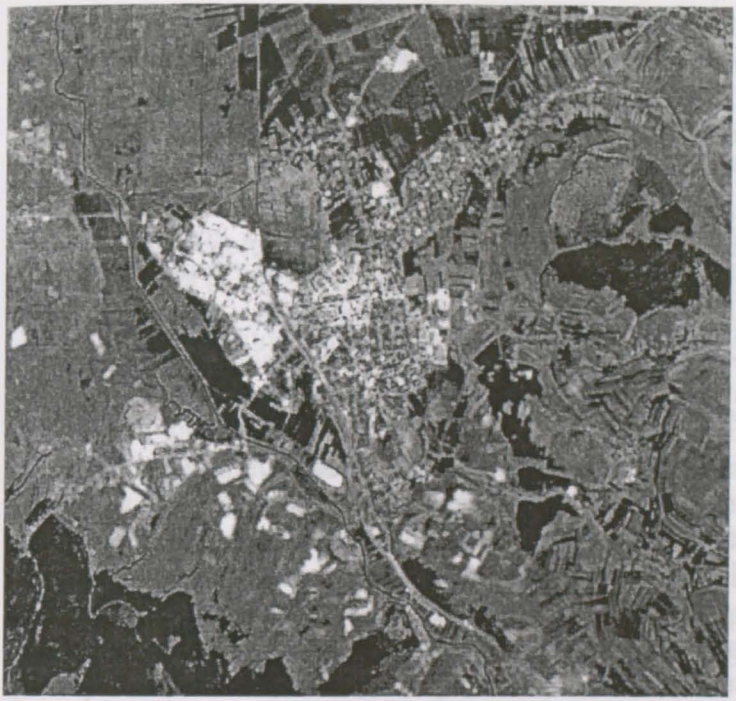


Fig. 3.30 **Principiul filtrului de convoluție (a); rezultatul aplicării convoluției cu filtru low pass 19x19, cu adăugarea de tonuri de 80% pe imaginea unor păduri de amestec din M. Giurgeului (b1, b2), foioasele ce domină coniferele, constituind fondul imaginii sau elementul corespunzător frecvențelor joase. Subscena Landsat ETM+, banda 3 , mai 2002**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



a



b

Fig. 3.31 **Imagine Landsat pansharpened (a), rezoluția 14,25 m la care s-a aplicat un filtru de convoluție high pass, cu fereastra de 3×3 și adăugare de tonuri de 90% (b). Municipiul Miercurea-Ciuc, mai 2002. Sunt vizibile limitele perimetrului construit al orașului, albia Oltului și șoseaua națională Brașov-Toplița**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Pe lângă aceste posibilități de filtrare mai există și altele, ca de pildă diferențierea direcțională la nivel de pixeli a numerelor digitale (pe verticală, orizontală sau diagonală) sau analiza Fourier. Ultima implică implementarea unor funcții trigonometrice bazate pe variația DN la nivel de linie sau coloană în cadrul imaginii (se calculează amplitudini, frecvențe etc. asemeni curenților alternativi din fizică). Imaginea e diferențiată pe componente de frecvență reprezentate grafic în sistem rectangular (spectrul Fourier) pe baza căruia se va genera o funcție inversă și imaginea corespunzătoare. Aplicația permite inclusiv remedierea unor defecte ale imaginilor, pe lângă îmbunătățirea contururilor. Având în vedere complexitatea analizei nu vom insista asupra acesteia în prezenta ediție.

3.2.4. Întocmirea mozaicurilor digitale

Aplicațiile geografice ale imaginilor de teledetecție impun de cele mai multe ori acoperirea unor spații mai mari decât ceea ce ne oferă scena satelitară sau imaginea aeriană. Studiul unor fenomene cu dezvoltare areală și mai ales lineară, ca de pildă inundațiile pe râuri și fluvii mari sau poluarea apelor necesită pe lângă procesarea la nivel de signaturi spectrale și o lărgire a spațiului vizualizat și analizat. Aceasta se realizează prin mozaicarea de scene sau subscene, operație digitală ce impune îmbunătățirea acoperirii spațiale dar și corecții respectiv normalizări la nivel spectral.

Mozaicul digital este în realitate o *imagine unitară* (fig. 3.32) rezultată prin asamblarea în mediu digital, într-un proiect cu aceleași proprietăți geometrice cu ale imaginilor componente, a cel puțin două scene sau subscene satelitare.

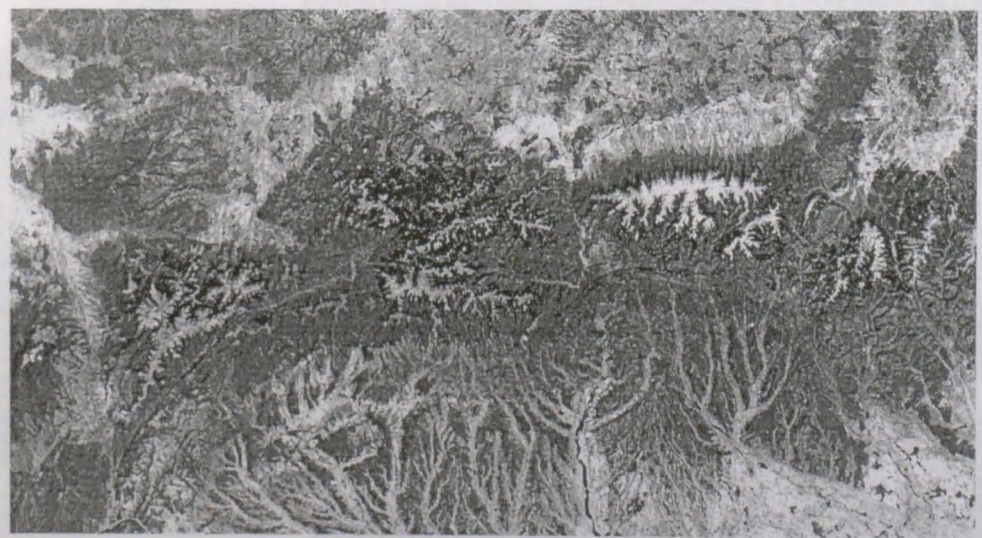


Fig. 3.32 **Mozaicul LANDSAT ETM+ al Carpaților Meridionali, fals color 432 (în scară de gri), alcătuit din 8 subscene în proiecție UTM WGS 84. Sursa Global Land Cover Facility, University of Maryland**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Imaginile utilizate sunt de regulă indisponibile la aceeași rezoluție temporală. Cea mai simplă este realizarea de mozaicuri între scene realizate consecutiv în lungul aceleiași orbite (path la imaginile Landsat ETM+). Este cazul celor două subscene din dreapta fig. 3.32, realizate în aceeași zi la doar puțin timp diferență în lungul aceleiași orbite (p. 3). Extinderea pe direcție est-vest pune cele mai mari probleme, deoarece scenele de calitate nu sunt disponibile în baza de date la aceași rezoluție temporală (sau apropiată). Imaginile apropiate în timp sunt rareori de bună calitate și necesită măști pentru nori, corecții multiple.

O primă etapă este unificarea sau potrivirea histogramelor imaginilor (engl histogram matching), în așa fel încât benzile spectrale să permită combinații cu o continuitate cât mai bună a signaturilor spectrale. Pachetele software specializate permit aceste corectări de histogramă și obținerea de cupluri de imagini similare. Aceasta se poate efectua ușor când imaginile sunt din același sezon sau din sezoane apropiate (primăvară târzie-vară sau vară-toamnă) și au aceași rezoluție spectrală. Rezolvarea acestei probleme este mai lesnicioasă la imaginile fals color, situație întâlnită și anterior în figura 3.32. Cu toate acestea este vizibilă diferența de sezon prin prezența zăpezii pe crestele din Masivul Făgăraș sau din Bucegi, respectiv lipsa acesteia în Parâng, Retezat sau Godeanu-Țarcu. Unificarea este însă mai bună la nivelul zonelor și etajelor de vegetație, element ce conferă unitate întregului mozaic.

A doua etapă este corecția geometrică a imaginilor componente ce asociază tuturor aceleași proprietăți la nivel de proiecție și datum. Este utilă folosirea unor puncte comune de control în teren (GCP) în arealul în care subscenele se suprapun. Realocarea pixelilor trebuie realizată prin același algoritm (resample), iar erorile (valorile reziduale) trebuie să fie comparabile de la o parte la alta a mozaicului. Posibilitatea compunerii mozaicului în programe de prelucrare a fotografiilor, anterior corectării geometrice, este posibilă dar pot apare erori. Prin suprapunerea laterală se pot elimina pixelii ce se repetă la asamblajele celor două imagini.

A treia etapă este cea de reunificare a contrastului la nivelul imaginii unitare, realizată prin aplicarea de strech-uri personalizate sau lineare. În acest mod imaginea mozaicului va deveni mai expresivă și va fi gata pentru vizualizare și analizele ulterioare (cartografiere, extragere de informații prin clasificări de pixeli).

3.2.5. Exploatarea stereoscopică

Interpretarea datelor satelitare poate necesita în unele aplicații și vizualizarea în relief (stereoscopie) a acestora. Aplicația este comună și frecvent realizată în cazul cuplurilor sau perechilor de imagini aeriene sau aerofotogramelor cu suprapunere laterală de peste 50%, încă de la sfârșitul secolului 19 (Th. Scheimpflug în Austria).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

O serie de senzori de teledetecție înregistrează imagini de pe orbită ce se suprapun lateral în proporție de peste ½ din suprafața scenei, fapt ce permite o exploatare stereoscopică. În cazul scenelor Landsat aceste aplicații sunt greu de realizat și de multe ori imposibile, ca efect al slabei acoperiri laterale între imagini de pe două orbite vecine (fig. 3.33). Forma Pământului și traseul orbitei satelitare sunt în măsură să asigure o suprapunere mai bună la scenele situate în zona ecuatorială și la latitudini mici. Evident, cele mai reduse suprapuneri sunt caracteristice scenelor situate la cercurile polare.

Aplicații stereoscopice performante sunt specifice imaginilor SPOT, Ikonos, QuickBird, IRS, JERS, ASTER, KVR 1000, la care se adaugă și imaginile radar (ERS, RADARSAT, JERS etc.). Acestea sunt obținute sub forma unor perechi sau asamblaje lateral (scena A-stânga, scena B-dreapta), ce se suprapun pe mai mult de 50% din suprafață.

Obținerea stereomodelelor este posibilă în primul rând în mediu digital. Atunci când dispunem de cele două scene ele pot fi vizualizate în modulele de vizualizare și analiză stereoscopică din unele pachete software ca de pildă IDRISI Kilimanjaro. Rezultă un stereomodel sintetic de tip anaglific, în care imaginile în tonuri de culoare sunt generate în culori complementare (ex. roșu-albastru) și sunt vizibile în stereoscopie cu ajutorul ochelarilor anaglifici cu lentile în culori complementare. Prin corecții de paralaxă se obține efectul stereoscopic dorit.

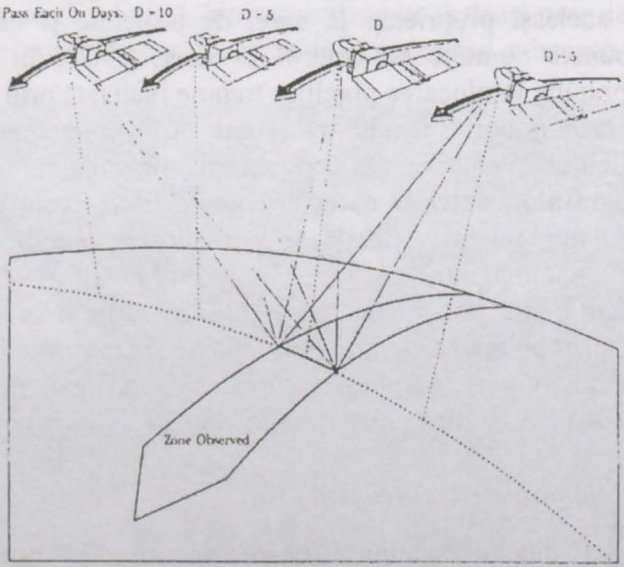


Fig. 3.33 **Preluarea scenelor SPOT cu posibilitatea exploatării stereoscopice**
(după Lillesand et al., 2004)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Imaginile fără pereche stereoscopică pot deveni utile prin generarea digitală a unei perechi cu rol de stereomat, cu efect de paralaxă. Pentru generarea perechii este necesară obținerea unui DEM sau model digital altitudinal, ce va fi generat prin interpolare raster la aceaşi rezoluție cu cea a imaginii satelitare. Ambele elemente, atât imaginea cât şi DEM vor fi coînreigstrate reciproc (aceleaşi proprietăți geometrice). În etapa a doua se vor poziționa punctul central al imaginii şi se va preciza exagerarea verticală a modelului. În acest mod, pachetele software specializate au module ce permit generarea imaginii cu efect de paralaxă prin procedura de resampling (deplasarea sau translatarea pixelilor imaginii, în jurul pixelului sau pixelilor ce cuprind punctul central în funcție de parametri amintiți).

Aplicațiile imaginilor cu efect de paralaxă sunt tot mai largi. Prin algoritmi speciali se pot genera modele digitale altitudinale din care sunt derivate izohipsele hărților şi planurilor topografice, profile/secțiuni etc.. Aplicații numeroase sunt în sfera interpretării vizuale ca de pildă analiza geologiei, a raportului litologiei, structurii şi tectonicii cu relieful la nivel de tipuri genetice şi forme. În ansamblu, toate aplicațiile întâlnite la fotogramele aeriene exploatate stereoscopic sunt valabile şi la imagini satelitare perechi. În plus aici posibilitățile cresc prin utilizarea rezoluției spectrale.

3.2.6. Vizualizarea tridimensională

Perfecționarea imaginii satelitare este posibilă prin draparea acesteia pe un model digital altitudinal sau DEM. Imaginea poate deveni mult mai expresivă şi îşi găseşte aplicații în interpretarea vizuală a peisajului în zone fragmentate. În acest caz atât imaginea cât şi DEM trebuie dimensionate una după cealaltă după ce în prealabil au fost coînregistrate (au aceaşi proiecție).

Toate pachetele software specializate în analiză de imagini şi analiză spațială permit vizualizări 3D ale oricăror date raster, inclusiv ale imaginilor satelitate sau aeriene. Este necesar să existe un model digital altitudinal, la o rezoluție identică sau apropiată cu cea a imaginii satelitare.

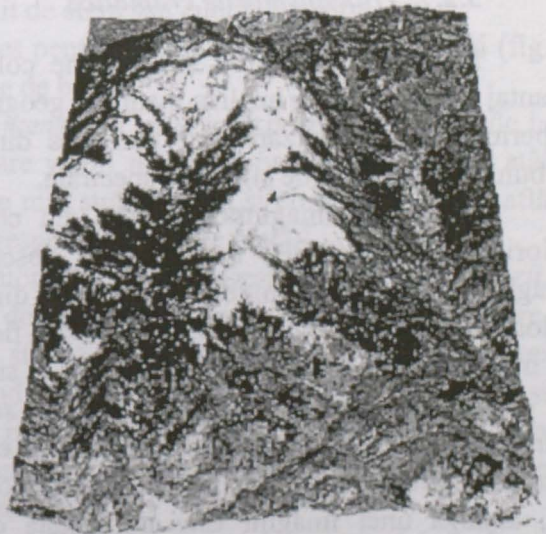


Fig. 3.34 **Masivul Bucegi privit pe direcția sud-nord. Model digital altitudinal SRTM cu date satelitare Landsat ETM+** (mozaic falscolor 453 în scară de gri), **cu factor de exagerare verticală de 1,5**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Prin coînregistrare există posibilitatea poziționării pixelilor imaginii pe axa verticală (Oz), prin asocierea fiecărei celule sau pixel la atributul din tabela asociată modelului digital altitudinal de tip TIN sau GRID (în funcție de interpolare). În esență, obținerea imaginii tridimensionale are la bază tot un algoritm de resample sau repoziționare/realocare de pixeli, într-un spațiu tridimensional unde coordonatele rectangulare asigură repoziționare în plan iar atributul curbei de nivel sau al cotei altimetrice permite deplasarea pe verticală a celulelor una în raport cu cealaltă. Pixelii inițial de formă pătrată sau dreptunghiulară sunt deformați ca paralelograme, fapt ce implică și unele pierderi de calitate la nivel de informații (fig. 3.34). Acest aspect poate fi diminuat prin aplicarea unor filtre morfologice. Generarea imaginii se realizează automat, prin precizarea surselor de date topografice și satelitare, a nivelului de exagerare al modelului 3D, al direcției de vizualizare și rotirii. De multe ori lucrul cu date satelitare sau aeriene în realizarea acestor reprezentări necesită resurse hardware dar și algoritmi de resample performanți. Pe măsură ce volumul de date crește, deci rezoluția este mai bună și timpul de generare al imaginilor de acest tip crește considerabil. Efectul de expresivitatea crește interesul aplicațiilor în geologie, geomorfologie, geografie fizică, urbanism și amenajarea teritoriului sau în turismul montan (vizualizare de stațiuni, cabane, pârtii, instalații de transport pe cablu etc.). Datele satelitare pot fi un fundal sau background pentru vizualizarea altor date (așezări, drumuri/căi ferate etc.), inclusiv în cadrul bazelor de date.

3.2.7. Transformările cromatice

Imaginile satelitare sau aeriene color, în format digital reprezintă un avantaj considerabil în analiza mediului geografic. Acesta rezultă din posibilitățile superioare de vizualizare, dar mai ales din faptul că ele pot fi considerabil îmbunătățite la nivel de signaturi spectrale.

Cromatica imaginilor rezultă din combinarea pixelilor ce în sistemul culorilor aditive (RGB) așa cum s-a observat și într-un capitol anterior. În imaginea color, fiecare pixel are un număr digital ce rezultă din combinarea a trei valori ce corespund numerelor digitale din fiecare bandă spectrală, între 0 și 255 (la imaginile cu date în 8 biți), combinată în sistem aditiv RGB.

Culorile pot fi definite și altfel *în sistem digital*. Ele se descompun în componentele de bază, simbolizate în limba engleză cu acronimul IHS (Intensity-Hue-Saturation). Acesta este un avantaj important, în contextul în care, de multe ori, analiza unei imagini este influențată de subsaturarea sau suprasaturarea cromatică (imagine ștearsă sau imagine prea saturată). Analiza este utilă indiferent de rezoluția spectrală a imaginii color deoarece oferă posibilitatea aplicării unor corecții eficiente la nivel de contrast, pentru fiecare bandă spectrală.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Cele trei elemente caracteristice ale culorilor sunt:

- Intensitatea (I), ce exprimă strălucirea totală a culorii.
- Nuanța (H, de la engl. hue), exprimând lungimea de undă dominantă sau media lungimilor de undă a radiațiilor luminoase ce definesc culoarea.
- Saturația (S), ce arată gradul de puritate al culorii raportat la scara de gri (grayscale).

Transformarea culorilor din sistemul aditiv în IHS este o operație realizată în multe cazuri, deoarece o ajustare cromatică eficientă permite și obținerea unor rezultate bune în analizele calitative și cantitative. De pildă, imaginile de toamnă cu păduri de amestec pot fi îmbunătățite și pregătite pentru clasificări de pixeli în vederea cartografierii stațiunilor forestiere.

Modelul analizei IHS este exprimat fie sub forma sferei culorilor (Sabins, 1997) sau a cubului culorilor (Lillesand et al., 2004). Ambele modele geometrice au la bază același principiu, și anume acela că în realitate, un pixel din imaginea color este rezultatul combinării în cele mai diverse proporții a pixelilor din cele trei imagini ce corespund intervalelor R (roșu), G (verde) și B (albastru) din spectrul vizibil. Matematic, există posibilități de combinare în număr de 256^3, deoarece pixelii în imaginile alb-negru reprezentând benzile spectrale au DN cuprins între 0 (negru) și 255 (alb). Fiecare pixel din imaginea color prezintă pe lângă datele geometrice sau geografice și date cromatice (trei valori) care permit și o localizare în spațiul cromatic definit de sfera sau cubul culorilor.

Sfera culorilor este modelul ales pentru a explica aceste transformări (fig. 3.35). Aceasta prezintă trei componente de bază.

- Axa verticală, corespunde *intensității culorii*, exprimată în valori de la 0 la 255. Cu cât un pixel are valori mai mari pe această axă, cu atât culoarea ce îi definește este mai strălucitoare și contrar cu cât se află mai jos, cu atât culoarea corespunzătoare este mată.
- Circumferința cercului ecuatorial al sferei, corespunde *nuanței culorii*, dată de lungimea de undă dominantă a luminii reflectate de culoare. Cercul este gradat între 0 și 255, în sens antiorar și divizat în trei sectoare egale ce corespund celor trei culori aditive, roșu, verde și albastru. Un pixel se poate raporta în funcție de nuanță la un sector la altul, în funcție de signatura spectrală și raportul ei cu una dintre culorile aditive din combinația RGB.
- *Saturația culorii* este exprimată prin raza cercului ecuatorial al sferei. Poziția pe rază poate fi mai apropiată de centrul sferei și al cercului (culoare total impură, exprimată prin gri) sau apropiată de cercul nuanței (culoare cu un grad mare de puritate).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

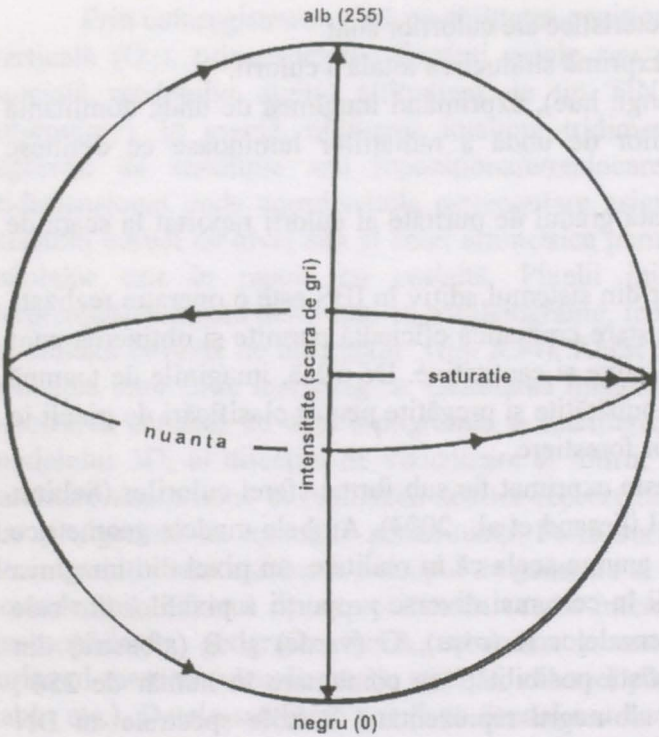


Fig. 3.35 **Sfera culorilor şi elementele ei**

În practică, având în vedere numărul mult prea mare de combinaţii cromatice RGB (peste 16,7 milioane), nu există imagini color saturate cromatic. Aplicarea corecţiilor de contrast pentru fiecare dintre cele trei benzi spectrale, nu suplineşte decât rareori rezultatul transformărilor IHS. Benzile spectrale şi mai ales cele învecinate ca rezoluţie spectrală sunt de multe ori corelate, multe obiecte având tonuri de culoare aproape identice în benzile apropiate (de exemplu apa sau aşezările în intervalele albastru şi verde sau vegetaţia în diferite benzi din infraroşu etc.). De multe ori se aplică analiza în componente principale sau un strech de decorelare, dar operaţiile necesită timp pentru atingerea rezultatului dorit.

Modelul sferei culorilor este completat cu cel al triunghiului culorilor aditive (fig. 3.36). Acesta este rezultatul secţionării sferei pe planul ecuatorial, mai exact cercul circumscris triunghiului echilateral este cel al nuanţei culorilor. Centrul cercului este punctul de saturaţie cromatică zero, caracterizat prin culoarea gri. Cele trei vârfuri ale triunghiului corespund celor trei culori aditive, albastru, verde şi roşu, caracterizate prin valori ale nuanţelor de 1 (verde), 2 (albastru) şi 3 (roşu). Valoarea zero este atribuită tot punctului ce corespunde lui roşu, deoarece nuanţa se raportează pe cerc în sens antiorar. Saturaţia creşte de la centru către margini iar puritatea celor trei culori de bază este atinsă în cele trei vârfuri ale triunghiului.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Fiecare pixel din imaginea color prezintă trei pixeli ce corespund celor trei componente ale culorii. De aici rezultă posibilitatea generării automate, în module software speciale, a trei imagini în alb-negru sau în scară de gri, ce corespund elementelor I, H și S. Acestea au la bază trei ecuații de conversie simple, în care cele trei componente sunt determinate prin intermediul valorilor numerelor digitale ale pixelilor din combinația de bază RGB:

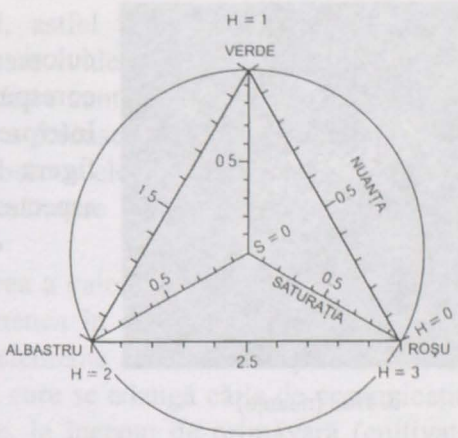


Fig. 3.36 **Triunghiul culorilor aditive și cercul ecuatorial al sferei culorilor**

$$I = R+G+B$$

$$H = I - 3B$$

$$S = I$$

unde,

I – intensitatea culorii

H – nuanța culorii

S – saturația culorii

R – numărul digital al pixelului în banda ce corespunde intervalului roșu din spectrul vizibil

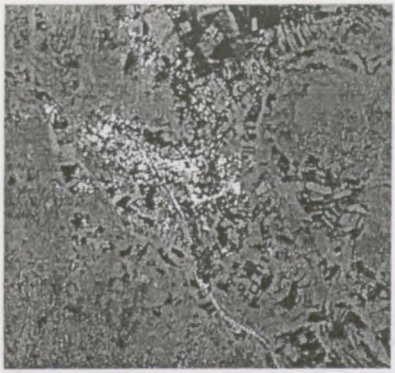
G – numărul digital al pixelului în banda ce corespunde intervalului verde din spectrul vizibil

B – numărul digital al pixelului în banda ce corespunde intervalului albastru din spectrul vizibil

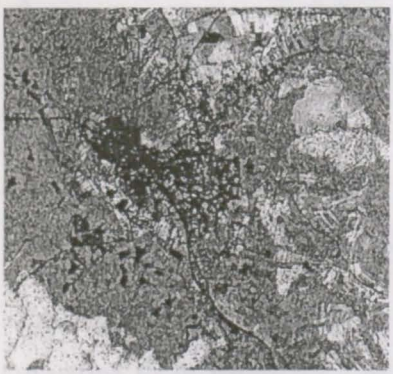
Cele trei relații se aplică doar în cazul imaginilor color, în sistem RGB, indiferent dacă sunt în culori naturale sau fals color. Condiția necesară și suficientă este prezența celor trei imagini alb-negru ce corespund fiecărui interval din spectrul vizibil.

În practică se utilizează algoritmi avansați de transformare a imaginilor RGB în imagini IHS, prin generarea automată a unor componente mai ușor de corectat la nivel de histogramă (date de tip 8 biți sau byte, 0-255, asociate cu date de tip floating point, între -1 și 1, și chiar date exprimate în grade sexagesimale urmărind cercul nuanțelor de culoare). Rezultatul sunt imagini de o mai bună calitate cromatică, mai ușor de interpretat vizual și cu rezultate mai bune în procesul extragerii informațiilor. Un exemplu sunt imaginile din deșerturi, destinate interpretării litologiei și structurilor geologice (vezi Sabins, 1997).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



a. Hue (nuanța)



b. Saturation (saturația)



c. Value (valoarea)

Fig. 3.37 **Componentele HSV ale imaginii pansharpened 321 Landsat ETM+, culori naturale, a orașului Miercurea-Ciuc**

Aplicația se referă la o imagine color în culori naturale, în care cele trei benzi sunt corespunzătoare întru-totul intervalelor RGB. Interpretarea vizuală a celor trei imagini din figura 3.39, ne conduce la următoarele trei aspecte:

- Imaginea din fig. 3.37 a este corespunzătoare nuanței și conține date raportate la cercul nuanțelor (grade sexagesimale de la 0 la 360). Cercul este divizat în trei sectoare egale și de câte 120 de grade, suprapuse intervalelor spectrale ale vizibilului. Pixelii pot fi interogați la nivel de valoare numerică și se poate observa faptul că cei apropiași de alb au valori ce tind spre 360 de grade iar cei către negru au valori către zero grade. În acest mod se exprimă lungimea de undă dominantă reflectată de un pixel sau altul din imagine și se poate interveni asupra histogramei corespunzătoare din combinația RGB. De pildă tonurile de gri închis se suprapun lungimilor din zona verdelui (vegetația în culori naturale, în această imagine din luna mai), iar cele de gri deschis către alb, materialelor de construcții din zone construite compact (în zona centrului civic al orașului Miercurea Ciuc).
- Imaginea din fig. 3.37 b, corespunde saturației culorilor și este codată în valori de tip floating point, între -1 și 1, mai exact între nesaturat și saturat. În fapt cele două valori exprimă puncte de pe diametrul cercului nuanțelor. Saturarea cea mai mare aparține în imagine pădurilor de conifere, care nu și-au schimbat răspunsul spectral în luna mai, iar cea

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

mai mică, terenului construit, astfel încât imaginea intravilanului orașului și a vetrelor de sate apare evidentă (se pot delimita și căile de comunicații). Valorile intermediare sunt tonurile de gri ce exprimă și culoarea vegetației incipiente a foioaselor și a pajiștilor, inclusiv a terenurilor cultivate. Se pot observa elementele ce au nevoie de un strech de saturare sau de desaturare în perspectiva unei imagini expresive cromatic.

- Imaginea din fig. 3.37 c, este cea a valorii, echivalentă cu intensitatea culorii, dar exprimată de asemenea în date de la +1 la -1 (floating point). Cele mai strălucitoare elemente sunt construcțiile din așezări, împreună cu albiile de râuri, la care se adaugă căile de comunicație și chiar terenul lipsit de vegetație, la început de primăvară (cultivat de regulă cu cartof sau sfeclă). În acest mod se apreciază albedoul, influențat într-o anumită măsură de efectul de umbrire impus de relief și poziția soarelui. Cu cât acoperirea vegetală e mai consistentă, cu atât strălucirea e mai mică, deoarece și rugozitatea suprafețelor este mai mare în paduri sau tufărișuri. Se observă posibilitatea diminuării strălucirii mari a unor elemente ce introduc dificultăți în interpretare și chiar erori în clasificările de pixeli (exemplut teren cultivat cu orizont superior deschis la culoare și clădiri la marginea orașului).

Aplicațiile permit luarea unor decizii în ce privește pregătirea imaginii pentru analize. Combinarea în RGB se poate realiza între aceste trei componente dar imaginea rezultată este în falscolor și greu de interpretat. Din acest motiv se realizează o reconversie automată în sistem RGB, noua imagine fiind mai expresivă sub raportul diferențierii pe baza culorii a entităților spațiale (fig 3.38). Transformările cromatice sunt foarte utile în procesul fuziunii de date de rezoluții spațiale diferite, de la senzori diferiții, fapt de o mare utilitate în tehnica de teledetecție aplicată în cercetarea mediului.

3.2.8. Combinații pansharpened

Aplicațiile transformărilor cromatice sau transformărilor IHS nu se limitează numai la obținerea de imagini îmbunătățite sub raport cromatic. În analiza imaginilor se apelează destul de frecvent la combinații între imagini multispectrale și imagini pancromatice. Rezultă astfel posibilitatea de a realiza imagini color la rezoluția spațială benzii pancromatic (fig. 3.38). Acest avantaj a devenit o direcție nouă de abordare a tehnicilor de procesare digitală a imaginilor, în special în ultimul deceniu, odată cu diversificarea senzorilor de teledetecție cu imagini de mare rezoluție (IKONOS, QuickBird, SPOT 5, OrbView, EROS etc.).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



a



b

Fig. 3.38 **Aplicarea conversiei HLS în RGB în vederea îmbunătățirii cromaticii imaginii. Imaginea inițială (a) în RGB și imaginea finală convertită din HLS în RGB, în care sunt mai clare strălucitoare așezările, drumurile și terenurile fără vegetație (b)**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Prin combinații pansharpened înțelegem imagini noi, color, redimensionate la rezoluția benzilor pancromatic ce corespund fie unor scene satelitare fie chiar unor aerofotograme. Acestea sunt imagini rezultate din fuziunea de date de teledetecție multispectrale cu date pancromatice.

Posibilitățile sunt numeroase. Se pot combina benzi spectrale Landsat ETM+ (rezoluție 30 m) cu pancromaticul de la Landsat (14,25 m) sau SPOT (2,5, 5 sau 10 m). Cele mai cunoscute aplicații sunt în cazul imaginilor de mare rezoluție IKONOS (1 m) sau QuickBird (0,65 m) etc.

Imaginile pansharpened sunt mai ușor de interpretat la nivel de criterii de mărime, densitate dar mai ales de formă a obiectelor. Realizarea acestor combinații presupune îndeplinirea unor condiții:

- imaginile combinate trebuie să prezinte aceaşi rezoluție temporală sau cât mai apropiată (aceaşi dată de înregistrare sau date apropiate).
- imaginile trebuie să aibă aceleaşi proprietăți geometrice (proiecție, limite), mai precis ele trebuiesc coînregistrate.
- imaginea multispectrală presupune existența a trei benzi spectrale la rezoluții spațiale egale.

