UTILIZAREA INDICELUI DE VULNERABILITATE CLIMATICĂ PENTRU SECTORUL AGRICOL DIN REPUBLICA MOLDOVA

CZU: 631.1:551.583:338.43(478)
DOI: https://doi.org/10.52673/18570461.25.3-78.04

Doctor în științe biologice, conferențiar universitar **Ala DRUȚĂ**
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-1321-7029
E-mail: drutaala@gmail.com
Doctor în științe biologice **Tamara RUDI**
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0895-7862
E-mail: tamara.gavrilas13@gmail.com
Doctor în științe biologice, conferențiar cercetător **Svetlana SMEREA**
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1978-0452
E-mail: svetlana.smerea@sti.usm.ms
Doctor habilitat în științe biologice, conferențiar cercetător **Larisa ANDRONIC**
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2761-9917
E-mail: larisa.andronic@sti.usm.md
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor al USM

THE CLIMATE VULNERABILITY INDEX APPLIED TO THE AGRICULTURAL SECTOR IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

Summary. The article analyses the vulnerability of the agricultural sector in the Republic of Moldova to climate change by constructing and applying a composite Climate Vulnerability Index (CVI), based on a triadic assessment: exposure, sensitivity, and adaptive capacity. Covering the period 2012–2021, the study employs 64 indicators distributed across thematic and spatial subcomponents, analysing disparities among the three agroecological zones (North, Center, and South). The results reveal increased vulnerability in the AEZ South, driven by frequent climatic variability and extreme events, while AEZ Center exhibits heightened agricultural sensitivity in crop production. Adaptive capacity has improved in the AEZ Center due to agro-technological development and crop diversification, and in the AEZ North mainly due to subsidies and insurance policies. The decreasing values of the index over the analyzed period reflect a strengthening of agricultural system's resilience and position the CVI as a strategic tool for guiding adaptation policies, prioritizing investments, and monitoring progress in reducing climate risks and vulnerabilities.

Keywords: CVI, vulnerability, climate risks, agriculture sector, adaptive capacity.

Rezumat. Articolul analizează vulnerabilitatea sectorului agricol din Republica Moldova la schimbările climatice prin construirea și aplicarea Indicelui compozit de Vulnerabilitate Climatică (IVC), bazat pe o evaluarea triadică: expunere, sensibilitate și capacitate de adaptare. Studiul, realizat pentru perioada 2012–2021, utilizează 64 de indicatori distribuiți pe subcomponente tematice și spațiale, analizând diferențele între cele trei zone agroecologice (ZAE): Nord, Centru și Sud. Rezultatele indică o vulnerabilitate accentuată în ZAE Sud, cauzată de frecvența crescută a variabilității climatice și a evenimentelor extreme. ZAE Centru manifestă o sensibilitate agricolă sporită în producția vegetală. Capacitatea de adaptare a cunoscut îmbunătățiri notabile în ZAE Centru, datorită dezvoltării agrotehnologice și diversificării culturilor, iar în ZAE Nord, ca efect al politicilor de sprijin și asigurare agricolă. Valorile descrescătoare ale IVC în perioada analizată reflectă consolidarea rezilienței sistemului agricol și confirmă utilitatea IVC ca instrument pentru orientarea strategică a politicilor de adaptare, prioritizarea investițiilor și monitorizarea progresului în reducerea riscurilor climatice.

Cuvinte-cheie: IVC, vulnerabilitate, riscuri climatice, sector agricol, capacitate de adaptare.

INTRODUCERE

Impactul schimbărilor climatice asupra sectoarelor economice ale Republicii Moldova este profund, afectând bunăstarea populației, ritmul creșterii economice și echilibrul ecosistemelor naturale, cu implicații majore pentru dezvoltarea durabilă a țării. Sectorul agricol, cel mai expus impactului climatic, prezintă un grad ridicat de vulnerabilitate, fiind supus presiunii de a menține sau spori productivitatea în condițiile unei disponibilități tot mai reduse a resurselor. Agricultura se confruntă cu provocări tot mai mari generate de creșterea temperaturilor, instabilitatea regimului pluviometric și intensificarea fenomenelor meteorologice extreme, precum secetele frecvente și inundațiile severe.

Ținând cont de natura complexă a riscurilor climatice, numeroși autori [1-7] subliniază importanța adoptării unei abordări multidimensionale în evaluarea riscurilor și vulnerabilității sectorului agricol, construirea Indicelui compozit de Vulnerabilitate Climatică (IVC) fiind unul dintre cele mai pertinente instrumente. Aceasta vizează și sectorul agricol al Republicii Moldova, stabilirea IVC fiind atât informativă, cât și contextuală, întrucât încorporează aspecte climatice, economice și sociale ale sectorului. Totodată, constituirea IVC pe baza unor indicatori care să furnizeze informații cantitative și calitative privind vulnerabilitatea și riscurile climatice specifice sectorului reprezintă o provocare în aspect metodologic, având în vedere disponibilitatea limitată a datelor. Aplicarea IVC permite identificarea subdomeniilor, zonelor și culturilor cele mai expuse și vulnerabile, înțelegerea factorilor de sensibilitate, precum și evaluarea capacității de adaptare a sistemului agricol, element esențial în implementarea măsurilor de adaptare. IVC oferă o abordare comparativă importantă în stabilirea priorităților strategice agricole și climatice, indispensabile pentru elaborarea politicilor sectoriale și naționale de adaptare, reziliență și dezvoltare rurală. Indicele compozit constituie un instrument-cheie pentru direcționarea resurselor destinate proiectelor de adaptare, facilitând mobilizarea și alocarea finanțărilor climatice în zonele cu vulnerabilitate maximă și integrând principiul echității climatice în proiectele locale și sectoriale.

