

EURO-CORDEX MÚLTRA VONATKOZÓ SZIMULÁCIÓINAK VIZSGÁLATA EXTREM CSAPADÉKINDEXEK FELHASZNÁLÁSÁVAL

Berényi Alexandra , Pongrácz Rita , Bartholy Judit 

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet,
Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: berenyia@student.elte.hu, pongracz.rita@ttk.elte.hu, bartholy.judit@ttk.elte.hu

Bevezetés

A klímaváltozással járó csapadékmezők megváltozása közel sem mutat homogén képet akár időben, akár térben tekintjük. Emellett a lehullott csapadék mennyisége és intenzitása is változhat, a jövőben számíthatunk az extrém csapadékos helyzetek intenzitásának és előfordulásának gyakoriságának növekedéséhez. Ezeknek a tényezőknek a megváltozása felkészülést igényel mind gazdasági, mezőgazdasági szempontból, mind társadalmi szempontból; emiatt a döntéshozók számára elengedhetetlen a jövőbeli trendek ismerete, amelyek különböző modellszimulációk eredményeiként állnak rendelkezésünkre.

Ahhoz, hogy ezeket a trendeket nagyobb bizonyossággal tudjuk becsülni, első lépésként mindenképpen szükséges a modellek múltbeli időszakra való validációja, a modellszimuláció pontosságának vizsgálata. Ebben a tanulmányban a Magyarország jelentős részét is magában foglaló Pannon-alföld általunk definiált részére végeztük el a modellek értékelését egy 35 éves időszakra, összesen 10, az EURO-CORDEX keretében végzett modellszimulációt választottunk ki, amelyeken különféle éghajlati indexek felhasználásával hajtottunk végre statisztikai elemzést.

Felhasznált adatbázisok és modellek

A modellek pontosságának vizsgálatához összesen 10 szimulációt választottunk ki, ezekre a futtatást elvégző intézmény, a használt regionális modell, és a meghajtó globális klímamodell az 1. táblázatban található (Jacob et al., 2014). Minden szimuláció 0,1°-os rácsra interpolálva áll rendelkezésünkre, napi időbeli felbontással.

1. táblázat: A kiválasztott szimulációk globális meghajtó modelljének és regionális klímamodelljének listája.

Vezető intézmény	GCM	RCM
CLMcom	MPI-ESM_LS	CCLM4
CLMcom	EC-EARTH	CCLM4
CNRM	CNRM-CM5	ALADIN53
DMI	EC-EARTH	HIRAM5
KNMI	HadGEM2-ES	RACMO22E
MPI-CSC	MPI-ESM_LS (r1)	REMO2009
MPI-CSC	MPI-ESM_LS (r2)	REMO2009
SMHI	HadGEM2	RCA4
SMHI	EC-EARTH	RCA4
SMHI	MPI-ESM_LS	RCA4

Referencia időszaknak így az 1970–2005 időszakot választottuk, lévén ez az az időszak, amely alatt az összes szimuláció rendelkezésünkre áll. Referencia adatbázisnak az E-OBS 24. verzióját (Cornes et al, 2018) használtuk, mely szintén 0,1°-os rácsfelbontáson, napi csapadékadatokat tartalmaz 1950-től napjainkig. Az adatbázis bizonytalansága a csapadékmezők tekintetében nem elhanyagolható, és több okra is visszavezethető. Ilyen például a nem megfelelő sűrűségű rácsálózat (Hofstra et al., 2009) és ennek interpolációja (Kotlarski et al., 2017), de ami a modellvalidáció szempontjából még fontosabb lehet a nagytérseget érintő hatása miatt, az a csapadék alulmérése, ami a mérési módszerek egyik hibája (Adam & Lettenmaier, 2003; Wolff et al., 2015).

