



## **Proiect**

**„Consolidarea capacității instituționale pentru îmbunătățirea politicilor din domeniul schimbărilor climatice și adaptarea la efectele schimbărilor climatice”**

**Cod SIPOCA/MySmis:610/127579**

Ghid integrat de evaluare al impactului modificărilor climatice asupra biodiversității și serviciilor ecosistemice prin utilizarea diferitelor metode de modelare.

### **Realizare:**

Dr. Constantin Cazacu

Drd. Valentin Dinu

### **Partner:**

Universitatea din București

Centrul de Cercetari in Ecologie Sistemica si Sustenabilitate

## CUPRINS

Cap. I Scop si obiective.....	3
Cap. II Identificarea parametrilor climatici necesari pentru utilizarea diferitelor metode de modelare	3
2.1 Impactul modificărilor climatice asupra speciilor și habitatelor.....	3
2.2 Impactul modificărilor de clima asupra fenologiei speciilor .....	4
2.3 Scenarii climatice .....	5
2.4 Impactul modificărilor de clima asupra ariilor protejate .....	6
2.5 Variabile utilizate pentru estimarea efectului schimbărilor climatice asupra ariilor protejate....	6
2.6 Impactul asupra ecosistemelor .....	10
2.7. Identificarea altor categorii de parametri cu efect complementar asupra ac:.....	10
Selectarea altor variabile (hidrologice - modelul SWAT, caracteristici ale .....	10
solului etc).....	10
2.8. Parametri climatici identificați .....	13
2.8.1. Parametri climatici ce au fost utilizați în cadrul analizei speciilor și habitatelor: .....	13
2.9. Identificarea metodelor utilizate in modelarea efectului modificărilor climatice.....	15
2.9.1. Metode exploratorii.....	16
Cap. III Evaluarea impactului potențial al fenomenelor de risc climatic asupra sectorului biodiversitate, utilizând analiza spațială pentru identificarea diferențierilor regionale ale posibilelor impacturi .....	21
Cap. IV Evidențierea impactului biodiversității si serviciilor ecosistemice asupra climatului .....	28
4.1 Exemplu de studiu efectuat ce are ca scop evidențierea modului de utilizare a terenului asupra climatului .....	29
Bibliografie selectiva .....	31
Anexe .....	36
Anexa 1: Parametri climatici suplimentari utilizabili pentru evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra biodiversității ce au fost identificați utilizând literatura de specialitate: .....	36

## Cap. I Scop si obiective

Scop: Ghidul are ca scop principal evaluarea modificărilor climatice asupra biodiversității si serviciilor ecosistemice prin utilizarea diferitelor metode de modelare

Obiective:

- Analizarea diferitelor căi prin care biodiversitatea este impactată de către modificările climatice;
- Identificarea parametrilor climatici necesari pentru utilizarea diferitelor metode de modelare;
- Descrierea diferitelor metode de modelare utilizate pentru a evalua impactul modificărilor climatice asupra biodiversității;
- Prezentarea diferitelor exemple de modelare ce au fost utilizate în vederea evaluării impactului modificărilor climatice asupra biodiversității.

## Cap. II Identificarea parametrilor climatici necesari pentru utilizarea diferitelor metode de modelare

Datorita specificității si complexității ridicate a biodiversității, este necesară consultarea literaturii de specialitate pentru o mai bună cunoaștere a componentelor biodiversității asupra cărora se vor realiza analizele dorite (ex. specii, habitate, ecosisteme). Vor fi prezentate diferitele interacțiuni de la nivelul biodiversității ce trebuie luate în considerare atunci când se dorește să se efectueze o analiză/modelare a efectelor schimbărilor climatice cât mai corectă și eficientă.

### 2.1 Impactul modificărilor climatice asupra speciilor și habitatelor

La nivel european, se estimează că între o cincime și o treime din specii au un risc crescut de dispariție dacă temperaturile medii globale cresc cu peste 2 până la 3°C peste nivelurile preindustriale (Lovejoy și Hannah, 2005; IPCC, 2007). O combinație între modificările de climă și alți factori de comandă va reduce capacitatea de adaptare a multor specii, cu consecințe negative la nivelul ecosistemelor și al complexelor de ecosisteme, crescând probabilitatea unor fenomene de extincție a speciilor la nivel local și regional (McKinney și Lockwood, 1999). Speciile cu cel mai mare risc de dispariție sunt cele specializate, cele din vârful lanțurilor trofice, cele cu restricții latitudinale și altitudinale și cele cu abilități reduse de dispersie.

În paralel, există o schimbare în distribuția plantelor și o amenințare crescută de dispariție a speciilor aflate la marginea arealelor geografice și altitudinale ale acestora, fiind mai ales afectate speciile endemice care au capacitate redusă de dispersie. După cum s-a observat în perioadele glaciare și interglaciare, răspunsul adaptativ predominant al speciilor de plante sensibile la temperatură a reflectat de schimbarea distribuției acestora, constatându-se o deplasare spre nord și către zone altitudinale mai înalte (Walther și colab., 2005), cele mai vulnerabile la modificările de climă fiind ecosistemele din zonele montane (IPCC, 2007).

În cazul speciilor de animale se observă o schimbare spre nord a distribuției fapt ce are o serie de consecințe potențiale asupra agriculturii (șeptel și culturi), sănătății umane, precum și pentru biodiversitate și conservarea acesteia (Sparks et al., 2007). Distribuția multor specii de animale va fi afectată în mod deosebit de schimbările climatice dacă fragmentarea sistemelor ecologice împiedică dispersia acestora către condiții climatice mai potrivite. Această modificare a distribuției poate afecta negativ obiectivele de conservare a biodiversității. În plus, condițiile mai calde, în special iernile mai calde, permit apariția de noi specii de dăunători pentru culturi sau plantații forestiere, crescând și riscurile pentru sănătatea populației umane asociate cu bolile transmise de vectori precum căpușele și țânțarii.

## 2.2 Impactul modificărilor de clima asupra fenologiei speciilor

Unele răspunsuri fenologice sunt declanșate în principal de **temperatură**, în timp ce altele sunt mai sensibile la **lungimea zilei** (Menzel și colab., 2006). Schimbările fenologice sunt legate de sezonul de vegetație și afectează funcționarea ecosistemelor. Încălzirea climei afectează ciclurile de viață ale multor specii de animale, în special cele precum fluturii și libelulele care sunt sensibile la **temperatură**. De asemenea, este posibil ca unele insecte dăunătoare să devină mai abundente pe măsura creșterii temperaturii (Cannon, 1998). Pe măsură ce impactul schimbărilor climatice asupra ecosistemelor favorizează generalistii și pe măsură ce temperaturile mai calde cresc ratele de supraviețuire și reproducere a insectelor, pot apărea focare mai frecvente, severe și imprevizibile de dăunători (McKinney și Lockwood, 1999). În general, 62% din variabilitatea observată în momentul evenimentelor ciclului de viață poate fi explicată de climă (van Vliet, 2008).

Se estimează că schimbările fenologice vor modifica durata sezonului de vegetație, productivitatea la nivelul ecosistemului, interacțiunile la nivel de populație și dinamica comunităților (Fitter și Fitter, 2002). În timp ce tendința de avansare a evenimentelor sezoniere

va continua pe măsură ce încălzirea climei continuă în anii și deceniile viitoare, nu este sigur cum vor răspunde diferite specii atunci când se vor atinge pragurile de temperatură și dacă relațiile liniare dintre temperatură și sezonul de creștere vor mai fi realizate în viitor.

### 2.3 Scenarii climatice

Proiecțiile rezultate în urma aplicării unor scenarii de modificare climatică indică faptul că, până la sfârșitul secolului 21, arealul potențial al multor specii de plante din Europa se va deplasa cu câteva sute de kilometri în direcție nordică. Această deplasare este de câteva ori mai rapidă decât ratele estimate pe baza înregistrărilor cuaternare sau a altor date istorice (Huntley, 2007). Distribuția speciilor de arbori se schimbă, de asemenea, în mod semnificativ, pădurile extinzându-se către nord și reducându-se în zonele sudice, iar speciile cu frunze mari înlocuind speciile de conifere native din vestul și centrul Europei (IPCC, 2007). Modelarea distribuției a 1350 de specii de plante din Europa folosind o serie de scenarii climatice a condus la concluzia că mai mult de jumătate dintre specii se vor afla la limita arealelor geografice și altitudinale devenind „specii amenințate” până în 2080, devenind astfel specii cu risc crescut de dispariție (Thuiller et. al., 2005).

Estimările acestor modele arată că cele mai afectate vor fi speciile de plante endemice din regiunile mediteraneene, euro-siberiene și din majoritatea regiunilor montane. Comunitățile montane se pot confrunta cu o pierdere de până la 60% a speciilor de plante în scenariile cu emisii ridicate, inversând astfel tendința de creștere a numărului de specii observată în secolul XX (Thuiller și colab., 2005; IPCC, 2007). Un studiu similar (Bakkenes și colab. 2006) sugerează că între 10 și 50% din speciile de plante din țările europene probabil vor dispărea din zonele lor actuale în absența unor măsuri de reducere a schimbărilor climatice până în 2100. Acest număr va fi mai mare dacă dispersia este restricționată din cauza fragmentării sau a concurenței cu speciile invazive.

Proiecțiile sugerează că deplasarea către nord și în zonele altitudinale înalte a multor specii de animale va continua în acest secol. Speciile cu răspândire mare pot fi mai puțin vulnerabile, în timp ce speciile endemice sunt mai amenințate (Levinsky și colab., 2007; Lemoine și colab., 2007). Un factor foarte important este capacitatea speciilor de a se deplasa. Această abilitate reprezintă o provocare atât din perspectivă a cercetării cât și a managementului în contextul eficienței rețelelor ecologice și eficiența acestora într-un climat în schimbare rapidă.

Capacitatea limitată de dispersie a multor specii de reptile și amfibieni, în contextul unor rețele ecologice fragmentate, contribuie semnificativ la restrângerea arealului multor specii (Hickling și colab., 2006; Araújo și colab., 2006).

În cadrul unui scenariu de încălzire climatică de 3<sup>0</sup>C (peste nivelurile preindustriale), se estimează că arealele păsărilor reproducătoare europene se vor muta până la sfârșitul secolului 21 cu aproximativ 550 km spre nord-est, dimensiunea medie a arealului reducându-se cu 20% (Huntley și colab., 2008).

#### 2.4 Impactul modificărilor de clima asupra ariilor protejate

Schimbările climatice au efect și asupra relației dintre dinamismul procesului de modificare a arealului speciilor și limitele ariilor protejate (Lee Hannah 2008). Speciile își modifică suprafața și dispunerea arealelor din cauza modificărilor climatice, în principal migrarea se face către poli și altitudine mai ridicată pe măsură ce întâlnesc habitate propice (Scheffers et al 2016). Crearea coridoarelor ecologice servește la facilitarea deplasării speciilor de carnivore mari și poate fluidiza procesele de la nivelul modificărilor de areal ale speciilor. (Lee Hannah 2008).

Modelarea impactului modificărilor climatice asupra ariilor protejate ce au utilizat instrumente software precum BIOCLIM (1986) sau DOMAIN (1993) au confirmat faptul că este posibil ca schimbările de la nivelul arealelor speciilor să aibă efect asupra relațiilor spațiale dintre specii și arii protejate. (Lee Hannah 2008). Modelele de distribuție ale speciilor reprezintă principala unealtă a studiilor ce au estimat impactul modificărilor climatice asupra biodiversității în același timp arătând punctele slabe și pe cele tari ale rețelelor de AP (Lehikoinen et al, 2021).

#### 2.5 Variabile utilizate pentru estimarea efectului schimbărilor climatice asupra ariilor protejate

Dobrowski et al., 2021 a utilizat patru variabile biofizice: media temperaturilor minime (Tmin), media temperaturilor a celei mai călduroase luni (Tmax), precum și două variabile caracteristicile apelor de suprafață: evapotranspirația cumulată/an (AET) (surface water balance: annual cumulative actual evapotranspiration), deficitul de apă climatic (CWD) (Climatic Water Deficit). Utilizarea acestor variabile este relevantă pentru estimarea producției primare, distribuția speciilor de producători primari și a regimurilor de perturbare. Datele

necesare au fost luate de pe platforma “TerraClimate” unde există seturi de date climatice și hidrologice la nivel global, pentru perioada 1958-2019.

