

Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași

Școala Doctorală de Geoștiințe

Facultatea de Geografie și Geologie

Domeniul Geografie

Rezumatul tezei de doctorat

**SCHIMBĂRI CLIMATICE INDUSE DE
CIRCULAȚIILE ATMOSFERICE ASUPRA CLIMEI
ROMÂNIEI**

Doctorand: Ion-Andrei NIȚĂ

Coordonator științific:

Prof. Univ. Em. Dr. Liviu APOSTOL

IAȘI

2020

Cuprins

ABREVIERI.....	4
1. INTRODUCERE.....	5
1.1. Scopul lucrării și elementele inovative.....	6
1.2. Clasificările obiective COST733.....	7
2. DATE ȘI METODE.....	11
2.1. Datele de reanaliză și de observații utilizate	11
2.2. Softul de clasificare cost733class	13
2.3. Detecția ciclonilor extratropicali	13
2.4. Metode.....	14
2.4.1. Estimarea tendințelor în șirurile de date și detecția rupturilor.....	14
2.4.1. Analiza oscilațiilor și a peridocității șirului de date prin metoda wavelet coherence	15
2.4.2. Identificarea situațiilor sinoptice responsabile pentru producerea unor praguri termice și pluviometrice extreme	15
2.4.3. Raportul dintre schimbările în caracteristicile termice/hidrice ale circulațiilor și tendințele în temperaturi și precipitații.....	16
2.4.4. Evaluarea clasificărilor atmosferice	16
2.5. Clasificările construite.....	17
2.6. Detecția ciclonilor	18
3. CIRCULAȚIA ATMOSFEREI ȘI SCHIMBĂRILE CLIMATICE LA NIVEL GLOBAL	19
4. EVALUAREA CIRCULAȚIILOR ATMOSFERICE	23
4.1. Varianța explicată.....	23
4.2. Scorul Pseudo – PF.....	25
4.3. Scorul WSD.....	27
4.4. Scorul Brier	28
5. SCHIMBĂRI ÎN FRECVENȚELE SITUAȚIILOR SINOPTICE	32
5.1. Frecvența circulațiilor atmosferice în România conform clasificărilor din COST733.....	32
5.2. Schimbări în frecvența circulațiilor atmosferice	33
5.3. Modificări în intensitatea situațiilor sinoptice conform NOAA-20CR (conform JC).....	38
5.4. Modificări induse de circulațiile atmosferice în temperaturi și precipitații.....	40
5.5. Schimbări în temperaturi și precipitații datorate modificărilor în frecvența circulațiilor atmosferice (metoda decompoziției)	42
5.6. Probabilitatea condiționată a situațiilor sinoptice de a produce valuri de căldură sau de frig....	43
5.7. Situațiile sinoptice specifice pragurilor extreme	45
5.8. Influența indicilor de circulație la scară mare asupra temperaturilor și cantităților de precipitații din România	47
6. ANALIZA CICLONILOR EXTRATROPICALI	51

6.1.	Tendințe în frecvența sistemelor ciclonice	52
6.2.	Tendințe în intensitatea ciclonilor extratropicali	52
6.3.	Tendințe în caracteristicile sistemelor ciclonice.....	53
6.	CONCLUZII.....	55
	REFERINȚE (SELECȚIE)	57

ABREVIERI

ECMFW – European Centre for Medium-Range Weather Forecast	MAM – anotimpul de primăvară
ECA&D – European Climate Assessment and Database	JJA – anotimpul de vară
NCEP – National Centers for Environmental Prediction	SON – anotimpul de toamnă
NCAR – National Center for Atmospheric Research	ERA-I – ERA Interim (versiune de reanaliză produsă de ECMFW)
JMA – Japanese Meteorological Agency	JMA – Japan Meteorological Agency
SLP – Presiunea medie la suprafața mării (hPa)	UERRA – Uncertainties in Ensembles of Regional Reanalyses
Y5 – Vorticitatea relativă specifică geopotențialului de 500 hPa (s^{-1})	NOAA20CR – NOAA-CIRES-DOE 20th Century Reanalysis
K5 – Grosimea troposferei (m) între geopotențialele de 850 hPa și 500 hPa	NAO – Oscilația nord-atlantică
Z500 – Înălțimea geopotențialului de 500 hPa (m)	EA – Oscilația est-atlantică
COST733class – Software de clasificare a datelor meteorologice în grupări distincte	WP – Oscilația vest-pacifică
PCA – Analiza componentelor principale	PNA – Oscilația Pacific/Nord-americană
tmin – Temperatura minimă a aerului înregistrată la 2 m.	EA.WR – Oscilația est-atlantic/vestul Rusiei
tavg – Temperatura medie a aerului înregistrată la 2 m.	POL – Oscilația polară/Eurasia
tmax – Temperatura maximă a aerului înregistrată la 2 m.	AMO – Oscilația multidecenială atlantică
DJF – anotimpul de iarnă	SN – Numărul de pete solare
	CFC – Cloud fractional cover (gradul de acoperire cu nori al cerului)
	SIS – Shortwave Incoming Solar Radiation (radiație globală)

1. INTRODUCERE

Această lucrare studiază subiectul circulațiilor atmosferice și al impactului pe care acestea îl au în modificările climatice actuale. În România, acest subiect a fost studiat pentru prima oară la mijlocul anilor 1960, în lucrarea lui Nicolae Topor referitoare la centrul de acțiune baricic deasupra României. Ulterior, subiectul de față a fost abordat mai degrabă tangențial, fără o analiză profundă. În continuare, studiul lui Topor este folosit ca referință în lucrările de geografie dar și de climă referitoare la frecvența circulațiilor atmosferice pe teritoriul României. Creșterea puterii de calcul, dar și a dezvoltării datelor climatice la nivel global permite în acest moment o analiză nouă și obiectivă a situațiilor sinoptice, fapt urmărit în această lucrare.

Per ansamblu, lucrarea de față este împărțită în șapte capitole. Primul capitol conține elemente introductive, precum un scurt istoric și o analiză preliminară a metodelor ce urmează a fi abordate. Capitolul doi prezintă în mod concret atât datele utilizate cât și metodele abordate în vederea analizei circulațiilor atmosferice pe teritoriul României. Totodată, sunt analizate în mod succint metodele de clasificare obiective – ce urmează a fi subiectul principal al acestei lucrări. Tot aici sunt prezentate și metodele de detecție și trasare a traiectoriilor ciclonilor extratropicali. În continuare, capitolul trei descrie pe scurt mecanismele dinamice ale climei în Europa, prezentând în mod mai detaliat principalele sisteme barice permanente ce influențează clima la nivel continental. În a doua parte a acestui capitol sunt prezentate modificările climatice în regimul termic și pluviometric la nivel global și regional (la scară continentală și națională) conform mai multor seturi de date. Capitolul patru prezintă primele rezultate ale acestei lucrări, fiind dedicat analizei statistice a performanței tipurilor de circulații determinate. Sunt analizați patru indicatori metrici, rezultatele fiind discutate la nivel lunar, sezonier și anual. În capitolul cinci sunt examinate frecvențele circulațiilor atmosferice pe teritoriul României, precum și schimbările care au apărut. Analiza este făcută pe baza a două perioade distincte: 1900-2010 și 1981-2016 – în funcție de lungimea șirului de date specifice reanalizelor utilizate. A mai fost inclus și un studiu de caz referitor la modificările apărute în intensitatea advecțiilor dar și a frecvenței circulațiilor atmosferice construite cu o metodă specifică pentru perioada 1836-2015 (cuprinzând aproape două secole de analiză). Capitolul șase analizează ciclonii extratropicali pe teritoriul României (frecvența precum și intensitatea acestora în perioada 1979-2010). În fine, ultimul capitol (șapte) este dedicat concluziilor principale care pot fi trase din acest studiu. În partea de referințe au fost menționate peste 160 de lucrări de specialitate, cea mai mare majoritate constând în articole ISI publicate în reviste internaționale care pot fi găsite cu ușurință în mediul on-line.

Această lucrare nu ar fi fost posibilă fără ajutorul direct al unor persoane. Mulțumesc d-lui profesor coordonator, Prof. univ. em. dr. Liviu Apostol pentru sfaturile, coordonarea și încrederea oferită în cei trei ani și jumătate petrecuți în cadrul Școlii Doctorale de Geoștiințe. Mulțumesc comisiei de îndrumare (CS.I. Roxana Bojariu, CS. I. Cristian Patriche și Conf. univ. dr. Lucian Sfică) pentru intervențiile care au contribuit masiv la îmbunătățirea acestei lucrări. În același timp, mulțumesc Universității „Alexandru Ioan Cuza” pentru bursa doctorală de studii oferită. Sunt recunoscător acestei instituții pentru educația și amintirile frumoase în cei aproape șapte ani petrecuți în Iași (incluzând aici studiile de licență și de masterat). Îi mulțumesc d-nei Maria Rebegea pentru ajutorul și politețea oferită în cadrul secretariatului Școlii Doctorale. Le mai mulțumesc colegilor din Administrația Națională de Meteorologie, CS.I. Marius-Victor Bîrsan și CS.I. Alexandru Dumitrescu pentru sfaturile și sugestiile oferite în elaborarea acestei lucrări. Mai sunt recunoscător unor instituții internaționale precum EUMETSAT și COST pentru cursurile de perfecționare

în străinătate la care am participat și care au fost sponsorizate integral de către acestea. În aceeași manieră, sunt recunoscător Uniunii Europene pentru crearea și finanțarea continuă a programului internațional de studii Erasmus+ care a contribuit de asemenea la formarea mea profesională. În final, aduc mulțumiri familiei (mamei și celor două surori pentru sprijinul continuu în anii mei de studii). Dedic integral această lucrare în memoria tatălui meu, trecut în neființă la vârsta de 76 de ani.

1.1. Scopul lucrării și elementele inovative

În această lucrare, principalul scop îl reprezintă studiul circulațiilor atmosferice din Europa (cu precădere asupra teritoriului României) și a influenței pe care acestea îl au asupra modificărilor climatice. În această direcție, au fost utilizate mai multe metodologii testate și cunoscute deja în mediul internațional. Principalele seturi de date utilizate sunt reanalizele climatice. Acestea sunt disponibile în formă de rastere multistrat (care conțin trei variabile descriptive principale: longitudinea, latitudinea și pasul temporal). În această privință, au fost procesate volume considerabile de date spațiale, cuprinzând nu doar România ci și continentul european.

Sunt utilizate patru metodologii de clasificare a circulațiilor atmosferice. Fiecare metodologie are mai multe metode de clasificare, iar fiecare metodă conține 27 de situații sinoptice (tipare de circulație la scară europeană). Clasificările atmosferice au fost construite utilizându două reanalize climatice: ERA20C (pentru perioada 1900-2010) și ERA-Interim (pentru 1981-2016). Astfel, este acoperită o perioadă de studiu de 116 ani. Totodată, a mai fost făcut un studiu de caz extins pentru perioada 1836-2015, referitor la intensitatea advecțiilor unor circulații clasificate după componenta advecitivă principală.

Pentru studiul temperaturilor și al precipitațiilor, au fost utilizate datele E-OBS (versiunea 20) care acoperă perioada 1950-2016. Acestea au fost preferate în fața altor seturi (care cuprind întreaga perioadă 1900-2016), deoarece sunt printre cele mai precise la nivel continental, fiind derivate din datele de observații *in-situ* (incertitudinile fiind mai reduse decât în cazul datelor derivate din reanalizele climatice).

Pe baza clasificărilor rezultate, vom analiza frecvența circulațiilor atmosferice, a schimbărilor apărute, dar și a implicațiilor climatice cu referire la teritoriul României. Dat fiind faptul că mecanismul climatic impus de circulațiile atmosferice este constituit și din alte componente, în acest studiu au fost discutate și o serie de concluzii referitoare la traiectoriile ciclonilor extratropicali pe teritoriul României. În această direcție vor fi utilizate 12 metode de detecție și trasare a traiectoriilor ciclonilor extratropicali care au traversat teritoriul geografic al României în perioada cuprinsă între 1979-2009 (astfel, perioada de 30 de dedicată acestui studiu putând fi considerată drept o normă climatologică). Pe lângă analiza schimbărilor în frecvență, vor fi abordate și modificările apărute în intensitatea, viteza, durata de viață și distanța parcursă de către ciclonii în cauză, conform fiecărei metode dintre cele 12 studiate.

Această lucrare este prima de acest gen care abordează în detaliu, cu o metodologie modernă, problema circulațiilor atmosferice pe teritoriul României. Comparativ cu studiile anterioare, sunt folosite mai multe metode de clasificare pe termen lung (cu o durată a șirului de date de peste un secol). Scopul final este de a revizui într-o manieră obiectivă și modernă cunoștințele existente referitoare la circulațiile atmosferice în România, precum și rolul pe care acestea îl au în tendințele climatice actuale. Pe baza rezultatelor, în final, sunt oferite câteva recomandări cu privire la utilizarea clasificărilor sinoptice automate în identificarea circulațiilor responsabile de anumite praguri extreme în temperaturi și precipitații. Toate datele utilizate în acest studiu sunt disponibile în mod gratuit. Toată analiza (manipularea datelor, analizele statistice și partea grafică) a fost făcută cu software-uri gratuite. Scripturile pentru generarea lor pot fi puse la dispoziție la cerere.

1.2. Clasificările obiective COST733

După al Doilea Război Mondial, numărul observațiilor sinoptice din Europa era în creștere. Datorită numărului tot mai mare de stații meteorologice, apăruseră și prognozele meteorologice de scurtă durată (1-3 zile), acestea putând fi ușor transmise, fie prin telegraf, fie prin radio. Tabloul era completat prin rețeaua tot mai densă a punctelor de lansare pentru radiosondaje, care permiteau cunoașterea condițiilor meteorologice din troposfera medie și înaltă.

Ca urmare a perfecționării hărților sinoptice în timp, mai mulți sinopticieni și-au pus problema dacă nu pot concepe unele configurații sinoptice în diferite tipare, după modul în care acestea acționau fie asupra continentului fie asupra unei regiuni geografice limitate (precum o țară sau chiar un oraș). Se cunoșteau deja conceptele de circulații zonale, meridianale sau de blocaj, iar condițiile meteorologice impuse de aceste situații erau de asemenea studiate. Clasificările circulațiilor atmosferice ar fi permis și un studiu climatic pe care acestea îl imprimau stărilor de vreme.

În timp, au apărut primele metodologii de clasificare a circulațiilor care erau de regulă valabile pentru o țară sau o regiune care cuprindea și țările vecine. În acest sens, primii autori care au încercat aceste demersuri (Dove și Köppen) urmăreau direcția vântului la stațiile meteorologice. Ulterior, având mai degrabă un scop de prognoză meteorologică decât de abordare climatică, apar clasificările lui P. Hess și R. Brezowsky și Lamb (Tveito et al., 2016).

Odată cu apariția calculatoarelor, s-au pus și bazele unor metodologii mai avansate de clasificare, de data aceasta fiind posibilă o abordare la scară continentală. Problema era totuși că în lipsa unor jurnale sau a unor conferințe academice internaționale prin care aceste clasificări să fie promovate, cele mai multe erau folosite doar de un grup restrâns de cercetători. Mai mult, o bună parte dintre acestea nu erau transferabile pentru alte teritorii, și în plus, urmăreau strict doar o componentă atmosferică.

În anul 2005, au avut loc pentru prima oară discuții referitoare la stabilirea unei cooperări internaționale care să centralizeze toate eforturile făcute în domeniul clasificărilor sinoptice din Europa și nu numai. Principalele motivații erau legate de faptul că existau multe clasificări în literatură care creau confuzie sau nu erau suficient analizate. Alt argument era dat de faptul că multe clasificări obiective nu puneau la dispoziție metodologia sau codul sursă în vederea reproducerii lor în alte regiuni.

Astfel, între 15 și 16 martie 2005, la întâlnirea cu numărul 161 din programul internațional de cercetare „European Cooperation in Science and Technology” (în abreviere COST), a fost semnat un memorandum între mai multe state, care urmărea rezolvarea problemelor menționate anterior. Acest demers trebuia să rezulte o serie de clasificări sinoptice reproductibile pe oricare regiune a continentului, care să poată fi folosite în studii climatice în conjunctură cu diferiți parametrii meteorologici. Alt obiectiv al acestei acțiuni era să adune toate clasificările sinoptice dezvoltate până la acel punct într-o singură bază de date care să contribuie la studiul legăturii dintre circulațiile atmosferice și fenomenele climatice. Printr-o bază de date comună în acest domeniu, se puteau cunoaște avantajele și dezavantajele tuturor metodelor de clasificare (Tveito et al., 2016).

Primul punct de start al acestei acțiuni a fost dat de completarea unui chestionar legat de aplicabilitatea clasificărilor sinoptice din partea tuturor țărilor europene participante (Tab. 1). Chestionarul a fost trimis specialiștilor din mai multe țări, iar rezultatele (peste 80 de răspunsuri în total), urmăreau să arate domeniile generale de interes ale fiecărei țări în climatologia dinamică. Totodată, fiecare țară participantă trebuia să facă un sumar al eforturilor făcute deja în acest domeniu la nivel național (evaluarea numărului de clasificări sinoptice disponibile până în acel moment).

Tab. 1: Numărul de clasificări (obiective și subiective per țară) disponibile până la începutul acțiunii COST733

Țara	Nr. clasificări	Țara	Nr. clasificări
Austria	3	Olanda	1
Belgia	1	Norvegia	2
Croatia	1	Polonia	5
Cipru	1	România	4
Cehia	3	Rusia	3
Estonia	2	Serbia	1
Franța	4	Slovenia	3
Germania	9	Spania	12
Grecia	3	Suedia	2
Ungaria	4	Elvetia	2
Lituania	1	Regatul Unit	4

Reprezentanții României în această acțiune au menționat clasificarea lui Topor-Stoica și a lui Ion-Bordei; celelalte două (incluse oarecum eronat în acest context) se referă la metoda lui Hess-Brezosky precum și o clasificare bazată pe analiza clusterelor dezvoltată de G. Plaut (construită pentru teritoriul Franței însă).

Toate clasificările sinoptice (atât subiective cât și obiective) luate în considerare în acțiunea COST 733 sunt menționate în Tab. 2. În cazul coloanei *descriere* (pentru circulațiile subiective), este menționat apelativul *original*, ceea ce indică faptul că ele sunt redactate așa cum au fost inițial create de autori. Pentru circulațiile din celelalte categorii, apelativul *cost733class* indică faptul că metodele respective sunt rezultate în urma utilizării programului de clasificare, fiind practic reproductibile pentru orice domeniu spațial sau în orice configurație dorită.

Tab. 2: Clasificările inventariate de acțiunea COST 733 (conform denumiri originale)

Categoria	Abreviere	Descriere
subiective	GWLo	Hess-Brezowsky GrossWetterLagen (HBGWL/HBGWT) [original]
	PECo	PECzely [original]
	PERo	PERret [original]
	SUEo	SchUEepp [original]
	ZMGo	ZAMG [original]

praguri	GWT	GrossWetterTypes (GWT) [cost733class]
	JCT	Jenkinson-Collinson-Types [cost733class]
	LWTo	Jenkinson-Collinson "Lamb WeatherTypes 2" (LWT2) [original]
	LIT	Litynski (LITADVE/LITTC) [cost733class]
	LITo	Litynski (LITADVE/LITTC) [original]
	WLK	WetterLagenKlassifikation (WLK) [cost733class]
	WLKo	WetterLagenKlassifikation (WLK) [original]
analiza componentelor principale	KRZ	Kruizinga (P27) [cost733class]
	KRZo	Kruizinga (P27) [original]
	PXE	Pca-eXtreme scores reassigned by Euclidean distance (PCAXTR) [cost733class]
	PXEO	Pca-eXtreme scores reassigned by Euclidean distance (PCAXTR) [original]
	PCT	obliquely rotated PCA of subsamples in T-mode (TPCA) [cost733class]
	PCTo	obliquely rotated PCA of subsamples in T-mode (TPCA) [original]
	PTT	orthogonally rotated PCA in T-mode [cost733class]
algoritmi lider	LND	LuND [cost733class]
	KIR	KIRchhofer (KRC) [cost733class]
	ERP	ERPicum [cost733class]
	ERPo	ERPicum [original]
	PTSo	PeTiSco [original]
algoritmi de optimizare	CKM	CKMeans [cost733class]
	CKMo	CKMeans [original]
	NNWo	Neural NetWork (Kohonen SOM) using 2d-topology [original]
	SOM	SelfOrganizing Maps (Kohonen SOM) using 1d-topology [cost733class]
	CAP	Cluster Analysis of Principal components (PCACA) [cost733class]

	PXK	Pca-eXtreme scores reassigned by K-means (PCAXTRKM) [cost733class]
	PXKo	Pca-eXtreme scores reassigned by K-means (PCAXTRKM) [original]
	SAN	Simulated ANeilling clustering [cost733class]
	RAC	RANdom Centroid classification [cost733class]

Principiile unei clasificări obiective sunt definite de o serie de criterii ce au la bază în primul rând abilitatea de a reproduce un tip de circulație predefinit. Acest lucru este obținut printr-o serie de criterii care subliniază câteva proprietăți esențiale: *consistența* - arată cât de mult o clasificare este bazată pe valori similare ale parametrilor setați anterior; *gradul de separare* - denotă similitudinea cazurilor din cadrul aceluiași cluster (grupare) precum și diferențierea dintre clusterelor propriu-zise; *stabilitatea în timp/spațiu* - arată similaritatea grupărilor rezultate la nivel temporal spațial (Huth et al, 2009).

2. DATE ȘI METODE

În această secțiune sunt prezentate datele utilizate în studiu. Acestea au fost descărcate din mai multe surse până la nivelul lunii aprilie 2020 (majoritatea fiind disponibile aici în ultima versiune disponibilă la data menționată). Au fost utilizate reanalize climatice și rastere agregate fie la nivel lunar, fie la nivel zilnic (Tab. 3), o parte fiind folosite în scop comparativ. Este important de menționat că toate seturile de date utilizate aici sunt disponibile în mod gratuit. Acestea au fost procesate în cea mai mare parte cu programele **cdo** – *climate data operators* (dezvoltat de institutul Max-Planck), **nco** – netCDF Operator și **R**.

2.1. Datele de reanaliză și de observații utilizate

În acest studiu, pentru construcția clasificărilor sinoptice sunt folosite două seturi de reanaliză climatică, ambele fiind produse de ECMWF. Motivul utilizării a două seturi este dat de lungimea diferită a șirului de date. Prima reanaliză utilizată este **ERA20C**. Acest set are o rezoluție temporală de patru termene de observație/zi (la orele 00, 06, 12 și 18 UTC), începând cu 1 ianuarie 1900 și terminându-se pe 31 decembrie 2010. Conține 91 de nivele verticale între suprafața activă și nivelul specific geopotențialului de 0,01 hPa (în condiții ideale, acesta ar fi situat la 80 km în altitudine). Rezoluția spațială este de 1,125 grade, în acest sens fiind folosit un model geodezic denumit *T159 spectral triangulation truncation* (Poli et al., 2016). ERA20C înglobează doar date de observații umane (obținute fie de la stațiile meteorologice fie de la navele oceanice), fără alte date de asimilare satelitară sau obținute prin aerosondaje. Prin urmare, gradul de precizie al acestei reanalize nu este unul foarte ridicat, mai cu seamă deasupra oceanelor și a polilor terestri. Pentru clasificarea circulațiilor atmosferice pentru perioada 1900-2010, din acest set de date a fost folosită presiunea medie la suprafața mării (SLP), înregistrată zilnic la ora 12:00 UTC.

A doua reanaliză climatică utilizată în acest studiu este **ERA-Interim**. Acest set a fost disponibil pentru prima oară în 2010, fiind conceput pentru a înlocui vechea versiune de reanalize ERA-40. Față de celelalte reanalize valabile în acel moment, ERA-Interim propunea un nou model de asimilare a datelor de intrare, denumit 4D-Var (Dee et al., 2011). Acest model utilizează un ciclu de 12 ore pentru schema de inițializare a condițiilor de vreme. Pentru fiecare pas de timp pentru care modelul este rulat, sunt combinate atât condițiile de vreme existente în acel moment cât și condițiile prognozate, scopul final fiind de a estima cât mai corect starea parametrilor atmosferici. Rezoluția spațială a fiecărei celule din acest set de ~79 km (0.75°), iar ca rezoluție temporală, ERA-Interim conține date la 4 termene/zi începând cu 1 ianuarie 1979. În 2019, ERA-Interim a fost înlocuită cu o altă versiune de reanaliză, denumită ERA-5. Astfel, actualizările pentru acest set s-au oprit pe 31 august 2019. La fel ca în cazul reanalizei ERA20C, din acest set s-a folosit presiunea atmosferică zilnică înregistrată la ora 12 UTC pentru perioada 1981-2016.

Datele de reanaliză au fost reinterpolate la rezoluția de 0,5 grade cu scopul de a îmbunătăți calitatea grafică a centrozilor rezultați. Au fost folosite doar datele de asimilare înregistrate la ora 12 UTC. Este important de menționat faptul că aceste seturi nu au fost comparate între ele, și prin urmare, rezultatele vor fi prezentate separat pentru cele două, utilizând astfel două perioade distincte: 1900-2010 (pentru ERA20C) și 1981-2016 (pentru ERA-Interim). Restul datelor utilizate în studiu este prezentat în Tab. 3.

Tab. 3: Datele utilizate (alături de referința și domeniul web unde pot fi accesate)

Setul	Parametru	Rezoluția	Perioada	Referința	Web*
ERA20C*	MSLP	1,125×1,125 grade	1900-2010	Poli et al., 2016	https://apps.ecmwf.int/datasets/data/era20c-daily/levtype=sfc/type=an/
ERA-Interim*	MSLP	0,75×0,75 grade	1981-2016	Dee et al., 2011	https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/
ERA5*	MSLP; T2m, componenta U-V la 15 m.	0,25×0,25 grade	1979-2019	Copernicus CDS, ECMWF, 2017	https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form
CFSR (v1&v2)*	MSLP; T2M	0,5×0,5 grade	1979-2019	Saha et al., 2010; 2014	https://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/
MERRA2*	MSLP; T2m	0,625×0,5 grade	1979-2019	Gelaro et al., 2017	https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/data_access/
CRU TS4.03	T2M	0,5×0,5 grade	1901-2018	Harris, Jones, 2019	https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.03/cruts.1905011326.v4.03/
GISTEMP	T2m	2,5×2,5 grade	1880-2019	Lenzen, 2019; GISTEMP Team, 2016	https://data.giss.nasa.gov/gistemp/
NOAA - CIRES 20CR	MSLP	1×1 grade	1836-2015	Slivinski et al., 2019	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/20thC_Rean/
JRA-55*	MSLP	T319×60 levels (~0,626×0,625)	1957-2016	Kobayashi, 2015	https://rda.ucar.edu/datasets/ds628.0/
Berkeley Earth	T2m	1×1 grade	1850-2019	Groom et al., 2013	http://berkeleyearth.org/data/
NOAA Global Temp	T2m	5×5 grade	1880-2019	Zhang, et al., 2019	https://www.ncei.noaa.gov/data/noaa-global-surface-temperature/v5/access/gridded/
CM-SAF (CLARA-A2)*	CFC; SIS	0,25×0,25	1982-2015	Karlsson et al., 2017	https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewProduktSearch?menuName=PRODUKT_SUCHE

2.2. Softul de clasificare *cost733class*

Software-ul de clasificare *cost733class* (Philipp et al., 2016) este scris în limbajul FORTRAN și are implementate toate metodele de clasificare inventariate de acțiunea COST 733. Ca date de intrare, acesta acceptă mai multe formate, enumerând aici *netCDF* sau *grib*. Programul poate utiliza și *ASCII*, pentru acestea existând condiția ca fiecare rând să reprezinte o zi (valoare temporală), iar fiecare coloană, o variabilă ce urmează a fi clasificată. Tot în cazul fișierelor ASCII, mai trebuie definite o serie de metadate referitoare la aria studiului și a intervalului de timp utilizat. Pentru fișierele *netCDF* sau *grib*, acest lucru este făcut simplu, prin citirea metadatelor înglobate în fișiere.

