

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
METEOROLÓGIAI TANSZÉK

CSAPADÉKEXTRÉMUMOK MÚLTBELI TENDENCIÁI, JÖVŐRE
BECSÜLT VÁLTOZÁSAI ÉS HIDROLÓGIAI HATÁSAI

című doktori értekezés tézisei

KIS ANNA

FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Iskolavezető: Dr. Bartholy Judit, egyetemi tanár, az MTA doktora

FÖLDRAJZ-METEOROLÓGIA PROGRAM

Programvezető: Dr. Szabó Mária, egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető:

DR. PONGRÁCZ RITA

adjunktus

a földtudományok doktora (PhD)

Konzulensek:

DR. BARTHOLY JUDIT

egyetemi tanár

az MTA doktora

SZABÓ JÁNOS ADOLF

Okleveles matematikus, hidrinformatikai szakértő

BUDAPEST, 2018

1. Bevezetés és célkitűzések

A csapadék egy kiemelten fontos meteorológiai változó, mivel a víz – közvetve vagy közvetlenül – kisebb-nagyobb mértékben minden emberi tevékenységet befolyásol (az olyan jelentős tényezőktől kezdve, mint például a mezőgazdasági termelés, az olyan egyszerű esetekig, mint egy-egy szabadtéri elfoglaltság). A doktori kutatás keretében a múltbeli csapadéktendenciákat és csapadékextrémumokat, valamint ezek jövőre becsült változásait és a lefolyásra gyakorolt lehetséges következményeit vizsgáltuk. A téma aktualitását indokolja, hogy napjainkra már érzékelhető a globális éghajlatváltozás hatása, amely nem csupán magasabb hőmérsékleti értékekkel jár: az extrém időjárási helyzetek is gyakrabban fordulnak elő, amelyek komoly természeti-, környezeti- és gazdasági károkat okozhatnak. Eredményeink fontosságát alátámasztja a különböző hatásvizsgálatok iránti megnövekedett igény, mind hazai, mind nemzetközi szinten, hiszen a megváltozott körülményekhez való alkalmazkodásnak kiemelt szerepe van és lesz az elkövetkezendő években a potenciális károk mérséklésének érdekében.

2. Adatok és módszerek

A múltbeli (1961–2010) csapadéktendenciák elemzéséhez az állomási mérések alapján összeállított, homogenizált és szabályos rácsra interpolált CARPATCLIM adatbázist használtuk fel. A jövőre – XXI. századra – vonatkozó vizsgálatokhoz az ENSEMBLES projekt keretében 1951–2100 időszakra futtatott regionális klímamodell-szimulációkat alkalmaztunk; összesen 11 különböző RCM idősora alapján végeztük el számításainkat, hogy a becslések bizonytalanságát is számszerűsíthessük. Az RCM-ek csapadékmezőit egy múltbeli időszakra validáltuk, amely során a CARPATCLIM adatbázist tekintettük referenciának. A validáció során tapasztalt szisztematikus hibák kiküszöbölésének érdekében percentilis-alapú korrekciót hajtottunk végre az RCM-outputokon, hogy a valósághoz közelebb álló adatokkal dolgozhassunk. A nemzetközi szakirodalomban az egyik legjobb eljárásnak tartott hibakorrekció a tapasztalati eloszlásfüggvények illesztésén alapul, amelyet minden modellre, minden hónapra és minden rácspontra külön elvégeztünk, a stacionaritás feltételezésével.

Az éghajlatváltozás lefolyásra gyakorolt hatásának vizsgálatához a fizikai alapú, osztott DIWA hidrológiai modellt használtuk, amelynek a szükséges bemeneti meteorológiai