Pentru a studia capacitatea de a reduce impactul schimbărilor climatice și a degradării habitatelor de către rețelele de arii protejate, Lehtikoinen et al., 2020 a utilizat indicele CTI (community temperature index – indicele de temperatură al comunităților) ce reprezintă media ponderată a preferințelor de temperatură pentru comunitățile utilizate. Pentru a calcula CTI este necesar indicele STI (species temperature index – indicele de temperatură al speciei), care, pentru speciile de păsări luate în considerare, este media lunară a temperaturilor medii pentru intervalul martie-august între anii 1950-2000 pentru teritoriul în care acestea își desfășoară activitățile de reproducere.

Wiens et al., 2011 a folosit proiecții ale condițiilor de climă viitoare derivate dintr-un model climatic la scară regională împreună cu scenariul IPCC SRES A2 pentru a identifica combinațiile de condiții climatice ce nu vor mai exista sau cele care vor fi noi pentru zona de studiu. S-au estimat următorii parametri: temperatura medie, temperatura minimă, temperatura maximă și cantitatea de precipitații utilizând 8 variabile bioclimatice disponibile pe platforma „BIOCLIM”.

Lawrance et al., 2021 au utilizat datele disponibile legate de DCI (Indicele de dispariție a condițiilor climatice) care reprezintă procentul din suprafața unei arii protejate care își schimbă valorile diferitor parametri climatici în urma impactului modificărilor climatice, pentru a cerceta care dintre caracteristicile ariilor protejate sunt legate de reziliența ariilor protejate la nivel global. S-au analizat 3 parametri care sunt caracteristici diversității topografice: suprafața ariei/ariilor protejate, diferența maximă de altitudine (MED) și diversitatea mediană a terenului (TR). Toți cei 3 parametri sunt asociați cu DCI. Rezultatele lor au arătat că diversitatea topografică este corelată cu reducerea impactului modificărilor climatice asupra ariilor protejate. Datele au fost obținute de pe platforma WDPA (World Database on Protected Area).

Pentru a examina efectele modificărilor climatice asupra 20 de specii de plante din familia Cactaceae ce se află pe suprafața unei arii protejate din Mexic, Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, au utilizat un model alcătuit din 19 parametri ce au contribuit la crearea modelelor de distribuție potențială a celor 20 de specii selectate. Hoffman & Beierkuhnlein, 2020, au estimat

vulnerabilitatea ariilor protejate în contextual modificărilor climatice prin intermediul analizei legăturii dintre anomaliile climatice de la nivelul ariilor protejate și alți parametri proprii acestora: altitudinea, diversitatea terenului, amprenta antropică și incapacitatea speciilor amenințate de a fi înlocuite.

Cu scopul de a evalua impactul schimbărilor climatice asupra biodiversității din ariile protejate, Langdon & Lawyer, 2015 au utilizat 23 de parametri bioclimatici ce au fost utilizați pentru elaborarea modelelor. Pentru modelarea a 3 tipuri de habitate utilizate pentru elaborarea de modele de distribuție ale speciilor, Steinacker et al., 2019 a utilizat opt variabile de mediu: Velasquez-Tibata et al., 2013 au utilizat 15 din cele 19 variabile bioclimatice de pe platforma WorldClim pentru a dezvolta modele de distribuție ale speciilor utilizând MAXENT, cu scopul de a estima efectele modificărilor climatice asupra distribuției speciilor, structurii comunităților și a gradului de conservare pentru speciile de păsări din ariile protejate.

Pentru a modela distribuția diferitelor specii de păsări de pe teritoriul ariilor protejate, Johnston et al., 2013 au folosit 4 variabile climatice: temperatura celei mai calde luni a verii, temperatura celei mai reci luni a iernii, cantitatea totală de precipitații înregistrată iarna, cantitatea totală de precipitații înregistrată vara, cu scopul de a estima efectele schimbărilor climatice asupra abundenței speciilor din ariile protejate.

Araujo et al., 2011 au evaluat eficacitatea ariilor protejate din Europa de a conserva speciile de plante și de mamifere terestre aflate sub presiunea modificărilor climatice utilizând multiple variabile: temperatura medie a celei mai reci luni, cantitatea anuală medie a precipitațiilor, numărul de zile cu temperatura  $>5^{\circ}\text{C}$  precum și un indice de umiditate fiind raportul al volumului real mediu al evapotranspirației anuale și volumul mediu al evapotranspirației anuale.

Un alt exemplu de studiu care a utilizat parametri climatici cu scopul de a estima eficacitatea rețelei de arii protejate Natura 2000 este acela al lui Salma Nila et al., 2019 în care s-au efectuat analize statistice utilizând 19 parametri climatici disponibili în rețeaua WorldClim (Fig. 1.1.1., Fig. 1.1.2.).



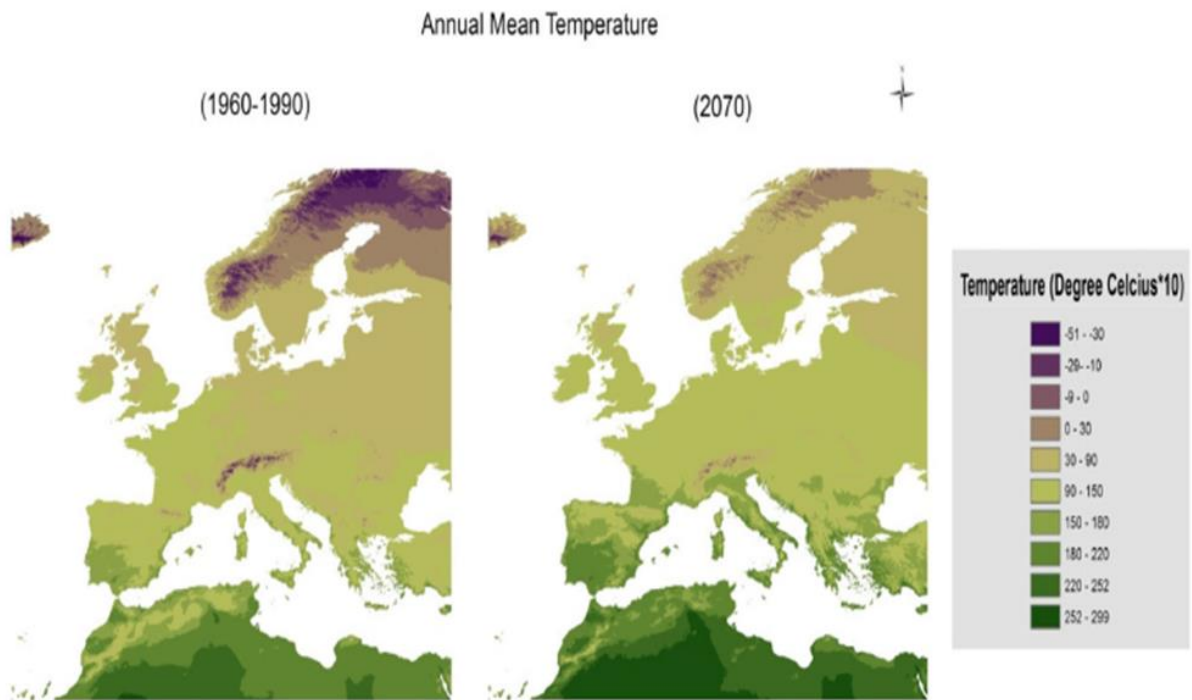


Fig. 1. Distribuția spațială a temperaturii medii anuale pentru anul 2070 (Salma Nila et al., 2019)

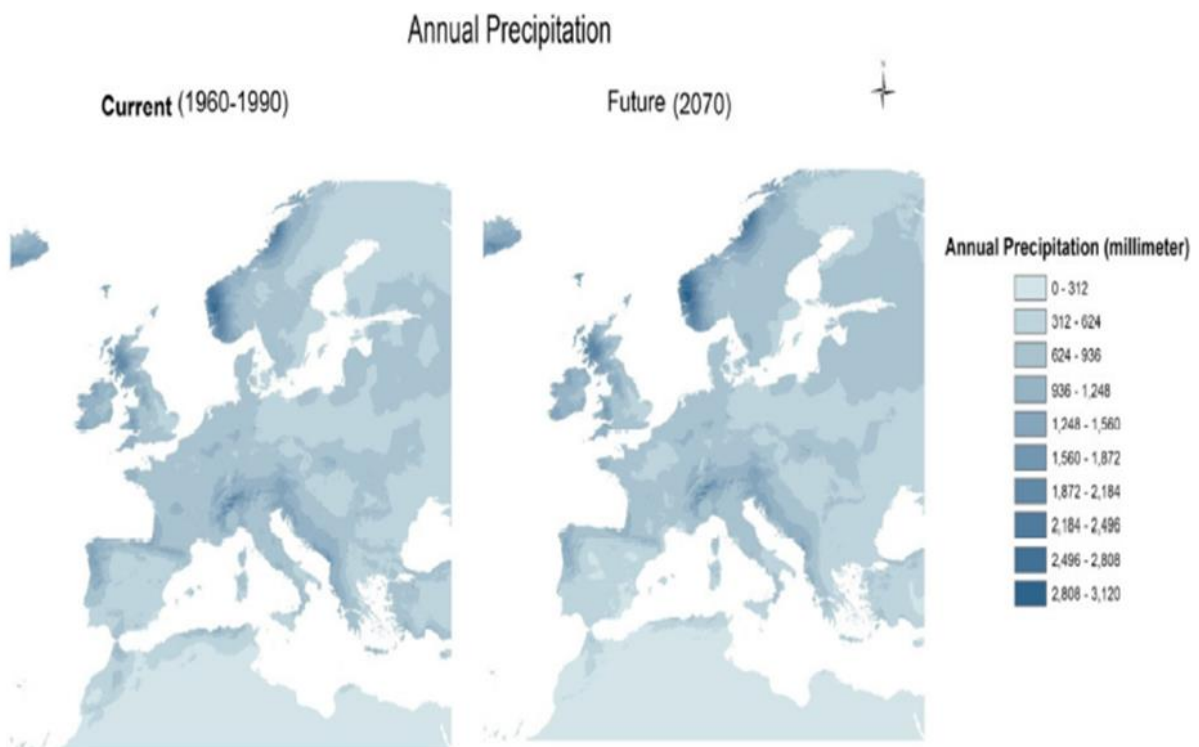


Fig. 2. Distribuția spațială a precipitațiilor anuale pentru anul 2070 (Salma Nila et al., 2019)

## 2.6 Impactul asupra ecosistemelor

Distribuția spațială a unei specii nu este limitată doar de existența unor bariere fizice care limitează extinderea arealului de răspândire ci și de factorii de comandă de tip biotic și abiotic care limitează din punct de vedere fiziologic indivizii dintr-o populație.

- Factorii limitativi abiotici putem menționa: energia radiantă solară (lungimea zilei, sezonabilitatea), umiditatea / cantitatea de apă, temperatura, amplitudinea termică diurnă, gradientul altitudinal, presiunea, salinitatea, viteza vântului, pH, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, disponibilitatea N, P, K, S, Mg etc.
- Factorii limitativi biotici sunt: concurența inter și intra specifică, prădătorismul, parazitismul, agenții patogeni, polenizatori sau alți agenți de dispersie, disponibilitatea hranei etc.

Modelarea distribuției speciilor (SDM – Species Distribution Model) cunoscută sub diferite nume cum ar fi: modelarea anvelopei climatice, modelarea habitatului sau modelarea nișei (de mediu sau ecologică), are ca scop estimarea condițiilor similare ale factorilor de comandă („condiții de mediu”, „variabile de mediu”) din alte locații cu cele din locațiile în care este înregistrată prezența (și/sau absența) unui fenomen (ex. prezența unei specii, habitat).

