

Hollósi Brigitta<sup>1</sup> – Pongrácz Rita – Bartholy Judit

## A XXI. SZÁZADRA VÁRTHATÓ ASZÁLY-TENDENCIÁK ELEMZÉSE REGIONÁLIS MODELLEREDMÉNYEK ALAPJÁN<sup>2</sup>

### BEVEZETÉS

A Kárpát-medence természetföldrajzi adottságai kedvezőek a mezőgazdaság számára, azonban fokozott kockázati tényező az aszályhajlam, mely mindig is hozzátartozott a térség éghajlati jellemzőihez. Az aszály és a belvíz tehát kiemelt fontosságú a magyarországi mezőgazdasági termelés stabilitása, jövedelmezősége és minősége szempontjából. Az ország csapadék- és aszályviszonyainak minél jobb megismerése elengedhetetlen ahhoz, hogy az ellenük való küzdelem eredményes legyen, s az ilyen jellegű károk mérséklődéséhez vezessen. A belvizek és aszályok kialakulását, periodikusságát, térbeli kiterjedését és időbeli lefolyását elsődlegesen az éghajlat, illetve az időjárás, valamint a domborzati- és a talajviszonyok szabják meg.

A globális éghajlatváltozás és az annak következtében kialakuló regionális hatások elemzése manapság rendkívül időszerű kutatási téma. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke mintegy egy évtizede végez regionális klímavizsgálatokat a Kárpát-medencében várható változások megismerésének érdekében. Első lépésként szükségszerű a különböző meteorológiai elemek – például a hőmérséklet vagy a csapadék – múltbeli és jövőbeli trendjeinek regionális skálán történő vizsgálata. Ezen két elem tanulmányozása már korábban megtörtént (pl. Bartholy et al. 2011, Pieczka et al. 2011), ebben a cikkben ezek egymáshoz viszonyított múltbeli és jövőbeli alakulását elemezzük különféle aszályindexek (csapadékindex, SAI-index, De Martonne-féle szárazság index, Thornthwaite-féle agrometeorológiai index, Ped-féle aszályindex, illetve Foley által definiált anomália index) segítségével a Kárpát-medence térségére vonatkozóan. A vizsgálathoz a 25 km-es horizontális felbontású PRECIS regionális éghajlati modell (Wilson et al. 2010) szimulált hőmérsékleti és csapadék idősorait (Bartholy et al. 2009, Pieczka et al. 2010) használtuk, melyekhez a kezdeti- és a peremfeltételeket a HadCM3 globális éghajlati modell (Gordon et al. 2000) outputjai szolgáltatták. A jövőre vonatkozóan három különböző scenáriót vizsgáltunk. A legpesszimistább A2 scenárió 2100-ra 856 ppm globális szén-dioxid koncentrációt feltételez, a közepesnek tekinthető A1B 717 ppm-et, míg a legoptimistább B2 621 ppm-et (Nakicenovic és Swart 2000). A várható változásokat térképes formában ábrázoltuk.

E cikkben elsőként az elmúlt időszakban fellépett aszályokkal kapcsolatos legfontosabb tapasztalatokat foglaljuk össze, majd röviden bemutatjuk az aszály jellemzésére használatos mérőszámokat. Végül a jövőben várható változásokra adunk becslést, mely a modell-szimulációk felhasználásával végzett vizsgálataink két aszályindexre vonatkozó eredményei alapján készült.