Módszertan

A modellek validációját éghajlati indexek számításával végeztük, melyeknek definíciója a 2. táblázatban található. Összesen 11 indexet választottunk, amelyek közül három az átlagos csapadékról, nyolc pedig az extrém csapadékos helyzetek gyakoriságáról és intenzitásáról ad információt. A különböző modellek jóságát statisztikai mérőszámok segítségével végeztük éves és évszakos időtartamra, ezek közül a téli (DJF) és a nyári (JJA) évszakra, valamint az egész évre vonatkozó eredményeinket fogjuk bemutatni, az alábbi statisztikai mutatók

2. táblázat: A tanulmányban használt éghajlati indexek, és azok definíciója.

segítségével:

Index	Leírás	Mértékegység
RR1	1 mm-t meghaladó csapadékú napok száma ($R_{nap} \geq 1 \text{ mm}$)	nap
RR5	5 mm-t meghaladó csapadékú napok száma ($R_{nap} \geq 5 \text{ mm}$)	nap
RR10	Nagy csapadékú napok száma ($R_{nap} \geq 10 \text{ mm}$)	nap
RR20	Extrém csapadékú napok száma ($R_{nap} \geq 20 \text{ mm}$)	nap
RX1	Legnagyobb 1 napi csapadékösszeg ($\text{Max}(R_{nap})$)	mm
RX5	Legnagyobb 5 napos csapadékösszeg ($\text{Max}(R_{nap_i, i+1, i+2, i+3, i+4})$)	mm
R90p	Napi csapadékösszegek 90. percentilise	mm
R95p	Napi csapadékösszegek 95. percentilise	mm
R95N	Csapadékos napok csapadékösszegének 95. percentilisét meghaladó napok száma	nap
PRCPTOT	Éves csapadékösszeg	mm
SDII	Csapadékintenzitás index: a csapadékos napokon hulló átlagos csapadék.	mm/nap

BIAS: Átlagos eltérés (modellszimuláció – referencia adatbázis) a térben átlagolt idősorok klimatológiai átlaga évszakos és éves skálán a referencia adatbázishoz viszonyítva.

Abszolút BIAS: Az összes rácspont időbeli átlagolásából számított eltérés abszolút legnagyobb eltérése (modellszimuláció – referencia adatbázis) minden évszakra és éves értékre.

95%-P: Az összes rácspont időbeli átlagolásából számított eltérés 95. percentilise (modellszimuláció – referencia adatbázis) minden évszakra és éves időtartamra.

Térbeli korreláció: A modellszimuláció és a referencia adatbázis időben átlagolt csapadékmezői között fennálló térbeli korreláció az éves és évszakos időszakokra.