Modelarea distribuției speciilor a devenit un instrument standard în mai multe domenii de cercetare cum ar fi: ecologie, conservarea biodiversității, biogeografia, paleobiogeografia, epidemiologia etc.. Modelarea distribuției speciilor este un domeniu de cercetare activă atât din punct de vedere teoretic cât și metodologic.

O utilizare frecventă a acestor metode este de a estima arealul speciilor pe baza variabilelor climatice determinate pentru o perioadă de referință sau identificarea zonelor favorabile prezenței speciilor în condițiile unor scenarii de modificare a tipului de management sau a unor variabile climatice.

2.7. Identificarea altor categorii de parametri cu efect complementar asupra ac:  
Selectarea altor variabile (hidrologice - modelul SWAT, caracteristici ale solului etc)

Proiecțiile climatice bazate pe emisiile actuale de gaze cu efect de seră prevăd că temperaturile medii globale ale suprafeței pentru 2081–2100, în raport cu 1986–2005, vor fi probabil între 0,3°C și 1,7 °C (RCP 2,6), 1,1 °C până la 2,6 °C (RCP. 4,5), 1,4 °C până la 3,1 °C (RCP 6,0) și 2,6°C până la 4,8 °C (RCP 8,5) (IPCC, 2021). Aceste estimări sunt însoțite de modificări ale multor alte variabile de mediu, inclusiv cantitatea și regimul precipitațiilor și, prin urmare, datorită naturii integrate a ciclului hidrologic va modifica majoritatea componentelor sale (Dawen et al., 2021, Gildas Dayon et al., 2018, IPPC, 2021).

Deși se recunoaște că schimbările climatice vor avea impact la scară globală, este necesar să se înțeleagă aceste tipuri de impact la scara bazinelor hidrografice, care reprezintă una dintre cele mai relevante scări pentru părțile interesate și factorii de decizie. Evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra proceselor hidrologice prin intermediul modelării este recunoscută ca fiind un instrument important care oferă sprijin factorilor de decizie politică și administratorilor de resurse de apă pentru a dezvolta măsuri de adaptare și a elabora strategii de management legate de sistemele socio-ecologice (Fadeyi et al, 2020; IPCC., 2021; Howarth et al., 2016; Singh, 2018).

Printre formele de impact se numără creșterea incidenței și intensității inundațiilor generate de apa pluvială în nordul Europei și secetele hidrologice și agricole/ecologice din regiunea mediteraneană, precum și modificări semnificative ale componentelor cheie ale ciclului hidrologic, cum ar fi acumularea de zăpadă și scurgerile de suprafață (EEA 2017). Pentru Europa de Est, proiecția RCP 8.5 indică faptul că temperatura generală va crește cu 1,5°C până la 4°C (IPCC., 2021) până în 2041-2060. Precipitațiile vor fi afectate în special în timpul verii (adică o scădere cu până la 20%) pentru aceeași perioadă (IPCC 2021). În diferite studii se utilizează modelul SWAT (Soil and Water Assessment Tool, trad. “Instrument pentru Evaluarea Solului și Apei”) cu scopul de a evalua impactul viitoarelor schimbări climatice asupra proceselor hidrologice. SWAT (Arnold et al., 2012a) este un instrument utilizat pe scară largă, dezvoltat pentru a simula și prezice impactul modificării acoperirii terenurilor, utilizării terenurilor și schimbărilor climatice asupra cantității și calității apelor de suprafață și subterane (Fig. 3).

SWAT permite simularea diferitelor procese fizice, cum ar fi procesele asociate cu mișcarea apei și sedimentelor, creșterea culturilor, ciclul nutrienților, etc.. Pentru a estima aceste procese cu o acuratețe mai mare, un bazin hidrografic poate fi împărțit în subbazine. Unitățile de

răspuns hidrologic (HRU), reprezentând componente cheie în arhitectura SWAT, sunt zone din cadrul subbazinului care sunt compuse din moduri diferite de utilizare a terenului, caracteristici ale solurilor și management.

Datele necesare pentru rularea SWAT includ seturi de date la scara de bazin hidrografic (de exemplu, **modelul digital al elevației (DEM)**, **proprietățile solurilor și acoperirea terenului**) și **serii de date meteorologice**. Procesarea datelor la scară de captare este prezentată în detaliu în Blaschke et al. (2003). Bazinele hidrografice, subbazinele și rețelele hidrografice sunt delimitate de obicei folosind rutina de delimitare a bazinului hidrografic încorporată în ArcSWAT (Fig. 2.1.3.).

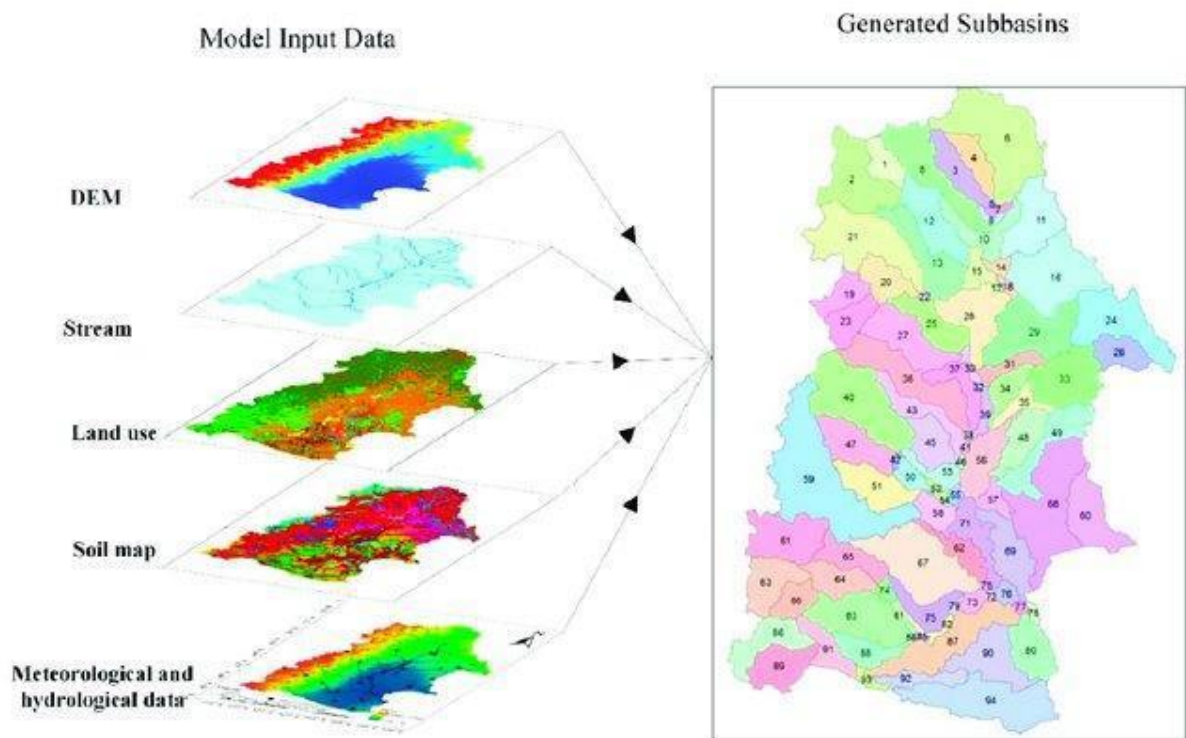


Fig. 3. Categoriile de date necesare pentru analiza SWAT (Fan J. et al., 2018)

Proprietățile solurilor sunt de obicei încorporate în baza de date a solurilor utilizator ArcSWAT utilizând echivalența dintre solurile din zona de studiu obținute din hărți și proprietățile

solurilor disponibile în baza de date a solurilor utilizator ArcSWAT (de exemplu, **grupul hidrologic, orizonturile solului, textura, conținutul de materie organică** etc.). Datele necesare pentru Grila de utilizare a terenurilor ArcSWAT pot fi extrase din baza de date CORINE Land Cover (EEA, 2012), urmate de conversia claselor specifice de utilizare a terenului în categorii echivalente de utilizare a terenului necesare SWAT. Unitățile de răspuns hidrologic (HRU) necesare pentru rularea modelului SWAT, pot fi delimitate utilizând opțiunea ArcSWAT „multiple HRU-uri într-un subbazin hidrografic”, cu praguri specificate pentru tipul de utilizare a terenului și procente de clasă de sol pentru fiecare subbazin. După cum recomandă IPCC (2018), studiile hidro-climatice necesită cel puțin 30 de ani de date meteorologice pentru a minimiza potențialele erori asociate perioadelor mai scurte de timp (de exemplu, durata perioadelor uscate sau umede, durata perioadelor calde sau reci etc.). De asemenea, sunt necesare și date meteorologice zilnice (**adică temperatura aerului, precipitațiile, umiditatea relativă a aerului, viteza vântului și radiația solară**). Modelul poate fi calibrat folosind programul SPE (SWAT Parameter Estimator) (Abbaspour, 2020), iar valorile finale ale parametrilor calibrați pot fi importate în ArcSWAT. Parametrii de calibrare pot fi grupați pe subcomponentele modelului (de exemplu, procesele legate de zăpadă, apa subterană, sol, albia râului etc.).

Analizele pot fi efectuate atât spațial, cât și temporal, folosind componente cheie ale circuitului apei (de exemplu, **debit, conținutul de apă din sol, scurgerea apei de suprafață și cea subterană, precipitații sub formă de zăpadă, evapotranspirația**).

## 2.8. Parametri climatici identificați

2.8.1. Parametri climatici ce au fost utilizați în cadrul analizei speciilor și habitatelor:  
Pentru modelarea anvelopei climatice a speciilor și habitatelor se folosesc variabilele bioclimatice **BIO1- BIO19** propuse de Fick, S.E. and R.J. Hijmans (2017):

Parametrii bioclimatici standard BIO1-BIO19 precum și BIO20-BIO35 (Climond - global Climatologies for bioclimatic modelling):

- BIO1 Temperatura medie anuală;

- BIO2 Interval mediu diurn (Media lunară (temperatura maximă - temperatura min.));
- BIO3 Izotermitate (BIO2/BIO7) ( $\times 100$ );
- BIO4 Sezonalitatea temperaturii (abatere standard  $\times 100$ );
- BIO5 Temperatura maximă a lunii cele mai calde;
- BIO6 Temperatura minimă a lunii cele mai reci;
- BIO7 Interval anual de temperatură (BIO5-BIO6);
- BIO8 Temperatura medie a celui mai umed trimestru;
- BIO9 Temperatura medie a celui mai uscat trimestru;
- BIO10 Temperatura medie a celui mai cald trimestru;
- BIO11 Temperatura medie a celui mai rece trimestru;
- BIO12 Precipitații anuale;
- BIO13 Precipitația lunii cele mai umede;
- BIO14 Precipitația celei mai uscate luni;
- BIO15 Sezonalitatea precipitațiilor (coeficient de variație);
- BIO16 Precipitația celui mai umed trimestru;
- BIO17 Precipitația celui mai uscat trimestru;
- BIO18 Precipitația celui mai cald trimestru;
- BIO19 Precipitația celui mai rece trimestru;
- BIO20 Radiația solară medie anuală;
- BIO21 Cea mai mare valoare a radiației solare săptămânale;
- BIO22 Cea mai scăzută valoare a radiației solare săptămânale;
- BIO23 Sezonalitatea radiației solare;
- BIO24 Radiația solară a celui mai umed trimestru;
- BIO25 Radiația solară a celui mai uscat trimestru;
- BIO26 Radiația solară a celui mai cald trimestru;
- BIO27 Radiația solară a celui mai rece trimestru;
- BIO28 Radiația solară medie anuală;
- BIO29 Valoarea cea mai mare a radiației solare săptămânale;
- BIO30 Valoarea cea mai scăzută a radiației solare săptămânale;
- BIO31 Sezonalitatea indicelui de umiditate;
- BIO32 Valoarea medie a indicelui de umiditate al celui mai umed trimestru;
- BIO33 Valoarea medie a indicelui de umiditate al celui mai uscat trimestru;

- BIO34 Valoarea medie a indicelui de umiditate al celui mai călduros trimestru;
- BIO35 Valoarea medie a indicelui de umiditate al celui mai rece trimestru.