Obținerea acestor combinații porneşte de la transformările cromatice prezentate anterior. În fapt, acestea crează condițiile introducerii benzilor de rezoluție mare în locul uneia dintre componente. Algoritmul de bază, cuprinde câteva etape:

- imaginile multispectrale sunt dimensionate la nivel de pixel după imaginea pancromatică, prin modificarea rezoluției (de exemplu, în cazul Landsat de la 28,5 m la 14,25 m).
- combinația RGB multispectrală redimensionată anterior este convertită în sistem IHS; rezultă cele trei imagini în scară de gri corespunzătoare componentelor cromatice.
- se exclude componenta I, sau cea echivalentă, reprezentând strălucirea totală a culorilor obiectelor, similară cu pancromaticul.
- se substituie pancromaticul, banda cu rezoluția mai mare, componentului intensitate (I), ca urmare a similitudinii proprietăților cromatice.
- imaginea combinată PanHS este convertită în system RGB, resultând o imagine color la rezoluția pancromaticului.

Posibilitatea obținerii de imagini de acest tip este valabilă şi pentru culori naturale şi pentru falscolor. Avantajele sunt considerabile pentru interpretare (fig. 3.39).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



a



b

Fig. 3.39 **Diferența dintre imaginea multispectrală Landsat ETM+ în culori naturale (a) la rezoluția de 28,5 m și imaginea pansharpened corespunzătoare, la rezoluția de 14,25 m (b). Municipiul Miercurea-Ciuc, mai 2002**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Compararea imaginilor din figura 3.39, arată avantajul combinațiilor pansharpened în special în interpretarea obiectelor de dimensiuni limitate, în cazul de față al așezărilor. Au fost aleasă o combinație utilă în acest scop, cea în culori naturale. numărului mai redus de pixeli. Limitele intravilanului se pot identifica datorită reflectanței construcțiilor în benzile verde și roșu. Cu toate acestea terenul construit poate fi ușor confundat cu terenurile arabile de pe terasele Oltului, fără vegetație în acel moment. Pădurile de conifere din M. Șumuleu sunt greu de diferențiat de cele de foioase în această combinație din zona vizibilului. Șoseaua națională nu are continuitate și apare mai evidentă ca urmare a reflectanței diferite.

Imaginea pansharpened, în schimb, arată multe detalii. Limitele intravilanului sunt mai ușor de trasat. Terenul arabil de pe terasele Oltului este evident la nivel de nuanță de culoare, mai deschisă comparativ cu construcțiile. În intravilan se pot defini structuri urbane, de la cartierele de case, evidente prin gradini verzi dar și prin acoperișurile de regulă cafenii. Cartierele de blocuri, clădirile industriale și centrul civic sunt evidente prin predominarea betonului cu mare reflectanță. Pot fi localizate stadionul și parcuri, prin culoarea vegetației și formă. Șoseaua și drumurile sunt evidente pe categorii, dar calea ferată, simplă și electrificată are o lățime prea mică pentru a fi vizibilă. Apar clar și agroterase și răzoare către M. Ciucului, dar se pot identifica solurile dezgolite după cromatică, de la cele turboase în luncă, la luvisoluri albice pet terase sau brune acide pe versant. Sunt ușor de identificat canalizările de albie pe Olt și cursul părăsit meandrat. O mențiune utilă este și diferențierea foioaselor, mai deschise, de conifere, mai închise, în M. Șumuleu, la est de Miercurea Ciuc, ca urmare a rezoluției spectrale a pancromaticului, ce acoperă și o infraroșul apropiat, în care reflectanța clorofilei foioaselor crește.

Realizarea de imagini pansharpened implică o serie de probleme specifice. Dacă geometria imaginilor este ușor de rezolvat, intervin o serie de diferențe radiometrice. Ele apar în cazul saturării diferențiate a unor culori ce corespund unei reflectanțe mai mari într-o bandă spectrală. Dealtfel cromatica imaginii inițiale multispectrale se modifică în noua imagine, deoarece pancromaticul aduce signaturi spectrale noi. În practică și mai ales la combinațiile în culori naturale se procedează la modificarea sau potrivirea histogramei pancromaticului după cea a componentei pe care o va înlocui (intensitate sau strălucire). Dacă aceasta nu se realizează se obțin imagini nesaturate, neexpresive, în culori diferite de cele dorite.

Imaginile de mare rezoluție oferă aplicații frecvente ale acestei metode. Rezultă detalii numeroase, așa cum se poate observa în numeroase site-uri de internet. Aplicații interesante rezultă din combinarea de imagini de la senzori diferiți. În fig. 3.40, se poate observa o imagine pansharpened în falscolor a zonei Predeal. Fuziunea de date s-a realizat între o subscenă Landsat ETM+ falscolor 432 și o subscenă SPOT 4, Pancromatic la rezoluția de 10 m.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

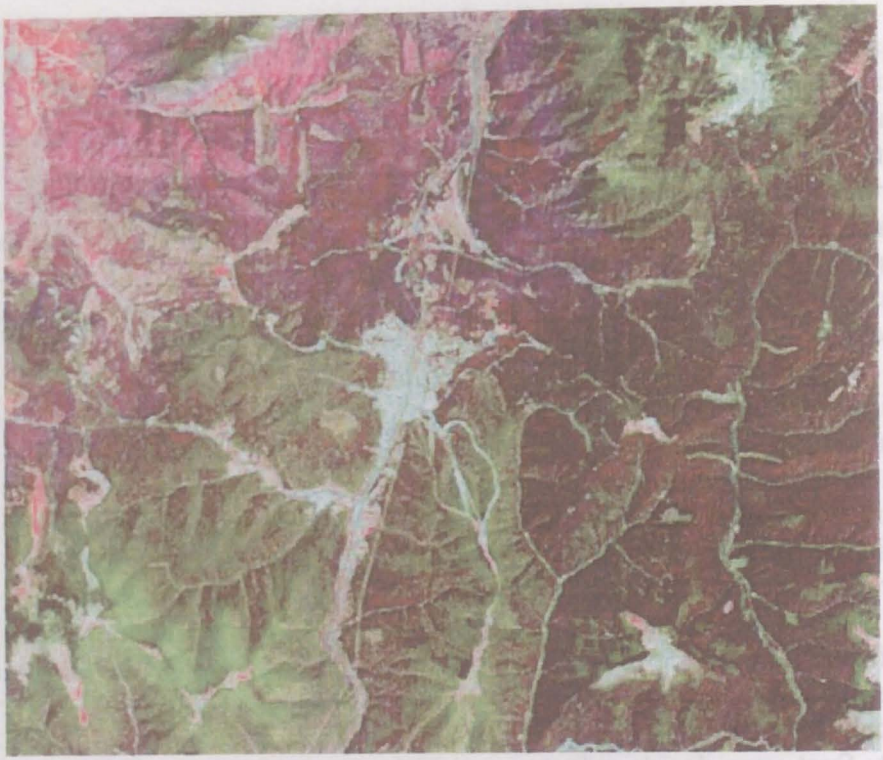


Fig. 3.40 **Imagine pansharpened a zonei oraşului Predeal, obţinută prin fuziunea imaginii Landsat ETM+ falscolor 432** (iunie 2000) **cu imaginea SPOT 4 PAN** (iulie 1997), **la rezoluţia de 10 m**

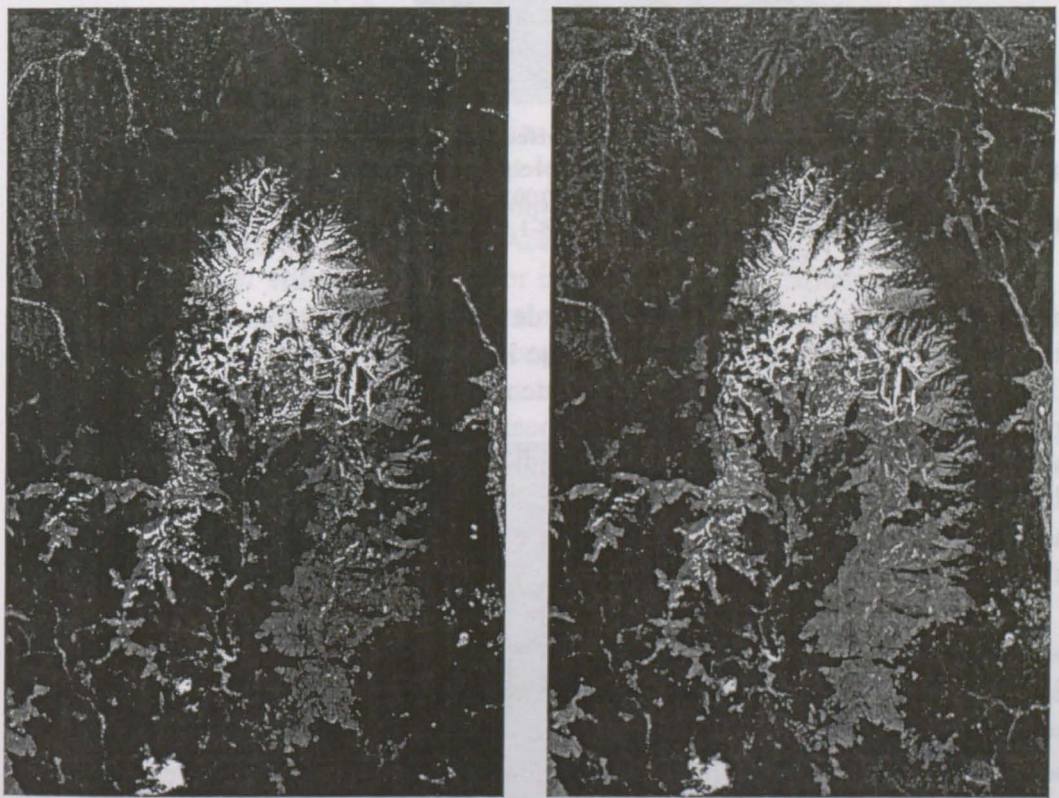
Imaginea prezintă în nuanţe de culori tipurile de păduri şi mai ales pădurile de fag şi molid din Clăbucetele Predealului. Sunt uşor de identificat tufărişurile din golurile montane precum şi limita superioară a pădurii (Clăbucetul Azugii, Clăbucetul Taurului, Diham, Piatra Mare). Staţiunile forestiere se pot cartografia cu precizie. Reţeaua de văi apare în detaliu prin talveguri şi lunci. Apar evidente drumuri, poteci, tăieturi de pădure pentru pârtii sau şoselele asfaltate.

În concluzie, combinaţiile pansharpened deschid posibilităţi aproape nelimitate de îmbunătăţire a imaginilor. Conţinutul informaţional este considerabil mărit şi calitatea analizelor devine apreciabilă. Cercetările recente au condus la elaborarea de algoritmi noi, de mare performanţă, implementaţi în o serie de pachete software. Aceştia permit obţinerea de imagini de bună calitate, aplicând diferite procedee de normalizare spectrală, analiza în componente principale etc. Fiecare pachet software specializat în procesare de imagini oferă explicaţii suficiente asupra acestora, de aceea nu insistăm asupra lor şi ne limităm doar la algoritmul de bază.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

3.2.9. Analiza componentelor principale (PCA)

Imaginile satelitare multispectrale au o mare aplicabilitate în analiza componentelor de mediu. Posibilitatea de a identifica şi localiza cu precizie obiecte şi fenomene pe baza proprietăților spectrale este limitată de problema corelării valorilor spectrale. Este cazul frecvent întâlnit la benzile spectrale învecinate ca lungime de undă, exemplu elocvent la imaginile multispectrale Landsat între benzile din spectrul vizibil şi nu numai. În acest caz benzile 1 (albastru), 2 (verde) şi 3 (roşu) sunt imagini aprope identice, deci sunt corelate prin regresia liniară (fig. 3.41). Rezultă un grafic de corelație, de tip 2D scatter plot (fig. 3.42), în care numerele digitale corelate ale pixelilor generează o funcție lineară.



a b

Fig. 3.41 **Imaginea Masivului Bucegi, în benzile 1 şi 2 ale subscenei Landsat ETM+, mai 2002. Diferențele de ton de culoare sunt foarte mici la nivelul pajiştilor, între banda albastru şi verde. Pădurile, zăpada şi norii apar aproape identic**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

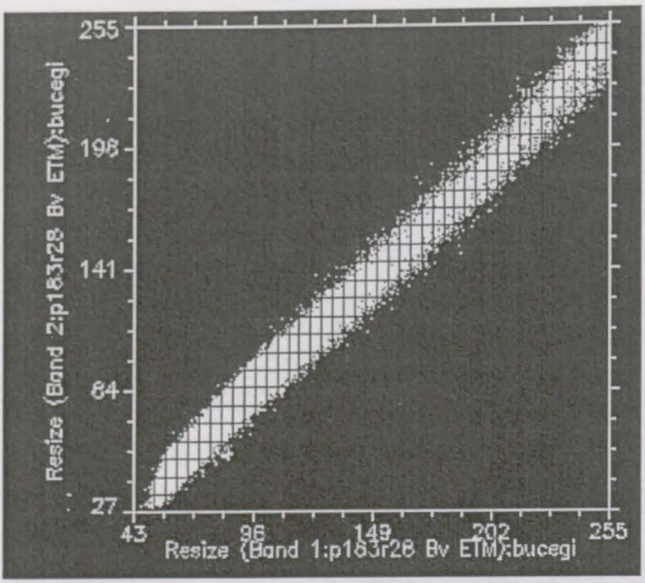


Fig. 3.42 **Graficul de corelație de tip 2D scatter plot al pixelilor din imaginile Bucegilor în benzile spectrale 1 și 2 ale subscenei Landsat Landsat ETM+, mai 2002. Panta dreptei de regresie arată un R^2 apropiat de 0,8-1,0** (corelare semnificativă).

Situația prezentată apare și în cazul imaginilor din zone umede, cu fluvii, lacuri sau țărmuri, unde apa se impune aproape identic prin tonuri de culoare, în funcție de turbiditate.

Corelarea evidentă a imaginilor necesită găsirea unei soluții. De regulă, combinațiile RGB între benzile corelate sunt mai puțin expresive cromatic. Culorile sunt șterse sau imaginea apare întunecată și necesită aplicarea unor corecții de contrast linear (strech de 2%, de exemplu).

În acest caz s-a descoperit posibilitatea aplicării unui algoritm matematic (Richards, 1999), pornind de la ideea că imaginile satelitare se asimilează unor matrici, în care pixelii se înscriu prin valorile numerelor digitale (DN). Este vorba de transformarea matematică Karhunen-Loeve, ce urmărește generarea dintr-un set de date corelate linear, a unui nou set de date raportate la un nou sistem de axe rectangulare. Prin similitudine, pixelii celor două imagini vor dobândi noi valori spectrale sau numere digitale. Astfel vor fi generate imagini noi, bazate pe covarianță (procentul în care o imagine este diferită de o altă imagine cu care se corelează).

În fig. 3.43 este prezentat principiul acestei analize, numită în componente principale după valorile numerice (constantele) generate ce vor fi înmulțite cu datele inițiale în scopul obținerii noilor imagini cuprinzând noii pixeli. Aceștia vor avea noi numere digitale și noi tonuri de culoare în imaginile ce se obțin și care le pot înlocui pe cele multispectrale inițiale. În fapt vechiul sistem de axe rectangulare la care s-au raportat benzile puternic corelate a fost substituit cu unul nou, cu axe poziționate altfel, în funcție de covarianță. Pixelii vor rămâne pe loc, dar se vor deplasa axele noii funcții, ceea ce va însemna valori noi ale numărului digital și implicit noi nivele de ton în scara de gri. Prin raportarea la noul sistem, se pot scrie ecuații ce exprimă raportul dintre vechile și noile coordonate ale pixelilor, după cum urmează:

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

$$DN_1 = a_{11}DN_A + a_{12}DN_B \quad (1)$$
$$DN_2 = a_{21}DN_A + a_{22}DN_B \quad (2)$$

unde,

DN_1, DN_2 sunt noile numere digitale ale pixelilor, raportate la noul sistem se axe creat,

DN_A, DN_B sunt vechile numere digitale ale pixelilor din cele două benzi spectrale corelate,

a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22} reprezintă coeficienții de transformare sau componentele principale (sub raport matematic)

Coeficienții de transformate din formulele (1) și (2) sunt calculați automat în orice modul de transformare PCA al oricărui program destinat procesării imaginilor de teledetecție. Vectorii sau valorile Eigen sunt reprezentate grafic, împreună cu noile imagini, considerate drept „componente principale" (fig. 3.44). Graficul de mai sus arată valorile însumate ale constantelor Eigen corespunzătoare fiecărei noi imagini obținută prin analiza componentelor principale. Se observă scăderea treptată a acestora, de la stânga la dreapta, fapt ce confirmă modificările mai consistente la nivelul primelor componente (1 și 2) și lipsa de relevanță a modificărilor imaginilor 4 și 5. Aceasta explică gradul mai mare de reprezentativitate și utilitate ale primelor imagini, ce au în realitate cea mai mare covarianță în raport cu benzile spectrale inițiale. În fig. 3.45 sunt prezentate imaginile corespunzătoare componentelor principale amintite (PC).

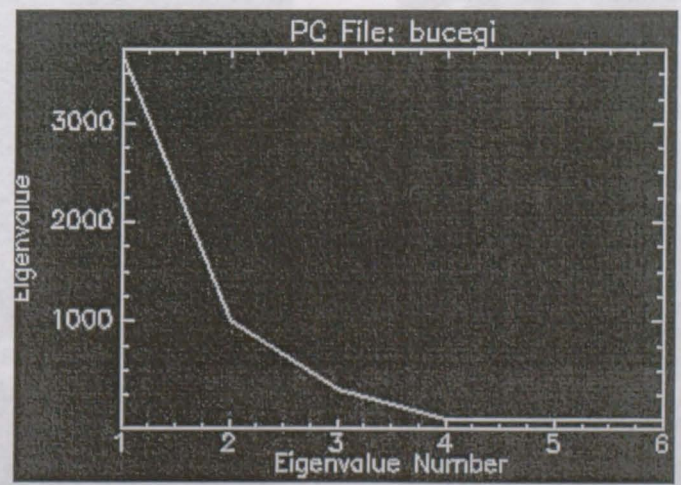
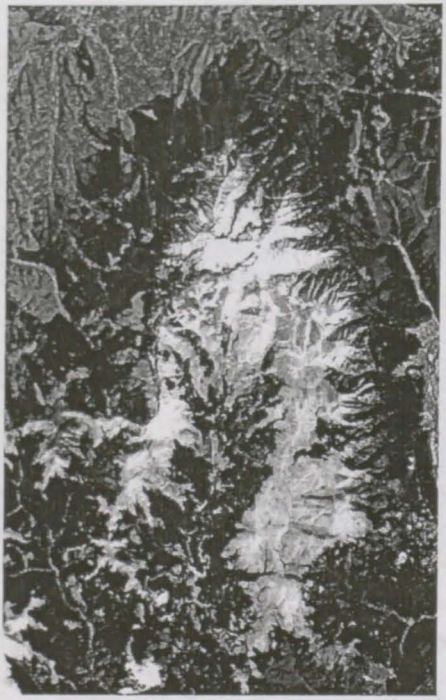
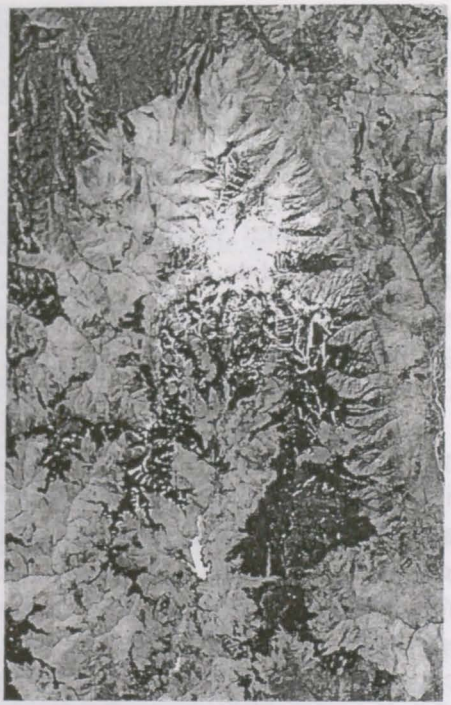


Fig. 3.44 **Reprezentarea grafică a valorilor Eigen din transformarea PC a subscenei Landsat ETM+, reprezentând Masivul Bucegi** (mai 2002)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



PC 1



PC 2



PC 3



PC 4

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



PC 5



PC 6

Fig. 3.45 **Imaginile corespunzătoare componentelor principale aferente subscenei Landsat ETM+, reprezentând Masivul Bucegi** (mai 2002)

Analiza a fost realizată în acest caz pe un eşantion sau un grup de şase benzi spectrale Landsat. În fapt acestea sunt benzile 1-5 şi banda 7, toate alese după criteriul aceleiaşi rezoluții spațiale de circa 30 m. Imaginile ce corespund componentelor principale sunt mult mai numeroase în realitate, dar relevante sunt doar primele 5-6 şi mai precis primele 2-3 care au covarianța cea mai mare în raport cu datele inițiale. Calcularea valorilor Eigen şi generarea noilor imagini se realizează pe baza tuturor combinațiilor posibile de şase imagini luate câte două, în cazul de față. Ele pot fi si mai multe în cazul altor scene sau subscene satelitare, cuprinzând mai multe benzi (AVHRR, ASTER, AVIRIS etc.). Condiția de bază este rezoluția spațială identică a imaginilor.

Imaginile în componente principale pot înlocui total sau parțial benzile spectrale în sistem RGB, ceea ce duce la noi imagini falscolor, mai greu de interpretat. Culorile permit însă diferențieri de entități spațiale datorită necorelării lineare şi în anumite cazuri se realizează clasificări de pixeli. Un avantaj considerabil este lipsa umbririi în combinația RGB PC1-PC2-PC3, datorată modificării valorilor spectrale prin înmulțirea cu valorile Eigen. Se constată de

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

asemenea şi diminuarea efectului introdus de albedoul unor suprafeţe ca în cazurile unor roci (calcar, conglomerat, gresie etc.), al zăpezii, construcţiilor sau norilor şi a ceţii. Cu alte cuvinte diferenţierile sunt mai elocvente, ca urmare a decorelării datelor multispectrale.

Interpretarea imaginilor din fig. 3.45 poate fi optimă dacă se apelează şi la statisticile auxiliare ale analizei, incluse într-un fişier text. Ele se generează automat şi se referă la datele iniţiale, corelarea acestora şi mai ales la covarianţa şi valorile constantelor Eigen ce caracterizează fiecare plotare de câte două benzi spectrale, aşa cum se poate observa mai jos, în statisticile PCA pentru subscena Landsat ETM+, cu masivul Bucegi:

Filename: C:\Documents and Settings\Bogdan\Desktop\manual teledetectie\figuricarte\comp_princ\pc_bucegi_byte
Dims: Full Scene (501,544 points)

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev	Num	Eigenvalue
Band 1	58	255	127.512719	40.868425	1	1844.692070
Band 2	16	255	125.995775	31.354503	2	1779.614665
Band 3	0	255	128.211934	41.935467	3	1688.872323
Band 4	0	255	128.622974	38.382421	4	1648.357498
Band 5	0	255	127.869028	40.705839	5	1435.822694
Band 6	0	255	127.951462	40.658815	6	797.872023

Covariance	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1670.228190	-346.893476	21.389981	105.667021	12.034195	-18.764717
Band 2	-346.893476	983.104870	117.444578	29.285074	120.928366	-61.126128
Band 3	21.389981	117.444578	1758.583401	28.469849	4.461535	11.019024
Band 4	105.667021	29.285074	28.469849	1473.210216	46.416233	30.161890
Band 5	12.034195	120.928366	4.461535	46.416233	1656.965326	22.214607
Band 6	-18.764717	-61.126128	11.019024	30.161890	22.214607	1653.139269

Correlation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1.000000	-0.270712	0.012481	0.067363	0.007234	-0.011293
Band 2	-0.270712	1.000000	0.089321	0.024334	0.094748	-0.047948
Band 3	0.012481	0.089321	1.000000	0.017688	0.002614	0.006463
Band 4	0.067363	0.024334	0.017688	1.000000	0.029709	0.019327
Band 5	0.007234	0.094748	0.002614	0.029709	1.000000	0.013422
Band 6	-0.011293	-0.047948	0.006463	0.019327	0.013422	1.000000

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	-0.841691	0.396502	0.279498	-0.169415	0.161966	-0.035889
Band 2	0.300255	0.032045	0.896350	0.230968	0.200703	0.108392
Band 3	0.011662	0.046288	-0.296315	0.211586	0.789067	0.492466
Band 4	-0.134266	-0.087010	0.069592	-0.064990	-0.483251	0.855455
Band 5	-0.204897	0.133102	-0.110636	0.928039	-0.246329	-0.078269
Band 6	-0.375842	-0.902402	0.116410	0.087766	0.129029	-0.080687

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Acestea se reprezintă şi grafic, însă în cazul de față este importantă varianța noilor imagini în raport cu benzile spectrale din care ele au derivat. Graficul simplificat din figura 3.46, arată scăderea acestui parametru, exprimat de regulă în procente de pixeli modificați, de la PC 1 la PC n, dar mai ales nivelarea valorilor la nivelul ultimelor imagini, cu varianță redusă.

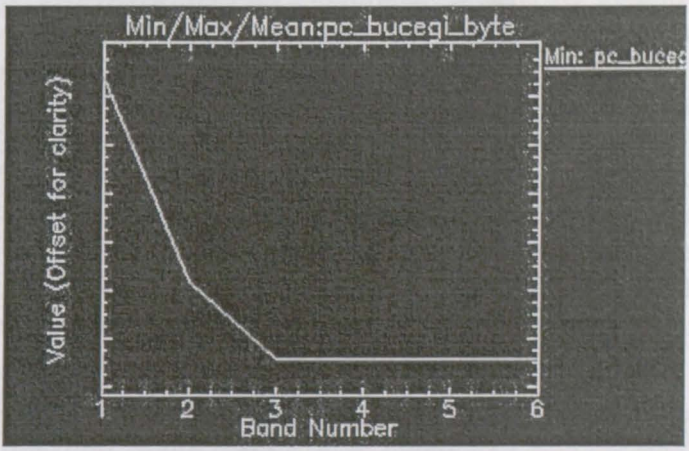


Fig. 3.46 **Varianța imaginilor PCA în raport cu imaginile inițiale, în cazul subscenei Landsat ETM+, reprezentând Masivul Bucegi** (mai 2002)

În imaginile din fig. 3.45, se observă o serie de elemente:

- imaginile sunt total diferite la nivel de tonuri sau signaturi spectrale, fapt ce confirmă decorelarea lor (fig. 3.47)
- expresivitatea imaginilor ce condiționează facilitatea interpretării vizuale este mare la PC1 şi ceva mai mică la PC2, după care signaturile spectrale se amestecă, generând erori de identificare.
- elementele acoperirii terenului, de la păduri la pajişti alpine şi secundare sunt cel mai uşor de delimitat pe primele două imagini, chiar dacă efectul albedoului impus de zăpada din jurul vf. Omu şi al norilor din sudul imaginii se menține.
- începând cu a doua imagine (PC2), se constată diminuarea efectului de albedou dar şi uniformizarea unor signaturi spectrale cum ar fi cele caracteristice vegetației forestiere şi pajiştilor, aşezărilor, apei lacurilor etc.
- umbrirea suprafețelor se diminuează şi dispare la componentele superioare, fapt ce le recomandă în elaborarea măştilor de umbrire pentru corecții (PC3, PC4 etc.).
- amplificarea distorsiunilor lineare şi punctiforme pe imaginile componentelor principale cu număr mare, ceea ce permite în preprocesare o bună vizualizare a diferitelor defecte de la „band striping'', „line drop'' sau „salt and pepper''şi o adaptare eficientă a tratamentului corespunzător.
- posibilitatea delimitării unor entități spațiale complementare de la o imagine la alta, în funcție de proprietățile spectrale amplificate prin decorelare (pădure în raport cu pajişte, lac în raport cu pădure, albii de râuri în raport cu pădurea, aşezări în raport cu pădurea etc.)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

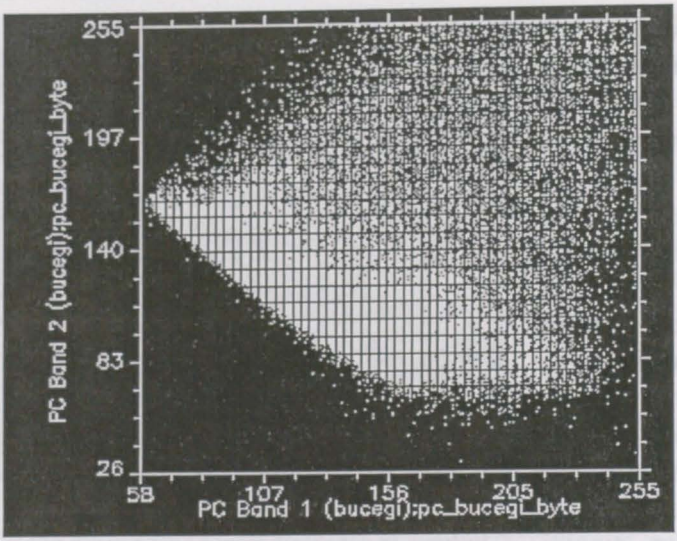


Fig. 3.47 **Decorelarea imaginilor PC1 şi PC2, evidentă în plotarea 2D a noilor valori spectrale de tip byte**

Rezulatele analizei componentelor principale permit crearea unui nou set de date, care oferă posibilitatea obținerii unei noi imagini, mai dificil de interpretat, dar mai ușor de corectat la nivel de umbrire, albedou etc. Clasificările tematice sau extragerea manuală a elementelor de mediu devine astfel mai precisă. Cartografierea tematică își găseşte o sursă importantă de date între aceste imagini. Noile pachete software permit şi generarea acestui set de date pe baza unor statistici definite în prealabil şi obținerea de imagini puternic decorelate şi expresive.

3.2.10. Rapoarte de benzi. Elemente de matematică spectrală

Imaginile digitale sunt matrici, compuse din pixeli cu o anumită valoare numerică. În practica procesării imaginilor, apare necesitatea diminuării sau evidențierii anumitor trăsături ale elementelor de mediu, cum pot fi umbrirea versanților, albedoul zăpezii sau al unor roci şi chiar eliminarea unor defecte. O soluție în acest sens sunt rapoartele de benzi spectrale.

Prin raportarea benzilor se realizează împărțirea numerelor digitale la nivel de pixel. Din această cauză, operația este posibilă pe imagini ce au aceleaşi colțuri şi aceaşi rezoluție spațială. Rezultă imagini noi, în scară de gri, în care pixelii vor avea valori numerice noi, de tip floating point, cu zecimale. Împărțirile de numere digitale au avantajul de a permite eliminarea diferențelor de iluminare a terenului, situație prezentă în imaginile din zone montane sau de dealuri. Strălucirea unor elemente se poate astfel controla în aşa fel încât unele obiecte reduse ca dimensiuni să devină vizibile (case, drumuri etc.). Un exemplu frecvent întâlnit în

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

literatură este delimitarea vegetației sănătoase de cea bolnavă, în ariile poluate, situație despre care vom discuta în subcapitolul următor (indicele de diferențiere al vegetației sau NDVI).

Posibilitatea de a calcula asemenea rapoarte este cu atât mai mare cu cât numărul benzilor spectrale disponibile este mai mare. Lillesand et al. (2004) menționează 12 rapoarte la Landsat MSS și 30 la Landsat TM. Cu toate acestea, nu toate imaginile sunt utile analizelor, fapt pentru care se impune cunoașterea reflectanței obiectelor de interes în raport cu lungimea de undă sau a corecțiilor ce urmează a se efectua. Corelarea datelor din cele două benzi raportate (ex. benzile1 și 2 la Landsat TM), determină relativ frecvent contrastul redus al noilor imagini și dificultăți de interpretare.



Fig. 3.48 **Imagine a Masivului Bucegi, obținută prin raportarea benzilor 3 și 4 Landsat ETM+**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Imaginea din fig. 3.48 scoate în evidență rețeaua de drenaj majoră și bazinele torențiale (Brăteiul, Bângăleasa, Valea Cerbului etc.), lacul de acumulare de la Bolboci, dar și așezările (Bușteni) sau drumurile. Efectul de albedou al zăpezii este diminuat la limita vizibilului cu infraroșul. Pădurea este ușor de delimitat doar în raport cu pajiștile, dar apare în tonuri întunecate datorită reflectanței mari în banda 4 și mai mici în banda 3.



Fig. 3.49 **Imagine a Masivului Bucegi, obținută prin raportarea benzilor 5 și 2 Landsat ETM+**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Imaginea din fig. 3.49 este diferită de cea anterioară. Pădurile apar în tonuri relativ deschise ca urmare a diferențelor mar de reflectanță dintre banda infraroşu mijlociu (5) şi cea a verdelui (2). Tonurile depind de tipul de pădure, astfel încât foioasele apar mai deschise decât coniferele. Efectul de strălucire al zăpezii este anulat prin împărțirea unor numere digitale mici la unele foarte mari situație specifică şi apelor. Pajiştile sunt deschise la nivel de ton de culoare şi datorită lipsei aproape totale a covorului ierbos, la început de mai la altitudini mari, unde apare solul neprotejat.



Fig. 3.50 **Imagine a Masivului Bucegi, obținută prin raportarea benzilor 3 şi 7 Landsat ETM+**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Imaginea din fig. 3.50 păstrează o serie de trăsături ale unor elemente cu reflectanță mare în banda roșu. Zăpada este evidentă în jurul vf. Omu și pot fi delimitate culoare de avalanșe. Sunt eliminați norii, iar turbiditatea apei din lacul Bolboci este evidentă în perioada topirii zăpezilor de pe culmi. Efectul de umbrire datorat reliefului și pot fi analizate trăsăturile morfografiei.