Deoarece vulnerabilitatea este o situație dinamică, IVC poate fi utilizat în monitorizarea periodică a progresului măsurilor de adaptare implementate. Datele referitoare la starea actuală a vulnerabilității sectorului pot servi drept linie de reper pentru analiza evoluțiilor viitoare și pentru implementarea intervențiilor de adaptare, stimulând investițiile în inovația tehnologică și oferind, totodată, un cadru analitic integrator corelat cu datele climatice, socioeconomice, tehnologice și instituționale.

Grupul Interguvernamental pentru Schimbări Climatice (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) este principalul organism științific internațional privind cercetarea efectelor schimbărilor climatice asupra sistemelor naturale și antropogene. Definiția sa a vulnerabilității – „măsura în care un sistem este susceptibil și incapabil să facă față efectelor adverse ale schimbărilor climatice, inclusiv variabilității și extremelor" [8; 9] – a stat la baza elaborării Indicelui compozit de Vulnerabilitate Climatică pentru sectorul agricol din Republica Moldova. În lumina acestei definiții, vulnerabilitatea depinde de: a) *expunere* – gradul în care sistemul este afectat de schimbările climatice, b) *sensibilitate* – susceptibilitatea sistemului la impactul climatic; c) *capacitatea de adaptare* – abilitatea de a atenua consecințele. Astfel, un sistem este cu atât mai vulnerabil, cu cât este mai expus și sensibil și are o capacitate de adaptare mai redusă și invers [10].

Evaluarea vulnerabilității în acest studiu se bazează pe cuantificarea celor trei componente cheie (expunerea, sensibilitatea și capacitatea de adaptare), prin selectarea și combinarea unor indicatori relevanți în indici specifici: IE (Indicele de expunere), IS (Indicele de sensibilitate) și IA (Indicele de adaptare), ulterior integrați în Indicele compozit de Vulnerabilitate Climatică (IVC). Indicatorii utilizați reflectă atât factori biofizici (pentru expunere și sensibilitate), cât și dimensiuni socioeconomice și biologice (pentru sensibilitate și capacitate de adaptare) [1; 5; 11-13].

MATERIALE ȘI METODE

Indicele de Vulnerabilitate Climatică al sectorului agricol din Republica Moldova este constituit din 64 de indicatori [14], grupați în cele trei componente ale vulnerabilității, cu subcomponentele corespunzătoare:

- *expunere:* variația precipitațiilor; variația temperaturilor; evenimente climatice extreme;
- *sensibilitate:* factori de stres; producția vegetală; producția animalieră; siguranța alimentară; resurse de sol; resurse de apă; profil demografic; profil ocupațional,
- *capacitate de adaptare:* cercetare și inovare; dezvoltare agrotehnologică; subvenții și asigurări în agricultură; capital financiar.

Ca surse primare au fost utilizate bazele de date ale BNS [15], SHSM [16], AIPA [17] și ale altor instituții naționale și internaționale, ceea ce asigură reproductibilitatea și transparența setului complet de indicatori. După cum s-a menționat, pentru anumiți indicatori obținerea datelor a reprezentat o provocare, aceștia fiind înlocuiți cu indicatori proxy. Caracterizarea subsectorului producției vegetale s-a realizat pe baza culturilor anuale cheie (cereale: grâu și porumb; oleaginoase: floarea-soarelui și rapiță; legume: mazăre, tomate, ceapă), precum și a culturilor perene (măr, prun, struguri de masă). Pentru subsectorul producției animale au fost utilizate date privind bovinele, porcinele, ovinele, caprinele și păsările. Studiul acoperă perioada 2012–2021 și analizează zonele agroecologice (ZAE) Nord, Centru și Sud ale țării.

Pentru compararea și agregarea variabilelor exprimate pe scări și în unități diferite, valorile au fost convertite într-o scară comună, adimensională, prin standardizarea minim-maxim. În cazul Indicelui de expunere (IE), standardizarea s-a realizat atât pentru întreaga perioadă 2012–2021, utilizând valorile maxi-

me și minime globale ale indicatorilor, cât și anual, pe baza valorilor maxime și minime înregistrate în fiecare an pentru zonele analizate.

Standardizarea datelor s-a efectuat prin transformarea liniară în intervalul 0-1, conform formulelor (1) și (2):

$$index_{Sx} = \frac{S_x - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \quad (1),$$

când valoarea indicatorului și vulnerabilitatea au o relație funcțională directă (↑);

$$index_{Sx} = \frac{S_x - S_{max}}{S_{min} - S_{max}} \quad (2),$$

când valoarea indicatorului și vulnerabilitatea au o relație inversă (↓), unde, $index_{Sx}$ reprezintă valoarea standardizată a indicatorului S pentru zona x, iar S_{max} și S_{min} reprezintă valorile maxime și minime ale indicatorului S pentru ZAE Nord, Centru și Sud.

Calculul indicilor IE, IS și IA s-a realizat prin medii ponderate echilibrate, ceea ce asigură o contribuție egală a fiecărui indicator la indicele general, indiferent de numărul diferit de indicatori din fiecare subcomponentă [11; 12; 18].

Valoarea fiecărei subcomponente din care este compus fiecare indice a fost calculată conform formulei (3):

$$M_{xi} = \frac{\sum_{i=1}^{n} index_{S_{xi}}}{n} \quad (3),$$

unde M_{xi} este valoarea subcomponentei *i*; $index_{Sxi}$ reprezintă valorile standardizate ale indicatorilor subcomponentei *i*, iar *n* este numărul indicatorilor care alcătuiesc subcomponenta respectivă.

