

ÉGHAJLATI SZÉLSŐSÉGEK VIZSGÁLATA REGIONÁLIS KLÍMAMODELLEK NYERS ÉS HIBAKORRIGÁLT ADATAI ALAPJÁN A KÁRPÁT-MEDENCE TÉRSÉGÉRE

Simon Csilla , Torma Csaba Zsolt , Kis Anna 

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet,
Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: csilluss58@student.elte.hu, tcsabi@caesar.elte.hu, kiaqagt@staff.elte.hu

Bevezetés

Napjaink egyik fő kihívását jelenti a klímaváltozás, amelynek kapcsán a különböző éghajlati extrémumok – például az átlagosnál hidegebb vagy melegebb időszakok, a rövid idő alatt lehulló, nagy mennyiségű csapadék – előfordulási gyakorisága és intenzitása is megváltozik. A szélsőséges időjárási jelenségek a jövőben várhatóan egyre gyakrabban fognak bekövetkezni (IPCC, 2021). Ezek jelentős károkat okozhatnak a gazdaság szektorainak, az infrastruktúrában és az ökoszisztémában egyaránt. Fontos még kiemelni az emberi szervezetre gyakorolt terhelést, amellyel főleg a nyári hőhullámok idején kell számolnunk.

A globális és a regionális klímamodellek kiemelt fontosságú eszközei az éghajlatkutatásnak. A globális éghajlati modellek (GCM) durvább, 100–500 km-es horizontális felbontással rendelkeznek, emiatt nem képesek pontosan leírni a regionális léptékben megjelenő szélsőségeket. A regionális klímamodellek (RCM) általában a meghajtó globális modell belső felépítését másolják, de csak egy kiválasztott területre korlátozódnak, ahol finomabb felbontással (10–50 km) rendelkeznek; így képesek leírni olyan, kisebb skálájú folyamatokat is, amelyeket a GCM-ek durvább felbontása nem tesz lehetővé (Farda et al., 2010). Az RCM-ek jobban reprezentálják az extrém eseményeket, ezáltal ténylegesen pozitív hozzáadott értéket biztosítanak, különösen a komplex topográfiával rendelkező partmenti és hegyvidéki területeken (Torma et al., 2015, Fantini et al., 2018, Ciarlo et al., 2021), illetve az extrém csapadékesemények, valamint a helyi szélrendszerek esetén (Evin et al., 2021). A regionális projekciók azonban többféle bizonytalansággal terheltek – ennek felmérése, csökkentése érhető el a modellek együttes kiértékelésével, illetve hibakorrigált adatok felhasználásával. Kutatásunk során hőmérséklethez és csapadékhoz kötődő éghajlati szélsőségeket vizsgálunk Magyarországot érintően a 21. század végéig bezárólag.

Felhasznált adatok

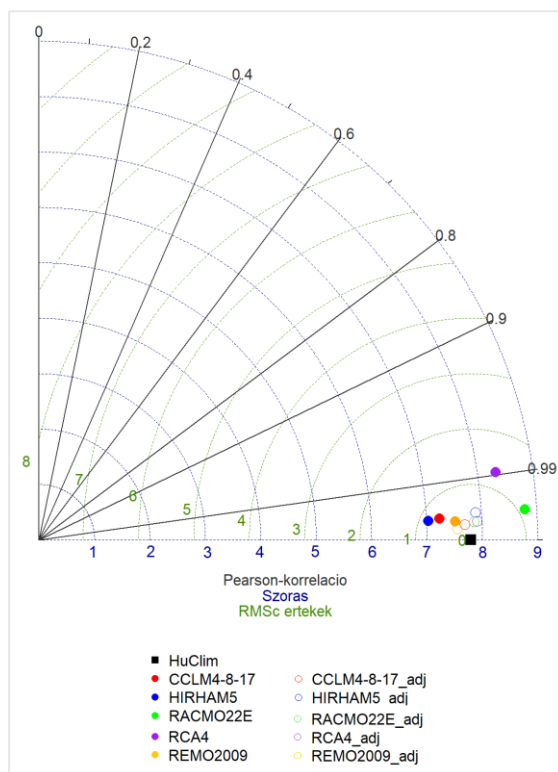
Az elmúlt évtizedekben több olyan nemzetközi projekt valósult meg, amelynek keretében hozzáférhető regionális klímamodell-adatbázis került létrehozásra, ilyen például a CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment; Giorgi et al., 2009), melynek Európát lefedő tartománya az EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014). Munkánkhoz ennek a programnak a keretében elérhető modelleredmények közül kiválasztott öt regionális klímamodell nyers és hibakorrigált napi adatsorait használjuk fel négy változóra (középhőmérséklet, minimum- és maximumhőmérséklet, csapadékösszeg), az 1976–2100 időszakra. Az RCM szimulációk egységesen $0,11^\circ$ (nagyjából $12,5$ km-nek megfelelő) horizontális felbontással rendelkeznek és a pesszimista, RCP8.5 kibocsátási szcenárió (Moss et al., 2010) feltételezése mellett készültek. A hibakorrektúra az eloszlás alapú skálázás módszerével történt (Yang et al., 2010) a MESAN (Mesoscale Analysis) reanalízis adatbázis (Häggmark et al., 2000) felhasználásával. Kutatásunkhoz az odp.met.hu oldalon elérhető homogenizált, interpolált HuClim mérési

