

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ

**RAPORT DE CERCETARE
ȘTIINȚIFICĂ NR. 1**

Coordonator științific:
prof. univ. dr. ing. Iohan NEUNER

Student doctorand:
ing. Codruț-George BENEDIC

Anul școlar 2016 - 2017

TEMA TEZEI DE DOCTORAT:
MODELAREA PREDICTIVĂ ȘI VIZUALIZAREA
DATELOR SPAȚIALE ÎN MANAGEMENTUL RISCURILOR

TEMA RAPORTULUI DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ:
STADIUL ACTUAL AL PROBLEMEI MODELAREA PREDICTIVĂ



Cuprins

Lista figurilor	pag. 5
Rezumat	pag. 6
1. Introducere în terminologia modelării predictive	pag. 7
1.1. Regresia - metodă de corelație între variabile	pag. 7
1.1.1. Regresia liniară simplă	pag. 7
1.1.2. Regresia cu intrări multiple	pag. 8
1.1.3. Regresia cu indicatori variabili	pag. 10
2. Utilizarea modelelor predictive spațiale pentru planificarea teritorială a zonelor împădurite	pag. 11
2.1. Zona de studiu, materialele și metodele folosite	pag. 12
2.1.1. Zona de studiu	pag. 12
2.1.2. Variabila dependentă: distribuția curentă a pădurilor de stejari de Pirinei - Eiche	pag. 13
2.1.3. Variabilele independente: modelele digitale ale terenului	pag. 14
2.1.4. Metode: regresia logistică multiplă (LMR)	pag. 15
2.2. Rezultatele metodei regresiei	pag. 16
2.1.1. Evaluarea modelului logistic	pag. 16
2.1.2. Adecvanța modelului pentru stejarul de Pirinei - Eiche	pag. 16
3. Aplicarea tehnologiei GIS în managementul incendiilor în pădurile din Canada	pag. 17
3.1. Integrarea datelor vector și raster în sistemul de management al incendiilor	pag. 18
3.1.1. Modelarea condițiilor meteo în cazul incendiilor	pag. 18
3.1.2. Predicția comportamentului la incendiu	pag. 20
3.1.3. Planul de pregătire în caz de incendiu	pag. 21
3.1.4. Modelarea extinderii incendiului	pag. 22



4. Modelarea predictivă utilizată în domeniul arheologiei	pag. 22
4.1. Modelarea predictivă a siturilor arheologice din regiunea Tricastin - Valdaine (valea mijlocie a Rhône-ului, Franța)	pag. 23
4.1.1. Localizarea zonei de studiu	pag. 23
4.1.2. Modelul predictiv	pag. 24
4.1.2.1. Testul χ^2 (Testul Pearson)	pag. 27
4.1.2.2. Raportul dintre mărimea sitului arheologic și a zonei cercetate	pag. 28
4.1.2.3. Metoda parametrului K_j	pag. 29
5. Predicția scurgerii apei pe cursurile râurilor neuniformizate	pag. 30
5.1. Fragmentarea în hidrologie	pag. 30
5.2. Generalizarea realizată prin analiza comparativă	pag. 31
5.3. Similitudinea în domeniul hidrologiei	pag. 33
5.3.1. Similitudinea climei	pag. 34
5.3.2. Similitudinea bazinelor hidrografice	pag. 34
5.3.3. Similitudinea scurgerii apei	pag. 35
5.4. Metode statistice de predicție pentru scurgerea apei în bazinele neuniformizate	pag. 35
5.4.1. Metoda regresiei	pag. 35
5.4.2. Metoda indicilor	pag. 37
5.4.3. Metode geostatistice	pag. 37
6. Realizarea hărților de risc la inundații în România	pag. 38
6.1. Metode de evaluare a riscului la inundații. Matricea riscului la inundații	pag. 38
6.2. Identificarea zonelor cu risc potențial semnificativ la inundații	pag. 39
6.3. Întocmirea hărților de risc la inundații	pag. 40
Concluzii	pag. 42
Bibliografie	pag. 43



Lista figurilor

- Figura nr. 1.** Ecuația dreptei în cazul regresiei liniare simple pentru exprimarea corespondenței dintre gradele Celsius și gradele Fahrenheit pag. 8
- Figura nr. 2.** Vânzările comparativ cu alocarea banilor pentru publicitate (date fictive) pag. 9
- Figura nr. 3.** Accidentele lunare de mașină din Carolina de Nord, în care sunt implicați cerbii pag. 10
- Figura nr. 4.** Localizarea geografică a provinciei Extramadura din Peninsula Iberică pag. 13
- Figura nr. 5.** Distribuția actuală a stejarului de Pirinei - Eiche din provincia Extramadura, conform cu „Harta pădurilor din Spania” pag. 13
- Figura nr. 6.** Aplicarea modelului logistic pentru zona de studiu pag. 17
- Figura nr. 7.** Informațiile de la teren, care sunt compilate folosind un model de elevație digital (DEM) și utilizate ca intrări într-un model de predicție a comportamentului la incendiu pag. 19
- Figura nr. 8.** Timpii inițiali de acțiune pentru stingerea incendiilor în pădurea „Whitecourt” pag. 20
- Figura nr. 9.** Localizarea zonei de studiu în Franța pag. 23
- Figura nr. 10.** Realizarea unui model pentru calculul parametrului K_j , pentru toate siturile arheologice descoperite și îngropate, din perioadele Paleolitic și Mezolitic pag. 30
- Figura nr. 11.** Modele de vegetație pentru diferite regiuni din Australia pag. 32
- Figura nr. 12.** Harta unei țări imaginare, în care bazinele hidrografice sunt grupate în regiuni pag. 36
- Figura nr. 13.** Exemplu de curbă de durată a fluxului de apă pag. 37
- Figura nr. 14.** Matricea de risc la inundații pag. 39
- Figura nr. 15.** Localizarea zonelor identificate în etapa de evaluare preliminară a riscului la inundații pag. 40
- Figura nr. 16.** Tipuri de metode și surse de date pentru realizarea hărților de risc pag. 41



Rezumat

În acest raport de cercetare am prezentat câteva aspecte din diferite domenii de activitate, din care se poate desprinde modul de evoluție al modelării predictive pe plan internațional și în România. Astfel, modelarea predictivă a unui fenomen presupune înainte de toate, analiza factorilor de influență ai aceluși fenomen și apoi crearea unui model matematic al evoluției fenomenului respectiv. Pentru aceasta se au în vedere relațiile dintre variabilele implicate în cadrul modelului.

În domeniul silviculturii, modelarea predictivă se poate utiliza atât pentru conservarea zonelor împădurite, cât și pentru refacerea pădurilor degradate. Pentru aceasta se estimează evoluția diferitelor specii de copaci. Variabilele de mediu ce se pot lua în considerare sunt expunerea la soare a zonelor împădurite, temperaturile minime și maxime sau cantitatea de precipitații.

Modelarea predictivă a incendiilor de pădure urmărește printre altele modelarea condițiilor meteo în caz de incendiu, predicția comportamentului la incendiu, planul de intervenție în caz de incendiu, care presupune estimarea resurselor necesare și locurile în care se găsesc acestea la un moment dat, precum și previziunea unei posibile extinderi a incendiului. Pentru aceasta este nevoie de sisteme informatice geografice performante, cu o bază de date actualizată, din care să se poată extrage în orice moment informațiile de care este nevoie.

În domeniul arheologiei, modelarea predictivă are ca scop identificarea zonelor unde se găsesc situri arheologice. Pentru acest lucru se face o analiză a structurii solului și a depunerii sedimentelor în decursul timpului. Relația dintre locația unui sit arheologic și evoluția geomorfologică este influențată de raportul debitelor solide și lichide de pe un curs de apă. Aceasta duce la acumularea unei cantități diferite de sedimente de la o perioadă la alta.

Modelarea scurgerii apelor dintr-un bazin hidrografic presupune împărțirea bazinului în zone distincte, în funcție de relief, condițiile climatice, structura solului și vegetație. Aceste zone se analizează separat, se generează modele matematice pentru fiecare zonă și apoi aceste modele se unesc într-un model care prezintă predicția scurgerii apelor pentru întreg bazinul hidrografic.

În țara noastră, modelarea predictivă folosind sistemele informatice geografice este la un stadiu incipient de dezvoltare. Acest lucru se datorează faptului că sistemele informatice geografice nu sunt foarte dezvoltate și accesului încă dificil la datele necesare pentru realizarea bazelor de date. Pe partea de management a riscurilor se realizează hărți de risc la inundații, pe baza informațiilor din trecut, cu privire la zonele în care s-au produs acestea, dar modelarea predictivă a riscului presupune și estimarea evoluției inundațiilor, folosind statistica matematică.



1. Introducere în terminologia modelării predictive

Modelarea predictivă este numele dat unei colecții de tehnici matematice, care au ca scop descoperirea unei relații matematice între o variabilă țintă, un răspuns sau o variabilă „dependentă” și diferite estimări ale acelei variabile sau între variabile „independente”. Conform cu [5], prin aceasta se urmărește măsurarea valorilor viitoare ale acestor estimări și introducerea lor într-o relație matematică pentru a prezice valorile viitoare ale variabilei țintă.

Aceste relații matematice nu se pot pune niciodată perfect în practică. De aceea, este de dorit să dăm anumite măsuri de incertitudine pentru estimări. De obicei, se folosește un interval de predicție, care are un interval de încredere asumat de 95%.

1.1. Regresia - metodă de corelație între variabile

1.1.1. Regresia liniară simplă

În cazul regresiei liniare simple, erorile măsurărilor sunt independente. Nu există erori în măsurarea valorilor variabilei dependente. Modelul relațional, de care depinde regresia, trebuie identificat corect. Variația valorilor variabilei Y este aceeași pentru toate valorile variabilei X . Valorile variabilei Y urmează o distribuție normală, după cum se poate observa în cadrul [2].

Variabila rezultată este variabila Y , iar variabila predictor este variabila X .

Un exemplu în acest sens este transformarea în grade Fahrenheit, când se cunoaște valoarea în grade Celsius, sau invers.

$$F = 32 + 1.8^{\circ} C \quad (1.1)$$

Această formulă descrie o linie perfectă.

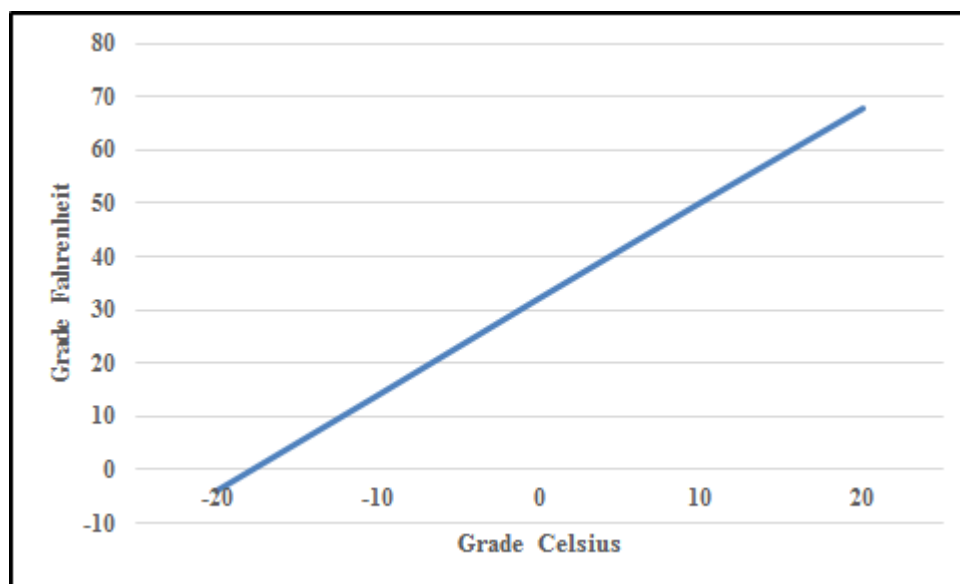


Figura nr. 1. Ecuația dreptei în cazul regresiei liniare simple pentru exprimarea corespondenței dintre gradele Celsius și gradele Fahrenheit

Formula generală a dreptei de regresie este:

$$Y = a + b \cdot X \quad (1.2)$$

Ecuația de predicție este:

$$\tilde{Y} = a + b \cdot X \quad (1.3), \text{ unde:}$$

a - reprezintă *interceptul*;

b - reprezintă *coeficientul (panta) dreptei*;

X - reprezintă *predictorul (variabila estimată)*.

În cazul ecuației regresiei liniare, a și b sunt constante, iar valorile care se modifică sunt cele corespunzătoare variabilelor X și Y , așa cum se prezintă în cadrul [2].

Panta „ b ” reprezintă cantitatea cu care se modifică valoarea variabilei dependente „ Y ”, în cazul în care se modifică valoarea variabilei independente „ X ” cu o unitate.

Interceptul „ a ” reprezintă valoarea variabilei dependente „ Y ”, atunci când valoarea variabilei independente „ X ” este egală cu zero.

$$a = \bar{Y} - b \cdot \bar{X} \quad (1.4)$$



1.1.2. Regresia cu intrări multiple

Când există două sau mai multe estimări ale unei variabile, pot să apară probleme suplimentare. Acest lucru este cunoscut ca multicolaritate.

Pentru exemplificarea regresiei cu intrări multiple, se prezintă modul în care managerii magazinelor dintr-un lanț comercial alocă costurile pentru publicitate pe spoturi de radio și televiziune.

Y reprezintă vânzările, X_1 reprezintă publicitatea la radio, iar X_2 reprezintă publicitatea la T.V..

Vânzările comparativ cu alocarea banilor pentru **publicitate la T.V.**, pentru **publicitate la radio** și pentru publicitate atât la radio, cât și la T.V..