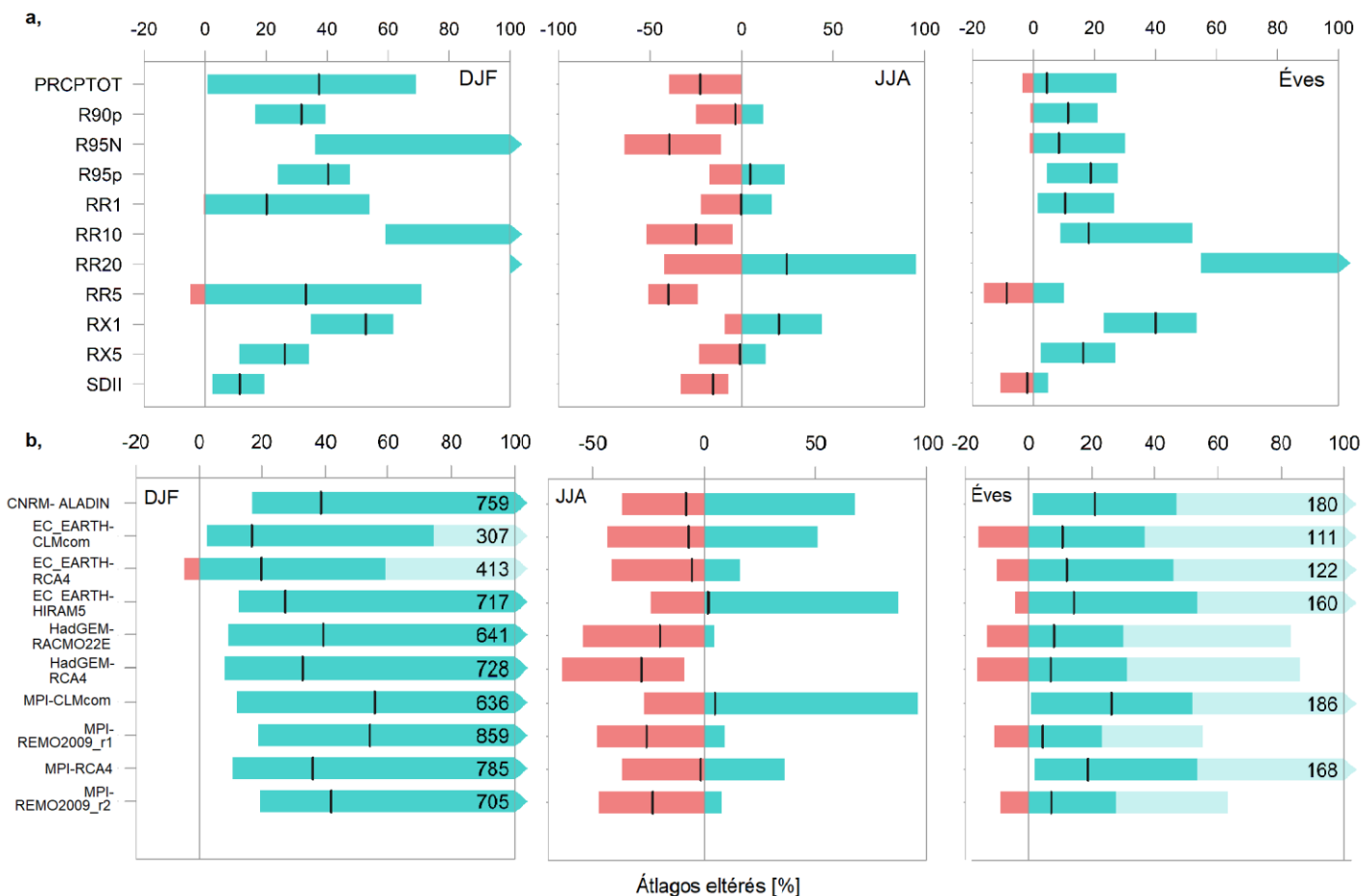
A statisztikai mérőszámok mellett lineáris trendvizsgálatot is alkalmaztunk a térben átlagolt mezőkre, a modellek eredményeinek értékelésénél a trendegyüttható értékének eltérését vettük figyelembe a referencia adatbázis trendegyütthatójához képest.

Jelen tanulmányban csak a Pannon-alföld területére mutatjuk be eredményeinket, amelynek területét egy objektív módszer segítségével jelöltük ki. Ennek értelmében a vizsgálati terület tengerszint feletti magassága nem haladhatja meg a 200 métert, illetve a szomszédos cellák közötti különbség nem lehet több mint 50 méter.

Eredmények

Célunk a modellszimulációk értékelésével nem az, hogy ki tudjuk választani a legjobban teljesítő modellt, hanem inkább az, hogy ki tudjuk válogatni azokat a szimulációkat, amelyeket ki tudunk zárni a jövőbeni vizsgálatokból.

Az átlagos eltéréseknél (1.a. ábra) éves skálán általános felülbecslés figyelhető meg a legtöbb index esetében, amely részben eredhet az adatbázis alulbecsléséből is, ezért ennek figyelembe vételéhez az eltérés 25%-ig elfogadottnak számít a szakirodalomban is.