Problema interpretării acestor imagini este mai complexă. Datele nu mai au aceași semnificație la nivel de radianță absolută, ca în cazul imaginilor inițiale. Prin divizarea valorilor spectrale se pot obține pixeli cu valori egale în cazul unor obiecte diferite, ca de pildă în imaginea din fig. 3.50, unde zăpada se confundă cu apa cu sedimente a lacului de acumulare.

Imaginile obținute se pot combina în RGB, rezultând combinații falscolor, care conservă informație spectrală din mai mult decât trei benzi spectrale. Există posibilitatea de a combina imagini de acest tip în cele mai diverse formule, însă importante sunt cele între imagini decorelate pentru că sunt expresive. Pentru a realiza combinații expresive cromatic se combină două rapoarte cu o bandă spectrală, în funcție de proprietățile spectrale ale obiectelor și de scop în general.

Avantajele acestor imagini sunt și posibilitatea vizualizării elementelor de distorsiune sau zgomot (liniare, punctuale), eliminarea ceții sau a norilor prin rapoarte adecvate ale benzilor din vizibil cu o ocurență apropiată a acestor elemente, dar mai ales corectarea efectului de umbrire impus de azimutul și elevația solară în momentul preluării imaginilor. În fig. 3.51, se observă rezultatul raportării benzilor 2 și 4 ale subscenei Landsat MSS reprezentând Depresiunea Întorsurii. Efectele bandstripingului au fost eliminate fără a se aplica un filtru, imaginea păstrând un defect remediabil de tip line drop.



Fig. 3.51 **Imagine a Depresiunii Întorsurii în banda 2 (roșu)-a, și imaginea obținută prin raportarea benzilor 2 și 4 Landsat MSS-b**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Aplicațiile cele mai cunoscute ale rapoartelor de benzi sunt întâlnite în contextul pregătirii imaginilor pentru extragerea de informații geografice prin clasificări de pixeli. Efectul de umbrire alterează radiometria unor date, fapt ce impune erori în clasificări. Aceasta necesită corecții, una dintre metode fiind combinarea în RGB a unor rapoarte de benzi spectrale. Alegerea acestora se realizează prin diminuarea signaturilor spectrale din benzile infraroşului, prin împărțirea acestora la valorile spectrale din banda roşu, în care umbrirea este cea mai evidentă. Metoda permite obținerea unor imagini falscolor cu diferite grade de corelare, în care efectul umbrei dispare sau este diminuat (fig. 3.52). Pe baza acestora se realizează interpretări vizuale sau clasificări de pixeli. Imaginile presupun un efort mai mare de interpretare, dar au avantajul înlocuirii unor corecții radiometrice care necesită date suplimentare, dificil de obținut în unele cazuri (modele digitale altitudinale, date privind imaginea, analiză geostatistică).

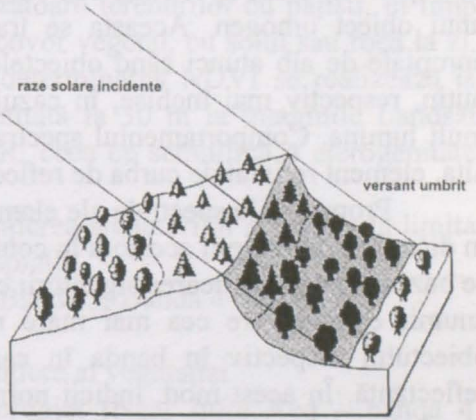






Fig. 3.52 **Diferențieri spectrale datorate umbririi versantului (a), după Lillesand et al. (2004). Imaginea falscolor RGB 453 (b) cu efect de umbrire şi RGB 4/3, 5/3, 7/3 (c), fără efect de umbrire, în scară de gri, a Masivului Bucegi** (Landsat ETM+, mai 2002)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Aplicațiile rapoartelor de benzi spectrale sunt mult mai importante sub forma indicilor normalizați de diferențiere spectrală, care vor face obiectul următorului subcapitol.

3.2.11. Indici normalizați de diferențiere

Fiecăui pixel îi corespunde o anumită valoare (număr digital, simbolizat DN) și o signatură spectrală, mai exact o expresie a comportamentului spectral al unui obiect omogen. Aceasta se traduce prin tonuri diferite de culoare, mai apropiate de alb atunci când obiectele reflectă mai mult lumina și o absorb mai puțin, respectiv mai închise, în cazul în care elementul respectiv absoarbe mai mult lumina. Comportamentul spectral este diferențiat de la o bandă spectrală la alta, element reliefat de curba de reflectanță spectrală (prezentate în capitolul 1).

Proprietățile spectrale ale elementelor peisajului pot fi exploatate mai mult în direcția diferențierii acestora în contextul operațiilor cu benzi spectrale. Acestea se bazează pe amplificarea signaturii corespunzătoare benzilor spectrale în care un anumit element are cea mai mare reflectanță, respectiv diminuarea signaturii obiectului respectiv în banda în care elementul respectiv are cea mai mică reflectanță. În acest mod, indicii normalizați sunt exprimați prin *imagini noi, în scară de gri*, în care pixelii au noi valori numerice. Datele obținute nu mai sunt de tip byte (0-255) ci de tip *floating point*, cuprinse în intervalul de la -1 la +1. Exemple de interpretare vor fi oferite în cele ce urmează, deoarece situațiile diferă de la un indice la altul.

Imaginile sunt surse importante de informații geografice pentru cartografierea elementelor de peisaj sub forma hărților tematice, dar mai ales pentru evaluarea obiectivă, pe baze cantitative a stării mediului.

Indicii normalizați de diferențiere a elementelor de peisaj se pot aplica aproape tuturor imaginilor multispectrale, în funcție de rezoluția spectrală. Cele mai tipice situații le întâlnim la imaginile LANDSAT ETM+, cu șapte benzi ce permit posibilități remarcabile de diferențiere a vegetației, zăpezii, umidității din sol și plante, riscului de foc în păduri și chiar a habitatului. Aplicații similare sunt cunoscute și în cazul imaginilor obținute prin radiometrie ca NOAA-AVHRR și mai ales ASTER. Se adaugă și imaginile SPOT multispectrale. Aplicațiile noastre se vor limita la imagini LANDSAT ETM+, relativ ușor de utilizat, și suficient de diversificate sub raportul rezoluției spectrale.

Indicele normalizat de diferențiere a vegetației (NDVI) a fost introdus în literatură de Rouse (1973), în intenția cartografierii vegetației de câmpie din SUA pe baza imaginilor ERTS, prima generație de imagini Landsat (MSS). Prima formulă a avut în vedere evidențierea signaturilor spectrale ale vegetației în *infraroșul apropiat* (zonă spectrală în care reflectanța clorofilei este cea mai mare), în raport cu cea din *zona roșului* (în care clorofila absoarbe radiații

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

luminoase, fapt pentru care ea are impune culoarea verde vegetației sănătoase, aflată în plin sezon).

Formula aplicabilă imaginilor Landsat TM şi ETM+, este bazată pe utilizarea aceloraşi benzi spectrale, din care rezultă posibilitatea cuantificării la nivel de pixel a valorilor NDVI între -1 şi 1. Valoarea reprezintă în fapt consistența vegetației verzi (gradul de dezvoltare, gradul de sanogeneză), astfel încât valoarea 1 reprezintă consistența maximă a vegetației specifică pădurilor de foioase dense. Valoarea zero, este corespunzătoare terenurilor cu pajişti, în timp ce minima de -1 reprezintă terenul lipsit de covor vegetal, cu solul sau roca la zi. Aceste limite sunt greu de atins, deoarece determinarea NDVI se realizează la nivel de pixel iar rezoluția spațială este limitată la 30 m la imaginile Landsat multispectrale sau 15 m la imaginile ASTER, ceea ce semnifică o eterogenitate evidentă a terenului ce corespunde celulei.

Formula exprimă în ansamblu diferențierea signaturilor spectrale la limita vizibilului (roşu) cu infraroşul (infraroşu apropiat).

NDVI = NIR-R/NIR+R= Banda 4-Banda 3/ Banda 4+Banda 3,

unde

NDVI – indicele normalizat de diferențiere al vegetației

NIR – banda spectrală infraroşul apropiat (Near Infra Red – banda 4 Landsat TM şi ETM+)

R – banda spectrală roşu (vizibil, Red-banda 3 Landsat TM şi ETM+)

Formula este empirică şi se poate adapta şi altor imagini de teledetecție. În acest caz, numerotarea benzilor spectrale se modifică, însă importantă este realizarea corespondenței dintre benzile ce corespund infraroşului apropiat şi roşului (benzile 1 şi 2 la NOAA-AVHRR, benzile 2 şi 3 la ASTER, benzile 2 şi 3 la SPOT-HRV). Imaginile obținute cu ajutorul oricărui sistem de teledetecție în benzile roşu şi infraroşu se pretează acestor transformări de valori spectrale. Ideale sunt cele cu rezoluții mari la care există posibilitatea unor determinări detaliate.

În vederea explicării acestui indice, vom utiliza un exemplu aplicat unei subscene Landsat ETM+, datată în mai 2002, suprapusă spațiului montan de la vestul Curburii Carpaților. Aceasta a fost selectată pe criteriul diversității vegetației în suprafață şi în altitudine (fig. 3.53). Pe baza acestei subscene a fost calculat prin aplicarea automată a algoritmului la senzorul de teledetecție, rezultatul fiind o imagine în tonuri de culoare sau scară de gri, în care pixelii au valori între -1 şi 1.

Identificarea semnificației în teren a tipologiei vegetației, pe baza combinațiilor falscolor (453, 432 la Landsat ETM+), permite aplicarea procedeului density slicing, prin care tonurile de culoare sunt înlocuite prin nuanțe de culori şi grupate în etaje şi chiar în asociații vegetale (în funcție şi de rezoluția spațială).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



Fig. 3.53 **NDVI calculat pe subscena Landsat ETM+** (aria dintre Valea Prahovei, Braşov, Codlea şi M. Piatra Craiului)

Interpretarea presupune delimitarea arealelor cu tonuri de culoare diferite, ce semnifică evident caracteristici ale vegetației.

Valorile cele mai mari ale NDVI sunt corespunzătoare tonurilor de alb şi se apropie de 1. Acestea sunt asociate celor mai consistente păduri şi totodată celor mai sănătoase, având în vedere şi fenofaza (în cazul de față, luna mai 2002). Este cazul pădurilor de fag sau fag cu gorun, al foioaselor în ansamblu, care prin desimea frunzişului, formează un adevărat ecran ce reflectă puternic radiații infraroşii şi le absoarbe pe cele roşii. Munții Postăvaru şi cei ai Poienii Mărului (Perşanii de Sud cu Măgura Codlei) sunt evident bine acoperiți, pe o parte din versanți, cu asemenea păduri consistente.

Tonurile cele mai închise, apropiate de negru (valoarea -1), arată o situație opusă celei anterioare. Lipsa vegetației de orice tip, a clorofilei, exprimă solul sau roca la zi ce absorb mai mult infraroşul apropiat. Sunt bine exprimate abrupturile

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

din Bucegi, Postăvaru, Piatra Mare, Leaota și creasta Pietrei Craiului, unde în luna mai, roca sau solul apar dezgolite de vegetație. Sunt evidente toate golurile alpine și subalpine, lipsite de de vegetație și pe alocuri, la peste 1600 m, pe expuneri umbrite au încă zăpadă. La acestea adăugăm și parcelele de teren arate proaspăt din Depresiunea Brașov, precum și construcțiile din orașe (Brașov, Zărnești, Predeal, Azuga) sau satele mari (Rucăr).

Valorile intermediare apar prin tonuri de gri mai deschise sau mai închise. Ele pot fi asociate pădurilor de amestec (foioase și conifere), atunci când au tonuri mai deschise, sau chiar livezilor mai consistente din zona Branului (înflorite). Tonurile mai închise se pot asimila pajiștilor deja înverzite dar încă neconsistente, astfel încât să acopere eficient solul.

O posibilitate remarcabilă pe care determinarea NDVI o oferă este delimitarea precisă, obiectivă a suprafețelor acoperite cu vegetație în ansamblu (fig.3.54) sau mai ales a tipologiei vegetației. Prin aplicarea algoritmului de diferențiere a densităților (density slicing), tonurile de culoare se pot asimila unor nuanțe de culori, dar mai ales, în funcție de informații din teren sau alte surse (hărți, fotograme aeriene), pot fi grupate. În acest mod, rezultă imagini noi, asimilabile unor strate tematice (layere), utile în analiza SIG sau chiar în actualizarea unor baze de date. De pildă, întocmirea hărții vegetației, sau actualizarea de hărți vechi care nu mai sunt valabile.



Fig. 3.54 **Arealele acoperite cu vegetație, derivate din imaginea NDVI, prin algoritmul density slicing**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Imaginea arată diferențe clare între goluri subalpine și alpine, teren arat, albii de râuri, inclusiv talveguri torențiale mai evoluate, vetre de așezări, pe de o parte și terenuri cu păduri, pajiști, parcuri etc. (unde există clorofilă). Astfel există posibilitatea reactualizării pe cale digitală a limitelor superioare ale pădurii. Este important a se ține seama și de fenofazele vegetației, deoarece în vârf de sezon situația reflectanței se modifică inclusiv la altitudini mari.

Diferențierea tipologică a vegetației (fig. 3.55), mai precis a etajelor și zonelor de vegetație este posibilă prin diferențierea nuanțată a valorilor NDVI. Acestea se pot grupa pe trepte ce exprimă deosebiri de ton de culoare.

Imaginea poate înlocui cu succes o clasificare de pixeli, destinată delimitării etajelor majore de vegetație. Sunt evidente limitele pădurii la contactul cu pajiștile alpine, cu terenul construit sau cu cel agricol neacoperit de vegetație. Pajiștile pot fi diferențiate de păduri prin atribuirea unor nuanțe de culori contrastate. Sunt expresive tonurile coniferelor (mai închise) față de foioase ce apar mai deschise, dar și amestecurile de fag cu molid (apar pestriț). Sunt evidente și ogoarele și gospodăriile risipite din aria Branului și Poienii Mărului, pârtiile din zona Predeal.

Aplicarea NDVI în analiza peisajului este o posibilitate de a reduce considerabil volumul de muncă în teren. În plus, prin validarea în teren a imaginii obținute, de a cartografia precis, în funcție de rezoluția spațială, tipologia vegetației. Delimitarea spațiului agricol sau urban de cel forestier sau de pajiști este utilă în cartografierea utilizării terenurilor. Rezultatele pot fi îmbunătățite pe imagini ASTER, ce au o rezoluție spațială mai mare (cca.15 m), pe care se pot delimita chiar și terenurile cu grădini și parcuri în orașe, sau se pot trasa cu precizie limitele intravilanului, similar orașului Sinaia (fig. 3.56)

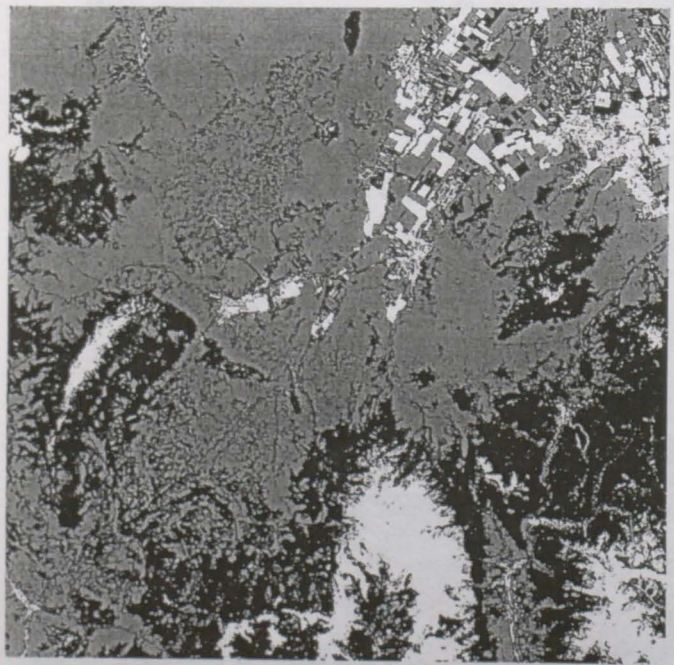


Fig. 3.55 **Diferențierea tipologică a vegetației pe baza NDVI, prin aplicarea procedeului density slicing**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Vigoarea plantelor, a vegetației este legată de calitatea răspunsului spectral al clorofilei, ce se degradează pe măsură ce ploile acide sau diferitele boli afectează calitatea covorului vegetal. În cazul poluării, NDVI poate evidenția nivelul de degradare al asociațiilor vegetale ca efect al diminuării reflectanței în infraroşul apropiat. În acest sens, subscena satelitară Landsat ETM+ din iulie 2000, a stat la baza determinării NDVI pentru arealul oraşului Copşa Mică de pe Târnava Mare, unde nivelul mare al poluării datorat metalurgiei neferoase, este recunoscut. (fig. 3.57).

Din analiza sumară a imaginii de mai sus, se observă faptul că vegetația arată valori NDVI negative în arealul intravilanului oraşului, care datorită poluării este greu de diferențiat. NDVI din zona poluată este uşor de comparat cu NDVI din arealul nepoluat, acoperit cu pajişti, culturi de cereale şi plante tehnice şi păduri de cvercinee (petele albe). Propagarea undei poluante se face vest-est, de la stânga spre dreapta imaginii, în lungul culoarului larg cu luncă şi terase al Târnavei Mari, fapt uşor de sesizat după distribuția valorilor NDVI, într-o perioadă de maxim de sezon vegetal.



Fig. 3.56 **Oraşul Sinaia. Imaginea NDVI la rezoluția de 15 m, obținută pe baza unei subscene ASTER din 2002. Se diferențiază păduri de fag şi de amestec în raport cu terenul construit şi albiile Prahovei şi ale unor afluenți importanți, precum şi drumuri care au lățimi mai reduse decât rezoluția spațială.**



Fig. *3.57* **NDVI determinat pe o subscenă Landsat ETM+ din iunie 2000, pentru arealul Copşa Mică, în Culoarul Târnavei Mari**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Indicele normalizat de diferențiere al apei (NDWI sau Normalized Difference Water Index), propus de Mc Feeters (1996), este destinat vizualizării diferențelor de turbiditate și conținut vegetal ale apelor de suprafață, precum și al depozitelor și solurilor aluviale. Imaginile satelitare multispectrale care se pretează determinării acestui indice trebuie sa acopere domeniul vizibil, în care radiațiile electromagnetice penetrează apa (și mai ales în zonele verde și albastru). Indicele este senzitiv și în cazul diferențierii conținutului de apă, de umiditate al copacilor și asociațiilor vegetale în general.

Determinarea NDWI este posibilă prin aplicarea unei formule matematice simple, asemănătoare celei valabile pentru NDVI, utilizând benzile spectrale verde și infraroșu apropiat. Banda verde este o parte a spectrului vizibil, în care lumina poate penetra apa, până la un nivel destul de profund, în funcție de conținutul în sedimente și de cel organic (vegetație).

Banda infraroșului apropiat corespunde intervalului în care clorofila are cea mai mare reflectanță, și în care se constată o creștere a răspunsului spectral al umidității din soluri, roci și plante (maximul este în infraroșul mediu). În infraroșul apropiat, apa râurilor sau lacurilor începe să absoarbă radiațiile în straturile de suprafață, fapt pentru care comportamentul spectral diferă de cel din zona vizibilului. De aici rezultă pragul de diferențiere spectrală dintre cele două benzi.

Formula este exprimată astfel:

NDWI = NIR-G/NIR+G= Banda 4-Banda 2/Banda 4+Banda 2,

unde,

NDWI – indicele normalizat de diferențiere al apei

NIR – banda spectrală infraroșul apropiat (Near Infra Red- banda 4 Landsat TM și ETM+)

G – banda spectrală verde (vizibil, Green -banda 2 Landsat TM și ETM+)

Imaginea NDWI este deosebit de utilă în arealele cu râuri mari, fluvii și lacuri în care turbiditatea, alături de eutrofizare, precum și poluarea sunt caracteristici permanente. Pentru exemplificare am selectat în fig. 3.58, o subscenă Landsat ETM+, din mai 2002, pe văile Siretului și Tazlăului, în arealul Bacău-Onești. Diferențierea apelor de terenul uscat este tranșantă, imaginea având un mare grad de expresivitate.

Valorile numerice sunt cuprinse între -1 și + 1 (date de tip floating point), exprimând luciul de apă al lacurilor sau râurilor, în tonuri închise, respectiv, terenul uscat, în tonuri deschise. Nivelele intermediare de gri desemnează terenul cu un conținut de umiditate intermediar, așa cu se poate observa la nivelul luncilor Siretului, Bistriței sau ale unor afluenți (Berheci, Tazlău). Imaginea din luna mai corespunde unei perioade în care nivelul freatic în luncile râurilor se menține ridicat.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

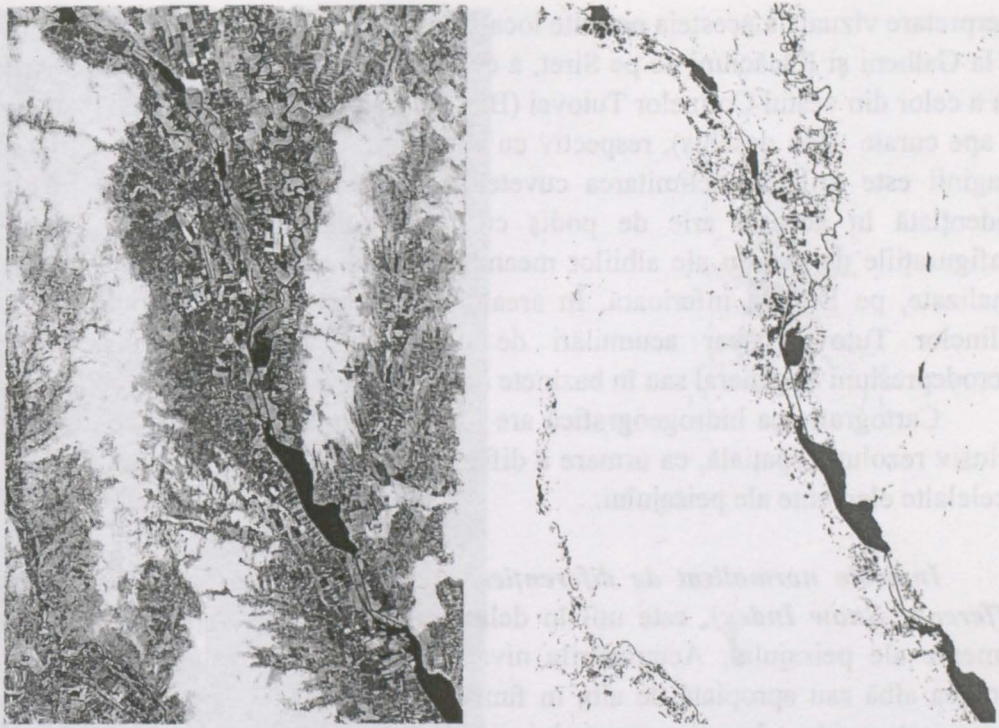


Fig. 3.58 **Imaginea NDWI, pentru arealul Văii Siretului în aval de Bacău şi la confluenţa cu Bistriţa, determinată pe subscena Landsat ETM+ din mai 2002 (a) şi imaginea prelucrată prin aplicarea procedurii density slicing (b)**

Apele din lacurile de acumulare de pe Siret şi Bistriţa inferioară, precum şi albiile râurilor apar în tonuri închise (în cazul în care nu sunt colmatate total cu sedimente sau microorganisme). În acest mod este posibilă delimitarea albiilor minore de luncă şi a cuvetelor lacustre prin trasarea malurilor, operaţie ce implică dificultăţi în imaginile color, şi mai ales în cele ce combină benzi din zona vizibilului (apa este penetrată de radiaţiile luminoase). Vegetaţia forestieră apare strălucitoare, pe baza diferenţei de reflectanţă dintre infraroşul apropiat şi vizibil (în banda verde şi în infraroşul apropiat, clorofila reflectă lumina, ceea ce îi explică şi culoarea în raport cu sezonul vegetal). Pădurile de cvercinee se deosebesc prin ton de culoare de pajişti şi terenuri cultivate, ce apar mai întunecate, ca efect al consistenţei clorofilei şi gradului de acoperire a terenului.

Aplicarea procedurii density slicing este menită să izoleze trăsăturile legate de apele de suprafaţă de celelalte elemente din imaginea obţinută. Folosind harta şi recunoaşteri în teren, au fost asociate nuanţe sau tonuri de culoare, fiecărui ton din imaginea NDWI. Elementele neinteresante, altele decat cele legate de ape, au fost substituite albului şi a rezultat astfel, imaginea din fig.3.58 b. Simpla

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

interpretare vizuală a acesteia permite localizarea cuvetelor lacurilor de acumulare de la Galbeni şi Răcăciuni de pe Siret, a celor de la Bacău şi Gârleni pe Bistrița, sau a celor din vestul Colinelor Tutovei (Berheci). Acestea apar divizate în arealul cu ape curate (ton deschis), respectiv cu ape cu sedimente (ton închis). Analiza imaginii este utilă în delimitarea cuvetelor de lacuri colmatate, situație bine evidențiată în această arie de podiș cu roci sedimentare moi. Se observă configurațiile de detaliu ale albiilor meandrate (amonte de Bacău, pe Siret) sau canalizate, pe Bistrița inferioară. În arealul colinar al Culmii Pietricica sau al Colinelor Tutovei, apar acumulări de ape între valuri de alunecare, în microdepresiuni în general sau în bazinete de pe talveguri torențiale.

Cartografierea hidrogeografică are în acest indice posibilități ce depăşesc inclusiv rezoluția spațială, ca urmare a diferențelor mari de reflectanță dintre apă şi celelalte elemente ale peisajului.

Indicele normalizat de diferențiere al zăpezii (NDSI sau Normalized Difference Snow Index), este util în delimitarea zăpezii în raport cu celelalte elemente ale peisajului. Acumulările nivale conțin apă în stare solidă şi au culoarea albă sau apropiată de alb, în funcție de puritate. Răspunsul spectral al zăpezii este evident în zona spectrului vizibil, în verde şi albastru şi destul de însemnat în roşu. Dealtfel culoarea albă rezultă din combinarea aproape egală a celor trei signaturi spectrale.

Indicele NDSI a fost introdus în literatură de Sidjak şi Wheate (1999) în încercarea de a delimita în imagini ghețarii montani canadieni de suprafețele cu zăpadă. Relația de calcul apelează la benzile ce corespund verdelui (în care reflectanța zăpezii este cea mai mare) şi infraroşului mijlociu sau propriu-zis (în care umiditatea are reflectanța maximă). În esență, transformarea presupune diferențierea signaturii zăpezii de cea a umidității pe care aceasta o conține. Formula este:

NDSI = G-IR/G+IR= Banda 2-Banda 5/ Banda 2+Banda 5, unde

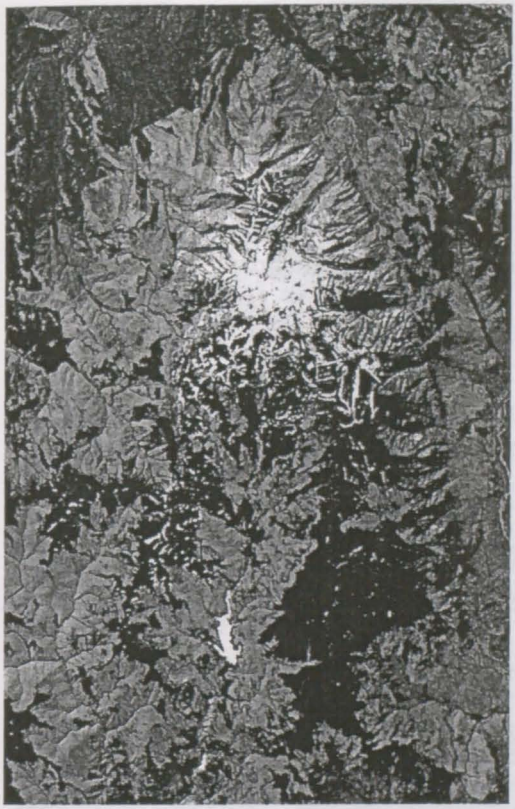
NDSI – indicele normalizat de diferențiere al zăpezii

G – banda spectrală verde (vizibil, Green -banda 2 Landsat TM şi ETM+)

IR – banda spectrală infraroşu mijlociu sau infraroşu (Infra Red- banda 5 Landsat TM şi ETM+)

Datele rezultate sunt de tip floating point (de la -1 la +1). Terenul cu zăpadă apare în cele mai deschise tonuri ca urmare a signaturii din banda 2 (verde) iar noii pixeli au valori de peste zero, în funcție de consistența zăpezii remanente pe creste şi la obârşii.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



a b

Fig. 3.59 **Imaginea NDSI pentru Masivul Bucegi, determinată pe baza subscenei Landsat ETM+ din mai 2002 (a) şi arealul acoperit de zăpadă extras prin metoda density slicing (b). Se observă suprafeţele rămase cu zăpadă în jurul vf. Omu, în V. Jepilor sau la obârşiile Ialomiţei, în tonurile apropiate de alb**

Imaginea NDSI din fig. 3.59 a, exprimă prin tonuri de alb, acumulările de zăpadă, în raport cu vegetaţia, solul, rocile şi alte elemente. Subscena de primăvară arată ultimele areale cu zăpadă rămase la peste 2200-2300 m, grupate pe expuneri umbrite şi semiumbrite şi în talveguri adâncite, diferenţiind zăpada topită, umedă de arealele ce au încă un covor nival continuu. Se pot diferenţia arealele cu potenţial de producere a avalanşelor şi chiar nişe sau microdepresiuni nivale de dimensiuni reduse, pe platouri structurale. Lacul de la Bolboci, de pe Ialomiţa, apare în tonuri apropiate de cele ale zăpezii, ca efect al signaturii spectrale în banda 2 şi al apei încărcată cu sedimente şi cu o pojghiţă de gheaţă. Aplicarea relaţiei este utilă în ariile montane cu acumulări nivale, în vederea cartografierii arealelor cu zăpezi perene sau remanente un timp îndelungat. Imaginea distribuţiei stratului nival permite inclusiv cartografierea proceselor de nivaţie sau aprecierea eficientă a suprafeţelor cu potenţial de amenajare a

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

domeniilor schiabile. Determinările pot fi continuate de izolarea suprafețelor înzăpezite, prin aplicarea procedurii density slicing sau prin interpretare și vectorizare (fig. 3.59 b).

Indicele normalizat de diferențiere al umidității (NDMI sau Normalized Difference Moisture Index) exprimă conținutul diferențiat de umiditate la nivelul elementelor peisajului și în special al solurilor, rocilor și vegetației. În acest sens, este posibilă evaluarea la un moment dat a potențialului hidric al vegetației și solurilor, respectiv excesul sau deficitul de umiditate de la nivelul acestora. Calcularea indicelui NDMI este posibilă prin diferențierea în cadrul formulei a signaturilor spectrale din infraroșul apropiat și din cel mijlociu. Acestea exprimă trecerea pragului spectral în care umiditatea crește de la limita inferioară, în infraroșul apropiat la cea superioară în infraroșul mijlociu. Relația matematică este:

NDMI = NIR-IR/NIR+IR= Banda 4-Banda 5/Banda 4+Banda 5,

unde,

NDMI – indicele normalizat de diferențiere al umidității din sol și vegetație

NIR – banda spectrală infraroșul apropiat (Near Infra Red- banda 4 Landsat TM și ETM+)

IR – banda spectrală infraroșu mijlociu sau infraroșu (Infra Red- banda 5 Landsat TM și ETM+).

Datele obținute sunt de asemenea de tip floating point. Valorile cele mai mari ale indicelui de umiditate depășesc 0,1 și corespund tonurilor ce se apropie de alb. Cele mai reduse se apropie de -1 și apar prin tonuri închise apropiate de negru, ceea ce semnifică umiditate mică.