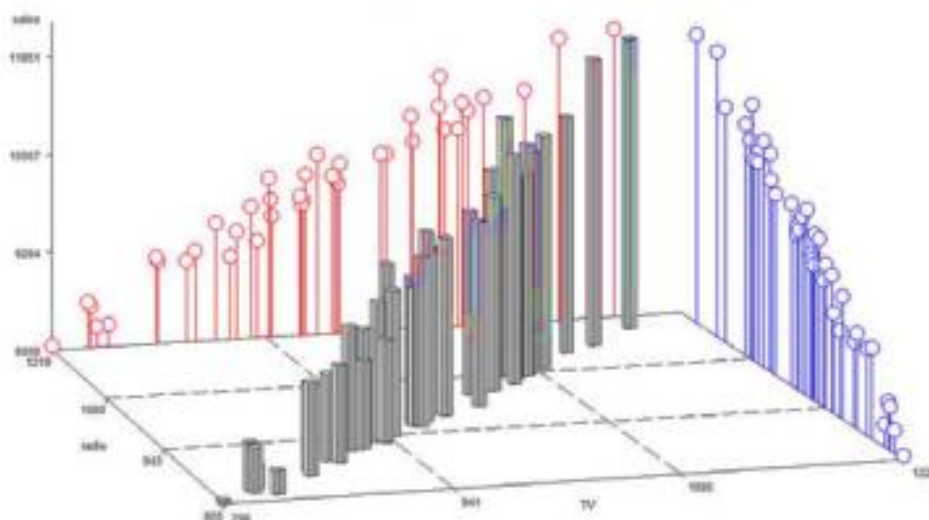


Figura nr. 2. Vânzările comparativ cu alocarea banilor pentru publicitate (date fictive)

(Sursa: Dickey, Alan David, 2012)

Împreună cu graficul 3D, în **figura nr. 2** sunt prezentate și două grafice 2D, reprezentând: vânzările în comparație cu alocarea banilor pentru publicitate la T.V. în partea din spate, respectiv vânzările în comparație cu alocarea banilor pentru publicitate la radio în partea dreaptă, așa cum se arată în [5].

Se poate observa că prismele 3D au bazele așezate aproape pe linia în care costurile pentru publicitatea la T.V. sunt egale cu cele pentru publicitatea la radio. Aceasta înseamnă că managerii magazinelor, care primesc alocări totale diferite pentru publicitate, tind să le împartă în mod egal între publicitatea la radio și publicitatea la T.V.. Cu alte cuvinte, X_1 este aproximativ egal cu X_2 , unde X_1 și X_2 reprezintă sumele cheltuite pentru publicitatea la radio și la T.V.. Din aceasta rezultă că dacă $X_1 = X_2$ și vânzările sunt egale cu $\beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2$, putem să înlocuim $X_1 = X_2$ și să obținem vânzările $\beta_0 + 0 \cdot X_1 + (\beta_1 + \beta_2) \cdot X_2$ sau $\beta_0 + (\beta_1 + \beta_2) \cdot X_1 + 0 \cdot X_2$ sau $\beta_0 + 5 \cdot$



$X_1 + (\beta_1 + \beta_2 - 5) \cdot X_2$ sau oricare din numărul infinit de modele bune de ecuații pentru vânzări, de forma $\beta_0 + C \cdot X_1 + (\beta_1 + \beta_2 - C) \cdot X_2$ și putem să alegem orice valoare pentru constanta „C” (de exemplu, $C = \beta_1 + \beta_2$ sau $C = 5$).

1.1.3. Regresia cu indicatori variabili

În **figura nr. 3** se prezintă un grafic al numărului de accidente cu cerbi, în care sunt implicate autovehiculele în Carolina de Nord.

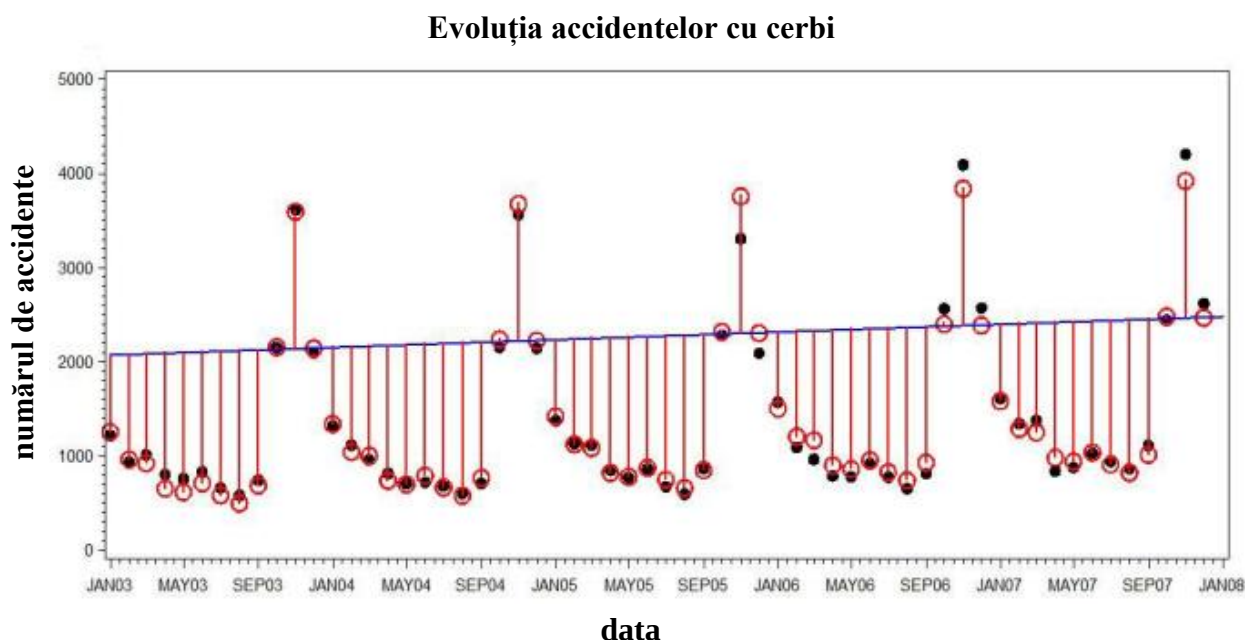


Figura nr. 3. Accidentele lunare de mașină din Carolina de Nord, în care sunt implicați cerbii. Numerele sunt puncte și predicțiile sunt cercuri

(Sursa: Dickey, Alan David, 2012)

Datele au fost preluate de-a lungul timpului și se poate observa o ușoară tendință de creștere a numărului de accidente cu cerbi. Acest lucru se poate datora vitezei crescute de deplasare a autovehiculelor, a creșterii numărului de cerbi sau a ambelor. Datele sunt lunare și se poate observa un model care se repetă lună de lună.

Din graficul prezentat în **figura nr. 3** se pot observa valori ridicate ale numărului de accidente cu cerbi în luna noiembrie, când este perioada de împerechere a cerbilor.

Conform cu [5], acest efect se poate modela folosind indicatori sau variabile „fictive”. De exemplu, se poate crea o variabilă *NOV* care să ia valoarea 1 în luna noiembrie și valoarea 0 în celelalte luni ale anului.

Un model de forma $Accidente = 100 + 20 \cdot NOV$, estimează că s-ar putea produce 120 de accidente pentru luna noiembrie și 100 de accidente pentru toate celelalte luni ale anului.



Un alt model, $Accidente = 100 + 3 \cdot t + 20 \cdot NOV$, estimează că numărul de accidente cresc liniar în perioada „t” cu valorile din noiembrie care se situează cu 20 de unități peste o linie, considerată ca linie de bază. Pentru fiecare lună pot fi incluse în model variabile indicator, permițând fiecărei valori să devieze de la linie. Dacă se folosesc 12 variabile indicator, câte una pentru fiecare lună, linia de bază va avea o înălțime arbitrară. În cazul folosirii a 12 variabile, coeficienții nu sunt unic determinați, ceea ce este o problemă. O soluție este eliminarea unui indicator lunar, de exemplu cel din luna decembrie, astfel încât linia să prezică accidentele din luna decembrie, iar ceilalți 11 indicatori să aibă coeficienți care să arate abaterile de la linia de bază a lunii decembrie față de celelalte luni.

În **figura nr. 3** este prezentat un grafic, în care datele sunt reprezentate prin puncte. Predicțiile sunt cercuri, iar linia trece prin valorile predicționate pentru accidentele din luna decembrie. Valorile ridicate în fiecare an sunt cele din luna noiembrie (perioada de împerechere), de la care datele din luna decembrie sunt ușor de identificat. Se poate observa, de asemenea, că abaterile din luna octombrie, față de linia de bază pentru luna decembrie, sunt aproape de zero pentru datele luate în considerare în acest studiu.

2. Utilizarea modelelor predictive spațiale pentru planificarea teritorială a zonelor împădurite

Prin planificarea teritorială a zonelor cu păduri se încearcă să se rezolve diferite probleme, cum ar fi conservarea pădurilor existente și refacerea zonelor cu păduri degradate. Pentru o planificare corectă este necesar să cunoaștem potențialul forestier al teritoriului. Acesta se exprimă cartografic cu ajutorul modelelor potrivite. Astfel de modele se pot genera prin metode de analiză spațială, cu referire la un set de variabile care influențează mediul înconjurător. Aceste variabile indică prezența sau absența unui anumit tip de pădure într-o anumită zonă, după cum se prezintă în [8].

Într-o zonă cum este Peninsula Iberică, unde pădurile au fost tăiate în mod constant de-a lungul secolelor, două dintre obiectivele principale ale oricărui plan de zonare forestieră sunt reducerea fragmentării pădurilor și conservarea biodiversității acestora.

Pentru realizarea acestor obiective sunt necesare informații din teren de o calitate bună, care să ajute la cunoașterea teritoriului, precum și acțiuni de orientare prin intermediul unei vederi tri-dimensionale a zonei de studiu.

Modelele adecvate sunt rar folosite în planificarea forestieră și utilitatea lor este demonstrată în cele ce urmează.



Un model adecvat pentru planificarea forestieră este o hartă în care fiecare pixel are asociată o valoare specifică a reflectanței, pentru o utilizare dată. Modele adecvate pot fi generate prin diverse tehnici, ca de exemplu regresia logistică sau regresia liniară multiplă.

Conform cu [17], prin regresia logistică se „modelează relația dintre o mulțime de variabile independente și o variabilă dependentă”.

Toate tehnicile necesită o hartă cu vegetația (variabilă dependentă) și un set de variabile ale mediului înconjurător (climatice, topografice, litologice, etc.), care au potențial de influență asupra distribuției vegetației. Metodele presupun stabilirea relațiilor dintre variabilele de mediu și distribuția spațială a vegetației. În mod obișnuit, fiecare tip de vegetație va corespunde unui model diferit. Aceasta este o consecință a cerințelor diferite ale tipurilor de vegetație asupra mediului înconjurător.

Zona „adecvată” într-un model este zona care trebuie să reflecte potențialul zonei pentru tipul de vegetație considerat, după cum se specifică în [8]. De obicei, zonele cu distribuție actuală sunt mai puține decât zonele cu distribuție potențială. Aceasta se datorează faptului că pădurile au fost identificate pornind de la zonele în care au fost prezente în trecut.

Cunoscând aria de distribuție potențială, putem să obținem date valoroase pentru acțiunile de reconstituire, precum și să delimităm zonele în care astfel de acțiuni sunt prioritare.

2.1. Zona de studiu, materialele și metodele folosite

2.1.1. Zona de studiu

Extremadura este una dintre cele 17 comunități autonome din Spania (**figura nr. 4**). Având o suprafață de 41.680 km^2 , are un climat mediteranean temperat datorită apropierii de mare și a penetrării fronturilor oceanice de la vest. În această regiune a Spaniei predomină 3 specii de copaci, și anume: stejarul de stâncă (pe o suprafață de 19.600 km^2), stejarul de plută (pe o suprafață de 3.140 km^2) și stejarul de Pirinei - Eiche (pe o suprafață de 2.160 km^2).

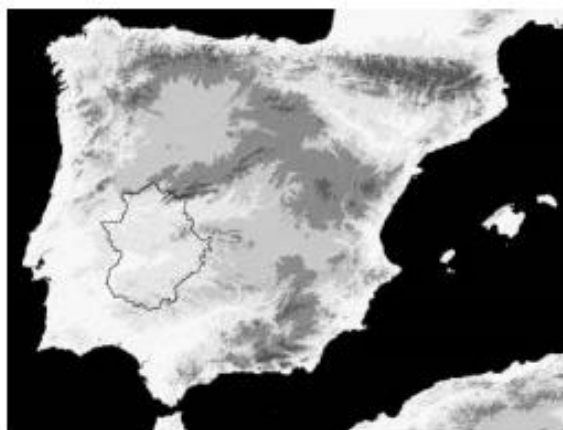


Figura nr. 4. Localizarea geografică a provinciei Extremadura din Peninsula Iberică
(Sursa: Felicísimo, M. Ángel, 2003)

2.1.2. Variabila dependentă: distribuția curentă a pădurilor de stejari de Pirinei - Eiche

Harta cu distribuția curentă a stejarului de Pirinei- Eiche, prezentată în **figura nr. 5**, a fost generată având ca bază „Harta pădurilor din Spania”. Această hartă a pădurilor din Spania este realizată de către Direcția Generală de Conservare a Naturii, aparținând de Ministerul Mediului Ambiant.



Figura nr. 5. Distribuția actuală a stejarului de Pirinei - Eiche din provincia Extramadura, conform cu „Harta pădurilor din Spania” (zonele cu negru, aproximativ 2.160 km²)
(Sursa: Felicísimo, M. Ángel, 2003)



2.1.3. Variabilele independente: modelele digitale ale terenului

Conform cu [8], variabilele mediului înconjurător, cu potențial de influență asupra zonelor cu păduri de stejar de Pirinei - Eiche, au fost următoarele:

- ✓ elevația: modelul digital de elevație (DEM) a fost realizat utilizând algoritmul de triangulație Delaunay, prin digitizarea curbelor hipsografice, urmată de o transformare într-un grid cu structură regulată, cu dimensiunea celulei de 100 m;

Conform cu [4], hipsografia reprezintă „o ramură a geomorfologiei, care se ocupă cu descrierea reliefului după altitudine”.

- ✓ expunerea potențială la soare: modelele au fost realizate prin simulare, pornind de la un model digital de elevație (DEM), analizând umbrirea terenului ca o funcție a traiectoriei soarelui pentru perioade de timp standard. Rezultatul este un estimator al perioadei de timp în care fiecare punct de pe suprafața terenului primește radiație solară directă, cu o rezoluție temporală de 20 minute și o rezoluție spațială de 100 m;

Rezoluția temporală, așa cum se specifică în [18], reprezintă „intervalul de timp în limitele căruia un sistem de teledetecție a înregistrat imagini. Aceasta reprezintă momentul de timp, bine precizat (anul, luna, ziua, ora), la care a fost înregistrată o imagine”.

