

AZ 500 hPa-OS GEOPOTENCIÁLIS MAGASSÁGMEZŐ VÁLTOZÉKONYSÁGÁNAK VIZSGÁLATA AZ ÉSZAK-ATLANTI / EURÓPAI TÉRSÉGBEN REANALÍZIS ADATBÁZIS ÉS GLOBÁLIS KLÍMAMODELLEK SZIMULÁCIÓI ALAPJÁN

Kristóf Erzsébet¹, Bartholy Judit^{1,2}, Pongrácz Rita^{1,2}

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Meteorológiai Tanszék,
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

²Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Kiválósági Tudásközpont,
2462 Martonvásár, Brunszvik u. 2.

e-mail: ekristof86@caesar.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu, prita@nimbus.elte.hu

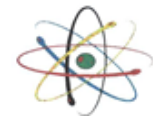
Az 500 hPa légnyomási szint geopotenciális magasság mezőjét empirikus ortogonális sorfejtésnek (empirical orthogonal function, EOF) vetjük alá az észak-atlanti / európai térség fölött, oszcillációs rendszerek reanalízis adatbázisbeli azonosítása és általános cirkulációs modellek (general circulation models, GCMs) validációja érdekében. Célunk a modell-szimulációk összevetése a reanalízis adatbázissal és a legpontosabb modellek kiválasztása.

Kulcsszavak: légköri oszcilláció, reanalízis, GCM, empirikus ortogonális sorfejtés

Bevezetés

A Kárpát-medencére vonatkozó éghajlati előrejelzések pontosítása érdekében az Atlanti-óceán északkeleti medencéje és az európai térség (a továbbiakban: észak-atlanti / európai térség) fölötti nagytérségű cirkulációk, légköri oszcillációs jelenségek (vagy távkapcsolati rendszerek) vizsgálata kiemelkedő fontossággal bír. Ezek egymástól távol eső területek légköri állapotváltozásainak együttváltozásaként jellemezhetők. Legintenzívebb területeit akciócentrumoknak nevezzük. A legjelentősebb légköri távkapcsolati rendszerek az északi félgömbön a tengerszinti légnyomásmezőben Walker – Bliss (1932) által azonosított Észak-csendes-óceáni Oszcilláció (North Pacific Oscillation, NPO) és Észak-atlanti Oszcilláció (North Atlantic Oscillation), a 700 hPa-os légnyomási szint geopotenciális magasságmezőjében Barnston – Livezey (1987) által kimutatott Észak-atlanti / Nyugat-oroszországi Rendszer (East Atlantic/Western Russia Pattern, EA/WR), valamint Skandináv Oszcilláció (Scandinavian Pattern, SCA) továbbá az 500 hPa-os geopotenciálmezőben Conte et al. (1989) által leírt Mediterrán Oszcilláció (Mediterranean Oscillation, MO).

Korábbi vizsgálataink alapján az 500 hPa-os geopotenciális magasság mező alkalmasnak bizonyult egymással szignifikáns negatív korrelációban álló területek, így oszcillációs rendszerek azonosítására a Csendes- és az Atlanti-óceán, a Földközi-tenger térsége és Belső-Ázsia felett (Kristóf et al. 2018), amelyek az előbb felsorolt jelenségek lenyomatai lehetnek.



Célunk reanalízis adatsorok és általános cirkulációs modellek szimulációinak vizsgálata az észak-atlanti / európai térségben empirikus ortogonális sorfejtés segítségével. Eredményeként az eredeti, több ezer dimenziósra tekinthető mezőket – a teljes változékonyság jelentős részét kifejező – néhány empirikus ortogonális függvény alapján jellemezhetjük. Az első empirikus ortogonális függvény által megjelenített, nyugat-kelet tengelyű térbeli dipólus szerkezet a térség domináns oszcillációs jelenségére, a NAO-ra utal. A modellszimulációk reanalízis adatbázissal való összehasonlítása lehetővé teszi a legpontosabb GCM-ek kiválasztását annak érdekében, hogy a legjobban teljesítő modellek XXI. századra rendelkezésre álló futtatásait vizsgálhassuk tovább a légköri oszcillációk Kárpát-medencére gyakorolt hatásának becslése érdekében.

A vizsgálatokhoz felhasznált adatbázisok

Az elemzéshez a Középtávú Időjárási Előrejelzések Európai Központja (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) ERA-20C reanalízis adatbázis teljes északi félgömbre elérhető, 2° rácsfelbontású, 500 hPa-os geopotenciális magasság adatsorait használtuk fel. Az 1951-1980, 1961-1990 és 1971-2000 közötti, 30 éves éghajlati normálidőszakok téli hónapjait (december, január és február) vizsgáltuk. Az adatok három óránként álltak rendelkezésünkre, amelyekből napi átlagokat készítettünk. Az idősorokból lineáris trendtől mentes napi anomália adatsorokat képeztünk.