Variabilele BIO1 - BIO 19 sunt cunoscute drept variabile “standard” deoarece necesită doar date de temperatură și precipitații pentru calculul acestora. Variabilele BIO20 - BIO27 din tabelul necesită date despre radiația solară iar cele BIO28-BIO35 necesită date despre umiditatea solului.

Datele privind radiația solară și conținutul de umiditate atmosferică (umiditate relativă sau presiunea vaporilor) sunt frecvent indisponibile în multe climatologii, iar procesarea datelor necesară pentru calcularea variabilelor de umiditate a solului este semnificativ mai implicată decât calcularea variabilelor de bază Bioclim.

## 2.9. Identificarea metodelor utilizate in modelarea efectului modificărilor climatice

Modelarea distribuției speciilor se realizează prin utilizare unor algoritmi. Metodele care au la bază acești algoritmi pot fi clasificate ca:

- Metode exploratorii;
- Regresii;
- Învățare automată.
- **Metodele „exploratorii”:**

Țin cont doar de datele de „prezență” în timp ce metodele bazate pe diferite tipuri de regresie și de învățare automată folosesc atât date de prezență, cât și date de absență sau pseudo absență. Cea mai frecventă clasificare a metodelor folosite în modelarea distribuției speciilor se face în funcție de tipul de date privind speciile: doar prezență și prezență/absență. Trebuie reținut că metodele de „exploratorii” se bazează întotdeauna numai pe date de prezență.

O clasă complet diferită de modele sunt cele care utilizează numai, sau în principal, localizarea geografică a prezenței cunoscute a speciilor și nu se utilizează valorile variabilelor de mediu din aceste locații. Aceste modele sunt cunoscute drept „modele geografice”.

Modelarea distribuției speciilor poate fi împărțită în trei etape principale:

1) pregătirea a datelor de intrare - foarte importantă deoarece calitatea datelor de intrare influențează major rezultatele modelului. Constă în:

- filtrarea datelor de prezență (corectarea unor erori, eliminarea duplicatelor etc.);
- extragerea unui număr de date pentru calibrare;
- stabilirea datelor de (pseudo)absență;
- selectarea variabilelor independente;
- reducerea coliniarității dintre acestea;
- delimitarea zonei în care se face modelarea.

2) selectarea și aplicarea algoritmilor de modelare;

3) validare și postprocesare ce constau în:

- evaluarea rezultatelor modelării;
- corectarea eventualelor supra- sau sub- estimări ale favorabilității prezenței speciilor;
- realizarea interpolărilor sau extrapolării rezultatelor modelului;
- sintetizarea rezultatelor obținute.

#### 2.9.1. Metode exploratorii

Trei metode sunt mai cunoscute: Bioclim, Domain și Mahalanobis.

#### **Bioclim**

Algoritmul BIOCLIM este utilizat pe scară largă pentru modelarea distribuției speciilor.

BIOCLIM este un model clasic bazat pe utilizarea „anvelopei climatice” (Booth et al., 2014). Deși, în general, nu este la fel de performant ca alte metode de modelare (Elith et al. 2006), în



special în contextul schimbărilor climatice (Hijmans și Graham, 2006), este încă folosit, printre alte motive, deoarece algoritmul este ușor de utilizat și înțeles.

- calculează similaritatea valorilor „variabilelor de mediu” cu valorile percentilelor din locațiile unde s-a înregistrat prezența speciilor („locuri de antrenament”). Cu cât aceste valori sunt mai apropiate de percentila de 50 (mediana), cu atât locația este mai potrivită;
- cozile distribuției nu se consideră, adică percentila 10 este tratată ca echivalent cu percentila 90;
- algoritmul standardizează rezultatele în intervalul 0 și 1. În acest fel rezultatele devin asemănătoare cu cele ale altor metode de modelare a distribuției și sunt astfel mai ușor de interpretat. Valoarea 1 va fi observată rar, deoarece ar necesita o locație care să aibă valoarea mediană a datelor de prezență pentru toate variabilele luate în considerare. Valoarea 0 este foarte comună, deoarece este atribuită tuturor celulelor cu o valoare a unei variabile de mediu care se află în afara distribuției percentile (intervalul datelor de antrenament) pentru cel puțin una dintre variabile.

### **Domeniu**

Algoritmul „Domain” (Carpenter et al. 1993) este de asemenea utilizat pe scară largă pentru modelarea distribuției speciilor. Nu produce rezultate foarte bune prin comparație cu alte modele (Elith și colab. 2006) și este foarte puțin sensibil la evaluarea efectelor schimbărilor climatice (Hijmans și Graham, 2006).

- calculează distanța Gower dintre „variabilele de mediu” din orice locație și cele din locațiile cu prezență cunoscută a speciilor;
- distanța dintre mediul din punctul A și cele ale datelor de prezență pentru o singură variabilă climatică este calculată ca diferența absolută a valorilor acelei variabile împărțită la intervalul variabilei în toate punctele de apariție cunoscute (adică, distanța este scalată prin gama de observații);
- pentru fiecare variabilă se ia distanța minimă dintre un loc și oricare dintre punctele de prezență. Distanța Gower este astfel media acestor distanțe pentru toate variabilele de mediu;
- algoritmul atribuie fiecărei locații valoarea distanței până la cea mai apropiată localizare a prezenței speciei. Valorile acestor distanțe sunt standardizate între 0 și 1.

### **Distanța Mahalanobis**

În acest caz, modelarea distribuției speciilor se bazează pe calcularea distanței Mahalanobis (Mahalanobis, 1936). Aceasta ține cont de corelațiile între variabilele din setul de date și nu este dependentă de scările de măsurare.

### **Modele clasice de regresie**

Acest tip de modele se bazează relațiile de regresie care apar între valorile factorilor de comandă (predictori) și dintre datele de prezență și absență (pseudo absență). Cu excepția modelului „Maxent”, care este capabil să folosească un pachet de date în format raster și un set de puncte de prezență celelalte modele impun determinarea / extragerea valorilor factorilor de comandă și ajustarea unui model între acestea și datele de prezență – absență.

### **Modele liniare generalizate (GLM)**

Un model liniar generalizat este o generalizare a regresiei obișnuite. Modelele sunt ajustate folosind probabilitatea maximă și permițând ca modelul liniar să fie legat de variabila răspuns printr-o funcție de legătură și permițând ca mărimea varianței fiecărei măsurători să fie o funcție de valoarea sa prezisă. În funcție de modul în care este specificat un GLM, acesta poate fi echivalent cu regresia liniară (multiplă), regresia logistică sau regresia Poisson. Guisan et al (2002) face o prezentare generală a utilizării GLM în modelarea distribuției speciilor.

### **Modele aditive generalizate**

Modelele aditive generalizate (GAM; Hastie și Tibshirani, 1990; Wood, 2006) sunt o extensie a GLM. În GAM, predictorul liniar este suma funcțiilor de netezire. Acest lucru face ca GAM-urile să fie foarte flexibile și să poată fi ajustate cu funcții foarte complexe. Această proprietate a GAM le face foarte asemănătoare cu metodele de „învățare automată”.

### **Metode de învățare automată**

Modelele bazate pe învățare automată (machine learning) sunt modele flexibile neparametrice de regresie. Dintre acestea cele mai frecvent folosite sunt rețele neuronale artificiale (ANN), random forest (păduri aleatorii), arbori de regresie (boosted regressions trees) și SVM (supported vector machines) (Breiman 2001a, Hastie et al., 2009).

### **Maxent**

MaxEnt (prescurtarea de la “Maximum Entropy”) este cel mai utilizat algoritm pentru modelarea distribuției speciilor (Phillips et al., 2006, Elith et al. 2010). Acesta se bazează pe puncte de prezență a speciilor și pe utilizarea variabilelor de mediu în format raster. În acest fel, modelul poate fi folosit similar modelelor exploratorii.

- conceptul este de a estima o probabilitate de distribuție a speciei țintă găsiind probabilitatea distribuției entropiei maxime, adică distribuția cea mai întinsă și mai apropiată de uniform, constrânsă de informația incompletă disponibilă privind distribuția speciei (Phillips et al., 2006). Această informație este de cele mai multe ori disponibilă sub formă de variabile, numite „proprietăți (features)”, iar constrângerile sunt reprezentate de faptul că valoarea așteptată pentru fiecare „feature” trebuie să fie egală cu media empirică a sa (valoarea medie pentru un set de puncte de probă din distribuția țintă) (Phillips et al., 2006);
- aplicat la date de prezență, informațiile de prezență sunt punctele de probă iar proprietățile sunt variabile climatice, altitudine, categorii de sol, tip de vegetație etc. și funcțiile acestora (Phillips et al., 2006). Aceste variabilele independente din model sunt numite covariate sau factori de predicție;
- în procesul de regresie rezolvarea este de a aplica transformări covariatelor, iar modelele complexe sunt rezolvate prin combinații liniare ale funcțiilor de bază (Elith et al., 2011).

### **Arbori de regresie (Boosted Regression Trees)**

Boosted Regression Trees (BRT) această tehnică de regresie este cunoscută sub diferite denumiri “Gradient Boosting Machine” (GBM) (Friedman, 2001), “Gradient Boost”, “Stochastic Gradient Boosting” sau “Gradient Tree Boosting”.

- un arbore de regresie este un tip de arbore de decizie. Se bazează pe suma pătratelor și pe analiza de regresie pentru a face o predicție a valorilor câmpului țintă;
- predicțiile se bazează pe o combinație de valori din câmpurile de intrare. Un arbore de regresie calculează o valoare medie prognozată pentru fiecare nod din arbore. Acest tip de arbore este generat când câmpul țintă este continuu;
- procesul de construire a arborelui de decizie începe cu nodul rădăcină care corespunde tuturor rândurilor din date. Toate nodurile sunt divizate în sub-noduri până când nu mai este posibilă nicio îmbunătățire în suma pătratelor sau numărul de rânduri de date care corespunde nodului devine prea mic;
- procesul se oprește dacă numărul de noduri din arborele de decizie devine prea mare;

- valoarea lui  $R^2$  este folosită pentru estimarea puterii de predicție a arborelui de regresie;
- un arbore de regresie este raportat că este de încredere când puterea sa de predicție este mai mare decât pragul de 10%.

### **Random Forest**

- este o extindere a arborilor de regresie și clasificare (CART);
- acest algoritm funcționează pe principiul conform căruia un grup de „clasificatori slabi” (weak classifiers) pot forma, împreună, un clasificator puternic (strong classifier);
- clasificatorul slab îl constituie un arbore de decizie, adesea generat aleator. Un arbore de decizie singular se construiește pornind de la întregul set de date, deciziile fiind simbolizate prin nodurile arborelui care se generează pe baza atributelor din setul de date. Ramurile aferente unui nod reprezintă valorile atributului corespunzător aceluia nod;
- se generează mai mulți arbori de decizie pornind de la submulțimi ale setului de date inițial. Fiecare arbore astfel generat se aplică pe instanța ce trebuie clasificată, rezultând câte o clasă pentru fiecare arbore;
- rezultatul final al clasificării este dat de clasa majoritară.

### **Support Vector Machines**

- utilizează pentru analiza datelor o metodă liniară simplă aplicată într-un spațiu multidimensional care nu se află în relație de liniaritate cu datele de intrare;
- algoritmul SVM face parte din categoria algoritmilor de învățare automată și este utilizat frecvent în cadrul tehnicilor de clasificare;
- se folosește o tehnică de clasificare binară care utilizează setul de date de antrenament pentru a prezice un hiperplan optim într-un spațiu multidimensional. Acest hiperplan este utilizat pentru a clasifica noi seturi de date. Fiind un clasificator binar, hiperplanul împarte setul de date de antrenament în două clase;
- SVM-ul a fost folosit pentru prima oară în tehnici de modelare a speciilor de către Guo et al. (2005).

### **Combinarea rezultatelor diferitelor modele**

În practică, tendința actuală este de a rula un set de modele și de a compara rezultatele produse de acestea pentru a avea o imagine mai bună privind eventualele predicții sau a variabilelor care au ponderea cea mai mare în distribuția speciilor.