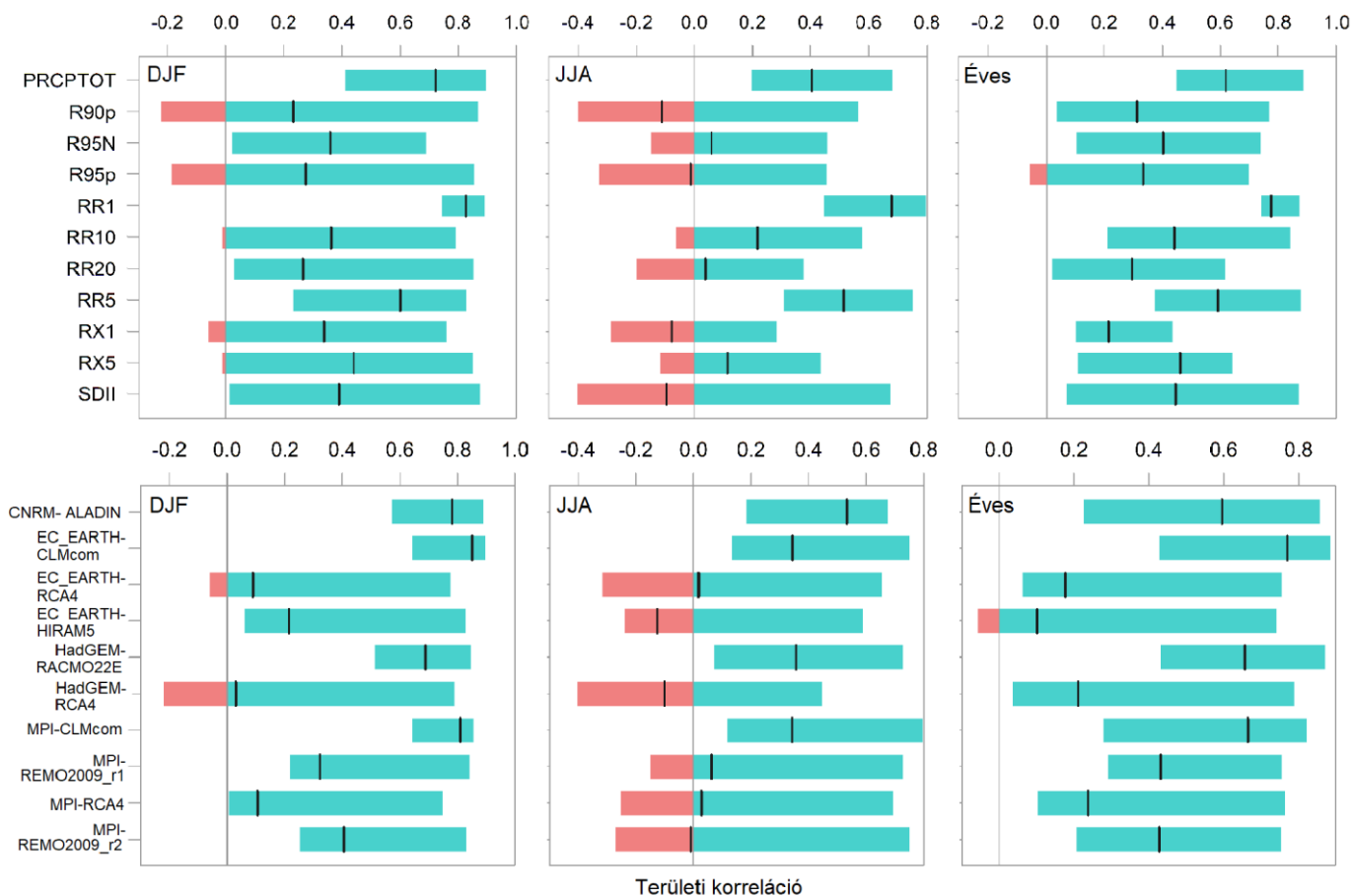
1. ábra: Átlagos eltérés (BIAS) százalékos értéke indexekre (a) és szimulációkra (b) bontva. Az alsó diagramokon világoszölddel az RR20 indexet tartalmazó értéktartomány, sötétebb zölddel pedig az RR20 index nélküli értéktartomány van ábrázolva, míg az oszlopokról leolvasható az eltérés maximuma.

Éves intervallumon az átlagos eltérés -16% és 186% között mozog, azonban az eltérések fele 2% és 25% közé esik, ami hibahatáron belül van. A legnagyobb átlagos eltérés az extrémebb, gyakorisággal kapcsolatos indexekhez kötődik (RR20 és RR95N) minden évszak, és az éves skála esetén is. Ennek oka, hogy azoknak a napoknak a száma, amelyen ilyen extrém mennyiségű csapadék hullik, átlagosan 5 alatt van, amely esetében már pár nap eltérés is óriási mértékű relatív különbséget jelent.