Conform aceleiași surse, rezoluția spațială este definită ca fiind „dimensiunea liniară a celui mai mic obiect din teren reprezentat într-o imagine. Ea poate fi considerată și ca lățimea liniei care separă două obiecte învecinate de mici dimensiuni dintr-o imagine, ca de exemplu un automobil și o clădire. La imaginile digitale, rezoluția spațială corespunde dimensiunii în teren a laturii unui pixel, cel mai mic element ce alcătuiește imaginea respectivă”.

- ✓ mediile maxime și minime ale temperaturilor: interpolate de la un total de 140 de stații meteorologice, prin funcții spline, reprezentate prin curbe plate, subțiri, cu o rezoluție spațială de 500 m;
- ✓ cantitatea totală de precipitații pe o perioadă de 3 luni: interpolată de la un total de 276 de stații meteorologice, prin funcții spline, reprezentate prin curbe plate, subțiri, cu o rezoluție spațială de 500 m.

Notă: Ultimile două seturi de date au fost obținute de la Institutul Național de Meteorologie din Spania.



2.1.4. Metode: regresia logistică multiplă (LMR)

Regresia logistică multiplă s-a folosit ca o metodă de prognoză, pentru a genera modele de probabilitate în diverse domenii, precum: epidemiologie, prospectare geologică, silvicultură sau conservarea animalelor sălbatice. Metoda regresiei logistice multiple (LMR) este adecvată deoarece variabila dependentă este dihotomică (prezentă / absentă) și modelul admite variabile independente non-gaussiene. În final, rezultă valori care variază de la 0 la 1. Din această cauză este recomandat să se genereze un model probabilistic adecvat.

Introducerea unei componente spațiale în cadrul regresiei logistice multiple pentru a genera modele cartografice a început să se facă de curând. De obicei, metoda regresiei logistice multiple este integrată în cadrul sistemelor informatice geografice. Un exemplu în acest sens este generarea unui model al distribuției speciei de plante „*Carex curvula*” în Alpii elvețieni, folosind aplicația „ArcGIS”, dezvoltată de către compania „ESRI Inc.”. Un studiu asemănător s-a făcut asupra vegetației acvatice, folosind aplicația „GRASS GIS”, dezvoltată de către „US Army Construction Engineering Research Laboratory” („Laboratorul de cercetare în ingineria construcțiilor, al armatei Statelor Unite ale Americii”).

În final s-au generat modele logistice pentru regiunea Cantabria din Spania, folosind aplicația „ArcGIS”. Procedura și bazele statistice sunt detaliate aici. Modelul logistic exprimă caracterul adecvat, și anume respectarea valorilor a „ n ” variabile explicative, care verifică următoarea relație:

$$P(i) = \frac{1}{1 + e^{-(b(0) + b(1) \cdot x(1) + \dots + b(n) \cdot x(n))}} \quad (2.1)$$

unde $P(i)$ reprezintă valoarea adecvată (potrivită), $x(1) \div x(n)$ valorile variabilelor de mediu, iar $b(1) \div b(n)$ coeficienții variabilelor de mediu. Rezultatele pentru fiecare pixel variază între 0 (incompatibil) și 1 (ideal).

Coeficienții de regresie s-au calculat printr-un sondaj stratificat în zonele de prezență / absență a pădurilor de stejari de Pirinei - Eiche, așa cum se precizează în cadrul [8]. Procedura pentru aceasta este următoarea:

1. S-au făcut două eșantionări aleatoare asupra fiecărei zone cu păduri sau fără păduri. Prima eșantionare s-a utilizat pentru a genera modelul (eșantion de formare) și a doua pentru a testa performanța acestuia (eșantion de testare). Ambele eșantioane au un număr egal de cazuri pozitive și negative.



2. Regresia logistică s-a realizat folosind un soft comercial pentru statistică, prin metoda „stepwise” („în trepte”), prin maximizarea probabilității.
3. Gradul de adecvare al modelului s-a estimat prin compararea rezultatelor eșantionului de formare cu cele ale eșantionului de testare, pentru câteva valori prag, măsurând zona de sub curba „ROC” (curba caracteristică de funcționare a receptorului).

Conform cu [19], curba caracteristică de funcționare a receptorului („ROC”), este o curbă bidimensională, în care pe axa Y avem sensibilitatea și pe axa X avem specificitatea. Această curbă ne ajută să măsurăm eficiența unui model. Cu cât aria de sub curbă este mai mare (maximum este 1), cu atât modelul este mai bun.

Pentru studiul gradului de adecvare a unui model, trebuie urmărită legătura dintre predicție și răspuns.

Sensibilitatea reprezintă numărul de cazuri cu predicții pozitive supra numărul de cazuri cu răspunsuri pozitive.

Specificitatea reprezintă numărul de cazuri cu predicții negative supra numărul de cazuri cu răspunsuri negative.

Prin clasificare se obține probabilitatea de apartenență la o clasă, conform cu [14]. În regresia logistică, valorile prezise sunt probabilitățile de apartenență la o clasă. Pragul de discriminare este limita impusă probabilităților estimate de atribuire a observațiilor pentru fiecare clasă.

În final s-a aplicat ecuația regresiei logistice pentru întreg teritoriul, pentru a genera modelul probabilistic. Rezultatele s-au comparat cu datele existente pe hărțile de vegetație.

2.2. Rezultatele metodei regresiei

2.2.1. Evaluarea modelului logistic

Capacitatea modelului predictiv (acuratețea acestuia) poate fi evaluată ca procentul cazurilor de clasificare corectă, atât pentru prezența, cât și pentru absența pădurilor din zona supusă studiului. Metoda obișnuită este de a considera zona de sub curba „ROC” („AUC” - „Area Under the ROC curve”), calculată pornind de la valorile sensibile sau specifice. „AUC” ia o valoare maximă egală cu 1 pentru un model cu o potrivire perfectă. În cazul nostru, valoarea indicatorului „AUC” acoperă o zonă de 0,973, ceea ce reprezintă o acuratețe foarte bună a modelului.



2.2.2. Adecvanța modelului pentru stejarul de Pirinei - Eiche

Ultima etapă pentru a crea modelul este generarea unei hărți, aplicând modelul logistic pentru întreg teritoriul. Rezultatele sunt prezentate în **figura nr. 6**. Valorile au fost clasificate în 5 clase adecvate, pentru a ușura interpretarea.

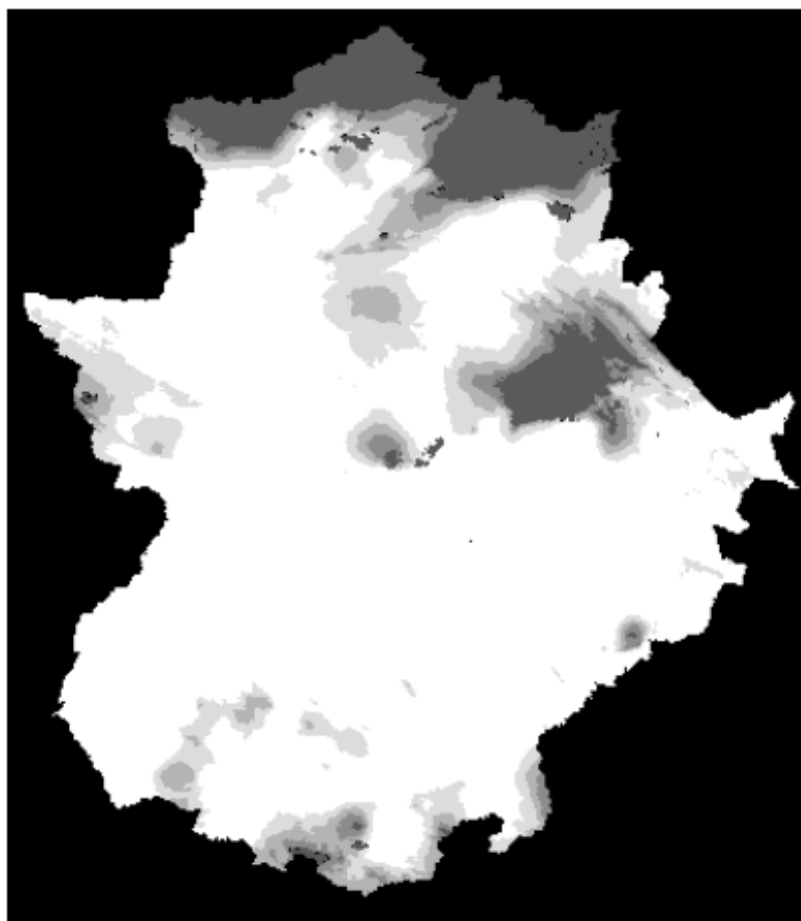


Figura nr. 6. Aplicarea modelului logistic pentru zona de studiu. Valorile din legendă sunt următoarele: alb: $0,00 \div 0,10$ (incompatibil); gri deschis: $0,11 \div 0,25$; gri mediu: $0,26 \div 0,50$; gri închis: $0,51 \div 0,75$; gri foarte închis: $0,76 \div 1,00$. Zona din afara zonei de studiu este reprezentată cu negru.

(Sursa: Felicísimo, M. Ángel, 2003)

3. Aplicarea tehnologiei GIS în managementul incendiilor în pădurile din Canada

Agențiile de management împotriva incendiilor din pădurile din Canada au devenit mai dependente de sistemele de luare a deciziei, bazate pe planificare și luarea deciziei în timp real, așa cum se precizează în cadrul [9]. În special, integrarea Sistemelor Informatice Geografice a devenit din ce în ce mai importantă pentru modelarea realistă a pericolului de incendii ale pădurilor



și pentru predicția modului de evoluție ale acestora. Câteva sisteme operaționale au fost implementate cu succes și eficient. Sistemul Informațional Inteligent de Management al Incendiilor, „IFMIS” („Intelligent Fire Management Information System”), un computer personal, bazat pe un suport de luare a deciziilor, dezvoltat de către „Forestry Canada”, pentru managementul operațional al incendiilor de pădure, este o excepție. Urmărind design-ul și principiile „IFMIS”, „Forestry Canada” a proiectat generația următoare a Sistemului Informațional de Management al Incendiilor („FMIS”). Prin utilizarea tehnologiei GIS, disponibilă comercial, prototipul sistemului „FMIS” a fost gata pentru testare în anul 1993.

3.1. Integrarea datelor vector și raster în sistemul de management al incendiilor

Managementul operațional al incendiilor de pădure este o problemă spațială. Datele folosite pentru gestionarea incendiilor sunt atât date vector (punct, linie și poligon), cât și date raster (structuri, rețele) în natură. Conform cu [9], tehnicile spațiale care se folosesc în managementul incendiilor de pădure sunt interpolarea continuă a suprafeței, secvențierea temporală, distanța euclidiană și analiza pagubelor pe suprafețele distruse de incendiile de păduri.

Modelele de incendii de pădure, dezvoltate de-a lungul anilor de către cercetătorii din cadrul „Forestry Canada”, au fost încorporate în prototipul care utilizează funcții caracteristice sistemelor GIS și interfețe de aplicații programabile („API”).

Aceste aplicații folosesc o hartă de bază, date topografice, date privind inventarul forestier, date privind combustibilii forestieri și date meteorologice în timp real, integrat.

Scenariile implementate în cadrul sistemului de management al incendiilor au abordat o serie de cerințe privind planificarea pregătirii pentru incendiile forestiere, care includ: modelarea condițiilor meteo în cazul incendiilor, modelarea tipului de combustibil, predicția comportamentului la incendiu, evaluarea incendiilor forestiere, precum și desfășurarea resurselor pentru stingerea incendiilor.

3.1.1. Modelarea condițiilor meteo în cazul incendiilor

Sistemul canadian pentru prognoza meteo în cazul incendiilor forestiere („FWI”), dezvoltat de către „Forestry Canada”, este folosit în Canada, Alaska și alte țări din lume, pentru a modela și estima condițiile meteo în cazul incendiilor. Sistemul „FWI” estimează condițiile de umiditate ale combustibililor forestieri. Condițiile meteo includ temperatura, umiditatea relativă, viteza vântului de peste 10 m/s și precipitațiile.



Datele de intrare se obțin printr-o rețea a stațiilor meteo pentru incendiile de pădure, utilizând fie stații pentru incendiu manuale, fie stații pentru incendiu automate. Această monitorizare (urmărire) continuă a condițiilor meteo în timpul perioadei de incendii duce la un mare volum de date care trebuie să fie extrapolate spațial peste zona împădurită, la intervale zilnice sau orare.

Stațiile meteorologice de incendiu reprezintă puncte (vectori) de probă, pe o suprafață continuă, cu mai multe straturi. De obicei, stațiile meteorologice sunt situate la 50 kilometri depărtare. Utilizând funcția de modelare a sistemelor GIS, datele de intrare ale punctelor de probă sunt extrapolate peste un grid regulat. Pentru acest lucru se folosesc tehnicile de interpolare cele mai potrivite. După ce s-au realizat straturile pentru datele de intrare, folosind aplicația GIS, pot fi calculați indicii de umiditate ai combustibilului și de comportament la foc. Pentru aceasta se aplică modelele „FWI” pentru fiecare celulă. Așa cum se specifică în cadrul [9], modelarea se termină prin „suprapunerea” fiecărui strat care conține datele de intrare, rezultând 6 straturi noi, care au ca atribuit starea de pericol datorată incendiilor de pădure.