Cap. III Evaluarea impactului potențial al fenomenelor de risc climatic asupra sectorului biodiversitate, utilizând analiza spațială pentru identificarea diferențierilor regionale ale posibilelor impacturi

### **3. Exemplu de analiză realizată de Universitatea din București ce evaluează impactul modificărilor climatice asupra biodiversității și serviciilor ecosistemice prin modelarea evoluției anvelopelor climatice în funcțiile de scenariile climatice**

#### **Pasul 1. Identificarea speciilor țintă**

Selectarea speciilor pentru care s-a realizat modelarea anvelopei climatice s-a realizat în urma consultării cu specialiștii în domeniul protecției mediului din cadrul Agenției Naționale pentru Aree Protejate din România. Criteriul principal fiind acela de a selecta specii și habitate de interes conservativ pentru care există date de prezență localizate geografic. De asemenea, s-a dorit selectarea unor specii care să fie distribuite în zone în care scenariile climatice prognozează modificări semnificative ale valorilor temperaturii și precipitațiilor.

#### **Pasul 2. Utilizarea datelor de distribuție pentru speciile țintă**

Se utilizează date de prezență ale speciilor țintă. Distribuția datelor a fost regularizată utilizând un grid de 1km<sup>2</sup>.

#### **Pasul 3. Utilizarea parametrilor de mediu**

Modelarea s-a bazat pe setul standard de variabile bioclimatice BIO1 – BIO19, descrise în .... Modelarea nu a luat în considerare caracteristicile funcționale ale speciilor, interacțiunile cu alte specii și nici restricțiile geografice ale acestora. S-au folosit datele de prezență și parametrii bioclimatici, având ca scop modelarea anvelopei climatice viitoare, respectiv a condițiilor favorabile prezentei speciei sau habitatelor din punct de vedere al parametrilor bioclimatici în condițiile prognozate de scenariile climatice selectate pentru analiza.

#### **Pasul 4. Modelarea evoluției anvelopelor climatice**

Modelarea se poate realiza prin utilizarea unor pachete existente cum este Maxent (Phylips et al., 2006).

### Pasul 5. Clasificarea distribuției spațiale a speciilor pentru 4 scenarii climatice

### Pasul 6. Analizarea rezultatelor

Reprezentarea comparativă a suprafețelor ocupate de speciile analizate pentru 4 scenarii climatice:

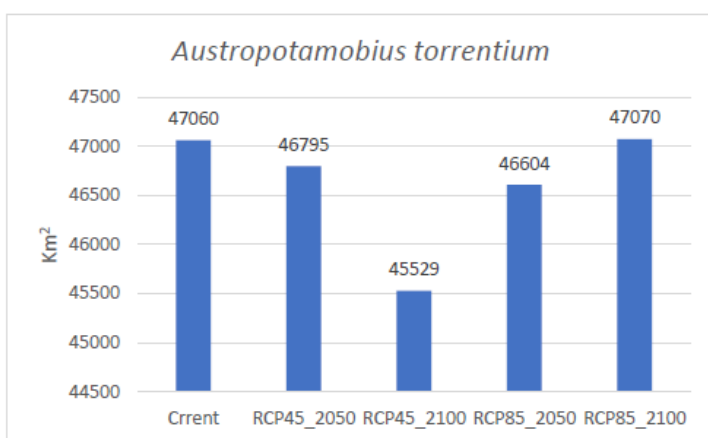


Fig. 4 Reprezentarea comparativă a suprafețelor ocupate de *Austropotamobius torrentium* pentru cele 4 scenarii climatice

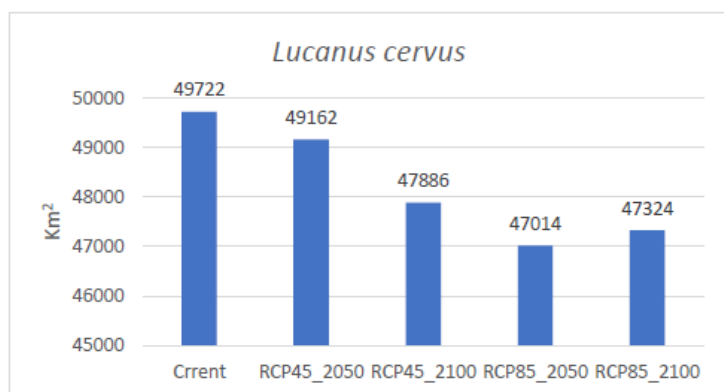


Fig.5 Reprezentarea comparativă a suprafețelor ocupate de *Lucanus cervus* pentru cele 4 scenarii climatice

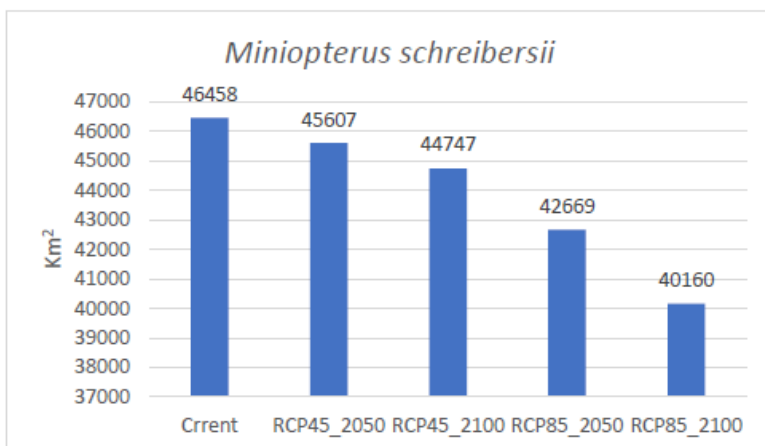


Fig. 6. Reprezentarea comparativă a suprafețelor ocupate de *Miniopterus schreibersii* pentru cele 4 scenarii climatice

**Rezultatul modelării spațiale a suprafețelor ocupate speciile analizate pentru 4 scenarii climatice:**

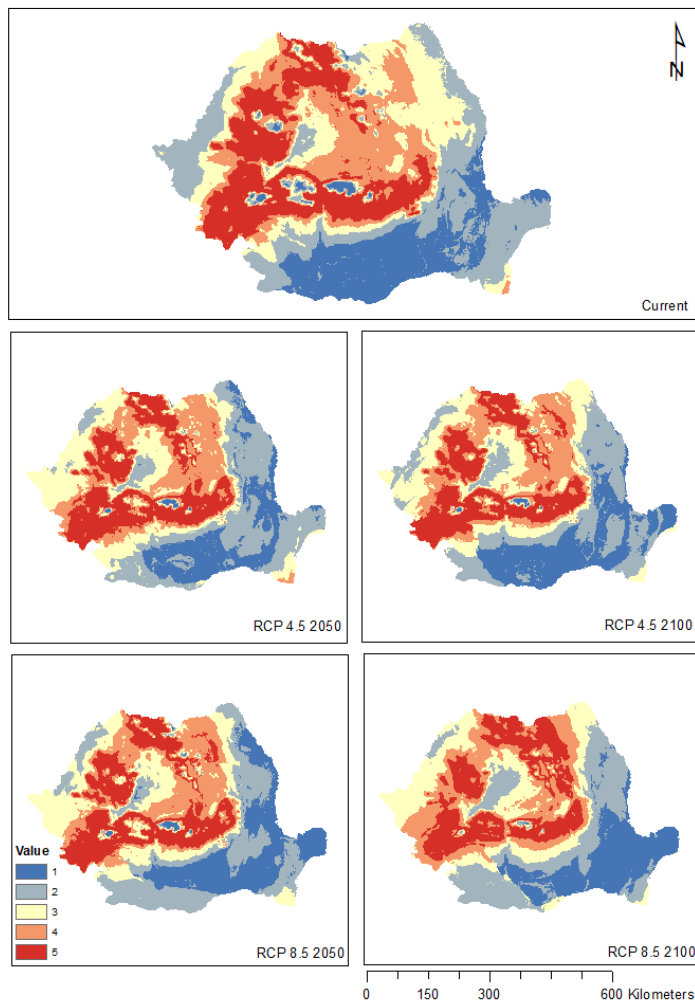


Fig. 7. Modelarea spațială a speciei *Austropotamobius torrentium* pentru cele 4 scenarii climatice



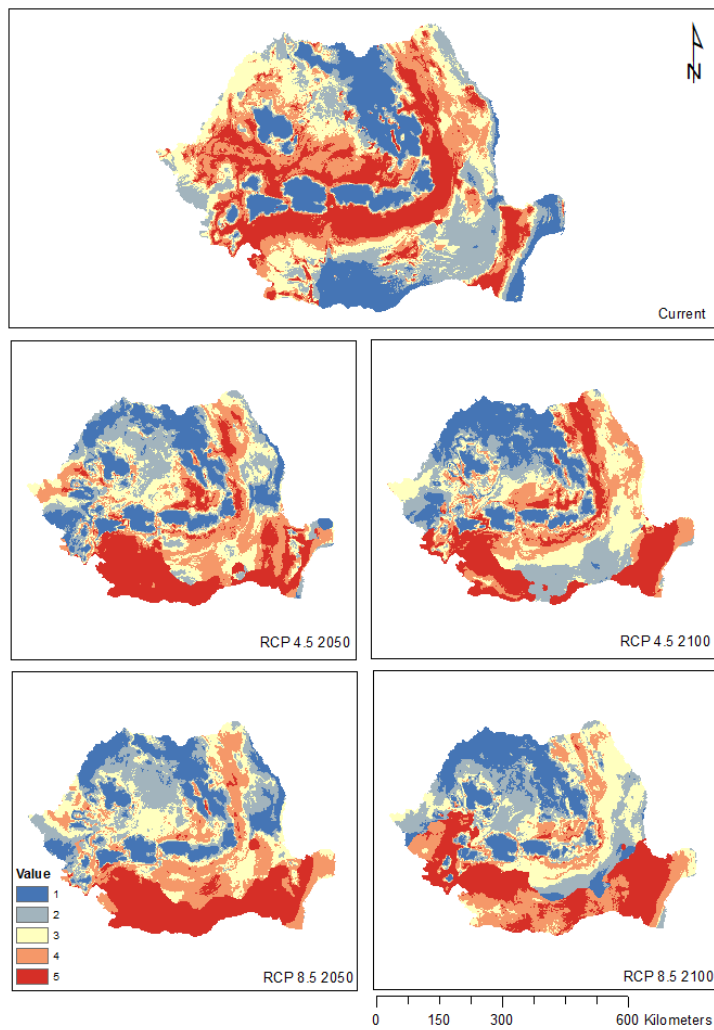


Fig. 8 Modelarea spațială a speciei *Lucanus cervus* pentru cele 4 scenarii climatice

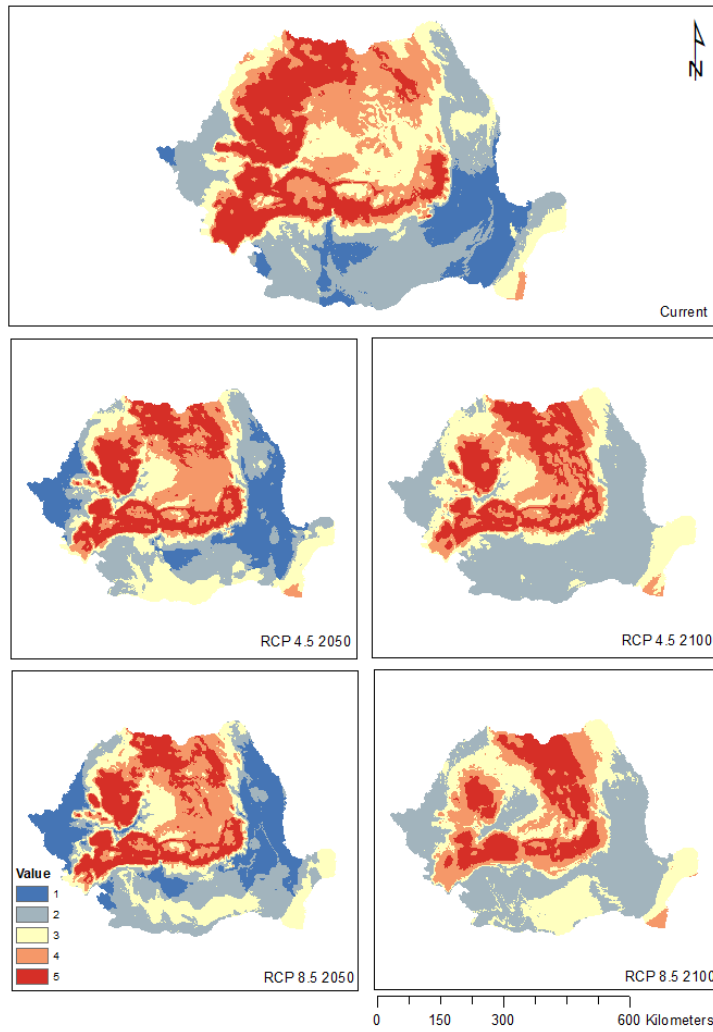


Fig. 9. Modelarea spațială a speciei *Miniopterus schreibersii* pentru cele 4 scenarii climatice