A Kapcsolt modelleket összehasonlító projekt 5. fázisa (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5, Taylor et al. 2012) GCM-jei közül tízennégy modell napi adatait használtuk fel. A különböző térbeli felbontású modellszimulációkat egységes, 2° felbontású rácsra transzformáltuk, bilineáris interpolációval. Azonos hosszúságú idősorok képzése érdekében a februárokat 28 naposaknak, a decembereket és a januárokat 30 naposaknak tekintettük. Az idősorok elemszáma tehát minden esetben 2640 volt. A modellek listáját az *1. táblázat* tartalmazza.

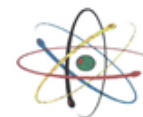
Az északi félgömb 500 hPa-os geopotenciális magasságmezőjének Pearson- és Spearman-korrelációs számításokkal való vizsgálata során különböző időbeli és térbeli felbontású adatsorokat elemeztünk. Az akciócentrumokként azonosított rácspontpárok helyzete kevésbé változott a rácsfelbontást 1,125°-ról 2,5°-ra változtatva. A vizsgálat azonban az időbeli felbontásra jelentősebb érzékenységet mutatott. A napi adatsorokat tíznapos, illetve havi átlagokra cserélve az Atlanti-óceán felett található központok helyzete jelentős változékonyságot mutatott 1951-1980 és 1971-2000 között. A Földközi-tenger térségében található akciócentrum pár pedig az ezredfordulóhoz közeledve azonosíthatatlanná vált. Célszerűnek bizonyult tehát napi adatsorok további elemzése. Térbeli felbontásként 2°-ot választottunk, ugyanis a CMIP5-ben ennél finomabb felbontással a vizsgálatához kellően sok, 14 darab modell állt rendelkezésre. Szimulációikat bilineáris interpolációval transzformáltuk egységesen 2° felbontására.

1. táblázat. A vizsgált GCM-ek neve, fejlesztője és eredeti rácsfelbontása. A számításokhoz a modellszimulációk r1i1p1 realizációit használtuk fel, kivéve a CCSM4 modell esetén, amelynek r6i1p1 realizációját vettük alapul.

Sor- szám	A GCM-ek neve	A GCM-ek fejlesztője	Eredeti rácsfelbontás
1	ACCESS1-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) and Bureau of Meteorology (BOM), Ausztrália	$1,25^{\circ} \times 1,875^{\circ}$
2	ACCESS1-3	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) and Bureau of Meteorology (BOM), Ausztrália	$1,25^{\circ} \times 1,875^{\circ}$
3	CCSM4	National Center for Atmospheric Research (NCAR), Amerikai Egyesült Államok	$\sim 0,9424^{\circ} \times 1,25^{\circ}$
4	CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti (CMCC) (Euro-Mediterranean Center on Climate Change), Olaszország	$\sim 0,74843^{\circ} \times 1^{\circ}$
5	CMCC-CMS	Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti (CMCC) (Euro-Mediterranean Center on Climate Change), Olaszország	$\sim 1,8651^{\circ} \times 1,875^{\circ}$
6	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques (CNRM), Meteo-France and Centre Europeen de Recherches et de Formation Avancee en Calcul Scientifique (CERFACS), Franciaország	$\sim 1,40076^{\circ} \times 1,40625^{\circ}$
7	HadGEM2-AO	National Institute of Meteorological Research (NIMR), Dél-Korea	$1,25^{\circ} \times 1,875^{\circ}$
8	HadGEM2-CC	Met Office Hadley Centre (MOHC), Egyesült Királyság	$1,25^{\circ} \times 1,875^{\circ}$
9	MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), The University of Tokyo and National Institute for Environmental Studies (NIES), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Japán	$\sim 1,40076^{\circ} \times 1,40625^{\circ}$
10	MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology, Németország	$\sim 1,86526^{\circ} \times 1,875^{\circ}$
11	MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology, Németország	$\sim 1,86526^{\circ} \times 1,875^{\circ}$
12	MPI-ESM-P	Max Planck Institute for Meteorology, Németország	$\sim 1,86526^{\circ} \times 1,875^{\circ}$
13	MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute, Japán	$\sim 1,12149^{\circ} \times 1,125^{\circ}$
14	MRI-ESM1	Meteorological Research Institute, Japán	$\sim 1,12147^{\circ} \times 1,125^{\circ}$