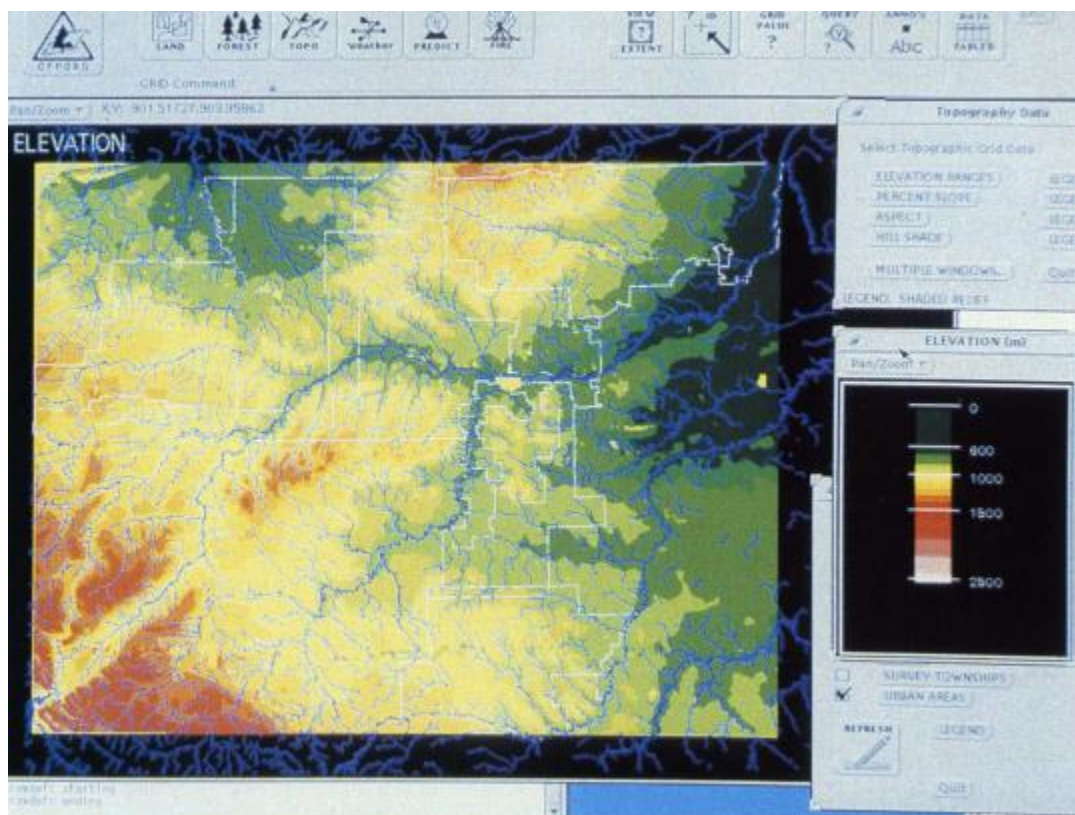


Figura nr. 7. Informațiile de la teren, care sunt compilate folosind un model de elevație digital (DEM) și utilizate ca intrări într-un model de predicție a comportamentului la incendiu

(Sursa: Lee, Bryan S. și David J. Buckley, iunie 1992)



3.1.2. Predicția comportamentului la incendiu

Predicția comportamentului la incendiu este cantitativă, spațială și temporală. Conform cu [9], utilizând informațiile despre condițiile meteo, combustibili și cele referitoare la teren ca intrări, se pot face estimări cantitative ale evoluției incendiului, consumului de combustibil sau legate de potențialul de dezvoltare a incendiului.

Prototipul încorporează ecuații dezvoltate empiric, de la Sistemul canadian de predicție a comportamentului la incendiu („FBP”). Sistemul „FBP” estimează rata accelerată de extindere („ROS”) a incendiului pentru diferiți combustibili, utilizând date de intrare privind condițiile meteo, tipul de combustibil și date referitoare la teren. Datele de ieșire suplimentare ale sistemului „FBP” includ intensitatea de început a incendiului („HFI”), procentajul de copaci arși din cauza incendiului („CFB”) și consumul total de combustibil („TFC”).

Modelul cartografic prezentat în **figura nr. 8** arată cum fiecare strat de date din componența Sistemului Informațional Geografic (GIS) este procesat pentru a se realiza hărți secundare și terțiare.

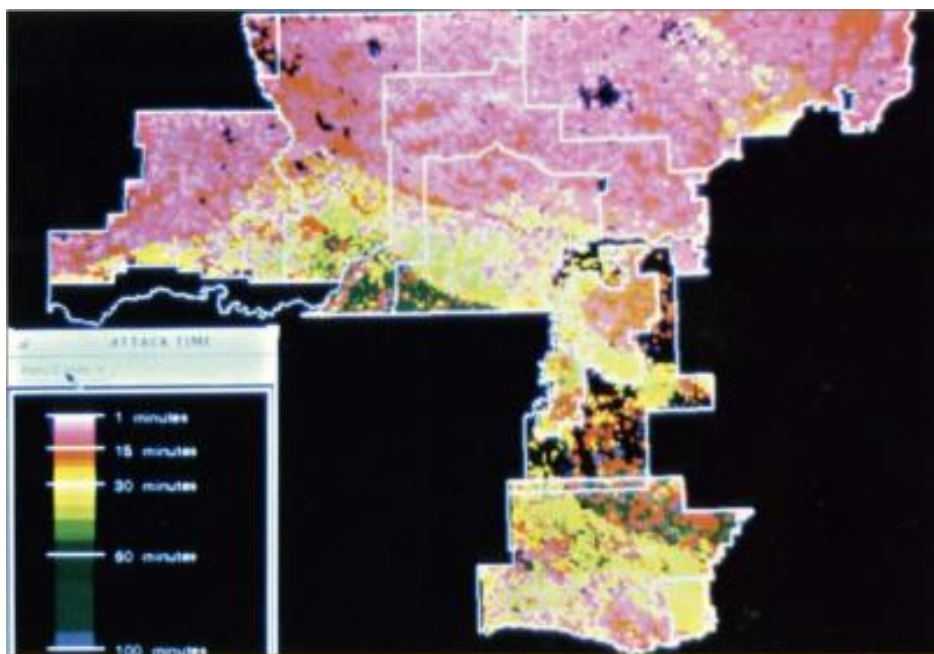


Figura nr. 8. Timpii inițiali de acțiune pentru stingerea incendiilor în pădurea „Whitecourt” (Acești timpi au la bază rata de extindere calculată pentru incendii și mărimea incendiilor.)

(Sursa: Lee, Bryan S. și David J. Buckley, iunie 1992)



Utilizând sistemului „FBP” împreună cu baza de date privind condițiile de mediu din cadrul pădurilor și interpolarea valorilor „FWI” (cele privind condițiile meteo), prin sistemul „IFMIS” se pot obține hărți ale comportamentului potențial la incendiu, ca de exemplu „ROS”, „HFI”, „CFB” sau „TFC”.

Observație: Semnificația abrevierilor a fost prezentată mai sus.

3.1.3. Planul de pregătire în caz de incendiu

În partea de vest a Canadei, câteva agenții de management a incendiilor de pădure au adoptat planuri de pregătire în cazul incendiilor forestiere. Acest lucru s-a făcut cu scopul de a determina cerințele zilnice de stingere a incendiilor. Planul de pregătire în caz de incendiu este procesul de asigurare cu resurse adecvate pentru stingerea incendiilor, pentru a face față incendiilor anticipate zilnic. Planul de pregătire în caz de incendiu se bazează pe filozofia de detectare din timp a incendiilor de pădure și pe acțiunea rapidă în cazul declanșării acestora. Pentru a se realiza acest obiectiv, pentru toate incendiile trebuie să se acționeze din faza inițială, înainte de a se ajunge la o situație critică.

Folosind o astfel de strategie, prototipul poate evalua eficiența resurselor amplasate dinainte într-o anumită regiune dintr-o pădure. Această evaluare se poate face zilnic sau din oră în oră.

Pentru fiecare celulă, prototipul calculează timpul necesar de reacție în cazul unui eventual incendiu. Acest criteriu al timpului scurs, denumit timp de reacție, poate fi afișat pe hartă. Având aceste informații, managerul de incendii forestiere poate determina cât de multe resurse pot ajunge la o celulă la un moment dat, pe baze predeterminate. Timpul scurs include atât timpul de întoarcere, cât și timpul de deplasare către o celulă. Folosirea unei reprezentări de tip raster, în locul reprezentării vectoriale, permite aplicației GIS să calculeze, în mod constant, timpul necesar pentru a ajunge de la bază la fiecare celulă. Numărul de resurse necesare și locația lor optimă în pădure pentru intervenția rapidă în cazul unui eventual incendiu, se determină prin integrarea bazei de date spațiale a Sistemului Informatic Geografic (GIS-ului), cu algoritmi de programare liniară elaborați de către „Forestry Canada”. După cum se precizează în [9], folosind sistemul „IFMIS” și această abordare, se estimează că în provincia Alberta au reușit să se economisească 4 milioane de dolari anual, costuri necesare pentru stingerea incendiilor de pădure.



3.1.4. Modelarea extinderii incendiului

Odată ce incendiul a fost detectat, sistemul GIS poate juca un alt rol foarte important. Utilizând date meteorologice actuale și previzionate, se pot face estimări privind creșterea intensității incendiului. Acest lucru este posibil numai prin utilizarea unei structuri de date raster, pe baza căreia poate fi obținută o suprafață potențială de cost, „ROS”. Utilizând secvențierea temporală, se poate estima creșterea în intensitate și extinderea incendiului. Aceste informații pot fi folosite apoi de către managerul de incendiu, pentru a determina strategiile optime de stingere a incendiilor. Conform cu [9], aceste strategii au în vedere următoarele: numărul de echipaje necesare a fi trimise, numărul de cisterne cu aer necesare la locul incendiului, locurile unde este necesar să se facă șanțuri pentru împiedicarea extinderii incendiului, precum și zonele care sunt amenințate de incendiu și trebuie protejate.

4. Modelarea predictivă utilizată în domeniul arheologiei

În domeniul arheologiei, modelarea predictivă este o tehnică care încearcă să prezică locurile în care se găsesc siturile arheologice. Modelarea predictivă în acest domeniu pleacă de la ipoteza că localizarea rămășițelor arheologice nu este una întâmplătoare, ci este legată de anumite caracteristici ale mediului natural, așa cum se precizează în cadrul [13].

Motivul pentru care se dorește realizarea unui model predictiv pentru arheologie este unul de natură practică. Atunci când timpul și banii nu permit o cercetare arheologică completă asupra unei zone, un model predictiv poate servi ca instrument pentru alegerea zonelor unde este cel mai probabil să existe fenomene arheologice de interes. Cercetarea se va concentra apoi pe aceste zone. Astfel, se va obține o rentabilitate maximă a investiției.

Această situație este frecvent întâlnită în managementul resurselor culturale, când arheologii sunt forțați să decidă ce să investigheze, având în vedere bugetele limitate și timpul scurt avut la dispoziție.

De asemenea, desemnarea zonelor importante din punct de vedere arheologic, folosind modelarea predictivă, poate fi folosită pentru a convinge politicienii și dezvoltatorii să aleagă zonele cu cel mai mic „risc arheologic” pentru planurile lor.



4.1. Modelarea predictivă a siturilor arheologice din regiunea Tricastin - Valdaine (valea mijlocie a Rhône-ului, Franța)

4.1.1. Localizarea zonei de studiu

Valea mijlocie a râului Rhône este localizată la granița zonelor climatice mediteranean, central european și cel al munților Alpi. În zona văii mijlocii a Rhône-ului se află regiunea Tricastin - Valdaine. Această regiune are o suprafață de 1086 km^2 și este situată în partea estică a râului Rhône, după cum se poate observa în **figura nr. 9**.



Figura nr. 9. Localizarea zonei de studiu în Franța

(Sursa: Verhagen, Jacobus Wilhelmus Hermanus Philippus, 2007)

Așa cum se arată în [13], zona este formată din două regiuni distincte. În partea de nord se află bazinul Valdaine. Acesta cuprinde văile râurilor Roubion și Jabron, înconjurată de dealurile prealpine, datând din Terțiar. Cel mai important oraș din această regiune este Montélimar. La sud, bazinul râului Tricastin formează o zonă de tranziție largă între albia râului Rhône, faliile aluvionare laterale care datează din Holocen și dealurile prealpine care datează din Terțiar. Cele mai importante orașe din această regiune sunt Pierrelatte, St-Paul-Trois-Châteaux și Bollène.

Din cauza localizării sale într-o zonă de graniță climatică și geologică, atât creșterea vegetației, cât și procesele geomorfologice din valea mijlocie a râului Rhône sunt foarte sensibile la schimbarea climei și la modificările produse de om. În această zonă s-au produs fenomene de eroziune și sedimentare încă de la începutul Holocenului. Din cauza acestei schimbări a peisajului, multe rămășițe arheologice sunt îngropate sub suprafața actuală, în special în zona aluvionară a râului Rhône.



Scopul acestui studiu este de a arăta că utilizarea rezultatelor anchetei tradiționale pe teren, nu vor detecta siturile arheologice îngropate. De asemenea, folosirea acestor rezultate pentru analiza relației dintre localizarea unui sit arheologic și caracteristicile peisajului, poate duce atât la o reprezentare greșită a distribuției siturilor în raport cu unitățile peisagistice, cât și a volumului de sedimente existente într-un sit arheologic. Pentru aceasta s-au întocmit hărți predictive calitative ale zonei și s-a făcut o extrapolare cantitativă a densității siturilor unde se găsesc îngropate cele mai multe sedimente.

4.1.2. Modelul predictiv

Pentru cele mai multe studii de modelare predictivă, relația dintre localizarea siturilor și una sau mai multe caracteristici ale reliefului se deduce prin suprapunerea într-o aplicație GIS a locațiilor cunoscute ale siturilor arheologice pe fundalul cartografic disponibil. După această suprapunere, se face o analiză cantitativă a modelului de distribuție observat, cunoscută sub denumirea de modelare inductivă. Conform cu [13], în cele mai multe cazuri, această analiză se face presupunând că eșantionul de sit cunoscut este reprezentativ pentru toată populația.

Prin această metodă de cercetare se determină care situri arheologice vor fi descoperite. Este clar că siturile îngropate nu vor fi descoperite prin mersul pe teren. Șanțurile sfredelite și săpate sunt forme destul de scumpe de cercetare, care nu sunt disponibile, de obicei, pentru amatori. Chiar și arheologii profesioniști nu vor utiliza aceste forme de studiu decât dacă există o necesitate clară. În practică, acest lucru înseamnă că, în majoritatea bazelor de date arheologice numărul siturilor îngropate va fi subestimat.

În plus, atunci când nu se știe dimensiunea zonei cercetate, nu se știe unde există situri arheologice. Acest lucru este important pentru analiza statistică.