Cost733class a fost compilat în FORTRAN90/95 sub licență GNU/GPL v3. El poate fi folosit pe toate distribuțiile Unix/Linux însă poate fi compilat și în Windows (cu unele limitări). Toate comenzile sunt date sub forma argumentelor, fiind posibilă rularea lui și pe platformele de tip server (Philipp et al., 2010). În rândurile următoare, sunt prezentate câteva opțiuni ale programului *cost733class*.

Datele de ieșire ale acestui program constau în principal în două fișiere text; primul reprezintă un catalog format din mai multe coloane ce denotă anul, luna, ziua, ora și tipul de circulație specific celui pas temporal (tipul circulației este notat sub forma unui cod cu valori de la 1 la 27 - în cazul în care am optat pentru 27 de situații sinoptice). Al doilea fișier conține același număr de coloane în funcție de numărul de situații sinoptice. Fiecare coloană conține valoarea medie (de presiune de ex.) a unui pixelilor pentru acel tip de situație sinoptică. În același timp, programul poate deriva și alte fișiere adiționale (precum valoarea scorurilor componentelor principale în cazul în care sunt utilizate metode din categoria PCA).

2.3. Detecția ciclonilor extratropicali

Pentru analiza sistemelor ciclonice pe teritoriul României, sunt utilizate traiectoriile dezvoltate în proiectul IMILAST (Intercomparison of Mid-Latitude Storm Diagnostics). Acestea au fost descărcate de la adresa https://naturwissenschaften.ch/organisations/proclim/activities/project_imilast/data_download. Sunt utilizate 12 seturi (care vor fi detaliate în secțiunile următoare). Pentru procesarea acestora, s-au folosit mai multe pachete din limbajul **R** (R Core Development Team, 2018). În vederea calculării unor atribute precum distanța parcursă, durata de viață sau viteza medie de deplasare. Cu excepția M12, celelalte metode conțin poziția tuturor traiectoriilor ciclonice la fiecare patru termene/zi (durata minimă de viață pentru o traiectorie ciclonică este de minim 24 de ore).

Tab. 4. Metodele de detecție ale ciclonilor extratropicali utilizate

Metoda	Variabila utilizată	Referințe
M02	SLP	(Murray and Simmonds, 1991; Pinto et al., 2005)
M06	SLP, VORT, vântul la 1 km altitudine	(Hewson, 1997; Hewson and Titley, 2010)
M07	Vorticitate 850 hPa	(Flaounas et al., 2014)

M09	SLP	(Serreze, 1995; Wang et al., 2006)
M10	SLP	(Murray and Simmonds, 1991; Simmonds et al., 2008)
M14	Z850	(Kew et al., 2010)
M15	Z1000	(Blender et al., 1997; Raible et al., 2008)
M16	SLP	(Lionello et al., 2002; Reale and Lionello, 2013)
M18	Vorticitate 850 hPa, SLP	(Sinclair, 1997; Lionello et al., 2016)
M20	SLP	(Wernli & Schwierz, 2006)
M21	Vorticitate 850 hPa	(Inatsu, 2009)
M22	SLP	(Bardin and Polonsky, 2005; Akperov et al., 2007)

2.4. Metode

În această secțiune sunt prezentate metodele statistice cu ajutorul cărora s-au estimat tendințele în șirurile de date și de evaluare a clasificărilor sinoptice, de estimare a impactului circulațiilor atmosferice asupra tendințelor climatice

2.4.1. Estimarea tendințelor în șirurile de date și detecția rupturilor

Pentru analiza tendințelor în șirurile de date, s-a folosit testul Man-Kendall – MK (Mann, 1945; Kendall, 1938) Acesta este un test nonparametric care testează prezența unei tendințe sau a staționarității în cazul unei serii de date temporale

Ipoteza nulă H_0 susține că datele provin dintr-o șir de valori independente și că acestea sunt identic distribuite în timp ce ipoteza alternativă H_A susține că datele sunt specifice unei tendințe monotone (Pohlert, 2018). Testul MK este calculat după:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (1)$$

unde

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & \text{daca } x > 0 \\ +1, & \text{daca } x = 0 \\ -1, & \text{daca } x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Media lui S este $E[S] = 0$ iar varianța σ^2 este

$$\sigma^2 = \left\{ n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5) \right\} / 18 \quad (3)$$

în acest caz p reprezintă numărul grupurilor de valori identice (*tied groups*) din setul de date iar t_j este valorilor

punctelor din grupul pereche j (Pohlert, 2018). Scorul statistic S reprezintă o distribuție normală a șirului de date obținută în urma transformării Z scrisă prin

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma}, & \text{daca } x > 0 \\ 0, & \text{daca } x = 0. \\ \frac{S+1}{\sigma}, & \text{daca } x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Scorul S este în această situație similar cu Kendall τ prin ecuația

$$\tau = \frac{S}{D} \quad (5)$$

unde

$$D = \left[\frac{1}{2}n(n-1) - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1) \right]^{1/2} \left[\frac{1}{2}n(n-1) \right]^{1/2} \quad (6)$$

MK este folosit aici pentru a examina tendințele în cazul temperaturilor și precipitațiilor la nivel anual precum și în cazul frecvenței circulațiilor. Totodată, este folosit și în analiza tendințelor în frecvența ciclonilor și a tipurilor de circulații atmosferice.

2.4.1. Analiza oscilațiilor și a peridiocității șirului de date prin metoda wavelet coherence

Pentru șirurile univariate, este folosită metoda transformării continue Morlet (CWT). Unda „mamă” în cazul Morlet se caracterizează prin localizarea sa în timp (Δt) și frecvența (sau lățimea de bandă $-\Delta\omega$).

$$\psi_\eta = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\frac{1}{2}\eta^2} \quad (7)$$

unde ω_0 este frecvența adimensională iar η este timpul adimensional. Frecvența unghiulară ω (sau rotația în radiani/unitate temporală) este setată la 6 (valoare preferată în literatură în cazul Morlet) deoarece permite un echilibru bun între timp și frecvența parametrului. Ideea de bază pentru transformarea CWT este aplicarea unui filtru de trecere de bandă asupra șirului temporal (Grinsted *et al.*, 2004) Transformarea continuă a semnalului $S(t)$ generează un spectru ondulatoriu exprimat prin

$$S_{a,b} = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cdot \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \cdot dt \quad (8)$$

În acest caz, $\psi_{a,b}(t)$ se referă la *wavelet daughter* (onduleta secundară), a denotă scara parametrului iar b arată localizarea în timp a parametrului. Parametrizarea onduletei secundare și a scărilor temporale asumă existența unor frecvențe care compun semnalul (Jemai *et al.*, 2017)

2.4.2. Identificarea situațiilor sinoptice responsabile pentru producerea unor praguri termice și pluviometrice extreme

În cadrul acestei secțiuni, este analizată legătura situațiilor sinoptice derivate din clasificările obținute, cu unele evenimente meteorologice extreme în funcție de sezon; astfel, pentru anotimpul de vară (JJA), s-a calculat probabilitatea condiționată pentru fiecare tip de circulație pentru a produce zile cu temperatura maximă mai mare de 30°C; în mod similar, s-a procedat și în cazul sezonului de iarnă pentru temperaturile minime zilnice mai mici de -10°. Pentru precipitații, a fost ales pragul de 10 mm/pixel înregistrate la nivel zilnic. Probabilitatea condiționată a fost calculată după forma propusă de (Lupikasza, 2010; Levine & Wilks, 2006):

$$Pr(E1/E2_i) = \frac{Pr(E1 \cap E2_i)}{Pr(E2_i)} \times 100 \quad (9)$$

unde $E1$ reprezintă zilele cu precipitații mai mari de 10 mm iar $E2_i$ ($i = 1 \dots I$) denotă evenimentul condițional (un tip de circulație). Rezultatele sunt calculate pentru fiecare tip sinoptic din cele 592 analizate (incluzând ambele reanalize). La final, valorile sunt mediate pentru fiecare grup de direcție advectivă (valorile nu sunt prezentate la nivel de combinație sinoptică între direcție și caracteristica barică din rațiuni ce țin de dimensiunea lucrării).

2.4.3. Raportul dintre schimbările în caracteristicile termice/hidrice ale circulațiilor și tendințele în temperaturi și precipitații

Două metode simple bazate pe analiza frecvenței în timp a tipurilor de circulații și a magnitudinii schimbărilor din tendințe sunt analizate. Prima metodă a fost aplicată în mai multe studii (Bárdossy & Caspary, 1990; Huth, 2001; Fleig et al., 2015; Cahynová & Huth, 2016) pe diverse regiuni sau pentru perioade de timp diferite. Acest procedeu constă în construirea unui șir de date ipotetic în funcție de valorile de temperaturi și precipitații specifice fiecărui tip sinoptic de circulație.

- pentru fiecare tip sinoptic este construită o medie multianuală a temperaturii la toate stațiile meteo sau punctele de grilă pentru toate lunile anului; de exemplu, pentru tipul de circulație 1 (nord-vestic ciclonic) din clasificarea GWT media multianuală a lunii ianuarie la stația meteorologică x este de -4°C ;
- se construiește un set de date zilnic ipotetic unde temperatura zilnică la o stație este înlocuită cu valoarea medie multianuală a temperaturii specifice tipului de circulație din acea zi; dacă în ziua y ianuarie tipul de circulație indentificat de clasificarea automată a fost NWc, valoarea temperaturii medie zilnice va fi de -4° ;
- valorile zilnice obținute sunt mediate la nivel lunar iar magnitudinea tendinței este calculată folosind metoda *pantei Sen*;
- valoarea obținută este împărțită la magnitudinea tendinței și șirului original de date.

A doua metodă folosită pentru investigarea tendințelor climatice în funcție de modificările în frecvența circulațiilor atmosferice, se referă la „descompunerea” șirului de date inițial (ΔC) în două jumătăți și a calculării diferențelor climatice dintre media necondițională a primei și a celei de-a doua perioade. Prin această metodă sunt abordate atât modificările interne (schimbările între frecvența tipurilor) cât și tendința variabilelor meteorologice. Se poate scrie că:

$$\Delta \bar{C} = \sum_{i=1}^G = \left[\frac{\Delta F_i(C_i + \Delta C_i)}{n} + \frac{F_i \times \Delta C_i}{n} \right] \quad (10)$$

unde G reprezintă numărul de situații sinoptice, F_i este frecvența tipului i în prima perioadă, ΔF_i este schimbarea în frecvență a tipului sinoptic i între prima și a doua perioadă iar n este numărul de zile din prima perioadă. Mai departe, C_i reprezintă media climatică a circulației i în timpul primei jumătăți, ΔC_i denotă diferența medie climatică a circulației i între prima și a doua perioadă iar $C_i + \Delta C_i$ este media climatică a tipului i în a doua jumătate (Beck et al., 2007);

2.4.4. Evaluarea clasificărilor atmosferice

Primul indice propus este *varianța explicată* (EV) sau coeficientul de determinare, care estimează raportul dintre suma pătratelor din interiorul claselor (WSS) și suma totală a pătratelor (TSS), dat de

$$EV = 1 - \frac{WSS}{TSS}. \quad (11)$$

EV are proprietatea de a cuantifica proporția varianței prezentă în variabila dependentă atribuită unui tip sinoptic. Acesta măsoară varianța din cadrul unui tip sinoptic, raportată la varianța totală a variabilei independente (Broderick & Fealy, 2014).

Al doilea indicator utilizat este *testul pseudo-f statistic* (PF), ce reprezintă raportul dintre sumele pătratelor între clase și suma pătratelor dintre clase, luând în calcul și numărul de cazuri n regăsite în clasificarea respectivă k . (Beck, 2009) Acesta estimează dispersia dintre tipuri și dispersia din interiorul tipurilor și în același timp, măsoară și variabilitatea relativă a zilelor cu un tip de circulație în raport cu variația parametrului climatic pentru acele zile (Cahynová & Huth, 2016) prin

$$PF = \frac{\sum_{j=1}^K (\bar{y}_j - \bar{y})^2 / (K - 1)}{\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n (y_{ji} - \bar{y}_j)^2 / (n - K)}, \quad (12)$$

unde K denotă numărul de tipuri de circulații și n este numărul de observații; este media totală a șirului de observații iar \bar{y}_j este media pentru clasa j . O valoare mai ridicată a PF denotă o variabilitate mai mare între clase și în același timp, o variabilitate mai mică în cadrul claselor, per total, arătând o separabilitate mai bună a clasificării (Beck, 2009).

Al treilea indicator utilizat este dat de *deviația standard* din interiorul claselor (WSD), în care valoarea deviației este calculată pentru fiecare clasă ca estimator a variabilității dintre clase. Acest indicator poate fi scris sub forma

$$WSD = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (n_k - 1) \times SDI_k^2}{\sum_{k=1}^K (n_k - 1)}} \quad (13)$$

unde la fel ca în cazul indicatorului anterior, se iau în calcul frecvențele n diferite ale claselor k (SD reprezentând valoarea deviației standard).

Al patrulea indicator metric luat în considerare în acest studiu este dat de *scorul de performanță Brier* (din eng. *Brier skill score* - BSS), folosit în mod uzual în prognoza meteorologică a unui fenomen. Aici, BSS denotă abilitatea unui tip de circulație de a depăși anumite praguri de variabile climatice. El variază între 0 și 1, cu valori mari ce indică o performanță mai ridicată a clasificării respective. Este reprezentat prin

$$BSS = \frac{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^K N_k (f_k - \bar{o})^2}{\bar{o}(1 - \bar{o})}. \quad (14)$$

Aici, N este numărul de cazuri, K este numărul claselor sau al tipurilor de circulații, f_k este frecvența observată sau condițională a evenimentelor pentru clasa k și \bar{o} este frecvența necondiționată a evenimentelor (Beck, 2009; Schiemann & Frei, 2010).

2.5. Clasificările construite

În lucrarea de față, principalul scop este reprezentat de studiul circulațiilor atmosferice și influenței acestora asupra tendințelor climatice. În această manieră, 11 clasificări au fost realizate pentru fiecare reanaliză utilizată (Tab. 5). Rezultatele obținute în cazul analizei scorurilor de performanță, a tendințelor și a schimbărilor aduse în regimul termic și pluviometric sunt discutate separat pentru fiecare reanaliză. Există două motive care stau la baza acestei abordări: primul este dat de lungimea diferită a șirurilor de date; al doilea constă în atributele interne din cele două reanalize. ERA-Interim folosește o multitudine de parametri în schema de asimilare (date satelitare, de la bordul navelor și avioanelor comerciale sau de

radiosondaj/*dropsonde*¹ etc) în timp ce ERA20C folosește doar parametri măsurați la punctele de observație (la bordul navelor comerciale sau la stațiile meteorologice).

Tab. 5: Metodele de clasificare obiective utilizate²

Metoda	Clasificare	Referință
PRAGURI (THRESHOLD - THR)	GrossWetterTypen – GWT	Beck et al., 2007
	Litynski – LIT	Philipp, 2014
	Jenkinson-Colisson – JCT	Jenkinson, Colisson, 1977
ANALIZA COMPONENTELOR PRINCIPALE (PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS - PCA)	PCA cu scoruri extreme – PXE	Philipp et al., 2014; Esteban et al., 2005
	Kruizinga – KRZ	Kruizinga, 1979
	PCA cu rotire varimax în <i>t-mode</i> – PCT	Huth, 2000
ALGORITMI LIDER (LEADER - LDR)	Lund – LND	Lund, 1963
	Kirchhofer – KIR	Kirchhofer, 1973; Blair 1998
ALGORITMI DE OPTIMIZARE (OPTIMIZATION – OPT)	Medii de clustere cu partitionare în jurul medoizilor - DKM	Philipp et al., 2014
	Metoda algoritmilor de tip "Simulated Annealing" – SAN	Philipp et al., 2014
	Metoda lgoritmilor de tip "Self Operating Maps" – SOM	Philipp et al., 2014

2.6. Detecția ciclonilor

Ultima parte a acestui studiu va fi dedicată analizei sistemelor ciclonice pe teritoriul României pentru perioada 1979-2009. Similar metodelor de clasificare automată, detecția ciclonilor este realizată folosind mai multe metode dezvoltate în timp. În această manieră, vom folosi metodele propuse în proiectul de cercetare internațional „IMILAST” (*Intercomparison of Mid-Latitude Storm Diagnostics*) care a fost dedicat analizei tehnicilor de detecție a ciclonilor extratropicali folosind mai multe metodologii propuse.

Pentru analiza traiectoriilor ciclonice, s-au utilizat 12 metode construite în proiectul IMILAST. Fiecare metodă constă într-un set de date în care, pentru fiecare traiectorie ciclonică sunt disponibile informații precum poziția acesteia în coordonate geografice la fiecare șase ore sau alte informații adiacente precum intensitatea sau durata ei.

¹ Sonde de picaj

² Metodele de clasificare obiective utilizate

3. CIRCULAȚIA ATMOSFEREI ȘI SCHIMBĂRILE CLIMATICE LA NIVEL GLOBAL

La nivel global, temperaturile au crescut pe majoritatea suprafeței terestre la nivelul tuturor anotimpurilor. Din 1901 până în 2018, temperatura medie globală a crescut constant, cele mai mari anomalii pozitive înregistrându-se după anul 1970 (Fig. 3.1). În acest sens, cele mai mari creșteri față de media intervalului 1970 – prezent sunt specifice Asiei, Europei și Americii de Nord.

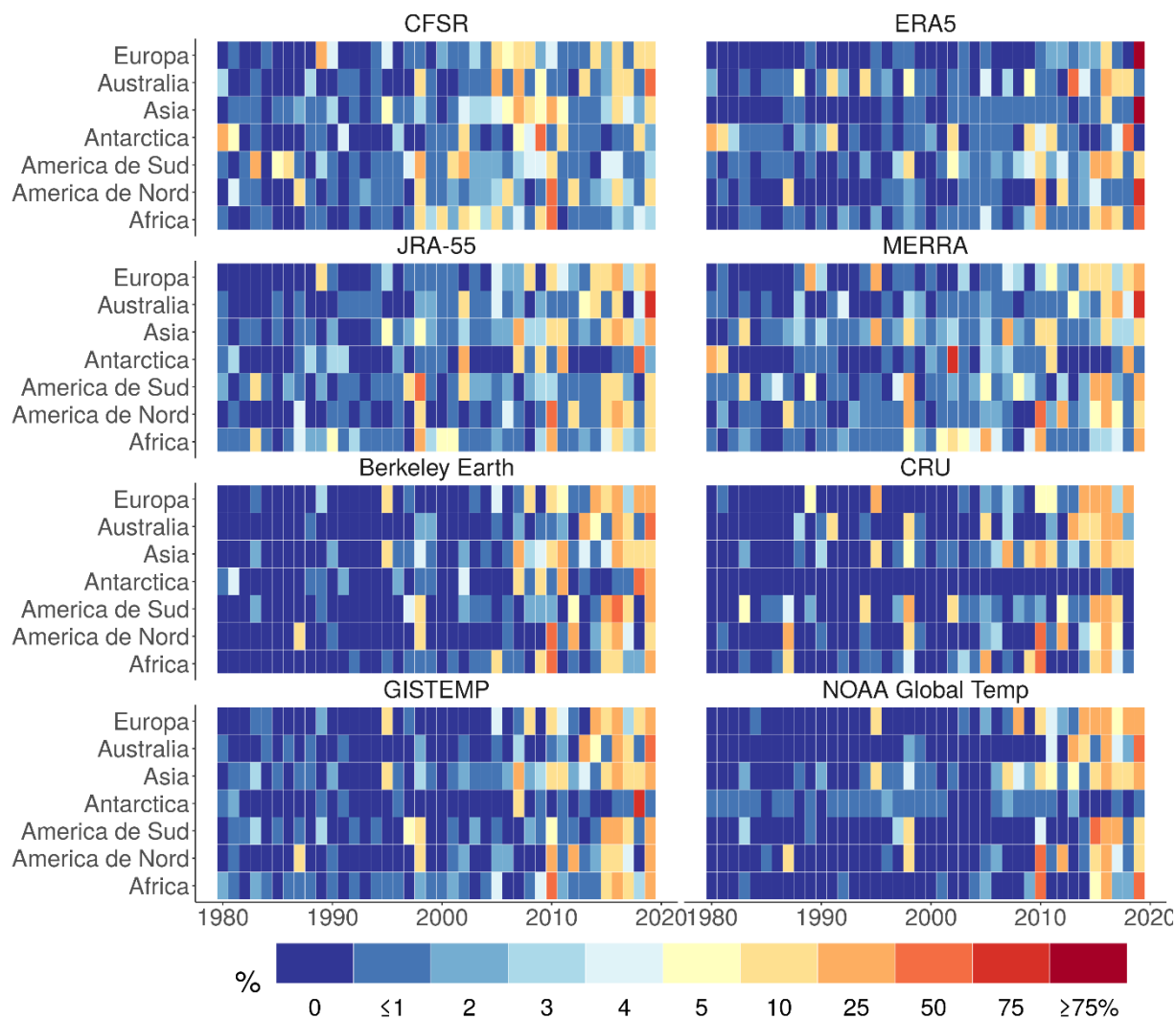


Fig. 3.1: Anul cel mai călduros și procentul de suprafață care l-a înregistrat în cazul temperaturilor medii la nivel de continent

În Fig. 3.2 sunt reprezentate anomaliile termice pentru toate continentele, indicate de mai multe seturi de date pentru ultimii 150 de ani.

Temperatura medie a crescut în Europa în ultimele patru decenii în mod pregnant. În anotimpul de iarnă se remarcă abateri mai mari în special în nord-estul Europei (care depășesc 2°C), incluzând și areale extinse din nord-est (Fig. 3.3). Pentru majoritatea continentului, temperaturile medii au crescut cu aproximativ 1°C în perioada 1961-2018 (conform reanalizei UERRA), situație similară și pentru valorile indicate de setul E-OBS.

La nivel european, cantitățile de precipitații arată per ansamblu o creștere în majoritatea continentului pentru perioada 1951-2019 (conform datelor E-OBS). Iarna, se observă o creștere mai

accentuată (~100 mm) în partea de nord a continentului, în mod deosebit în vestul Scandinaviei (unde acestea depășesc 200 mm) dar și scăderi mai des întâlnite în sudul Europei, în special Peninsula Iberică și Italică (Fig. 3.4 și Fig. 3.5).

Vara, se mai remarcă unele scăderi (în centrul Europei) însă acestea sunt relativ scăzute. În anotimpurile de tranziție, modificările sunt mai diminuate însă păstrează aceeași tendință pozitivă.

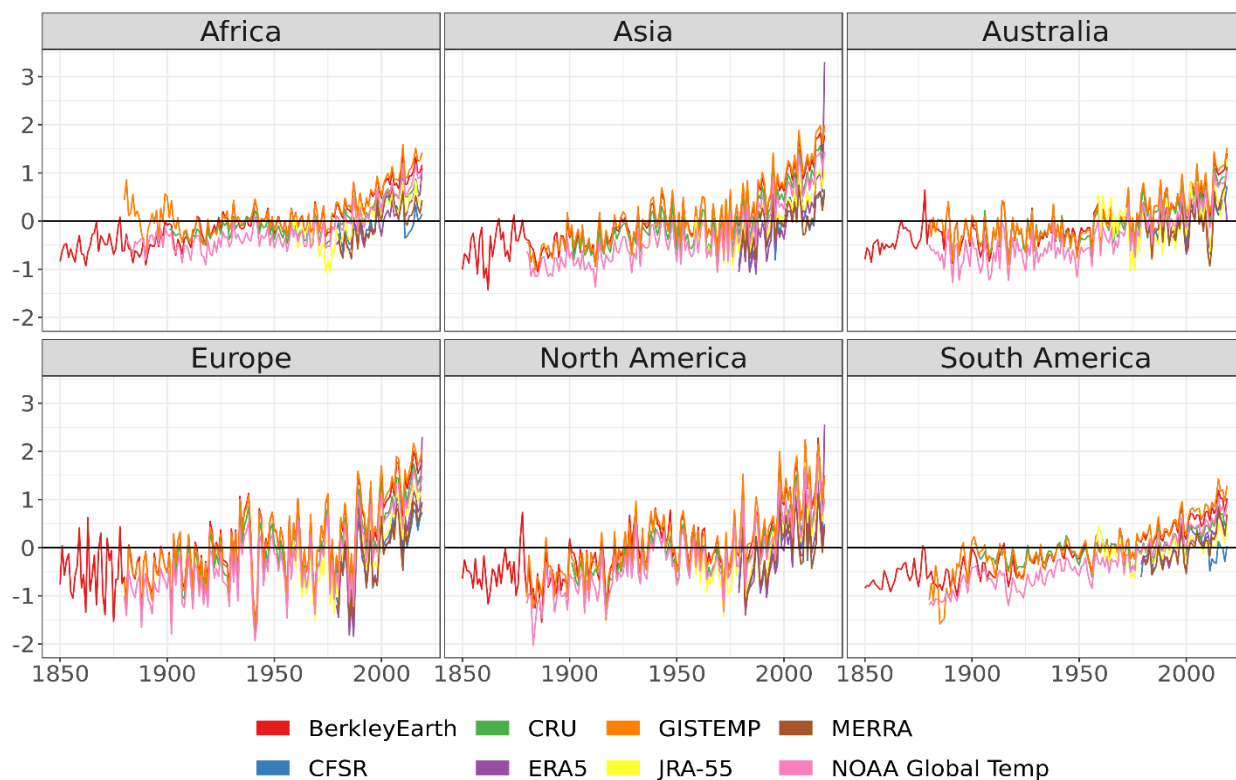


Fig. 3.2: Evoluția temperaturii medii globale (anomalii exprimate în grade Celsius raportate la temperatura multianuală a fiecărui set de date)

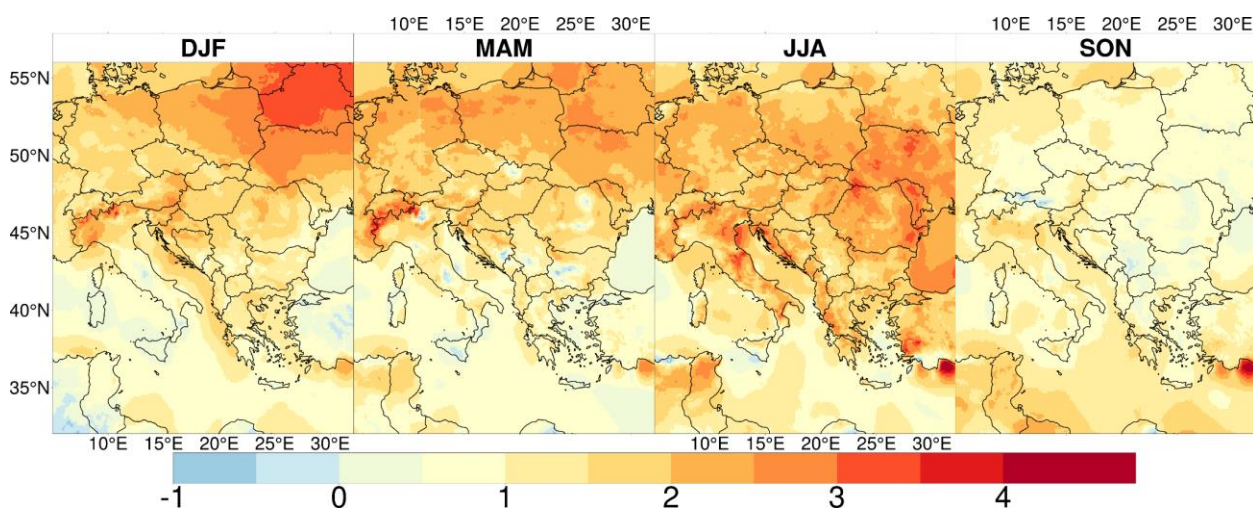


Fig. 3.3: Panta tendinței sezoniere a temperaturii medii (pentru perioada 1961-2018), conform UERRA-Harmonie

Temperaturile medii extrase din setul E-OBS pentru perioada 1951-2018 arată o tendință pozitivă pentru un număr de 12 locații alese reprezentativ ca răspândire pe teritoriul României (Fig. 3.6).