Indicii au fost calculați individual conform formulei (4):

$$IE, IS, IA = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_{M_i} M_{xi}}{\sum_{i=1}^{n} w_{M_i}} \quad (4),$$

unde *IE, IS, IA* reprezintă valorile indicilor de expunere, sensibilitate și, respectiv, capacitate de adaptare; M_{xi} – valorile subcomponentelor din care este compus indicele corespunzător; W_{Mi} – ponderile subcomponentelor, determinate în funcție de numărul de indicatori care alcătuiesc fiecare subcomponentă *i*.

Valorile indicatorilor IE au fost calculate pe baza datelor înregistrate la stațiile meteorologice din Briceni, Soroca și Bălți pentru ZAE Nord; Chișinău, Cornești și Bălțata pentru ZAE Centru; Cahul, Ștefan Vodă și Comrat pentru ZAE Sud.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Expunerea. Expunerea sectorului agricol la impactul climatic a fost analizată pe baza a 15 indicatori, care furnizează informații privind *variația precipitațiilor*, *variația temperaturilor și evenimentele climatice extreme* la care este expus sectorul agricol din Republica Moldova. S-a constatat că cele mai mari valori ale expunerii[1] se înregistrează în ZAE Sud în anii 2012, 2016, 2018 și 2021, preponderent pe seama cantităților reduse de precipitații în acești ani, dar și a valorilor ridicate ale abaterilor standard ale precipitațiilor lunare. În perioada 2018–2021, cantitatea precipitațiilor în ZAE Sud a fost constant mai mică cu circa 23-25% decât în ZAE Centru și Nord. Doar în 2013, în ZAE Sud s-a înregistrat o cantitate mai mare de precipitații comparativ cu celelalte zone, dar și cea mai mare abatere standard, determinată de un număr sporit de zile cu precipitații excesive. Expunerea ZAE Nord se caracterizează prin valori mai mici ale variației precipitațiilor comparativ cu celelalte ZAE, cu excepția anilor 2014 și 2019, când s-au înregistrat abateri standard ridicate ale precipitațiilor medii lunare și anomalii de precipitații estimate, precum și un număr sporit de ploi excesive (de ex., în 2014, în lunile mai-iulie, 3 zile cu ploi de 59-67,7 mm; în 2019, in lunile mai-iunie, 4 zile cu ploi de 21-24 mm).

ZAE Centru se caracterizează prin câteva maxime ale subcomponentei *variabilitatea precipitațiilor* în anii 2013, 2017 și 2020, determinate de valorile ridicate ale indicatorilor menționați. Această zonă înregistrează 269 de zile fără precipitații și un număr mai mare de evenimente cu ploi de scurtă durată (30-60 mm) comparativ cu celelalte două zone.

Agregarea indicatorilor privind *variația precipitațiilor*, *numărul de zile uscate* și *coeficientul hidrotermal* evidențiază o expunere climatică pronunțată în anii 2012, 2015 și 2020 pentru toate zonele, în special pentru ZAE Sud (Figura 1a). Niveluri ridicate de expunere se înregistrează și în anii 2016 și 2018. În 2017, ZAE Centru se distinge prin valori crescute ale expunerii, determinate atât de intensitatea precipitațiilor, cât și de nivelul scăzut al coeficientului hidrotermal, care, deși mai mare decât în 2015 (0,458–0,488), reflectă totuși condiții secetoase.

Analiza valorilor subcomponentei *variația temperaturilor*, calculate pe baza agregării valorilor standardizate anuale a cinci indicatori, evidențiază anii 2012 și 2014 cu cele mai mari valori, urmați de 2015, 2017 și 2019, în special pentru ZAE Centru. Această situație este confirmată și prin standardizarea pe zone pentru fiecare an separat (Figura 1b).

Subcomponenta expunerii la *evenimente extreme* include frecvența acestora (de exemplu, *numărul de zile cu ploi abundente ≥ 50 mm și cu grindină*), precum și *suprafața agricolă afectată*. Pe parcursul perioadei analizate, ZAE Sud a fost cea mai afectată, cu excepția anului 2019, când ZAE Nord a înregistrat cele mai multe zile cu ploi abundente (54-72 mm), 18 zile cu grindină și cea mai mare suprafață afectată – aproximativ 15.595 ha.

[1] Valorile indicilor, subcomponentelor și indicatorilor (după standardizare) care tind spre 1 indică o expunere mai mare și viceversa.

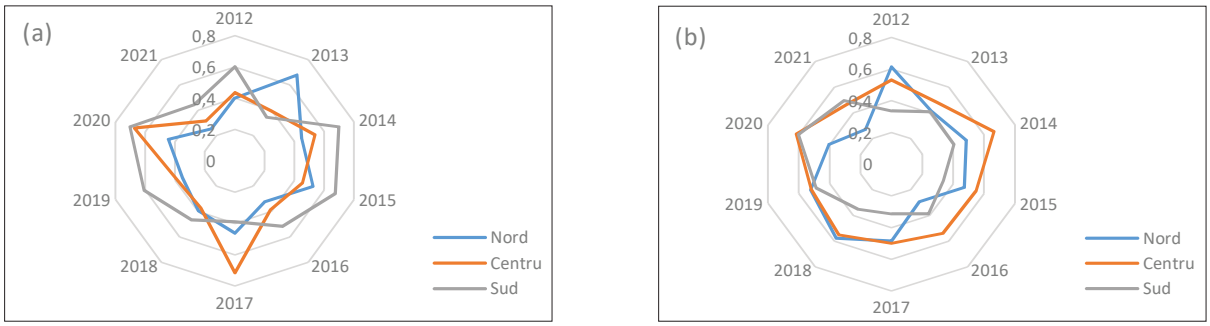


Figura 1. *Variația precipitațiilor* (a) și *variația temperaturilor* (b) în ZAE Nord, Centru și Sud în perioada 2012–2021.