idősorait a RegCM4 regionális klímamodell biztosította. Az éghajlati modellek megbízhatósága a hatástanulmányok során különösen fontos kérdés. Mivel a RegCM4 esetén is tapasztalhattunk szisztematikus alul-, illetve felülbecsléseket, ebben az esetben is hibakorrekciót alkalmaztunk. Mint tudjuk, a korrekciós eljárásoknak is vannak hátrányai, ezért a nyers modelleredmények alapján is elvégeztük elemzéseinket, így lehetőségünk adódott azok összehasonlítására. A lefolyás egy összetett, nemlineáris elemeket tartalmazó folyamat, ahol egy-egy tényező apró megváltozása is jelentős eltéréseket okozhat az eredményekben, így már a historikus időszakra vonatkozó elemzéseinket sem csak egy idősor alapján végeztük el. Annak érdekében, hogy megkapjuk a valós statisztikai jellemzőket, Monte-Carlo rendszerbe ágyazva időjárás-generátorral számtalan lehetséges alakulását állítottuk elő a meteorológiai változóknak, amelyekkel aztán mind meghajtottuk a DIWA hidrológiai modellt. Ily módon több száz, azonos valószínűséggel bekövetkező scenárió állt rendelkezésünkre a historikus időszakra, valamint két jövőbeli időszakra (XXI. század közepe és vége) vonatkozóan is. A célterületre (Felső-Tisza vízgyűjtő) végzett validációs vizsgálatok kielégítőnek bizonyultak, így az összekapcsolt modell-rendszerünket megfelelőnek tekinthetjük a klímaváltozás hidrológiai következményeinek elemzésére.

3. Tézisek

A doktori kutatás eredményeit az alábbi tézispontokban foglalhatjuk össze:

1. A regionális klímamodellek múltra vonatkozó csapadékszimulációi eltérnek a referenciának tekintett, állomási mérések alapján összeállított CARPATCLIM adatbázistól. Hibakorrekció segítségével elimináltuk a szisztematikus eltéréseket.
 - A modellek nyáron jelentősen alulbecslik, míg a többi évszakban, különösen télen, felülbecslik a CARPATCLIM alapján számított átlagos havi csapadékösszegeket.
 - A szisztematikus eltérések következtében a modellek többsége nem tudja helyesen reprodukálni a csapadék éves menetét.
 - A térbeli szerkezetet tekintve nem tapasztaltunk jelentősebb eltérést a szimulációk és a referencia adatbázis között.
 - A tapasztalati eloszlásfüggvények illesztésén alapuló, modellenként, havonta és rácspontonként alkalmazott percentilis-alapú hibakorrekció eredményeként kapott

idősorok statisztikai értelemben megegyeznek a valós éghajlati viszonyokkal. A hibakorrigált szimulációk térbeli szerkezete nem sérült, a csapadék éven belüli eloszlása helyesen jelenik meg, nyári maximumokkal és téli minimumokkal, valamint a havi átlagos csapadékösszegek is jó egyezést mutatnak a CARPATCLIM alapján számított értékekkel.

- A hidrológiai folyamatok becsléséhez egy összetettebb eljárást választottunk, amely nem csupán egy idősort tekint referenciaként, hanem az éghajlat akár több száz, azonos valószínűséggel bekövetkező független realizációját veszi figyelembe. A Monte-Carlo ciklusba ágyazott időjárás-generátor segítségével megismerhetjük az éghajlat statisztikai jellemzőire adott vízgyűjtő-válaszok statisztikai jellemzését, valamint számszerűsíthetjük a becslések bizonytalanságát is.
 - A jövőre becsült változások iránya nem változik a korrekció hatására, azonban a változások mértékében eltérés lehet a nyers RCM-outputok alapján számított értékekhez képest.
2. A XXI. századra vonatkozó RCM-szimulációk szerint a csapadék időbeli eloszlásának megváltozása valószínűsíthető a Kárpát-medencében. Nyáron szárazodás várható, míg télen a csapadék növekedése becsülhető. Ennek következtében a jövőben a csapadék éven belüli eloszlása valamelyest kiegyenlítettebb lesz, hiszen a jelenleg legszárazabb évszakunkban több, míg a jelenleg legnedvesebb évszakunkban kevesebb csapadék várható majd.
3. A különböző, szárazságra és kismennyiségű csapadéokra vonatkozó éghajlati indexek átlagos értékeiben a tél kivételével növekedésre számíthatunk, amely a XXI. század végén lesz hangsúlyosabb.
- A Kárpát-medencében az RCM-szimulációk becslései alapján nyáron a csapadékos napok száma 20–30%-kal csökkenni, az egymást követő száraz napok maximális száma és a száraz időszakok átlagos hossza mintegy 40%-kal növekedni fog (a legtöbb modell szerint szignifikáns a változás). A szárazodó tendencia a vizsgált terület délebbi régióiban (Horvátország, Szerbia, Dél-Magyarország) lesz markánsabb.
 - Télen az északi területeken (Szlovákia, Ukrajna) kismértékű csökkenés várható, míg délen szinte változatlan marad a CDD¹, MDS², DD³ értéke. Az RR1⁴ és az

¹ CDD: Egymást követő száraz napok maximális száma

² MDS: Egymást követő száraz napok átlagos száma

RR5⁵ index jelentősebb növekedése becsülhető ebben az évszakban. A XXI. század közepére rendre 4%-kal, illetve 10%-kal növekszik a csapadékos napok száma a teljes CARPATCLIM régió területi átlagait tekintve.