Diferențele de tonuri de culoare din fig. 3.60 arată conținutul de umiditate al vegetației și solurilor în momentul preluării scenei satelitare (mai 2002). Imaginea rezultată exprimă potențialul hidric în momentul topirii în mare parte a zăpezilor din aria montană înaltă. Tonurile cele mai deschise, către alb, semnifică exces de umiditate, situație caracteristică pădurilor de foioase (fag, fag cu gorun) sau de amestec (domină fagul în amestec cu molidul și bradul) din aria montană. Solurile sunt saturate în apă și în platformele de 1000-1200 m (Branului, Poiana Mărului și Poiana Brașov).În golurile montane alpine și subalpine, mai există unele petice de zăpadă, la peste 1400-1500 m, în unele areale (Bucegi la peste 2200 m, nișe nivale și torenții din Baiu, Grohotiș sau Ciucaș). Așezările (orașul Brașov, de pildă) nu apar prin tonuri intermediare, deoarece materialul de construcție dominant, este cărămida ce reține umiditate, alături de beton care este mai uscat (Brașov, Zărnești, Sinaia, Bușteni etc.). Abrupturile calcaroase ca cele din Piatra Craiului sau Măgura Codlei ori cele conglomeratice din estul Bucegilor apar, asemeni golurilor alpine ca terenuri uscate datorită permeabilității rocilor din care sunt alcătuite. În Depresiunea Brașov sunt evidente terenurile umede din luncile râurilor (Olt, Râul Negru, Bârsa, Tărlung, Timiș etc) și chiar din zona subsidenței de la Prejmer-Lunca Câlnicului.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



Fig. 3.60 **Imaginea NDMI, determinată pe subscena Landsat ETM+**
(aria dintre Valea Prahovei la Sinaia, Braşov, M. Ciucaş şi M. Piatra Craiului)

În acest mod este posibilă, prin diferențierea densităților, cartografierea selectivă a arealelor cu potențial hidric variat. În fig. 3.61 acestea apar compact în pădurile de foioase dar şi în lungul albiilor din depresiuni. Punctele dispersate indică marea densitate a izvoarelor, a dolinelor şi nişelor nivale din aria montană, respectiv a înmlăştinirilor din şesurile aluviale din Depresiunea Braşov (Prejmer, Bod, Ghimbav etc.).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

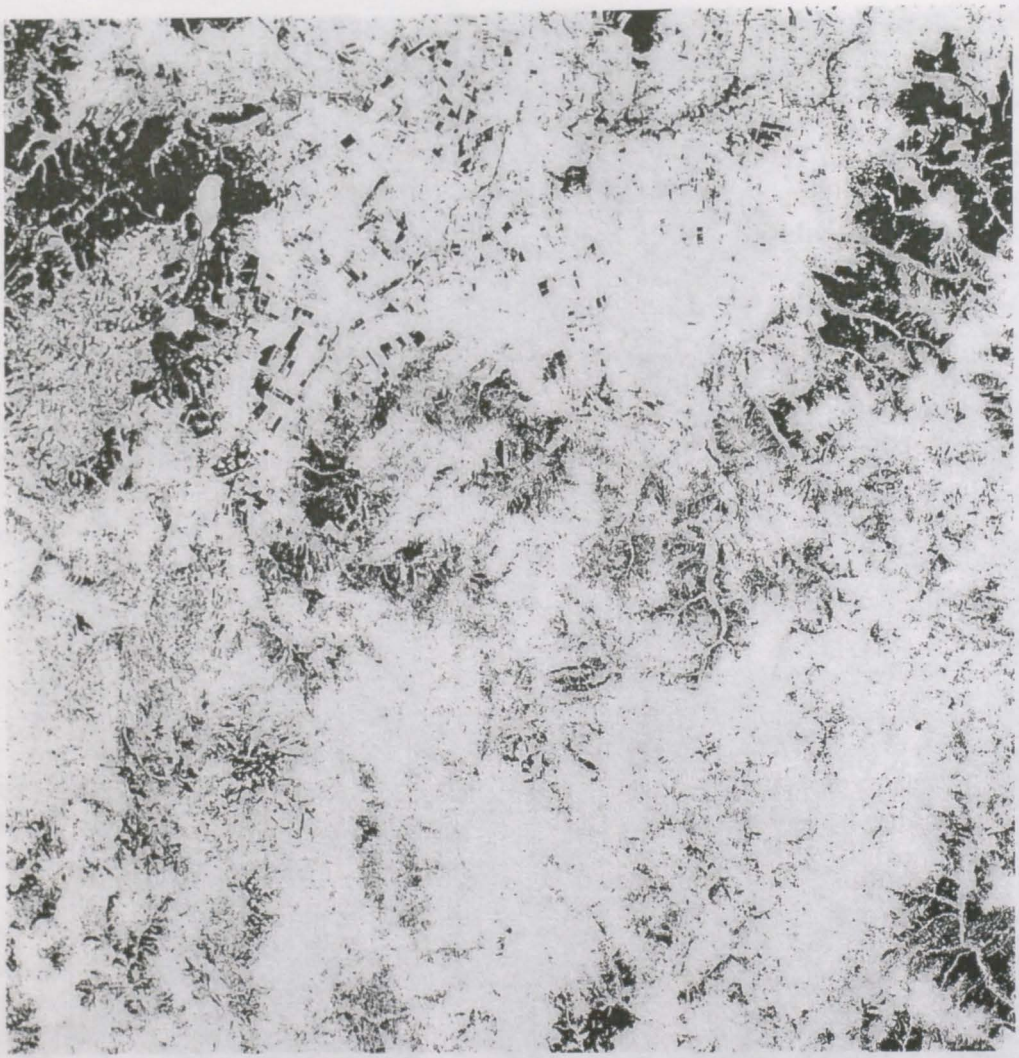


Fig. 3.61 **Imaginea NDMI, prelucrată density slicing, determinată pe subscena Landsat ETM+ din fig. 3.62. Se observă arealele cu cea mai mare umiditate**

Raportul normalizat de diferențiere al potențialului de ardere al vegetației (NDBR sau Normalized Difference Burning Ratio) este deosebit de util în contextul ariilor cu predispoziție la asemenea fenomene, ca de pildă cele mediteraneene, dasr şi cele de savană sau chiar pădurile din ariile montane ce cunosc o intensă foehnizare a maselor de aer. Raportul utilizează în esență benzile spectrale în care răspunsul spectral al vegetației neincendiate (infraroşu apropiat), respectiv incendiate (infraroşu mijlociu 2-2,5μm) sunt cele mai puternice şi se aplică, de regulă, pe serii de imagini multitemporale. Cele două momente alese, semnifică momentul preincendierii (mai ales primăvara) şi cel de după incendiere

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

(sfârșitul verii de regulă). Diferențele de reflectanță semnifică prezența clorofilei, înainte de incendiere, respectiv lipsa acesteia și ocurența la zi a solului și materialului alterat. În fapt, se pot calcula doi indici iar diferența este un indice sau raport global. Indicele a fost aplicat de către C. Key și B. Nate (1999) și validat pe un set de imagini cu păduri din Glacier National Park, SUA. Relația matematică a fost adaptată imaginilor Landsat TM, iar validarea rezultatelor în teren. Formula NDBR este următoarea:

NDBR = NIR-MIR/NIR+MIR= Banda 4-Banda 7/ Banda 4+Banda 7,

unde,

NDBR –raportul normalizat de diferențiere al potențialului de ardere al vegetației

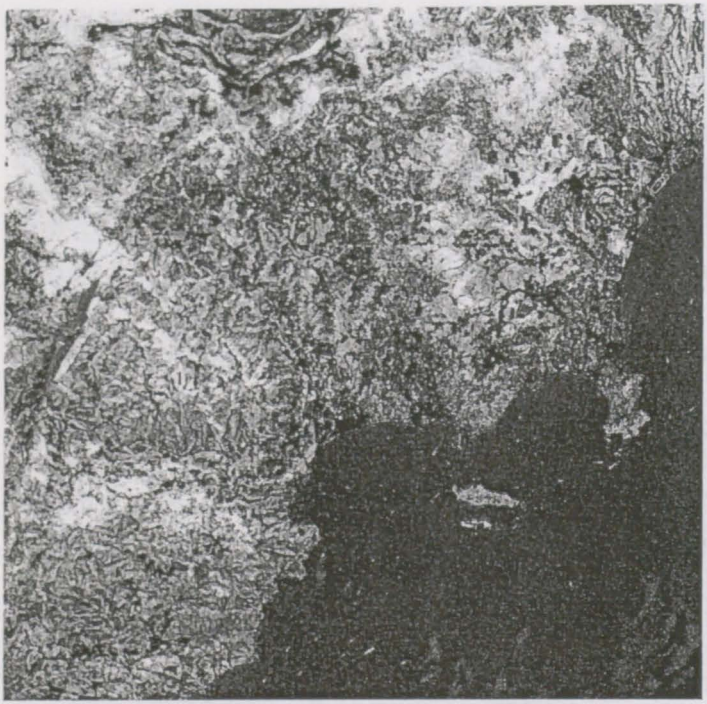
NIR – banda spectrală infraroșul apropiat (Near Infra Red- banda 4 Landsat TM și ETM+)

MIR – banda spectrală infraroșu mijlociu sau infraroșu (Infra Red- banda 7 Landsat TM și ETM+).

Pentru exemplificare a fost considerată o subscenă Landsat ETM+, din iulie 2000, din Alpii Maritimi (Franța), pentru care a fost calculat acest raport normalizat de benzi spectrale (fig. 3.62 a). A fost obținută o imagine în scară de gri, cu valori floating point, în care tonurile deschise de culoare, apropiate de alb (peste 0,1) arată valori mari ale acestui raport în cele mai uscate terenuri,mai exact arealele cu păduri arse sau foarte uscate, tufărișuri de maquis, cu potențial de a se aprinde. Tonurile închise semnifică suprafețe fără risc de a lua foc, și mai ales teren construit (clădiri din piatră sau beton, autostrăzi și drumuri, căi ferate, aeroportul Nice etc.). Valorile intermediare sunt suprafețe cu vegetație în stare bună dar care poate deveni obiectul incendiilor (tonuri de gri mai deschis, reprezentând livezi de măslini sau citrice, culturi agricole, unele tufărișuri etc.) sau sol dezgolit, ori roca la zi. Pentru exemplificare se poate observa tonul închis al apei mării, în contrast cu uscatul și mai ales cu suprafețele cu potențial de ardere. Linia țărmului se poate extrage ușor, iar ambarcațiunile de pe mare, multe dintre ele yachturi și ambarcațiuni sportive sunt evidente datorită pânzelor și catargelor din materiale în parte inflamabile.

Indicele normalizat de diferențiere al construcțiilor (NDBI sau Normalized Difference Building Index), a fost introdus recent în literatură de către Y. Zha et.al. (2003) și permite cartografierea automată a vetrelor de așezări cu un grad de acuratețe semnificativ. Mai mult, sunt izolate și alte elemente ale spațiului amenajat, cum ar fi diguri, canaluri, căi ferate, drumuri, baraje etc. Utilitatea este remarcabilă în contextul actualizării bazelor de date SIG, a hărților în general.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



a



b

Fig. 3.62 **Raportul NDBR, determinat pentru un sector din Alpii Maritimi (Franța, zona Monte Carlo-Nice-Cannes) pe o subscenă Landsat ETM+, din iulie 2000 (a) și diferențierea terenurilor incendiate și vulnerabile la incendii (b)**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Relația de calcul a acestui indice integrează signaturile spectrale ale obiectelor din benzile infraroşului mijlociu (cu reflectanța mare a umidității din sol, vegetație, roci, inclusiv materiale de construcții) şi infraroşului apropiat (cu vârful de reflectanță al clorofilei, mai exact al vegetației). Trecerea de la o bandă la alta semnifică o modificare dramatică de reflectanță la nivelul terenului construit. Diferențierea spectrală dintre vegetație şi materialele de construcție este în fapt cea care condiționează calcularea acestui indice. Formula este :

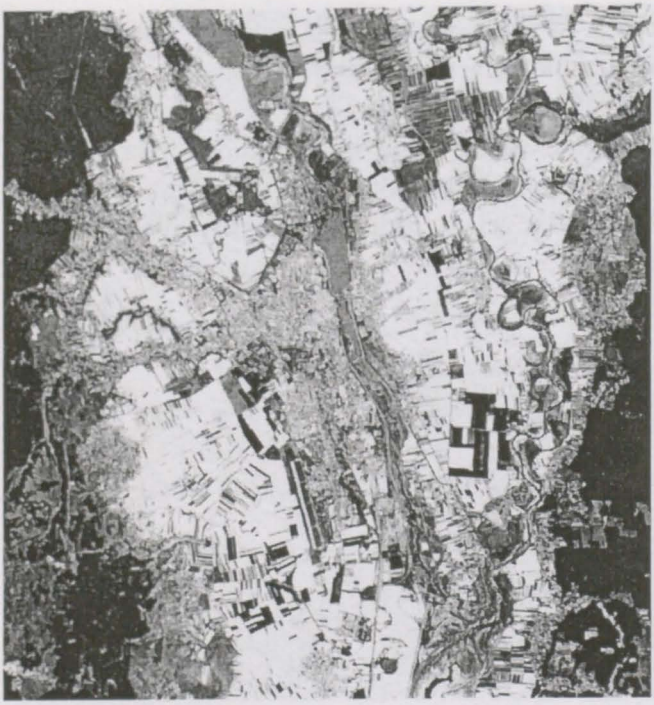
NDBI = IR-NIR/IR+NIR= Banda 5-Banda 4/ Banda 5+Banda 4, unde

NDBI – indicele normalizat de diferențiere al construcțiilor
NIR – banda spectrală infraroşul apropiat (Near Infra Red- banda 4 Landsat TM şi ETM+)
IR – banda spectrală infraroşu mijlociu sau infraroşu (Infra Red- banda 5 Landsat TM şi ETM+).

Valorile rezultate sunt de tip floating point (-1 la +1). Tonurile deschise exprimă terenuri arate (în luna mai) şi ocupate de construcții compacte sau dispersate (şi unele tonuri ceva mai închise), în timp ce tonurile închise corespund celor ocupate de pădurile de foioase sau zăvoaiele cu plop şi salcie din luncile Bistriței şi Siretului. Diferențierea acestora impune unele transformări la nivel de pixeli (strech linear sau filtre de convoluție).

Din examinarea imaginilor din fig. 3.63 a şi b, se observă o diferențiere clară între elementele naturale (în tonuri apropiate de negru) şi cele antropice (în tonuri deschise). Imaginea în ton de culoare impune obligatoriu izolarea, prin procedura density slicing, a elementelor spațiului construit de restul componentelor, rezultând în final un layer digital. Acesta cuprinde vetrele de aşezări reprezentate detaliat (oraşele Bacău şi satele învecinate apar evident), inclusiv vetre de sate mici şi mijlocii, relativ greu de delimitat pe imagini color compus. Se observă de asemenea barajele hidroelectrice, malurile din beton ale albiilor şi lacurilor de acumulare de pe Bistrița inferioară, ramblee de drumuri şi terasamente de căi ferate principale, iar pe torenți apar lucrările de corectare (hidrotehnice), de tipul barajelor de retenție. Construcții izolate de tipul fermelor sau zonelor industriale, al aeroportului Bacău, cu pista din beton, apar în afara vetrelor de aşezări. O serie de elemente nu apar ca efect al limitelor dimensionale impuse de rezoluția imaginilor (unele drumuri, căi ferate secundare). Albiile cu elemente antropice sunt uşor de delimitat. Sunt evidente terenurile nivelate şi pietruite-betonate în diverse scopuri dar şi suprafețe tasate, lipsite de vegetație.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



a



b

Fig. 3.63 **NDBI determinat pentru arealul municipiului Bacău, la confluența Bistriței cu Siretul, pe subscena Landsat ETM+ din mai 2002 (a) și imaginea prelucrată prin aplicarea procedurii density slicing (b)**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Concluzii

Aplicarea indicilor de diferențiere este posibilă în cazul tuturor imaginilor satelitare sau aeriene obținute prin scanare multispectrală sau radiometrie. Principala aplicație este cartografierea tematică și colectarea în timp cât mai scurt a datelor spațiale pentru aplicațiile în SIG. Deși formulele utilizate sunt empirice, se obțin rezultate destul de concludente, însă numai dacă se respectă mai multe condiții :

- imaginile utilizate să corespundă ca rezoluție spațială și spectrală.
- imaginile să fie corectate geometric și de cele mai multe ori, ortorectificate.
- imaginile trebuie să fie coînregistrate (să aibă aceași proiecție și același datum sau ellipsoid, să aibă coordonate identice ale colțurilor).
- imaginile să fie alese în funcție de scop, în concordanță cu fenofazele vegetației.
- rezultatul impune validare prin intermediul hărților și altor surse de date, dar în special în teren, prin preluare de puncte GPS și raportarea lor la rezultatul obținut.

Prin combinarea în RGB a imaginii indicelui de diferențiere cu alte două benzi în care elementul diferențiat are valori extreme de reflectanță, rezultă imagini color de mai mare expresivitate ce se pot utiliza în clasificări de pixeli.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

4. CLASIFICĂRI PE IMAGINI SATELITARE MULTISPECTRALE

Imaginile satelitare şi în general imaginile în format digital sunt alcătuite din pixeli, cea mai mică entitate ce contribuie la formarea imaginii obiectelor. Pixelii, indiferent de valorile numerice asociate sunt „purtători'' de informaţie geografică, deoarece, în imaginile geocorectate, centrul acestor pătrate sau dreptunghiuri are anumite coordonate, geografice sau rectangulare. Imaginile devin astfel surse de informaţii pentru aplicaţiile specifice SIG.

În practica procesării imaginilor, ultima etapă sau una dintre ultimele este extragerea informaţiilor din imagini şi pregătirea lor în vederea transferului către aplicaţii SIG. Tehnic, aceste informaţii sunt *grupări de pixeli sau clustere*, iar algoritmii perfecţionaţi în ultimele două decenii de către diferite companii ce oferă produse software pentru SIG, se numesc *clasificări de pixeli*.

Definiţia acestora este centrată pe „gruparea automată a pixelilor ce alcătuiesc imaginea digitală sub forma de clase sau teme de acoperire a terenului''. Acest concept de „acoperire a terenului" se referă la totalitatea formelor de utilizare a terenului, naturale şi impuse de societate, ce apar în imagini prin pixeli şi porţiuni de pixeli, prin tonuri sau nuanţe de culoare în funcţie de signatura lor spectrală.

Prin clasificări, pixelii sunt grupaţi în clustere ce reflectă mai mult sau mai puţin realitatea terenului, în funcţie de signatura spectrală, textură (diferenţele de ton sau nuanţă în raport cu pixelii învecinaţi) şi momentul de timp al preluării imaginii (ce implică schimbări la nivel de fenologia vegetaţiei, regim hidrologic, acoperire cu zăpadă, prezenţa unor construcţii etc.).

Clasificările de pixeli sunt diferit abordate de la o aplicaţie la alta, în funcţie de tipul de imagine, particularităţile terenului ce se reflectă în texturi mai fine (apele curate) sau mai grosiere (culturi pomicole sau viticole), scopul aplicaţiei (în unele cazuri este necesară doar clasificarea unui număr limitat de elemente cum ar fi numai pădurile de molid) şi resursele informatice (condiţionează rularea în timp mai lung sau mai scurt a algoritmilor).

Lucrările de specialitate din domeniu (vezi bibliografia) explică două sau trei tipuri de clasificări de pixeli:

- Clasificarea nesupervizată – presupune doar gruparea pe criterii de signatură spectrală a pixelilor în clustere, fără a se cunoaşte semnificaţia lor în teren.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- Clasificarea supervizată – se bazează pe date-eşantion create de analist pe baza informațiilor din teren sau alte surse, care sunt comparate cu datele spectrale din imagine în funcție de algoritmi şi parametri.
- Clasificarea hibridă – este o combinație între cele două pentru obținerea unor rezultate cât mai reale în raport cu terenul.

Rezultatele clasificărilor sunt imagini noi, în nuanțe sau tonuri de culori ce se pot vizualiza separat sub forma de hărți tematice sau se pot utiliza în alte analize în SIG.

4.1. Clasificarea nesupervizată

Aceasta nu presupune pregătirea analistului în prealabil în ceea ce priveşte caracteristicile terenului. Pixelii nu sunt cunoscuți la nivel de semnificație în teren, fiind grupați în clustere numai pe baza signaturii lor spectrale, exprimată în imagini prin nuanțe sau prin tonuri de culoare.

Prin clasificarea nesupervizată rezultă clase spectrale, mai exact grupări de pixeli omogeni sau puțin diferențiați sub raport spectral, fără însemnătate geografică. Analistul poate acorda fiecărui cluster o anumită semnificație geografică prin compararea rezultatului clasificării cu diverse surse de date (hărții topografice şi tematice, imagini aeriene, observații de teren şi fotografii etc.).

Gruparea pixelilor pe clustere se realizează automat şi ține seama de numerele digitale ale pixelilor din toate benzile spectrale ce compun scena satelitară. Clasificarea este rezultatul corelării benzilor în toate posibilitățile (fig. 4.1).

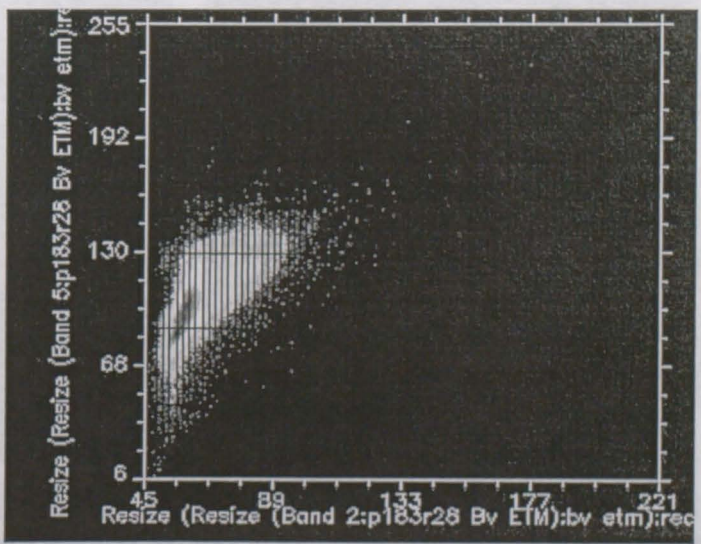


Fig. 4.1 **Delimitarea claselor spectrale pe scatterplotul clasificării nesupervizate. Tonurile de culoare semnifică clasele spectrale. Corelație neliniară între benzile 2 şi 5, subscena Landsat ETM+, Depresiunea Braşov, zona Reci**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Avantajul clasificării nesupervizate este separarea automată a clusterelor de pixeli, ceea ce este util în cazul imaginilor cu schimbări frecvente de signaturi spectrale, imagini cu rugozitate mare. În procesarea digitală se utilizează doi algoritmi pentru gruparea nesupervizată a pixelilor: algoritmul K (engl. k-means) şi algoritmul iterativ sau ISODATA.

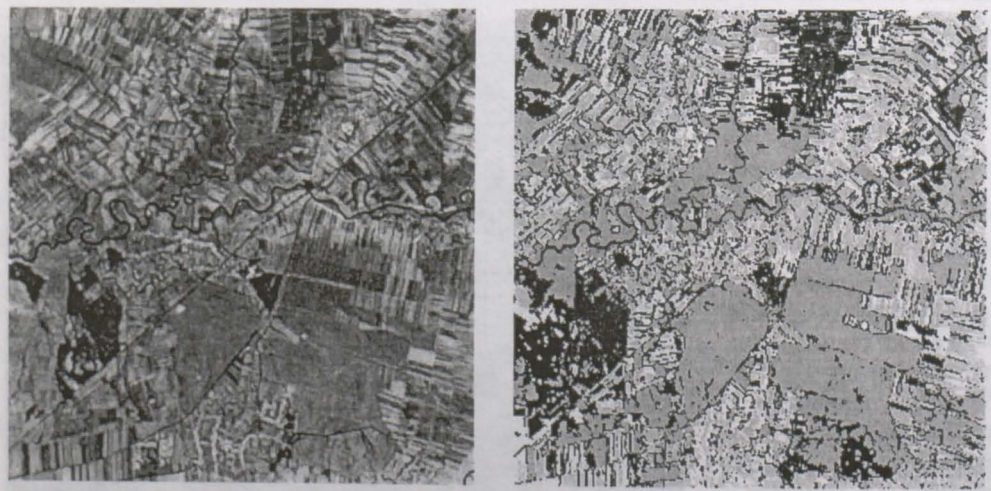
4.1.1. Algoritmul K(engl. k-means) presupune specificarea de către analist a numărului mediu de grupări de pixeli sau clustere. Aceasta se face prin intermediul unor variabile statistice, stabilite în funcţie de textura imaginii dar şi de scopul aplicaţiei.

În acest scop, se stabilesc automat în funcţie de numărul de clase, pixelii centrali ai clusterelor, în jurul cărora se generează un spaţiu multidimensional, în funcţie de numărul de benzi spectrale la care se raportează clasificarea.

Pe baza variabilelor ce se completează în câmpurile ferestrei aferente, se generează vectori în spaţiul aminitit care exprimă distanţele medii ale fiecărui pixel în raport cu centrul unui cluster.

Algoritmul este rulat până ce toţi pixelii au fost raportaţi prin vectori la clustere şi au fost atribuiţi uneia sau alteia dintre clasele spectrale. Clasificarea poate duce frecvent la insuficienta grupare a pixelilor, unii dintre aceştia fiind menţonaţi ca „neclasificaţi''. Din acest motiv clasificarea se poate relua după modificarea unor variabile ca de pildă numărul de clase, numărul de pixeli dintr-o clasă, deviaţia standard a variaţiei numărului digital din cuprinsul unei clase etc.

În final rezultă o imagine în culori convenţionale (fig. 4.2), diferită de cea iniţială, în care clasele spectrale apar ca areale colorate diferit. Ele pot fi identificate cu diferite categorii de acoperire a terenului, prin contribuţia analistului.



a b

Fig. 4.2 **Subscena Landsat ETM+, falscolor 453 a zonei de confluenţă Olt-Râul Negru şi a mestecănişului de la Reci, Depresiunea Braşov (a); clasificare nesupervizată prin algoritmul K. Vizualizare în scară de gri**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

4.1.2. Algoritmul ISODATA (engl. Iterative Self Organizing Data Analysis) presupune posibilitatea reajustării numărului de clustere la fiecare rulare repetată a algoritmului. Aceasta este singura diferență în raport cu cel anterior.

Statistica pixelilor se modifică permanent. În acest mod vectorii de distanță medie generați dintre clustere sunt comparați la fiecare rulare, iar dacă dacă aceştia sunt mai mici decât distanța predefinită, grupările de pixeli se vor uni într-una singură. Similar, dacă la nivelul unui cluster, deviația standard (variația numerelor digitale ai pixelilor din aceaşi clasă spectrală) este mai mare decât valoarea maximă prevăzută inițial de către analist, acesta va fi divizat în două sau mai multe grupuri.

Algoritmul permite depăşirea numărului de clustere predefinit, iar posibilitatea ca un mare număr de pixeli să nu fie clasificat scade, în condițiile repetării lui.

În cazul imaginilor cu texturi variate, de rugozitate mare, clasificarea nesupervizată poate apela la analize bazate pe praguri de textură. Astfel textura, definită ca variația multidimensională la nivelul unei matrici (Lillesand et al., 2004) a signaturii spectrale, se poate vizualiza în imagini, în funcție de proprietăți (interval numeric, varianță, entropie, deformare etc.). Generarea acestor imagini ale texturii (fig. 4.3) implică definirea unei matrici în limitele căreia sunt comparate nivelurile de gri ce desemnează signaturi spectrale. În final valorile medii din matrice, se vor atribui centrului unor clustere pe baza cărora se va performa clasificarea.

Prin specificarea unor praguri texturale este posibilă şi cunoaşterea exactă a numărului de clustere, deoarece astfel se pot determina distanțele medii dintre clasele texturale ce devin clase spectrale în clasificarea nesupervizată. Clusterele cele mai apropiate se vor uni pentru ca noile entități ce cuprind pixeli să devină repere pentru clasificarea celorlalți pixeli. Rezultatul poate fi mai precis dacă se aplică clasificarea nesupervizată pe setul de date texturale. Acestea pot genera imagini RGB, simplificate sub raport textural şi cromatic.



Fig. 4.3 **Delimitarea texturilor în imaginea Landsat ETM+, confluența Olt-Râul Negru, Depresiunea Braşov**

Rezultatul clasificării prin acest algoritm se aseamănă cu cel obținut anterior, dar scade numărul pixelilor

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

neclasificați și crește gradul de detaliere deoarece în acest caz nu mai există limita predefinită a numărului de clustere (fig. 4.3).



Fig. 4.4 **Rezulatul clasificării nesupervizate prin algoritmul ISODATA. Subscena Landsat ETM+, zona Reci Depresiunea Braşov**

Complexitatea imaginii necesită alegerea algoritmului cel mai adecvat. Scopul este clasificarea unui număr cât mai mare de pixeli în clase spectrale cât mai bine delimitate. În numeroase cazuri se aplică filtre de mediere sau de convoluție în scopul simplificării rezultatului clasificării. Cu toate acestea metoda poate conduce și la rezultate eronate, mai ales atunci când apar entități cu sugnaturi spectrale aproape identice (drumuri și case în imagini de rezoluție medie). De asemenea analiza texturală nu permite și delimitarea unor obiecte mici, care apar în imaginea inițială (drumurile ce au lățime mică pe imagini la rezoluție medie).

Etapa finală este cea a identificării claselor spectrale cu realitatea terenului. Aceasta necesită experiență în interpretare vizuală a imaginilor, documentare etc. De multe ori imaginea rezultată este foarte neomogenă chromatic, fapt pentru care intervin probleme în definirea unor clase și mai ales a unor subclase (de pildă terenul agricol, cu vegetație și fără vegetație, cu cereale sau cu cartof, ori furaje etc.).Atribuirea greșită a semnificațiior duce la erori ce se propagă în analizele ulterioare. Deși este simplă la nivel de algoritmi, clasificarea nesupervizată necesită experiență în alegerea algoritmului, stabilirea parametrilor și mai ales în interpretarea rezultatului. Ea este utilă în contextul folosirii clusterelor obținute în generarea zonelor de interes (ROI) în clasificarea supervizată (clasificarea devine „hibridă'').

4.2. Clasificarea supervizată

Posibilitatea grupării pixelilor în mod dirijat, în raport cu semnificația lor reală este oferită de clasificarea supervizată. Aceasta reprezintă un ansamblu de algoritmi matematici și statistici, rulați în mediu digital care se bazează pe

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

urmărirea fiecărui pixel în fiecare bandă spectrală a unei scene sau subscene satelitare, la nivel de număr digital și raportarea lui la un set de date-eșantion creat de analist.

Clasificarea se bazează în acest caz pe diferența cât mai mare de signatură spectrală de la un pixel la altul. Având în vedere faptul că datele-eșantion sunt elementul-cheie și mai ales importanța documentării în teren și în diverse alte surse, considerăm acest tip de clasificare drept „cea mai geografică".

Clasificarea supervizată prezintă trei etape:

- etapa pregătitoare, în care analistul identifică zone eșantion pe care le delimitează și le asociază cu valori numerice.
- etapa clasificării propriu-zise în care fiecare pixel din imagine este distribuit într-o clasă de acoperire a terenului (land-cover) în funcție de zonele-eșantion prestabilite (pixelii care nu își găsesc asemănare se raportează ca necunoscuți).
- etapa finală, în care noua imagine rezultată prin clasificare este procesată la nivel cromatic, exploatată statistic, folosită în cartografiere sau integrată ca un layer distinct în aplicații SIG.

4.2.1. Etapa pregătitoare (engl.training stage) este de cea mai mare importanță, în acest context. Rezulatul clasificării propriu-zise se bazează pe exactitatea delimitării zonelor-eșantion.

Zonele-eșantion denumite în literatură și „*zone de interes*" (de la engl. Region of Interest, cu acronimul ROI) sunt grupări de pixeli, de diferite forme și mărimi, omogene sub raportul semnificației geografice (ex. pădure, pajiște, teren construit, teren arabil, apă etc.). Pixelii cuprinși în acestea nu au aproape niciodată același număr digital, dar au valori apropiate, caracterizate de o serie de parametri ca valori extreme, medii, deviație standard etc.

În realitate, alegerea acestora se realizează pe o imagine color cât mai expresivă, dar clasificarea se raportează la valorile pixelilor în toate benzile spectrale ce compun subscena satelitară. În fapt acestea sunt poligoane diferite care devin eficiente datorită corectitudinii semnificațiilor associate și mai ales prin includerea unor variații de signatură spectrală ce apar la nivelul aceleiași entități (de exemplu includerea la păduri de foioase a celor de fag dar și a celor de gorun, chiar dacă signature este ușor diferită). Detalierea acestor zone-eșantion (fig. 4.5) depinde de tipul aplicației și de experiența analistului în asocierea la signaturile spectrale din imagine, a realității terenului.

Scopul aplicației din care face parte fig. 4.5 a fost analiza de detecție a schimbărilor modului de utilizare a terenurilor în Depresiunea Câmpulung. În fapt, au fost documentate în teren, în sezonul de vară, categoriile principale de utilizare a terenurilor, ce aveau să devină clase în cadrul clasificării supervizate. Acestea au fost fotografiate, marcate pe harta topografică sau cu puncte GPS la precizia de 4 m, suficientă pentru un areal de o asemenea întindere.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

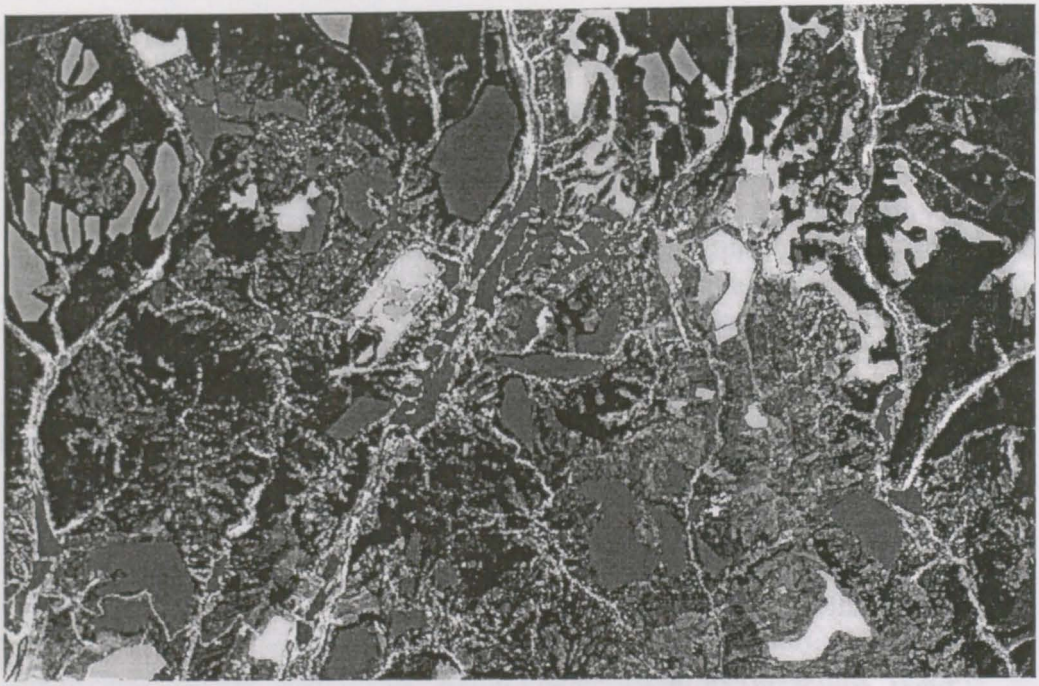


Fig. 4.5 **Zone-eşantion generate pe o combinaţie falscolor rezultată din combinarea rapoartelor de eliminare a umbrelor. Depresiunea Câmpulung, interfluviul Râul Târgului-Dâmbovița. Subscena Landsat ETM+, iunie 2000**

Crearea acestor zone-eşantion este realizată manual, similar vectorizării, în jurul unui grup de pixeli considerat ca fiind reprezentativ. În literatură se recomandă ca numărul minim de pixeli să fie egal cu numărul de benzi al scenei satelitare plus 1, însă practica recomandă numere de 10 sau 100 de ori mai mari decât numărul de benzi pentru ca eşantionul să fie statistic reprezentativ la nivel de covarianță. Clasificarea devine mai performantă dacă pixelii aleşi sunt mai numeroşi şi mai reprezentativi sub raport spectral şi informațional. Se impune o cât mai bună distribuire spațială la nivelul imaginii, astfel încât să fie surprinse diferențele cele mai mici la nivelul aceleiaşi clase din imagine (fig. 4.5), în condiții de iluminare diferită. Imaginile se impun a fi ortorectificate şi corectate geometric pentru posibilitatea obținerii unor erori spațiale cât mai diminuate.