Numărul maxim de zile uscate (umiditate ≤30% și temperaturi medii diurne ≥25 °C) – condiții care intensifică evapotranspirația și pot depăși pragul de toleranță al plantelor – a fost înregistrat în anii 2012 și 2020 în ZAE Centru și Sud; în 2015 în zonele Sud și Nord, iar în 2017 în zona Centru. De asemenea, umiditatea scăzută în lunile de primăvară (2015, 2019, 2020) a favorizat apariția secetei de primăvară.

Analiza expunerii pe subcomponente (Figura 2b) confirmă că ZAE Sud este cea mai expusă la variațiile de precipitații și la evenimente extreme, în timp ce ZAE Centru se evidențiază printr-o expunere mai ridicată la variațiile de temperatură.

Sensibilitatea la schimbările climatice. O bună înțelegere a sensibilității sectorului agricol la schimbările climatice stă la baza dezvoltării planurilor de acțiune direcționate spre sporirea rezilienței acestuia în fața efectelor climatice. Evidențierea unei sensibilități ridicate ajută la justificarea nevoilor și la direcționarea finanțării, facilitând intervenții eficiente de adaptare.

Indicele de sensibilitate (IS) este constituit din subcomponentele: factori de stres, producția vegetală și animalieră, siguranța alimentară, resurse de sol și de apă, profilul demografic și cel ocupațional, totalizând 31 de indicatori biologici, agricoli și socioeconomici. Sensibilitatea producției vegetale, evaluată pentru 11 culturi reprezentative, este cea mai ridicată în ZAE Centru, în special pentru grâu, porumb, floarea-soarelui, rapiță, mazăre uscată și ceapă. Aceasta se explică prin suprafețele fragmentate și randamentele scăzute comparativ cu celelalte zone. Valorile maxime au fost înregistrate în anii 2012, 2015 și 2020 (Figura 3a). Intervalele valorilor subcomponentei variază între 0,708-0,585 (Nord), 0,834-0,717 (Centru) și 0,833-0,657 (Sud), confirmând vulnerabilitatea accentuată a Zonei Centrale și necesitatea unor măsuri adaptative axate pe creșterea productivității și optimizarea utilizării terenurilor.

Valorile agregate ale indicatorilor subcomponentei *producția animalieră* pentru perioada 2012–2021, precum și valorile medii aferente (Figura 3b), indică o sensibilitate sporită a subsectorului zootehnic în zonele de Centru și Sud ale țării.

Subcomponenta de sensibilitate la *factorii de stres* a fost evaluată pe baza indicatorilor Indicele sănătății vegetației (VHI), Indicele condiției vegetației (VCI) și Indicele condiției termice (TCI), care au permis estimarea stării culturilor și a randamentului anticipat, precum și caracterizarea sănătății vegetației în funcție de condițiile de temperatură și umiditate. În perioada analizată, valorile VHI au variat între 0,366 și 0,830, cele sub 0,4 indicând stres sever pentru vegetație. Cele mai reduse valori au fost înregistrate în anul 2012: 0,366 în Sud, 0,374 în Centru și 0,380 în Nord, cu niveluri scăzute și în 2015 și 2020 (Figura 4a).

Pentru producția animalieră, factorul de stres termic a fost evaluat prin Indicele de temperatură și umi-

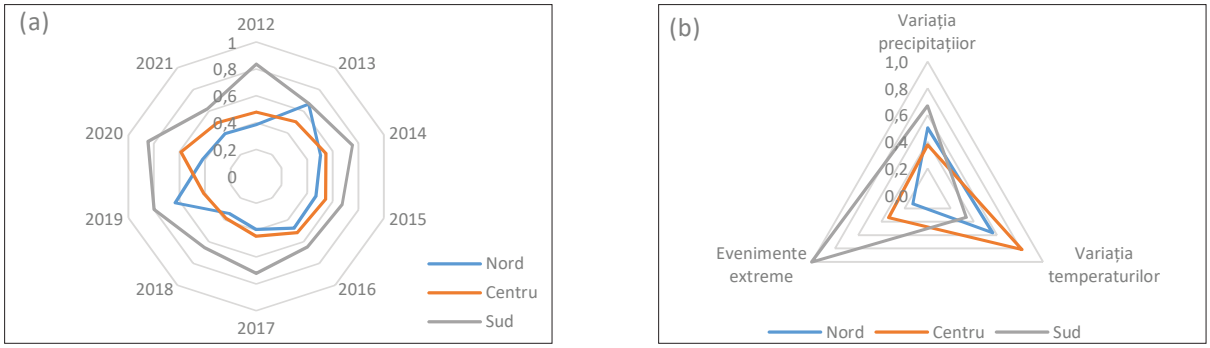


Figura 2. Variația anuală a *evenimentelor extreme* (a) și a componentei *expunere* (b) pentru ZAE Nord, Centru și Sud, în perioada 2012–2021.