Vizsgálati módszer

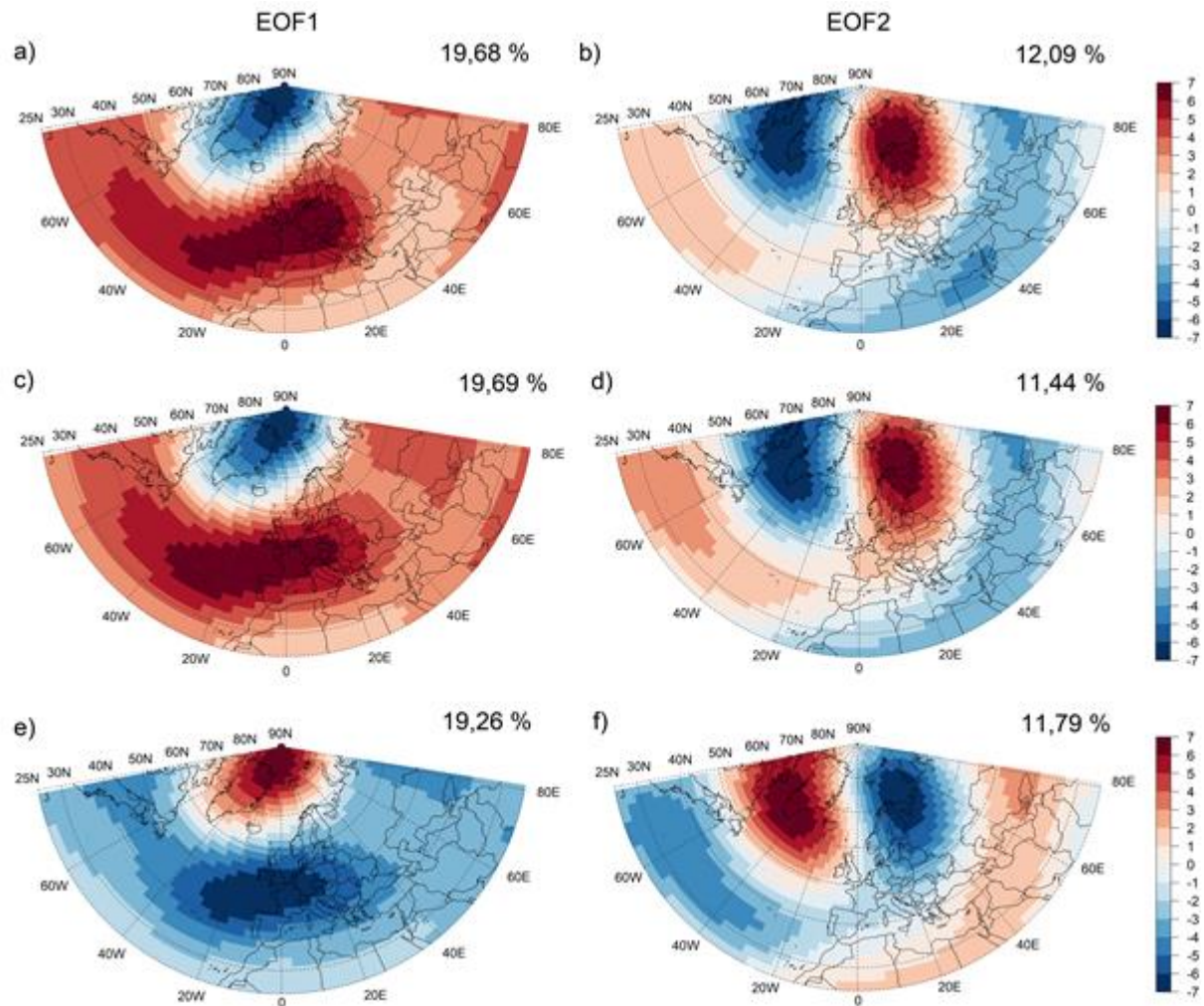
Az északi félgömb oszcillációs rendszereinek korrelációs számításokkal történő vizsgálata során a Kárpát-medencére szignifikáns hatást gyakorló oszcillációs rendszereket az Atlanti-óceán északkeleti és a Földközi-tenger térségében azonosítottunk. Az eredményeket figyelembe véve az észak-atlanti / európai térséget (é. sz. 26° - 90° és ny. h. 78° - k. h. 80°) választottuk az empirikus ortogonális sorfejtés alapjául, vagyis 33 szélességi és 80 hosszúsági kör, azaz 2640 rácspont idősorain hajtottuk végre a statisztikai elemzést.