adattábazist használjuk referenciaként, amely az 1971–2021 időszakot fedi le, és 0,1°-os horizontális felbontással rendelkezik.

Eredmények

Ebben a fejezetben bemutatunk néhány eredményt a felhasznált regionális klímamodellek validációjával kapcsolatosan Magyarországra, az 1976–2005 közötti időszakra vonatkozóan. Vizsgálatunkban a nyers és a hibakorrigált szimulációk összehasonlítására fókuszáltunk, és kiszámítottunk néhány, a hőmérséklettel kapcsolatos éghajlati indexet is. A modellvalidációt a HuClim adatbázis felhasználásával végeztük el éves, illetve évszakos bontásban.

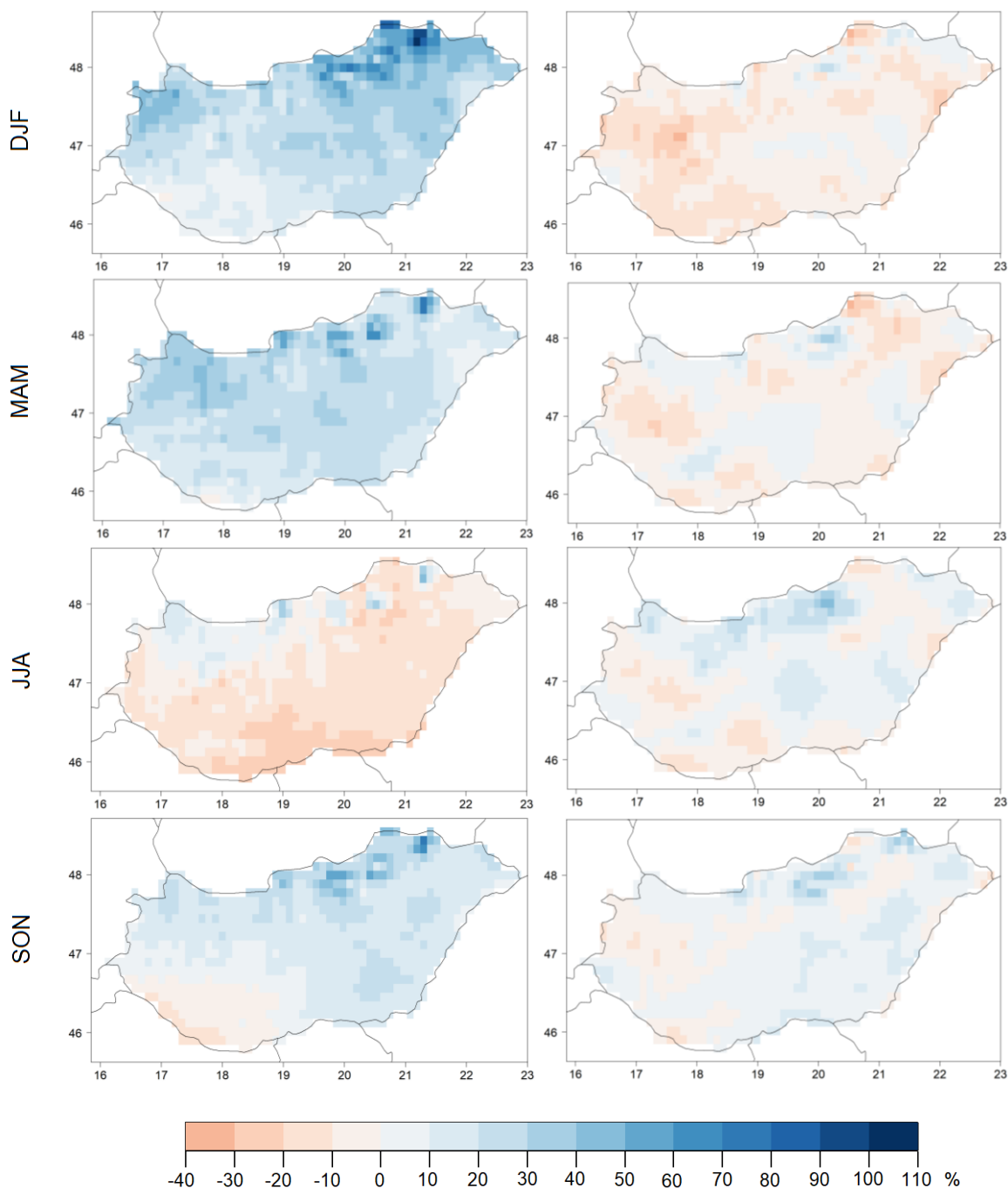
A napi középhőmérséklet 30 éves havi átlagára vonatkozó statisztikákat Taylor-diagram formájában jelenítettük meg (1. ábra). Jól látható, hogy a nyers szimulációk kisebb korrelációval és nagyobb átlagos négyzetes hibával rendelkeznek – ezen értékek alapján a RACMO22E és az RCA4 bizonyult a két leggyengébb eredményt mutató modellnek –, míg a hibakorrigált szimulációk teljesítménye a REMO2009 kivételével minden RCM esetében javult a nyers adatsorokhoz képest. A kiszámított statisztika alapján elmondhatjuk, hogy a vizsgált klímamodellek közül összességében a CCLM4-8-17 és a REMO2009 közelítette a legpontosabban a referencia adattábazist.