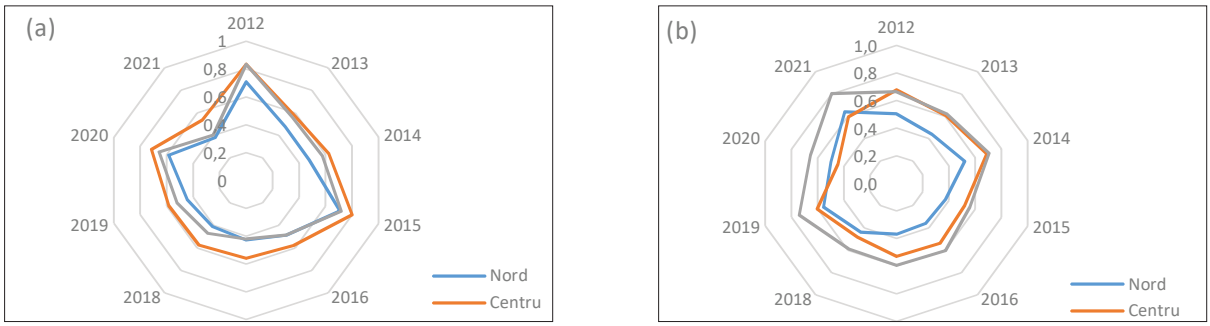


Figura 3. Valorile medii anuale ale *subcomponentelor de sensibilitate* ale producției vegetale (a) și producției animaliere (b) pentru ZAE Nord, Centru și Sud, în perioada 2012–2021.

ditate (THI), utilizat în predicția stresului termic la diverse specii, influențând direct și indirect consumul alimentar, eficiența utilizării hranei, procesele metabolice, productivitatea laptelui, funcția reproducătoare, comportamentul și riscul de îmbolnăvire [19]. Valorile THI pentru lunile iunie-august din perioada 2012–2021 evidențiază condiții de stres termic în toate zonele, în special în Sud, în intervalele cu temperaturi maxime zilnice (Figura 4b).

Datele agregate privind subcomponenta *siguranța alimentară* indică un nivel ridicat de vulnerabilitate în ZAE Sud și Centru. Această sensibilitate sporită se explică, în principal, prin aportul caloric redus din produse de origine animală, ceea ce evidențiază un dezechilibru în structura alimentației. De asemenea, ponderea relativ mai mare a cheltuielilor pentru alimente în totalul veniturilor gospodăriilor reflectă o capacitate economică limitată de a asigura o dietă diversificată și adecvată din punct de vedere nutrițional.

Analiza datelor cadastrale privind subcomponenta *resurse de sol* evidențiază o reducere a suprafeței terenurilor agricole cu aproximativ 7.019 ha în perioada 2012–2021, ajungând la 2.493.081 ha în 2021, din care 75,4% reprezintă terenuri arabile, 11% plantații perene și 13,6% fânețe și pășuni. În aceeași perioadă, ponderea terenurilor cultivate a crescut ușor, de la 84,4% la 85,5%, iar suprafața arabilă pe cap de locuitor a crescut de la 0,632 ha la 0,713 ha, tendință influențată și de scăderea populației. Totodată, suprafața pajiștilor a înregistrat o reducere de circa 4%. Acești indicatori reflectă o presiune crescută asupra utilizării solului agricol și o tendință de intensificare a exploatării terenurilor disponibile.

Analiza subcomponentei *resurse de apă* evidențiază o pondere redusă și în ușoară scădere a terenurilor agricole echipate pentru irigare, de la 10,8% în 2012 la 10,1% în 2021, asociată cu un volum mediu anual de apă utilizată de circa 42 mil. m³. Nivelul de stres hidric s-a menținut relativ constant (12,5-12,6%), reflectând presiuni persistente asupra resurselor de apă. Zona de Sud înregistrează cele mai pronunțate deficiențe, cu volume de apă captată și utilizată mai mici cu până la 47%, respectiv 42%, comparativ cu ZAE Nord și Centru. Aceste constatări indică o capacitate limitată de gestionare a resurselor hidrice în agricultură, cu un impact disproporționat asupra regiunilor mai vulnerabile, în special în ZAE Sud.

Subcomponenta *profilul demografic* este construită pe baza *indicelui sarcinii demografice* și a *numărului mediu al populației din mediul rural*. Deși ZAE Sud înregistrează un număr mai redus de locuitori în mediul rural (cu 31,7%), vulnerabilitatea demografică este mai accentuată în zona de Nord, datorită valorilor ridicate ale *indicelui sarcinii demografice*. Aceasta reflectă o presiune mai mare asupra populației active și, implicit, un

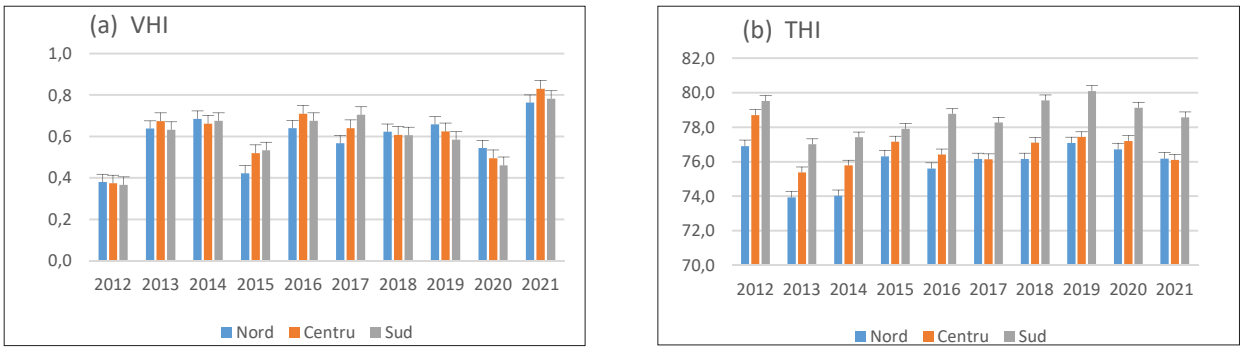


Figura 4. *Indicele sănătății vegetației* (VHI) (a) și *Indicele de temperatură și umiditate* (THI) (b) pentru perioada 2012–2021, în ZAE Nord, Centru și Sud.

grad mai ridicat de sensibilitate structurală a profilului demografic. Astfel, subcomponenta analizată indică o vulnerabilitate crescută în zona de Nord, în pofida scăderii relative a populației rurale în celelalte zone.