A rácsponti idősorok olyan korrelált mezőt alkotnak, amelyek – a rácspontok és a megfigyelések száma alapján – több ezer dimenziósra tekinthetők. A rácsponti idősorok együttváltozásának vizsgálatára többváltozós adatelemzési módszerek, így empirikus ortogonális sorfejtés alkalmazható (pl. Storch – Zwiers 2003). Elvégzéséhez az R statisztikai programnyelvet használtuk. A módszerrel az eredeti változókból – amelyek jelen vizsgálat esetén vagy a rácspontok vagy az időpontok – új, korrelálatlan változókat képzünk, amelyeket empirikus ortogonális függvényeknek nevezünk. Ezek az eredeti változók lineáris kombinációjaként írhatók fel, számuk pedig megegyezik az eredeti változók számával. A lineáris kombinációk felírásakor az összes változót felhasználjuk, egymástól eltérő súlyokkal figyelembe véve azokat. A tanulmányban az 500 hPa-os geopotenciális magasság mező térbeli változékonyságát vizsgáltuk, ezért változóknak a rácsponti adatokat választottuk, vagyis a 2640 empirikus ortogonális függvény 2640 rácsponti adat lineáris kombinációjaként került felírásra. Az egyes rácspontok súlya alapján kiválaszthatók azok a rácspontok, amelyek az eredeti mező teljes változékonyságának adott empirikus ortogonális függvény által kifejezett hányadában a legjelentősebb szerepet töltik be. A súlyok térképen ábrázolhatók, amelyre példát az *1. ábrán* láthatunk. A különböző súlyok számértékei egymással nem vethetők össze, jelentőséggel kizárólag az adott empirikus ortogonális függvény esetén bírnak. A módszer használata akkor tekinthető eredményesnek, ha a mező teljes változékonyságának jelentős része kifejezhető az első néhány empirikus ortogonális függvénnyel, vagyis az eredeti, több ezer dimenziós adatstruktúra néhány dimenziósra redukálható. Például abban az esetben, ha a teljes változékonyság meghatározó részét az első három empirikus ortogonális függvény fejezi ki, akkor az eredeti, 2640×2640 darab adat helyett elegendő 3×2640 darab adat vizsgálata, tehát jelentős dimenzióredukciót hajtottunk végre a mezőn.

Eredmények

Először az ERA-20C került vizsgálatra. A teljes változékonyság (teljes variancia) felét az első öt, 80%-át az első 14 empirikus ortogonális függvény fejezi ki mind a három vizsgált időszakban. Az első empirikus ortogonális függvény a három időszak átlagát tekintve a teljes változékonyság 19,5%-át, míg a második és a harmadik függvény a 11,8%-át és a 8,4%-át adja. A három időszakot külön tekintve megállapítható, hogy az első három függvény a teljes variancia 39,6%, 39,5% és 40%-át fejezi ki. Az egyes rácspontok első és második empirikus ortogonális függvényben betöltött súlya az *1. ábrán* található.