De asemenea, suprafața cercetată, deci eșantionul sitului arheologic, poate să nu fie reprezentativă pentru totalul zonei de studiu. Aceasta poate fi o consecință a accesului dificil în teren, de exemplu din cauza pantelor abrupte sau din cauza cercetării doar a anumitor aspecte.

Pentru regiunea Tricastin - Valdaine sunt informații detaliate despre siturile îngropate, precum și o hartă a zonelor cercetate. Cu toate acestea, studiul nu poate lua în considerare vizibilitatea diferențiată a siturilor arheologice, aflate sub diferite forme de utilizare a terenului.

Pentru a avea informații asupra sedimentării și eroziunii zonei, peisajul trebuie să fie interpretat, având în vedere istoria sa geomorfologică și pedogenetică.

Conform cu [4], **geomorfologia** reprezintă o știință „care studiază geneza (modul de formare) și caracteristicile formelor de relief, modul lor de grupare și răspândire pe suprafața Pământului”.



Pedogeneza, conform aceleiași surse, este „parte a pedologiei care se ocupă cu studiul formării și al evoluției solurilor. Pedologia reprezintă știința care se ocupă cu studiul genezei, al evoluției și al distribuției solurilor, precum și cu cunoașterea compoziției fizice, chimice și biologice a acestora, pentru stabilirea gradului de fertilitate a lor”.

Pentru a obține harta folosită ca strat de bază taxonomic, diferitele hărți geologice și de sol au fost digitizate și combinate într-un GIS.

Conform cu [4], **taxonomia** reprezintă „știința legilor de clasificare”. Termenul de **taxonomie** are și semnificația de „studiu al unei grupe de animale sau de plante, din punctul de vedere al clasificării și al descrierii speciilor (taxonomic = cu caracter de clasificare)”.

Singurele hărți de bază disponibile pentru întreaga regiune au fost hărțile geologice ale Franței, la scara 1:50.000.

Aceste hărți au fost editate acolo unde a fost necesar. Porțiunile din harta geologică au fost atribuite uneia din cele 18 categorii taxonomice distincte.

Așa cum se precizează în cadrul [13], informațiile geologice de bază au fost actualizate cu alte informații disponibile, privind condițiile geologice și pedologice din zonă. Aceste informații au provenit din 3 surse, și anume:

- ✓ o imagine clasificată a regiunii Tricastin, obținută de la sateliți;
- ✓ o delimitare a unităților pedologice și sedimentare principale, obținută în timpul muncii în teren, în regiunile Valdaine și Tricastin;
- ✓ hărțile pedologice existente ale zonei, la scara 1:25.000.

Imaginea obținută de la senzorii satelitari oferă informații detaliate despre localizarea vechilor albie ale râului, platformelor aluvionare, teraselor și cuvetelor din regiunea Tricastin. Datele din teren furnizează informații suplimentare despre localizarea coluviului și depozitelor aluvionare din regiunea Valdaine (coluviului, aluviunilor și cuvetelor). Hărțile pedologice au fost utilizate pentru a se putea observa întinderea reală a coluviului și depozitelor aluvionare în văile Roubion și Jabron, pentru a găsi locația teraselor pleistocene stabile și a platformelor aluvionare din regiunea Valdaine și pentru a se putea ști distribuția coluviului și cuvetelor din regiunea Tricastin.

Conform cu [4], **terasa** reprezintă „o formă de relief cu aspect de treaptă, provenită din ridicarea scoarței pământului sau ca rezultat al eroziunii apelor, în lungul unui râu”.

Cuveta, conform cu [4], reprezintă „o depresiune închisă, ca un bazin, acoperită permanent sau temporar de apă”.

Conform cu [4], **coluviul** reprezintă „un material detritic (detritic = care provine din altă rocă, printr-o acțiune de fărâmițare datorită agenților externi), acumulat la baza pantelor și provenit din



dezagregarea rocilor și din deplasarea fragmentelor lor de pe versanții munților, sub acțiunea gravitației”.

Informațiile suplimentare au fost folosite pentru a se actualiza hărțile geologice reclasificate. Harta taxonomică finală este, deci, un mozaic al mai multor hărți, cu scară și precizie variate.

Eșantionul din situl arheologic constă din date care provin din mai multe surse. Datele colectate au fost obținute prin săparea de șanțuri și prin cercetări arheologice și excavații pentru conexiunea feroviară de mare viteză care leagă Lyon de Marseille, efectuate între anii 1995 și 1998. A doua metodă de lucru în teren a avut ca rezultat detectarea siturilor arheologice îngropate. Aceste date constituie cea mai importantă parte a bazei de date arheologice. Datele pentru alte situri arheologice au fost obținute din literatură, prin citirea hărții arheologice și prin intermediul datelor provenite de la serviciul arheologic regional pentru regiunea Rhône - Alpi, după cum se precizează în [13].

Relația dintre dinamica locației sitului și evoluția geomorfologică este înțeleasă în termeni de sisteme fluviale. În sistemul hidrologic Rhône, regimul fluvial al râurilor se schimbă în funcție de variațiile în raportul debitelor lichide și solide. Sistemele de canale ramificate sau sinuoase nu sunt propice pentru depunerea sedimentelor, cu excepția perioadelor sezoniere (în perioada de după Paleolitic, în perioada mijlocie a Neoliticului timpuriu și în prima parte a epocii fierului). Luncile plate sau convexe ale cursurilor râurilor sinuoase sunt favorabile depunerii sedimentelor, cu excepția perioadelor când se produc inundații (în perioada Neoliticului târziu și în perioada de mijloc a epocii fierului). Situația cea mai favorabilă pentru depunerea sedimentelor este un sistem fluvial sinuos, împreună cu înrădăcinarea albiei râului (în perioada Mezoliticului târziu, al mijlocului Neoliticului și a epocii bronzului). Acest lucru duce la stabilizarea luncii pentru o perioadă lungă de timp. S-a observat că există o alternanță ciclică între stabilitatea cursurilor de apă și expansiunea ocupării zonelor inundabile, pe de o parte, și instabilitatea cursurilor de apă și depopularea aceluiași zone, pe de altă parte.

Folosind sursele menționate, a fost construită o bază de date arheologică cuprinzătoare. Această bază de date conține locația a 510 situri arheologice preistorice, îngropate în mediul lor natural. Pentru fiecare sit s-a cercetat dacă situl a fost descoperit la suprafață sau dacă a fost acoperit de sedimente. Numărul de situri necesare pentru o analiză fiabilă a locației sitului arheologic în raport cu harta taxonomică este de aproximativ 40. Pentru perioada Neoliticului timpuriu această cerință nu este îndeplinită. Conform cu [13], în celelalte perioade există suficiente situri pentru a se putea efectua analiza locației siturilor arheologice.



Pentru a vedea dacă eșantionarea non-aleatoare influențează analiza localizării sitului din zona de studiu, eșantionul disponibil de situri arheologice a fost împărțit într-un eșantion vizibil și un eșantion complet, care include și situri care nu sunt vizibile.

În cazul siturilor vizibile, au fost luate în considerare numai zonele în care sedimentele au fost depuse pe câmp. În cazul eșantionului complet au fost incluse atât zonele în care sedimentele au fost acoperite, cât și zonele în care sedimentele au fost depuse pe câmp.

Datorită numărului mic de locații implicate, nu a fost posibilă efectuarea unei analize separate numai pentru zonele în care sedimentele au fost acoperite. Totuși, șansele de a descoperi un sit într-o zonă în care sedimentele au fost acoperite sunt mai mari decât în zonele în care sedimentele au fost purtate pe câmp. Deoarece zona în care sedimentele au fost acoperite reprezintă o parte relativ mică din zona total cercetată, importanța reală a siturilor arheologice acoperite poate fi mai mare decât cea sugerată de modelarea predictivă.

După cum se specifică în [13], pentru analiza relațiilor dintre amplasarea sitului arheologic și harta taxonomică, s-au efectuat 3 analize separate.

4.1.2.1. Testul χ^2 (Testul Pearson)

Pentru început, se poate folosi testul χ^2 , cu scopul de a se vedea dacă există diferențe semnificative statistic între locația unui sit arheologic și unitățile de hartă. Totuși, testul χ^2 nu furnizează informații referitoare la importanța relativă a unităților de hartă pentru locația unui sit arheologic. Aplicarea acestui test ca singurul instrument statistic de modelare predictivă a fost criticată în mai multe rânduri.

Datorită limitărilor testului χ^2 , respectiv cerința de a avea 5 situri pe o unitate de hartă, cerință care depinde, la rândul ei, de dimensiunea eșantionului, harta taxonomică a fost reclasificată în 9 categorii. Chiar și așa, în unele cazuri cerințele statistice nu au putut fi îndeplinite. În aceste cazuri s-a aplicat corecția „Yates” pentru a calcula valoarea pentru χ^2 . Totuși, trebuie avut în vedere faptul că în cazul a mai puțin de 40 de observații, rezultatele testului χ^2 , chiar și prin aplicarea corecției „Yates”, au un grad redus de încredere.

Conform cu [16], corecția „Yates”, cunoscută și sub denumirea de „corecția pătratică-chi de continuitate”, este aplicată la tabelele cu 2 linii și 2 coloane, atunci când există celule cu mai puțin de 5 elemente.



4.1.2.2. Raportul dintre mărimea sitului arheologic și a zonei cercetate

Raportul dintre mărimea sitului arheologic (p_s) și a zonei cercetate (p_a) este un mod simplu și direct de a examina importanța anumitor categorii de hărți pentru locația sitului. De exemplu, acest raport a fost utilizat în Olanda pentru a crea „Harta orientativă a valorilor arheologice”. Cu toate acestea, valoarea acestui raport nu oferă informații cu privire la ponderea relativă a categoriilor de hărți în funcție de dimensiune. Această problemă este cel mai bine ilustrată prin luarea în considerare a cazului zero: o unitate mare, fără situri arheologice, va fi mai puțin importantă pentru locația sitului, decât o unitate mică, fără situri. Cu alte cuvinte, o unitate mică, fără situri, este mai semnificativă din punct de vedere statistic. Totuși, prin calculul raportului p_s/p_a se va obține valoarea 0 pentru ambele unități. Acest lucru înseamnă că pentru ambele unități se va atribui o importanță egală.

Pentru a explica acest efect, se calculează un factor relativ de ponderare pentru fiecare unitate de hartă. În cazul a 3 unități de hartă: „ α ”, „ β ” și „ γ ”, se calculează următoarele ponderi:

$$A = a' \cdot b \cdot c / (a' \cdot b \cdot c + a \cdot b' \cdot c + a \cdot b \cdot c') \quad (4.1)$$

$$B = a \cdot b' \cdot c / (a' \cdot b \cdot c + a \cdot b' \cdot c + a \cdot b \cdot c') \quad (4.2)$$

$$C = a \cdot b \cdot c' / (a' \cdot b \cdot c + a \cdot b' \cdot c + a \cdot b \cdot c') \quad (4.3)$$

unde:

„ a ”, „ b ” și „ c ” reprezintă dimensiunile zonelor de cercetat de pe unitățile de hartă „ α ”, „ β ” și „ γ ”
„ a' ”, „ b' ” și „ c' ” reprezintă dimensiunile siturilor de pe unitățile de hartă „ α ”, „ β ” și „ γ ”

Acest lucru este echivalent aritmetic cu împărțirea fiecărei valori p_s/p_a la suma tuturor valorilor p_s/p_a , ceea ce înseamnă că valorile obținute pentru ponderi sunt valori normalizate. Deci, nu se rezolvă problema ponderilor relative.

În afară de aceasta, calculul valorilor rapoartelor p_s/p_a nu oferă informații despre semnificația statistică a modelului observat. Semnificația modelului se poate testa prin compararea valorilor ponderilor cu cele obținute prin modele de simulare pentru localizarea siturilor arheologice. Conform cu [13], această analiză presupune întocmirea de hărți cu distribuția aleatoare a siturilor, față de care să se testeze modelul real.



4.1.2.3. Metoda parametrului K_j

O metodă mai complexă pentru evaluarea categoriilor de hărți pentru locația siturilor arheologice este cea a utilizării parametrului K_j . Acest parametru se calculează astfel:

$$K_j = \sqrt{[p_s \cdot (p_s - p_a)]} \quad (4.4)$$

În ecuația originală, diferența $p_s - p_a$ se împarte la p_w . Valoarea p_w reprezintă proporția zonelor fără situri arheologice. Această modificare se face numai atunci când se utilizează suprafețele estimative ale sitului, ceea ce nu este cazul pentru acest model. Parametrul K_j se calculează pentru fiecare categorie de hartă. Categoria pentru care se obține cea mai mare valoare a parametrului K_j este cea mai reușită. Prin metoda iterațiilor succesive, K_j se calculează din nou, rezultând următoarea categorie din model. După cum se specifică în [13], acest procedeu se repetă până când rezultă toate categoriile.

Utilitatea metodei de calcul a valorii parametrului K_j este aceea că ia în considerare importanța relativă a densității siturilor observate. De fiecare dată când este calculat parametrul K_j , se determină câștigul relativ, $p_s - p_a$, pentru a se evalua performanța modelului. Un model cu putere predictivă mare va avea valori ridicate ale câștigului. Performanța modelului crește, odată cu creșterea valorii lui K_j , după fiecare iterație efectuată. Totuși, în anumite situații câștigul scade, în timp ce valoarea pentru K_j continuă să crească. Acest lucru se întâmplă pentru că ecuația atribuie o pondere mai mare categoriilor de hărți care conțin un număr mai mare de situri arheologice. Un câștig de 40% se poate obține printr-un model care conține 50% din situri pe o suprafață de 10%, dar și printr-un model care conține 80% din siturile arheologice pe o suprafață de 40%. În cel de-al doilea caz, modelul are rezultate mai bune, deși câștigurile sunt egale. Totuși, în scopul gestionării resurselor arheologice, un model bazat pe valorile câștigurilor este mai util atunci când suprafața totală care trebuie luată în considerare este mai mică.