Profilul ocupațional relevă o creștere treptată a ponderii populației inactive în regiunile Centru și Sud. La nivel național, s-a constatat o creștere a numărului lucrătorilor calificați în sectoarele agricultură, silvicultură și pescuit, preponderent în rândul bărbaților. Totodată, disparitatea salarială între sexe a scăzut de la 12,6% în 2012 la 10,8% în 2021, indicând astfel o convergență lentă către egalitatea economică de gen. Analiza integrată a indicatorilor semnalează o sensibilitate crescută a profilului ocupațional în ZAE Sud, confirmând o vulnerabilitate pronunțată a regiunii față de schimbările economice și demografice recente.

Indicele de sensibilitate, calculat ca medie ponderată a celor opt subcomponente, plasează zona de Sud drept cea mai vulnerabilă în perioada 2012–2015, cu valori între 0,693 și 0,647, reflectând o expunere ridicată la riscuri climatice. Această vulnerabilitate este determinată în principal de nivelurile ridicate ale subcomponentelor *producția animalieră și resursele de apă*. Excepțiile sunt reprezentate de ZAE Centru, unde sensibilitatea este mai mare în ceea ce privește *producția vegetală*, și de ZAE Nord, care prezintă o *vulnerabilitate demografică* accentuată (Figura 5a, b). Rezultatele indică o distribuție spațială eterogenă a factorilor de sensibilitate climatică, sugerând necesitatea unor măsuri de adaptare diferențiate pe regiuni.

Capacitatea de adaptare a sectorului agricol din Republica Moldova reprezintă un element esențial, care reflectă gradul de pregătire al acestuia pentru a face față incertitudinilor climatice și constituie componenta de echilibrare a vulnerabilității în cadrul IVC. Ea exprimă capacitatea instituțională și a sectorului privat de a elabora și implementa strategii și practici menite să reducă pierderile economice și agricole potențiale și să mențină securitatea alimentară pe termen lung. Astfel, adaptarea devine un factor decisiv în consolidarea rezilienței sistemelor agricole în contextul schimbărilor climatice. Din această perspectivă au fost identificați 18 indicatori, grupați în subcomponentele: *cercetare și inovare, dezvoltare agrotehnologică, subvenții și asigurări în agricultură, capital financiar*.

În cadrul subcomponentei *cercetare și inovare* s-a înregistrat o scădere ușoară a numărului de cercetători cu activitate în domeniul științelor agricole, de la 485 în anul 2012 la 464 în 2021. În același timp, cheltuielile alocate cercetării și dezvoltării au urmat o tendință ascendentă, crescând de la 62 mil. MDL în 2012 la 77 mil. MDL în 2021. Această evoluție reflectă un efort relativ al sectorului agricol de a susține dezvoltarea prin investiții în inovație, în pofida scăderii resurselor umane specializate.

Subcomponenta *dezvoltare agro/biotehnologică* a fost evaluată prin Indicele de diversificare a culturilor (CDI), calculat pe baza indicelui Herfindahl, unde valoarea 0 indică specializare completă, iar valoarea 1 diversificare totală. Analiza relevă un nivel ridicat al diversificării agricole, cu valori medii ale CDI între 0,702 și 0,795. Cele mai mari valori au fost înregistrate în ZAE Nord, sugerând o utilizare mai echilibrată a terenurilor și o dependență redusă de monoculturi. Numărul total de soiuri și hibrizi omologați de Comisia de Stat pentru Testarea Soiurilor de Plante a crescut uniform în toate ZAE, indicând o diversitate sporită a materialului săditor. Dintre speciile agricole, porumbul prezintă cea mai mare varietate (239-244 soiuri/hibrizi), urmat de floarea-soarelui (163-176) și grâu (68-84). Diferențele regionale sunt mai evidente în cazul strugurilor de masă, cu o diversitate semnificativ mai mare în ZAE Centru și Sud (42-43 de soiuri), comparativ cu Nordul (8 soiuri). Această distribuție reflectă concentrarea biodiversității genetice vegetale, determinată de condițiile pedoclimatice și de orientările de specializare agricolă zonală.

O serie de practici agricole inovatoare, printre

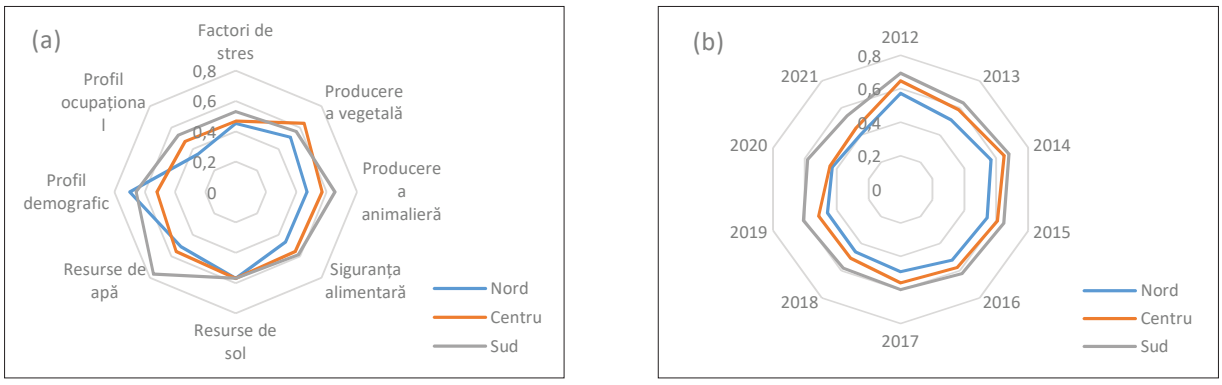


Figura 5. Dinamica subcomponentelor de *sensibilitate* (a) și *Indicele de sensibilitate* (b) a sectorului agricol pentru ZAE Nord, Centru și Sud, în perioada 2012–2021.

care *agricultura ecologică și cea conservativă*, sunt promovate ca instrumente strategice pentru întărirea rezilienței sectorului agricol în fața schimbărilor climatice. Suprafața cultivată în regim ecologic a cunoscut o evoluție fluctuantă între anii 2014 și 2017, crescând de la 2.978 ha în 2014 la un maxim de 75.686 ha în 2017, reflectând interesul sporit pentru acest tip de producție durabilă.