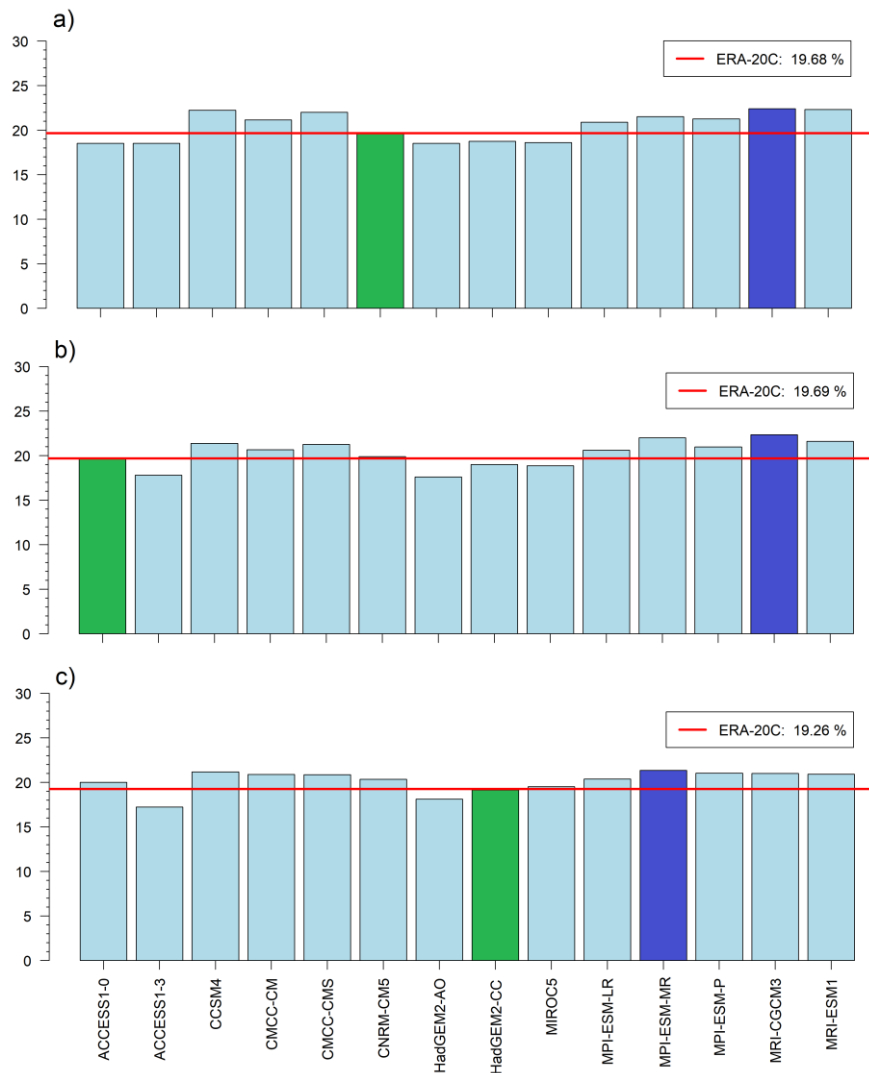


1. ábra. A súlyok százzal szorzott értékei az első (EOF1) és a második (EOF2) empirikus ortogonális függvény esetén a-b) 1951-1980, c-d) 1961-1990 és e-f) 1971-2000 között.

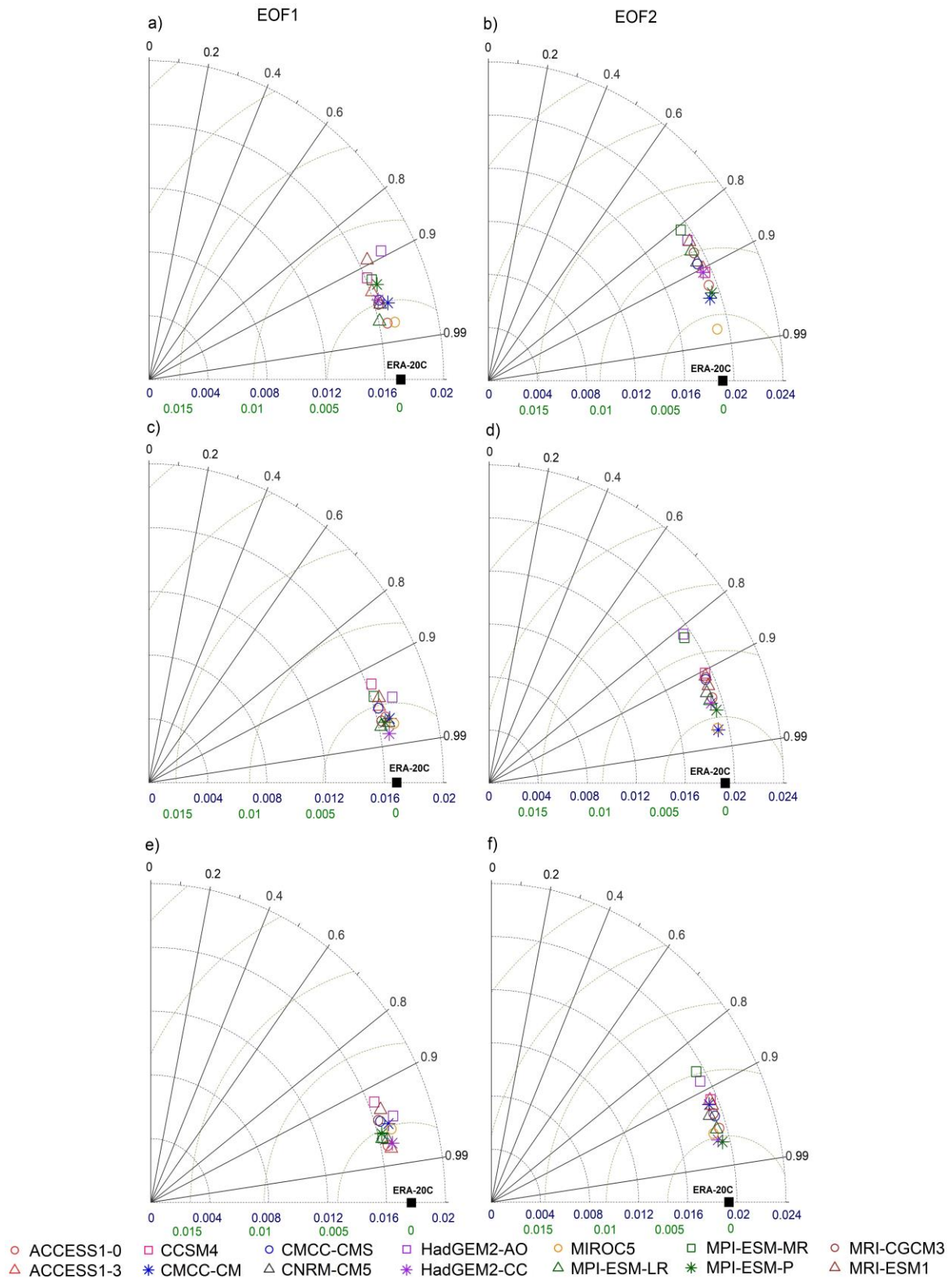
Mindkét empirikus ortogonális függvény esetén a nyugat-kelet és az észak-dél iránnyal párhuzamos tengelyű dipólus szerkezet azonosítható, amelyek közül az első az Észak-atlanti Oszcilláció jeleként értelmezhető (pl. Barnston – Livezey 1987; Hurrell 1995). Az egyes időszakok közötti korreláció mértéke az első függvény esetén abszolút értékben mindig 97,7% fölötti. A második és a harmadik függvény esetén lényegesen alacsonyabb korrelációértékek – 93,9% és 81,8% – számíthatók 1951-1980 és 1971-2000 között.