### AZ ELMÚLT KÉT ÉVTIZED NAGY ASZÁLYAI

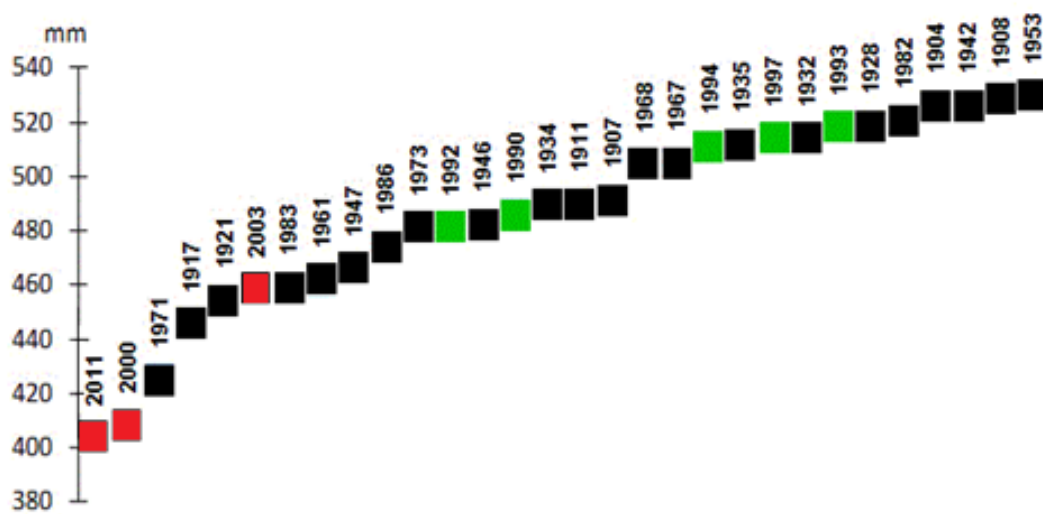
Az elmúlt két évtizedben előforduló száraz évek előkelő helyet foglalnak el a rendszeres, szabályszerű meteorológiai mérések kezdetétől (1901-től) felállított legszárazabb évek rangsorában (1. ábra). Az aszály kialakulásának kezdete nem határozható meg teljes bizonyossággal. A 1990-es évek nagy aszályaihoz kétségkívül hozzájárult a már 1983 óta

<sup>1</sup> **Hollósi Brigitta:** Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék

E-mail: [hollosi.brigitta@gmail.com](mailto:hollosi.brigitta@gmail.com)

<sup>2</sup> A kutatást az OTKA K-78125 számú pályázata, valamint az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával az „Európai Léptékkel a Tudásért, TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003 A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül” és az „Önálló lépések a tudomány területén” TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0030 pályázat támogatta.

tartó száraz periódus. 1990-ben a téli átlagos csapadék kevesebb mint fele hullott le, mely szokatlan szárazságot okozott a Dunántúlon. A nyári hónapokban sem jelent meg a hiányt pótló csapadék, így a léghőmérséklet növekedésének következtében fellépő nagyfokú párolgás a talajok hasznosítható vízkészletének teljes kimerülését jelentette. Ezt követően a szárazság tovább fokozódott, csapadéktevékenység több mint egy hónapig ezután sem volt. A nagyfokú szárazság következtében nem csak a mezőgazdaság szenvedett hatalmas károkat (többek között 40%-kal kevesebb volt a kukoricatermés, 30%-kal visszaesett a napraforgó-termés, s 25%-kal a cukorrépa-termés). Észak-Magyarországon a víztározók feltöltődése is lehetetlen volt a megelőző években, így az ipari vízfogyasztás mérséklése ellenére a megyeszékhelyeken, valamint 50–60 községben több alkalommal is a vízszolgáltatás korlátozását vezették be. 1990. augusztus 25-én a Dunán 119 cm vízállást mértek (ugyanúgy, mint 1976-ban), melynél alacsonyabb nyári vízállás nem fordult elő a XX. században (Pálfai 2004).



1. ábra: A legszárazabb évek rangsora 1901-től az átlagos évi csapadékösszeg országos értékei alapján (forrás: [www.met.hu](http://www.met.hu)). Az 1990-es években bekövetkezett aszályokat zöld szín, a 2000. utáni időszak aszályait piros szín emeli ki.

1992 nyári félévében a középhőmérséklet a sokévi átlag felett helyezkedett el. Augusztusban a havi középhőmérséklet országos átlaga meghaladta a 25 °C-ot, mellyel évszázados rekord dőlt meg (Nemes 1993). Ebben az évben az ország egész területén, mindenhol előfordult hőségnap. Az 1992-es nyári hónapok hőségnapjainak országos átlaga 37 volt, mely a statisztikai átlagnak több mint kétszerese. Hasonlóan szélsőséges értékeket regisztráltak a csapadékmennyiség esetén, hiszen a sokévi átlagnak csupán kétharmada hullott le. Ebben az évben az aszály különböző fokozatai az ország területének 98%-át érintették. A mezőgazdaságban a legnagyobb terméskiesés ismét a cukorrépa és a kukorica esetén volt. Az aszálykárt öntözéssel igyekeztek enyhíteni, összesen nagyjából 2200 km<sup>2</sup> területet öntöztek meg, ami az öntözőberendezéssel beépített terület 60%-a (Öcsödi 1993, Pálfai 2004).