Agricultura conservativă, inclusiv tehnologiile No-Till și Mini-Till, reprezintă o abordare complexă și eficientă din perspectiva adaptării la nivel local, contribuind semnificativ la protecța solului, economisirea resurselor și reducerea emisiilor de CO_2. Această direcție este susținută activ la nivel instituțional prin mecanisme de stimulente financiare și tehnologice. În perioada 2020–2021 s-a înregistrat o creștere a numărului de beneficiari ai programelor de sprijin pentru achiziționarea de echipamente specifice, în special în zonele Nord și Sud ale țării.

În paralel, sectorul zootehnic a fost prioritar în cadrul politicilor de dezvoltare rurală, beneficiind de numeroase investiții și măsuri de sprijin, în special prin intermediul Agenției de Intervenție și Plăți pentru Agricultură și al parteneriatelor cu organizații internaționale de dezvoltare. Aceste inițiative au fost implementate mai intens în ZAE Centru, contribuind la modernizarea infrastructurii, îmbunătățirea condițiilor de viață ale animalelor, creșterea competitivității producătorilor locali.

Valorile agregate ale indicatorilor subcomponentei *dezvoltare agro/biotehnologică* evidențiază o tendință pozitivă și constantă în perioada 2019–2021, cu creșteri în toate zonele analizate. În acest context, ZAE Centru se evidențiază prin valori superioare, reflectând un nivel avansat de dezvoltare tehnologică și inovare în sectorul agricol.

Indicatorul *PIB pe cap de locuitor*, reprezentativ pentru subcomponenta *capital financiar*, a crescut de la 3.045,7 USD în 2012 la 5.314,5 USD în 2021. Contribuția sectorului agricol la PIB variază între 22-25% în ZAE Nord, 20-27% în ZAE Centru și 26-36% în ZAE Sud. Veniturile din activitatea agricolă individuală au înregistrat o creștere semnificativă în ZAE Nord (+4,4% în perioada 2019–2021), în timp ce în Centru s-au diminuat cu 4,3% comparativ cu anii precedenți. Remitențele, considerate o sursă financiară alternativă pentru populație și un factor al rezilienței climatice, au scăzut în 2019–2020 în toate zonele (de 1,8 ori în Nord, 1,3 ori în Centru și 1,4 ori în Sud), însă au avut o pondere mai ridicată în veniturile populației din Sud, poziționând această zonă într-o situație relativ mai favorabilă.

Indicele capacității de adaptare a sectorului agricol, calculat prin agregarea subcomponentelor analizate anterior, a înregistrat valori superioare în ZAE Centru în perioada 2012–2019, însă în anii 2020–2021 valorile au crescut în ZAE Nord (Figura 6a), datorită evoluției favorabile a subcomponentei *subvenții și asigurări în agricultură.*

Indicele compozit al Vulnerabilității Climatice (IVC) al sectorului agricol este constituit pe baza agregării Indicelui de expunere, Indicelui de sensibilitate și Indicelui capacității de adaptare. Analizele efectuate arată că valorile IVC au înregistrat o tendință descrescătoare în perioada 2012–2021 în toate zonele analizate, variind între 0,676 și 0,347 (Figura 6b). Această reducere reflectă o diminuare generală a vulnerabilității sectorului agricol față de factorii climatici de risc. Scăderea IVC este rezultatul concomitent al diminuării nivelului de sensibilitate al sistemelor agricole la factori de stres climatic și al creșterii semnificative a capacității acestora de adaptare, ceea ce demonstrează o îmbunătățire a rezilienței sectorului în contextul schimbărilor climatice în perioada analizată.

Comparația între zone scoate în evidență ZAE Sud, cu cele mai mari valori determinate de Indicii de expunere și sensibilitate și mai reduse ale Indicelui capacității de adaptare. Chiar dacă relația între ZAE se mo-

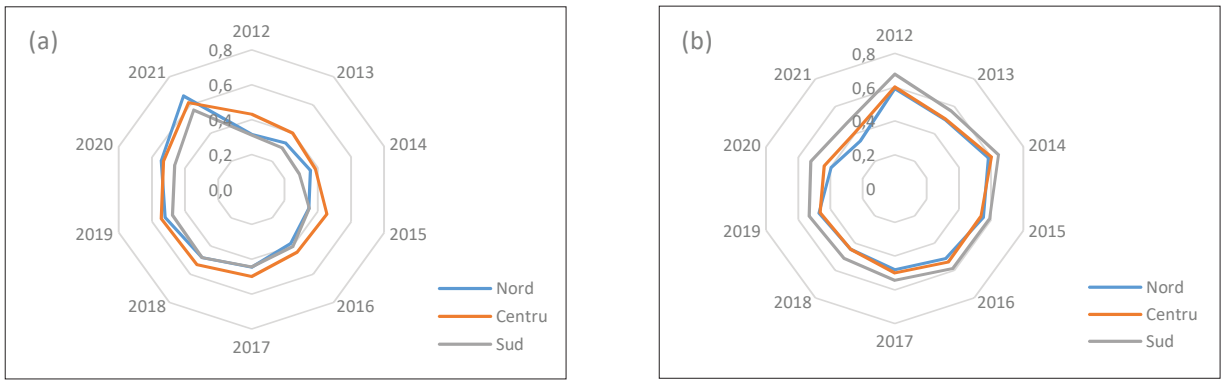


Figura 6. *Indicele capacității de adaptare* (a) și valorile *Indicelui compozit de Vulnerabilitate Climatică* ale sectorului agricol (b), pentru perioada 2012–2021, în ZAE Nord, Centru și Sud.

difică în anumiți ani (Figura 6), per total, diferențele între zone privind valorile medii ale IVC pentru anii 2012–2021 sunt semnificative (DMS_{05} = 0,016).