Az évszagos eltérések már szélsőségesebbek, mint éves szinten. Nyáron általános alulbecslés, míg télen egy index kivételével minden esetben felülbecslés figyelhető meg. Télen a maximális felülbecslés 800% felett van, a felülbecslés medián értéke 37%. A legnagyobb felülbecslés a már említett RR20 index maximum értéke, a tényleges eltérések értékei viszont csak 0,14 és 0,40 nap közöttiek. A nyári alulbecslés legnagyobb mértéke -64%, a medián értéke pedig -14%, azonban továbbra is figyelembe kell venni az E-OBS alulbecslését, így a tényleges alulbecslés mértéke nagyobb is lehet.

Az 1.b ábrán az eltérések az egyes modellekre vannak feltüntetve. A téli, és az éves időskálán vett értékek esetében, az RR20 értékét a nagy eltérés miatt külön kezeltük, így azok világoszöld színnel vannak jelölve, maximum értékük pedig jelölve van. Ezek alapján nem lehet egyértelműen különbséget tenni az egyes modellszimulációk között, ugyanakkor ha eltekintünk az RR20 index kiugró értékeitől, akkor láthatjuk, hogy a medián érték minden szimuláció esetében 25% alatt marad.

A 2.a ábrán indexekre bemutatott területi korreláció szintén mutat évszagos mintát, a nyári évszakban jelentősen alacsonyabb, illetve akár negatív is lehet a korreláció, ami valószínűleg magyarázható a nyári extrém helyzetek konvektív jellegével, amelyek jellemzően kis



2. ábra: Területi korreláció értéke indexekre (a) és szimulációkra (b) bontva.

területeket érintenek. Ennek megfelelően a nem extrém indexek nagyobb korrelációt mutatnak. Ez alól kivétel az SDII, amely nyáron az egyik leggyengébb korrelációs értékeket adja vissza, még az éves és a tavaszi időszakokban is csak 0,4 körüli medián értéket mutat.

A 2.b ábrán szintén a területi korreláció látható, viszont itt már az egyes modellek szerint rendezve, az összes indexre együttesen. Míg az éves értékek esetében a modellek területi korrelációra adott értékei általánosan 0,2 és 0,8 közötti értéket vesznek fel, az EC_Earth-CLMcom és a HadGEM-RACMO22E szimulációi jobban teljesítenek, a korrelációk 0,4 feletti értékeket vesznek fel. A nyári és téli évszak közötti különbségek a modellek oldaláról jobban meglátszódnak. A téli évszakban a fent említett két szimuláció értékei 0,6 és 0,9 között mozognak, és további két szimuláció haladja meg a 0,5-ös területi korrelációt. Ezzel

3. táblázat: Az egyes statisztikai mérőszámok által megállapított pontszám, és azok összesítése.