Az első empirikus ortogonális függvény által legjobban reprezentált, vagyis a lineáris kombináció képzésében legnagyobb súllyal rendelkező rácspont 1951-1980 és 1961-1990 között az é. sz. 84° és a ny. h. 20° földrajzi koordinátákon található. A mező összefüggőse miatt az ezzel szomszédos rácspontok is jelentős súllyal bírnak. 1971-2000 között az első empirikus ortogonális függvény legjobban reprezentált rácspont az é. sz. 84° és a ny. h. 16° koordinátákon található. A Pearson- és Spearman-korrelációk vizsgálata során a NAO-t reprezentáló oszcillációs jelenség északi pólusának keletre tolódását figyeltük meg az ezredfordulóhoz közeledve, amelyet korábban Jung – Hilmer (2000) mutatott ki. Az északabbi akciócentrum keletre való eltolódását tehát az általunk végrehajtott empirikus ortogonális sorfejtés eredménye is megerősíti.

Az ERA-20C-hez hasonlóan a GCM-ek esetén is kifejezi a teljes változékonyság felét az első öt empirikus ortogonális függvény. A teljes variancia 80%-át azonban csak három esetben, az ACCESS1-0, a HadGEM2-CC és a MIROC5 modellben fejezi ki az első 14 függvény, mindhárom időszakban. Az első három függvényre vonatkozó, ERA-20C-hez képesti legkisebb eltérés az ACCESS1-0, a CNRM-CM5 és az HadGEM2-CC modellekben mérhető (2. ábra).



2. ábra. Az első empirikus ortogonális függvény által kifejezett variancia az ERA-20C-ben és a GCM-ekben a) 1951-1980, b) 1961-1990 és c) 1971-2000 között. Az ERA-20C-hez legjobban (legkevésbé) hasonlító GCM zölddel (kékkel) jelölt.



3. ábra. A 14 vizsgált GCM és az ERA-20C első két empirikus ortogonális függvénye súlyainak Taylor-diagramja a-b) 1951-1980, c-d) 1961-1990 és e-f) 1971-2000 között. A Pearson-korrelációk abszolút értékeit fekete sugárirányú félegyenesek, a szórásokat és RMSE értékeket rendre kék, illetve zöld félkörívek jelölik.

A GCM-ek és az ERA-20C első két empirikus ortogonális függvénye súlyainak összehasonlítására Taylor-diagramot szerkesztettünk (Taylor 2001). Az összehasonlításhoz tehát a GCM-ek és az ERA-20C között számított Pearson-korrelációkat és az átlagos négyzetes hiba négyzetgyökét jellemző centrált értéket (centered root-mean squared, RMSc), valamint a súlyok adatsorainak empirikus szórásnégyzeteit alkalmaztuk. A három mérőszám alapján időszakonként és empirikus ortogonális függvényenként eltér, hogy melyik modell közelíti a legjobban a reanalízis adatbázisra meghatározott értékeket (3. ábra).