- Az átmeneti évszakokban a nyárhoz hasonlóan szárazabb éghajlati viszonyok várhatóak a jövőben. A CDD tavasszal az é. sz. 48°-ától dél felé haladva egyre erőteljesebb növekvő tendenciát mutat, ősszel pedig a teljes vizsgált területen nagyobb értékek valószínűsíthetőek a referencia időszakhoz képest.

4. Az extrém csapadéktevékenység a jövőben intenzívebb és gyakoribb lesz térségünkben a modellszimulációk szerint, elsősorban télen és ősszel.

- A két jövőbeli időszakot tekintve megállapíthatjuk, hogy 2071–2100-ban számíthatunk markánsabb változásokra, és a változások 2021–2050-re becsült iránya a nyár kivételével minden évszakban ugyanaz marad a XXI. század végére is.
- Télen a XXI. század végére a multi-modell átlag alapján átlagosan 10–20%-kal fognak megnövekedni a csapadék intenzitására vonatkozó indexek értékei. A változások az északi régiókban lesznek jelentősebbek a szimulációk szerint.
- Nyáron a vizsgált indexek csökkenését valószínűsítik a modellek, kivéve az RX1⁶-et és az SDII⁷-t, amelyek esetén térbeli elkülönülés figyelhető meg: északon növekvő, délen csökkenő tendencia várható.
- Az átmeneti évszakokban a télhez hasonlóan a csapadékinintenzitással, illetve az extrém csapadéktevékenységgel összefüggő indexek növekedése várható az RCM-szimulációk szerint. Tavasszal nagyobb bizonytalanság jelenik meg a XXI. század végére vonatkozó becslések esetén.

5. A XXI. század során a napi középvízhozamok csökkenése várható (mind a nyers, mind a korrigált szimulációk szerint) a Felső-Tisza tiszabecsi szelvényében.

- A nyers és a hibakorrigált meteorológiai paraméterekkel meghajtott Monte-Carlo ciklusba ágyazott időjárás-generátor által előállított azonos valószínűségű, független meteorológiai idősorokkal futtatott DIWA-szimulációk a változások irányát illetően megegyeznek, azonban a szimulált lefolyás-jellemzők jelentősen

³ DD: Száraz napok száma

⁴ RR1: Csapadékos napok száma

⁵ RR5: Az 5 mm-t meghaladó csapadékú napok száma

⁶ RX1: Az 1 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség

⁷ SDII: Csapadékinintenzitás

eltérnek egymástól (mivel a korrekció hatására csökkent az általános csapadék-felülbecslés).

- A havi léptékű vizsgálatok során a jövőre becsült csapadék- és hőmérsékletváltozásoknak megfelelően kirajzolódott a nyári hónapok lefolyásának jelentős csökkenése (különösen júliusban és augusztusban), valamint a januárra és februárra valószínűsíthető kisebb mértékű növekedés.
 - A távolabbi jövőre becsült változások (a lefolyás csökkenése) áprilistól októberig szignifikánsnak bizonyultak a Kolmogorov-Szmirnov próba alapján (a nyers szimulációk szerint a téli hónapokra jelzett növekedés is szignifikáns).
6. A harmadfokú árvízvédelmi készültségi szintet meghaladó esetek száma várhatóan kevesebb lesz a XXI. század közepére és végére.
- A hőmérsékletnövekedés következtében a havazás, illetve a hóban tárolt vízkészlet mennyisége elenyészőbb lesz, amely a tavaszi áradások csökkenését hozza magával.
 - A nyári áradások is kisebb valószínűséggel fordulnak majd elő, hiszen az általános csapadékcsökkenés, illetve a hosszabb száraz tartamok következtében alacsonyabb lesz az árhullám kezdetekor a mederteltség, így az esetleges jelentősebb csapadékesemények okozta nagyobb árhullámokat könnyedén el tudja majd vezetni a folyó.
 - Habár kevesebb lesz a harmadfokú árvízvédelmi készültségi szintet meghaladó esetek száma, azonban azok időnként súlyosabbak lesznek a jelenleg megszokottaknál.
7. A kritikusan alacsony mederteltségek számának növekedésére számíthatunk a július és október közötti időszakban a jövőben.
- A változások a távolabbi jövőre vonatkozóan jelentősebbek.
 - A nyers és a korrigált klímaszimulációk alapján kapott értékek eltérnek egymástól, azonban a jövőre becsült tendenciák iránya a szignifikáns esetekben megegyezik.