**Rezultatul modelării spațiale acoperirii terenurilor și implicații pentru furnizarea de servicii ecosistemice pentru cele 4 scenarii climatice:**

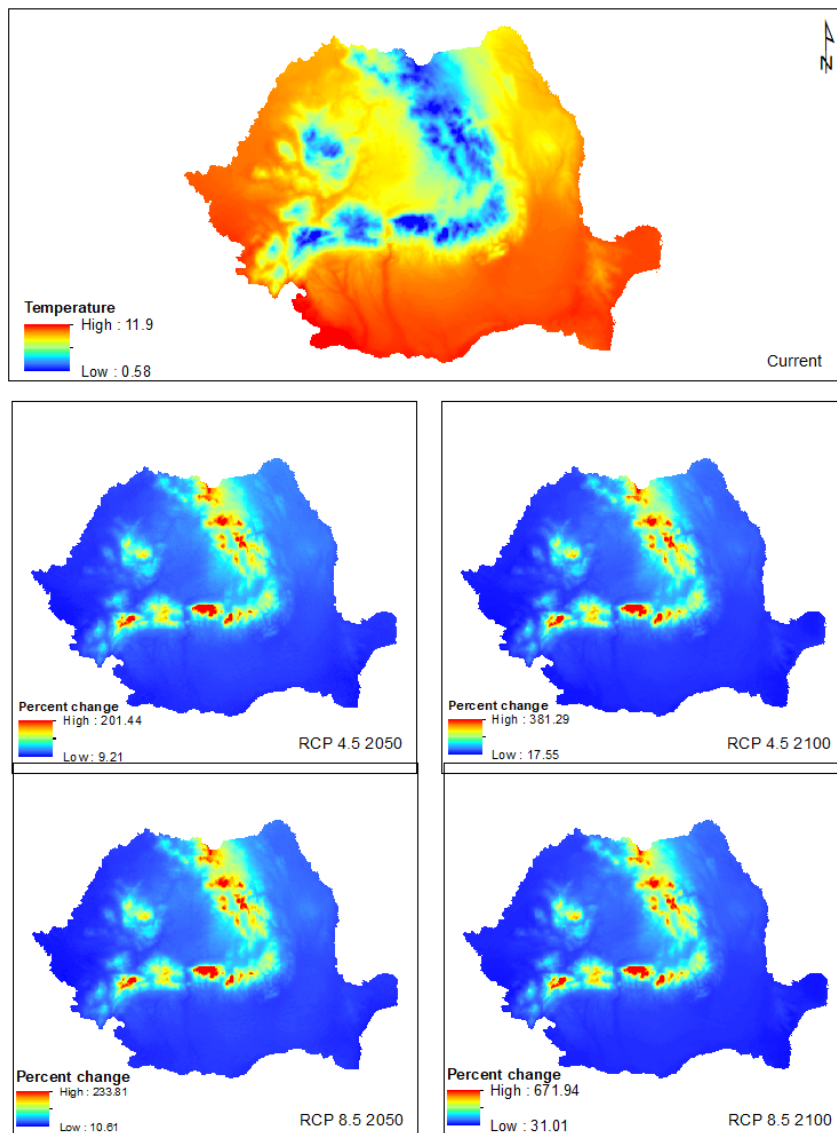


Fig. 10. Analizarea procentului de modificare a valorilor medii ale temperaturii față de starea curentă de referință (temperatura media 1971 – 2000) în condițiile a două scenarii de modificare a climei RCP 4.5 și 8.5.

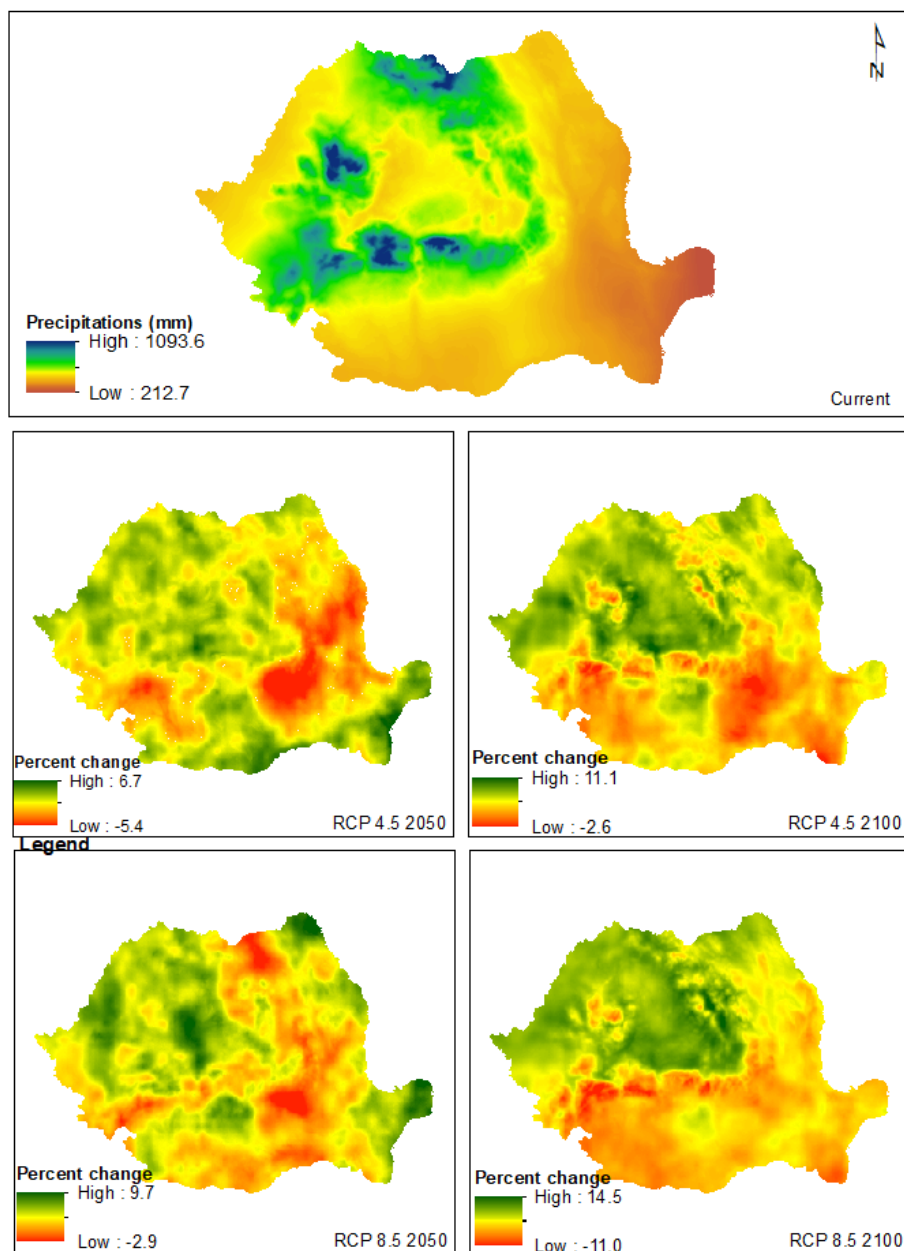


Fig. 11. Analizarea procentului de modificare a valorilor cumulate a cantității de precipitații față de starea curentă de referință (temperatura media 1971 – 2000) în condițiile a două scenarii de modificare a climei RCP 4.5 și 8.5.

## Cap. IV Evidențierea impactului biodiversității și serviciilor ecosistemice asupra climatului

Una dintre modalitățile prin care impactul biodiversității și serviciilor ecosistemice asupra climatului poate fi evidențiat prin intermediul cuantificării schimbărilor de la nivelul modului de utilizare a terenului în contextul schimbărilor climatice. Abordarea aleasă cât și pașii pe care

Îi vom menționa în acest capitol pot fi găsiți mai detaliați în lucrarea lui Niu et al., 2018 cât și a lui Caian et al., 2019.

Impactul schimbărilor climatice asupra climatului poate fi exprimat la nivelul diferitelor procese biochimice și biogeofizice. Efectele biogeochimice modifică circuitul carbonului prin intermediul emisiilor sau absorbțiilor de gaze cu efect de seră atmosferice, care, la rândul său, afectează sistemul climatic. Mecanismele biogeofizice pot impacta schimburile de energie de suprafață cât și circuitul apei prin intermediul modificărilor caracteristicilor fizice ale terenului.

Studii precedente care evidențiază impactul modului de utilizare a terenului asupra climei:

Christidis et al., 2013 au arătat că despăduririle au dus la o răcire semnificativă a extremelor temperaturilor zilnice pozitive înregistrate în America de Nord, în timp ce Strack et al., 2008 au arătat că atunci când modul de utilizare al terenului se schimbă din sistem forestier în cel agricol, temperatura minimă și maximă a lunii iunie vor crește (studiu efectuat în estul Statelor unite).

Studiile recente au arătat că este necesară includerea proiecțiilor schimbărilor modului de utilizare a terenului în simularea diferitelor scenarii climatice.

#### 4.1 Exemplu de studiu efectuat ce are ca scop evidențierea modului de utilizare a terenului asupra climatului

### **Downscaling-ul dinamic de rezoluție înaltă al fenomenelor extreme climatice folosind scenariile RCP și modurile de utilizare ale terenului**

Pentru a obține rezultatele downscaling-ului dinamic de rezoluție înaltă aplicat pe teritoriul României, s-au utilizat scenariile climatice CMIP5 pentru evenimentele climatice extreme ale celor mai călduroase veri.

- a. O configurare optimă a zonei de studiu pentru modelul non-hydrostatic RegCMV4.5 a fost făcută preliminar pe baza unui algoritm pentru 7 clase primare de date.
- b. Un downscaling la rezoluția de 5 km a fost realizat pentru fiecare dintre cele mai calde luni iulie conform scenariului RCP4.5 (2020-2050) și cele mai calde 5 luni obținute

în urma simularilor istorice (1970-2000), selectate pentru 4 modele globale de cuplare: Ec-Earth, MPI-ESM-MR, HadGEM2 and CNRM-CM5 – utilizând infrastructura AZURE Microsoft.

- c. O estimare a modului de utilizare a terenului a fost realizată cu ajutorul datelor obținute din proiectul VOLANTE, cu scopul de a obține scenarii plauzibile ale modului de utilizare a terenului la scară regională.
- d. Calcularea și analizarea modelului propus pentru a estima schimbările de la nivel regional în condiții climatice extreme.
- e. Modelele de cuplare sunt verificate pentru România cu ajutorul datelor observaționale.
- f. S-au tras concluzii cu privire la tendințele de la nivel regional.