În cazurile analizate în cadrul acestui studiu, unele categorii de hărți contribuie puternic la creșterea câștigului și a valorii parametrului K_j , iar alte unități au doar un efect limitat asupra câștigului total, existând și unități care duc la scăderea puternică a câștigului modelului. Cu alte cuvinte, se poate spune că aceste grupuri au o putere predictivă pozitivă (ridicată), neutră (intermediară) sau negativă (scăzută). Aceste grupuri pot fi identificate ușor prin reprezentarea grafică a modelului. Un exemplu este prezentat în **figura nr. 10**.



Siturile arheologice de la suprafață și îngropate din Paleotic / Mezolitic, utilizate pentru elaborarea modelului predictiv, pe baza valorilor parametrului K_j

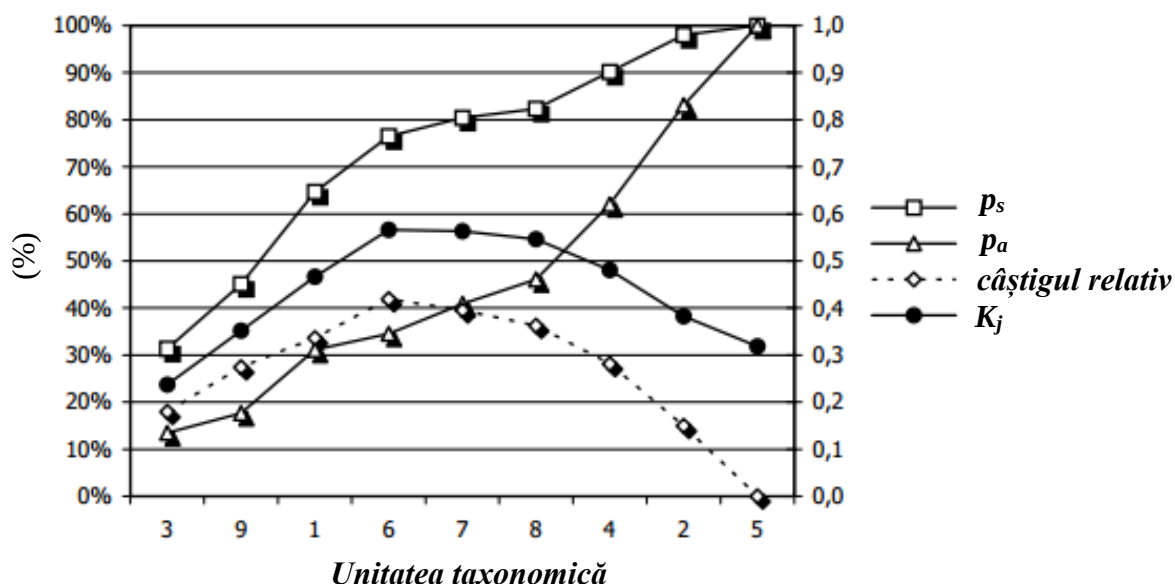


Figura nr. 10. Realizarea unui model pentru calculul parametrului K_j , pentru toate siturile arheologice descoperite și îngropate, din perioadele Paleolitic și Mezolitic (Unitățile 3, 9 și 1 au putere predictivă foarte ridicată, unitățile 7 și 8 au putere predictivă intermediară, iar unitățile 4, 2 și 5 au putere predictivă foarte scăzută)

(Sursa: Verhagen, Jacobus Wilhelmus Hermanus Philippus, 2007)

5. Predicția scurgerii apei pe cursurile râurilor neuniformizate

În prezent nu există teorii sau ecuații pentru a estima scurgerea la scara unui bazin hidrografic. Ecuațiile de scurgere a apei sunt valabile la scară de laborator. Predicția presupune trecerea de la ecuațiile de laborator, la cele pentru scara bazinului. O modalitate de abordare a acestei probleme este împărțirea bazinului în elemente suficient de mici, pentru a se putea aplica ecuațiile valabile la scară de laborator. Așa cum se precizează în [1], aceste ecuații se unesc la final, cu scopul de a forma un model pentru întreg bazinul hidrografic, pentru a se face previziunile de scurgere necesare.

5.1. Fragmentarea în hidrologie

Pentru a se face previziuni de scurgere în bazinele neuniformizate, s-au dezvoltat metode care se bazează pe noțiunea de similitudine. Nu există o metodă standard de predicție a scurgerii în astfel de bazine. Din contră, modelele de scurgere existente diferă în funcție de structura modelului, parametrii implicați, precum și în funcție de datele de intrare. De asemenea, modelele diferă și în funcție de procesele pe care le reprezintă. În funcție de mediile naturale, rolul diferitelor fenomene, cum sunt ninsoarea, scurgerea apei sau procesul de transpirație la plante, pot să fie diferite. La fel,



și factorii care controlează aceste procese pot să difere. Unele diferențe dintre modele sunt legate direct de clima diferită și de caracteristicile bazinului hidrografic.

Suprafața terenului este organizată în bazine hidrografice, cu un schimb redus de apă între ele. Un bazin hidrografic poate fi studiat cu succes, neinfluențând studierea altor bazine hidrografice. În domeniul hidrologiei se studiază bazine diferite, fiecare dintre acestea având diferite caracteristici de răspuns. Aceasta este o diferență fundamentală, care apare în domeniul hidrologiei.

Toți acești factori contribuie la fragmentarea hidrologiei la diferite nivele.

Procese: De multe ori, procesele din hidrologie se tratează separat. Randamentul anual de apă este studiat, de obicei, independent de nivelul fluxurilor dintr-un bazin de interes. De asemenea, inundațiile se studiază adesea independent de cunoașterea modelelor de flux sezonier din cadrul bazinelor hidrografice. Se pune întrebarea dacă există o legătură profundă între aceste procese și dacă este nevoie de o tratare simultană a lor, la diferite scări de timp.

Locurile: Un anumit grup de cercetători din domeniul hidrologiei are tendința de a analiza doar anumite bazine. Din această cauză s-au înțeles procesele de scurgere doar pentru zone restrânse. Drept urmare, este dificilă alocarea altei zone de cercetat pentru acel grup. De asemenea, modelele de scurgere a apei sunt de cele mai multe ori adaptate la un anumit bazin hidrografic, care are o anumită structură a modelului și parametri, diferite de cele ale altor bazine hidrografice.

Scările: Cercetarea s-a efectuat la diferite scări. Din această cauză, reunirea rezultatelor cercetării la aceeași scară s-a făcut cu dificultate. Atunci când se verifică ecuațiile de infiltrare la scară de laborator pentru scara bazinului, trebuie să se estimeze cantitatea de precipitații căzute în arealul bazinului hidrografic respectiv, în perioada analizată.

Conform cu [1], pentru realizarea unui model de scurgere a apei, este nevoie de ingineri, geologi, oameni de știință din domeniul solului sau meteorologi. Fiecare dintre aceștia pot avea puncte de vedere diferite cu privire la procesele implicate în modelul hidrologic.

5.2. Generalizarea realizată prin analiza comparativă

O modalitate pentru realizarea modelelor de scurgere este utilizarea conceptelor mecanicii newtoniene, care să prezinte procesele componente dintr-un anumit bazin hidrografic. Aceste modele pot fi folosite pentru a efectua simulări pe parcursul mai multor ani sau decenii, pentru a se vedea dacă se potrivesc cu modelele observate în bazinele hidrografice naturale. De asemenea, pot să fie construite modele pentru a simula procesele hidrologice pe scări de timp mai scurte, cu scopul de a estima efectul precipitațiilor căzute în bazinele hidrografice neuniformizate. Aceste modele au la bază cauzalitatea proceselor componente. Această cauzalitate poate fi reprezentată



într-un mod determinist și în detaliu. Cu toate acestea, este dificil să se reprezinte „*feedback*”-ul dintre procesele care acționează într-un interval de timp. Acest aspect al sistemelor complexe conduce la predictibilitatea lor limitată. Modelarea interacțiunilor și reacțiilor dintre diferitele procese care acționează în cadrul bazinelor hidrografice poate fi îmbunătățită prin înțelegerea efectelor comune ale climei, vegetației, formelor de relief și tipurilor de sol asupra funcționării bazinului hidrografic.

Conform cu [4], prin noțiunea de *feedback* se înțelege „acțiunea inversă care se manifestă la nivelul diferitelor sisteme (biologice, tehnice, etc.), cu scopul menținerii stabilității și echilibrului lor față de acțiunile exterioare”.

Așa cum se precizează în cadrul [1], în locul studierii detaliate doar a unui bazin hidrografic, o abordare alternativă este examinarea a mai multor bazine hidrografice și studierea prin comparație a modelelor emergente (modelelor rezultate). Scopul este acela al dezvoltării generalizării, prin studierea diferențelor dintre bazinele hidrografice. Există un mare potențial pentru acest tip de analiză comparativă.

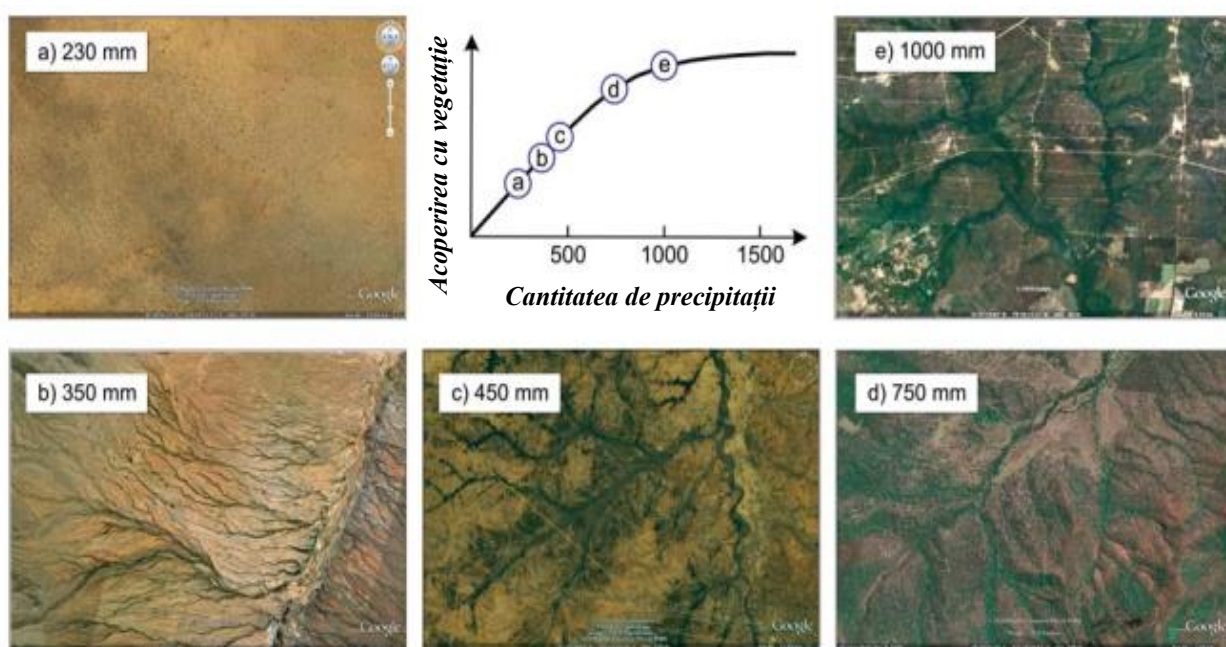


Figura nr. 11. Modele de vegetație pentru diferite regiuni din Australia, cu o variație a precipitațiilor anuale de la 230 la 1000 mm (l/m^2)

(Sursa: Blöschl, Günter și alții, 2013)

În **figura nr. 11** se prezintă regiuni din Australia, unde cantitățile de precipitații diferă de la o zonă la alta. În condițiile unei clime aride (a), aproape toate precipitațiile se evaporă. Acest lucru face ca majoritatea proceselor hidrologice să fie verticale, iar vegetația să fie puțină. Pe măsură ce precipitațiile cresc (b și c), procesele de scurgere orizontale devin din ce în ce mai importante, iar



vegetația din aceste zone este în strânsă legătură cu structura rețelei de drenare. La nivele ridicate ale precipitațiilor (d și e), pădurile ocupă cea mai mare parte a bazinului hidrografic. Totuși, vegetația din aceste zone poate să difere între liniile de drenaj și zonele montane.

Realizarea unor astfel de modele hidrologice presupune parametrizarea acestora în funcție de gradientele climatice, pentru a reflecta schimbările proceselor hidrologice. Prin efectuarea unei analize comparative în aceste regiuni, se pot realiza modele adecvate pentru controlul proceselor de scurgere a apei.

5.3. Similitudinea în domeniul hidrologiei

Succesul abordării hidrologice comparative depinde de înțelegerea noțiunilor de similitudine și diferențiere. Dacă se compară mai multe bazine, unele dintre acestea vor avea caracteristici asemănătoare și aceste similitudini vor influența realizarea modelelor emergente. Bazinele sunt considerate asemănătoare din punct de vedere hidrologic, dacă filtrează cantitatea de precipitații în mod egal. Această similitudine poate fi cauza evoluției similare a climei, vegetației, solurilor și formelor de relief din diferitele bazine hidrografice.

Conform cu [1], în bazinele aride precipitațiile sunt reduse și cea mai mare parte a lor se evaporă și există un grad redus de infiltrare a apei în sol. În schimb, în bazinele hidrografice unde precipitațiile sunt însemnate, există și o cantitate mare de apă care se va infiltra în sol.

Similitudinea proceselor este dificil de identificat într-un context real. Aceasta se datorează faptului că se cunosc doar parțial procesele hidrologice. Datorită faptului că scurgerea apei este rezultatul dintre procesele climatice și caracteristicile bazinului hidrologic, se pot face similitudini ale scurgerii, climei și bazinului hidrografic. Abordarea hidrologică comparativă constă în cercetarea asemănărilor și diferențelor dintre bazinele hidrografice în ceea ce privește climatul lor, caracteristicile bazinelor hidrografice și scurgerea apei în aceste bazine. Se presupune că bazinele hidrografice asemănătoare în ceea ce privește caracteristicile climei și ale bazinului hidrografic, se vor comporta similar și din punct de vedere hidrologic. Această ipoteză se poate verifica în cazul bazinelor uniformizate, unde se poate cerceta raportul dintre scurgerea apei și caracteristicile climatice și de captare. Se poate folosi conceptul de similitudine, pentru a se transpune rezultatele cercetării efectuate în bazinele uniformizate, în vederea estimării scurgerii apei în bazinele neuniformizate.