Pixelii ce compun zone de interes se raportează în sisteme de axe rectangulare, prin corelarea a două sau trei benzi, fie în plan (Lillesand et al., 2004) fie în spațiu (Lucieer, 2004). Ei vor fi definiți de vectori de poziție raportat la cele două sau trei axe, după caz. Fiecare punct ce corespunde centrului unui pixel este caracterizat prin coordonate de tip x, y, z sau x, y.

Alegerea zonelor-eşantion ține seama de faptul că pixelii care reprezintă acelaşi element de mediu nu au valori spectrale identice. Ei alcătuiesc nori de puncte,

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

similare clusterelor de stele de pe bolta cerească. Tendința este de grupare, dar definirea zonelor-eșantion poate duce la erori în clasificare, dacă nu sunt precizate corect variabilele la nivel de grup de pixeli. Un exemplu este pădurea de pe versanții dealurilor sau munților care deși identică ea apare diferit ca signatură spectrală datorită umbririi. În aceste cazuri se impun fie alegerea unor combinații de benzi optime, în care efectul umbririi să fie diminuat (exemplu cele în infraroșu), fi realizarea unor corecții, prezentate în lucrare la capitolul „corecții radiometrice''.

Alegerea combinațiilor utile clasificărilor de pixeli este posibilă și după generarea zonelor-eșantion sub forma unor fișiere speciale (cu extensia .roi). Fiecare grupare de pixeli poate fi analizată la nivel de reflectanță spectrală în raport cu benzile spectrale ce compun scena (fig. 4.6).

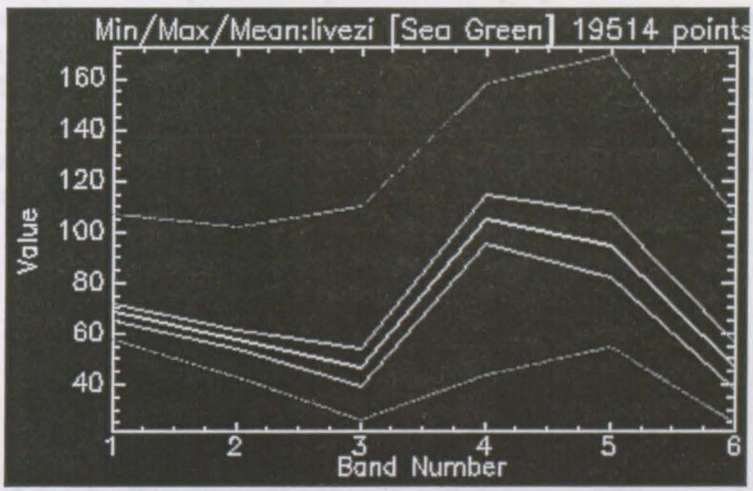


Fig. 4.6 **Diagrama unei zone-eșantion reprezentând pixeli atribuiți livezilor. Depresiunea Câmpulung, Subscena Landsat ETM+, iunie 2000**

Crearea zonelor-eșantion este o operație ce necesită experiența analistului. Alegerea combinației color potrivite trebuie însoțită de capacitatea de interpretare corectă a imaginii falscolor sau în culori naturale, în concordanță cu sezonul în care aceasta a fost preluată. Zonele de interes depind în multe cazuri de scena sau subscena care a stat la baza generării lor. Fișierul poate fi utilizat în clasificarea de imagini diferite, dar de aceeași rezoluție spectrală și dacă este posibil, din sezoane identice. Cele mai multe probleme apar în zonele cu mai multe anotimpuri, ca de pildă în cele temperate. Clasificarea culturilor agricole sau a celor vitipomicole sunt exemple reprezentative în acest sens. Generarea acestor date implică verificare permanentă prin confruntarea cu imaginea și simularea clasificării după fiecare modificare (unele zone se pot șterge sau se pot adăuga altele

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

reprezentative). De multe ori analistul trebuie să aprecieze dacă se vor diferenția subclase și va aprecia diversificarea sau generalizarea zonelor-eșantion (de exemplu, păduri de foioase sau separat păduri de fag și păduri de fag cu gorun).

4.2.2. Etapa clasificării propriu-zise necesită în primul rând alegerea de către analist a algoritmului potrivit. De acesta depind și calitatea rezultatului clasificării. Și în acest caz scopul este clasificare tuturor pixelilor cu erori cât mai mici în raport cu realitatea terenului (engl. ground truth). Derularea algoritmilor necesită crearea zonelor-eșantion

Algoritmul distanței minime-medii. Presupune o serie de etape. Se determină centrul fiecărei grupări de pixeli ce reprezintă o zonă-eșantion. Fiecare pixel din imagine este raportat prin vector de distanță (fig. 4.7) la zonele eșantion, fiind apoi atribuit celei mai apropiate clase, reprezentată prin zona-eșantion.

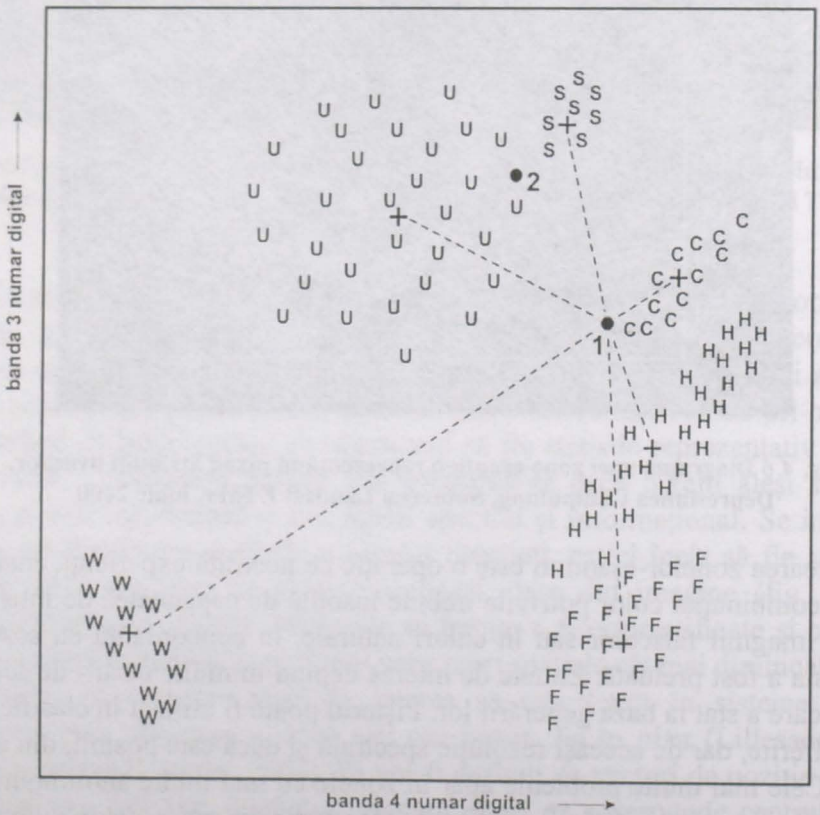


Fig. 4.7 **Reprezentarea schematică a algoritmului distanței minime-medii** (după Lillesand et al, 2004)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

În acest caz, este necesară o cât mai bună delimitare a zonelor-eșantion, la nivel de varianță a signaturii spectrale. O problemă o reprezintă norii sau ceața care determină, mai ales în domeniul vizibil, o alterare a signaturilor spectrale a elementelor din teren. Din această cauză norii devin o clasă separată, situație specifică și unor obiecte de la sol ce apar acoperite de nori. Algoritmul este util în cazul imaginilor cu un număr limitat de clase, bine diferențiate la nivel de covarianță. Dacă zonele eșantion sunt depărtate, determinarea vectorului de distanță al pixelului este ușoară. În schimb clasele apropiate spectral, implică dificultăți de calcul automat al vectorului și se produc erori. Un exemplu sunt imaginile cu teren împădurit și teren despădurit acoperit cu pajiști (în etajul alpin, de exemplu).

Algoritmul paralelipipedului, presupune raportarea valorilor numărului digital al pixelului, în sistem rectangular de două axe (dreptunghi) sau trei axe (paralelipiped) la un spațiu generat automat în jurul grupărilor de pixeli din zonele-eșantion (fig. 4.8). Fiecare grupare are o anumită varianță ce condiționează dimensiunile dreptunghiului sau paralelipipedului. Fiecare pixel este localizat într-un spațiu sau altul, conform valorii numărului digital. Pixelii se pot situa și la intersecția a două spații de acest tip, aceștia fiind considerați ca nesiguri ori pot fi grupați arbitrar uneia dintre clase.

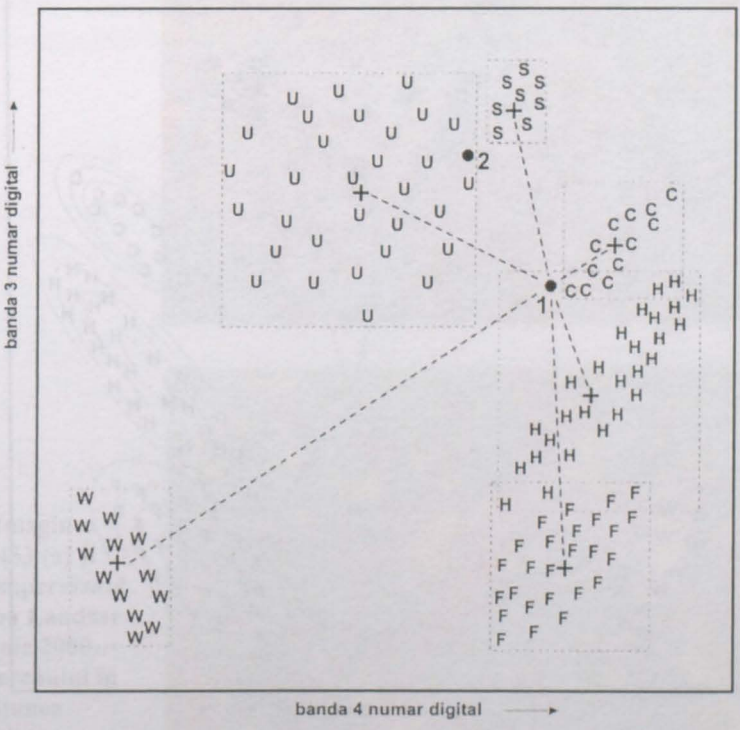


Fig. 4.8 **Reprezentarea schematică a algoritmului paralelipipedului** (după Lillesand et al, 2004)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Există destul de multe cazuri de covarianță lineară a pixelilor ce tind sa se situeze pe o dreaptă de regresie față de dreptunghiuri sau paralelipipede. În acest caz pot apărea erori de clasificare sau mulți pixeli nu pot fi atribuiți unei clase. S-au creat astfel spații de tipul dreptunghiurilor „în trepte'' sau paralelipipede „în scară''. Fiecare asemenea figură reunește pixeli cu aceași semnificație geografică sau apropiată (subclase ca de pildă apa curată, apa cu aluviuni, apa cu alge etc.).

Algoritmul se dovedește util clasificării pe imagini cu date-eșantion ce au o varianță ceva mai mare (pixeli mai dispersați în diagrama 2d), în jurul cărora se generează cu o mai mare precizie spații virtuale de tip paralelipiped (de exemplu spațiile urbane în raport cu vegetația, având ăn vedere diversitatea materialelor de construcții).

Algoritmul Gaussian de asemănare maximă (engl. maximum likelihood) pleacă de la generarea automată a unor funcții Gaussiene, cu grafic în formă de clopot, ce exprimă densitatea probabilităților. Raportarea se realizează într-un spațiu tridimensional în care planul orizontal corespunde sistemului de axe la care se raportează numerele digitale în cele două benzi spectrale. Axa verticală exprimă densitatea probabilității apartenenței unui pixel la o clasă sau alta, în funcție de zonele eșantion (fig. 4.9).

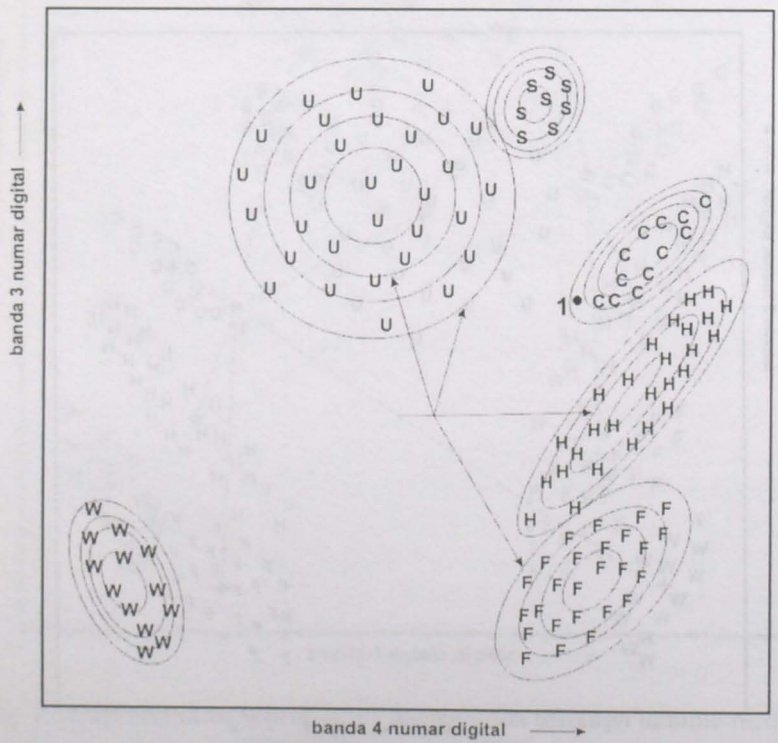


Fig. 4.9 **Reprezentarea schematică a algoritmului Gaussian de asemănare maximă** (după Lillesand et al, 2004). **Reprezentare în spațiu tridimensional (a) și bidimensional (b)**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Fiecare pixel este clasificat în raport cu probabilitatea de a se integra unui spațiu ce are în proiecție în plan o configurație de izolinii concentrice, numite și contururi de probabilitate egală (echipotențiale), asemeni fig. 4.9 b. Acestea sunt de fapt proiecția unor corpuri de rotație concentrice derivate din parabolele funcțiilor gaussiene (fig. 4.9 a). Ele înlocuiesc paralelipipedele din algoritmul prezentat anterior. Interpretarea acestor izolinii arată și covarianța la nivel de clase, deoarece forma eliptică exprimă corelație lineară, în timp ce un cerc arată dispersie și deci covarianță redusă.

Algoritmul este frecvent aplicat în cazul imaginilor complexe sub raportul signaturilor spectrale (fig. 4.10). Fiecare pixel este raportat la funcțiile de echiprobabilitate, indiferent de banda spectrală. Din această cauză, rularea necesită un timp mai îndelungat, cu cât imaginea este mai mare și numărul de benzi spectrale este mai mare. Sunt generate statistici de tip gaussian la nivelul tuturor combinațiilor posibile de câte două benzi (de pildă combinații de șase benzi non-termale, luate câte două la imaginile Landsat TM).

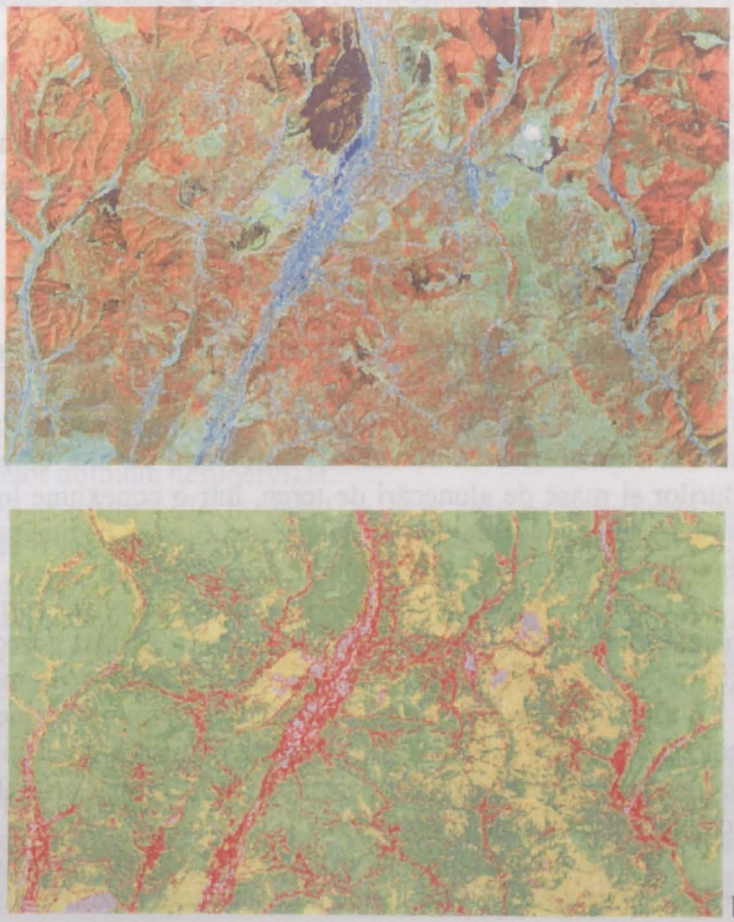


Fig. 4.10 **Imaginea falscolor 453 (a) și clasificarea supervizată (b). Subscena Landsat ETM+, iunie 2000. Utilizarea terenului în Depresiunea Câmpulung, Subcarpații Getici**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Clasificarea devine mai rapidă utilizând componentele principale. Decorelarea reduce volumul de date, deoarece se apelează numai la primele imagini ce au o covarianță evidentă.

Pe lângă acest algoritm, există şi alții asemănători, vizând asemănarea maximă a signaturilor spectrale din imagine cu cele din zonele-eşantion.

Algoritmul Bayesian ce utilizează probabilitatea a priorică ce vizează anticiparea apartenenței pixelului la o clasă decât la altă clasă (de exemplu stâncăria în raport cu terenul construit). Aplicația este utilă în calcularea erorilor de clasificare.

Arborele de decizie (engl. decision tree) presupune construirea unui model de tip arborescent în care se separă treptat, una câte una, pe mai multe niveluri, fiecare clasă sau subclasă. Avantajul este o acuratețe mai mare la separarea claselor, în funcție de fiecare bandă spectrală. În fapt clasificarea supervizată se aplică pentru fiecare element extras automat sub forma de layere digitale . De pildă se separă terenul arabil cu vegetație, apoi cel fără vegetație, pădurea de foioase, pădurea de conifere etc. O abordare detaliată, bazată pe un exemplu, va fi prezentată într-un volum ce va apărea ulterior.

Clasificarea supervizată cu algoritm de asemănare maximă este extrem de utilizată în practică. Separarea unui mare număr de clase în imagini de o mare rugozitate este mai precisă. Compararea rezultatelor aplicării algoritmilor pe o singură imagine ne aduce rezultate diferențiate, la nivelul pixelilor neatribuiți sau atribuiți în mod eronat.

4.2.3. Îmbunătățirea clasificării

Rezultatele clasificărilor supervizate se constituie în seturi de date raster cu o mare aplicabilitate practică. Pe de o parte clasificarea se poate transform în hartă tematică, ca de pildă harta utilizării terenului sau harta vegetației. Frecvent, date din clasificări sunt vizualizate împreună cu alte date, ca de pildă limitele pădurilor şi mase de alunecări de teren, într-o conexiune logică. Alte date se pot introduce în producerea de noi date raster cum ar fi integrarea utilizării terenului în hărțile de hazard geomorfologic.

Calitatea rezultatelor crește dacă a fost selectată combinația optimă pentru generarea zonelor-eşantion şi dacă analistul a sesizat corect varianța spectrală a pixelilor ce reprezintă aceeaşi entitate, delimitând clase în mod adecvat.

Decorelarea benzilor spectrale se impune atunci când diferențierea spectrală a claselor este dificilă. Se aplică ori strech de decorelare, dar cel mai util este generarea componentelor principale şi utilizarea primelor trei (imagine RGB pe care sunt trasate zonele-eşantion).

Expresia cantitativă a calității rezultatelor este dată de matricea de divergență. Ea arată de fapt datele de covarianță rezultate din corelarea celor două

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

benzi, exprimând diferența statistică dintre setul de date-eşantion şi rezultatul clasificării.

Matricea de erori sau de contingență exprimă nivelul de performanță atins de analist în clasificarea imaginii. Rezultatul este un table în care se arată cum s-au clasificat procentual pixelii în raport de cei din eşantion. Matricea exprimă mai ales incertitudinea clasificării unor pixeli şi atenționează analistul în a reveni asupra algoritmului şi alegerii zonelor de interes. Matricea rezultă din compararea rezultatului clasificării cu o „imagine'' a realității terenului, ce poate fi o hartă în format grid sau altă imagine rezultată din clasificarea unui alt set de date de teledetecție. Uneori se apelează la zonele-eşantion, dar rezultatul nu reflectă în totalitate, procentul de clasificare corectă, pentru că ele au fost create de pe aceaşi imagine.

În practică, cea mai simplă posibilitate este compararea imaginii inițiale cu rezultatul clasificării, ceea ce necesită un efort de interpretare vizuală. Ea se realizează pe porțiuni limitate de imagine.

Rezultatele sunt supuse adesea filtrării ce determină o generalizare la nivelul clusterelor, fapt ce permite obținerea de imagini uşor de interpretat.

Problemele devin cu totul altele pe imaginile de mare rezoluție (Ikonos, QuickBird etc.) deoarece algoritmul se va schimba. Pixelii sunt mult mai numeroşi şi mai omogeni sub raport spectral. Clasificările orientate-obiect sunt cea mai potrivită metodă, dar acestea vor fi abordate într-o lucrare ulterioară.

4.3. Clasificările mixte

Clasificările hibride cum mai sunt denumite, combină pe cea nesupervizată şi pe cea supervizată, în scopul obținerii unor rezultate mai performante, mai apropiate de realitatea terenului. Ele pleacă de la posibilitatea generării de zone-eşantion pe baza clusterelor obținute nesupervizat.

Clasificările hibride devin utile în cazul în care cele nesupervizate nu permit gruparea în clase a tuturor pixelilor, situație întâlnită pe imaginile cu o mare diversitate de signaturi spectrale foarte apropiate. Este cazul imaginilor de rezoluție medie (ex. Landsat sau Aster) cu păduri de foioase alcătuite din multe genuri de copaci, cum ar fi şleaurile de câmpie. Algoritmul clasificărilor se alege în funcție de caz. Sunt de preferat ISODATA (clasificare nesupervizată), respectiv maximum likelihood (clasificare supervizată).

Metoda utilizată presupune o clusterizare dirijată (Lillesand et al., 2004). Pornind de la grupările bazate exclusiv pe diferențe spectrale, se obțin grupări de pixeli-eşantion, prin compararea cu imaginea şi reținerea doar a celor mai relevante clustere la nivel de clasă. Dacă două sau mai multe clustere sunt

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

apropiate ca semnificație, dar apar colorate diferit, ele pot fi unite. Rezultă clustere mai mari și mai reprezentative.

Operațiile de mai sus se repetă pentru fiecare clasă ce are la bază o zonă-eșantion. Rezultatul se compară cu imaginea și se poate corecta, până la elaborarea tuturor zonelor-eșantion pentru clasele dorite.

Algoritmul continuă cu clasificarea supervizată pe baza eșntioanelor stabilite, după care rezultă o imagine sau un layer raster similară figurii 4.10. Avantajul este considerabil în cartografierea de detaliu a vegetației sau culturilor agricole, deoarece peisajul este mozaicat iar probabilitatea de a nu clasifica toți pixelii scade considerabil. Dealtfel și cele mai mici grupări de pixeli din interiorul claselor pot fi vizualizate (exemplul unui luminiș dintr-o pădure sau terenuri umede din crovuri, înconjurate de culturi cerealiere).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

5. ANALIZA SCHIMBĂRILOR PE IMAGINI SATELITARE (Change Detection)

Imaginile de teledetecție oferă posibilitatea celor mai expeditive analize multitemporale în evoluția acoperirii terenului. În acest mod, cele mai diverse fenomene sunt analizate pe două sau mai multe imagini ce corespund diferitelor momente. Evoluția suprafețelor cu păduri sau cu diferite alte utilizări, dinamica unei albii, a unei alunecări de teren, efectele unui seism sau incendiu în pădure sau evoluția liniei țărmului sunt doar câteva exemple.

Analiza schimbărilor de mediu pe imagini constituie un ansamblu de proceduri calitative și cantitative ce au ca scop compararea a două sau mai multor imagini ale aceleiași zone și generarea unor reprezentări cartografice adecvate. Acestea implică rezultate de tipul unui text de interpretare comparativă, a unor imagini noi (ale modificărilor), a unor statistici mai simple sau mai detaliate ce se pot integra în studii complexe ale dinamicii peisajului sau componentelor acestuia.

Analiza implică mai întâi alegerea imaginilor corespunzătoare, care trebuie să îndeplinească o serie de condiții, pentru ca rezultatul să fie relevant :

- imaginile trebuie să cuprindă întreaga suprafață ce face obiectul analizei.
- imaginile trebuie să fie obținute (de obicei) cu ajutorul aceluiași senzor și să aibă aceeași rezoluție spațială și spectrală.
- imaginile trebuie să fie verticale sau oblice și este recomandabil, în cele mai multe cazuri, să aibă aceași proiecție cartografică.
- imaginile trebuie să corespundă unor momente cheie (înainte și după schimbare) și să aibă o radiometrie identică (preluate același moment al anului, al zilei, în același anotimp).

În practică, alegerea imaginilor ține seama de scopul analizei (în cazul vegetației sau al culturilor agricole se aleg în funcție de datele ciclului vegetal, în cazul orașelor condițiile de iluminare sunt importante, în cazul țărmurilor se ține cont de maree etc.). Aceasta implică o documentare prealabilă cu ajutorul literaturii, hărților și, foarte utilă, cu ajutorul fotogramelor aeriene.

Rezulatele analizei sunt influențate considerabil de două elemente ale imaginilor:

- elemente geometrice, determinate de precizia geocorecției, care determină valorile noilor pixeli din imaginea schimbării și configurația clusterelor (este recomandată o acuratețe de un sfert sau cel mult o jumatate de pixel, mai exact între 7,5 m și 15 m la imaginile Landsat TM și ETM+).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- elemente radiometrice, generate de factorii ce determină modificarea numărului digital al pixelilor care în realitate nu corespund schimbărilor analizate (ceața și norii din atmosferă, iluminarea diferită a terenului, umiditatea din sol și vegetație, regimul nivelului mareic sau cel hidrologic ori lacustru etc.).

Analiza change detection poate fi abordată diferit, în funcție de scop dar și de datele (imaginile) disponibile, de posibilitățile de procesare digitală și resursele soft și hard, în general. Înțelegerea diferitelor metode specifice este posibilă prin intermediul unor exemple, pe care le prezentăm în cele ce urmează. La acestea vom adăuga și o serie de elemente interpretative.

În literatura de specialitate, există mai multe metode de la cele mai simple la cele mai complexe ce implică abordări calitative și cantitative :

- analiza vizuală comparativă a imaginilor multitemporale,
- diferențierea imaginilor multitemporale,
- rapoartele de imagini multitemporale,
- analiza bazată pe regresia liniară,
- analiza vectorilor de schimbare,
- analiza componentelor principale ale imaginilor multitemporale,
- diferențierea selectivă a clasificărilor de pixeli din imaginile multitemporale.

5.1. Analiza vizuală comparativă a imaginilor multitemporale

Aceasta este cea mai simplă dintre metodele de analiză a schimbărilor. Ea impune rareori corecții geometrice și radiometrice la nivelul imaginilor multitemporale, care pot fi obținute și cu ajutorul senzorilor diferiți. Analiza necesită totuși o delimitare exactă a zonei de studiu, utilizarea de imagini cu rezoluții spațiale identice sau cât mai apropiate și pentru simplificare, rezoluții spectrale identice sau apropiate. Acest ultim aspect poate suplini experiența interpretatorului și obținerea în scurt timp a unui rezultat valabil.

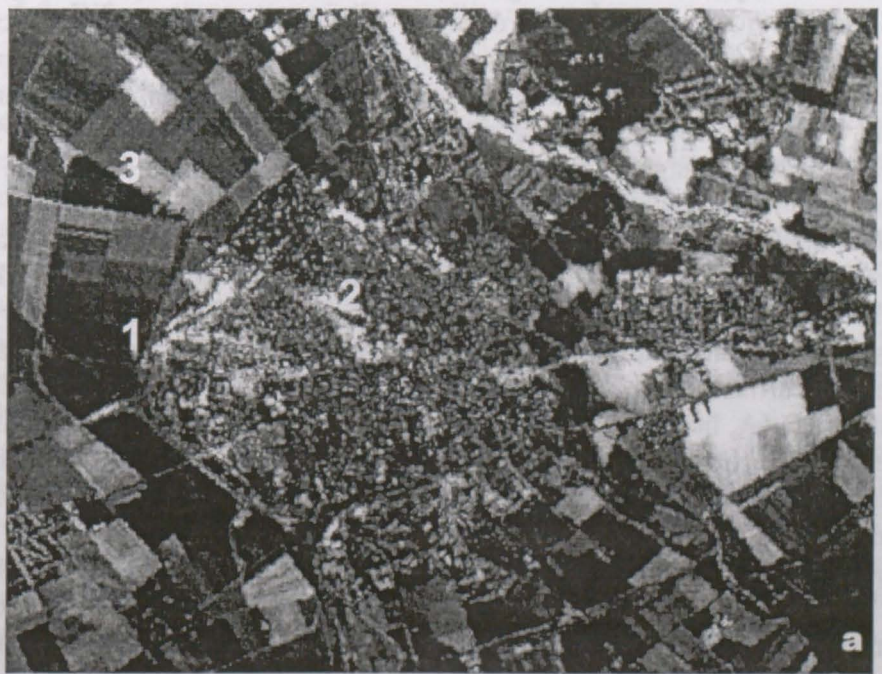
Pentru exemplificare, am ales două situații, folosind subscene Landsat TM din 7 iulie 1988 (momentul t 1) și Landsat ETM+ din 5 iunie 2000 (momentul t 2).

În fig. 5.1. a și b, sunt prezentate două imagini ale orașului Ploiești obținute la circa 12 ani diferență cu senzorii Landsat. Imaginile sunt subscene de vară (iunie, iulie), separate de momentul schimbărilor din 1990 și al tranziției social-economice și politice, după revoluția din decembrie 1989. Cele două imagini au aceași rezoluție spectrală, fapt ce avantajează interpretarea. Diferențe radiometrice există, având în vedere azimutul și elevația solară ușor diferite, sensibilitatea senzorilor și vechimea lor, însă cel mai mare avantaj este lipsa norilor. Imaginile au fost obținute aproximativ la aceași oră, în jur de 7.30-8.00, ora locală. Detectarea schimbărilor se realizează, în acest caz pe cale vizuală,

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

implicând interpretare dar şi recunoaştere sau validare în teren a rezulatelor. Principalele modificări sesizate sunt următoarele:

- imaginile arată în ansamblu modificări ale utilizării terenurilor, care se reflectă în înlocuirea parcelelor cultivate cu cereale, plante tehnice şi legume, cu parcele acoperite de pajişte şi nu de puține ori cu teren arat sau nefolosit; de asemenea s-au parcelat terenuri agricole ale fostelor unități agricole de stat aşa cum se observă în dreapta imaginii (4 în fig. 5.1) în arealul satului Bucov şi nu numai (Ploieştiori-Blejoi ; suprafețele cu păduri nu s-au modificat (Bucov, Corlăteşti, ramificația Ploieşti-Triaj).
- imaginile arată de asemenea, noi extinderi teritoriale ale intravilanului prin adăugarea platformei industriale de vest (industrie alimentară, cu băuturi răcoritoare şi tutun), la ieşirea şoselei către Târgovişte şi în preajma căii ferate către Braşov (1), precum şi a extinderii cartierului Ploieşti-Nord (3) pe traseul şoselei către Braşov (vile, restaurante, industrie textilă, construcții, depozite etc.).
- modificările de reflectanță din intravilan corespund şantierelor de construcții din arealul Bdul. Republicii – Str. Gh. Doja (2) sau în cartierele Ploieşti Vest II- Mărăşeşti, Mihai Bravu etc., închise ulterior prin terminarea blocurilor şi ocuparea terenului viran cu reflectanță mare, situație întâlnită şi în preajma Gării Ploieşti Vest, prin construirea unui supermarket pe teren viran (5).



https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro



Fig. 5.1 **Municipiul Ploieşti în subscenele satelitare Landsat TM** (7 iulie 1988) **– a şi Landsat ETM+** (5 iunie 2000), **rezoluţia spaţială 30 m, culori naturale 321**

Cele mai spectaculoase imagini sunt cele în care diferenţele de signatură spectrală sunt evidente. Amenajări de mici dimensiuni, sub valoarea rezoluţiei spaţiale se impun deosebit de expresiv. Un exemplu în acest sens este apariţia autostrăzii Bucureşti- Constanţa la limita de est a Capitalei (zona Cernica-Brăneşti), finalizată pe sectorul până la Fundulea la sfârşitul anilor 90 şi inaugurată în 2004. Imaginile din fig. 5.2. a şi b prezintă situaţia din 7 iulie 1988 (a), respectiv 5 iunie 2000 (b).