Tél	Trend	S. Cor	BIAS	95%-P	A. BIAS	Score
CNRM-ALADIN	6.49	3.21	7.9	6.19	4.36	28.16
EC_EARTH-CLMcom	8.58	2.52	3.58	3.77	3.08	21.53
EC_EARTH-RCA4	3.71	9.74	3.19	5.05	5.2	26.89
EC_EARTH-HIRAM5	3.82	8.43	6.43	7.52	7.95	34.14
HadGEM-RACMO22E	6.66	4.1	7.5	6.6	7.42	32.27
HadGEM-RCA4	2.85	10.39	6.07	6.63	6.26	32.2
MPI-CLMcom	5.47	3.09	9.16	7.22	5.57	30.52
MPI-REMO2009_r1	5.3	7.05	10.06	10.46	10.38	43.25
MPI-RCA4	5.6	10.09	7.38	6.92	6.38	36.37
MPI-REMO2009_r2	5.97	6.36	8.57	9.65	9.96	40.52
Nyár	Trend	S. Cor	BIAS	95%-P	A. BIAS	Score
CNRM-ALADIN	8.89	5.45	5.51	6.96	6.21	33.02
EC_EARTH-CLMcom	3.95	5.68	6.06	7.53	6.81	30.04
EC_EARTH-RCA4	4.97	9.28	3.84	7.23	7.94	33.25
EC_EARTH-HIRAM5	3.55	9.76	5.13	8	7.18	33.62
HadGEM-RACMO22E	4.66	6.17	6.84	8.17	8.23	34.07
HadGEM-RCA4	6.25	10.85	8.64	10.19	10.94	46.87
MPI-CLMcom	3.44	5.81	5.33	7.21	7.34	29.12
MPI-REMO2009_r1	6	8.24	7.39	9.65	9.68	40.96
MPI-RCA4	1.92	8.92	3.71	7.13	7.6	29.27
MPI-REMO2009_r2	3.69	8.74	6.88	9.31	9.44	38.06
Éves	Trend	S. Cor	BIAS	95%-P	A. BIAS	Score
CNRM-ALADIN	6.85	5.13	7.23	8.7	7.16	35.06
EC_EARTH-CLMcom	4.84	3.55	4.61	6.32	5.93	25.24
EC_EARTH-RCA4	6.1	10.36	5.12	8.21	7.94	37.73
EC_EARTH-HIRAM5	6.24	10.67	6.23	8.96	8.28	40.38
HadGEM-RACMO22E	5.31	4.34	4.18	6.14	6.63	26.6
HadGEM-RCA4	3.7	9.93	4.1	7.58	7.88	33.19
MPI-CLMcom	5.82	5.51	9.01	9.29	8.61	38.24
MPI-REMO2009_r1	6.42	7.52	3.88	7.67	9.91	35.41
MPI-RCA4	4.31	9.71	7.39	9.46	8.59	39.46
MPI-REMO2009_r2	3.65	7.79	4.1	7.87	10.12	33.53

ellentétben az EC Earth és a HadGEM globális modellekkel meghajtott RCA4 szimulációk általánosan rosszabban teljesítenek mind a téli és nyár hónapokban.

A modellek rangsorolása

A modellek teljesítményének számszerű összehasonlításához pontozási rendszert használtunk, amelyek eredményei a 3. táblázatban találhatóak.

A szimulációk eredményeit a statisztikai mérőszámok és a trendegyütthetők alapján úgy rangsoroltuk, hogy az egyes indexek összes modellre vett értékét standardizáltuk, majd összegeztük. Így az egyes mérőszámokra adott pontszám 0-11 között mozoghat (11 index esetén), és így a végső pontszám 0 és 55 között lehet, az öt mérőszám figyelembevételével. A 3. táblázat mind az egyes mérőszámokat, mind az összesített pontszámot tartalmazza az összes modellre. Az értékeléshez megjegyezzük, hogy minél magasabb a kapott pontszám (piros háttérrel jelölve), annál rosszabban teljesít az adott modell. Ugyanakkor a pontosabb modellszimulációkat pedig zöld háttér jelzi.

A trendegyütthető és a területi korreláció esetében számos modell teljesítménye fordított. Azok a modellek, amelyek jobban teljesítenek a trend irányának és nagyságának szimulálásában, rosszabban teljesíthetnek a területi mintázatok visszaadásában, és fordítva.

A modellek eltérése a téli hónapokra a legalacsonyabb, míg a nyári hónapokban a legmagasabb. Éves skálán is nagyobb eltérések figyelhetők meg, ugyanakkor az összpontszámokban kisebb különbségek fordulnak elő, amelyek viszont az egyes mérőszámok eltérő értékeiből adódnak. A legnagyobb eltérések a 95%-P és az abszolút eltéréseknél figyelhetők meg, amely a mérőszám jellegéből fakad. Alacsony értékek a trendegyütthetőnél figyelhetők meg, ebben az esetben a jövőre vonatkozó vizsgálathoz elengedhetetlen, hogy a modell jól adja vissza a csapadékmezőkben észlelhető trendeket.

Láthatók olyan szimulációk is, amelyek kiemelkedően rosszul teljesítenek, az MPI-REMO2009 két verziója az összes évszakban a három legrosszabban teljesítő szimuláció között van, illetve a HadGEM-RCA4 szimuláció a legrosszabban teljesít a nyári hónapokban, ellenben télen, és éves időtartamban, amikor viszont átlag felett teljesít. Ezzel szemben az EC-EARTH-CLMcom szimulációi minden időszakban a legkevesebb pontot kapták, és így a legjobban teljesítettek.