CONCLUZII

Indicele compozit de Vulnerabilitate Climatică (IVC) a înregistrat o tendință descrescătoare în perioada 2012–2021 și reflectă o diminuare generală a vulnerabilității sectorului agricol, ca rezultat al creșterii capacității de adaptare și reducerii sensibilității sistemului la factorii de stres climatic.

Componenta de *expunere* indică o vulnerabilitate climatică accentuată în ZAE Sud, cauzată de frecvența ridicată a variațiilor de precipitații și a fenomenelor extreme. ZAE Centru se distinge prin variabilitatea termică, iar ZAE Nord prin episoade izolate de expunere crescută. Rezultatele confirmă necesitatea adaptării măsurilor de reducere a riscurilor climatice în funcție de specificul regional.

Sensibilitatea sectorului agricol diferă semnificativ între zone și componente. ZAE Centru prezintă o sensibilitate ridicată a producției vegetale, iar ZAE Sud este vulnerabilă în ceea ce privește producția animalieră, resursele de apă și profilul ocupațional. ZAE Nord, deși cu un declin demografic relativ mai scăzut, se caracterizează printr-o presiune crescută asupra populației active.

Capacitatea de adaptare a sectorului agricol s-a îmbunătățit, cu variații zonale. ZAE Centru a înregistrat cele mai mari valori ale capacității de adaptare în perioada 2012–2019, în special datorită infrastructurii agro-tehnologice și diversificării culturilor. După 2020, ZAE Nord a cunoscut o creștere a capacității de adaptare, datorită subvențiilor și asigurărilor în agricultură.

BIBLIOGRAFIE

1. Yohe, G. & Tol, R.S.J. Indicators for social and economic coping capacity: moving toward a working definition of adaptive capacity. In: Global Environmental Change, 2002, 12: 25-40.

2. Adger, W.N.; Agrawala, S.; Mirza, M.M.Q. et al. Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. In: Climate Change. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson, eds. 2007, Cambridge, UK, Cambridge University Press, 717-743.

3. Engle, N.L. Adaptive capacity and its assessment. In: Global Environmental Change, 2011, 21: 647-656.

4. Hinkel, J. Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of the science-policy interface. In: Global Environmental Change, 2011, 21:191-208.

5. Lavell, A.; Oppenheimer, M.; Diop, C., et al. 2012. Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. In: A Special Report of WGs I and II, IPCC, 2012, 25-64. Cambridge, UK, and NewYork, USA, Cambridge University Press.

6. Fellmann T. The assessment of climate change-related vulnerability in the agricultural sector: reviewing conceptual frameworks. In: Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector. 2012, 37-61. FAO/OECD.

7. IPCC, 2007: Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC WG II. M.L. Parry, et al, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 2007, UK, 976 p.

8. Smith, B.; Wandel, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerablity. In: Global Environmental Change, 2006, 16: 228-292.

9. Adger, W.N.; Brooks, N.; Bentham, G. and Agnew M. New indicators of vulnerability and adaptive capacity, TR 7, 2007.

10. Schröter, D.; Polsky, C.; Patt, A.G. Assessing vulnerabilities to the effects of global change: an eight step approach. In: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2005, 10: 573-595.

11. Sullivan, C. Calculating a water poverty index. In: World Development, 2002, vol. 30, no. 7, 1195-1210.

12. Hahn M.; Reiderer A. and Foster S. The livelihood vulnerability index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change – A case study in Mozambique. In: Global Env. Change. 2009, vol. 19(1): 74-88.

13. Druță, A.; Gavrilaș, T. Aplicarea Indicelui de Vulnerabilitate Climatică (IVC) în scopul determinării gradului de vulnerabilitate și capacitate de adaptare la schimbările climatice ale Republicii Moldova. În: Mediul Ambiant, nr. 6(72), 2013, 38-46.

14. Lista completă a indicatorilor utilizați în studiu și a surselor primare de date pentru fiecare indicator se regăsește pe linkurile: https://igfpp.md/sites/default/files/inline-files/Indicatorii%20IVC_2025.06.27.pdf

15. https://statistica.gov.md/ro

16. https://www.meteo.md/

17. https://aipa.gov.md/

18. Mudasser, M. et al., 2020. Investigating the climate-induced livelihood vulnerability index in coastal areas of Bangladesh. In: World. 2020, 1(2), 149-170, https://doi.org/10.3390/world1020012

19. Dimov, D. Toncho Penev and Ivaylo Marinov. Temperature-humidity index – an indicator for prediction of heat stress in dairy cows. In: Veterinarija ir Zootechnika. 2020, 78(100): 74-79.

NOTĂ. Cercetarea a fost efectuată cu suportul Proiectului FAO/GCF *Integrarea adaptării în procesele de planificare pentru a reduce vulnerabilitatea la schimbările climatice la nivel central și local în sectorul agricol al Republicii Moldova*.