Temperaturile au crescut mai mult în partea exterioară a Carpaților, cauza fiind dată de receptivitatea în fața modificărilor mai pregnante la nivel continental. De exemplu, creșterea temperaturii medii a aerului în anotimpul de primăvară în perioada 1951-2018 (conform datelor gridate E-OBS) este de 2°C pentru stația Vaslui și aproximativ 2,2°C pentru Iași. În același timp, sunt indicate și unele tendințe negative (semnificative) la stațiile Brașov, Miercurea Ciuc și București Filaret (toate în anotimpul de toamnă). Acestea sunt în general mai mari pentru nordul-estul României, în special în cazul anotimpului de iarnă.

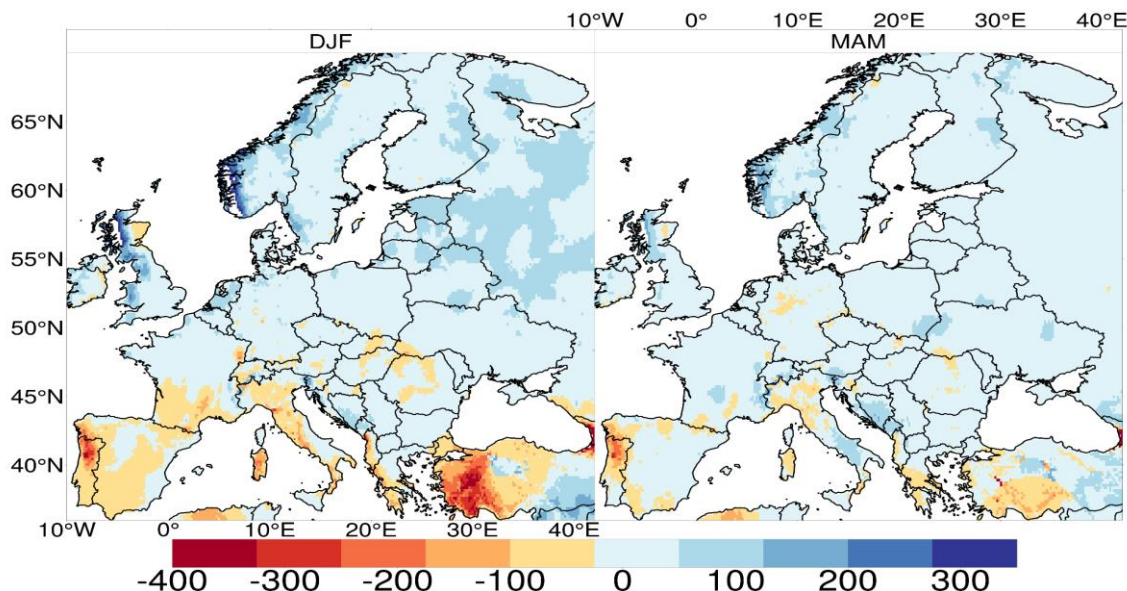


Fig. 3.4: Panta tendinței sezoniere a cantităților de precipitații (mm) pentru DJF și MAM (1951-2018), conform datelor E-OBS

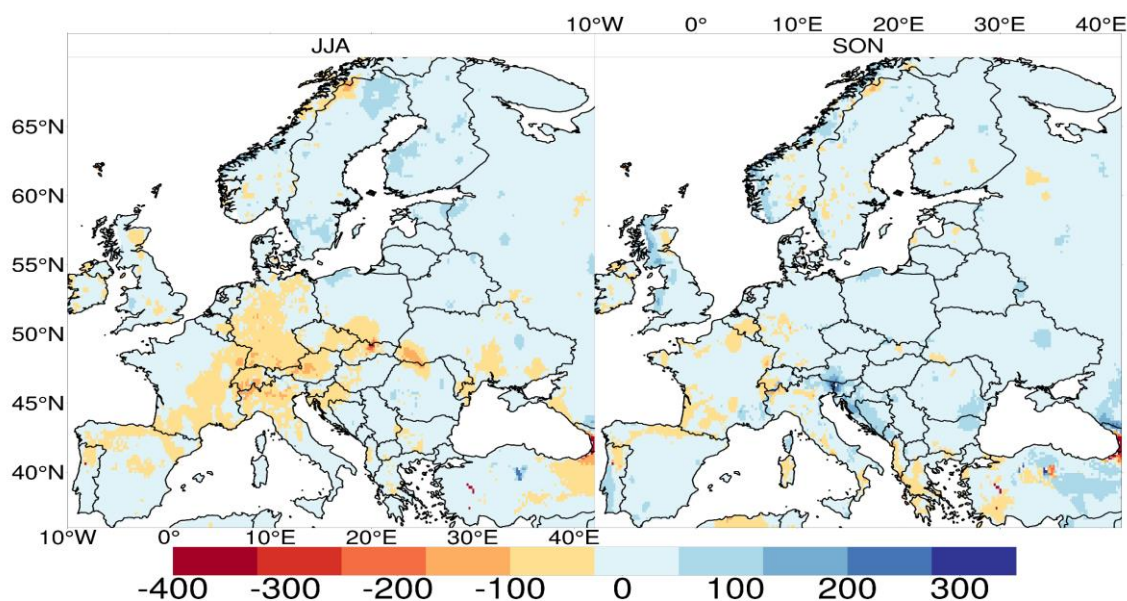


Fig. 3.5: Panta tendinței sezoniere a cantităților de precipitații (mm) pentru JJA și SON (1951-2018), conform datelor E-OBS

Încălzirea puternică din ultimele trei decenii în Europa este arătată și în cazul recordului anual de temperatură, toate seturile de date utilizate aici indică ultimele 20 de ani ca fiind cei mai călduroși pentru suprafețe considerabile din Europa (peste 25%). Pentru România, se observă o tendință similară de încălzire,

vizibilă în majoritatea anotimpurilor. Precipitațiile denotă o variabilitate redusă în schimb, fiind relativ puține stații la care s-au înregistrat modificări (Bojariu et al., 2015).

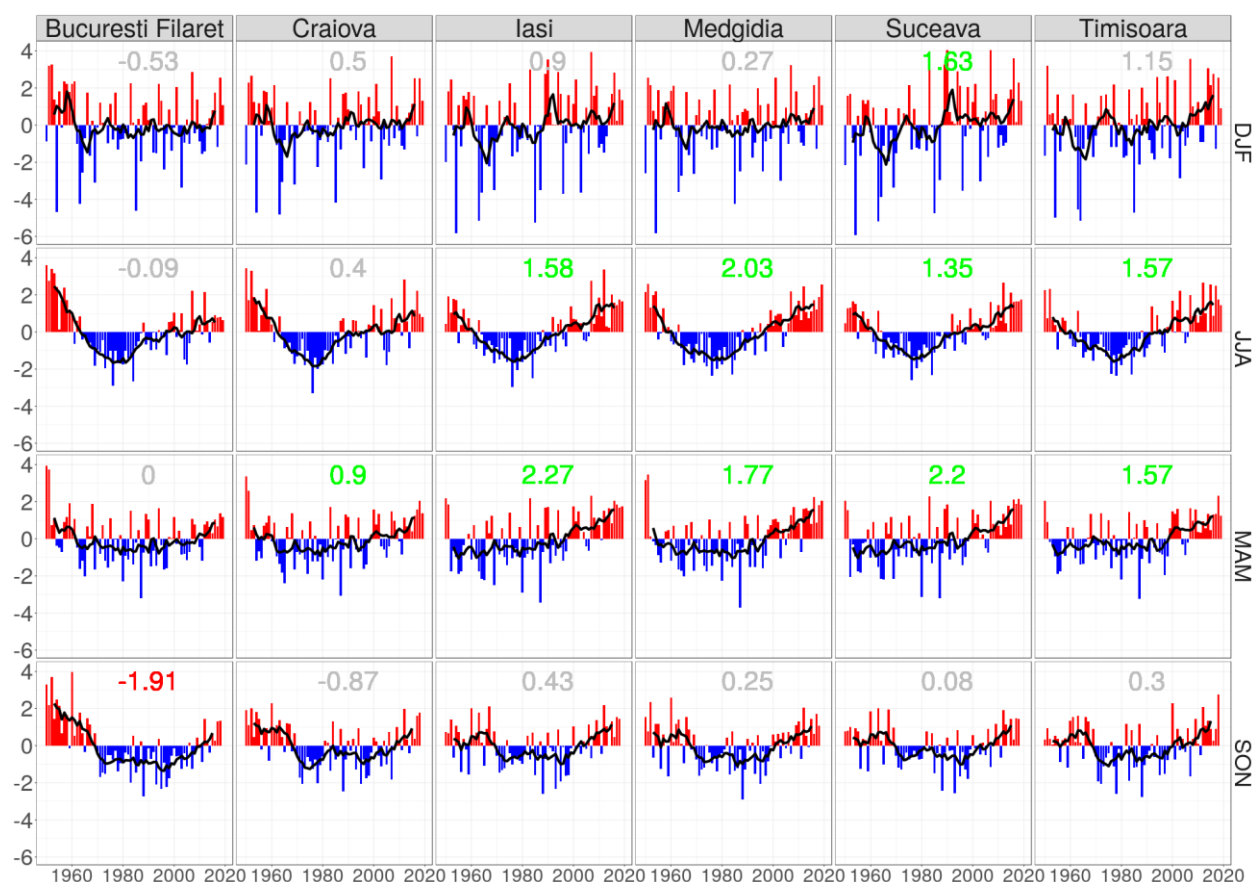


Fig. 3.6: Anomaliile temperaturii medii anuale pentru câteva locații din România și panta tendințelor sezoniere (pozitivă sau negativă, în funcție de culoare în grade Celsius). Linia neagră reprezintă media glisantă pe 7 ani (1950-2019)

Pentru majoritatea regiunilor din România, temperatura medie a aerului a crescut, cele mai mari creșteri fiind specifice sezonului de primăvară și vară, îndeosebi în afara arcului carpatic. Indicii referitori la extremele climatice arată o evoluție pozitivă a numărului de zile consecutive cu temperaturi maxime mai mari de 30°C în bazinul Carpaților sau al numărului de nopți tropicale, concomitent cu o scădere a celor bazați pe temperaturile minime, precum numărul de zile cu zăpadă sau îngheț (Birsan et al., 2014; Birsan et al., 2019) sau a conținutului de apă în sol (Prăvălie *et al.*, 2019)

4. EVALUAREA CIRCULAȚIILOR ATMOSFERICE

4.1. Varianța explicată

În primă fază, sunt comparate valorile de varianță explicată (EV) între toate metodele de clasificare care folosesc presiunea medie la suprafața mării ca date de intrare (extrasă din cele două reanalize climatice). Scorul EV cuantifică proporția varianței prezentă într-o dependentă variabilă (în cazul nostru, un tip sinoptic din cadrul unei clasificări). La o primă vedere, EV nu diferă mult între clasificările obținute folosind ERA20C sau ERA-I, existând o similaritate mare între cele două seturi de date (Fig. 4.1). În general, valorile sunt mai mari pentru acest indicator în anotimpul de iarnă și toamnă. Clasificările obținute prin utilizarea MSLP din ERA20C tind să aibă un indicator al EV mai ridicat în sezonul de iarnă îndeosebi, fapt datorat cel mai probabil lungimii mai mari a șirului de date.

Varianța explicată în cazul precipitațiilor nu diferă mult la nivel sezonier, existând un consens destul de mare în cazul metodelor de clasificare. GWT și JCT (din categoria *threshold*) indică scoruri mai mari iarna în comparație cu celelalte metode. Clasificările care folosesc algoritmi lider arată în general scoruri mai reduse ale EV. În schimb, metodele bazate pe PCA au proprietatea de a discerne mai bine clasele sinoptice din interiorul unei clasificări.

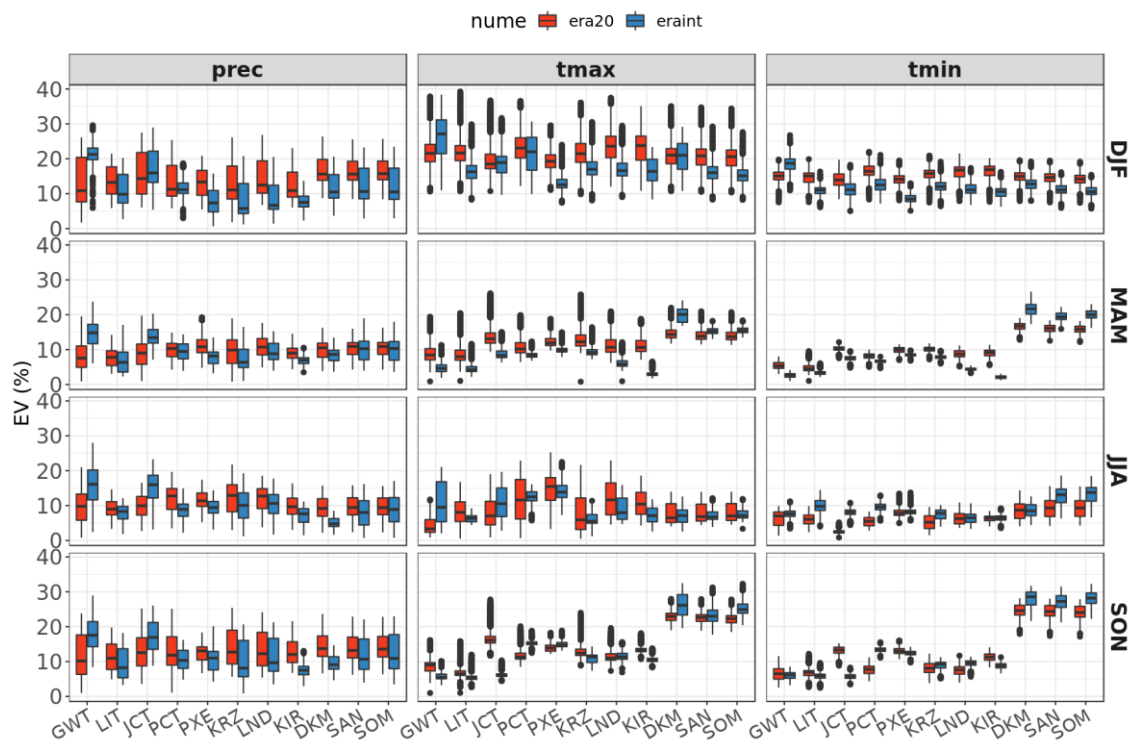


Fig. 4.1: Valorile EV sezoniere pentru clasificările obținute cu ERA20C și ERA-Interim

Per total, scorul EV diferă în funcție de reanaliza utilizată (ignorând aici varianța în funcție de temperatură sau precipitații). Pentru ERA20C, un scor relativ mai mare al EV este specific clasificărilor DKM, PXE și SAN (primele două fiind din categoria PCA iar a treia din OPT). La polul opus, o performanță mai slabă pentru EV este dată de clasificările LIT, KIR și GWT (Fig. 4.2).

În schimb, clasificările obținute cu ERA-I oferă o perspectivă diferită. GWT și DKM sunt clasificările care au obținut cel mai frecvent primul loc, în timp ce PXE și KIR au obținut cu precădere ultimul loc în cazul rangului. În general, se observă o funcționare bună a unor clasificări precum SOM, JCT sau SAN.

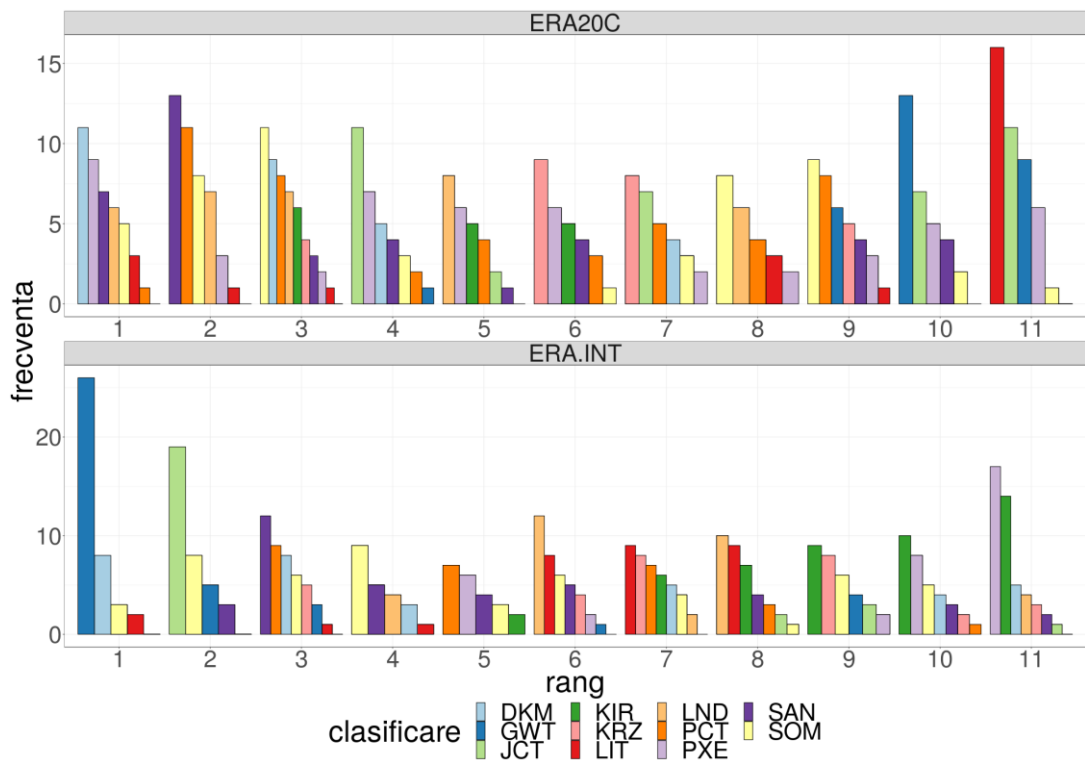


Fig. 4.2: Frecvența rangului clasificărilor în funcție de reanaliza utilizată pentru EV

Pentru teritoriul României, din punct de vedere al performanței scorului EV, clasificările GWT și într-o manieră mai redusă, DKM, oferă cel mai bun scor în cazul utilizării în studiul precipitațiilor. Pentru studiul temperaturilor maxime, GWT a obținut locul 1 pentru lunile decembrie - martie; pentru sezonul cald, PXE și PCT reprezintă cea mai bună alegere (Fig. 4.3). În final, pentru temperaturile minime, GWT oferă cel mai bun scor în sezonul rece în timp ce SAN și LIT sunt clasificările care au abilitatea de a discerne mai bine variația minimelor zilnice.

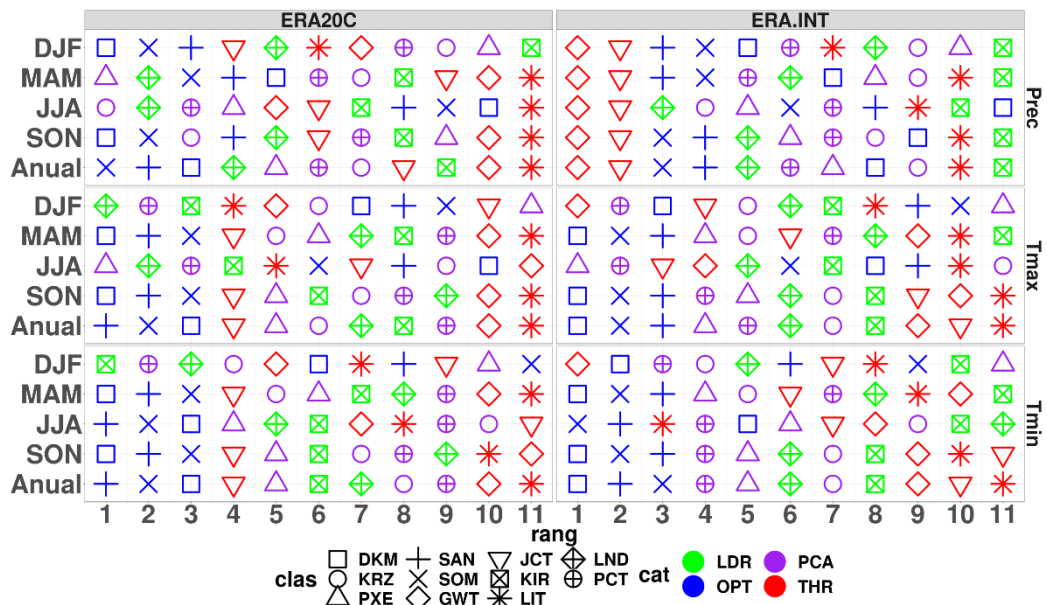


Fig. 4.3: Rangul sezonier și anual al scorului EV

4.2. Scorul Pseudo – PF

Scorul Pseudo-F (PF) se caracterizează prin valori mai ridicate ale acestuia în cazul clasificărilor rulate cu ERA20C (Fig. 4.4). Această tendință este specifică celor mai multe metode în toate anotimpurile, respectiv în cazul tuturor parametrilor. Aparent, scorul PF este determinat în cea mai mare parte de lungimea șirului de date precum și de numărul situațiilor sinoptice dintr-o clasificare, fiind mai scăzut în cazul clasificărilor cu mai puține subclase; același comportament este arătat și în situația în care se folosesc configurații diferite ca număr al situațiilor sinoptice. Similar cu scorul EV, precipitațiile arată un interval mai mare între quartile comparativ cu temperatura minimă. Pentru temperatura maximă, se observă o performanță mai bună a clasificărilor în anotimpul de iarnă și vară. În MAM și SON, amplitudinea dintre quartile este foarte redusă, indicând un scor omogen și similar în toată țara. Altă chestiune notabilă o reprezintă performanța relativ mai mare a clasificărilor din categoria PCA (mai vizibil în DJF și JJA). Temperatura minimă oferă o perspectivă similară. Ecartul valorilor este redus iar singura chestiune sesizabilă o reprezintă performanța net superioară a clasificărilor din categoria OPT în timpul MAM și SON.

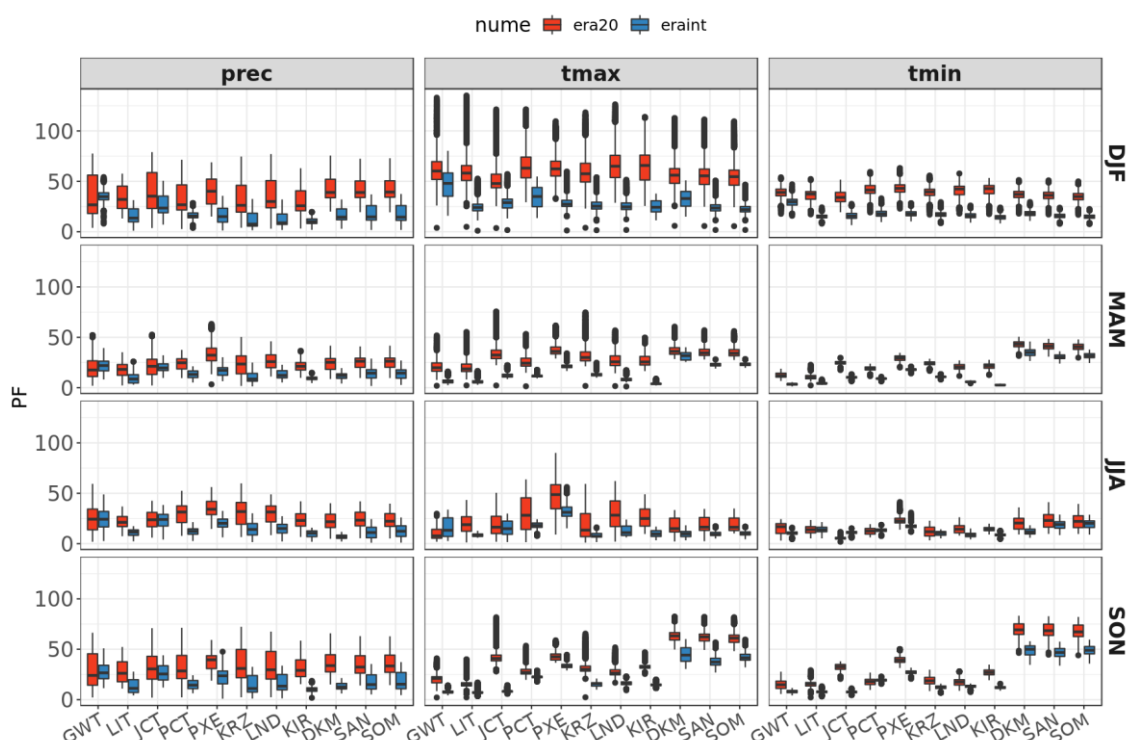


Fig. 4.4: Valorile PF sezoniere pentru clasificările obținute cu ERA20C și ERA-Interim

Per ansamblu, clasificarea GWT rulată cu ERA-I a obținut cel mai frecvent primul loc. Pentru clasificările rulate cu ERA20C, primul loc a fost adjudecat de PXE (Fig. 4.5). Se mai remarcă în această manieră SAN și DKM, acestea fiind pe podium în cazul ambelor reanalize. În schimb, cel mai slab scor PF este atribuit clasificărilor LIT, KIR și SOM. De altfel, aceasta ar fi o diferență notabilă între scorul PF și EV în cazul SOM (care avea o performanță bună în cazul varianței explicate).