1. ábra: A vizsgálathoz felhasznált regionális klímamodellek 30 éves átlagos havi középhőmérsékletre vonatkozó szimulációinak a referencia adattábazissal (HuClim) történő összehasonlítására szolgáló Taylor-diagram. A beszínezett pöttyök adott modell nyers szimulációit jelzik, míg a megegyező színű körök ugyanazon modell hibakorrigált verzióját jelölik. A validáció az 1976–2005 közötti időszakra történt.

Megvizsgáltuk az évszakos csapadékösszeg 30 éves átlagát az előbb említett időszakban, és a 2. ábrán megjelenítettük a nyers, valamint a hibakorrigált multimodell-átlag mérési adatoktól vett eltérését. Jól látható, hogy a nyers szimulációk jobbra felülbecslik a csapadékot, főként az Északi-középhegység és a Kisalföld térségében. Az RCM-ek közül leginkább a HIRHAM5,

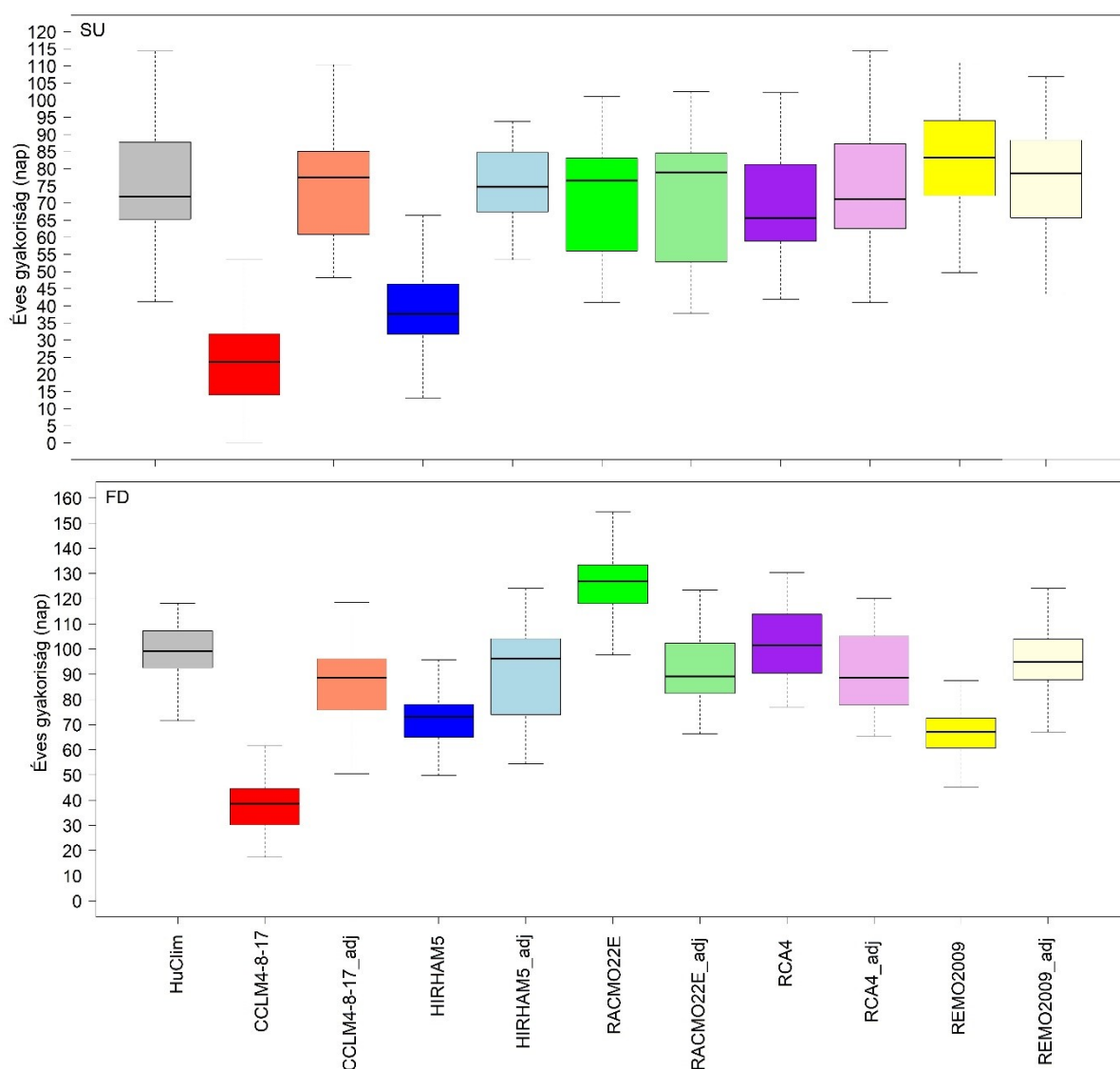
valamint az RCA4 esetében jellemző a legnagyobb felülbecslés. Kivételt csak a nyári évszak jelent, amikor az ország nagyrészen – főként az alacsonyabb térszíneken – mintegy 30–40%-os alulbecslés fordul elő. A hibakorrigált eredményeket tekintve a hegyvidékeken már csak gyengébb (+20–30%) felülbecslés figyelhető meg, ellenben főként a Dunántúlon és az Észak-Alföldön 20–30%-kal kevesebb csapadékot szimulálnak a modellek a mérési adatokhoz viszonyítva.