Az első empirikus ortogonális függvény súlyai alapján általánosan megállapítható, hogy a GCM-ek szórása kicsi, a korreláció abszolút értéke pedig a legrosszabbul teljesítő modell esetén is 0,92 fölötti, vagyis az ERA-20C-vel mindegyik modell jelentős egyezést mutatott. A három modellmetrikát (Pearson-korreláció, szórás, RMSc) és a három vizsgált időszakot (1951-1980, 1961-1990, 1971-2000) tekintve viszont a modellek teljesítménye viszonylag nagy változékonyságot mutatott. A három időszak átlagos értékei alapján a legjobb hat modellszimuláció között kizárólag az ACCESS1-0 és a CNRM-CM5 modell található, vagyis a többi modell a háromból legalább egy mérőszám esetén gyengébben teljesített. Legalább két metrika esetén a MPI-ESM-LR, a MIROC5 és a CMCC-CM modell végzett a legjobb három modellszimuláció között. Időszakonként vizsgálva, az ACCESS1-0 1951-1980 között, a HadGEM2-CC pedig 1971-2000 között végzett mindhárom mérőszám esetén a legjobban teljesítő három modell valamelyikeként. Az előbbieket a MIROC5 követi, amely 1951-1980 és 1961-1990 között legalább két modellmetrika szerint teljesített kiemelkedően jól.

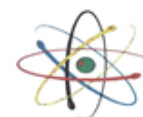
A második empirikus ortogonális függvény súlyai alapján is megállapítható, hogy a GCM-ek szórása kicsi, a korrelációk abszolút értéke azonban a legkevésbé jól teljesítő modellszimulációban alacsonyabb, 0,83 körüli. A három időszak modellmetrikáinak átlagos értékei alapján a legjobb hat modellszimuláció között kizárólag az ACCESS1-0 modell található. Legalább két mérőszám alapján az ACCESS1-0, a HadGEM2-CC, az MPI-ESM-LR és az MPI-ESM-P végzett a legjobb hat modell között. Az első empirikus ortogonális függvényhez hasonlóan, a MIROC5 az első két vizsgált időszakban, míg a HadGEM2-CC az ezredfordulóhoz közelebb teljesített jobban.

Összefoglalás

A korrelációanalízis és az empirikus ortogonális sorfejtés alapján a GCM-ek ERA-20C-vel való összevetése során átlagosan az ACCESS1-0, a CNRM-CM5, a HadGEM2-CC és az MPI-ESM-LR modellek bizonyultak a legpontosabbaknak. Célunk az előbb felsorolt GCM-ek historikus és jövőre vonatkozó szimulációinak alaposabb vizsgálata annak megbecslése érdekében, hogy a légköri oszcillációs rendszerek a Kárpát-medence térségére milyen hatást fejtenek ki a közeljövőben, a XXI. század során.

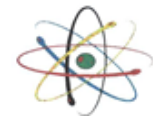
Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta az Agrárklíma2 projekt (VKSZ_12-1-2013-0034), az OTKA K-120605 számú projektje, valamint a Széchenyi 2020 program az AgroMo kutatási projekt (GINOP-2.3.2-15-2016-00028) keretében valósult meg.