La nivel sezonier, situația este din nou similară cu cea a scorului EV. Pentru clasificările construite cu ERA20C, se remarcă superioritatea PXE și într-o manieră mai mică, a PXE, fapt valabil pentru toți parametrii (Fig. 4.6). Mai slab s-au situat LIT și într-o manieră mai redusă, JCT și GWT. În schimb, GWT și DKM au ocupat cel mai frecvent prima poziție pentru construcțiile derivate cu ERA-I.

La nivel anual, scorul PF indică per total clasificarea PXE ca având cele mai bune rezultate în cazul în care este folosită reanaliza ERA20C. În schimb, pentru cataloagele obținute cu ERA-I, GWT și DKM

predomină cel mai frecvent prima poziție.

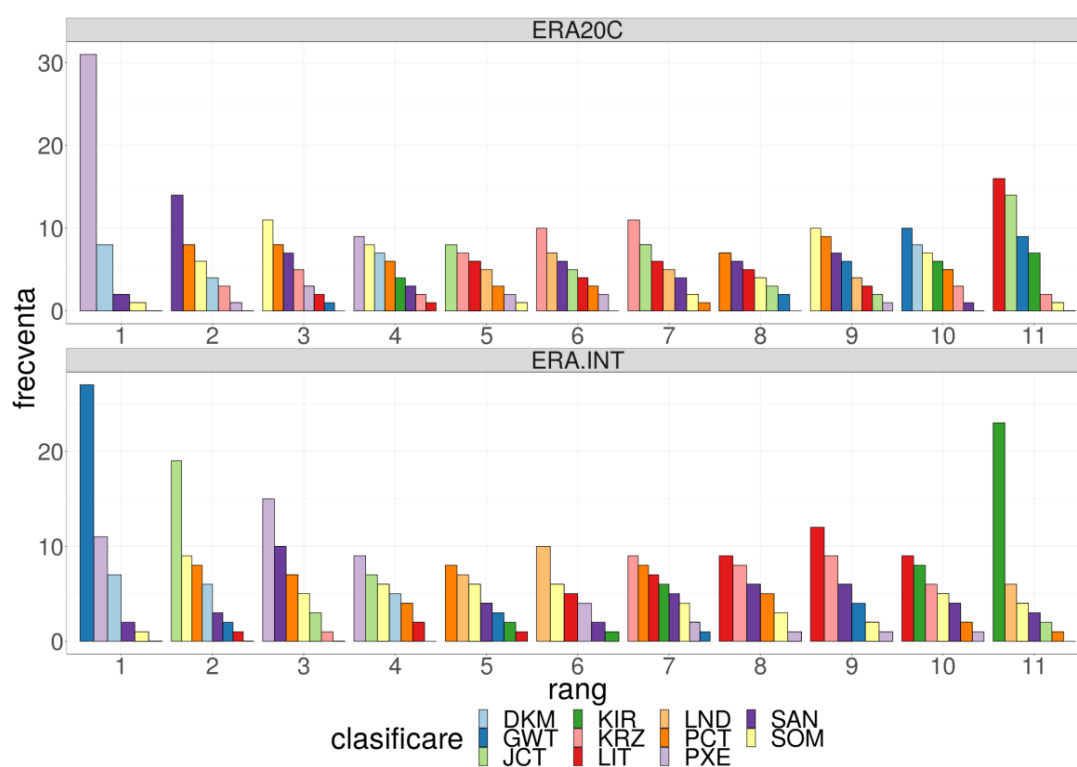


Fig. 4.5: Frecvența rangului clasificărilor în funcție de reanaliza utilizată pentru PF

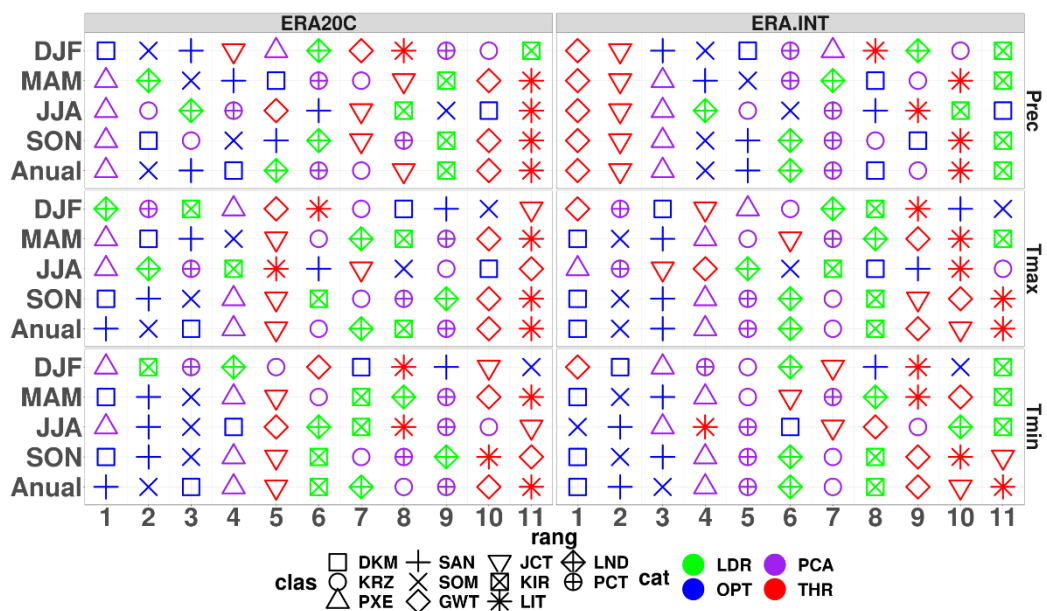


Fig. 4.6: Rangul sezonier și anual al scorului PF

4.3. Scorul WSD

Scorul WSD are proprietatea de a măsura deviația standard a fiecărui tip sinoptic comparativ cu media întregului ansamblu de situații sinoptice. În cazul de față, acest scor manifestă o tendință puternică de variabilitate între precipitații și temperaturi. Similar cu celelalte scoruri prezentate până acum, WSD este influențat de asemenea de numărul de situații sinoptice, având valori mai mari în cazul clasificărilor cu un număr superior de clase (Beck et al., 2010). Valorile scăzute pentru acest indicator denotă o performanță mai ridicată a modelului, fiind specifică o omogenitate mai mare în interiorul claselor. WSD indică un scor redus pentru precipitații în comparație cu temperaturile, situație valabilă mai ales în anotimpul de iarnă. Valori mai mari ale acestuia se remarcă în timpul verii

Temperaturile maxime obțin un scor mai ridicat (și reciproc o performanță mai scăzută) pentru WSD în timpul primăverii și a iernii. Comparativ cu precipitațiile, temperaturile maxime precum și cele minime au un ecart mai redus al valorilor. În ceea ce privește diferențele de scoruri între reanalizele folosite, acestea sunt de asemenea reduse (Fig. 4.7).

Temperaturile minime au obținut un scor WSD sesizabil mai bun decât cel obținut de temperaturile maxime. În timpul anotimpului de vară, scorul WSD este inferior, situație similară cu cea a temperaturilor minime.

Ultimele discuții referitoare la scorul WSD sunt legate de rangul clasificărilor (Fig. 4.8). Per total, cel mai slab scor este obținut de LIT pentru clasificările rulate cu ERA20C urmat de JCT și GWT. Se observă faptul că rangurile obținute în cazul scorului WSD sunt diferite față de celelalte scoruri întrucât unele clasificări precum LIT obțin acum ranguri mai slabe. La capătul celălalt, cele mai bune clasificări sunt PXE, DKM și SAN.

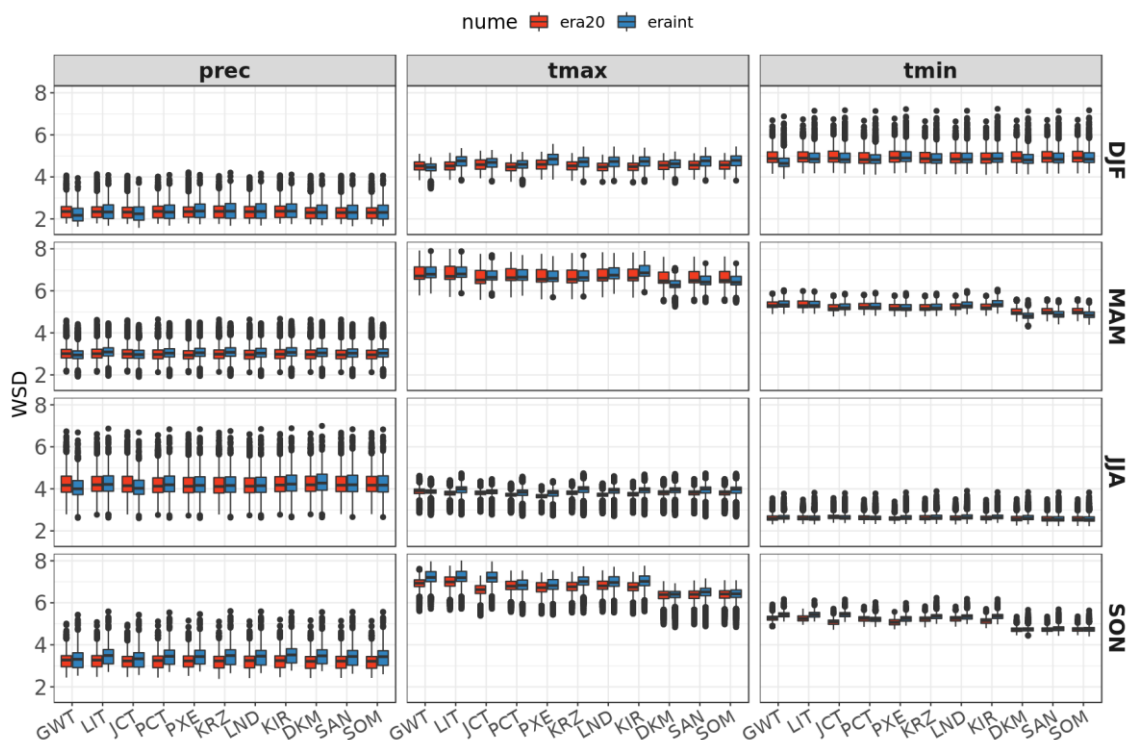


Fig. 4.7: Valorile WSD sezoniere pentru clasificările obținute cu ERA20C și ERA-Interim

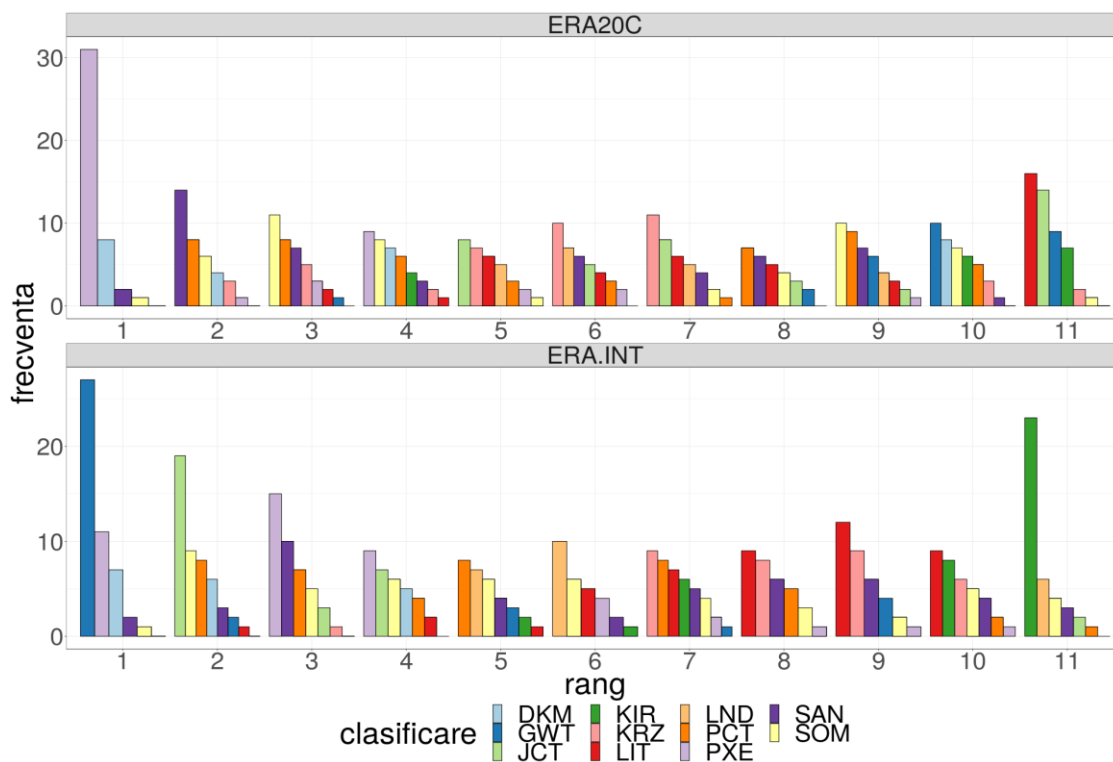


Fig. 4.8: Frecvența rangului clasificărilor în funcție de reanaliza utilizată pentru WSD

Pentru rangurile sezoniere, LIT a obținut cel mai frecvent ultima poziție pentru clasificările rulate cu ERA20C. Pentru ERA-I, s-au remarcat KIR și într-o manieră mai redusă, LIT (Fig. 4.9).

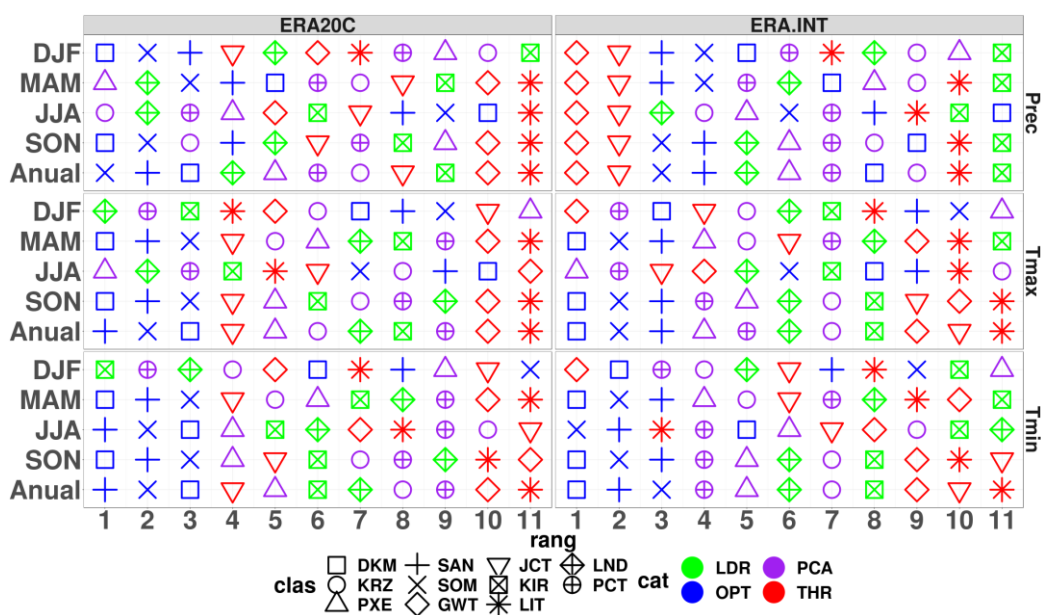


Fig. 4.9: Rangul sezonier și anual al scorului WSD

4.4. Scorul Brier

Scorul de performanță Brier arată aptitudinea unei clasificări de a aloca un fenomen climatic extrem unui tip sinoptic. Valorile mai mici de percentila de 10% a șirului de date pentru temperaturile minime zilnice și valorile mai mari de percentila de 90% pentru temperaturile maxime/cantitățile de precipitații definesc

acest prag în cazul de față.

Scorul Brier arată o separabilitate mai accentuată între reanalize (Fig. 4.10). Valorile scorului pentru clasificările rulate cu ERA-I sunt mai ridicate în cazul precipitațiilor pentru GWT. Pentru restul metodelor, scorul BS este mai redus, în special în cazul metodelor care folosesc ERA20C. Se remarcă GWT și JCT care obțin în general cel mai bun scor pentru precipitații în toate sezoanele.

La fel ca în cazul celorlalte scoruri de performanță, Brier variază în funcție de reanaliza utilizată în clasificare. PXE rulată cu ERA20C are câștig de cauză, urmată imediat de DKM. LIT și KIR au cea mai slabă performanță în schimb (Fig. 4.11). Pentru ERA-I, se observă o dominație clară a metodei GWT (25 de cazuri în care s-a situat pe primul loc), urmată de DKM. În schimb, PXE și KIR au obținut cel mai slab scor.

La nivel sezonier, aceeași variabilitate poate fi observată (Fig. 4.12). O performanță mai bună este dată de metoda DKM pentru precipitații în cazul ERA20C versus GWT pentru ERA-I; pentru tmax, PXE și DKM (ERA20C) versus DKM (ERA-INT). Pentru temperaturile minime se observă o abilitate mai mare a SAN în cazul datelor ERA20C.

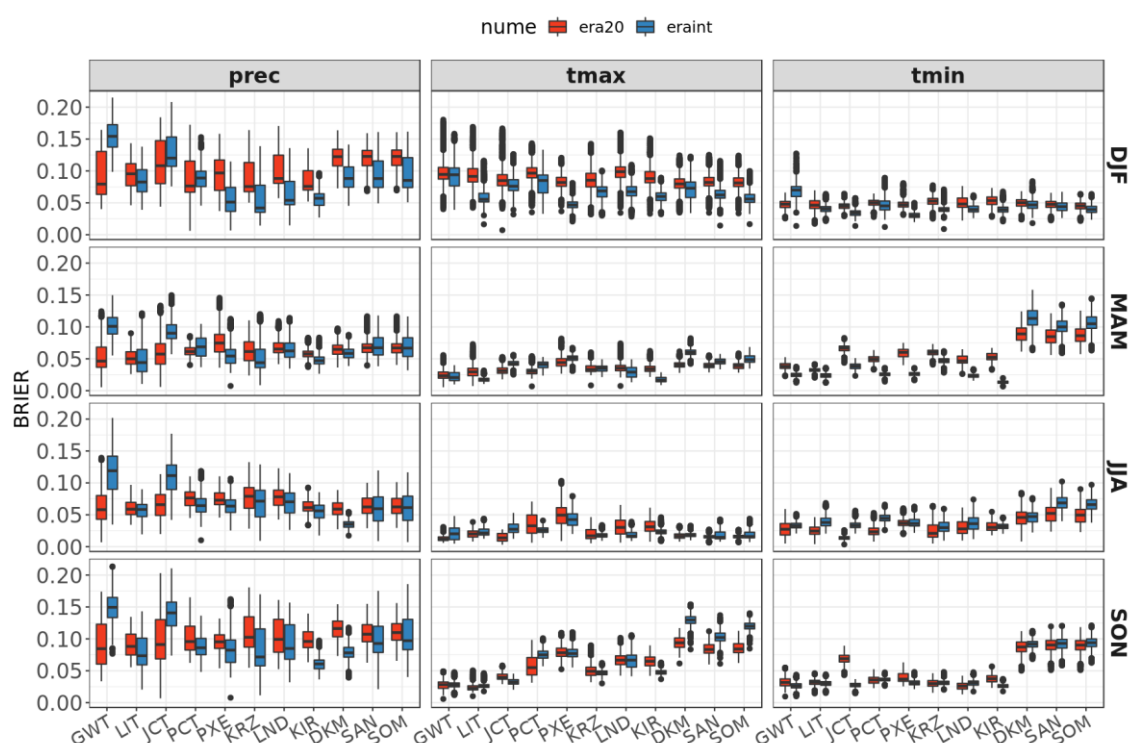


Fig. 4.10: Valorile Brier sezoniere pentru clasificările obținute cu ERA20C și ERA-Interim

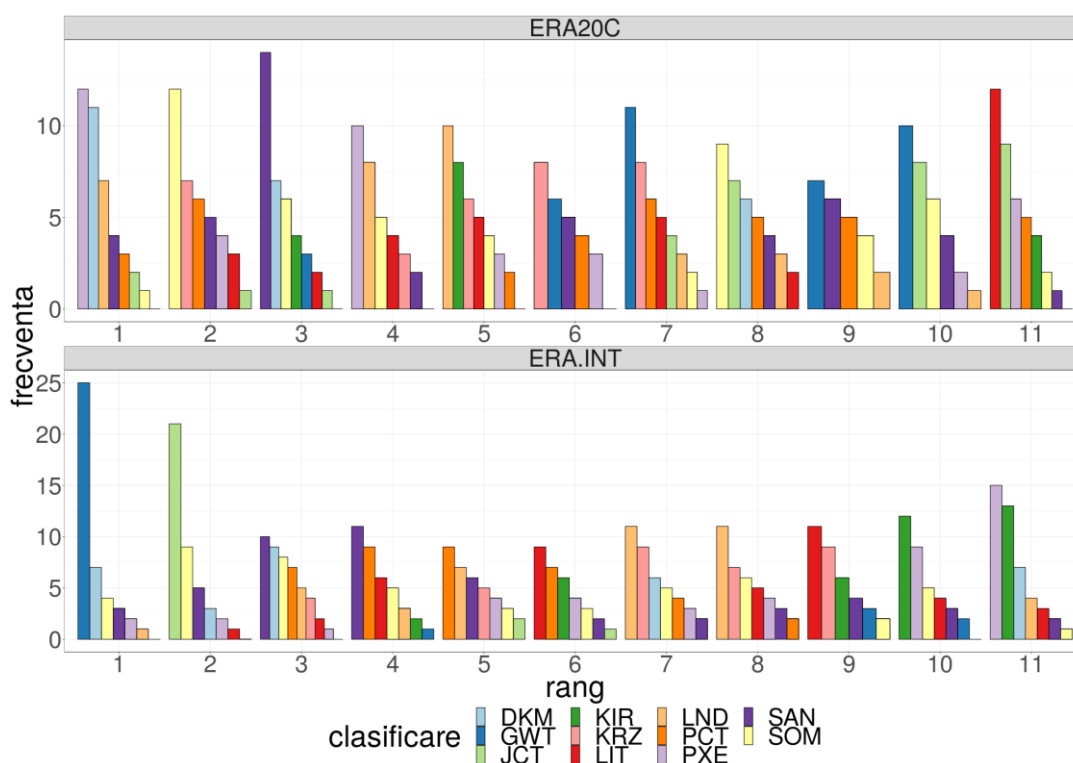


Fig. 4.11: Frecvența rangului clasificărilor în funcție de reanaliza utilizată pentru Brier

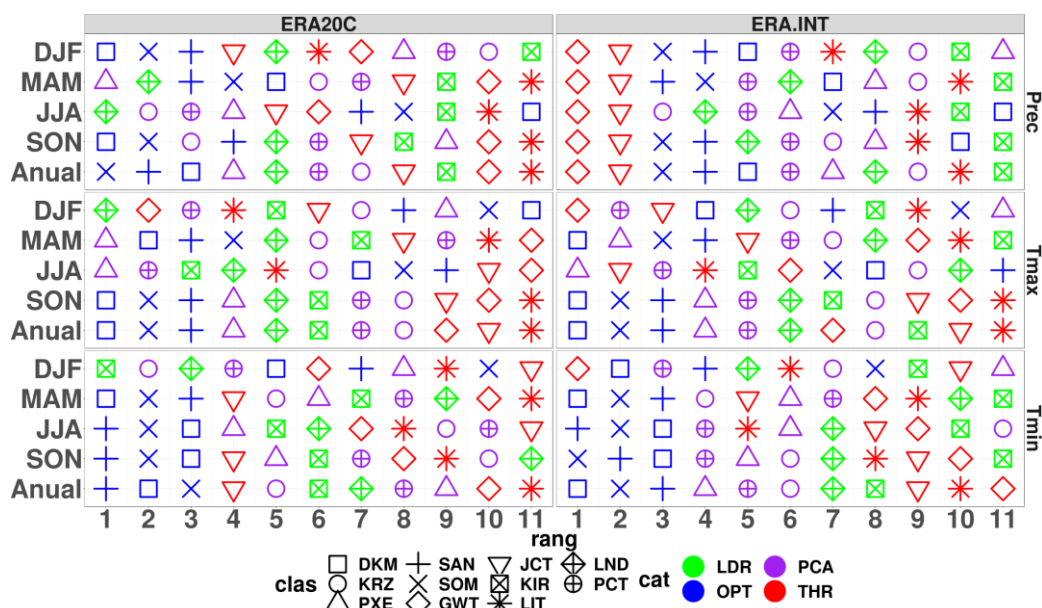


Fig. 4.12: Rangul sezonier și anual al scorului Brier

Alegerea unei metode de clasificare care să ofere rezultate bune atât pentru precipitații cât și pentru temperaturi se poate dovedi dificilă. Prima chestiune este referitoare la faptul că utilizarea unei singure metode obiective nu este recomandată, deoarece rezultatele în analiza precipitațiilor sau a temperaturilor pot fi alterate. În situația în care o clasificare nu face o distincție bună între tipurile sinoptice în cazul precipitațiilor (ca exemplu), pot rezulta diferite anomalii, precum ploi mai frecvente în cazul circulațiilor anticlonice. Recomandarea principală ar consta în utilizarea a cel puțin patru metode de clasificare (minim una din fiecare categorie) în situația în care analiza s-ar baza pe studiul unor praguri de valori (de

exemplu percentile de 5% sau 95%) în analiza temperaturilor sau precipitațiilor, pentru a evita astfel o serie de concluzii false sau semnificativ subiective date de caracteristicile unei clasificări. De asemenea, aceeași recomandare poate fi luată în calcul în situația examinării variației în timp a circulațiilor atmosferice.

În concluzie, nu există clasificări bune sau proaste. Alegerea unei metode depinde de domeniul în care urmează a fi aplicată. Dacă studiul are în vedere estimarea diferențelor termice între tipurile sinoptice, se recomandă utilizarea clasificări din categoria PCA. Pentru precipitații, este indicată utilizarea GWT. Pentru studiul referitor la extremele climatice, este recomandabilă utilizarea unor metode bazate pe PCA și THR în timp ce pentru precipitații, recomandarea merge către clasificările din categoria THR. Cu toate acestea, este important de menționat faptul că utilizarea mai multor clasificări poate fi redundantă în studiile care nu urmăresc neapărat acest lucru. Pentru aceste abordări, recomandarea principală care poate fi dată este cuprinderea a minimum trei metode de clasificare (de preferință din categorii diferite), pentru eliminarea posibilelor incertitudini caracteristice utilizării unei singure metode

5. SCHIMBĂRI ÎN FRECVENȚELE SITUAȚIILOR SINOPTICE

În acest capitol este examinată frecvența circulațiilor atmosferice pe teritoriul României, pe baza reanalizelor ERA20C și ERA-Interim. Perioada analizată se întinde pe durata întregului secol XX. Pentru a elimina posibilele erori cauzate de discordanțele dintre cele două reanalize, acestea au fost examinate separat: perioada 1901-2010 și 1981-2016.