Din analiza vizuală a imaginilor rezultă de asemenea modificări legate de parcelarea terenurilor şi apariţia de construcţii dispersate către lacul Cernica, în condiţiile restituirii proprietăţilor şi dezvoltării pieţei imobiliare la marginea Bucureştiului. O serie de areale construite şi-au modificat reflectanţa prin scădere, aşa cum sunt cartierele de blocuri terminate de la sud de Dâmboviţa. Este evidentă noua autostradă (A, în fig.5.2 b) , pe atunci în construcţie, element linear cu lăţime egală cel mult cu rezoluţia imaginii (30 m). Reflectanţa mare a betonului în banda verde este evidentă în raport cu răspunsul slab al vegetaţiei în benzile roşu şi albastru.

Analiza vizuală comparativă este destinată mai mult informării analistului, înainte de a trece la analize cantitative. Rezultatul ei impune aprecierea tratamentelor de imagini după care se vor realiza clasificări de pixeli şi operaţii cu

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

acestea. Utilizarea imaginilor de mare rezoluție spațială permite obținerea de rezultate detaliate, utile din punct de vedere practic (exemple sunt ariile afectate de seisme, alunecări, uragane etc.). Rezultă că imaginile de rezoluție din ce în ce mai mare sunt optime analizei schimbărilor datorate fenomenelor de scurtă durată ce afectează zone restrânse

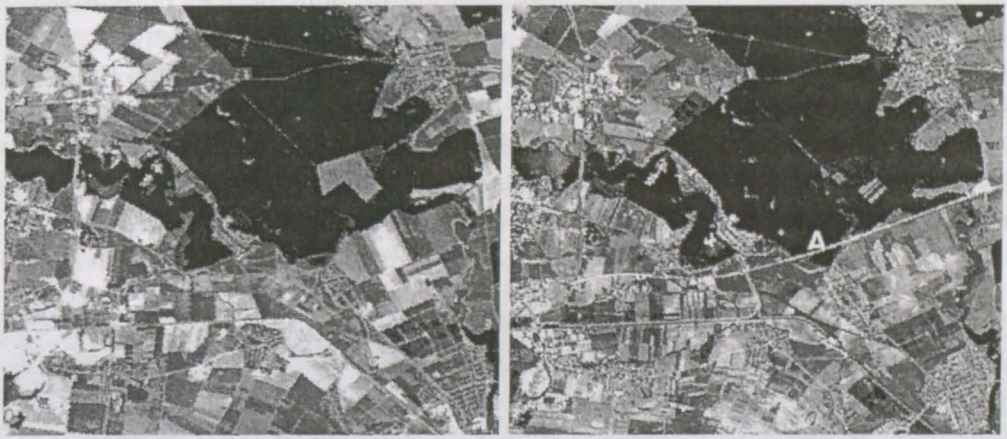


Fig. 5.2 **Autostrada A2 (A), la limita de est a Bucureștiului (Cernica) în subscenele satelitare Landsat TM** (7 iulie 1988) **– a şi Landsat ETM+** (5 iunie 2000), **rezoluția spațială 30 m, culori naturale 321** (în scară de gri)

5.2. Diferențierea imaginilor multitemporale

Diferențierea imaginilor multitemporale este o primă formă analiză cantitativă a schimbărilor. În linii mari, aceasta presupune scăderea valorilor numerelor digitale ale imaginii mai vechi din cele ale imaginii mai recente, asemeni elementelor unei matrici. Prin scădere rezultă o nouă imagine, cea a schimbărilor, în scară de gri, în care valorile pixelilor vor fi cuprinse între -255 şi 255, în cazul în care utlizăm imagini în 8 biți. Pixelii cu valori peste zero (tonuri deschise) semnifică o creştere a reflectanței elementelor de mediu, cei apropiați de zero, fie pozitivi, fie negativi, exprimă areale nemodificate (tonurile de gri închis, apropiate de negru), în schimb cei negativi arată scădere de reflectanță şi tonuri de gri închis.

Din analiza fig. 5.3, în care diferența a implicat scăderea pixelilor la nivel de număr digital în banda 2 (unde construcțiile au reflectanța maximă), se observă ponderea mare a pixelilor cu tonuri deschise în intravilanul oraşului Ploieşti, unde au apărut construcții noi (zona centrală, mai ales), iar cele vechi au fost în parte restaurate sau modernizate după schimbarea sistemului de proprietate. Diferențe mari de reflectanță apar în cartierele nou apărute, la limita de nord pe şoseaua

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

către Braşov (clădiri dispuse linear) sau la ieşirea către Târgovişte şi Braşov, în extremitatea vestică (zona industrială nouă). Terenul cu pădure rămâne nemodificat (tonuri apropiate de negru), iar cel arabil apare deschis ca efect al înlocuirii unor culturi cu arături (parcelările recente sunt de asemenea evidente).

Imaginea schimbării obținută astfel are un caracter relativ. În marea majoritate a cazurilor, imaginile multitemporale nu sunt perfect normalizate la nivel de reflectanță, astfel încât pixelii nemodificați să aibă valoarea zero. De multe ori în aer se află vapori de apă, chiar dacă norii lipsesc, soarele luminează terenul diferit şi inegal de la un punct la altul, terenul poate fi mai umed după o ploaie pe o imagine şi uscat pe cealaltă etc. Acestea implică necesitatea unor corecții radiometrice performante care necesită timp şi pregătire, iar rezultatul nu este întotdeauna cel mai bun. Din această cauză apelăm la alte metode.



Fig. 5.3 **Diferența imaginilor în banda 2 (verde). Municipiul Ploieşti în subscenele satelitare Landsat TM** (7 iulie 1988) **şi Landsat ETM+** (5 iunie 2000), **rezoluția spațială 30 m**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

5.3. Raportul imaginilor multitemporale

Rapoartele de imagini implică împărțirea valorilor de numere digitale ale celor două imagini multitemporale. În fapt rezultă valori diferite de tip floating point, între -1 și +1, fapt ce semnifică modificări de reflectanță. Valorile ce se apropie de 1 semnifică de fapt pixeli cu reflectanță aproape egală și deci nemodificați, apărând în tonuri deschise, de această dată. Între 0,1 și 0,5 sunt pixelii ce reflectă schimbarea, cu tonuri închise, iar valoarea zero poate fi atinsă doar teoretic (numărător egal cu zero, deci absorbția radiației).

Imaginea obținută prin raportare de benzi spectrale (fig. 5.4), este ceva mai expresivă decât cea rezultată prin diferențiere (fig. 5.3). Prin raportarea valorilor spectrale are loc o normalizare a imaginii în sensul diminuării efectului luminării solare și al umbririi. Interpretarea aduce o serie de elemente interesante pentru intravilanul orașului Ploiești. Apare o diferență destul de evidentă între specificul cvartalurilor de construcții. Cartierele de blocuri construite după 1960 în ansambluri pe teren viran (Ploiești Nord, Republicii, Ploiești Vest, Malul Roșu, parțial Calea București sau Mihai Bravu) apar cu tonuri deschise, aproape de alb, fapt ce arată lipsa schimbărilor. Noile dezvoltări apar în ton închis, către negru (vestul orașului și la nord). Casele din zona centrală și imediat învecinată au o textură grosieră, cu tonuri alternante ce reflectă case vechi și case restaurate dar și sedii de firme, companii, bănci (ton foarte închis) evidente în zona centrală și mai ales pe axul nord-sud, cea mai evidentă arteră din oraș, reabilitată pentru trafic (Bdul. Republicii și bdul. Independenței, Calea București). O serie de zone industriale din intravilan au fost restructurate și retehnologizate, prin reamenajarea vechilor hale și instalații, fapt confirmat de tonurile închise (Derolever, rafinăria Vega-Rompetrol sau combinatul petrochimic Teleajen-Lukoil în est). Noile supermarketuri introduc schimbări similare (zona gării Ploiești-Vest). Sunt evidente de această dată căile ferate, mai ales cele principale, duble-multiple și electrificate, către București, Brașov și Buzău precum și șoselele cu mai multe benzi, spre Brașov sau București (artere reabilitate și întreținute).

Imaginea își dovedește utilitatea în analiza componentelor mici ale mediului și mai ales ale spațiului urban.

5.4. Analiza pe baza regresiei lineare

Detecția schimbărilor pe imagini presupune de cele mai multe ori o serie de procesări complexe, destinate normalizării radiometrice. În realizarea diferențelor sau rapoartelor de imagini multitemporale sunt necesare corecții atmosferice, de iluminare și chiar conversii de date în radianță, componente principale sau de vegetație (Lillesand et al., 2004).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

O altă modalitate de analiză a schimbărilor este cea a regresiei lineare, în care se corelează pixelii din cele două imagini multitemporale. Rezultă o imagine a schimbării sub forma unui plot 2D (fig. 5.5), în care dinamica schimbării este dată de raportarea pixelilor față de dreapta de regresie lineară. În esență, corelarea benzilor multitemporale este o expresie a lipsei unor modificări semnificative. Contrar, pixelii din ce în ce mai puțin corelați se distanțează tot mai evident de dreapta de regresie și se grupează pe axa schimbării, perpendiculară pe prima. Aceștia arată și o creștere a strălucirii (deasupra dreptei de regresie), respectiv o scădere a strălucirii (sub dreapta amintită).

Interpretarea imaginii schimbării se limitează la graficul de regresie. În cazul nostru, se observă o grupare a pixelilor tot mai evidentă pe axa de regresie, fapt ce arată o schimbare limitată la unele sectoare dispersate, așa cum s-a observat și în interpretarea vizuală. Cu toate acestea se evidențiază și o schimbare în sensul creșterii strălucirii pixelilor. Explicația poate fi multiplă, și poate fi legată de înlocuirea multor terenuri cultivate din zona periurbană cu terenuri arate ce au o reflectanță mai mare. Punctual apar și noile zone de dezvoltare urbană. Aici se adaugă și unele diferențe de radiometrie, generate de calibrarea senzorilor, gradul de sensibilitate și uzură sau prezența unor vapori în atmosferă

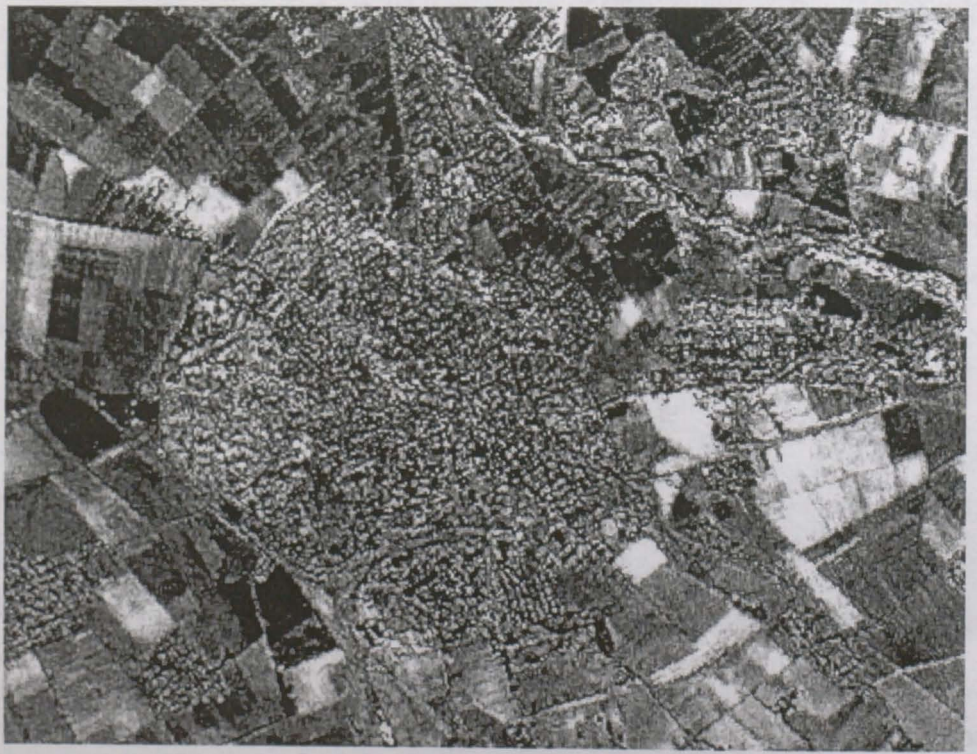


Fig. 5.4 **Raportul imaginilor în banda** 2 (verde). **Municipiul Ploiești în subscenele satelitare Landsat TM** (7 iulie 1988) **și Landsat ETM+** (5 iunie 2000), **rezoluția spațială 30 m**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

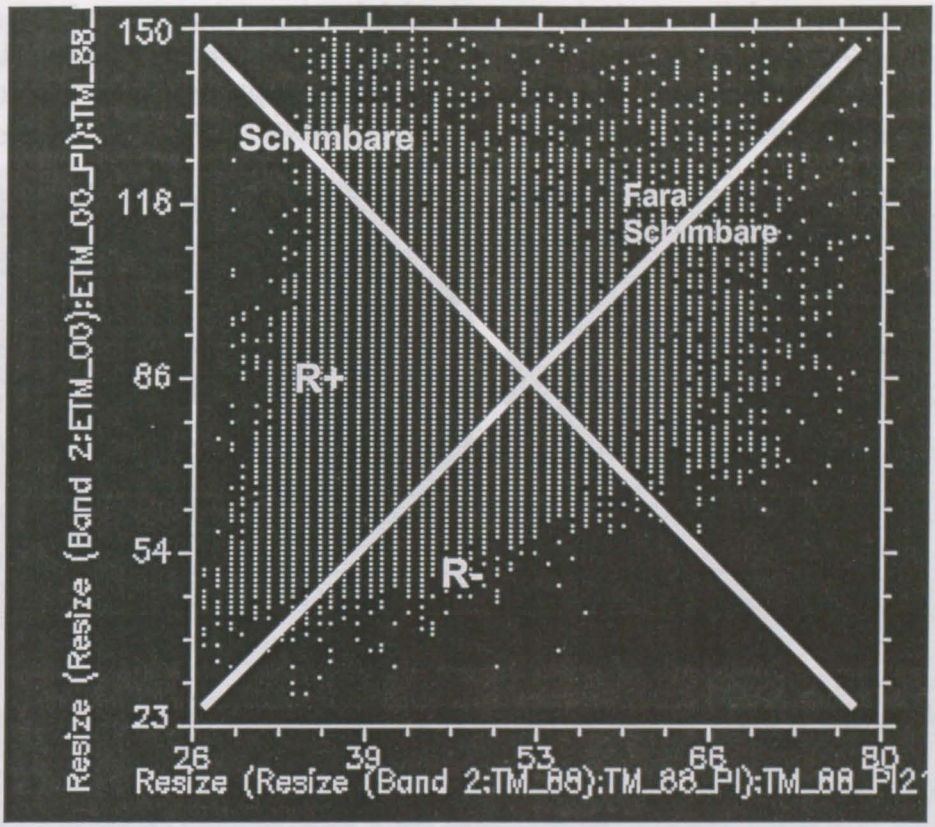


Fig. 5.5 **Diagrama de tip scatter plot a schimbărilor. Regresia lineară a benzii 2, subscenele Landsat TM** (7 iulie 1988) **şi Landsat ETM+** (5 iunie 2000), **rezoluția spațială 30 m, municipiul Ploieşti**

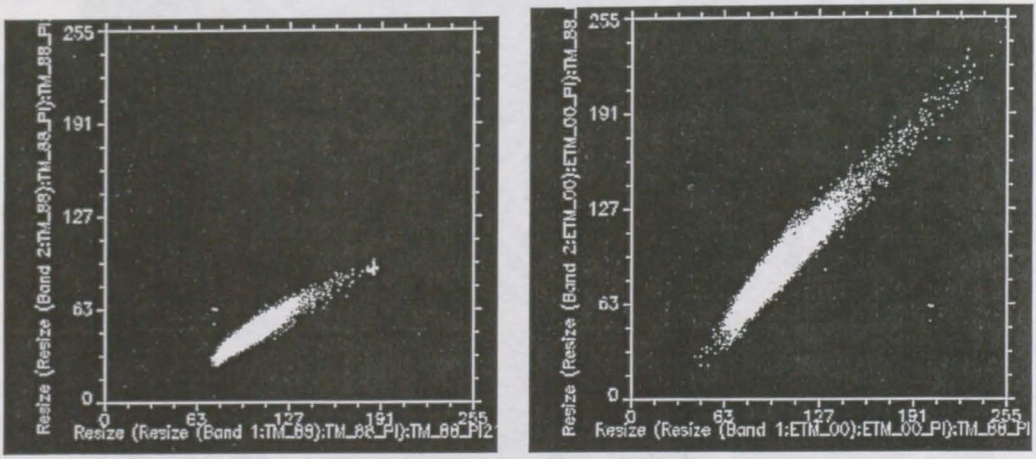
5.5. Analiza vectorilor de schimbare

În analiza schimbărilor este utilă compararea seturilor de date multitemporale şi reliefarea modificărilor la nivel de signaturi spectrale. Aceasta se poate realiza prin plotarea aceloraşi două benzi din cele două imagini şi compararea celor două diagrame. Ele ilustrează redistribuirea numerelor digitale de la momentul inițial la cel final şi în fapt prezintă într-o anumită formă „mişcarea'' sau deplasarea pixelilor de la momentul t1 la momentul t2, fie în ansamblu fie individual dar mai ales grupat (se folosesc zone-eşantion, vizualizate identic pe diagrame). Există şi posibilitatea suprapunerii imaginilor.

Interpretarea se va limita la imaginile comparate în ansamblul lor. În fig. 5.6, cele două diagrame, deşi prezintă date corelate arată redistribuirea pixelilor la nivel de valori spectrale prin creşterea reflectanței. Aceasta se explică prin

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

restrângerea terenului acoperit de vegetație și înlocuirea lui cu terenul arat sau nefolosit, cu reflectanța mai mare, dar și prin modificarea reflectanței în intravilan. Prin suprapunerea diferențiată pe grupări de pixeli a diagramelor de poate genera o imagine a direcției și intensității schimbării și mai detaliată.



a b

Fig. 5.6 **Plottarea 2 D comparativa a datelor pentru benzile 1 și 2 ale subscenelor Landsat TM** (7 iulie 1988) **– a și Landsat ETM+** (5 iunie 2000)-b, **rezoluția spațială 30 m, municipiul Ploiești**

5. 6. Analiza prin componente principale a schimbării

Principiul generării imaginilor decorelate a fost explicat într-un subcapitol anterior (3.2.9). Analiza schimbărilor pe baza imaginilor multitemporale poate aplica acest procedeu, deoarece rezultă imagini ce reflectă varianța. În principal, benzile aceleiași scene sunt substituite cu benzi ale scenelor ce compun imagini multitemporale, condiția fiind rezoluția spațială identică, alături de aceleași proprietăți geometrice.

Noile imagini rezultate sunt decorelate și au varianța ce scade , asemeni valorilor vectorilor Eigen, de la imaginea 1 la imaginea n. Dintre acestea se pot reține primele, dar mai exact prima sau cel mult a doua pentru că varianța scade mult mai repede pe seturi de date multitemporale de la 1 la n.

Imaginea din figura 5.7, exprimă componenta principală cu cea mai mare varianță din setul de date multitemporale. Tonurile deschise arată modificările calitative legate de construcțiile din intravilan, acestea fiind foarte deschise în noile zone apărute la limita intravilanului (industrială în vest, rezidențială și de servicii în nord). Albia minoră a Teleajenului este de asemenea un areal cu

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

schimbări de ton de culoare, ca urmare a depunerii de sedimente la viituri. Tonurile foarte închise reflectă lipsa schimbărilor, caracteristică pădurilor de cvercinee de la Berceni sau Bucov, plantației de pin (Ploiești-Triaj), inclusiv parcurilor sau scuarurilor (cartierul Ploiești Nord, Bdul. Independenței, zona Sălii Sporturilor). Tonurile de culoare intermediară exprimă terenuri cu vegetație modificată (culturi înlocuite de pajiști sau tufărișuri) și sunt ceva mai deschise la terenuri arate și parcelate. Apar evidente șoselele principale chiar dacă au lățimi de sub 20 m, ca cele spre Brașov sau București, ce au cunoscut lucrări de reabilitare.

Cu ajutorul acestei imagini se poate elabora o mască binară a schimbărilor în care vor fi delimitate două elemente și anume arealele cu schimbări (valoare 1) și fără schimbări (valoare 0). Aceasta se poate aplica imaginilor pentru izolarea numai a zonelor de interes în analiza dinamicii mediului.



Fig. 5.7 **Prima imagine în componente principale rezultată din transformarea subscenelor Landsat TM** (7 iulie 1988) **și Landsat ETM+** (5 iunie 2000), **rezoluția spațială 30 m, municipiul Ploiești**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

5.7. Diferențierea selectivă a clasificărilor de pixeli din imaginile multitemporale

Metoda este poate cea mai utilă dintre cele prezentate, deoarece elimină posibilitatea propagării erorilor rezultate din diferențele radiometrice dintre imagini. Se utilizează diferența de imagini, însă cele două seturi de date provin din clasificări de regulă supervizate ce se scad, rezultând o imagine a schimbării. Aceasta este deosebit de sugestivă atunci când este întocmită în detaliu, la nivelul fiecărei clase, deoarece reflectă în modul cel mai concret transformarea unei clase în alta.

Un alt avantaj considerabil este şi posibilitatea abordării statistice a transformărilor şi a unor interpretări de date cantitative.

În cele ce urmează vom prezenta o astfel de analiză privind dinamica etajelor de vegetație în Munții Iezer.

În ceea ce privește metodologia de lucru (fig. 5.8), s-a pornit de la imaginile satelitare LANDSAT TM 1986 şi LANDSAT ETM+ 2002, obținute în aceeaşi perioadă a anului (iunie). S-a folosit apoi modelul numeric altitudinal al terenului obținut pe baza hărților topografice (scara 1:25.000) pentru corectarea umbrelor induse de relief pe imaginile satelitare.

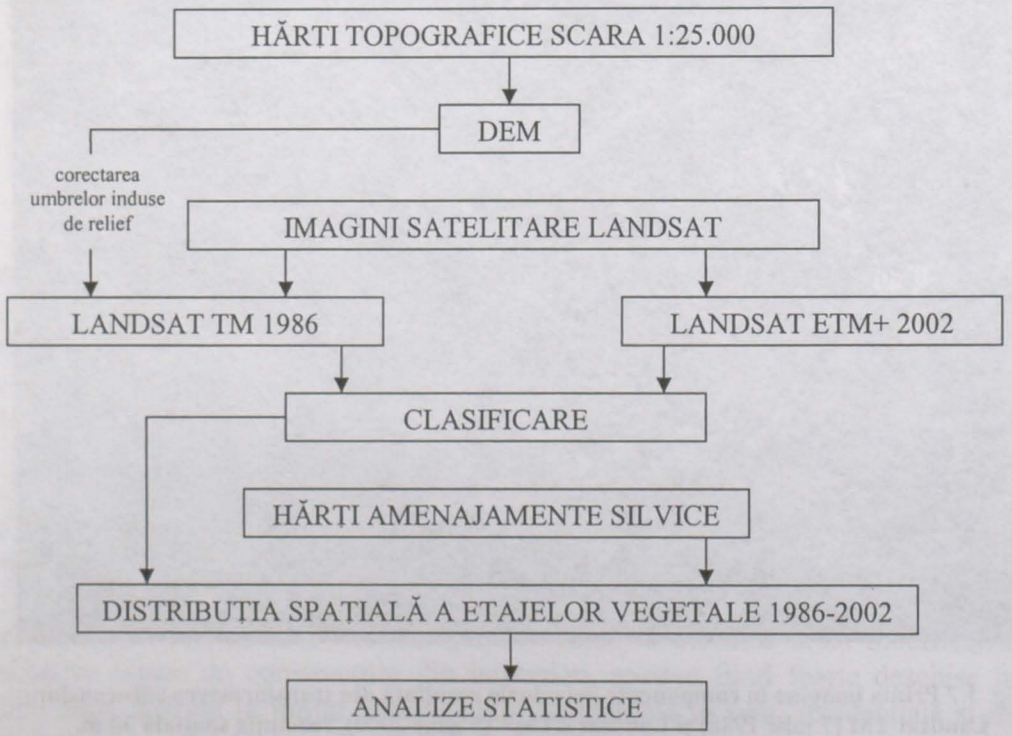


Fig. 5.8 **Flow chart al analizei dinamicii vegetației în M. Iezer**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

S-au obținut în felul acesta două imagini satelitare corectate, asupra cărora se aplică clasificări supervizate de pixeli, utilizându-se 7 clase: pajiști secundare, pajiști alpine și subalpine; terenuri neacoperite de vegetație; jnepenișuri; păduri de molid peste 60 ani; păduri de molid sub 60 ani; păduri de amestec; păduri de fag; și rezultă 2 hărți (pentru 1986 și 2002 – fig. 5.9) cu repartiția acestor clase în arealul de interes, al căror conținut a fost confruntat cu hărțile din amenajamentele silvice și cu notițele acumulate în mai multe observații de teren în perioada 2000-2004.

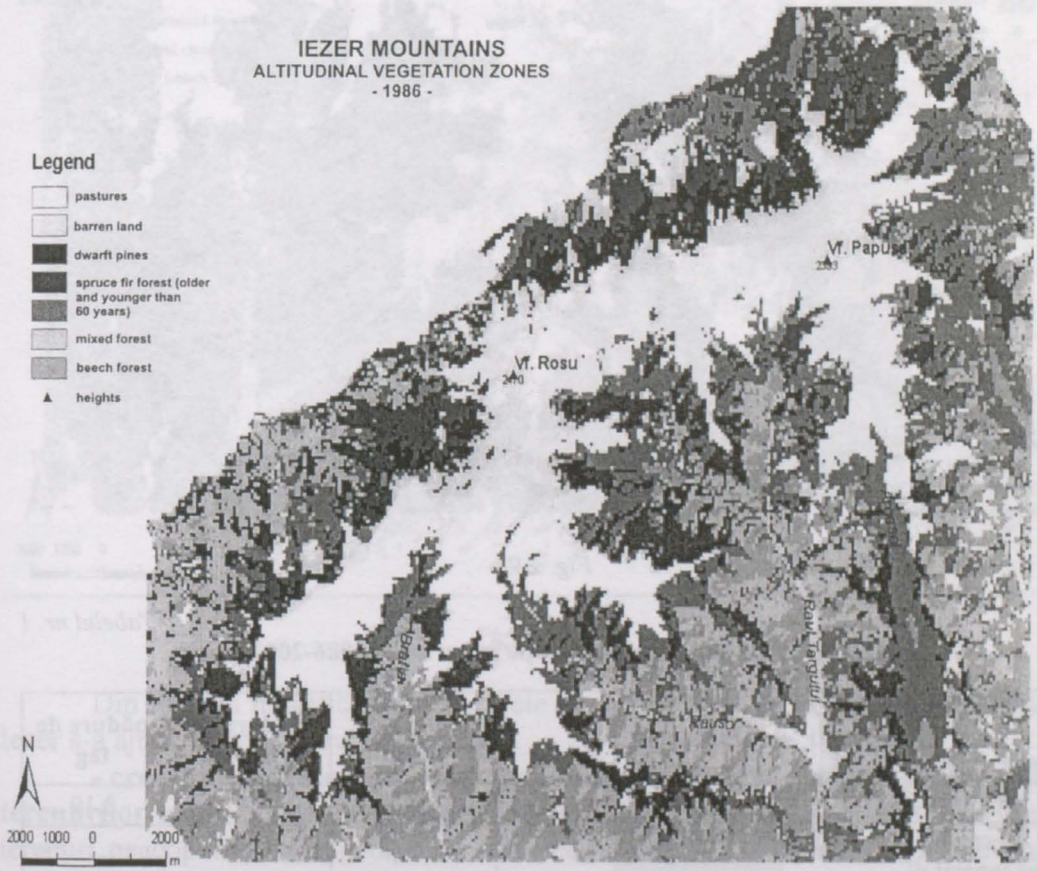


Fig. 5.9 a

În final au fost comparate prin CHANGE DETECTION (fig. 5.10) cele două hărți și s-au pus în evidență modificările în etajele alpin, subalpin și forestier din Munții Iezer, în intervalul 1986-2002 (Tabelul nr. 1).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

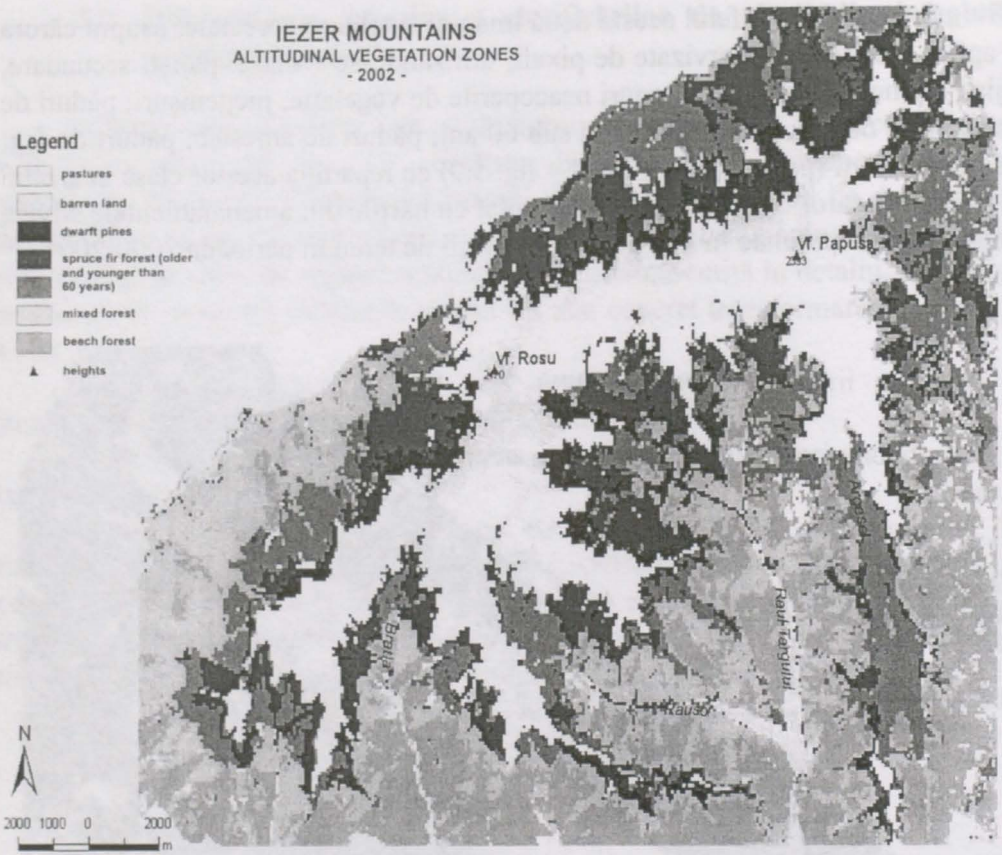


Fig. 5.9 b

Tabelul nr. 1

Modificări ale etajelor de vegetație în perioada 1986-2002 (km^2)

1986 / 2002	pajiști	teren neacoperit de vegetație	jepi	pădure de molid	pădure de amestec	pădure de fag
pajiști		10,86	1,84	18,98	3,42	3,19
teren neacoperit de vegetație	5,48		0,26	1,18	0,13	0,03
jepi	5,73	4,81		1,70	0,10	0,01
pădure de molid	14,40	6,84	7,96		10,34	5,83
pădure de amestec	3,31	2,35	0,02	38,46		17,60
pădure de fag	4,66	2,16	0,03	12,13	20,95	

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

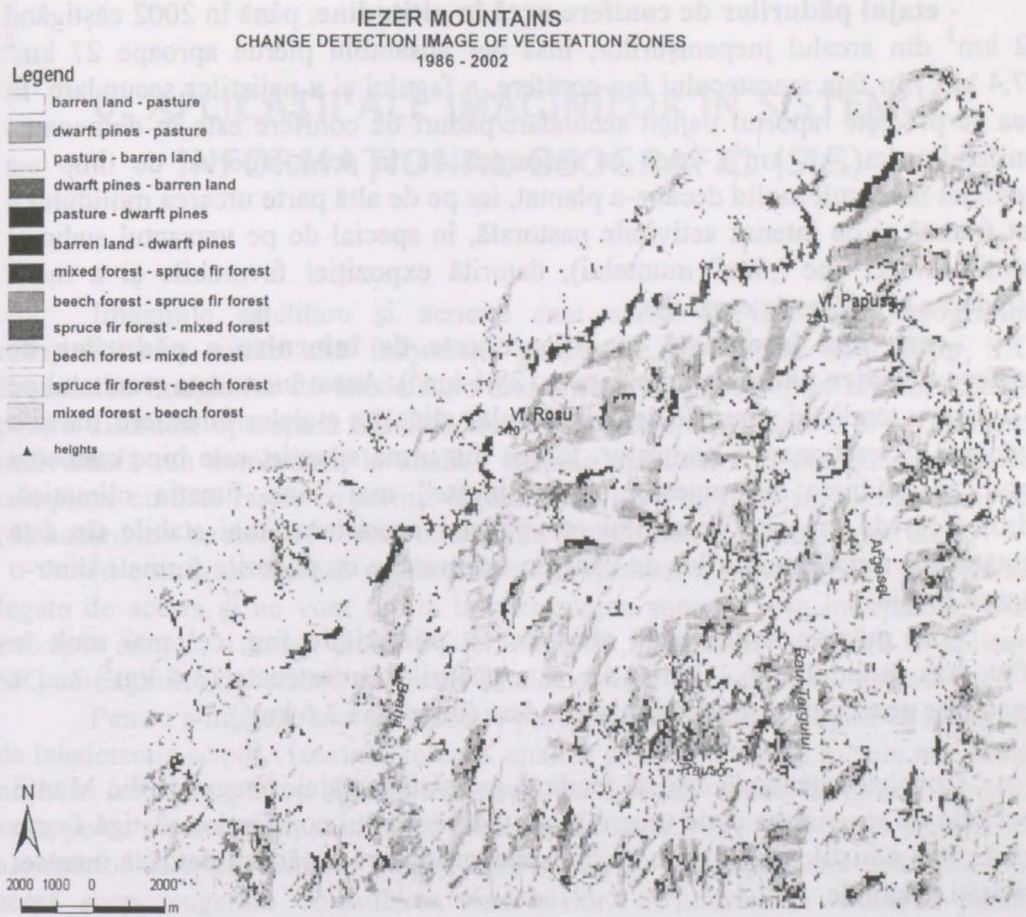


Fig. 5.10

Din analiza modificărilor în etajele alpin, subalpin și forestier din Munții Iezer s-a ajuns la următoarele concluzii:

- cresc suprafețele ocupate de pajiști alpine și subalpine în detrimentul terenurilor neacoperite cu vegetație. Din 1986 și până în 2002, 10,86 km^2 de terenuri neacoperite de vegetație au fost ocupați de pajiști alpine, subalpine sau pajiști din cadrul etajelor forestiere și doar aproximativ jumătate din această suprafață (5,48) a trecut din pajiște în terenuri descoperite;

- se constată o slabă regenerare a jnepenișurilor. Aceștia și-au mărit suprafața cu aproape 9 km^2 în defavoarea pajiștilor subalpine și a terenurilor neacoperite. Cu toate acestea, jnepenișul a pierdut teren în favoarea pădurilor de molid (aproximativ 8 km^2) care urcă în altitudine. Așadar, în 16 ani, suprafața terenurilor ocupate de jnepenișuri a crescut cu 1 km^2;

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

- **etajul pădurilor de conifere urcă în altitudine,** până în 2002 câştigând 6,2 km^2 din arealul jnepenişurilor, însă per ansamblu pierde aproape 27 km^2 (27,4 km^2) în faţa amestecului fag-conifere, a fagului şi a pajiştilor secundare. În ceea ce priveşte raportul pajişti secundare/păduri de conifere este în defavoarea coniferelor (cu 4,5 km^2), ceea ce înseamnă că în acest interval de timp s-a exploatat mai mult molid decât s-a plantat, iar pe de altă parte urcarea molidului a fost frânată şi de intensa activitate pastorală, în special de pe versantul sudic al Munţilor Iezer (pe „faţa" muntelui), datorită expoziţiei favorabile şi a marii extinderi a nivelelor de eroziune;

- **cea mai însemnată modificare este de înlocuire a pădurilor de conifere de către pădurile amestecate** (28,1 km^2). Acest lucru este rezultatul pe de o parte a tendinţei generale de evoluţie altitudinală a etajelor forestiere, dar şi a strategiei de gestionare a pădurilor. În cea din urmă situaţie, este bine cunoscut faptul că pădurea de amestec „îndeplineşte" mai bine funcţia climatică, hidrologică, de protecţia a solului etc. şi sunt ecosisteme mai stabile (în faţa dăunătorilor sau doborâturilor de vânt) în comparaţie cu pădurile formate dintr-o singură specie;

- **se măresc suprafeţele ocupate cu păduri de fag**, cel mai mult în defavoarea molidului (6,3 km^2), dar şi a pădurilor amestecate (3,4 km^2) sau a terenurilor neacoperite şi pajiştilor secundare (împreună 3,6 km^2).