2. ábra: Öt regionális klímamodell szimulációja alapján számolt átlagos évszakos csapadékösszeg eltérése a HuClim adatokhoz képest az 1976–2005 közötti időszakban, százalékban kifejezve. Bal oldalon a nyers, jobb oldalon a hibakorrigált modellszimulációk ensemble átlag eredményei láthatók.

Az általunk vizsgált éghajlati indexek közül a nyári napok (SU; $T_{\max} > 25\text{ °C}$) és a fagyos napok (FD; $T_{\min} < 0\text{ °C}$) éves gyakoriságának 30 éves területi átlagára jellemző statisztikáit mutatjuk be, melyek megjelenítéséhez Box-whiskers diagramot alkalmaztunk (3. ábra).

Az 1976–2005 közötti időszakban a HuClim adatbázis szerint területi átlagban évi 75 nyári nap és 98 fagyos nap következett be Magyarországon. Ezen indexek értékét a modellek nyers szimulációi 3–35 nappal alulbecsülték – ez alól kivételt jelent az SU esetén a REMO2009 (+8 nap), az FD esetén pedig a RACMO22E (+27 nap) és az RCA4 (+4 nap). A legnagyobb alulbecslés a CCLM4-8-17 és a HIRHAM5 klímamodellekhez köthető. A hibakorrigált adatok alapján a nyári napok számát a HIRHAM5 (−0,1 nap) és az RCA4 (+0,2 nap) közelítette legjobban, míg a fagyos napok átlagos éves számát tekintve szintén a HIRHAM5 (−6 nap), valamint a REMO2009 (−3,7 nap) bizonyult a legpontosabbnak.