5.1. Frecvența circulațiilor atmosferice în România conform clasificărilor din COST733

Iarna se observă o dominație a circulațiilor vestice și nord-vestice pentru circulațiile derivate din ERA-Interim (o medie însumată de 32%), urmate apoi de sud-estice și estice (14,2% respectiv 12,5%). Cea mai mică frecvență o are direcția NE (9%). Pentru perioada 1900-2010, clasificările obținute cu ERA20C indică în schimb circulațiile estice pe prima poziție (15,6%), respectiv SE (14,2%). Circulațiile estice sunt importante în special în cazul temperaturilor din timpul verii prin faptul că acestea transportă mase de aer de origine continentală care duc la temperaturi mai ridicate decât în mod normal. În anotimpurile de tranziție, direcțiile de advecție arată un tipar mai eterogen. Se observă o dominație a circulațiilor nordice și nord-estice (cu frecvențe de 11% și 14%). În schimb, în cazul direcțiilor estice, există o diferență mare între reanalize, ERA-I indicând o frecvență sesizabil mai mare (13,8%), în timp ce ERA20C arată doar 10,2% pentru aceasta (Fig. 5.1).

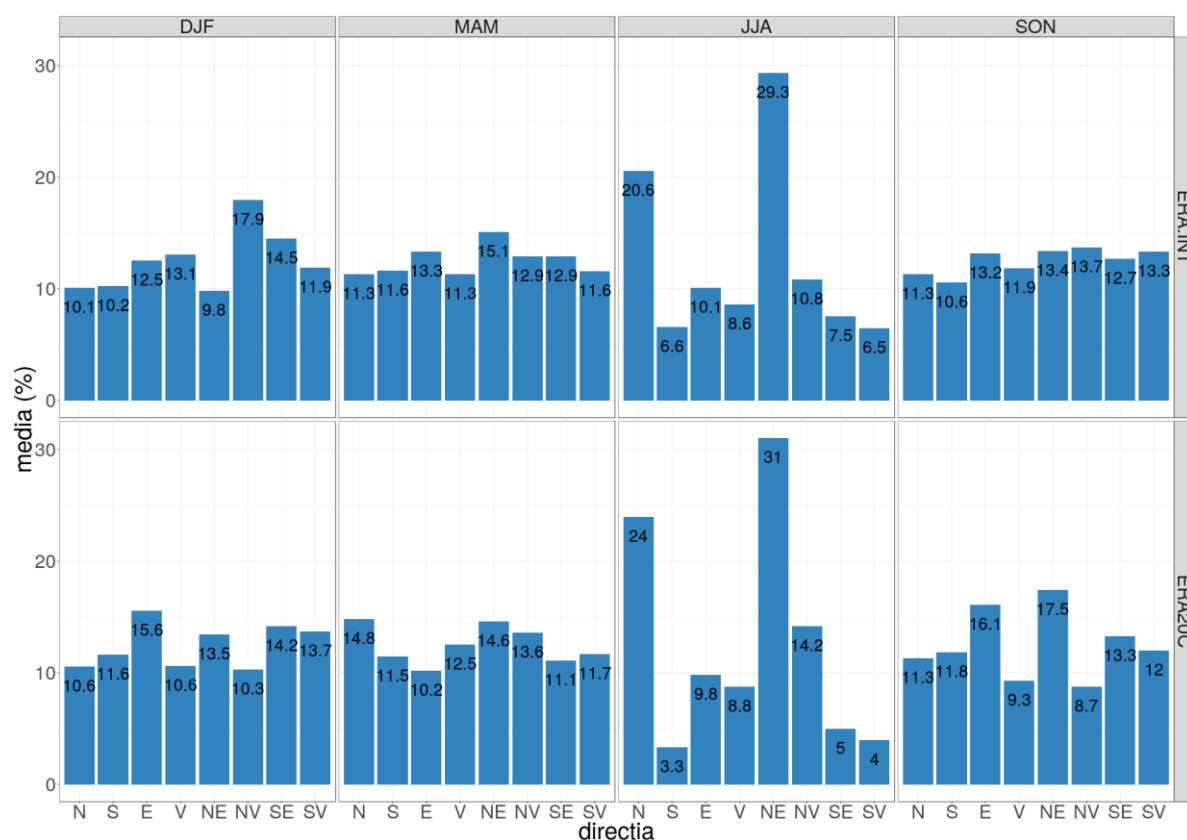


Fig. 5.1: Frecvența sezonieră multianuală a mediei circulațiilor derivate din ansamblul cost 733 în funcție de direcție și reanaliză

Din punct de vedere al presiunii atmosferice, majoritatea situațiilor sinoptice sunt anticiclonice, urmate de tipurile ciclonice și hibride. Circulațiile anticiclonice par a fi mai frecvente vara și toamna în cazul metodelor derivate din ERA-Interim, în timp ce pentru ERA20C acestea au loc frecvent primăvara și toamna. Tipurile ciclonice au o predominanță mai ridicată în timpul primăverii pentru clasificările derivate cu ERA-Interim iar cele construite cu ERA20C au o frecvență mai ridicată iarna.

Circulațiile atmosferice identificate pentru ERA20C sunt prezentate în figura de mai jos (Fig. 5.2). Acestea reprezintă media ansamblului din cele 11 metode pentru 23 de tipuri sinoptice specifice climei României pentru perioada 1900-2010. Este important de amintit faptul că toate situațiile sinoptice clasificate după direcție și componentă barică sunt raportate la punctul central de 25°E și 45°N. Astfel, unele situații sinoptice pot fi similare (de ex. NE hibrid și E hibrid sau între SV hibrid și SV ciclonic și SE ciclonic). Este important de notat și faptul că metodele derivate din ERA20C nu denotă prezența circulațiilor vestic-ciclonice (care prezintă în schimb o frecvență relativ ridicată în unele clasificări subiective precum Hess-Brezowky sau Lamb).

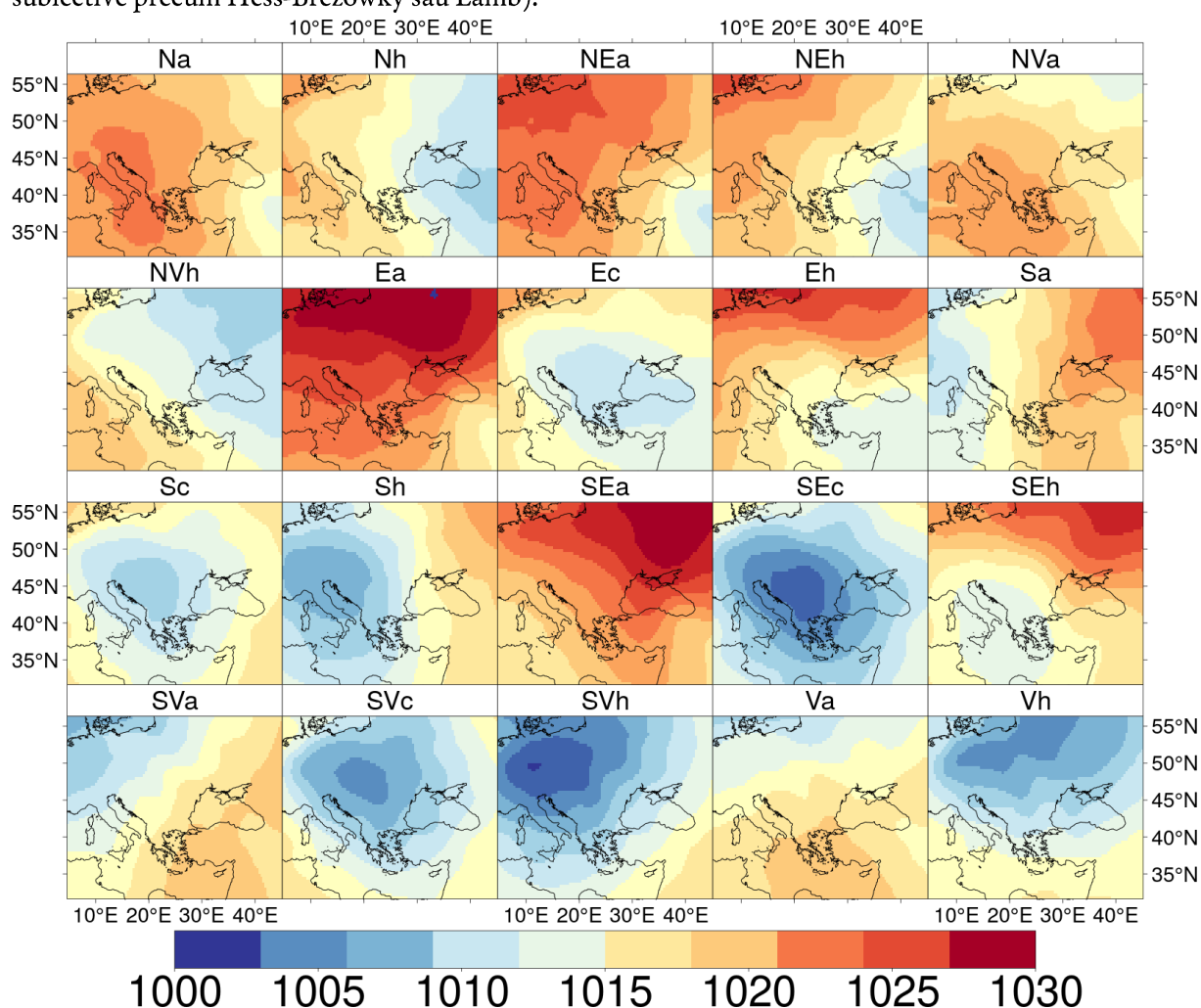


Fig. 5.2: Distribuția medie multianuală a ansamblului de situații sinoptice derivate din ERA20C specifice României (1900-2010) în hPa

5.2. Schimbări în frecvența circulațiilor atmosferice

La nivelul celor două reanalize au fost identificate puține tendințe semnificative statistic, în

frecvența circulațiilor atmosferice (Fig. 5.3). Cele mai multe sunt specifice clasificărilor rulate cu ERA20C, fapt datorat șirului mai lung de date. Se remarcă o tendință comună de creștere a frecvenței circulației NE în ambele seturi, însă această afirmație poate fi relativ demontabilă prin simplul fapt că și aici numărul tendințelor nesemnificative este superior. La nivel separat pentru cele două reanalize, lucrurile pot fi mai ușor interpretabile. Circulațiile care denotă advecții NV și N arată o tendință de creștere pentru secolul trecut. Într-o manieră mai redusă, unele tipuri vestice arată o creștere în intensitate. În schimb, altele manifestă o tendință de scădere (precum cele S și SE). Pentru clasificările rulate cu ERA-INT, mai puține tendințe semnificative pot fi observate, doar advecțiile SV arătând o scădere în ultimele trei decenii.

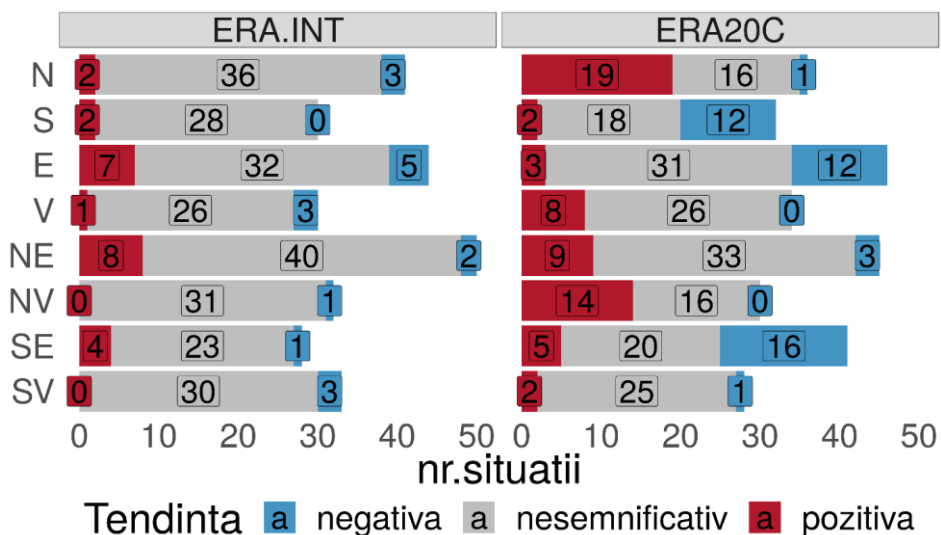


Fig. 5.3: Numărul de tendințe anuale specifice pentru fiecare direcție din ansamblul de circulații derivat din clasificările sinoptice cost 733

Din punct de vedere a direcției calculate la nivel anual (Fig. 5.4), valorile medii ale ansamblului derivat din ERA20C arată tendințe semnificative (la nivelul de semnificație de 95%) pentru direcțiile nordice (pozitive), sudice (negative), estice (negative) și nord-vestice (pozitive).

Pentru perioada mai recentă, clasificările rulate cu ERA-I arată o singură direcție cu tendință negativă la nivel anual (direcția sud-vestică), aceasta neavând corespondent pentru ERA20C însă. Pe de altă parte, în cazul tendințelor calculate specific pentru fiecare sezon, lucrurile sunt mai clare. Pentru perioada din ERA20C (1900-2010), sunt depistate mai multe tendințe semnificative. Astfel, în sezonul de iarnă, se remarcă o creștere semnificativă a direcțiilor nordice, vestice precum și nord-vestice precum și o diminuare a advecțiilor sudice, estice și sud-estice (Fig. 5.5), indicând o posibilă modificare pozitivă în regimul termic în regiunile din care acestea provin (fapt vizibil în următoarea secțiune).

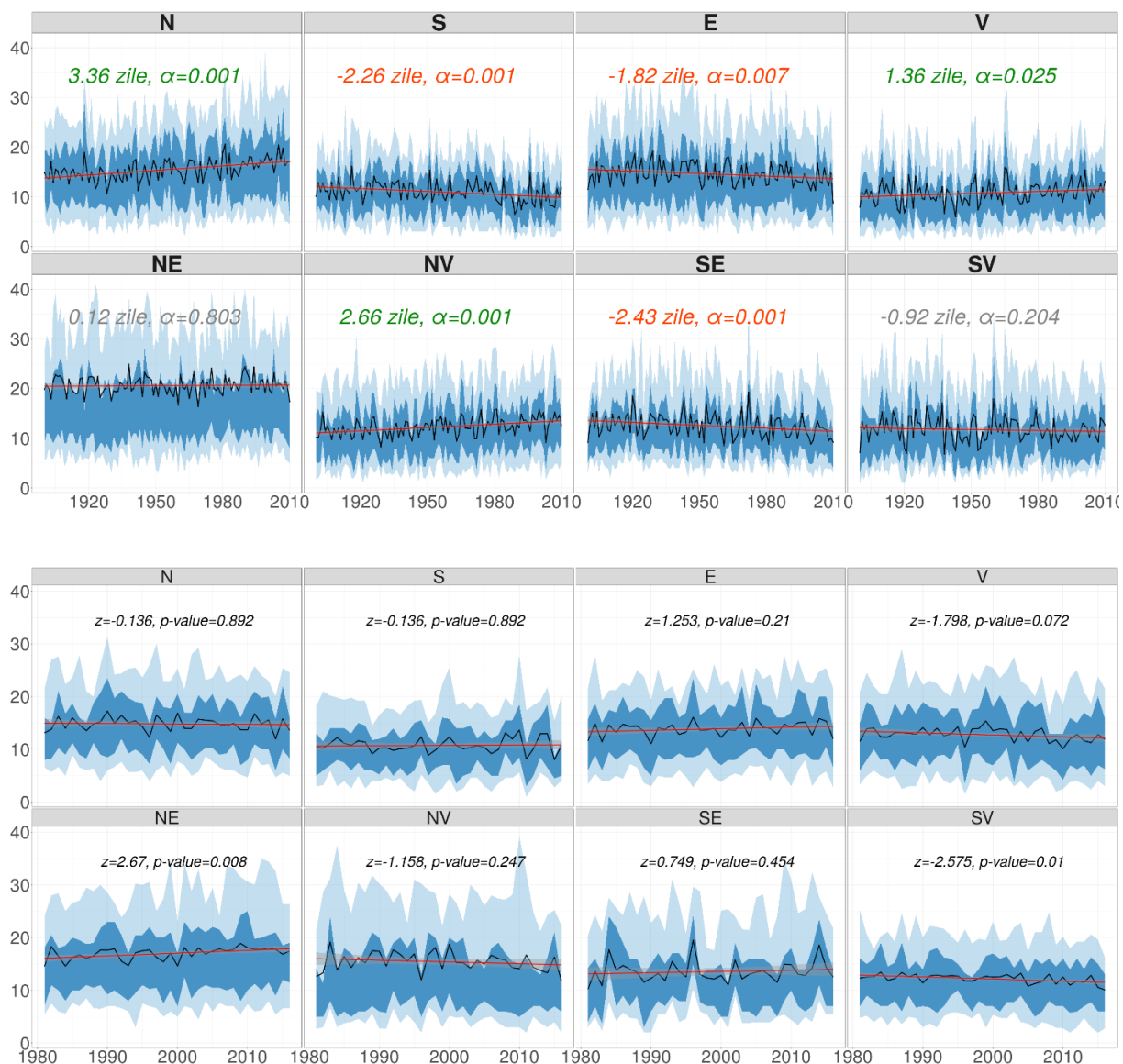


Fig. 5.4: Variabilitatea anuală a frecvenței (zile) situațiilor sinoptice clasificate după componenta principală advectionă (linia neagră reprezintă media ansamblului derivat din cost733) pentru reanaliza ERA20C (sus) și ERA-Int (jos). Intervalele colorate cu albastru deschis reprezintă valoarea anuală a percentilelor de 10% respectiv 90%; intervalul în albastru închis indică percentilele anuale de 25% și 75%. Pentru fiecare direcție este indicată panta Sen și nivelul de semnificație α , (setat la 90% nivel de încredere). Culoarea textului variază astfel: verde – tendințe pozitive; gri – tendințe nesemnificative; roșu – tendințe negative

Cele mai multe schimbări au loc în timpul anotimpului de iarnă, cu o frecvență a circulațiilor vestice mai mare în Europa, în special în zona centrală, în timp ce în alte areale (ca în cazul Europei Atlantice), s-a constatat o creștere a circulațiilor sudice (Cahynova, Huth, 2016). Unele circulații indică o descreștere în tendință, precum tipurile estice în Europa de Vest și Centrală sau cele sudice, în diferite areale, precum Arhipelagul Britanic, centrul și estul Europei. (Cahynova, Huth, 2016). O creștere a temperaturilor în cazul Eurasiei este pusă pe seama unei intensificări a activității ciclonice în nordul

Atlanticului, concomitent cu o fază pozitivă pentru NAO, ceea ce permite pătrunderea ciclonilor în sectorul ruso-siberian (Hoy et al., 2013).

În același timp, lungimea șirului de date poate indica frecvențe și tendințe diferite (în cazul de față, acestea sunt vizibile între ERA20C și ERA-Interim). Studiile efectuate în cazul clasificării subiective Hess-Brezowski (începând cu 1881) arată o creștere în frecvența circulațiilor zonale în anotimpul de iarnă, în special după 1960 (Bárdossy and Caspary, 1990; Kyselý and Domonkos, 2006) și în perioada 1981-1990 (Werner, 2000). Cu toate acestea, diferențele între clasificările automate și cele subiective sunt considerabile în cazul Hess-Brezowski, (Stehlik & Bárdossy, 2003) mai ales pentru circulațiile vestice, acestea fiind supraapreciate, atât în cazul frecvenței (Kyselý & Huth, 2006), cât și în cazul persistenței situațiilor sinoptice (Cahynová & Huth, 2009).

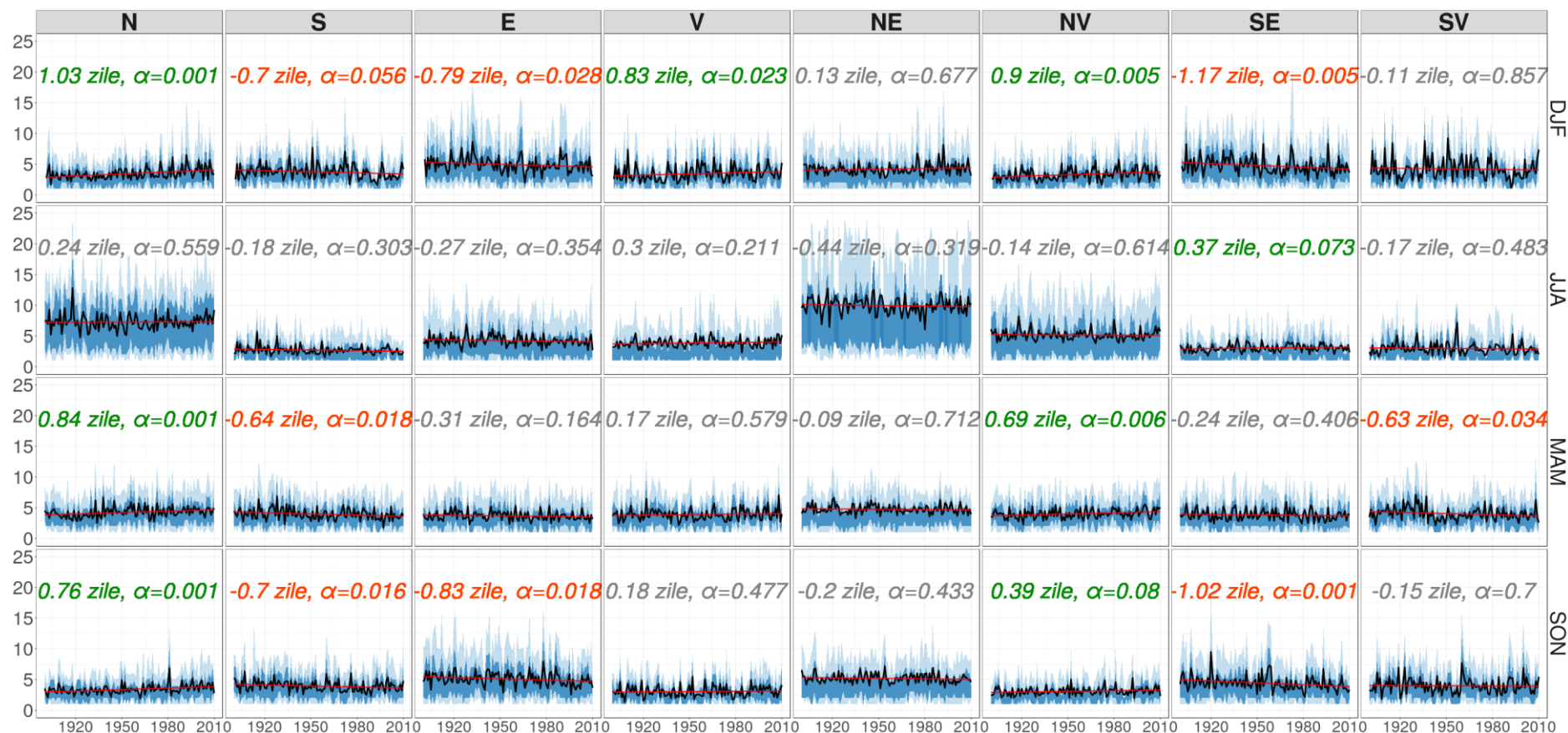


Fig. 5.5: Variabilitatea sezonieră anuală a frecvenței (zile) situațiilor sinoptice clasificate după advecție (media ansamblului derivat din cost733) pentru reanaliza ERA20C (1900-2010). Intervalele colorate cu albastru deschis reprezintă valoarea anuală a percentilelor de 10% respectiv 90%; intervalul în albastru închis indică percentilele anuale de 25% respectiv 75%. Linia roșie reprezintă panta regresiei liniare. Pentru fiecare direcție și sezon, este indicată panta Sen și nivelul de semnificație α , (setat la 90% nivel de încredere). Culoarea textului variază astfel: verde – tendințe pozitive; gri – tendințe nesemnificative; roșu – tendințe negative

5.3. Modificări în intensitatea situațiilor sinoptice conform NOAA-20CR (conform JC)

În secțiunea de față, sunt examinate atât frecvențele circulațiilor în funcție de direcția lor (utilizând metoda JC) cât și indicii referitori la intensitatea și vorticitatea lor în perioada 1836-2015 din reanaliza NOAA-20CR. Jenkinson-Colisson utilizează acești indici pentru stabilirea caracteristicii barice a situațiilor sinoptice.

În cazul de față, circulația zonală reprezintă componenta vântului geostrofic de la nivelul mării, exprimată sub forma gradientului de presiune între 35° și 55° lat. N, unde fiecare unitate corespunde cu aproximativ $-0,6 \text{ m/s hPa}^{-1}$ (Blenkinsop et al., 2009). Se remarcă mai multe rupturi (BP), care coincid în cazul de față cu schimbarea tendinței sau a intensității acesteia, cea mai importantă fiind dată de scăderea gradientului zonal începând cu anul 1850 până în 1870, după care urmează creștere până la nivelul anului 1960. După acest an, se remarcă o nouă tendință de scădere a gradientului. Advecțiile meridionale arată în schimb o creștere constantă a gradientului baric (devin mai intense), mai cu seamă după anul 1910 (după o perioadă constant stabilă de aproximativ 100 de ani anteriori). Se remarcă intersecția nivelelor de încredere pentru două salturi (în jurul anului 1950), pentru anul 1948 respectiv 1968, ca urmare a unui nivel de semnificație mai scăzut pentru ultima ruptură.

Metoda JC calculează și indicii de vorticitate pentru forfecarea la nivelul mării pentru cele două componente advective (zonală și meridională). Vorticitatea indică în cazul de față caracteristica barică a advecției, 100 de unități corespunzând aproximativ cu 0.46 ori forța Coriolis specifică latitudinii de 55° lat. (Blenkinsop et al., 2009). Astfel, vorticitatea zonală (ZW) indică mai multe rupturi în ultimele decenii, remarcându-se intervalul între 1940 și 1970 în care ZW a crescut (o creștere a activității ciclonice, urmată de o diminuare) situație similară și după anul 1983 (Fig. 5.6). Pentru vorticitatea meridională (ZS) se observă o variație mai mare de-a lungul perioadei de studiu. În ultimul secol (după 1919), tendința generală a fost una de scădere, cu intervale mai limitate de creștere. Ultimul BP calculat (specific anului 1981 cu limita superioară a intervalului de încredere în 1986) arată o creștere ușoară a vorticității (cu valori medii anuale, în continuare sub 0).