Felhasznált irodalom

1. Barnston, AG, Livezey, RE (1987): Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review*, 115, 1083-1126.
2. Bi, D, Dix, M, Marsland, SJ, O'Farrell, S, Rashid, HA, Uotila, P, Hirst, AC, Golebiewski, EKM, Sullivan, A, Yan, H, Hannah, N, Franklin, C, Sun, Z, Vohralik, P, Watterson, I, Zhou, Z, Fiedler, R, Collier, M, Ma, Y, Noonan, J, Stevens, L, Uhe, P, Zhu, H, Griffies, SM, Hill, R, Harris, C, and Puri, K (2013): The ACCESS coupled model: description, control climate and evaluation. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 63, 41–64.
3. Climate Data Operators version 1.7.2 (Available at <http://mpimet.mpg.de/cdo>.)
4. Conte, M, Giuffrida, A, Tedesco, S (1989): The Mediterranean Oscillation. Impact on precipitation and hydrology in Italy. *Conference on Climate Water*, 121-137, Publications of the Academy of Finland, Helsinki.
5. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (2014, updated daily): ERA-20C Project (ECMWF Atmospheric Reanalysis of the 20th Century). Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. (Available at <https://doi.org/10.5065/D6VQ30QG>.) Letöltés utolsó időpontja: 2017. december 7.
6. Gent, PR, Danabasoglu G, Donner, LJ, Holland, MM, Hunke, EC, Jayne, SR, Lawrence, DM, Neale, RB, Rasch, PJ, Vertenstein, M, Worley, PH, Yang, ZL, Zhang, M (2011): The Community Climate System Model version 4. *Journal of Climate*, 24, 4973-4991.
7. Jung, T, Hilmer, M (2000): Evidence for a recent change in the link between the North Atlantic Oscillation and Arctic Sea ice export. *Geophysical Research Letters*, 27, 989-992.
8. Kristóf, E, Bartholy, J, Pongrácz, R (2018): Statistical relationships between large-scale oscillation phenomena and meso-scale atmospheric conditions over Central/Eastern Europe and their representation in CMIP5 General Circulation Models. In: 98th Annual Meeting of the American Meteorological Society. Paper 331148, 9p. <https://ams.confex.com/ams/98Annual/webprogram/Manuscript/Paper331148/KE-PR-BJ-AMS2018.pdf>
9. R Core Team (2016): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
10. Scoccimarro, E, Gualdi, S, Bellucci, A, Sanna, A, Fogli, PG, Manzini, E, Vichi, M, Oddo, P, Navarra, A (2011): Effects of Tropical Cyclones on Ocean Heat Transport in a High Resolution Coupled General Circulation Model. *Journal of Climate*, 24, 4368-4384.
11. Stevens, B, Giorgetta, M, Esch, M, Mauritsen, T, Crueger, T, Rast, S, Salzmann, M, Schmidt, H, Bader, J, Block, K, Brokopf, R, Fast, I, Kinne, S, Kornblueh, L, Lohmann, U, Pincus, R, Reichler, T, Roeckner, E (2013): The Atmospheric Component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 146-172
12. Storch, H, Zwiers, FW (2003): *Statistical Analysis in Climate Research*, Cambridge University Press
13. Taylor, K, Stouffer, RJ, and Meehl, GA (2012): An overview of CMIP5 and the experiment design, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 485–498.
14. Taylor, KE (2001): Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research*, 106, 7183-7192.
15. The HadGEM2 Development Team: Martin, GM, Bellouin, N, Collins, WJ, Culverwell, ID, Halloran, PR, Hardiman, SC, Hinton, TJ, Jones, CD, McDonald, RE, McLaren, AJ, O'Connor, FM, Roberts, MJ, Rodriguez, JM, Woodward, S, Best, MJ, Brooks, ME, Brown, AR, Butchart, N, Dearden, C, Derbyshire, SH, Dharssi, I, Doutriaux-Boucher, M, Edwards, JM, Falloon, PD, Gedney, N, Gray, LJ, Hewitt, HT, Hobson, M, Huddleston, MR, Hughes, J, Ineson, S, Ingram, WJ, James, PM, Johns, TC, Johnson, CE, Jones, A, Jones, CP, Joshi, MM, Keen, AB, Liddicoat, S, Lock, AP, Maidens, AV, Manners, JC, Milton, SF, Rae, JGL, Ridley, JK, Sellar, A, Senior, CA, Totterdell, IJ, Verhoef, A, Vidale, PL, Wiltshire, A (2011): The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development*, 4, 723-757.
16. Voldoire, A, Sanchez-Gomez, E, Salas y Mélia, D, Decharme, B, Cassou, C, Sénési, S, Valcke, S, Beau, I, Alias, A, Chevallier, M, Déqué, M, Deshayes, J, Douville, H, Fernandez, E, Madec, G, Maisonnave, E, Moine, MP, Planton, S, Saint-Martin, D, Szopa, S, Tyteca, S, Alkama, R, Belamari, S, Braun, A, Coquart, L, Chauvin, F (2013): The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation. *Climate Dynamics*, 40(9), 2091-2121.



17. Walker, GT, Bliss, EW (1932): World weather V. *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 4, 53-84.
18. Watanabe, M, Suzuki, T, O'ishi, R, Komuro, Y, Watanabe, S, Emori, S, Takemura, T, Chikira, M, Ogura, T, Sekiguchi, M, Takata, K, Yamazaki, D, Yokohata, T, Nozawa, T, Hasumi, H, Tatebe, h, Kimoto, M (2010): Improved climate simulation by MIROC5: Mean states, variability, and climate sensitivity. *Journal of Climate*, 23, 6312-6335.
19. Yukimoto, S, Yoshimura, H, Hosaka, M, Sakami, T, Tsujino, H, Hirabara, M, Tanaka, TY, Deushi, M, Obata, A, Nakano, H, Adachi, Y, Shindo, E, Yabu, S, Ose, T, Kitoh, A (2011): Meteorological Research Institute-Earth System Model Version 1 (MRI-ESM1) – Model Description. Technical Report of the Meteorological Research Institute, 64, 83.