Az egyik legfontosabb szempont számunkra a trendegyütthetők mértékének és irányának pontosabb meghatározása, amely elengedhetetlen a jövőbeli trendek meghatározásához. Így, bár a téli évszakban összesített pontszámokban legjobban az EC-EARTH-CLMcom szimuláció teljesített, ennek ellenére a trendegyütthető nagy eltérése bizonytalanná teszi a jövőbeli eltéréseket is.

Összefoglalás

A modellek teljesítményének értékelése elengedhetetlen a jövőbeli becslések megadásához, a változások mértékének valószínűségeihez. Míg az általános változásokat a modellszimulációk nagy bizonyossággal adják vissza, a csapadékmezők, és főleg az időben és térben rendkívül változékony extrém csapadékos helyzetek előrejelzése nagy bizonytalanságot hordoz magában.

Jelen tanulmányunk összesen 10 modellt hasonlított össze éves és évszakos időskálán, amely alapján az alábbi következtetésekre jutottunk:

1. Az átlagos eltérés mediánja éves időskálán a 20%-os eltérés alatt marad, két index kivételével felülbecsül. Télen jelentős felülbecslés, nyáron pedig alulbecslés figyelhető meg az összes modell esetében.

2. Az extrémebb indexek esetében nagyobb az eltérés, azonban ezek az indexek jellegéből is fakadhatnak, itt többszörös túlbecslés is megfigyelhető.

Nem lehet egyértelműen kiválasztani szimulációkat, amelyek kiemelkedően jól teljesítenek, viszont találhatunk olyan modelleket, amelyek eredményeit kizárhatjuk a vizsgálatból. Fontos megjegyezni, hogy jelen tanulmányunkat egy megadott területre végeztük el, így nem állítható teljes bizonyossággal, hogy az általunk kizárandónak minősített modellek esetleg nem teljesítenének jól más régiókban. Ennek okán a továbbiakban a modellek validációját más területekre is kiterjesztjük majd.




Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap K-129162 és K 120605 számú projektje, valamint az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium az RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt keretében.

Hivatkozások

- Adam, J.C., Lettenmaier, D.P., 2003: Adjustment of global gridded precipitation for systematic bias. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D9). <https://doi.org/10.1029/2002JD002499>
- Cornes, R. C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E. J. M., Jones, P. D., 2018: An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123: 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
- Hofstra, N., Haylock, M., New, M., Jones, P.D., 2009: Testing E-OBS European high-resolution gridded data set of daily precipitation and surface temperature. *Journal of Geophysical Research*, 114(D21). <https://doi.org/10.1029/2009JD011799>
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., et al., 2014: EURO-CORDEX: A new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional environmental change*, 14(2): 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Kotlarski, S., Szabó, P., Herrera, S., Rätty, O., Keuler, K., Soares, P.M., Cardoso, R.M., Bosshard, T., Pagé, C., Boberg, F., Gutiérrez, J.M., Isotta, F.A., Jaczewski, A., Kreienkamp, F., Liniger, M.A., Lussana, C., Pianko-Kluczyńska, K., 2017: Observational uncertainty and regional climate model evaluation: A pan-European perspective. *International Journal of Climatology*, 39(9): 3730–3749. <https://doi.org/10.1002/joc.5249>
- Wolff, M.A., Isaksen, K., Petersen-Øverleir, A., Ødemark, K., Reitan, T., Brækkan, R., 2015: Derivation of a new continuous adjustment function for correcting wind-induced loss of solid precipitation: results of a Norwegian field study. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2): 951–967. <https://doi.org/10.5194/hess-19-951-2015>
-

ORCID

- Berényi A.  <https://orcid.org/0000-0002-5985-0531>
- Pongrácz R.  <https://orcid.org/0000-0001-7591-7989>
- Bartholy J.  <https://orcid.org/0000-0002-3911-7981>