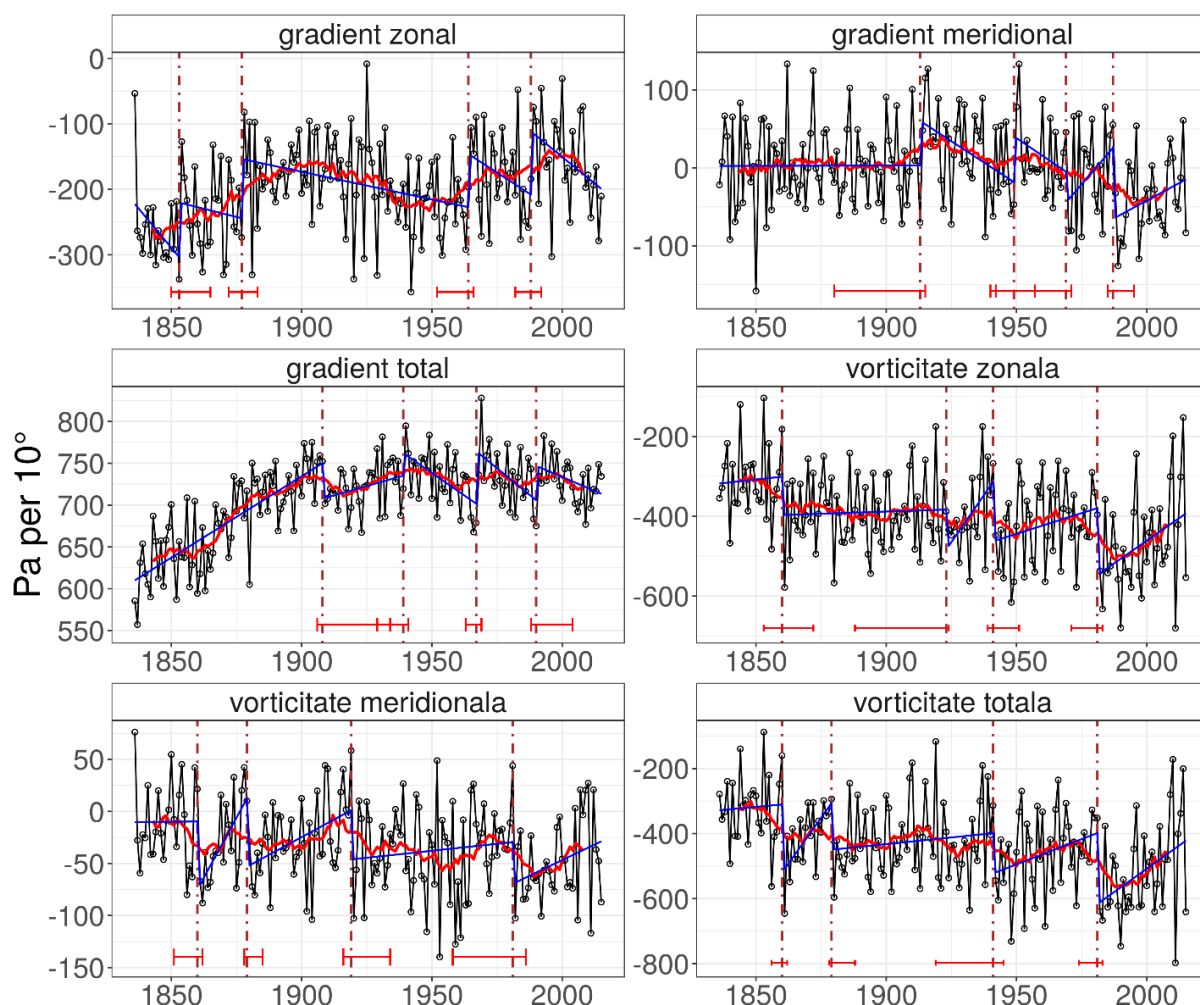


Fig. 5.6: Variația anuală a gradientului și vorticității circulațiilor după componenta advecțivă. Segmentele verticale reprezintă rupturile; cele orizontale reprezintă limitele nivelului de încredere al fiecărui salt; linia roșie arată media glisantă pentru un interval de 15 ani; linia albastră reprezintă dreapta regresiei liniare între două salturi

În final, vorticitatea însumată a celor două componente arată per total o scădere (indicând astfel o creștere a activității anticlonice). după anul 1945. După anul 1981, se observă o ușoară redresare a acestui parametru, tendință mai vizibilă după anul 2000. Modificările anuale (incluzând scorurile atât pentru advecții cât și vorticitate) sunt prezentate în Tab. 6.

Per total, se observă tendințe semnificative în intensitatea zonală (o intensificare a circulațiilor vestice) precum și o diminuare a gradientului baric pentru circulațiile meridianale. Similar, se mai remarcă o diminuare a activității ciclonice pentru toate direcțiile, în favoarea situațiilor anticlonice. Efectele modificării în forța gradientului baric, precum și în condițiile de vorticitate, pot fi predictorii pentru intensificarea tendințelor de încălzire din ultimele patru decenii (care sunt specifice pentru toată planeta). Urmările se văd în regimul termic, frecvent pozitiv în timpul iernii și cu temperaturi maxime mai ridicate în timpul verii. Condițiile de stabilitate asociate circulațiilor anticlonice nu influențează decisiv regimul precipitațiilor la nivel anual (demonstrat în secțiunea următoare), acestea neavând o modificare semnificativă la scară mare în România.

Tab. 6: Scorurile de tendință în intensitatea și vorticitatea circulațiilor atmosferice pentru perioada 1836-2015 în România

	Scorul Z	p-value	95%conf. (inf)	95%conf. (sup)	Panta Sen
Intensitate zonală	3.8092	< 0,001	0.198	0.622	0.408
Intensitate meridională	-2.731	0,0205	-0.362	-0.031	-0.202
Intensitate totală	7.209	< 0,001	0,353	0,599	0,477
Vorticitate zonală	-4,697	< 0,001	-1,090	-0,489	-0,779
Vorticitate meridională	-2,643	0,008	-0,290	-0,045	-0,168
Vorticitate totală	-4,782	< 0,001	-1,314	-0,556	-0,922

5.4. Modificări induse de circulațiile atmosferice în temperaturi și precipitații

Pentru analiza temperaturilor maxime (t_{max}), se pot observa unele regiuni în care există o variabilitate a influenței circulațiilor asupra acestui parametru (Fig. 5.7). În anotimpul de iarnă, t_{max} (pentru clasificările din ERA20C) nu este influențată de factorul sinoptic. Primăvara, este indicată o legătură mai mare, cu șase metode care indică un aport pozitiv (~20%) pentru cea mai mare parte a țării, în timp ce toate metodele din OPT nu arată nici o importanță a acestora. Situația este similară și în restul anotimpurilor, cu efecte aproape insesizabile. Pentru clasificările derivate din ERA-Interim, se observă diferențe vizibile față de ERA20C. În primul rând, acestea se datorează schimbării zonelor de distribuție a tendințelor semnificative (precum și a extinderii). În același timp, se remarcă și unele modificări în cazul semnului (o parte din metode arătând fie implicații pozitive, fie negative).

Circulațiile atmosferice au un aport pozitiv asupra tendinței de încălzire din ultimele trei decenii în sezonul de iarnă pentru t_{min} în partea vestică a țării, conform unor cinci metode implicate. În anotimpul de iarnă, cele mai multe metode arată un aport pozitiv al circulațiilor pe regiuni din jumătatea vestică a României (acestea sunt în medie între 10% și 25%). Cu excepția JCT, KIR, KRZ și PCT, celelalte metode arată rezultate pozitive în majoritatea arealului unde există schimbări semnificative. Aportul acestora este relativ, fiind unele metode (precum PXE, KRZ sau LIT) care denotă o implicație mai restrânsă. LND, SAN și SOM indică o importanță mai mare a circulațiilor asupra temperaturilor maxime. Vara, cele mai multe metode nu indică schimbări cauzate de situațiile sinoptice (exceptând metodele LIT, SAN și SOM care arată o influență moderat).

În cazul precipitațiilor, pentru ERA20C, influența circulațiilor este relativ redusă, fiind prezentă doar în zonele montane și mai pregnant în anotimpul de iarnă. Primăvara, rezultatele sunt mixte (în nord-estul și nord-vestul țării), situație similară și pentru sezonul de vară. Toamna, influența tinde să fie pozitivă pentru majoritatea metodelor în zonele de nord-vest și sud-est.

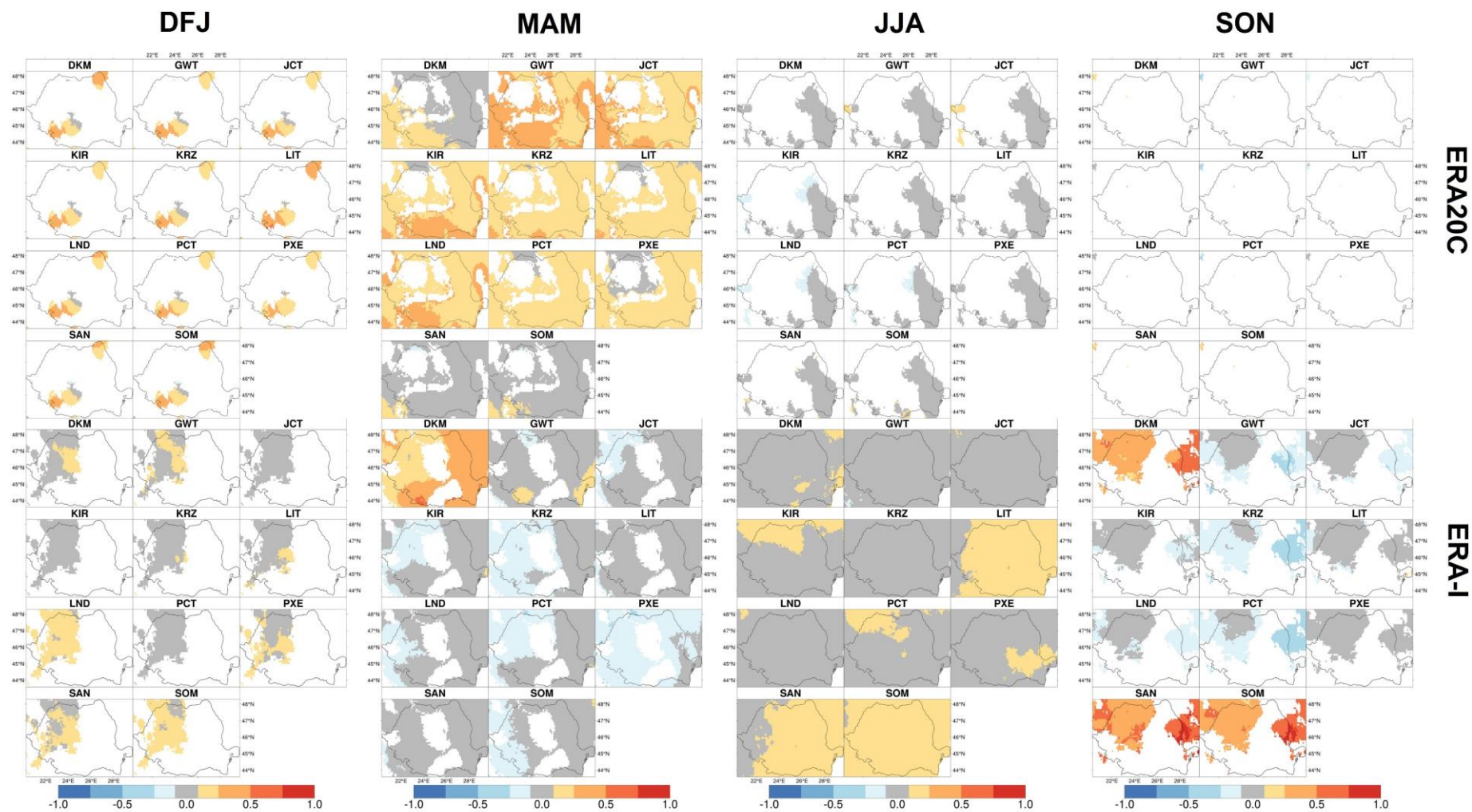


Fig. 5.7: Modificările în cadrul temperaturilor maxime induse de schimbările în caracteristicile termice ale circulațiilor atmosferice, conform celor două reanalize. Primul rând: ERA20C; al doilea rând: ERA-Interim. Zonele albe denotă lipsa tendințelor în timp ce zonele gri indică o influență inexistentă a circulațiilor atmosferice asupra temperaturilor

5.5. Schimbări în temperaturi și precipitații datorate modificărilor în frecvența circulațiilor atmosferice (metoda decompoziției)

În această secțiune sunt examinate modificările apărute în temperaturile minime și maxime ca urmare a schimbărilor în frecvența situațiilor sinoptice. Schimbările sunt estimate folosind două perioade de referință pentru cele două reanalize (1950-1980 și 1981-2010 pentru ERA20C respectiv 1981-1998 și 1999-2016 pentru ERA-INTERIM).

Temperatura minimă nu prezintă variații semnificative pentru cele două seturi. Merită menționate potrivirile între reanalize pentru unele metode (de exemplu GWT, JCT și LND). În general, pentru ERA-Interim, cele mai multe metode arată abateri pozitive ale temperaturii minime, ceea ce nu poate fi dedus pentru metodele derivate din ERA20C (Fig. 5.8).

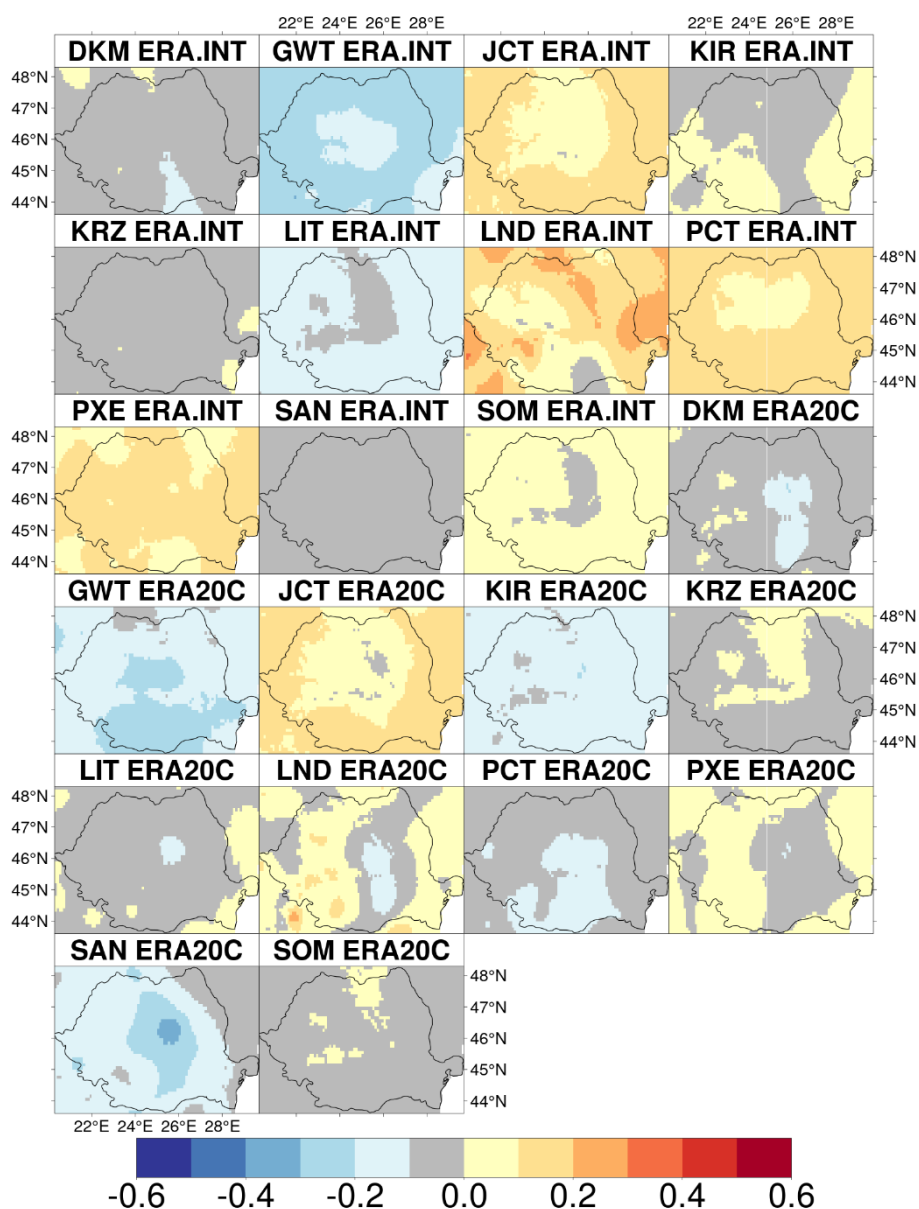


Fig. 5.8: Influența indusă de factorul sinoptic în temperaturile minime la nivel multianual ca urmare a modificărilor apărute în frecvența circulațiilor atmosferice (pentru cele două reanalize), conform metodei decompoziției. Zonele gri arată un aport inexistent al circulațiilor

Temperatura maximă variază în funcție de metodă, aceasta fiind de regulă similară ca tendință

atât în ERA20C cât și în ERA-Interim pentru doar două clasificări (GWT și JCT). Anomaliile temperaturii medii oferă o perspectivă relativ ușor de prezentat. Pentru perioada clasificată de ERA-Interim, opt clasificări indică anomalii pozitive ale temperaturilor medii date de modificările în frecvența unor circulații atmosferice. Acest lucru poate fi oarecum ușor de înțeles ținând cont că a doua perioadă de referință începe cu anul 1999. La nivel global, tendința în temperatura medie a Pământului a cunoscut o ușoară stabilizare după acest an, fapt pus pe seama mai multor factori (precum un indice PDO negativ sau episodul puternic El Niño din 1997). În schimb, perioada 1950-1980 versus 1981-2010 nu oferă o imagine clară, astfel încât șase clasificări au valoarea mediană a anomaliilor sub 0%.

5.6. Probabilitatea condiționată a situațiilor sinoptice de a produce valuri de căldură sau de frig

În această secțiune este examinată frecvența unor praguri de temperaturi și precipitații, pe fondul unor situații sinoptice, pe baza considerentului de mai sus. În cazul probabilităților derivate pentru perioada 1950-2010 (adiacentă clasificărilor obținute cu ERA20C), distribuția este similară atât în cadrul direcțiilor cât și a parametrilor climatici. Pentru temperaturile minime, valorile sunt mai atenuate (între 4% și 6% pentru direcțiile nordice). Cele mai mari diferențe se văd îndeosebi pentru temperaturile maxime (cel mai probabil ca urmare a temperaturilor medii globale mai reduse pentru perioada 1950-2010 față de 1981-2016), unde valorile de probabilități ating maxim 5% pentru direcțiile nord, est și nord-est. În partea de sud a țării, advecțiile dinspre sud-est au o probabilitate mai ridicată pentru a produce temperaturi maxime zilnice peste 30°C, ceea ce nu poate fi observat pentru circulațiile derivate din ERA-Interim. Diferențele se văd și în ecartul precipitațiilor, unde probabilitățile indicate de clasificările din ERA20C sunt mai reduse și valabile cu precădere pentru teritoriul montan (Fig. 5.9).

Perioada 1981-2016 arată o situație deosebită, văzută atât din prisma ecartului valoric cât și al teritoriului ocupat de acestea. Pentru temperaturi, se observă o probabilitate mai ridicată de a fi împlinite anumite praguri, acestea fiind specifice și unor teritorii mai mari. Situația este similară și în cazul zilelor cu precipitații mai mari de 10/mm. Aceste valori indică o schimbare în climatul României, unde unele fenomene extreme sunt mai frecvente în ultimele decenii.

Temperaturile maxime arată un rezultat mai puțin interpretabil pentru ambele reanalize. Pe fondul aceleiași metodologii, sunt indicate posibilități mai mari în sudul țării de a fi înregistrate maxime diurne mai mari de 30°C în cazul advecțiilor din nord, nord-est sau est. O explicație posibilă poate fi dată de faptul că în sudul țării, advecțiile nordice ajung puternic transformate față de caracteristicile hidrice și termice originale, situație valabilă în cazul traversării lanțului carpatic (Keresztesi et al., 2019), astfel încât acestea să fie uscate și calde ca urmare a traversării unei porțiuni continentale de mărimi considerabile. În același timp, este posibil ca acestea să nu ajungă în sudul țării, situație ce ar permite încălzirea progresivă a masei de aer preexistente aici și implicit, la posibilitatea ca temperaturile să crească pe fondul unei circulații nordice sau nord-estice cu efecte vizibile mai mult pentru jumătatea nordică a țării.

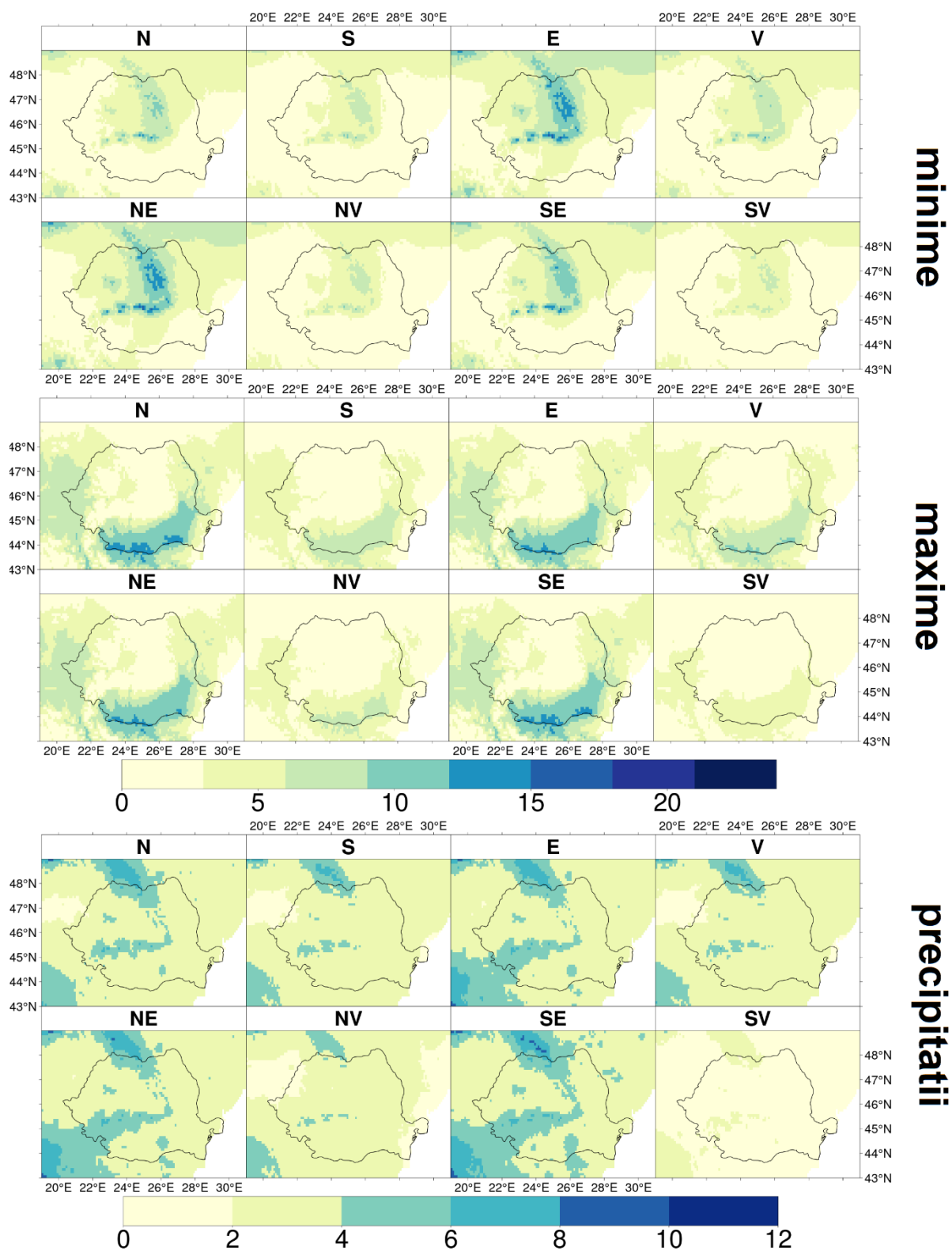


Fig. 5.9: Probabilitatea circulațiilor derivate cu ERA20C din ansamblul cost733 (după direcția advectională) de a produce anumite praguri termice și pluviometrice pe perioada 1950-2010

5.7. Situațiile sinoptice specifice pragurilor extreme

Tipurile sinoptice specifice fiecărei metode de clasificare care duc la apariția episoadelor în care temperaturile maxime depășesc 30°C sunt arătate în Fig. 5.10. Majoritatea indică prezența unor anticicloni având fie centrul baric, fie izobarele exterioare în zona României.

Pentru perioada 1981-2016, au fost identificate 148 de zile în care cel puțin 72.9% (valoare specifică percentilei de 95%) din celulele de raster specifice domeniului României au înregistrat temperaturi maxime diurne mai mari de 30°C. Ziua cea mai călduroasă a fost înregistrată pe data de 8 august 2012, când 89.5% din pixelii specifici domeniului spațial al României au fost cel puțin egali cu valoarea pragului de 30°C.