### Tipuri de rezultate obținute

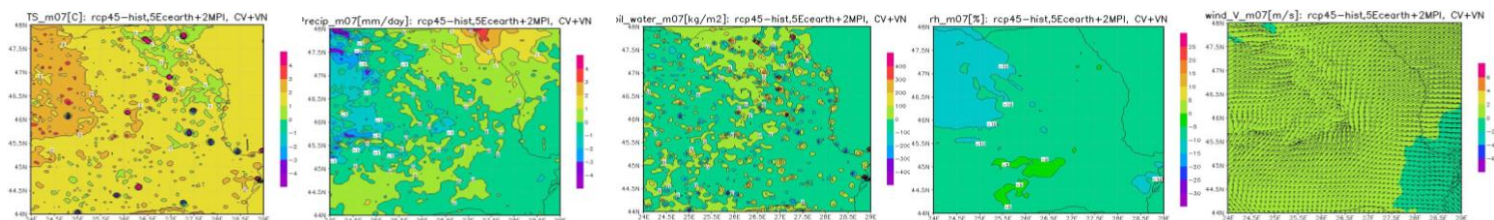


Fig. 12 Răspunsul la nivel regional al modului de utilizare a terenului în diferite scenarii climatice

## Bibliografie selectiva

1. Angearu, C.-V., Ontel, I., Boldeanu, G., Mihailescu, D., Nertan, A., Craciunescu, V., Catana, S., & Irimescu, A. (2020). Multi-Temporal Analysis and Trends of the Drought Based on MODIS Data in Agricultural Areas, Romania. *Remote Sensing*, 12(23), 3940. <https://doi.org/10.3390/rs12233940>
2. Barrow, C. J. (1992). World atlas of desertification (United nations environment programme), edited by N. Middleton and D. S. G. Thomas. Edward Arnold, London, 1992. Isbn 0 340 55512 2, £89.50 (hardback), ix + 69 pp. *Land Degradation and Development*, 3(4), 249–249. <https://doi.org/10.1002/ldr.3400030407>
3. Bauer-Marschallinger, B., Freeman, V., Cao, S., Paulik, C., Schaufler, S., Stachl, T., Modanesi, S., Massari, C., Ciabatta, L., Brocca, L., & Wagner, W. (2019). Toward Global Soil Moisture Monitoring With Sentinel-1: Harnessing Assets and Overcoming Obstacles. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(1), 520–539. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2858004>
4. Belgian federal Science Policy Office – BELSPO. (2014). Climate information: User needs and providers questionnaire. [https://climat.be/doc/Survey\\_Climate\\_information\\_def.pdf](https://climat.be/doc/Survey_Climate_information_def.pdf)
5. Bessembinder, J., Overbeek, B., Reidsma, P., Schaap, B., Delsman, J., Verboom, J., Van Bodegom, P., & Witte, J. P. M. (2012). Tailoring information about climate change and its impacts. Synthesis report Knowledge vor Climate, project KKF-01C.
6. Bessembinder, J., Overbeek, B., & Verver, G. (2011). Inventarisatie van gebruikerswensen voor klimaatinformatie [Inventarisation of user requirements for climate information].
7. Bojariu, R., Chitu, Z., Dascălu, S. I., Gothard, M., Velea, L., Burcea, S., Dumitrescu, A.,
8. Burcea, R., Apostol, L., Amihaesei, V., Marin, L., Craciunescu, V. S., Irimescu, A., Matreata, M., Nita, A., & Birsan, M.-V. (2021). Schimbările climatice – de la bazele fizice la riscuri și adaptare. Editura Printech.
9. Bojariu, R., Marius-Victor Bîrsan, Cică, R., Velea, L., Burcea, S., Dumitrescu, A., Dascălu, S. I., Mădălina Gothard, Dobrinescu, A., Cărbunaru, F., & Lenuța Marin. (2015).
10. Schimbările climatice – de la bazele fizice la riscuri și adaptare. Printech. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1341.0729>

11. Bruno Soares, M., & Buontempo, C. (2019). Challenges to the sustainability of climate services in Europe. *WIREs Climate Change*, 10(4). <https://doi.org/10.1002/wcc.587>
12. Buongiorno Nardelli, B., Colella, S., Santoleri, R., Guarracino, M., & Kholod, A. (2010). A re-analysis of Black Sea surface temperature. *Journal of Marine Systems*, 79(1–2), 50–64. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2009.07.001>
13. Buongiorno Nardelli, B., Tronconi, C., Pisano, A., & Santoleri, R. (2013). High and Ultra- High resolution processing of satellite Sea Surface Temperature data over Southern European Seas in the framework of MyOcean project. *Remote Sensing of Environment*, 129, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.012>
14. Carrer, D., Smets, B., Ceamanos, X., Roujean, X., & Lacaze, R. (2018). Copernicus Global Land SPOT/VEGETATION and PROBA-V surface albedo products—1km, Version 1.
15. Chelcea, S. (2001). Metodologia cercetării sociologice. Metode cantitative și calitative. Editura Economica.
16. Copernicus Global Land Service. (2018). Gio Global Land Component—Lot I ”Operation of the Global Land Component”.
17. Copernicus Global Land Service. (2019). Copernicus Global Land Operations ”Vegetation and Energy”.
18. Dubois, G., Ceron, J. P., Dubois, C., Frias, M. D., & Herrera, S. (2016). Reliability and usability of tourism climate indices. *Earth Perspectives*, 3(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40322-016-0034-y>
19. Dumitrescu, A., & Amihaesei, V. (2021). RoCliB - Bias corrected CORDEX RCM dataset over Romania (1.0) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4642464>
20. Dumitrescu, A., & Birsan, M.-V. (2015). ROCADA: A gridded daily climatic dataset over Romania (1961–2013) for nine meteorological variables. *Natural Hazards*, 78(2), 1045–1063. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1757-z>
21. Dumitrescu, A., Birsan, M.-V., & Manea, A. (2016). Spatio-temporal interpolation of sub- daily (6 h) precipitation over Romania for the period 1975-2010: INTERPOLATION OF THE 6-H PRECIPITATION DATA OVER ROMANIA. *International Journal of Climatology*, 36(3), 1331–1343. <https://doi.org/10.1002/joc.4427>



22. Dumitrescu, A., Birsan, M.-V., & Nita, I.-A. (2017). A Romanian daily high-resolution gridded dataset of snow depth (2005-2015). *Geofizika*, 34(2), 275–295. <https://doi.org/10.15233/gfz.2017.34.14> European Commission & European Environment Agency. (2019). Climate-ADAPT Strategy 2019-2021.
23. European Commission. (2015). A European research and innovation Roadmap for Climate Services. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/european-research-and-innovation-roadmap-climate-services>
24. European Commission. (2019). Pactul ecologic european.
25. European Commission. (2020b). Regulament al Parlamentului European și al Consiliului de instituire a cadrului pentru realizarea neutralității climatice și de modificare a Regulamentului (UE) 2018/1999 (Legea europeană a climei).
26. European Environment Agency. (2009). Europe’s onshore and offshore wind energy potential: An assessment of environmental and economic constraints. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/11373>
27. Göransson, T., & Rummukainen, M. (2014). *Climate Services*. 101.
28. Hackenbruch, J., Kunz-Plapp, T., Müller, S., & Schipper, J. (2017). Tailoring Climate Parameters to Information Needs for Local Adaptation to Climate Change. *Climate*, 5(2), 25. <https://doi.org/10.3390/cli5020025>
29. Luhunga, P. M., Kijazi, A. L., Chang’a, L., Kondowe, A., Ng’ongolo, H., & Mtongori, H. (2018). Climate Change Projections for Tanzania Based on High-Resolution Regional Climate Models From the Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX)-Africa. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 122. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00122>
30. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES. 6.
31. Metsämäki, S., Mattila, O.-P., Pulliainen, J., Niemi, K., Luojus, K., & Böttcher, K. (2012). An optical reflectance model-based method for fractional snow cover mapping applicable to continental scale. *Remote Sensing of Environment*, 123, 508–521. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.04.010>
32. Mieczkowski, Z. (1985). THE TOURISM CLIMATIC INDEX: A METHOD OF EVALUATING WORLD CLIMATES FOR TOURISM. *The Canadian Geographer/Le Géographe Canadien*, 29(3), 220–233. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1985.tb00365.x>

33. Ministerul Mediului și Dezvoltării Durabile. (2008). Strategia Națională pentru Dezvoltare Durabilă a României Orizonturi 2013-2020-2030. [http://www.mmediu.ro/beta/wp-content/uploads/2012/06/2012-06-12\\_dezvoltare\\_durabila\\_snddfinalromana2008.pdf](http://www.mmediu.ro/beta/wp-content/uploads/2012/06/2012-06-12_dezvoltare_durabila_snddfinalromana2008.pdf)
34. Ministerul Mediului și Schimbărilor Climatice. (2013). Strategia națională a României privind schimbările climatice 2013—2020. <http://mmediu.ro/app/webroot/uploads/files/Strategia-Nationala-pe-Schimbari-Climatice-2013-2020.pdf>
35. Monteith, J. L. (1965). Evaporation and environment. *Symposium of the Society of Experimental Biology*, 19, 205–224.
36. Mu, Q., Zhao, M., Kimball, J. S., McDowell, N. G., & Running, S. W. (2013). A Remotely Sensed Global Terrestrial Drought Severity Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(1), 83–98. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00213.1>
37. Mu, Q., Zhao, M., & Running, S. W. (2011). Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 115(8), 1781–1800. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.019>
38. Müller, R., Pfeifroth, U., Träger-Chatterjee, C., Cremer, R., Trentmann, J., & Hollmann, R. (2015). Surface Solar Radiation Data Set—Heliosat (SARAH)—Edition 1 (1.0, p. 3.6 TiB) [NetCDF-3]. EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF) [https://doi.org/10.5676/EUM\\_SAF\\_CM/SARAH/V001](https://doi.org/10.5676/EUM_SAF_CM/SARAH/V001)
39. Müller, R., Pfeifroth, U., Träger-Chatterjee, C., Trentmann, J., & Cremer, R. (2015). Digging the METEOSAT Treasure—3 Decades of Solar Surface Radiation. *Remote Sensing*, 7(6), 8067–8101. <https://doi.org/10.3390/rs70608067>
40. Nairn, J., & Fawcett, R. (2013). Defining heatwaves: Heatwave defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia. 96.
41. Perkins, S. E., & Alexander, L. V. (2013). On the Measurement of Heat Waves. *Journal of Climate*, 26(13), 4500–4517. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1>
42. Pfenninger, S., & Staffell, I. (2016). Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data. *Energy*, 114, 1251–1265. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.060>
43. Rienecker, M. M., Suarez, M. J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., Bosilovich, M. G., Schubert, S. D., Takacs, L., Kim, G.-K., Bloom, S., Chen, J., Collins, D.,

44. Conaty, A., da Silva, A., Gu, W., Joiner, J., Koster, R. D., Lucchesi, R., ... Woollen, J. (2011). MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *Journal of Climate*, 24(14), 3624–3648. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D11-00015.1>
45. Ruiz-Rufino, R., & Alonso, S. (2017). Democracy without choice: Citizens' perceptions of government autonomy during the Eurozone crisis: DEMOCRACY WITHOUT CHOICE. *European Journal of Political Research*, 56(2), 320–345. <https://doi.org/10.1111/1475-6765.12187>
46. Simelton, E., Gammelgaard, J., & Le, T. (2018). Guide for impact assessment of agro- climate information services. CCAFS Working Paper no. 242. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security. <https://ccafs.cgiar.org/resources/publications/guide-impact-assessment-agro-climate-information-services>
47. Skelton, M., Fischer, A. M., Liniger, M. A., & Bresch, D. N. (2019). Who is 'the user' of climate services? Unpacking the use of national climate scenarios in Switzerland beyond sectors, numeracy and the research–practice binary. *Climate Services*, 15, 100113. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.100113>
48. Spinoni, J., Vogt, J. V., Barbosa, P., Dosio, A., McCormick, N., Bigano, A., & Füssler, H.-M. (2018). Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100: HDD AND CDD IN EUROPE FROM 1981 TO 2100. *International Journal of Climatology*, 38, e191–e208. <https://doi.org/10.1002/joc.5362>
49. Staffell, I., & Pfenninger, S. (2016). Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output. *Energy*, 114, 1224–1239. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.068>
50. Tiran, J. (2016). Measuring urban quality of life: Case study of Ljubljana. *Acta Geographica Slovenica*, 56(1). <https://doi.org/10.3986/AGS.828>
51. Toté, C., Swinnen, E., Sterckx, S., Clarijs, D., Quang, C., & Maes, R. (2017). Evaluation of the SPOT/VEGETATION Collection 3 reprocessed dataset: Surface reflectances and NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 201, 219–233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.010>
52. Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