Concluzia generală este că tendinţa generală a etajelor vegetale din Munţii Iezer este de regenerare şi de urcare în altitudine. Etajul coniferelor câştigă foarte greu în faţa pajiştilor secundare de la limita superioară a pădurii datorită intensei activităţi pastorale.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

6. APLICAŢII ALE IMAGINILOR ÎN SISTEMUL INFORMAŢIONAL GEOGRAFIC (SIG)

Imaginile satelitare şi aeriene sunt surse de informaţii geografice, compatibile cu orice alte informaţii geografice, în cadrul aplicaţiilor SIG. Procesarea imaginilor de teledetecţie are ca finalitate pregătirea acestor imagini pentru diferitele operaţiuni din SIG, de la cele mai simple cum ar fi vizualizarea individuală sau combinată, la analize spaţiale cantitative şi mai ales la analize complexe cu date raster ce permit obţinerea de hărţi de mare importanţă practică (de hazard sau de risc, de zonare urbană, de probabilitate, geoecologice etc.).

În contextul lucrării noastre nu ne propunem a redefini SIG şi noţiunile legate de acesta şi ne vom limita la prezentarea sumară, prin intermediul unor exemple simple, a unora dintre posibilităţile de integrare şi utilizare în aplicaţii SIG a imaginilor de teledetecţie sau a datelor extrase din conţinutul acestora.

Pentru a înţelege mai uşor aceste probleme, menţionăm faptul că imaginile de teledetecţie se pot vizualiza, integra, analiza şi chiar prelucra în cele mai multe pachete software pentru SIG ce operează cu formate raster. Singurele condiţii sunt, pe de o parte compatibilitatea formatului imaginii şi proprietăţile geometrice ale datelor de teledetecţie ce se pot coînregistra cu alte date raster sau vector. În acest scop, sugerăm consultarea manualelor, a tutorialelor fiecărui pachet software, pentru a cunoaşte diversele posibilităţi de manipulare a datelor, de procesare, de analiză etc. oferite.

6.1. Elaborarea hărţilor satelitare

Hărţile satelitare (engl. satellite image maps) sunt reprezentări obiective, la scară, într-un sistem de proiecţie cu un anumit datum, a unei suprafeţe de teren diferită ca întindere, aşa cum apare aceasta în cadrul unei subscene, scene sau mozaic de imagini. Suprafaţa acoperită poate fi extrem de diferită ca mărime şi particularităţi geografice, de la un cvartal de locuinţe sau o intersecţie de autostrăzi, la oraşe, regiuni, state, continente şi chiar întreaga suprafaţă a Globului. Cu cât suprafaţa este mai mare, cu atât scade scara dar şi rezoluţia imaginilor utilizate şi vizualizate. În plus creşte numărul de imagini ce vor fi asamblate, deci procesate în vederea obţinerii unei imagini unitare (mozaic). Aceasta implică un volum considerabil de informaţii care trebuie stocate,

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

vizualizate, prelucrate, ceea ce devine anevoios cu mijloace hard sau soft obişnuite (se folosesc staţii grafice). Realizarea hărţii satelitare Landsat a unei ţări ca România implică lucrul cu un mozaic de peste 20 de scene şi subscene geocorectate, dar cu diferite rezoluţii temporale, deoarece se aleg cele mai bune imagini, cu un procent de acoperire noroasă cât mai mic, pe cât posibil din luni sau anotimpuri apropiate, deoarece apare necesitatea normalizării radiometrice, a unificării signaturilor de la o scenă la alta.

Elementele unei hărţi satelitare sunt de cele mai multe ori aceleaşi cu ale unei hărţi obişnuite, ca de pildă cu cele dintr-o hartă murală (titlu, scara, caroiaj, coordonate, orientare, toponimie etc.). Legenda apare deseori dar nu este o condiţie obligatorie, având în vedere caracterul obiectiv al reprezentării ce îi măreşte expresivitatea prin formă, culoare, poziţie etc. Obiectivitatea este trăsătura de bază, în raport cu hărţile obişnuite, dar şi aceasta poate fi limitată prin prelucrări radiometrice, diminuarea rezoluţiei iniţiale din motive de spaţiu sau chiar mascarea unor elemente ca norii sau obiective speciale. Editarea implică utilizarea unui modul special de management al elementelor, ce poate genera automat caroiajul şi coordonatele, scara etc.

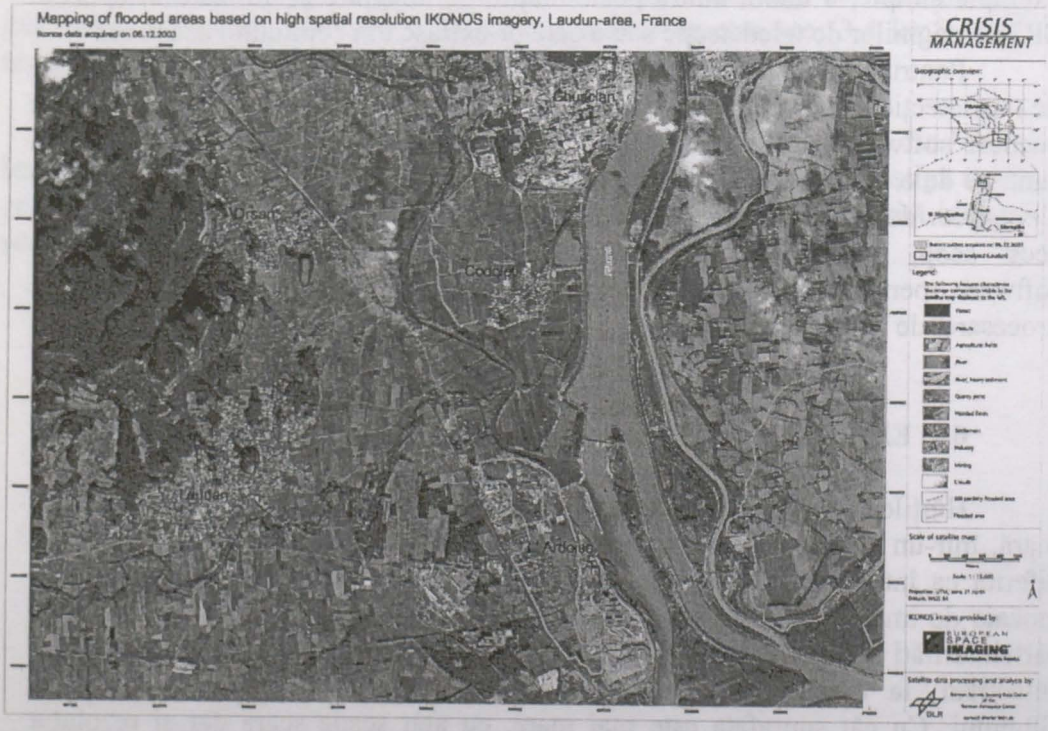


Fig. 6.1 **Hartă satelitară** (micşorată, în scara de gri) **a unei zone inundate de pe cursul inferior al Rhonului, Franţa, realizată pe baza unei imagini Ikonos din iunie 2003. Sursa: DLR** (German Remote Sensing Data Center), **European Space Imaging**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

În fig. 6.1, se observă că harta satelitară realizată inițial la scară mare, prezintă inclusiv o legendă în care au fost reunite eșantioane de imagini ale diferitelor entități din spațiul geografic. Ele vizează cu deosebire acoperirea terenului, legată de vulnerabilitatea la inundații (păduri, pajiști, teren cultivat, așezări, industrie, căi ferate și șosele sau diguri etc.). Harta localizează subscena de mare rezoluție în raport cu teritoriul țării sau cu sistemul de referință al scenelor și oferă informații privind proiecția, rezoluția etc.

Astfel de aplicații devin deosebit de utile sub raport practic, în rezolvarea unor probleme de mediu ca poluarea, riscurile naturale, urbanism, infrastructură dar și didactic, așa cum se observă în cazul mozaicului vegetației globale cu imagini NOAA-AVHRR (fig. 6.2) sau TERRA-MODIS, ori în cel al suprafeței globului pe timp de noapte (DMSP).



Fig. 6.2 **Harta satelitară școlară derivată din mozaicul de scene NOAA-AVHRR, reprezentând Globul terestru și vegetația uscatului în culori naturale**
Sursa :worlmapsonline.com

6.2. Vizualizarea combinată a datelor generate în SIG cu imaginile

Imaginile de teledetecție sunt surse de informații ce permit pe de o parte crearea de date noi în SIG, fie vector, fie raster, dar și vizualizarea diverselor date de acest tip, pe fundalul acestora. Marea majoritate a pachetelor software SIG permit vizualizări combinate de imagini cu alte date, prin simpla tehnică de tip

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

overlay (vizualizare pe strate tematice). Aceasta oferă avantaje multiple, de la simple hărți turistice și didactice la aplicații de corelare și validare a unor date obținute din diverse surse : ridicări topografice, măsurători GPS, date provenite din diverse baze de date SIG ce vizează utilizarea terenului, căi de comunicații, date statistice sau climatice-hidrologice stocate ca atribute etc.

Bazele de date SIG de ultimă oră permit aplicații numeroase de acest tip (fig. 6.3), ceea ce implică o creștere considerabilă a numărului de utilizatori și o micșorare a timpului de căutare. În mare măsură, date incluse, interogate împreună cu imaginea se obțin prin interpretarea imaginilor de teledetecție. Validarea datelor din alte surse este de mare utilitate. Multe date se pot coînregistra cu imaginile de teledetecție prin corecții geometrice.

Aplicațiile vizualizării combinate sunt mult mai largi. Orice dată vector sau raster se poate suprapune unei imagini dacă are aceleași proprietăți geometrice cu aceasta. De exemplu hărțile sinoptice cu imagini de la sateliții meteorologici sunt astfel de aplicații.

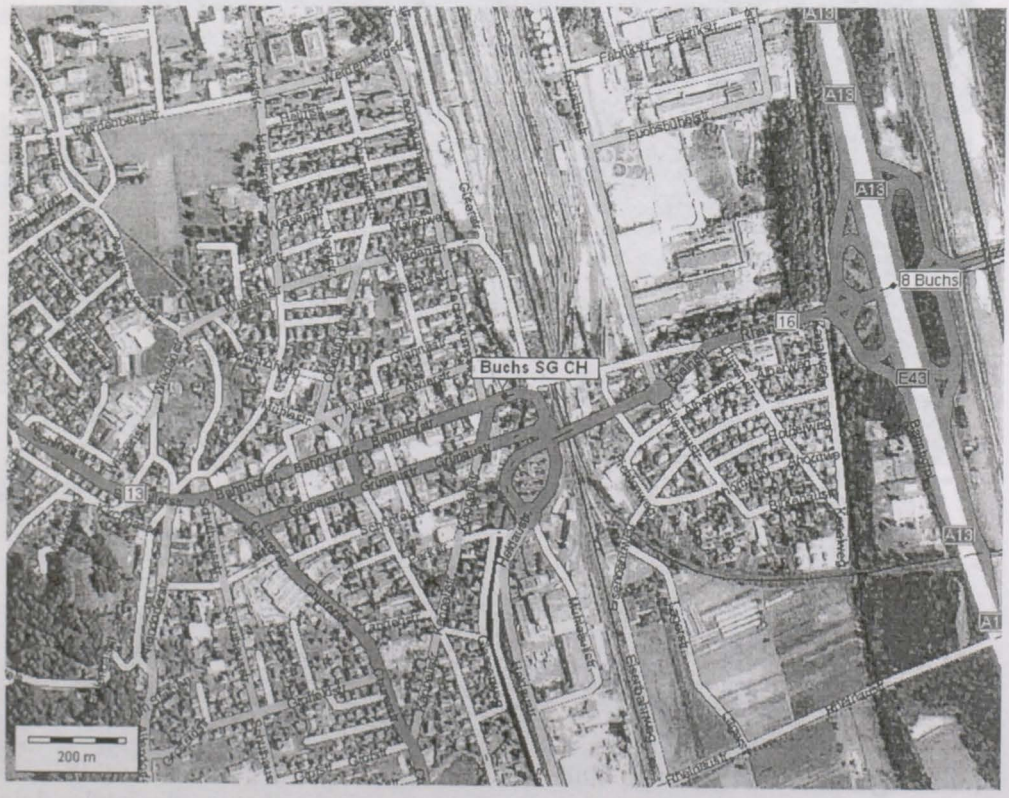


Fig. 6.3 **Date vectoriale** (rețeaua rutieră și stradală cu toponimia) **suprapuse peste o imagine aeriană, în scară de gri. Extras din baza de date pentru navigație rutieră Twix Route-Tele Atlas, Elveția, 2004** (SwissImage)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

6.3. Elaborarea hărților vegetației și utilizării terenului

Imaginile de teledetecție oferă prin modul lor de înregistrare o diversitate de informații localizate spațial. Dintre acestea, cele multispectrale sau cele obținute prin radiometriei, alături de cele fotografice pancromatice, sunt de o mare importanță în analiza și cartografierea acoperirii terenului. Comportamentul spectral al elementelor din teren se concretizează în signaturi spectrale, exprimate cromatic prin tonuri și, combinat, prin nuanțe de culoare.

Aceste date valoroase se obțin mult mai dificil prin cartări de teren. De cele mai multe ori hărțile, reprezentări subiective, de regulă depășite, limitate la nivel de legendă nu mai sunt utile și trebuiesc actualizate. Imaginile permit astfel, extragerea de date de vegetație și utilizare a terenului prin interpretare vizuală și vectorizare manuală, dar mai ales, prin clasificări de pixeli (metodă automată).

Interpretarea imaginilor este o modalitate simplă, expeditivă, prin care operatorul vizualizează imaginea și introduce sub forma de teme sau vectori (puncte, linii, poligoane), date întâlnite în imagine, în funcție de scopul aplicației. Aceasta necesită, însă, timp și o anumită experiență, mai ales dacă imaginea folosită are rezoluție medie (Landsat, Spot, Aster etc.) și dacă este disponibilă doar în falscolor sau în scara de gri (banda pancromatică ce are o rezoluție mai mare de 20 m la multe imagini). Aplicarea interpretării poate conduce la erori ce se propagă în analizele SIG, de regulă datorate lipsei de experiență sau timpului scurt alocat. Cu toate acestea se obțin și rezultate semnificative, ca de pildă hărți ale utilizării terenului și structurilor urbane din orașe (fig. 6.4).

Din fig. 6.4, se observă detalierea claselor de utilizarea terenului extrase din imaginea SPOT pancromatic (HRV-High Resolution Visible). Sunt prezente clase care nu se regăsesc în hărți topografice la scară mare sau nu sunt delimitate cu exactitate (aninișuri din lunci, teren erodat, unele stâncării, acumulări de aluviuni etc.), iar reprezentarea limitelor altora este mai obiectivă și actualizată (limita pădurii din 1997, în raport cu cea din hărțile topografice din 1982 sau limitele intravilanului orașelor Predeal și Azuga). Este posibilă și cartografierea rariștilor sau doborâturilor de copaci din păduri. Precizia rezultatelor se poate aprecia în raport cu alte date, din alte surse, ca de pildă drumurile și căile ferate extrase din hărți topografice corectate geometric. Unele erori rezultă din geocorecție dar și din lipsa ortocorecției ce implică deformările specifice proiecției centrale. Ele se atenuează, însă, dacă rezoluția imaginii scade. Rezultatele se validează la teren sau în raport cu alte imagini (aerofotograme) sau hărți.

Datele extrase astfel se vizualizează cartografic, dar se utilizează și în contextul analizelor SIG de mai mare complexitate, ce au ca rezultat noi reprezentări.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

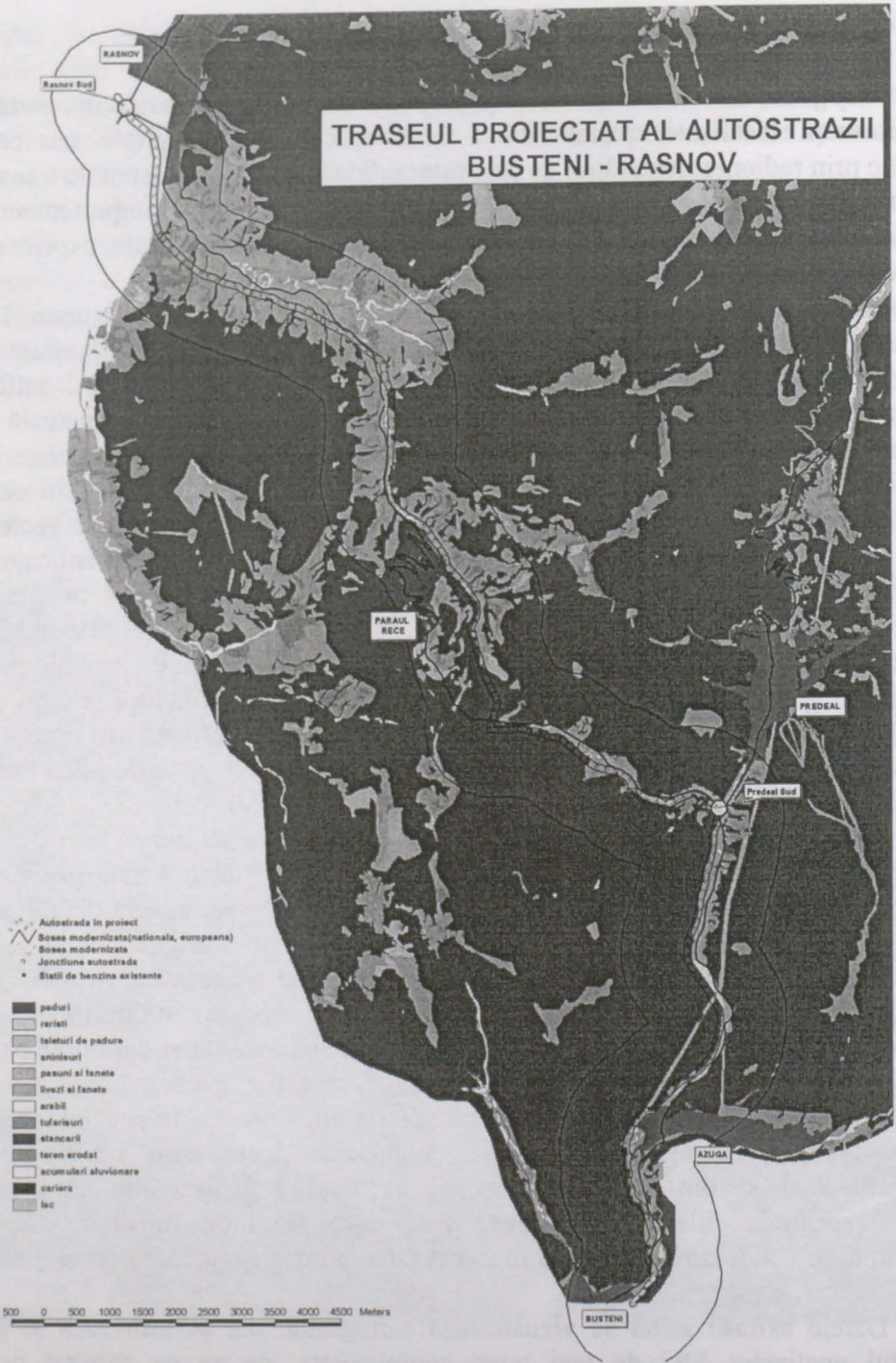


Fig. 6.4 **Harta utilizării terenului în arealul Predeal-Râşnov-Buşteni cu traseul proiectat al autostrăzii. Interpretare vizuală şi vectorizare după o subscenă Spot Pan, rezoluţia 10 m, iulie 1997**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Clasificările de pe imagini au devenit în ultimele două decenii, pe măsura perfecționării algoritmilor de grupare automată a pixelilor în clustere, cea mai răspândită metodă. Acestea sunt perfectibile și în condițiile necunoașterii trăsăturilor terenului sau lipsei unei experiențe bogate în interpretarea vizuală (clasificări nesupervizate). În schimb ele necesită alegerea algoritmului potrivit și a variabilelor geostatistice pentru a obține un rezultat cât mai bun (clasificarea corectă, aproape integrală a pixelilor). Cele mai bune rezultate însă se obțin prin aplicarea algoritmilor clasificării supervizate, pentru că alegerea eșantioanelor de pixeli impune cunoașterea terenului și verificare permanentă.

Aplicarea acestei metode implică totodată și operații de pregătire, de preprocesare și procesare a imaginilor, prin corecții și filtrări, prin fuziuni de date, în vederea diferențierii signaturilor spectrale și rulării algoritmului dorit.

În final rezultă de asemenea hărți complexe, de detaliu ale vegetației sau utilizării terenurilor, în care analizele de specialitate își vor găsi o sursă principală de date. În plus, asemeni interpretării, noile clustere se exploatează și statistic, în cifre absolute sau procente, ce se validează cu alte date statistice existente.

Figura 6.5. prezintă un rezultat al unei clasificări performante a pixelilor într-un areal bine delimitat. Elementele hărții sunt aceleași ca ale oricărei hărți de vegetație dintr-un atlas.

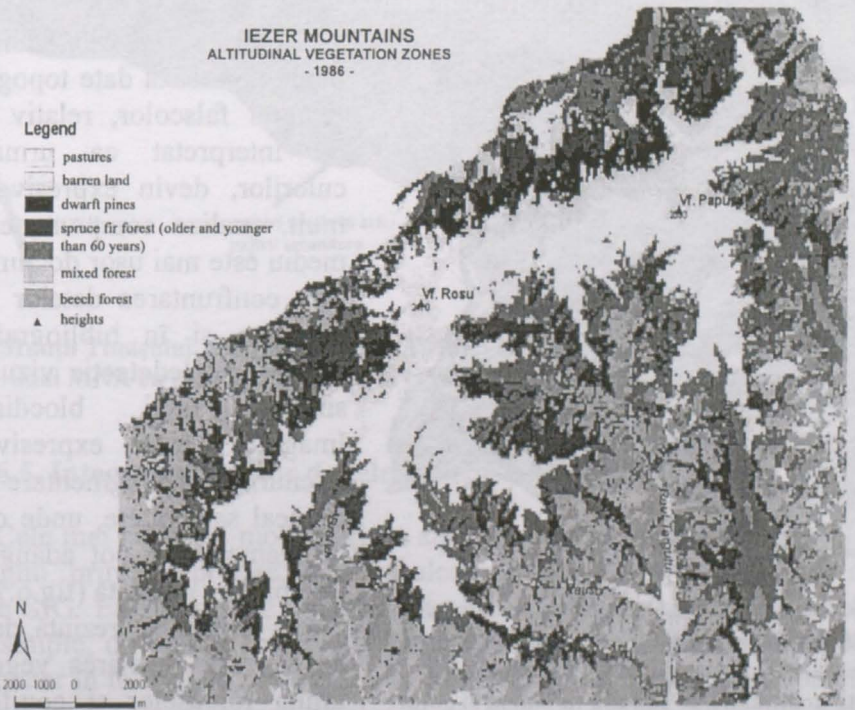


Fig. 6.5 **Harta detaliată a vegetației Munților Iezer realizată prin clasificare supervizată de pe o subscenă Landsat TM din august 1986** (autori, I.Săvulescu și I. Șandric, 2004)

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

6.4. Vizualizarea combinată cu date de topografie (Modele Numerice Altitudinale)

Perfecționarea imaginilor a fost abordată într-un subcapitol anterior (3.4.5, vizualizarea tridimensională), însă aceasta necesită date de alt tip, din alte surse. Prin coînregistrarea pixelilor cu date de poziție (geocorecție) și mai ales cu date de topografie (din modele digitale altitudinale), există posibilitatea generării de imagini 3D, de mare expresivitate.

Datele de topografie se utilizează și în elaborarea unor hărți generale sau tematice, ce apelează și la date extrase din imaginile de teledetecție. În fig. 6.6, se prezintă un fragment din harta reliefului periglaciar din Munții Timișului (B. Mihai, 2005), în care s-a utilizat un model hillshade (al umbririi) derivat din modelul numeric altitudinal elaborat la rezoluția de 10 m cu ajutorul hărților topografice scara 1:25000. Acest model este de fapt o reprezentare 2D a datelor topografice de tip grid, peste care au fost suprapuse clustere de pixeli, reprezentând acumulări de zăpadă în luna ianuarie 1997, extrase prin clasificare nesupervizată de pe o scenă Landsat TM. Harta a rezultat prin adăugarea de simboluri sub forma de date vector, constituind elemente ale reliefului periglaciar fosil și actual. În acest mod se realizează o corelare a microreliefului crionival de la peste 1400 m cu acumulări de zăpadă.



Fig. 6.6 **Fragment din harta periglaciarului din Munții Timișului, reprezentând estul Clăbucetelor Predealului** (în scara de gri). **Clusterele albe reprezintă acumulări de zăpadă în poieni și goluri montane, extrase prin clasificare nesupervizate din imagine Landsat TM, ianuarie 1997**

Reprezentările tridimensionale utilizează date topografice. Imagini falscolor, relativ dificil de interpretat ca urmare a culorilor, devin expresive. Mai mult, analiza componentelor de mediu este mai ușor documentată prin confruntarea datelor culese în teren și în bibliografie cu datele de teledetecție vizualizate similar unui blocdiagram. Imaginea este expresivă în terenurile cu fragmentare mare, de deal sau munte, unde o serie de elemente se pot adăuga prin interpretare corelată (fig.6.7).

Imaginea prezintă, deosebit de expresiv, etajarea vegetației, limita foioaselor și coniferelor, amestecul forestier, și mai ales azonalitatea caracteristică. Golurile

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

montane sunt subliniate de zăpada acumulată, însă cel mai interesantă este corelarea directă a fizionomiei reliefului cu morfostructura, analizată în teren şi pe hărțile geologice. Calitatea imaginii este bună ca urmare a erorilor mici de corecție geometrică ale imaginii Landsat în raport cu hărțile topografice. Umbrirea terenului din perioada de iarnă sporește expresivitatea reprezentării.În egală măsură, se pot vizualiza şi clasificări de pixeli pe modele 3D.

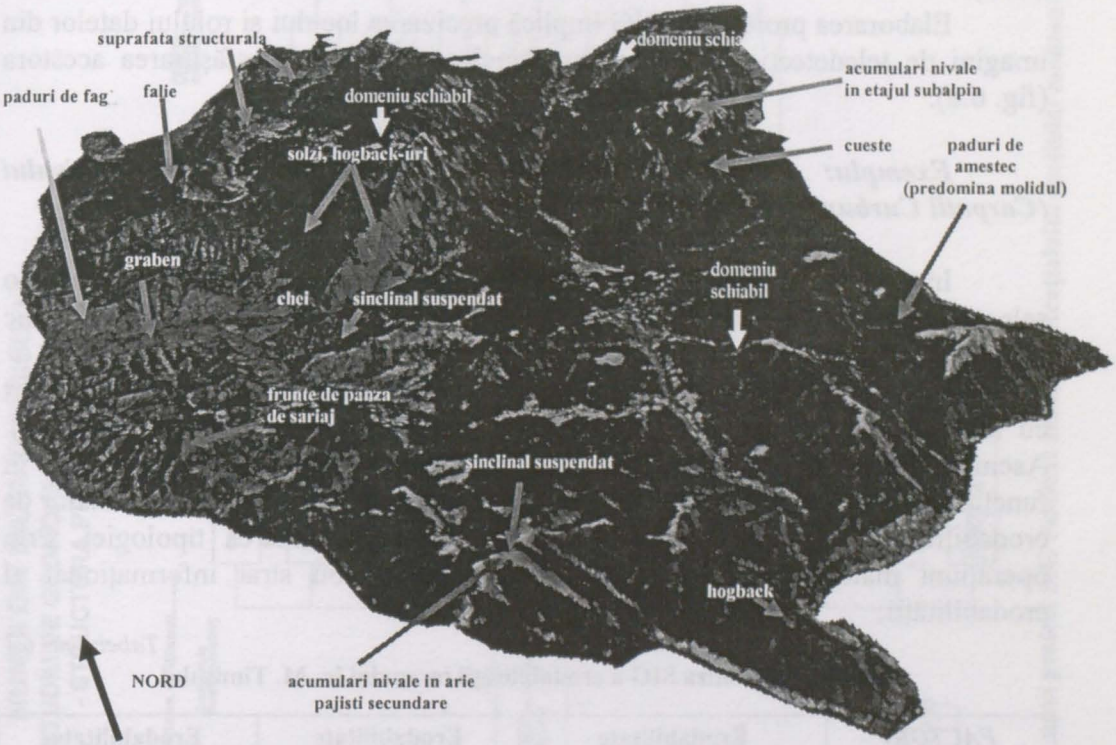


Fig. 6.7 **Munții Timişului. Imagine Landsat TM din ianuarie 1997, falscolor 432, suprapusă unui MNA cu rezoluția de 10 m, la care s-au adăugat date de interpretare**

6.5. Integrarea datelor de teledetecție în analize SIG

Cele mai avansate modalități de analiză vizează integrarea datelor extrase din imagini, prin interpretare, dar mai ales prin clasificări de pixeli, în operații specifice SIG. Este vorba de operațiile cu date raster de tip grid, ce implică fie calcule simple, de tipul adunare, scădere sau înmulțire de griduri, fie integrarea datelor raster în formule complexe, cu radicali, integrale, funcții trigonometrice. O nouă tendință este exploatarea datelor în modele de probabilitate, fie individual (lanțurile Markov) fie împreună cu alte date (de exemplu modelul Bayesian sau Dempster Shaefer).

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Indiferent de specificul analizei, datele de teledetecție contribuie la generarea de noi seturi de date, cum ar fi cele de pretabilitate a terenului pentru amenajări (drumuri, case, pârtii de schi), de hazard și risc geomorfologic (susceptibilitatea la alunecări, localizarea probabilă a avalanșelor etc.), de eroziune a terenului și multe altele. Diversitatea și complexitatea lor ne obligă la a aborda aceste aspecte doar pe scurt, prin intermediul unui exemplu (B. Mihai, 2005).

Elaborarea proiectelor SIG implică precizarea locului și rolului datelor din imagini de teledetecție, în raport cu etapele ce definesc desfășurarea acestora (fig. 6.8).