4. Következtetések

Kutatásunk alapján megállapíthatjuk, hogy a Kárpát-medencében a csapadék éven belüli eloszlásának változása valószínűsíthető a jövőben, továbbá az extrém csapadékesemények száma és a csapadékintenzitás is növekedni fog a legtöbb hónapban. Ezek a becsült

változások a lefolyásra is jelentős hatással lesznek: a regionális klímamodell-outputokkal meghajtott hidrológiai szimulációkat alkalmasnak találtuk ennek részletesebb elemzésére. A vizsgálatban rejlő bizonytalanságok miatt célszerű lehet együttesen vizsgálni a nyers és a hibakorrigált éghajlati szimulációkat, hogy realisabb adatokkal dolgozhassunk, de meggyőződhetünk róla, hogy a korrekció nem okozott-e eltérést a becsült változások irányát illetően. Eredményeink alapján levonhatjuk a következtetést, hogy az árvizekkel szembeni védekezés mellett elsődlegesen a kisebb levonuló vízmennyiségre kell megfelelő tározással felkészülni. A sikeres alkalmazkodás érdekében a becsült éghajlati tendenciák figyelembevételével átgondolt vízkészlet-gazdálkodási stratégiát szükséges kidolgozni annak érdekében, hogy a XXI. századra valószínűsíthető jelentős vízhozam-csökkenés ne okozzon súlyos problémát a jövőben.

Az értekezés témakörében készült publikációk

Lektorált cikkek:

- Szelepcsényi Z., Breuer H., Kis A., Pongrácz R., Sümegi P. (2018): Assessment of projected climate change in the Carpathian Region using the Holdridge life zone system. *Theoretical and Applied Climatology*, 131(1–2). pp. 593–610. DOI:10.1007/s00704-016-1987-3
- Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., Szabó J.A. (2017): Application of RCM results to hydrological analysis. *Időjárás*, 121(4) pp. 437–452.
- Kis A., Pongrácz R., Bartholy J. (2017): Multi-model analysis of regional dry and wet conditions for the Carpathian Region. *International Journal of Climatology*, 37, pp. 4543–4560. DOI:10.1002/joc.5104
- Bartholy J., Pongrácz R., Kis A. (2015): Projected changes of extreme precipitation using multi-model approach. *Időjárás*, 119(2) pp. 129–142.
- Pongrácz R., Bartholy J., Kis A. (2014): Estimation of future precipitation conditions for Hungary with special focus on dry periods. *Időjárás*, 118(4) pp. 305–321.

További közlemények:

- Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., Szabó J.A. (2017): A Felső-Tisza vízgyűjtő vizsgálata éghajlati és hidrológiai szimulációk alkalmazásával. *Léggör*, 62(4) pp. 179–182.
- Kis A., Szabó J.A., Pongrácz R., Bartholy J. (2017): Hydrological simulations based on regional climate model outputs. In: *Electronic book with full papers from XXVII Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. pp. 257–263. ISBN 978-954-90537-2-2. Golden Sands, Bulgária. 2017. szeptember 26–28. http://www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf
- Kis A., Pongrácz R., Szabó J.A., Bartholy J. (2017): Csapadékszimuláció megbízhatóságának vizsgálata hidrológiai modell felhasználásával. In: *Bányászat és környezet – harmóniában. Tanulmánykötet.* (Cserny T., Alpek B.L., szerk.) ISBN 978-963-8221-68-1 Magyarhoni Földtani Társulat, Pécs. pp.100–103. Online elérhető: http://hungeo.hu/sites/default/files/upload/HUNGEO_Tanulmánykötet_v1.3_kész.pdf
- Pongrácz R., Bartholy J., Kis A., Szabó J.A. (2017): Hydrological Projections on a Small European Catchment. In: *97th Annual Meeting of the American Meteorological Society*. Paper 464. Seattle (WA). 2017. január 22–26. Paper 464, 5p. Online elérhető: <https://ams.confex.com/ams/97Annual/webprogram/Manuscript/Paper313850/PR-etal-AMS2017.pdf>
- Kis A., Szabó J.A., Pongrácz R., Bartholy J. (2016): Analysing the hydrological impacts of climate change at a small catchment scale. In: *EMS Annual Meeting Abstracts*, 13, EMS2016-382. Trieste, Italy. 2016. szeptember 12–16.

- Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., Szabó J.A. (2016): Az éghajlatváltozás és a lefolyási karakterisztikák kapcsolatának vizsgálata a Felső-Tisza vízgyűjtő példáján. In: *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, 27. (Szerk.: Pongrácz R. et al.) pp. 81–87. Herceghút, 2016. augusztus 23–25.
- Kis A., Bartholy J., Pongrácz R., Szabó J.A. (2016): A lefolyás extrém jellemzőinek vizsgálata hidrológiai és klimatológiai modellek összekapcsolásával. In: *Magyar Hidrológiai Társaság – XXXIV. Országos Vándorgyűlés*. Debrecen, 2016. július 6–8. 8p. http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/34/dolgozatok/word/1105_kis_anna.pdf
- Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., Szabó J. A. (2016): The estimations of extreme runoff characteristics by RegCM driven hydrological model. In: Bíróné Kircsi Andrea, Lakatos Mónika, Güttler Ivan (szerk.) *Abstract book: Second Pannex Workshop on the Climate System of the Pannonian Basin*. 76p. Hungarian Meteorological Service, Budapest, 2016. június 1–3. ISBN: 978-963-9931-11-4
- Kis A., Pongrácz R., Bartholy J., Szabó J.A. (2016): Comparing the simulated extreme runoff characteristics for the past and the future in a small Hungarian catchment. In: *Geophysical Research Abstracts*, 18, EGU2016-2918. EGU General Assembly 2016. Vienna, Austria. 2016. április 17–22.
- Kis A., Pongrácz R., Bartholy J. (2015): Multi-model analysis of precipitation-related climatological extremes for the Carpathian Region. In: *Geophysical Research Abstracts*, 17, EGU2015-2064. EGU General Assembly 2015. Vienna, Austria. 2015. április 12–17.
- Kis A., Pongrácz R., Bartholy J. (2015): Analysis of projected frequency and intensity changes of precipitation in the Carpathian region. In: *Air and Water Components of the Environment*. (eds.: Serban, G. et al.) pp. 125–132. Presa Universitara Clujeana, Cluj-Napoca, Romania. 2015. március 20–22. ISSN 2067-743
- Pongrácz R., Bartholy J., Kis A. (2015): Multi-model Approach for Projecting Extremes Related to the Lack and Excess of Precipitation in Central/Eastern Europe. In: *95th Annual Meeting of the American Meteorological Society*. Phoenix, Arizona. 2015. január 4–8. Paper 72. 10p. Online elérhető: https://ams.confex.com/ams/95Annual/webprogram/Manuscript/Paper262854/PR-BJ-KA_2015AMS.pdf
- Kis A., Pongrácz R., Bartholy J. (2014): Magyarországra becsült csapadéktrendek: hibakorrekció alkalmazásának hatása. *Légekör*, 59(3) pp. 117–120.
- Kis A., Sábitz J., Pongrácz R., Bartholy J. (2014): Nagycsapadékok és aszályok: mire számíthatunk? In: *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, 25. (Szerk.: Pongrácz R. et al.) pp. 91–95. Szigliget, 2014. augusztus 26–28.
- Kis A., Pongrácz R., Bartholy J. (2014): Percentilis-alapú hibakorrekció hatásának elemzése RCM-szimulációk csapadékváltozási becslésére. In: *XIII. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia (13th International Conference on Applications of Natural, Technological and Economic Sciences): Előadások – Presentations*. (szerk: Mesterházy B.), Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely. 2014. május 17. 8p. ISBN: 978-963-359-039-3