3. ábra: A vizsgálathoz felhasznált regionális éghajlati modellek, valamint a referencia adatbázis (HuClim) alapján számított, a nyári napok (SU; fent) és a fagyos napok (FD; lent) átlagos éves gyakoriságára vonatkozó Box-whiskers-diagramok. A validáció az 1976–2005 időszakra történt.

Kitekintés – jövőbeli tervek

A kutatás következő lépéseként elvégezzük a nyers modellszimulációk hibakorrigálását egy nemzetközileg elismert korrekciós eljárással, a HuClim adatbázis felhasználásával – aminek jelentősége abban rejlik, hogy ez a jelenleg elérhető legpontosabb, méréseken alapuló adatbázis Magyarországra vonatkozóan, melynek felhasználásával még nem készült hozzáférhető hibakorrigált adatsor. Az eljárás végeztével összehasonlítjuk a letöltött hibakorrigált szimulációkat az általunk létrehozott adatbázissal.

Köszönetnyilvánítás

A felhasznált regionális klímamodel-szimulációkat a CORDEX program keretében állították elő, melyek letölthetők például a <https://esgf-data.dkrz.de/> oldalról. Köszönettel tartozunk az Országos Meteorológiai Szolgálatnak a szabadon hozzáférhető HuClim adatbázisért (odp.met.hu).

Hivatkozások

- Ciarlo, J. M., Coppola, E., Fantini, A., Giorgi, F., Gao, X.J., Tong, Y., Glazer, R. H., Torres Alvarez, J. A., Sines, T., Pichelli, E., Raffaele, F., Das, S., Bukovsky, M., Ashfaq, M., Im, E.-S., Nguyen-Xuan, T., Teichmann, C., Remedio, A., Remke, T., Bülow, K., Weber, T., Buntmeyer, L., Sieck, K., Rechid, D., Jacob, D., 2021: A new spatially distributed added value index for regional climate models: the EURO-CORDEX and the CORDEX-CORE highest resolution ensembles. *Climate Dynamics*, 57: 1403–1424. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05400-5>
- Evin, G., Somot, S., Hingray, B., 2021: Balanced estimate and uncertainty assessment of European climate change using the large EURO-CORDEX regional climate model ensemble. *Earth System Dynamics, Discussion [preprint]*. <https://doi.org/10.5194/esd-2021-8>
- Fantini, A., Raffaele, F., Torma, Cs., Bacer, S., Coppola, E., Giorgi, F., Ahrens, B., Dubois, C., Sanchez, E., Verdecchia, M., 2018: Assessment of multiple daily precipitation statistics in ERA-Interim driven Med-CORDEX and EURO-CORDEX experiments against high resolution observations. *Climate Dynamics*, 51: 877–900. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3453-4>
- Farda, A., Déqué, M., Somot, S., Horányi, A., Spiridonov, V., Tóth, H., 2010: Model ALADIN as regional climate model for Central and Eastern Europe. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 54: 313–332. <https://doi.org/10.1007/s11200-010-0017-7>
- Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G., 2009: Addressing climate information needs at the regional level: The CORDEX framework. *WMO Bulletin*, 58: 175–183.
- Häggmark, L., Ivarsson, K.-I., Gollvik, S., Olofsson, P.-O., 2000: Mesan, an operational mesoscale analysis system. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 52(1): 2–20. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v52i1.12250>
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 254 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>

- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana J-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14: 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.E., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463: 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Torma, Cs. Zs., Giorgi, F., Coppola, E., 2015: Added value of regional climate modeling over areas characterized by complex terrain – Precipitation over the Alps. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120: 3957–3972. <https://doi.org/10.1002/2014JD022781>
- Yang, W., Andréasson, J., Graham, L. P., Olsson, J., Rosberg, J., Wetterhall, F., 2010: Distribution based scaling to improve usability of RCM regional climate model projections for hydrological climate change impacts studies. *Hydrology Research*, 41(3-4): 211–229. <https://doi.org/10.2166/nh.2010.004>
-

ORCID

- Simon Cs.  <https://orcid.org/0000-0001-7406-0784>
- Torma Cs. Zs.  <https://orcid.org/0000-0002-4240-0788>
- Kis A.  <https://orcid.org/0000-0002-3227-1230>