Exemplu: Analiza erodabilității terenurilor în Munții Timișului (Carpații Curburii)

Integrarea în SIG a factorilor generatori ai erodabilității a necesitat o selecție a stratelor tematice: panta, utilizarea terenului, potențialul morfodinamic și riscul geomorfologic.

Metoda aplicată a fost clasificarea de celule de imagine (pixeli) în raport cu anumite condiții ce stau la baza categoriilor de erodabilitate (tabelul 6.1). Asemeni riscului și a altor analize, s-au creat ierarhizări și atribuiri de cifre în funcție de intensitatea fenomenului. Scopul a fost selectarea corectă a arealelor de erodabilitate și compararea cu situația din teren, realizarea tipologiei. Prin operațiuni matematice (algebrice) s-a obținut un nou strat informațional al erodabilității.

Tabelul nr. 6.1

Condiții în analiza SIG a erodabilității terenului în M. Timișului

FACTORI morfodinamici	Erodabilitate mare	Erodabilitate medie	Erodabilitate mică
Geologia	aluviuni, pietrișuri, nisipuri, marne, fliș cretacic, deluvii de alunecare	conglomerate, gresii	calcare, trahite, radiolarite
Panta	20-90°	5-20°	sub 5°
Utilizarea terenurilor	pășuni și fânețe, tufărișuri,așezări, terenurierodate	pășuni și fânețe, rarişti, tufărișuri, livezi și fânețe	păduri
Potențialul morfodinamic	alunecări,avalanșe, dezagregări, prăbușiri,torențialitate	spălare în suprafață, solifluxiuni, torențialitate	spălare în suprafață, aluvionare
Riscul geomorfologic	mare	mediu	mic

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

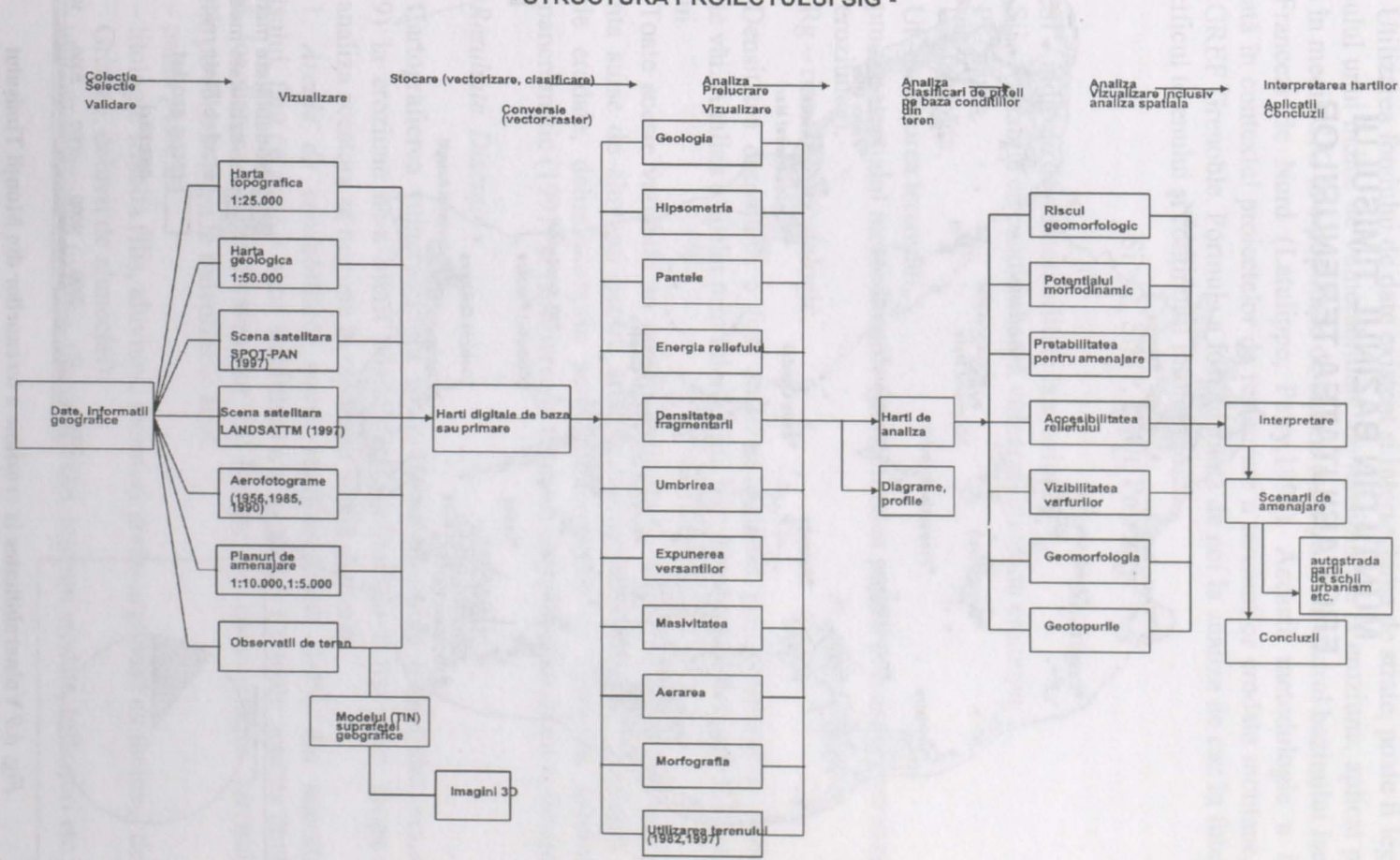


Fig. 6.8 **Structura schematică a unui proiect SIG destinat analizei potențialului spațiului montan al M. Timișului**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

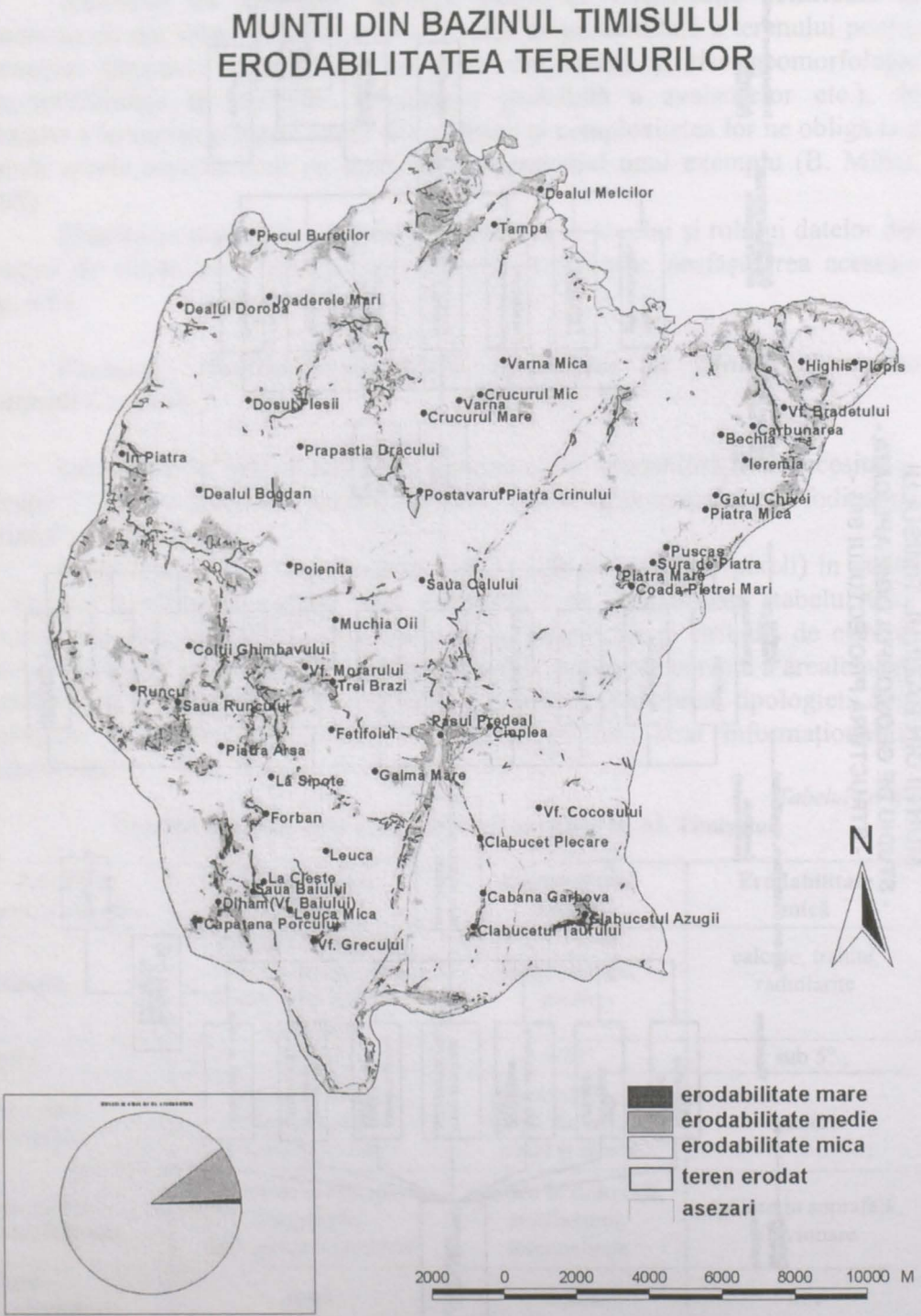


Fig. 6.9 **Vulnerabilitatea la eroziune a terenurilor din Munții Timișului**

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Utilizarea fondului de date existent și intersectarea de strate, poate fi legată de calculul unui indice de vulnerabilitate, de sensibilitate la eroziune, aplicat prin analiză în mediu SIG la o populație de bazine torențiale din cadrul bazinului Isere-Alpii Francezi de Nord (Latulippe, Peiry,1996). Această metodologie a fost perfectată în contextul proiectelor de restaurare a terenurilor erodate montane, la CEMAGREF Grenoble. Formula a fost adaptată de noi la analiza de caz în funcție de specificul terenului și conținutul informațional.

$$Si = \sum Sij\ (P, L, Ut, Pm, Rg)$$

unde:

Si – indicele de vulnerabilitate la eroziune,
Sij – variabile ce condiționează vulnerabilitatea la eroziune,
P – panta,
L – litologia,
Ut – utilizarea terenului,
pm – potențialul morfodinamic (pretabilitatea pentru procese ce generează eroziunea),
Rg – riscul geomorfologic.

Densitatea drenajului a fost analizată indirect prin intermediul desimii rețelei de văi. Analiza a apelat prin intermediul hărților obținute anterior la energia reliefului.

Toate aceste variabile au permis delimitarea ariilor ce constituie sau pot reprezenta surse de aluviuni pentru arterele hidrografiei aferente. Corelarea cu terenurile erodate, delimitate prin aerofotointerpretare pe imaginea satelitară SPOT- pancromatic (1997) și raportarea la teren au completat structura aplicației.

Rezultate. Discuții

Cartografierea vulnerabilității spațiului de ansamblu a spațiului montan (fig. 6.9) la eroziune ne-a oferit posibilitatea delimitării a trei mari grupe de areale; analiza acestora se impune în raport cu datele din teren.

1. *Areale de erodabilitate mare*, reprezintă sub 3-4% din suprafața M.Timișului, fapt ce arată o bună stabilitate a terenurilor. Cu toate acestea devine necesară localizarea și verificarea lor în funcție de caracteristica terenului. Condițiile pe care acestea le îndeplinesc sunt:

– panta peste 20°;
– litologie friabilă (fliș, aluviuni, faciesuri grezo-argiloase ca faciesul de la Gresten, deluvii de alunecări);
– utilizarea terenului (pășuni, fânețe, așezări, terenuri erodate, tufărișuri etc.);

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

– potențialul morfodinamic (alunecări, torențialitate, dezagregare, avalanșe, prăbușiri);
– riscul geomorfologic mare și foarte mare.

Analiza hărții erodabilității indică ocurența acestor areale: golurile montane secundare Clăbucetul Azugii și parțial Clăbucetul Taurului, la peste 1400 m, pe fliș, în condiții de pășunat intens ce se menține aici de peste 100-150 de ani (densitate mare a animalelor pe un spațiu de pășune foarte limitat); golul montan secundar al M. Diham se înscrie în aceeași categorie; poienile din M. Forbanu, caracterizate prin marea densitate a drumurilor și potecilor pe pante relativ mari; bazinul Valea lui Dobre pe deluvii de alunecări secționate de torenți și ravene active, adâncite în rocă; V. Pietrosu, cu versanți afectați de alunecări vechi, defrișați, în vecinătatea drumurilor forestiere; areale de alunecări din V. Morii și V. Gârcinului amplasate în zone cu păduri exploatate, pășuni, secționate de torenți și ravene (excesul de umiditate întreține condiții favorabile reactivărilor anuale după topirea zăpezii în februarie-aprilie sau la ploile torențiale din iunie-iulie când protecția vegetală este slabă); izvoarele întrețin condiții bune declanșării de pornituri.

O categorie aparte legată de roci gelive (conglomerate eterogene, calcare) slab protejate vegetal, sunt abrupturile din estul Pietrei Mari, M. Postăvaru (Muchea Cheii-Cristianul Mare) ce apar în toată aria acestor munți (Pietrele lui Solomon, M. Piatra Arsă ș.a.).

2. *Areale de erodabilitate medie* ocupă aproximativ 10% din suprafața M. Timișului.

În această categorie sunt cuprinse terenurile cu litologie variată, mai puțin cele situate pe formațiunile flișului, pante de 10-30°, lipsite în general de pădure (inclusiv rarişti, tufărișuri). Potențialul morfodinamic este diversificat: torențialitate, alunecări de teren, șiroire etc.

Analiza hărții oferă doar elemente orientative. Astfel sunt cuprinse areale situate pe diferite trepte de relief:

– glacisuri (în bazinetul Azuga, la poalele Clăbucetului Taurului), în Valea Râșnoava-afluentul Prahovei, în Culoarul Râșnoava și pe V.Pietrosu, la Predeal, la poalele Fetifoiului, Cioplei și Clăbucetului Taurului, pe glacisul Dâmbul Morii și glacisul de la Săcele;

– versanții (poalele unor abrupturi despădurite ca cele din nordul și nord-estul Pietrei Mari, M. Tâmpa, M. Stejerișul Mare, M. Runcu, Muchea Cheii, M. Piatra Arsă etc.);

– suprafețe și nivele de eroziune intens fragmentate de eroziunea liniară la obârșiile unor torenți (Poiana Brașov-Poiana Mare mai ales, Poiana Ruia, platoul structural Piatra Mare, Clăbucetul Azuga, Clăbucetul Taurului, M. Diham-M. Forbanu etc.).

La acestea se mai pot adăuga și sectoare de maluri(înalte) de râuri, ca efect al eroziunii laterale și al protecției vegetale slabe: pe Prahova, în avale de confluența Joiței cu Poliștoaca, pe Azuga, pe Valea Crebului inferioară, pe Râul Mare sau V.Gârcinului, inclusiv pe V.Timiș și cursurile inferioare ale unor afluenți etc. Se includ și taluze de drumuri forestiere.

O categorie cu totul aparte, specifică acestei arii montane sunt terenurile cu amenajări de pârtii de schi. Acestea sunt cuprinse în proporție de peste 60-70% în categoria terenurilor de erodabilitate medie. Ocurența se leagă perfect de pârtiile de la Predeal-Clăbucet, Pârâu Rece și Poiana Ruia-Cristianul Mare și chiar de la Bolnoc-Valea Baciului. Aici arealele alternează cu terenuri de erodabilitate mare, reprezentate prin rupturi de pantă generate de adâncirea unor talveguri și chiar de alunecări superficiale și solifluxiuni, aflorimente de rocă (Cristianul Mare).

Refacerea pădurilor prin reîmpăduriri și regenerare naturală a avut în ultimii 200 de ani un efect remarcabil. Terenurile cu erodabilitate medie și mare s-au restrâns, astfel încât ceea ce există în prezent constituie geotopurile moștenite, relicte, ale unui peisaj puternic antropizat.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

În arealul culoarelor de vale, pe glacisuri, conuri şi terase, această categorie de terenuri este legată fie de păstoritul local şi extracţia lemnului din păduri (Săcele, Azuga, Râşnov) fie mai ales de construcţii şi circulaţia neorganizată, pe drumuri forestiere de căruţă sau poteci (Predeal, Azuga, Braşov). Şi aici au existat terenuri intens erodate, aşa cum arată materialele fotografice vechi de un secol. Omniprezente au fost potecile de vite (în mare parte vegetalizate) şi sectoarele de ravene şi mici badlanduri (Azuga, Săcele etc.).

Extinderea construcţiilor în ultimul secol, dar mai ales în ultimii 50 de ani, a avut ca efect intensificarea eroziunii. Amenajarea unor pante de peste 7-10° în aria oraşului Predeal, în urma parcelărilor de la sfârşit de secol 19, a permis atât restrângerea pădurii şi pajiştilor, cât mai ales modificarea unor geotopuri. Tasarea terenurilor, pietruirea şi betonarea la nivelul fundaţiilor relativ adânci (în deluvii argiloase), au dus la compactarea solului. S-a modificat regimul aerohidric al unor soluri frecvent suprasaturate în urma topirii zăpezilor şi a ploilor torenţiale şi s-a declanşat eroziunea liniară şi superficială.

Pe harta erodabilităţii, Predealul şi mai ales cartierele de pe Cioplea şi Fetifoiu (parţial Malu Ursului), se înscriu cu unele excepţii în arii de erodabilitate medie. Imagini din anii 1900-1935 arată aşezarea în fază dispersă, cu trecere treptată spre concentrată-tentaculară dar mai ales puţină vegetaţie forestieră. Comparaţiile cu fotogramele aeriene (1956, 1985) şi scene satelitare (1997), precum şi corelări în teren, arată o restrângere a acestui potenţial de degradare a terenurilor. Regenerarea şi mai ales plantaţiile de pădure din jurul vilelor şi hotelurilor, au dus la modificări radicale de peisaj şi bilanţ hidric al solului. Au fost canalizate talveguri şi captate o serie de izvoare. Stabilitatea a crescut mai ales pe M.Cioplea, în partea centrală a cartierului, pe interfluviul Prahova-Poliştoaca. Asanările din perioada de după 1918-1920 au îmbunătăţit starea de echilibru a terenului.

3. *Areale cu erodabilitate mică* acoperă cea mai mare parte a regiunii studiate (peste 75%). În principal ele se suprapun terenurilor împădurite dar scara la care s-a redactat harta (1:100.000) a limitat anumite detalieri.

Situaţia se prezintă însă cu mult mai nuanţată, deoarece pădurea are o consistenţă diferită, chiar pe o suprafaţă de un kilometru pătrat. Fragmentarea şi panta impun o nuanţare a acestui potenţial de erodabilitate. Într-un procent destul de însemnat există multe terenuri iniţial de erodabilitate mare şi medie, ce au revenit prin reîmpădurire la acest areal. Marea densitate a ravenelor şi torenţilor din pădurile de la poalele Postăvarului şi Pietrei Mari (Săcele, Dârste, Râşnov, Braşov etc.) explică modificări de esenţă a peisajului în ultimele două secole şi mai ales în secolul 20.

Harta erodabilităţii a surprins în mică măsură arealele drumurilor forestiere ce reprezintă şi în acest spaţiu montan o importantă sursă de aluviuni. O serie de areale liniare se suprapun unor asemenea axe de penetrare: Valea Timişului Sec Mic, Valea Morii, Baciului, Limbăşelului (erodabilitate mare), Valea Răcădăului, Şipoaie (curs inferior) etc.

Folosirea acestor artere este legată în bună măsură de întreţinerea fondului forestier, prin degajarea arborilor doborâţi de vânt sau zăpadă, a celor uscaţi şi bolnavi. Amenajările datează în mare măsură din ultimii 70 de ani. Evoluţia profilului transversal al văilor este puternic influenţată de aceste drumuri, ce controlează inclusiv scurgerea şi rata de eroziune (Păcurar, 2001). Procesele de degradare şi de agradare la nivelul talvegurilor sunt o caracteristică a multor

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

asemenea artere, ca efect al unei slabe întreţineri şi exploatări iraţionale, în perioada viiturilor de vară, după ploile torenţiale. Este şi argumentul ce a susţinut retrogradarea lor la introducerea datelor în baza SIG din categoria drumuri în cea a drumurilor impracticabile şi potecilor (M. Runcu, M. Forbanu, V. Cărbunari şi multe alte cazuri).

Un alt aspect generator de condiţii de erodabilitate sunt liniile electrice sau cele de funiculare forestiere. Acestea sunt legate de pante relativ mari, de peste 10 chiar 20°. Crearea de culoare prin păduri şi de amplasamente din beton au dus la tasarea solului şi la apariţia eroziunii liniare şi superficiale. Inaccesibilitatea sau accesibilitatea limitată a acestora au redus riscul unei eroziuni accelerate.

Amenajarea de talveguri torenţiale prin baraje de retenţie al aluviunilor, este un alt aspect al eroziunii terenurilor.

Limitate la câteva areale, aceste construcţii au avut eficienţă maximă în măsura în care au fost întreţinute prin lucrări de decolmatare a incintelor. Pe Valea Timişului Sec Mic, în sudul M.Piatra Mare, pe facies de fliş, există baraje ce au permis în amonte agradări (bolovănişuri şi chiar suspensii). Acestea depăşeau la nivelul lui septembrie 1999 nivelul maxim al barajului iar în aval albiile erau cu peste 1-1,5 m adâncite ca efect al viiturilor de vară şi al reţinerii aluviunilor. Aluvionările de mare amploare de pe albia inferioară şi conul de la Timişu de Sus, dar mai ales protecţia căii ferate Predeal-Braşov, au necesitat lucrări permanente de întreţinere (intensificate după vara lui 1997, când au avut loc mari viituri).De altfel aproape toţi afluenţii Timişului din aval de Timişu de Sus dispun de lucrari de corecţie şi retenţie, în vederea protecţiei caii ferate şi a şoselei Predeal-Braşov.

Amenajări similare şi canalizări de albii sunt prezente şi pe Valea Limbăşelului (bazinul superior-Limbăşelul Mare), pe Valea Gârcinului inferioară, Valea Baciului, Valea Morii, Valea Cernatu, Valea Durbav (nordul Pietrei Mari), pe afluenţi ai Prahovei în sectorul Azuga-Buşteni etc. Eficienţa acestora se leagă strâns de marea densitate a construcţiilor de pe Valea Prahovei şi de pe glacisul de contact de la Săcele dar mai ales din protecţia căilor de comunicaţii. Adâncirea (degradarea) sectoarelor de albii în aval de baraje, poate favoriza creşterea competenţei la marile viituri (Rădoane,1984,1986). Pe un fond neotectonic pozitiv torenţii tind să îşi refacă faciesul de albie iniţial.

Concluzii

Analiza SIG efectuată are un caracter general, informativ. Scara reprezentării cartografice şi numărul limitat de variabile senzitive (doar patru strate tematice) nu au permis decât realizarea unei imagini de ansamblu. Utilizarea unor date de detaliu privind scurgerea pe versanţi, consistenţa pădurilor, coeficienţii de efluenţă aluvionară pot mări utilitatea unor astfel de abordări. În acest caz analiza trebuie să plece de la nivelul bazinului morfohidrografic, pentru că acesta este celula de bază în analiza eroziunii terenului montan.

Un alt element urmărit de noi este corelarea terenurilor erodabile cu ocurenţa celor erodate, aşa cum rezultă din analiza scenelor satelitare pancromatice SPOT. S-au realizat şi o serie de localizări în teren, deosebit de utile în procesul fotointerpretării.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

O mare parte a arealelor erodate (circa 1-2% din suprafața M.Timișului) apar pe terenuri cu erodabilitate medie. Ele se suprapun de cele mai multe ori drumurilor de căruțe și forestiere, potecilor pastorale din trecut și turistice în prezent. Multe terenuri au configurație liniară deoarece eroziunea liniară are cea mai mare pondere în diferențierea lor în raport cu geotopurile vecine. Exemple sunt în nordul Pietrei Mari, pe văile Baciu, Morii, Cernatu, pe Valea Gârcinului, pe glacisul de la Dâmbu Morii, Valea Cheii Valea Râul Mare, Valea Cerbului, Clăbucetul Taurului (zona Cabana Gârbova-Clăbucet Plecare).

Aici au fost cuprinse și drumuri modernizate, ca efect al degradărilor de pe taluze slab protejate vegetal; este cauza ce explică localizarea de terenuri erodate în arii cu pante mici, afectate de tasări (sub 5-7°, ca de pildă Culoarul Râșnoava).

Terenurile erodate au fost legate în mare măsură și de spațiul construit, aspect juxtapus clasei de erodabilitate medie și mică, în Poiana Brașov, Scheii Brașovului, Timișu de Jos, Dâmbu Morii ș.a.m.d.

Păstoritul a generat doar izolat terenuri erodate. Acestea s-au restrâns considerabil prin regenerarea pădurii în ultimul secol și au rămas doar în platoul Pietrei Mari (arealul stânelor și potecilor pastorale), pe Valea Pietrosu (versant drept), Clăbucetul Azugii (nord-vest), Clăbucetul Taurului etc.

Raportul erodabilitate-eroziune este în prezent defavorabil ultimei. Gradul mare de acoperire forestieră (circa 75%) și vegetală (peste 85%), creează condiții bune pentru o dezvoltare durabilă pe plan local/regional. Atenția cea mai mare o necesită domeniile schiabile actuale extinderile prevăzute ale acestora și mai ales cel de la Predeal-Clăbucet. Aici pârtiile existente sunt suprapuse ariilor de erodabilitate mare și medie, fiind chiar afectate liniar de șiroiri, alunecări și solifluxiuni. Altă problemă este amenajarea talvegurilor torențiale în arii de erodabilitate maximă, ce trebuie realizată în corelare cu drumurile forestiere și mai ales cu specificul dinamic de albie.

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Bibliografie Selectivă

ARMAŞ, I., DAMIAN, R., ŞANDRIC, I., OSACI-COSTACHE, G. (2004) *Vulnerabilitatea versanţilor la alunecări de teren în sectorul subcarpatic al Văii Prahova*, Editura Fundaţiei România de Mâine, Bucureşti.

BONN, F., ROCHON, G. (coord.) (1992) *Précis de télédétection*, Vol. 1 : *Principes et methodes*, Presses de l'Université du Québéc.

BONN, F. (coord.) (1996) *Précis de télédétection*, Vol. 2: *Applications thematiques*, Presses de l'Université du Québéc.

DONISĂ, I., GRIGORE, M. TÖVISSI (1980) *Aerofotointerpretare geografică*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti.

Mc FEETERS, S. K. (1996) *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open waters features*, International Journal of Remote Sensing, 17, 1425-1432.

HUANG, C., B. WYLIE, L. YANG, C. HOMER, AND G. ZYLSTRA. "Derivation of a Tasseled Cap Transformation Based on Landsat 7 At-Satellite Reflectance". USGS EROS Data Center White Paper (http://landcover.usgs.gov/pdf/tasseled.pdf).

KEY, CARL H,. NATE C. BENSON (1999) The Normalized Burn ratio, a Landsat TM radiometric index of burn severity incorporating multi-temporal differencing. http://www.nrmsc.usgs.gov/research/ndbr.htm

LATULIPPE, C., PEIRY, J-L. (1996) *Essai de hiérachisation des zones de production de matière en suspension dans le bassin-versant d'un grand cours d'Eau: l'Isère en amont de Grenoble*, Revue de Géographie Alpine, 84,2, Grenoble, pp. 29-44.

LILLESAND, T., KIEFER, R., CHIPMAN, J. (2004) *Remote sensing and image interpretation*, J. Wiley and Sons, London.

LUCIEER, A. (2004) Uncertainties in Segmentation and their Visualisation, ITC Dissertation, nr. 113.

MIHAI, B. (2005) *Munţii din bazinul Timişului (Carpaţii Curburii). Potenţial geomorfologic şi amenajarea spaţiului montan*, Editura Universităţii din Bucureşti.

MIHAI B., SAVULESCU, I., ŞANDRIC, I. (2006) *Apports de la méthode de détection des changements pour l'évaluation de la dynamique de l'étagement de la végétation dans les monts de Bucegi* (Carpates Méridionales, Roumanie), Télédetection, 6, 3.

SABINS, F.F. (1997) *Remote sensing. Principles and interpretation*, Freeman.

SAVULESCU, I., SANDRIC, I., MIHAI, B. (2005) *Dinamica etajelor de vegetaţie în Masivul Iezer*. Analiză Change Detection., Comunicări de Geografie, 9, Bucureşti

SHORT, N. (coord.) (2006) The Remote Sensing Tutorial, rst.gsfc.nasa.gov, site administrat de NASA.

SIDJAK, R.W., WHEATE, R.D. (1999) *Glacier mapping of the Illecillewaet icefield*, British Columbia, Canada, using Landsat TM and digital elevation data, International Journal of Remote Sensing, 20, 273-284.

ZHA, Y., GAO, J.,Ni, S. (2003) *Use of normalized difference built-up index in automatically mapping of urban areas from TM imagery*, International Journal of Remote Sensing, 24, 583-594.

ZĂVOIANU, F. (1999) *Fotogrammetria*, Editura Tehnică, Bucureşti.

ZEGHERU, N., ALBOTĂ, M. (1979) *Introducere în teledetecţie*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti.

*** (2001) ENVI tutorials. Research Systems – Kodak

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Resurse Internet

Lista de mai jos cuprinde numai adrese de site-uri de importanță didactică, dar utile într-o anumită măsură și cercetătorilor interesați a se iniția sau documenta în acest domeniu. Ordinea este cea dată de importanța acestor adrese. Adresele reflectă situația din luna februarie 2007 și se pot modifica în timp.

NASA – Goddard Space Flight Centre.The Remote Sensing Tutorial
http://rst.gsfc.nasa.gov/

Canada Centre for Remote Sensing. Tutorial. Fundamentals of remote sensing.
http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php

GIS development.Remote sensing tutorial.
http://www.gisdevelopment.net/tutorials/tuman008.htm

CRISP Singapore. Remote sensing tutorial.
http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm

The Remote sensing tutorial
http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/index.html

Chesapeake Bay and Mid Atlantic from Space. Remote sensing tutorial. Glossary.
http://chesapeake.towson.edu/glossary.asp

Aerial photography and remote sensing (tutorial)
http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/remote/remote_f.html

Wikipedia. The free encyclopaedia (definiții, linkuri)
http://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing

The remote sensing and GIS facility (linkuri)
http://geospatial.amnh.org/remote_sensing/resources/tutorials.html

USGS Remote sensing links
http://terraweb.wr.usgs.gov/resource.html

Remote sensing links
http://www.acadweb.wwu.edu/gis/links/rs.htm

NASA Landsat programme page
http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html

Global Land Cover Facility. University of Maryland (Landsat data source)
http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/

NASA Landsat page
http://landsat.gsfc.nasa.gov/education/tutorials.html

Landsat user's handbook (manualul Landsat)
http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html

Landsat USGS page
http://landsat.usgs.gov/

Center for Earth Resources Observations and Science
http://glovis.usgs.gov

VERIFICAT 2017

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

Tiparul s-a executat sub c-da nr. 1849/2007
la Tipografia Editurii Universității din București

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro

31 lei

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro





Bogdan Andrei Mihai s-a născut în 1971, la Ploieşti, jud. Prahova. În anul 1989 a absolvit cursurile Liceului Teoretic ,,I.L. Caragiale" din oraşul natal, fiind admis în acelaşi an la Facultatea de Geografie, Universitatea din Bucureşti. Este licenţiat, din 1995, în geografie, cu specializarea geomorfologie-pedologie şi magister, din anul 1996, în specializarea ,,Gestiunea durabilă a peisajelor geografice prin organizare şi amenajare regională". Din 1995 a parcurs toate treptele gradelor universitare, ocupând din anul 2006, poziţia de conferenţiar la Facultatea de Geografie a Universităţii din Bucureşti, Catedra de Geomorfologie-Pedologie. Este doctor în geografie din anul 2003, în specializarea geomorfologie, cu teza de doctorat intitulată ,, Munţii din bazinul Timişului (Carpaţii Curburii). Studiu geomorfologic cu privire specială asupra morfodinamicii actuale şi amenajării spaţiului montan" (coordonator ştiinţific prof. dr. M. Ielenicz), apreciată cu titlul ,,*Magna cum Laudae*". Autor a patru cărţi de specialitate şi a peste 40 de articole de specialitate, publicate în reviste cu referenţi din ţară şi străinătate (SUA, Franţa, Polonia, Japonia etc.), precum şi în volumele unor conferinţe internaţionale, desfăşoară o activitate didactică şi de cercetare importantă. Din anul 2003 predă cursuri de teledetecţie şi aerofotointerpretare geografică, reorganizând pe baze cu totul noi, computerizate, laboratorul de specialitate al facultăţii de geografie. A coordonat şi conduce trei proiecte de cercetare, cu aplicaţii în modelarea digitală şi evaluarea hazardelor geomorfologice.
A beneficiat de burse de studii şi cercetare în Franţa, Suedia, Ungaria şi Marea Britanie, precum şi de stagii de documentare în Austria, Polonia, Elveţia etc. Este profesor invitat, conferenţiar, în cadrul programelor Erasmus-Socrates, la universităţile din Olomouc (Republica Cehă), Cracovia (Polonia) şi Klagenfurt (Austria), conferenţiar (2004) şi expert evaluator la Universitatea din Lausanne (Elveţia) Facultatea de Geoştiinţe şi Mediu (2007). În 2004 a condus delegaţia României la Olimpiada Internaţională de Geografie de la Gdynia, Polonia, unde s-au obţinut trei medalii dintre care două de aur. A fost recompensat cu premiul şi diploma de merit a Ministerului Educaţiei şi Cercetării. Din anul 2006 este referent temporar la jurnalul internaţional ,,Remote Sensing of Environment".

ISBN 973737364-2

9789737373656

https://biblioteca-digitala.ro / https://unibuc.ro