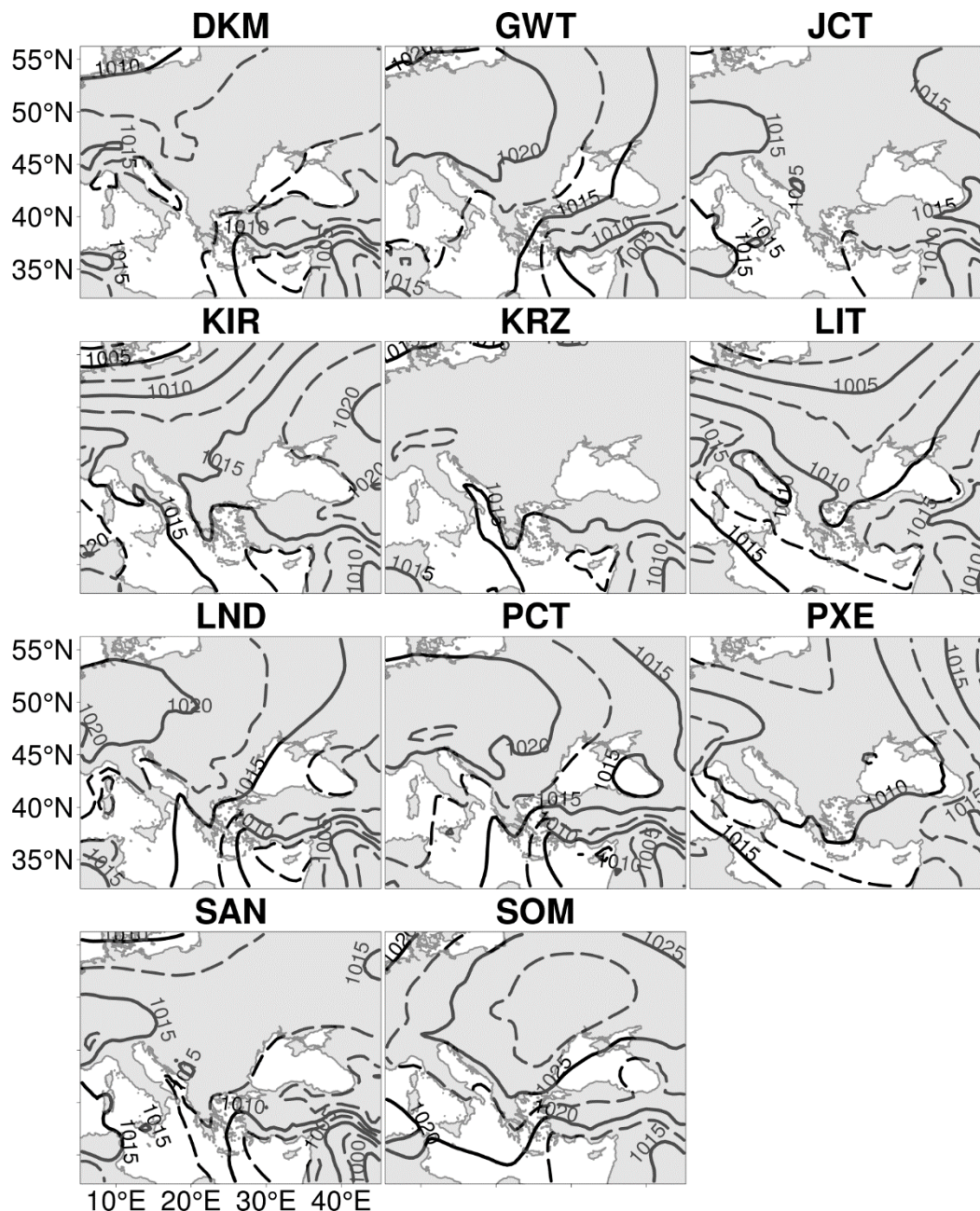


Fig. 5.10: Situațiile sinoptice cele mai frecvente pentru producerea temperaturilor maxime zilnice mai mari de 30°C pentru fiecare metodă

În cazul precipitațiilor, clasificările sinoptice arată o situație similară cu cea a temperaturilor. Cu

o excepție mai clară pentru SOM, restul clasificărilor arată circulațiile de componentă meridională ca fiind cele mai responsabile pentru episoadele pluviometrice extinse la scară largă. DKM, GWT, LIT, LND, PCT și SOM arată tipare mai mult sau mai puțin similare (Fig. 5.11).

Clasificările respective denotă prezența unui anticiclon în vestul respectiv Centrul Europei, în timp ce izobarele din estul Europei sunt specifice unei presiuni mai reduse. Alte clasificări (precum KIR și SAN într-o manieră mai redusă), indică depresiunile barice situate în zona Italiei ca fiind situațiile sinoptice des răspunzătoare de precipitații în cantități și la scară spațială mare.

Ziua în care s-au înregistrat cantități de precipitații mai mari de 10 mm pentru cea mai mare pondere a domeniului spațial al României a fost 3 ianuarie 1990 (pentru aproximativ 31% din celulele de grilă).

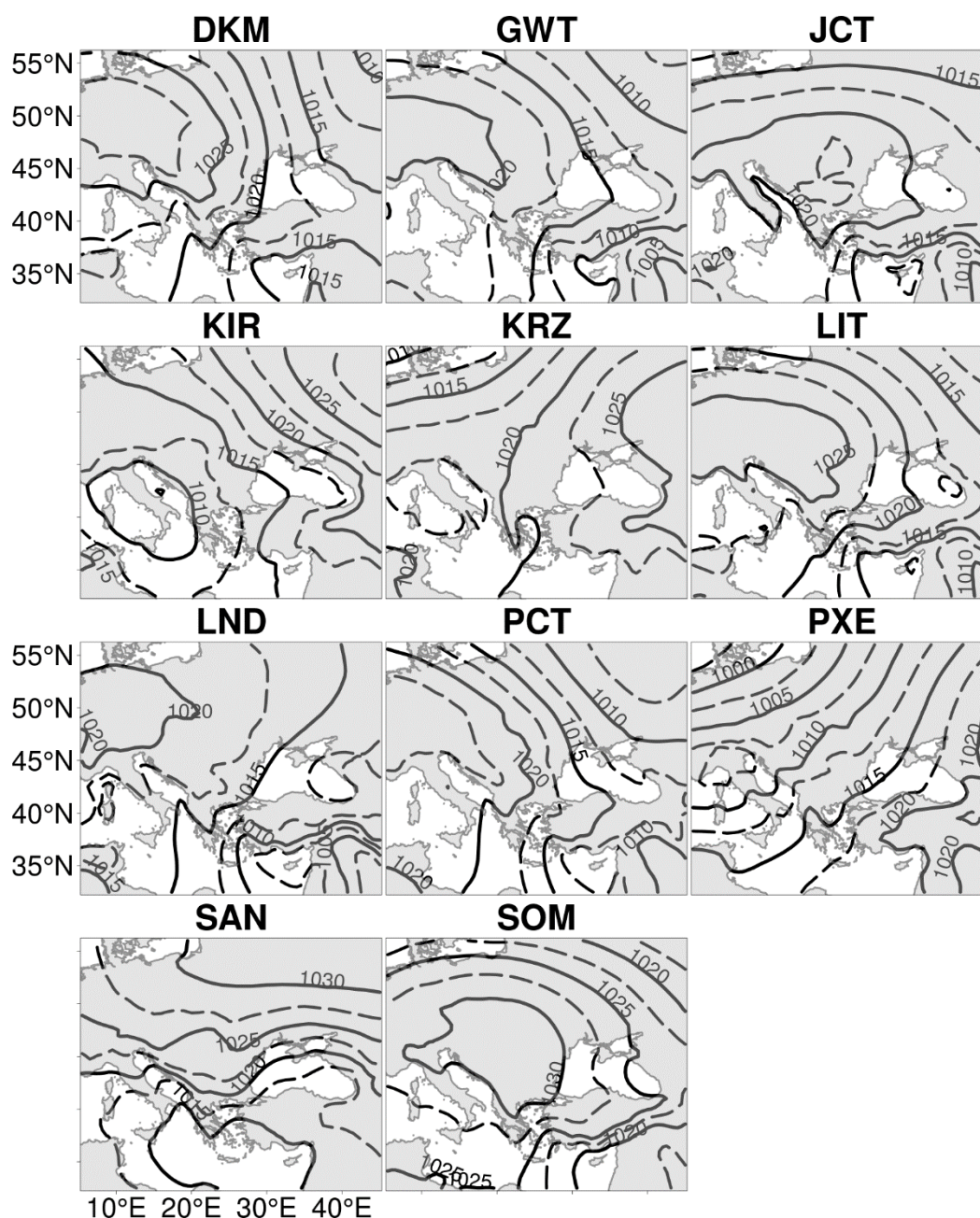


Fig. 5.11: Situațiile sinoptice cele mai frecvente pentru producerea cantităților de precipitații zilnice mai mari de 10 mm pentru fiecare metodă

Zilele care presupun cantități de precipitații mai mari de 10 mm sunt caracterizate prin prezența

unor advecții meridionale (în cele mai multe cazuri fiind vorba de fronturi atmosferice calde sau reci), situația fiind însă mai diversificată decât în cazul temperaturilor.

5.8. Influența indicilor de circulație la scară mare asupra temperaturilor și cantităților de precipitații din România

Indicii de circulație la scară mare (denumiți impropriu *indici de teleconexiuni*) sunt utilizați frecvent în studiile climatice la scară mare. Există mai multe metodologii de calculare ai acestora. În cazul de față, sunt utilizați indicii disponibili la <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>. Majoritatea au fost calculați prin utilizarea scorurilor PC (prin tehnica varimax a rotirii scorurilor) după metoda prezentată de (Barnston and Livezey, 1987). Aceștia sunt derivați la nivel lunar pe baza anomaliilor geopotențialului de 500 hPa (anterior anomaliile sunt standardizate la perioada de referință 1950-2000, iar pentru fiecare lună sunt reținute cele zece scoruri EOF specifice celor trei luni precedente), în final fiind identificate zece moduri de circulație (Barnston and Livezey, 1987).

În Fig. 5.12 sunt arătate valorile de corelație pentru parametri termici și cantitățile de precipitații. Pentru temperatura medie, se observă corelații mai ridicate cu indicii Estul Pacificului-Nordul Pacificului (EP.NP), Emisfera Nordică-Tropice (TNH) și Tranziția Pacificului (PT). Valori mai scăzute sunt specifice pentru Oscilația Nord-Atlantică (NAO), Estul Atlanticului (EA), Vestul Pacificului (WP) și Pacific-America de Nord.

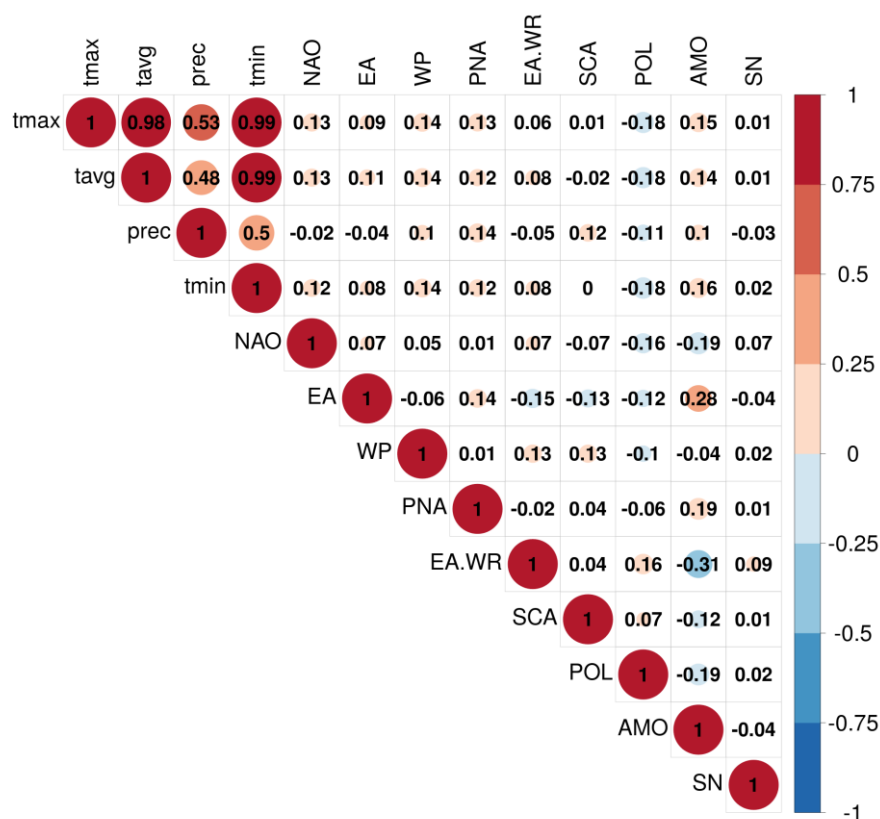


Fig. 5.12: Corelația lunară dintre temperaturi/precipitații și indicii de circulație la scară mare (nivel de semnificativitate $\alpha=0,05$). Corelațiile semnificative sunt colorate (valorile au fost filtrate anterior folosind metoda Tukey).

Primul indicator analizat este **oscilația nord-atlantică (NAO)**. Tradițional, acesta este estimat prin calcularea diferenței de presiune de la nivelul mării dintre Islanda și Insulele Azorelor. Presupunem o distribuție nord-sud a unui dipol de anomalii barice, cu centrul în zona Groenlandei respectiv mijlocul Atlanticului de Nord (www.cpc.ncep.noaa.gov/). Pentru NAO, influența asupra temperaturii medii este relativ redusă (Fig. 5.13). Corelația este 0,13 (însă semnificativă la 95%). În perioada 1950-2018, influența NAO variază, fiind specific un decalaj (*lag*) de aproximativ o lună în cazul primelor trei decenii (1950-1970), în acest interval remarcându-se și o fază comună a ondulației. După aceste decenii, influența NAO arată un decalaj mai mare (~6 luni) în jurul anilor 1980 concomitent cu o diminuare a influenței lunare asupra temperaturii generale. În această perioadă, anomaliile temperaturii medii globale au fost mai reduse (vezi Fig. 3.2). Concomitent, fazele NAO au fost preponderent negative în timp ce în Atlanticul de Nord s-a sesizat o creștere a activității ciclonilor tropicali (Bell and Chelliah, 2006). Prin urmare, NAO- a fost mai important asupra variațiilor de temperaturii din România decât NAO+.

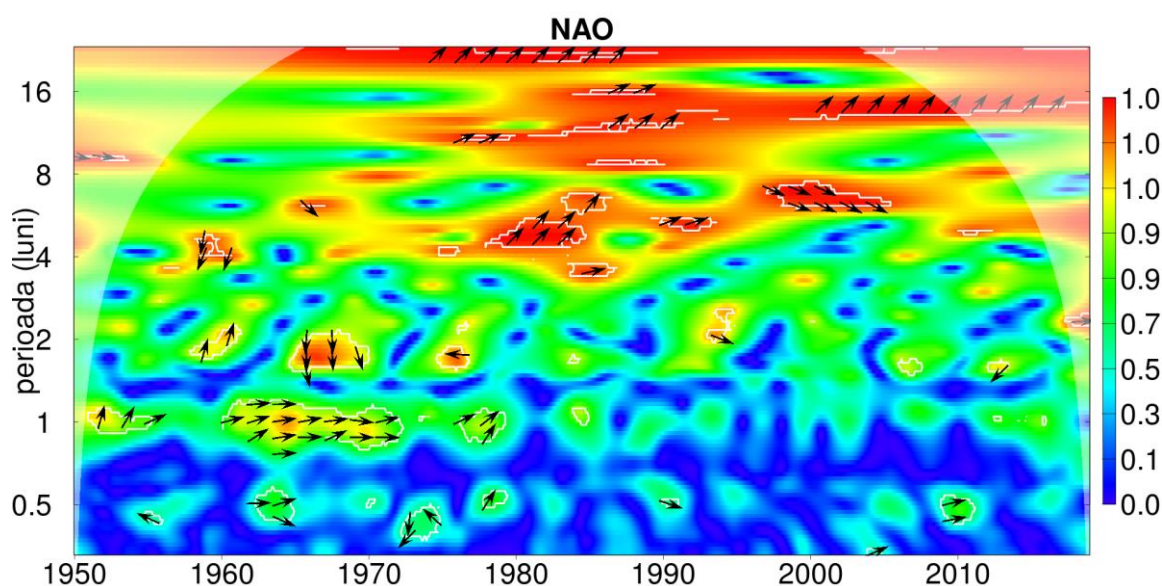


Fig. 5.13: Wavelet coherence pentru temperatura medie a aerului și indicele NAO. Zonele încercuite denotă un nivel de semnificație α de 0,05. Săgețile orientate spre dreapta/stânga arată legătură fază/antifază

Relația dintre NAO și cantitățile de precipitații este mai redusă (Fig. 5.14), remarcându-se o corelare cu acest indice între 1960 și 1970. Similar, semnalul climatic este mai puternic în cazul intervalului 8-10 luni (însă nesemnificativ statistic). Se remarcă un interval semnificativ (de antifază) la finalul anilor 2000, similar unui decalaj de aproximativ două săptămâni.

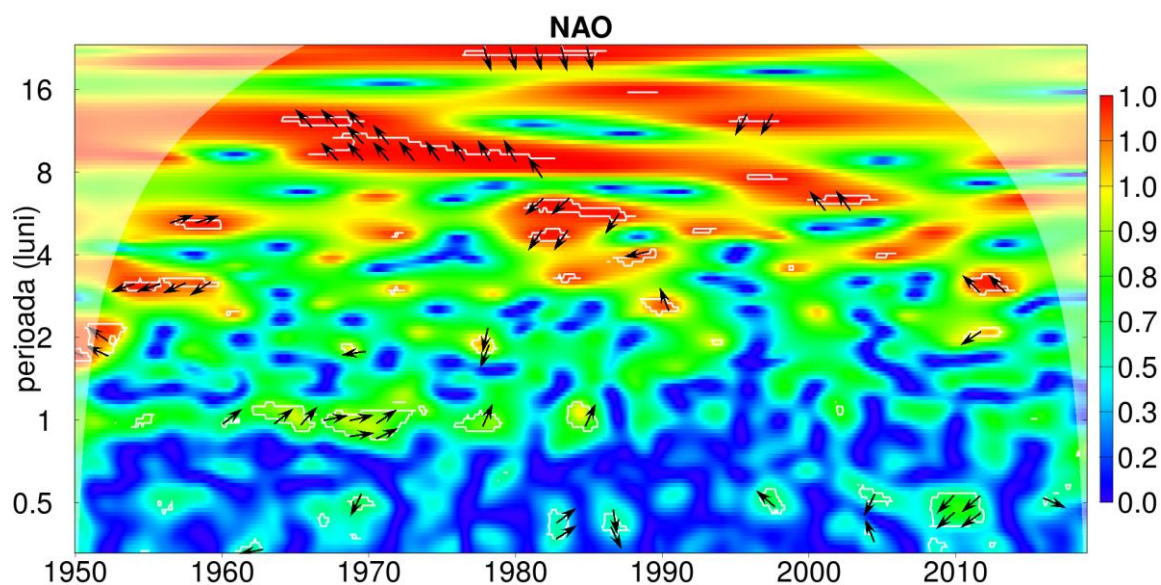


Fig. 5.14: Wavelet coherence pentru cantitățile de precipitații și indicele NAO. Zonele încercuite denotă un nivel de semnificație α de 0,05. Săgețile orientate spre dreapta/stânga arată legătură fază/antifază

Ultimul indicator de circulație este **oscilația multidecenială atlantică (AMO)**. Față de ceilalți indicatori prezentați până acum, AMO nu este construit în funcție de distribuția anomaliilor de presiune la suprafață, sau ținând cont de înălțimea troposferei, ci este un indicator care ține cont de variația temperaturii Oceanului Atlantic la un interval de câteva decenii. AMO are efecte și asupra troposferei, fiind identificate modificări asupra înălțimii geopotențialului de 500 hPa și a distribuției izoliniilor. În fazele pozitive, izolinile arătând o distribuție plană (fără meandrări) în nordul SUA, în timp ce în sud se remarcă o troposferă mai înaltă, cu un gradient descrescător dinspre coasta vestică înspre sud-estul continentului. Totodată, AMO contracarează ENSO în vestul Pacificului, în timp ce intensifică perioadele de secetă din zona centrală a continentului nord-american (David B. Enfield *et al.*, 2001). În Europa, impactul AMO asupra temperaturilor variază sezonier, fiind mai intens vara. Anomaliile pozitive care apar în timpul fazelor pozitive AMO sunt în general amplificate de circulațiile atmosferice. Această influență este specifică și la scări temporale mai mari (deceniale).

Analiza *wavelet* arată o influență semnificativă AMO în ultimele trei decenii la o frecvență a semnalului de aproximativ o lună – după 1990, AMO se află într-o fază pozitivă (Fig. 5.15). Este de notat faptul că semnalul climatic este în aceeași fază, ceea ce indică legătura dintre cele două variabile. Totodată, se observă și un semnal puternic la diferite frecvențe, precum 3-4 luni (ceea ce corespunde cu modificările în temperatura oceanelor și a continentului), în perioada 1980-2000) precum și unul mai latent, de o intensitate mai mare (între 6 și 9 luni pentru ultimele patru decenii). Prin urmare, este posibil ca fazele negative AMO (care denotă anomalii negative în SST) să arate un răspuns mai latent (> 6 luni) în cazul circulațiilor atmosferice, care la rândul lor să influențeze suficient de mult temperatura aerului.

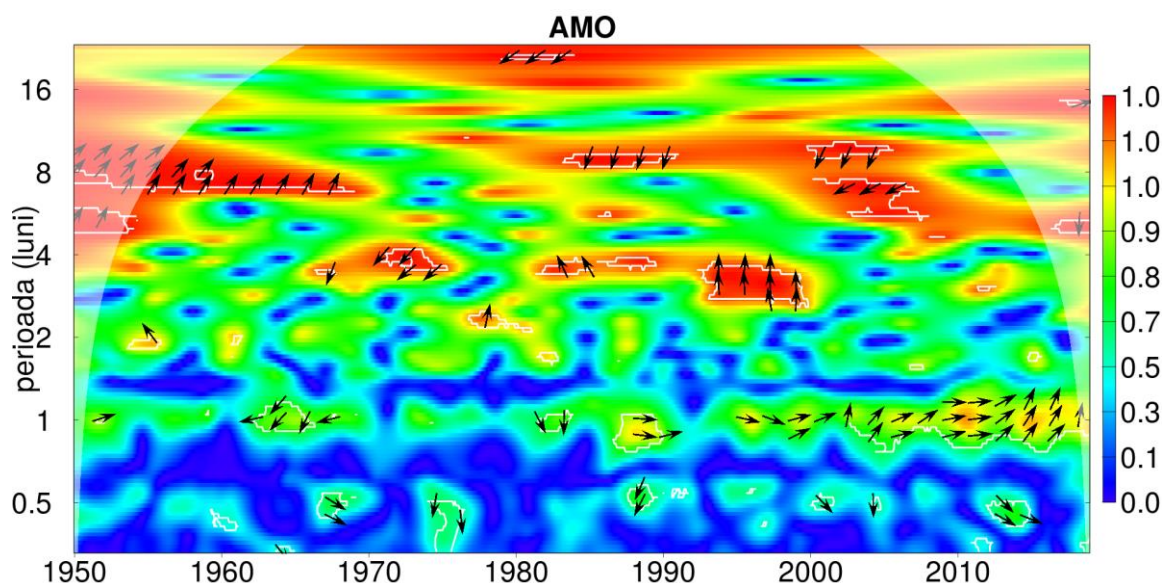


Fig. 5.15: Wavelet coherence pentru temperatura medie a aerului și indicele AMO. Zonele încercuite denotă un nivel de semnificație α de 0,05. Săgețile orientate spre dreapta/stânga arată legătură fază/antifază

Precipitațiile arată un comportament relativ similar cu cel al temperaturilor, cu un semnal semnificativ după 1990, care apare la nivel lunar. Se mai remarcă o frecvență mai ridicată (3-4 luni) în jurul perioadei 1952-1960 și 1980-1985 (Fig. 5.16). Regimul temperaturilor și al precipitațiilor în România este dependent de oscilația indicatorilor de circulație la scară mare. Majoritatea frecvențelor semnalelor semnificative sunt cuprinse între două săptămâni și o lună; în același timp, se remarcă inclusiv decalaje mai mari (de 3-6 luni în cazul unor indicatori).

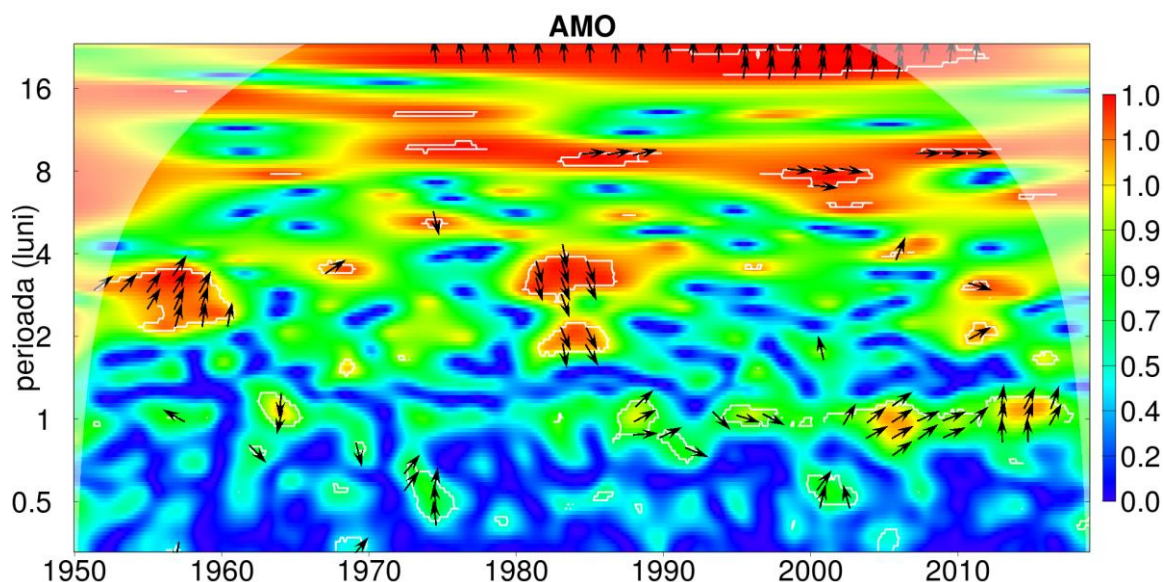


Fig. 5.16: Wavelet coherence pentru cantitățile de precipitații a aerului și indicele AMO. Zonele încercuite denotă un nivel de semnificație α de 0,05. Săgețile orientate spre dreapta/stânga arată legătură fază/antifază

6. ANALIZA CICLONILOR EXTRATROPICALI

În cadrul acestei secțiuni, sunt prezentate concluziile referitoare la caracteristicile sistemelor ciclonice extratropicale pe teritoriul României (Fig. 6.1). Sunt considerate mai multe aspecte precum modificările în frecvență, sau în caracteristicile interne (distanța parcursă, durata de viață sau intensitatea acestora). Pentru fiecare metodă, sunt convertite în format vectorial spațial punctele ce reprezintă coordonatele traiectoriei la fiecare șase ore (unele metode folosesc un pas temporal mai mare – de ex. 12 ore). Sunt selectate doar traiectoriile care au tranzitat spațiul geografic al României; ulterior, pentru fiecare traiectorie (pe baza atributului de dată), sunt calculate alte atribute precum distanța parcursă, viteza medie de deplasare, durata de viață și intensitatea minimă/medie.