5.3.1. Similitudinea climei

Similitudinea climei presupune asemănarea caracteristicilor climatice relevante pentru hidrologie. Astfel, acele bazine hidrografice care au indicele de ariditate mai mare decât 1 sunt considerate limitate în apă, iar cele cu indicele de ariditate mai mic decât 1 sunt considerate ca fiind limitate pentru producerea energiei electrice. Dacă indicii de ariditate sunt asemănători, bazinele sunt considerate similare în ceea ce privește disponibilitatea relativă a apei și a energiei.

Conform cu [7], indicele de ariditate se determină folosind următoarea formulă de calcul:

$$I = \frac{12 \cdot p}{t + 10} \quad (5.1), \text{ unde:}$$

I reprezintă indicele de ariditate;

p reprezintă precipitațiile medii lunare, exprimate în mm sau l/m^2 ;

t reprezintă temperatura medie lunară a aerului, exprimată în $^{\circ}C$.

Similitudinea climei se poate defini, de asemenea, ca similitudinea în variabilitatea interanuală a precipitațiilor, dacă ne interesează fluctuațiile de scurgere pe termen lung.

5.3.2. Similitudinea bazinelor hidrografice

Similitudinea bazinelor hidrografice presupune asemănarea dintre acele caracteristici ale bazinului care controlează procesele de scurgere. Caracteristicile bazinelor care se referă la segmentarea acestora, includ proprietățile solului care permit infiltrarea apei, cum ar fi conductivitatea hidraulică. Conductivitatea hidraulică reprezintă un parametru global al capacității de circulație a apei subterane prin terenurile permeabile, conform cu [12].

Caracteristicile bazinelor hidrografice care se referă la transmisie sunt cele care prezintă căile de scurgere ale apei, așa cum se precizează în [1].

Caracteristicile bazinelor hidrografice care se referă la capacitatea acestora de stocare a apei sunt geologia și proprietățile solului, cum ar fi grosimea solului. De asemenea, zona se folosește ca indicator al stocării bazinului hidrografic. Astfel, în bazinele mai mari sunt mai multe ape subterane. Aceste bazine au căi de debit mai adânci și posibilitate mai mare de depozitare a apei.

5.3.3. Similitudinea scurgerii apei

În cazul similitudinii scurgerii se urmărește cât de asemănătoare sau diferite sunt caracteristicile scurgerii apei din cadrul bazinelor hidrografice. Dacă ne interesează comportamentul hidrologic pe termen lung, bazinele sunt considerate similare dacă „semnătura lor anuală de scurgere” nu diferă foarte mult. Din perspectiva inundațiilor, bazinele hidrografice pot fi considerate similare



dacă semnăturile lor de inundații, cum ar fi curba frecvenței inundațiilor, prezintă asemănări. Similitudinea nu înseamnă că toate semnăturile sunt identice.

Pentru a calcula indicii de similaritate a scurgerii dintr-un bazin hidrografic, este nevoie de date. În cazul bazinelor neuniformizate, nu sunt foarte multe date disponibile cu privire la scurgerea apei. Abordarea asemănării scurgerii folosește similitudinea climei și a caracteristicilor bazinului hidrografic, pentru a se deduce similaritatea hidrologică și pentru a ajuta la estimarea scurgerii în bazinele neuniformizate.

5.4. Metode statistice de predicție pentru scurgerea apei în bazinele neuniformizate

Metodele statistice utilizate pentru estimarea scurgerii apei în bazinele neuniformizate au la bază presupunerea că semnăturile de scurgere sunt variabile aleatoare. Metodele statistice nu se bazează pe ecuațiile de echilibru ale masei, impulsului și energiei. Ele constau în relații liniare sau neliniare între scurgere și caracteristicile climei și ale bazinului hidrografic. De obicei, structura modelului este asumată, fără o cercetare prealabilă. Parametrii modelului sunt estimați pe baza datelor din regiunea de interes, după cum se precizează în [1]. Metodele statistice folosite pentru a prezice scurgerea apei sunt prezentate în cele ce urmează.

5.4.1. Metoda regresiei

În cazul metodei regresiei, semnătura de scurgere, $\hat{y}$ (de exemplu, inundarea unei anumite zone, cu o anumită probabilitate) se estimează pe baza caracteristicilor bazinului hidrologic și / sau a celor climatice, x_i , cu eroarea de eșantionare ε . Pentru determinarea semnăturii de scurgere, $\hat{y}$, se folosește următoarea relație de calcul:

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \cdot x_i + \varepsilon + \eta \quad (5.2), \text{ unde:}$$

i reprezintă diferite caracteristici;

β_i reprezintă parametrii modelului (coeficienții de regresie);

η reprezintă eroarea modelului matematic.

Există mai multe tehnici pentru a estima parametrii modelului în cazul unui model liniar. Se poate utiliza un model de regresie pentru întreg domeniul de interes (denumită regresie globală) sau se poate împărți domeniul în regiuni (ca în **figura nr. 12. b**) și să se aplice modele regresive separate pentru fiecare regiune (denumită regresie regională).

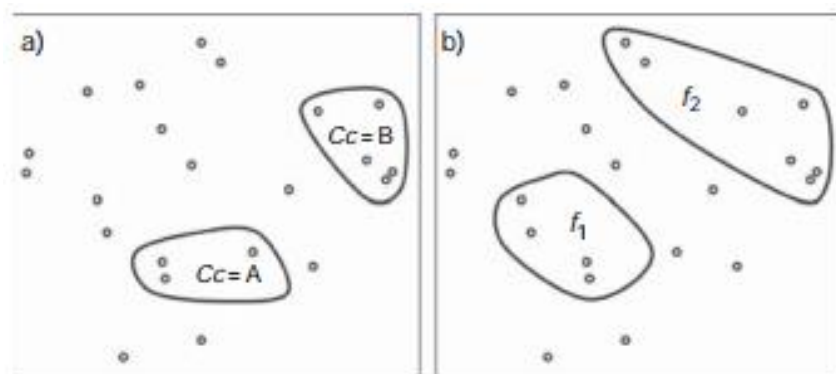


Figura nr. 12. Harta unei țări imaginare, în care bazinele hidrografice (indicate prin puncte) sunt grupate în regiuni: a) gruparea în regiuni, în funcție de caracteristicile asemănătoare ale bazinelor hidrografice; b) gruparea în regiuni în care metodele de regionalizare (ca de exemplu: ecuațiile regresiei) sunt similare

(Sursa: Blöschl, Günter și alții, 2013)

Coeficienții de regresie trebuie să poată fi interpretați din punct de vedere hidrologic. Acest lucru se datorează faptului că astfel de interpretări măresc probabilitatea ca ecuația de regresie să se aplice și în cazul bazinelor hidrografice neuniformizate, care nu au fost cercetate, pentru a se estima coeficienții.

Ecuatiile de regresie sunt reprezentări foarte simple ale unor procese complexe. Aceste procese pot să implice aspecte coevolutive ale bazinului hidrografic. Prin urmare, așa cum se specifică în [1], interpretarea coeficienților ecuațiilor de regresie se bazează pe cercetarea modului în care evoluează formele de relief, clima, solurile și vegetația.

5.4.2. Metoda indicilor

Metoda indicilor se bazează pe unele proprietăți scalate ale bazinului hidrografic. De exemplu, curba de durată a fluxului de apă (**figura nr. 13**) poate fi redusă cu ajutorul debitului mediu anual. Metoda de indexare presupune existența unei curbe uniforme a fluxului. Un alt exemplu este metoda curbei „Budyko”, unde raportul dintre evaporarea medie anuală și precipitațiile medii este exprimat ca o funcție a indicelui de ariditate, și anume raportul dintre evaporarea potențială medie anuală și precipitațiile medii anuale.

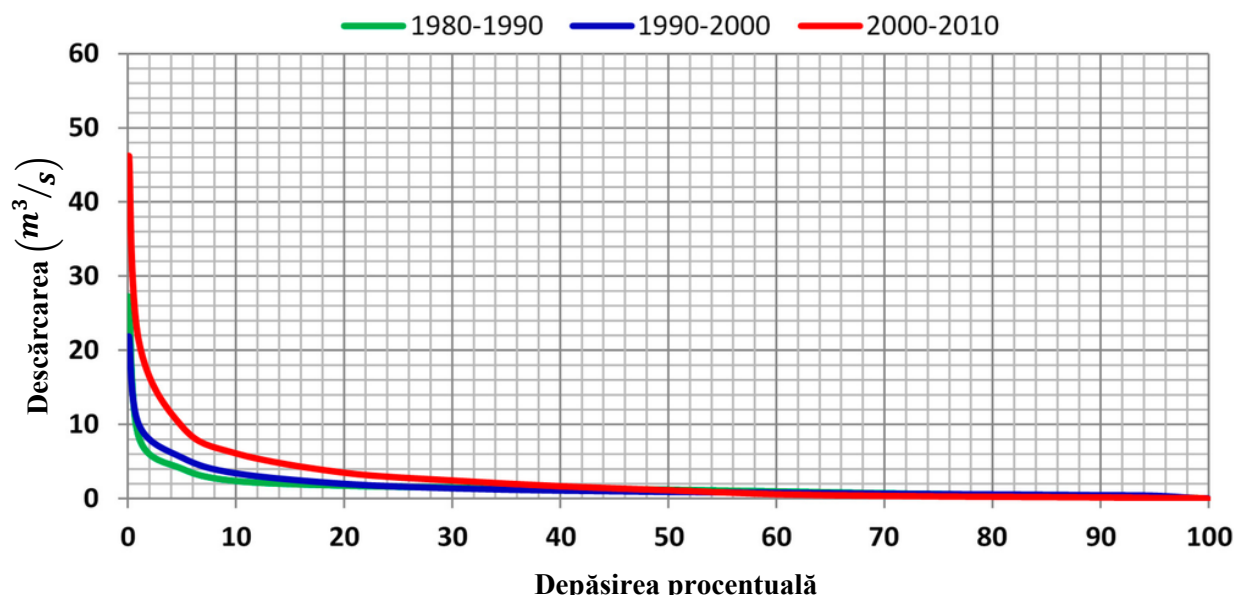


Figura nr. 13. Exemplu de curbă de durată a fluxului de apă
(Sursa: [15])

5.4.3. Metode geostatistice

Metodele geostatistice presupun corelarea semnăturilor de scurgere în spațiu. În abordarea geostatistică, semnătura de scurgere în bazinul hidrografic care ne interesează este considerată a fi o medie ponderată a semnăturilor de scurgere din bazinele învecinate. În cazul metodei geostatistice se acordă o pondere mai mică observațiilor din cadrul bazinelor hidrografice care sunt mai apropiate unul de celălalt. Conform cu [1], acest lucru se datorează faptului că observațiile sunt corelate, deci conțin mai puține informații despre variabila aleatoare.

6. Realizarea hărților de risc la inundații în România

În [6] inundațiile sunt definite ca fiind „acoperirea temporară cu apă a unui teren care nu este în mod obișnuit acoperit cu apă”. Inundațiile sunt efectul unor factori complecși, dificil de evaluat. Inundațiile sunt fenomene naturale, dar efectele acestora sunt amplificate de către om prin amplasarea obiectivelor socio-economice (așezări umane, obiective economice, drumuri, căi ferate, poduri, etc.) în luncile râurilor.

În multe țări, inundațiile reprezintă cele mai importante hazarde naturale. Pe plan european, România este considerată una dintre țările cu cele mai severe și mai frecvente inundații, alături de Rusia, Turcia și Marea Britanie, conform cu [3].

În acest context, în anul 2007 a fost aprobată „Directiva 2007/60/EC a Parlamentului European și a Consiliului, privind evaluarea și gestionarea riscurilor de inundații”. Prin această directivă se



impune statelor membre realizarea unei evaluări preliminare a riscului la inundații, elaborarea hărților de hazard și risc la inundații, precum și elaborarea de planuri de management a riscului la inundații. Procesul de evaluare este unul ciclic. Reactualizarea hărților de risc la inundații trebuie să fie făcută odată la 6 ani.

6.1. Metode de evaluare a riscului la inundații.

Matricea riscului la inundații

Conform cu [4], riscul reprezintă un pericol posibil, posibilitatea de a ajunge într-o primejdie, de a avea de suportat un necaz sau de înfruntat o pagubă. În termeni științifici, riscul reprezintă efectul unui pericol, caracterizat în termeni de probabilitate. Deci, pentru a exista un risc trebuie să existe un pericol (un hazard). În cazul inundațiilor, hazardul este reprezentat de un fenomen natural periculos, de pagubele posibile și în unele cazuri, de lipsa capacității de a face față inundațiilor. În cadrul [6], riscul la inundații este definit ca fiind „combinația dintre probabilitatea apariției unor inundații și efectele potențial adverse pentru sănătatea umană, mediu, patrimoniu cultural și activitatea economică asociate apariției unei inundații”.

În [11], cu exemple din 19 țări europene, S.U.A. și Japonia, hărțile inundațiilor se defalcă în două categorii, și anume:

- ✓ hărțile de pericol la inundații, care acoperă acele zone care ar putea fi inundate în funcție de diferite scenarii;
- ✓ hărțile de risc la inundații, care prezintă eventualele consecințe negative asociate inundațiilor în cadrul acestor scenarii.

În raportul „FAME” („Evaluarea riscului de inundații și a pagubelor produse de acestea, folosind modelarea și tehnici de observare a Pământului”), se propune evaluarea riscului printr-o matrice (**figura nr. 14**), ca o funcție de nivelul hazardului (P1, P2, P3) și clasa de expunere (E1, E2, E3, E4).

Clasa de expunere	Nivelul de hazard		
	P1 100 < T < 1000	P2 10 < T < 100	P3 T < 10
E1	R0	R1	R1
E2	R1	R2	R3
E3	R2	R3	R4
E4	R2	R4	R4

Figura nr. 14. Matricea de risc la inundații

(Sursa: Chendeș, Viorel și alții, 2014)



În cazul matricei riscului la inundații, R0 reprezintă risc foarte mic la inundații; R1 reprezintă risc mic la inundații; R2 reprezintă risc mediu la inundații; R3 reprezintă risc mare la inundații și R4 reprezintă risc foarte mare la inundații. Similar, E1 reprezintă expunere mică la inundații; E2 reprezintă expunere medie la inundații; E3 reprezintă expunere mare la inundații și E4 reprezintă expunere foarte mare la inundații.