54. Vreugdenhil, M., Dorigo, W. A., Wagner, W., de Jeu, R. A. M., Hahn, S., & van Marle, M. J. E. (2016). Analyzing the Vegetation Parameterization in the TU-Wien ASCAT Soil Moisture Retrieval. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(6), 3513–3531. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2519842>
55. Wagner, W., Lemoine, G., Borgeaud, M., & Rott, H. (1999). A study of vegetation cover effects on ERS scatterometer data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(2), 938–948. <https://doi.org/10.1109/36.752212>
56. Wenze Yang, Bin Tan, Dong Huang, Rautiainen, M., Shabanov, N. V., Wang, Y., Privette, J. L., Huemmrich, K. F., Fensholt, R., Sandholt, I., Weiss, M., Ahl, D. E., Gower, S. T., Nemani, R. R., Knyazikhin, Y., & Myneni, R. B. (2006). MODIS leaf area index products: From validation to algorithm improvement. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(7), 1885–1898. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.871215>
57. WMO. (2014). Implementation Plan of the Global Framework for Climate Services.
58. WMO. (2016). Climate services for supporting climate change adaptation: Supplement to the technical guidelines for the national adaptation plan process. [https://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_1170\\_en.pdf](https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1170_en.pdf)
59. Zhang, X., Hegerl, G., Zwiers, F. W., & Kenyon, J. (2005). Avoiding Inhomogeneity in Percentile-Based Indices of Temperature Extremes. *Journal of Climate*, 18(11), 1641–1651. <https://doi.org/10.1175/JCLI3366.1>

## Anexe

Anexa 1: Parametri climatici suplimentari utilizabili pentru evaluarea impactului schimbărilor climatice asupra biodiversității ce au fost identificați utilizând literatura de specialitate:

Pentru a întregi lista parametrilor climatici, suplimentari celor folosiți în analiză, au fost identificați următorii, în urma analizei literaturii de specialitate:

- **Temperatura medie anuală (°C)**, calculată ca medie pe 12 luni a temperaturii medii lunare (Wiens et al., 2011, Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Velasquez-Tibata et al., 2013, Salma Nila et al., 2019, Langdon & Lawyer, 2015);

- **Temperatura maximă a celui mai căduros anotimp (°C)** (Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Temperatura minimă a celui mai rece anotimp (°C)** (Telles-Valdes & Davila-Aranda 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Intervalul temperaturi anuale (°C)** (Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019, Steinacker et al., 2019);
- **Temperatura medie a celui mai călduros anotimp (°C)** (Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Temperatura medie a celui mai rece anotimp (°C)** (Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Diferența medie de temperatură dintre zi și noapte (°C)** (Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Intervalul mediu al temperaturii diurne (°C)**, calculat din media pe 12 luni a diferenței dintre temperatura medie a maximelor și cea medie a minimelor pentru fiecare lună (Wiens et al., 2011);
- **Temperatura celei mai calde luni a verii (°C)** (Johnston et al., 2013);
- **Temperatura a celei mai reci luni a iernii (°C)** (Johnston et al., 2013);
- **Temperatura medie pe durata zilei (°C)** (Velasquez-Tibata et al., 2013);
- **Temperatura maximă a celei mai călduroase luni (°C)** (Velasquez-Tibata et al., 2013);
- **Temperatura minimă a celei mai reci luni (°C)** (Velasquez-Tibata et al., 2013, Steinacker et al., 2019);
- **Temperatura medie a anotimpului cu cea mai mare umiditate (°C)** (Velasquez-Tibata et al., 2013, Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Temperatura medie a anotimpului cu cea mai mică umiditate (°C)** (Velasquez-Tibata et al., 2013);
- **Temperatura medie a lunii cu cea mai scăzută temperatură (°C)** (Langdon & Lawyer, 2015, Araujo et al., 2011);
- **Temperatura medie a celei mai călduroase luni (°C)** (Langdon & Lawyer, 2015);
- **Temperatura medie al celui mai umed anotimp (°C)** (Steinacker et al., 2019);

- Temperatura medie al celui mai cald anotimp (°C)** (Steinacker et al., 2019);
- Temperatura medie al celui mai rece anotimp (°C)** (Steinacker et al., 2019);
- **Temperatura medie al celui mai uscat anotimp (°C)** (Steinacker et al., 2019);
  - **Nr. de zile cu temperatura medie  $\leq 5^{\circ}\text{C}$**  (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Numărul de zile în care s-au înregistrat temperaturi pozitive** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Numărul de zile în care s-au înregistrat temperaturi  $>5^{\circ}\text{C}$**  (Langdon & Lawyer, 2015, Araujo et al., 2011);
  - **Evapotranspirația potențială anuală (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Evapotranspirația potențială a zilelor cu temperatura medie  $>5^{\circ}\text{C}$  (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Evapotranspirația potențială pentru perioada Decembrie-Februarie (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Evapotranspirația potențială pentru zilele cu temperatura  $>-4^{\circ}\text{C}$  (mm)** (Langdon & Lawyer) 2015;
  - **Evapotranspirația potențială pentru perioada Iunie-August (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Evapotranspirația potențială pentru perioada Martie-Mai (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Evapotranspirația potențială pentru perioada Septembrie-Noiembrie (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Cantitatea totală de precipitații a celei mai umede luni (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Cantitatea totală de precipitații a celei mai uscate luni (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Cantitatea totală de precipitații anuală (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Cantitatea anuală medie a precipitațiilor (mm)** (Araujo et al., 2011);
  - **Cantitatea de precipitații din perioada Decembrie-Februarie (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
  - **Cantitatea de precipitații din luna cea mai uscată (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);

- **Cantitatea de precipitații din perioada Iunie-August (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
- **Cantitatea de precipitații din perioada Martie-Mai (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
- **Cantitatea de precipitații din perioada Septembrie-Octombrie (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
- **Cantitatea de precipitații a celei mai umede luni (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
- **Cantitatea totală de precipitații echivalată cu volumul de apă provenit în urma topirii zăpezilor (mm)** (Langdon & Lawyer, 2015);
- **Temperatura medie a celei mai călduroase luni (°C)** (Langdon & Lawyer, 2015);  
**Temperatura medie a lunii cu temperatura cea mai scăzută (°C)** (Langdon & Lawyer, 2015);
- **Izotermalitate**, calculată ca raportul dintre intervalul mediu al temperaturii diurne și intervalul anual al temperaturii (temperatura maximă a celei mai calde luni – temperatura minimă a celei mai reci luni). Izotermalitatea compară variabilitatea lunară (intervalul mediilor temperaturii diurne) cu variabilitatea anuală (intervalul temperaturilor anuale). Atunci când temperatura lunară este mai mare decât temperatura anuală, izotermalitatea este  $>1$ ; atunci când variabilitatea lunară este mai mică decât variabilitatea anuală, izotermalitatea este  $<1$ ; (Wiens et al., 2011);
- **Temperatura medie al celui mai cald sezon (°C)**, calculată ca media temperaturii a celor mai calde 3 luni (Wiens et al., 2011);
- **Sezonalitatea temperaturii**, calculată ca abaterea standard pe 12 luni a temperaturii medii lunare (Wiens et al., 2011);
- **Variația cantității de precipitații dintre anotimpuri (mm)** (Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Cantitatea anuală de precipitații (mm)**, calculată ca totalul mediilor precipitațiilor lunare a celor 12 luni (Wiens et al., 2011, Velasquez-Tibata et al., 2013, Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Sezonalitatea cantității de precipitații**, ce reprezintă coeficientul de variație pe 12 luni al cantității de precipitații medii lunare (Wiens et al., 2011, Steinacker et al., 2019);
- **Cantitatea de precipitații a celui mai secetos sezon (mm)**, calculată ca media cantităților de precipitații a celor mai secetoase 3 luni (Wiens et al., 2011);

- **Cantitatea de precipitații a celei mai umede luni (mm)** (Velasquez-Tibata et al., 2013); **Cantitatea de precipitații a celui mai umed anotimp (mm)** (Velasquez-Tibata et al., 2013, Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Cantitatea de precipitații a celui mai uscat anotimp (mm)** (Velasquez-Tibata et al., 2013, Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Cantitatea medie de precipitații a celui mai umed anotimp (mm)** (Velasquez-Tibata et al., 2013, Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Cantitatea medie de precipitații a celui mai uscat anotimp (mm)** (Velasquez-Tibata et al., 2013, Telles-Valdes & Davila-Aranda, 2003, Salma Nila et al., 2019);
- **Cantitatea de precipitații a celui mai cald anotimp (mm)** (Velasquez-Tibata et al., 2013, Johnston et al., 2013);
- **Cantitatea medie de precipitații a celui mai cald anotimp (mm)** (Velasquez-Tibata et al., 2013, Johnston et al., 2013);
- **Cantitatea medie de precipitații a celui mai rece anotimp (mm)** (Velasquez-Tibata et al., 2013, Johnston et al., 2013);
- **CTI - indicele de temperatură la nivel de comunitate (community temperature index):** reprezintă media ponderată a preferințelor speciilor și este utilizat pentru estimarea acestor schimbări climatice asupra diferitelor specii al căror areal se suprapune cu suprafața diferitelor AP (Bowler & Bohning-Gaese 2017, Lehikoinen 2020);
- **STI – indicele de temperatură la nivel de specie (species temperature index)** (Lehikoinen 2020);
- **TR – indicele de diversitate al terenului (terrain ruggedness index):** măsoară eterogenitatea topografică și reflectă capacitatea adaptativă a biodiversității de pe teritoriul AP la schimbările climatice (Hoffmann et al., 2019, Lawrence et al., 2020);
- **Indicele amprentei antropice** – este compus din opt indicatori ai impactului antropic asupra sistemelor naturale și seminaturale: densitatea populației, nr. artefactelor umane (construcții), infrastructura electrică, lungimea drumurilor, lungimea căilor ferate, canalele navigabile, suprafața agricolă și suprafața pășunilor (Hoffman & Beierkuhnlein, 2020);
- **Tmax - media temperaturilor a celei mai calde luni ale anului** (Dobrowski et al., 2021); **Tmin – media anuală a temperaturilor minime** (Dobrowski et al., 2021);



- **AET - evapotranspirația cumulată anuală reală** (cantitatea de apă pierdută pe o suprafață în urma proceselor de evaporare și transpirație) (Dobrowski et al., 2021);
- **CWD – deficitul de apă climatic (mm)** (climatic water deficit) – este calculat ca fiind evapotranspiratia potențială minus cea reală (integrează date climatice, energetice, hidrologice și de umiditate a solului într-o singură variabilă) (Dobrowski et al., 2021);
- **DCI – indicele de dispariție a condițiilor climatice** (Disappearing Climate Index) (Lawrance et al., 2021);
- **MED – Diferența maximă de altitudine (m)** (maximal elevation difference) (Lawrance et al., 2021);
- **TR – Indicele de rugozitate al terenului** (terrain roughness) (Hoffman & Beierkuhnlein, 2020);
- **Suprafața Ariilor/Ariei Protejate (km<sup>2</sup>)** (Hoffman & Beierkuhnlein, 2020);
- **Indicele de „neînlocuire” al speciilor** reprezintă gradul de suprapunere al ariilor protejate din baza de date a ariilor protejate (WDPA - versiunea octombrie 2012) cu arealele speciilor ce se află pe lista roșie IUCN. Această indice conține date pentru 21,296 specii: 6,240 specii de amfibieni, 9,793 specii de păsări și 5,263 specii de mamifere (Hoffman & Beierkuhnlein, 2020);
- **Raportul al volumului real mediu al evapotranspirației anuale și volumul mediu al evapotranspirației anuale** (Araujo et al., 2011);
- **pH-ul solului la adâncimea de 2m** (Steinacker et al., 2019);
- **Conținutul de carbon organic la adâncimea de 2m (g/kg)** (Steinacker et al., 2019);
- **Altitudine (m)** (Steinacker et al., 2019);
- **Pantă (°)** (Steinacker et al., 2019).