M02

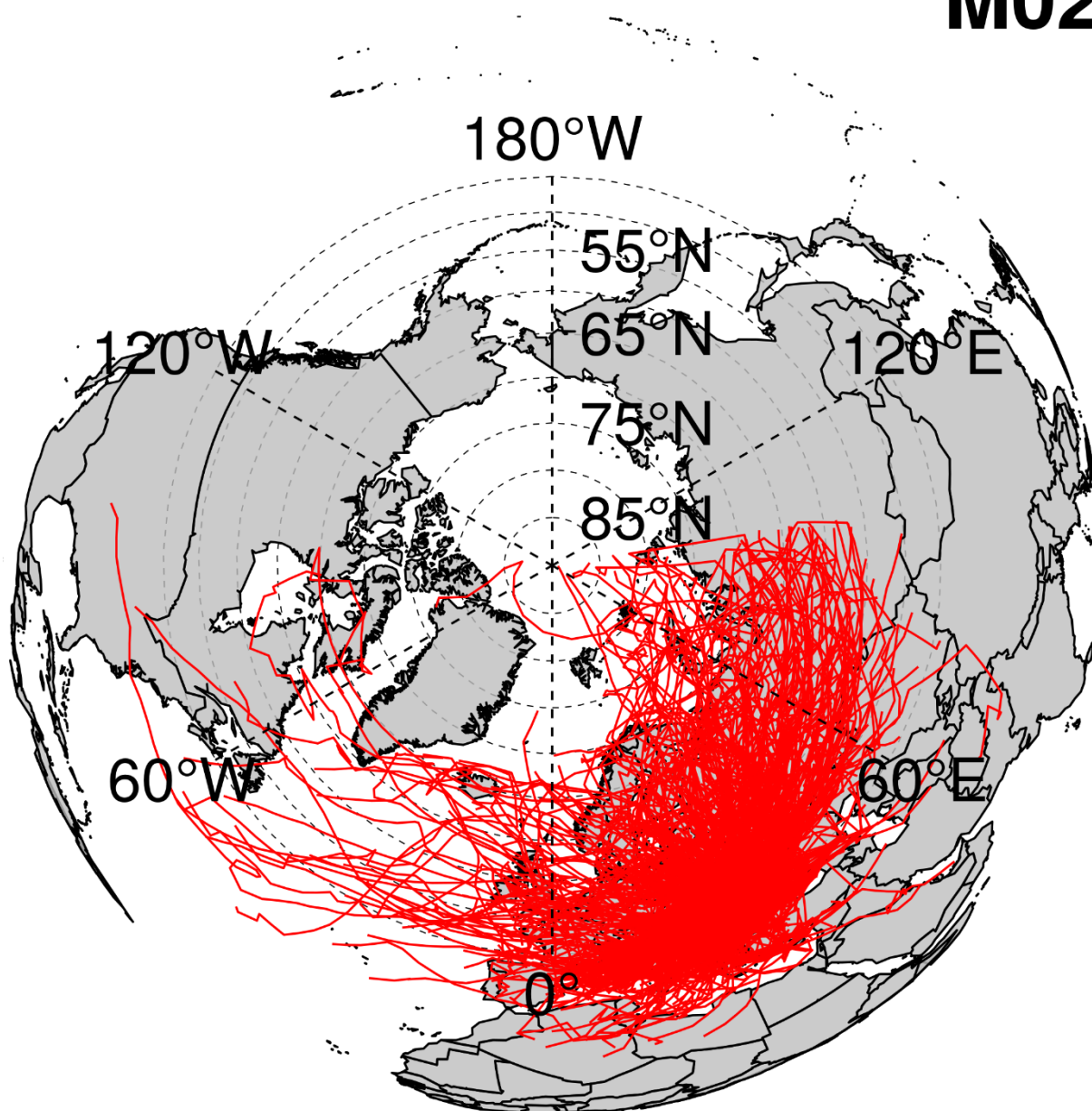


Fig. 6.1: Ciclonii extratropicali care au tranzitat România conform metodei M02 pentru perioada 1979-2009

6.1. Tendințe în frecvența sistemelor ciclonice

Cele mai multe detecții sunt specifice metodei M9 (peste 1300 de traiectorii detectate în perioada 1979-2010) în timp ce minimumul este atribuit metodei M10 (în jur de 200 de traiectorii detectate pentru aceeași perioadă (Fig. 6.2). Totodată, M09 a detectat cele mai multe traiectorii ciclonice și la nivelul întregii emisfere nordice în sezonul de vară în timp ce, în sezonul de iarnă, cele mai multe detecții au fost atribuite metodei M18 (Neu et al., 2013).

Cinci metode indică anul 1981 ca fiind anul cu cele mai multe detecții urmat de 2004 (indicat de doar două metode). Din punct de vedere al frecvenței anuale, nu există schimbări semnificative pentru nicio metodă utilizată. Media modelelor indică o frecvență mai ridicată în anii 1981, 2004 și 2005 (peste 25 de sisteme ciclonice), ani în care au fost în general înregistrate cantități mai ridicate de precipitații decât media multianuală.

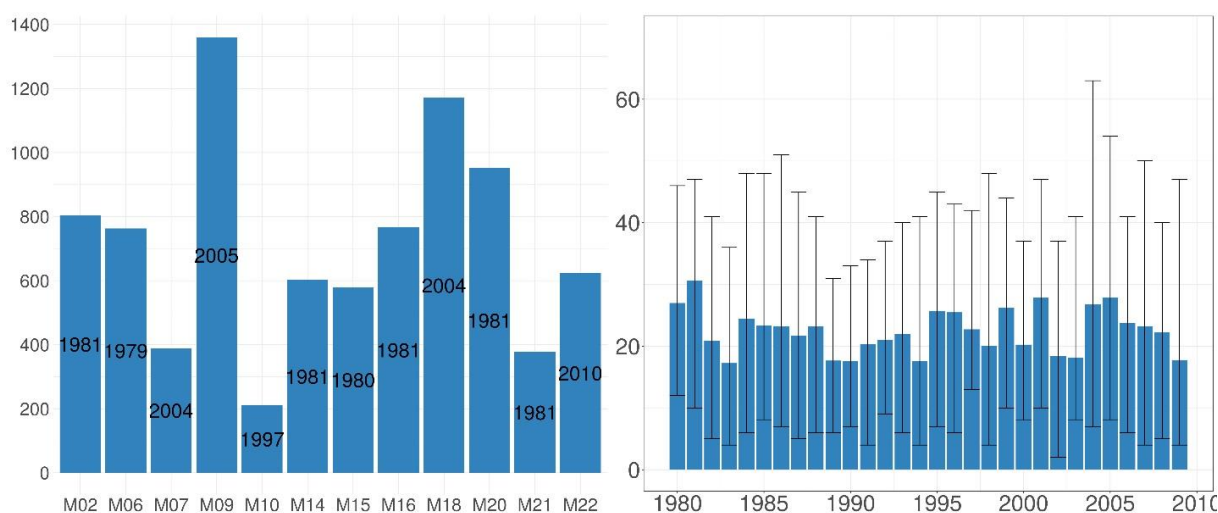


Fig. 6.2. Numărul detecțiilor totale (1979-2009) pentru fiecare metodă (stânga) și frecvența medie anuală de traiectorii ciclonice extratropicale care au tranzitat România (dreapta). Barele vertical reprezintă valoarea minimă respectiv maximă.

6.2. Tendințe în intensitatea ciclonilor extratropicali

Intensitatea ciclonilor extratropicali care au traversat România arată o tendință de creștere pentru mai multe metode examinate (Fig. 6.3). Diferența principală constă în faptul că o parte din metodele bazate pe SLP arată o descreștere a valorii presiunii la suprafață, în timp ce algoritmi bazati pe vorticitate arată o intensificare a acestui parametru la nivelele superioare ale troposferei. O vorticitate pozitivă presupune o ciclogeneză mai intensă și prin urmare, o viteză de deplasare mai ridicată, dar și o presiune mai redusă la suprafața terestră a ciclonului în cauză (Nita et al., 2020). Dintre metodele investigate, doar patru prezintă o evoluție semnificativă. M10, M20 și M22 indică o tendință de descreștere în cazul valorilor de presiune minimă la suprafață, concomitent cu M21 care arată o creștere a vorticității la nivelul de 850 hPa.

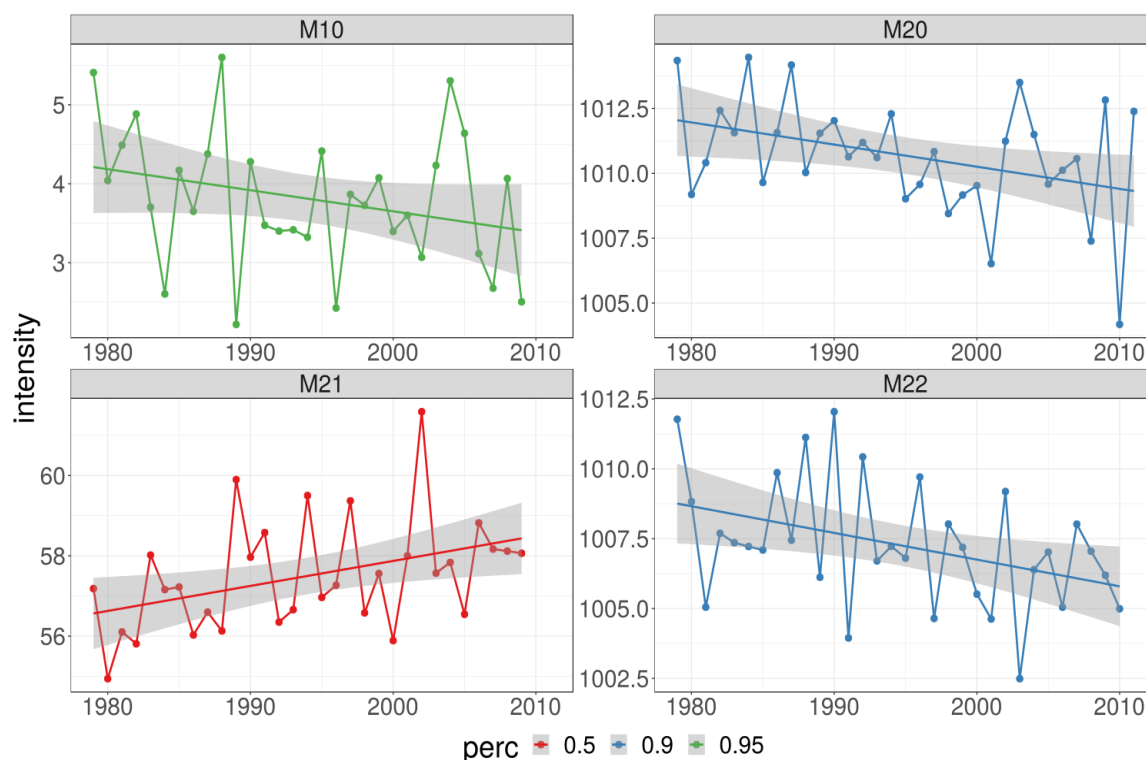


Fig. 6.3. Variația anuală (percentile) a intensității traiectoriilor ciclonice (sunt arătate doar metodele care au tendințe semnificative).

O intensificare a activității ciclonilor extratropicali reprezintă un indicator valid al schimbărilor climatice. În această manieră, o creștere în forța ciclonilor ar duce la fenomene climatice severe mai frecvente (enumerând aici vijelii sau inundații cauzate de ploi intense).

6.3. Tendințe în caracteristicile sistemelor ciclonice

Tendința în cazul distanței parcurse de cicloni prezintă o evoluție ușor negativă conform M02, M09 și M21, cauzate de durate de existență și/sau viteze mai mici, în timp ce M20 prezintă o creștere a valorilor pentru acest parametru (Fig. 6.4). Evoluții divergente se remarcă și pentru restul parametrilor studiați. Durata de viață a sistemelor ciclonice manifestă o tendință negativă, specifică doar metodelor M02 și M07. În schimb, în cazul vitezei, două metode prezintă rezultate semnificative, care sunt însă diferite (Nita et al., 2020).

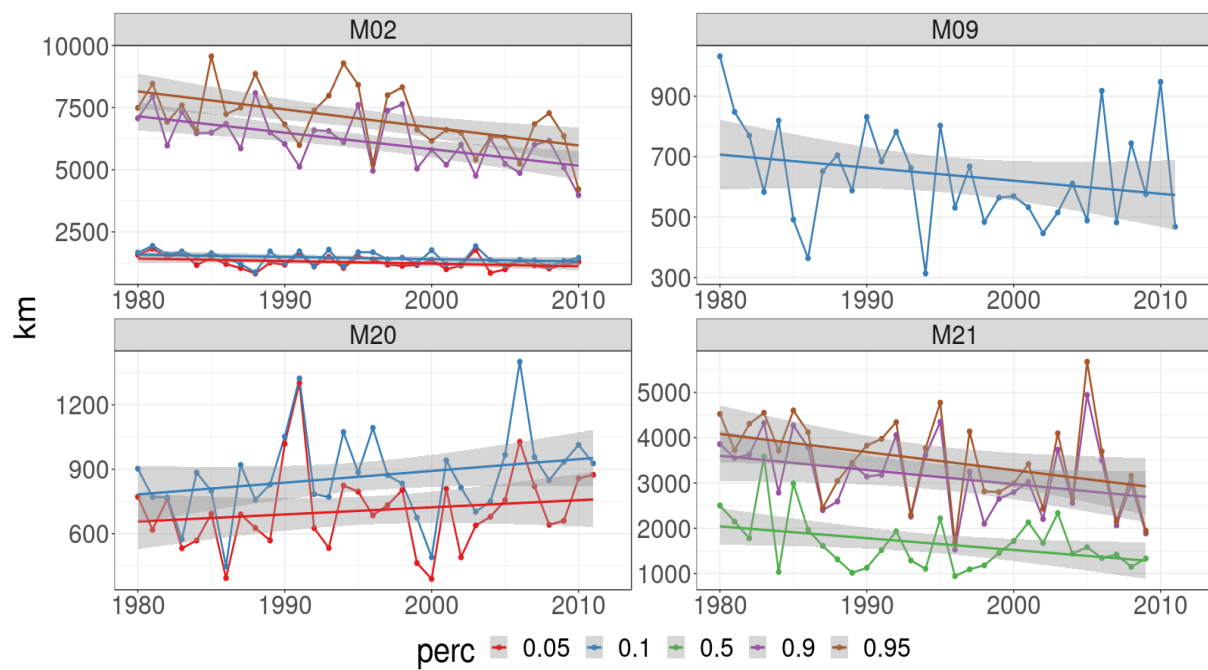


Fig. 6.4. Variația anuală a distanței parcurse de traiectoriile ciclonilor extratropicali care au tranzitat România (percentile)

7. CONCLUZII

În acest studiu, au fost utilizate o serie de metode și baze de date în vederea cuantificării efectelor circulațiilor atmosferice asupra climei României. Toate datele folosite în această lucrare sunt disponibile în mod gratuit la adresele menționate în secțiunea 2. Lucrarea de față subliniază importanța acestora mai ales pentru studiul climatic pe termen lung. Majoritatea seturilor utilizate aici au avut versiunile actualizate la începutul anului 2020. Reanalizele ERA-Interim și ERA20C utilizate în acest studiu nu mai sunt actualizate, acestea fiind fie înlocuite de alte versiuni (precum ERA5 în cazul ERA-Interim), fie nu au fost planificate să fie astfel.

Au fost construite 22 de clasificări ale circulațiilor atmosferice (câte 11 pentru fiecare reanaliză utilizată). În prezenta lucrare au fost folosite patru metode având diferiți algoritmi de calcul. În cele mai multe cazuri, o clasificare este similară cu alta din aceeași categorie, din punct de vedere al scorului de performanță, sau a distribuției unor parametri climatici.

În primă fază, au fost analizate scorurile de performanță ale clasificărilor folosind t_{max} și t_{min} din E-OBS pentru toate clasificările. Rezultatele variază mult, depinzând de anotimp, reanaliză și metodă, astfel încât valabilitatea metodelor obiective de a fi folosite strict pe un parametru poate fi greu de cuantificat. Pentru varianța explicată, metodele GWT, PCT și SAN s-au situat mai frecvent pe primul loc la nivel lunar. Pentru Pseudo-F, se remarcă mai des GWT și PXE, în timp ce pentru scorul WSD, LIT, KIR și PXE au abilitatea mai bună de a distinge variația valorilor parametrilor climatici. Ultimul indicator metric utilizat, scorul BSS arată o variabilitate și mai ridicată a parametrilor, ieșind în evidență totuși clasificările GWT, PCT și SOM.

Din punct de vedere al schimbărilor în frecvența anuală, pentru ERA20C există mai multe situații sinoptice din clasificările utilizate care posedă modificări semnificative, remarcându-se direcțiile nord, sud, est și nord-vest pentru ERA20C și sud-vest pentru ERA-I. În cazul frecvențelor sezoniere pentru perioada 1900-2010, modificări pozitive ar fi pentru direcțiile nord, vest și nord-vest (DJF); nord (MAM), sud-est (JJA) și nord (MAM și SON). În același timp, unele circulații arată o descreștere în timp (precum sud, sud-est și est pentru iarnă, sud pentru primăvară, sud-est, est și sud pentru toamnă). Pentru perioada mai recentă (1981-2016), există sesizabil mai puține tendințe semnificative, acestea fiind negative pentru direcția nord-vest (DJF), sud-vest (MAM), nord, nord-vest și sud-vest (SON) sau negative: est și nord-est (JJA) și sud-est (SON).

Influența circulațiilor asupra tendințelor climatice în România pentru temperaturi și precipitații a fost estimată prin prisma a două metode: raportul dintre tendința reală a șirului temporal și a celui ipotetic indus de situațiile sinoptice. A doua metodă cuantifică aportul adus de modificările din frecvența circulațiilor asupra temperaturilor și precipitațiilor, prin divizarea șirului de date în două perioade și raportarea parametrilor climatici la frecvența acestora.

Prima metodă indică aportul indus de circulații asupra tendinței efective. Pentru ERA20C, efectele sunt relativ reduse, doar în anotimpul de primăvară existând unele efecte pozitive (de accentuare a semnalului climatic) atât pentru temperaturi cât și pentru precipitații. În contextul modificării câmpului baric, situație specifică mai ales în anotimpurile de tranziție, circulațiile atmosferice sunt mai impregnate în amprenta climatică, fapt datorat în principal alternanței mai mari între indexul zonal și cel meridional în această perioadă.

A doua metodă (decompoziției) indică abateri pozitive zilnice ale acestui parametru, cu valori între 10% și 25%, induse de circulațiile atmosferice (ca diferență între perioada 1999-2016 și

perioada 1981-1998). În schimb, pentru perioadele 1951-1979 și 1980-2010, metodele utilizate arată rezultate mixte, dar și un ecart redus al valorilor. Pentru precipitații, se remarcă de asemenea o creștere a cantităților zilnice pentru clasificările din ERA-I.

Probabilitățile condiționate pentru producerea unor praguri de valori în cazul temperaturilor maxime, minime și a cantităților de precipitații zilnice, au fost calculate pentru cele două reanalize. Pentru temperaturile minime zilnice, există valori semnificative pe fondul circulațiilor de nord-est, est și nord în cazul perioadei 1981-2016. Temperaturile maxime arată valori mai mari de producere în sudul țării pentru direcțiile est și nord. În final, direcțiile nord-est, sud-vest, est și nord au arătat probabilități mai ridicate în cazul producerii pragului de 10 mm/zi în cazul precipitațiilor.

Ultima parte a acestei lucrări este dedicată analizei traiectoriilor ciclonilor extratropicali pe teritoriul României. Sunt examinate 12 metode obiective de trasare la patru termene/zi pentru perioada 1979-2009. Unele atribute (precum intensitatea) prezintă unele concordanțe între mai multe metode, astfel încât intensitatea medie a traiectoriilor prezintă o tendință pozitivă (ceea ce ar indica efecte mai puternice ale acestor cicloni cu potențiale efecte mai severe asupra societății). Alte atribute precum viteza, durata de viață sau distanța parcursă arată efecte mixte sau majoritar nesemnificative. O ultimă chestiune analizată o reprezintă frecvența acestor cicloni în raport cu originea lor.

O bună parte din metodologia utilizată în acest studiu a fost deja testată și aplicată pe diverse domenii spațiale (continentale sau regionale). Această lucrare are meritul de a combina mai multe tehnici și baze de date pentru teritoriul României, ***fiind prima lucrare complexă, pe plan național, care urmărește o analiză critică a metodelor de clasificare automată a circulațiilor atmosferice.*** Deși unele concluzii sunt interpretabile și lasă loc unor revizii ulterioare, afirmațiile de față urmăresc să accentueze importanța utilizării metodelor comparative în studiul climatic. În acest context, am căutat să utilizăm un număr cât mai mare de abordări tehnice (atât la nivel de metode cât și la baze de date), întocmai pentru a elimina posibilele incertitudini.

REFERINȚE (SELECȚIE)

- Apostol L (2008) The mediterranean cyclones – the role in ensuring water resources and their potential of climatic risk, in the east of Romania. *Present Environ Sustain Dev* 2:143–163
- Apostol L, Sfică L (2013) Thermal differentiations induced by the carpathian mountains on the Romanian territory. *Carpathian J Earth Environ Sci* 8:215–221
- Bárdossy A, Caspary HJ (1990) Detection of climate change in Europe by analyzing European atmospheric circulation patterns from 1881 to 1989. *Theor Appl Climatol* 42:155–167. <https://doi.org/10.1007/BF00866871>
- Birsan MV, Micu D-M, Nita I-A, et al (2019) Spatio-temporal changes in annual temperature extremes over Romania (1961–2013). *Rom J Phys* 64:
- Birsan MV, Dumitrescu A, Micu DM, Cheval S (2014) Changes in annual temperature extremes in the Carpathians since AD 1961. *Nat Hazards* 74:1899–1910. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1290-5>
- Birsan MV, Nita I-A, Craciun A, et al (2020) Observed changes in mean and maximum monthly wind speed over romania since ad 1961. *Rom Reports Phys* 72:
- Blenkinsop S, Jones PD, Dorling SR, Osborn TJ (2009) Observed and modelled influence of atmospheric circulation on central England temperature extremes. *Int J Climatol* 29:1642–1660. <https://doi.org/10.1002/joc.1807>
- Bloomfield HC, Shaffrey LC, Hodges KI, Vidale PL (2018) A critical assessment of the long-term changes in the wintertime surface Arctic Oscillation and Northern Hemisphere storminess in the ERA20C reanalysis. *Environ Res Lett* 13:. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad5c5>
- Bojariu R, Birsan M-V, Cică R, et al (2015) Schimbările climatice - de la bazele fizice la riscuri și adaptare. Printech, București
- Bojariu R, Gimeno L (2003) Predictability and numerical modelling of the North Atlantic Oscillation. *Earth-Science Rev* 63:145–168. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(03\)00036-9](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(03)00036-9)
- Cahynová M, Huth R (2016) Atmospheric circulation influence on climatic trends in Europe: An analysis of circulation type classifications from the COST733 catalogue. *Int J Climatol* 36:2743–2760. <https://doi.org/10.1002/joc.4003>
- Cahynová M, Huth R (2010) Circulation vs. climatic changes over the Czech Republic: A comprehensive study based on the COST733 database of atmospheric circulation classifications. *Phys Chem Earth* 35:422–428. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.11.002>

- Cahynová M, Huth R (2009) Enhanced lifetime of atmospheric circulation types over Europe: fact or fiction? *Tellus A*. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v61i3.15601>
- Cornes RC, van der Schrier G, van den Besselaar EJM, Jones PD (2018) An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *J Geophys Res Atmos* 123:9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
- Dee DP, Uppala SM, Simmons AJ, et al (2011) The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Q J R Meteorol Soc* 137:553–597. <https://doi.org/10.1002/qj.828>
- Diaconu, Otilia M, Jan C, et al (1990) Structuri disjuncte pentru sezonul de primăvară obținute cu ajutorul metodei cluster pe sectorul Atlantico-European. *Hidrotehnica*
- Dumitrescu A, Bojariu R, Birsan MV, et al (2015) Recent climatic changes in Romania from observational data (1961–2013). *Theor Appl Climatol* 122:111–119. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1290-0>
- Fdez-Arroyabe P, Ciro LSS, Nita I-A, et al (2020) Electrical Characterization of Circulation Weather Types in Northern Spain based on Atmospheric Nanoparticles Measurements: a Pilot Study. *Sci. Total Environ.* in press
- Flaounas E, Kotroni V, Lagouvardos K, Flaounas I (2014b) Tracking winter extra-tropical cyclones based on their relative vorticity evolution and sensitivity to prior data filtering (cycloTRACK v1.0). *Geosci Model Dev Discuss* 7:1245–1276. <https://doi.org/10.5194/gmdd-7-1245-2014>
- Garaba L, Sfîcă L (2015) Climatic features of the Romania Territory generated by the action of the mediterranean cyclones. *Lucr Semin Geogr „Dimitrie Cantemir”* 39:11–24. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15551%2Fflsgdc.v39i1.1012>.
- Gelaro R, McCarty W, Suárez MJ, et al (2017) The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *J Clim* 30:5419–5454. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1>
- Grinsted A, Moore JC, Jevrejeva S (2004) Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Process Geophys* 11:561–566. <https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004>
- Hansen J, Ruedy R, Sato M, Lo K (2010) Global surface temperature change. *Rev Geophys* 48:. <https://doi.org/10.1029/2010RG000345>
- Hanson CE, Palutikof JP, Davies TD (2004) Objective cyclone climatologies of the North Atlantic - A comparison between the ECMWF and NCEP reanalyses. *Clim Dyn* 22:757–769. <https://doi.org/10.1007/s00382-004-0415-z>

- Harris I, Jones PD (2019) CRU TS4.01: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) version 4.01 of high-resolution gridded data of month-by-month variation in climate (Jan. 1901-Dec. 2018). Cent Environ Data Anal. <https://doi.org/10.5285/58a8802721c94c66ae45c3baa4d814d0>
- Keresztesi Á, Birsan MV, Nita IA, et al (2019) Assessing the neutralisation, wet deposition and source contributions of the precipitation chemistry over Europe during 2000–2017. *Environ Sci Eur* 31:.. <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0234-9>
- Keresztesi Á, Nita IA, Birsan MV, et al (2020) Assessing the variations in the chemical composition of rainwater and air masses using the zonal and meridional index. *Atmos Res* 237:.. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104846>
- Kučerová M, Beck C, Philipp A, Huth R (2017) Trends in frequency and persistence of atmospheric circulation types over Europe derived from a multitude of classifications. *Int J Climatol* 37:2502–2521. <https://doi.org/10.1002/joc.4861>
- Nita I-A, Sfîca L, Apostol L, et al (2020) Changes in cyclone intensity over Romania according to 12 tracking methods. *Rom Reports Phys* 72:
- Țîmpu S, Sfîcă L, Dobri R-V, et al (2020) Tropospheric Dust and Associated Atmospheric Circulations over the Mediterranean Region with Focus on Romania's Territory. *Atmosphere (Basel)* 11:349. <https://doi.org/10.3390/atmos11040349>
- Topor N, Stoica C (1965) Tipuri de circulație și centri de acțiune atmosferică deasupra Europei. Ed. Institutului Meteorologic. București
- Varino F, Arbogast P, Joly B, et al (2019) Northern Hemisphere extratropical winter cyclones variability over the 20th century derived from ERA-20C reanalysis. *Clim Dyn* 52:1027–1048. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4176-5>
- Zhang C, Li S, Luo F, Huang Z (2019a) The global warming hiatus has faded away: An analysis of 2014–2016 global surface air temperatures. *Int J Climatol* 39:4853–4868. <https://doi.org/10.1002/joc.6114>