Consecințele inundațiilor pot fi exprimate calitativ, ca în cazul matricei prezentate, sau cantitativ. Cele mai multe abordări utilizează clasele calitative, deoarece clasele cantitative necesită informații detaliate.

6.2. Identificarea zonelor cu risc potențial semnificativ la inundații

Între anii 2010 ÷ 2012 a fost implementată prima etapă din cadrul [6], respectiv evaluarea preliminară a riscului la inundații. Această etapă are două sub-etape, respectiv:

- selectarea inundațiilor istorice semnificative, inclusiv localizarea spațială a acestora;
- identificarea zonelor cu risc potențial semnificativ la inundații.

Selectarea inundațiilor istorice semnificative s-a făcut pe baza unor criterii elaborate de către „I.N.H.G.A.” („Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor”). Aceste criterii au în vedere atât magnitudinea fenomenului (probabilitatea de depășire a debitelor maxime și extinderea zonelor inundabile), cât și consecințele și pagubele produse de inundații.

S-a realizat o bază de date cu inundațiile semnificative, care s-au împărțit la nivelul cursurilor de apă (râuri principale și afluenți). Inundațiile s-au analizat amănunțit, folosind o aplicație GIS, atât din punctul de vedere al debitelor maxime, cât și din punctul de vedere al pagubelor produse la nivelul localităților.

Informațiile referitoare la inundațiile istorice semnificative, precum și alte date disponibile, cum sunt cele referitoare la sectoarele de râu îndiguite (în special cele în lungul cărora probabilitățile debitelor maxime înregistrate au depășit gradul de asigurare a lucrărilor proiectate), informațiile referitoare la gradul de urbanizare și prezența obiectivelor socio-economice și datele privind densitatea infrastructurii, s-au folosit pentru a identifica arealele cu risc potențial semnificativ la inundații (**figura nr. 15**).



Figura nr. 15. Localizarea zonelor indentificate în etapa de evaluare preliminară a riscului la inundații: **a)** zonele afectate de inundațiile istorice semnificative; **b)** zonele cu risc potențial semnificativ la inundații

(Sursa: Chendeș, Viorel și alții, 2014)

6.3. Întocmirea hărților de hazard la inundații

Conform cu [3], între anii 2013 ÷ 2014 s-a desfășurat cea de-a doua etapă din cadrul [6], respectiv realizarea hărților de hazard și a hărților de risc la inundații pentru zonele identificate ca având risc potențial semnificativ la inundații.

Conform cerințelor din cadrul [6], au fost modelate 3 scenarii diferite, respectiv:

- ✓ inundații cu o probabilitate mică de depășire a debitului maxim (de o dată la 1000 de ani, iar în cazul Administrației Bazinale de Apă Olt, de o dată la 500 de ani);
- ✓ inundații cu o probabilitate medie de depășire a debitului maxim (de o dată la 100 de ani);
- ✓ inundații cu o probabilitate mare de depășire a debitului maxim (de o dată la 10 ani).

Majoritatea hărților de hazard s-au întocmit prin utilizarea rezultatelor obținute în cadrul Programului Național „Planul de Prevenire, Protecție și Diminuare a Efectelor Inundațiilor” („P.P.P.D.E.I.”) (**figura nr. 16**). În cadrul acestui program s-au obținut Modele Digitale ale Terenului (M.D.T.) de mare acurtețe, cu o precizie verticală cuprinsă între $\pm 20 \div \pm 50$ cm și o rezoluție cu valori între 1 ÷ 5 m. Pentru realizarea acestor Modele Digitale ale Terenului s-au utilizat atât tehnologii de scanare LIDAR, cât și măsurători topo-batimetrice de precizie.

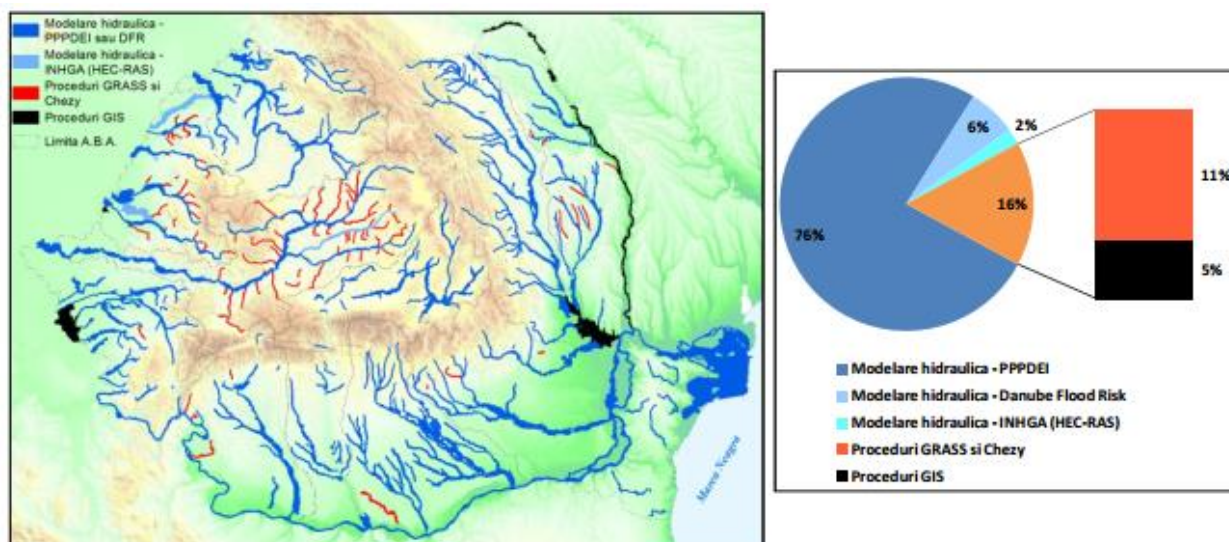


Figura nr. 16. Tipuri de metode și surse de date pentru realizarea hărților de risc
(Sursa: Chendeș, Viorel și alții, 2014)

Pentru zonele neincluse în „P.P.P.D.E.I.” s-au folosit metode simplificate pentru întocmirea hărților de hazard la inundații. Datorită preciziei mai reduse a rezultatelor, aceste metode s-au aplicat doar pentru scenariul mediu (o dată la 100 de ani). Acest scenariu este obligatoriu de raportat la nivel european, dar și cel mai important din punct de vedere practic.

După cum se prezintă în cadrul [3], s-au folosit trei (3) metode pentru realizarea hărților de hazard la inundații, și aume:

- modelare cu sisteme fuzzy;
- calcul hidraulic simplificat;
- reconstituirea, cu ajutorul tehnologiei GIS, a nivelurilor înregistrate la inundațiile recente, cu debite cu probabilitatea de depășire de aproximativ 1%.



Concluzii

Din materialele studiate, se pot desprinde următoarele concluzii:

- + Domeniile în care se poate folosi modelarea predictivă sunt variate, incluzând medicina, arheologia, geologia, urbanismul, hidrologia sau fizica.
- + Datorită complexității noțiunilor implicate în cazul modelării evoluției unui fenomen, este nevoie de colaborarea unor specialiști din domenii diferite de activitate. Astfel, pentru prevenirea alunecărilor de teren este nevoie de geologi, hidrologi și specialiști în domeniul solurilor.
- + Pentru a se putea modela un fenomen și a se putea estima evoluția acestuia în timp, trebuie să se știe factorii care influențează fenomenul respectiv. Cunoscând acești factori, se pot estima evoluțiile acestora și astfel se poate prezice și evoluția fenomenului, în ansamblu.
- + Modelarea predictivă are la bază statistica matematică, în special noțiuni legate de regresie și parametrizare de ecuații.
- + Pentru modelarea unui fenomen trebuie să se analizeze un număr suficient de mare de cazuri, pentru a se putea trage o concluzie veridică asupra evoluției fenomenului respectiv. În urma analizei făcute, se scriu ecuații pentru a modela fenomenul respectiv. Aceste ecuații se pot parametriza în funcție de caracteristicile fenomenului supus studiului.
- + Baza modelării predictive în domeniul managementului riscului o constituie hărțile de risc. Hărțile de risc se pot întocmi știind modul în care a evoluat un fenomen, zonele afectate și posibil a fi afectate. În cazul modelării predictive trebuie să se știe atât evoluția fenomenului în trecut, cât mai ales, pe baza analizei factorilor care influențează fenomenul respectiv, evoluția acestuia în viitor. Astfel, în cazul realizării hărților de risc la inundații, modelarea predictivă are rolul determinant, prin predicția valorilor fenomenelor, astfel încât să rezulte estimări cât mai aproape de realitate.
- + Pentru a se putea modela predictiv un fenomen, este nevoie de sisteme informatice geografice de înaltă performanță, care să permită efectuarea de calcule statistice. De asemenea, trebuie să existe o bază de date bine structurată, din care să se poată extrage la orice moment informații cu privire la evoluția fenomenului respectiv.



Bibliografie:

1. Blöschl, Günter, Murugesu Sivapalan, Thorsten Wagener, Alberto Viglione, Hubert Savenije (2013), *Runoff prediction in ungauged basins. Synthesis across Processes, Places and Scales*, Cambridge University Press, ISBN 978-1-107-02818-0
2. Bolboacă, Sorana Daniela (2014), Corelația și regresia liniară, accesibil la adresa: <http://sorana.academicdirect.ro/pages/doc/TD2014/Curs09.pdf> (consultat la 06.08.2017);
3. Chendeș, Viorel, Daniela Rădulescu, Sorin Rândașu, Bogdan Ion, Diana Achim, Alexandru Preda (2014), Aspecte metodologice privind realizarea de hărți de risc la inundații raportate în cadrul directivei 2007/60/CE, publicat în *Hidrotehnică*, nr. 10-11, accesibil la adresa: http://www.researchgate.net/profile/Viorel_Chendes/publication/298305602_Aspecte_metodologice_privind_realizarea_hartilor_de_risc_la_inundatii_raportate_in_cadrul_Directivei_200760EC/links/56e7de7b08ae438aab8a9ba1/Aspecte-metodologice-privind-realizarea-hartilor-de-risc-la-inundatii-raportate-in-cadrul-Directivei-2007-60-EC.pdf (consultat la 27.08.2017);
4. *DEX - Dicționarul Explicativ al Limbii Române*, accesibil la adresa: <https://www.dexonline.ro/>
5. Dickey, Alan David (2012), *Introduction to Predictive Modeling with Examples*, SAS („Scholars Academic and Scientific”), Mumbai, India, accesibil la adresa: <http://support.sas.com/resources/papers/proceedings12/337-2012.pdf> (consultat la 21.06.2017);
6. *Directiva 2007/60/EC a Parlamentului European și a Consiliului din 23 octombrie 2007, privind evaluarea și gestionarea riscurilor de inundații*, publicată în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene*, accesibilă la adresa: <http://www.inhga.ro/documents/10184/57279/Directiva+60+CE+din+2007.pdf/334e57ef-aaea-4966-9889-aae1e3089c80> (consultată la 27.08.2017);
7. Domuța, Cristian, Cornel Domuța, Gheorghe Ciobanu, Maria Șandor, Alina Dora Samuel, Ioana Borza, Radu Brejea, Adrian Vușcan (2009), Influența irigațiilor asupra cantității și calității producției de porumb în Câmpia Crișurilor, *Analele „INCDA Fundulea”*, volumul 77, ISSN-0253-1682 <http://www.incda-fundulea.ro/anale/77/77.13.pdf> (consultat la 26.08.2017);
8. Felicísimo, M. Ángel (2003), *Use of Spatial Predictive Models in forested areas territorial planning*, prezentat în cadrul celei de a IV - a Conferințe Internaționale de Planificare Spațială <http://www6.uniovi.es/~feli/pdf/CIOT2003.pdf> (consultat la 21.06.2017);
9. Lee, Bryan S. și David J. Buckley (iunie 1992), *Forestry Canada Applies GIS Technology to Forest Fire Management*, publicat în *Earth Observation*, accesibil la adresa: <https://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/19144.pdf> (consultat la 28.06.2017);



10. Rădulescu, Mihaela Șt. (2011), *Metodologia cercetării științifice. Elaborarea lucrărilor de licență, masterat, doctorat. Ediția a II-a*, editura Didactică și Pedagogică, R.A., București, ISBN 978-973-30-2894-9, (consultată la 05.09.2017);
11. RWS - RIKZ (septembrie, 2007), *Atlas of Flood Maps*, accesibil la adresa: https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/env/wfd/Library/floods_programme_1/b_wg_f_o_n_floods/meeting_19102007/Rapport%20-%20Draft%2011.pdf (consultat la 27.08.2017);
12. Scrădeanu, Daniel, Alexandru Gheorghe (2007), *Hidrogeologie generală*, Editura Universității din București, ISBN 978-973-737-367-0, accesibilă la adresa: <https://www.scribd.com/document/268674516/Curs-Hidrogeologie-Generala> (consultată la 26.08.2017);
13. Verhagen, Jacobus Wilhelmus Hermanus Philippus (2007), *Case studies in archaeological predictive modelling*, Leiden University Press, ISBN 978-90-8728-007-9, accesibilă la adresa: <https://openaccess.leidenuniv.nl/handle/1887/21069> (consultată la 15.08.2017);
14. <https://datascience.stackexchange.com/questions/5023/what-is-a-discrimination-threshold-of-binary-classifier> (consultat la 26.08.2017);
15. http://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-06-12544/article_deploy/html/images/remotesensing-06-12544-g011-1024.png (consultat la 28.08.2017);
16. <https://profs.info.uaic.ro/~val/statistica/AsocVarDisc.pdf> (consultat la 19.08.2017);
17. https://profs.info.uaic.ro/~val/statistica/StatWork_10.pdf (consultat la 13.08.2017);
18. <http://www.rasfoiesc.com/inginerie/comunicatii/CARACTERISTICILE-IMAGINILOR-SA14.php> (consultat la 22.06.2017)
19. <https://softstatistica.wordpress.com/2015/04/07/curba-roc-in-spss/> (consultat la 25.06.2017).