2011-ben a szélsőségesen csapadékos 2010-es év után (amikor országos átlagban mintegy 958 mm csapadék hullott hazánk területén) a kezdeti belvízproblémákat követően a csapadékmentes hónapok következtében aszály alakult ki hazánkban. Az aszályos helyzetet enyhítette, hogy a vegetációs időszak elején a talaj mélyebb rétegeiben megfelelő mennyiségű víz raktározódott el. Az ország fő folyóin és mellékfolyóin is rekord alacsony vízállást mértek. A 2011-es év a meteorológiai mérések óta legszárazabb év volt, az országos átlagos csapadékmennyiség csupán 404 mm-t ért el.

## AZ ASZÁLY JELLEMZÉSÉRE HASZNÁLATOS INDEXEK

A tudomány számos szakterülete foglalkozik az aszály tárgykörével. Az aszály egy relatív fogalom, melyen egy adott ponton az éghajlati vízellátottsági középértéktől hosszabb ideig tartó negatív irányú eltérést értjük. A különféle leírásokból adódóan az aszálymérték meghatározására sokféle eljárást alkalmaznak. A számszerűsítésre az egyik legegyszerűbb módszer az aszályindexek használata (Faragó et al. 1988, Dunkel 2009), melyek elemzése lehetővé teszi, hogy különböző években és helyeken az aszályok mértékét összehasonlítsuk. Ugyancsak az aszályindexek alkalmasak a területi különbségek kimutatására, a különféle kölcsönhatások vizsgálatára, valamint az aszály előrejelzésére. Használatuk kellő óvatosságot és körültekintést igényel, hiszen különböző klímájú területek közti összehasonlításhoz az anomáliák normalizálása elengedhetetlen. Az aszályindexek kiszámítása és térképre vitele után a mezőgazdasági, vízügyi és társadalmi hatások is nyomon követhetők. Az aszályindexek nagy része meteorológiai elemekből létrehozott számérték, melyek számítása általában egyszerű. A különféle aszályindexek – az aszály definíciójához és meghatározásához hasonlóan – egymáshoz viszonyítva nagy változatosságot mutathatnak. Bussay et al. (1999) csoportosítását figyelembe véve a következő indexfajták különíthetők el.

(1) Csapadék indexek. Jellemzőjük, hogy alkalmasak a száraz-nedves időszakok éghajlati elkülönítésére, valamint a csapadék adott területre vonatkozó éghajlati változékonyságának meghatározására. Előnyük, hogy kis adatigényű és egyszerű indexek, hátrányuk azonban, hogy nem mindig tükrözik megfelelően az aszályhelyzetet. Ilyen típusú index például a standardizált csapadék anomália index (SAI) és a standardizált csapadékindex.

(2) Mérleg indexek. Ezek az indexek a csapadék indexeknél precízebb mutatószámok. A vízgyeenleg bevételi oldalán (csapadék) kívül a kiadási oldalt (párolgás) is figyelembe veszik, éppenezért a csapadék indextől eltérően kiszámításukhoz már hőmérsékleti adatsorokra is szükség van. Mérleg indexek közé tartozik a potenciális vízhiány, a Lang-féle esőzési index, a De Martonne-féle ariditási index és a Thornthwaite-féle agrometeorológiai index (TAI).

(3) Talajnedvességi indexek. Ezen indexek leginkább terméskiesés és vízhiány vizsgálatára, hidrológiai aszály becslésére, illetve előrejelzési célra alkalmasak. Lényegesen összetettebbek és számos információt tartalmaznak, ezen felül előnyük, hogy rövidebb időszakok leírására is alkalmasak. Talajnedvességi index például a Ped-féle aszályindex és a relatív talajnedvességi index.

(4) Rekurzív indexek. Ezek az aszályindexek egy külön, speciális csoportját alkotják, mivel számításuk során a megelőző időszak adatait is felhasználják, és az indexek egy hosszabb időszakot jellemző értéként állnak elő. Ilyen index például a Foley-féle anomália index (FAI) és a Palmer-féle aszály index.

## EREDMÉNYEK: JÖVŐBEN VÁRHATÓ VÁLTOZÁSOK BECSLÉSE

A regionális éghajlatváltozás elemzésekor minden vizsgált index esetén a magyarországi rácsponatok évszakos átlagértékeiből képezzük területi átlagot, s ezeket az idősorokat ábrázoljuk a referencia időszakra, valamint a 2071–2100 jövőbeli időszakra, mindhárom scenárióra. A várható változások területi eloszlását évszakonként külön térképeken jelenítjük meg, melyek lehetővé teszik, hogy az éghajlati viszonyokban valószínűsíthető változások elemzésekor a Kárpát-medence térségén belül meghatározzuk a régiónkénti különbségeket.

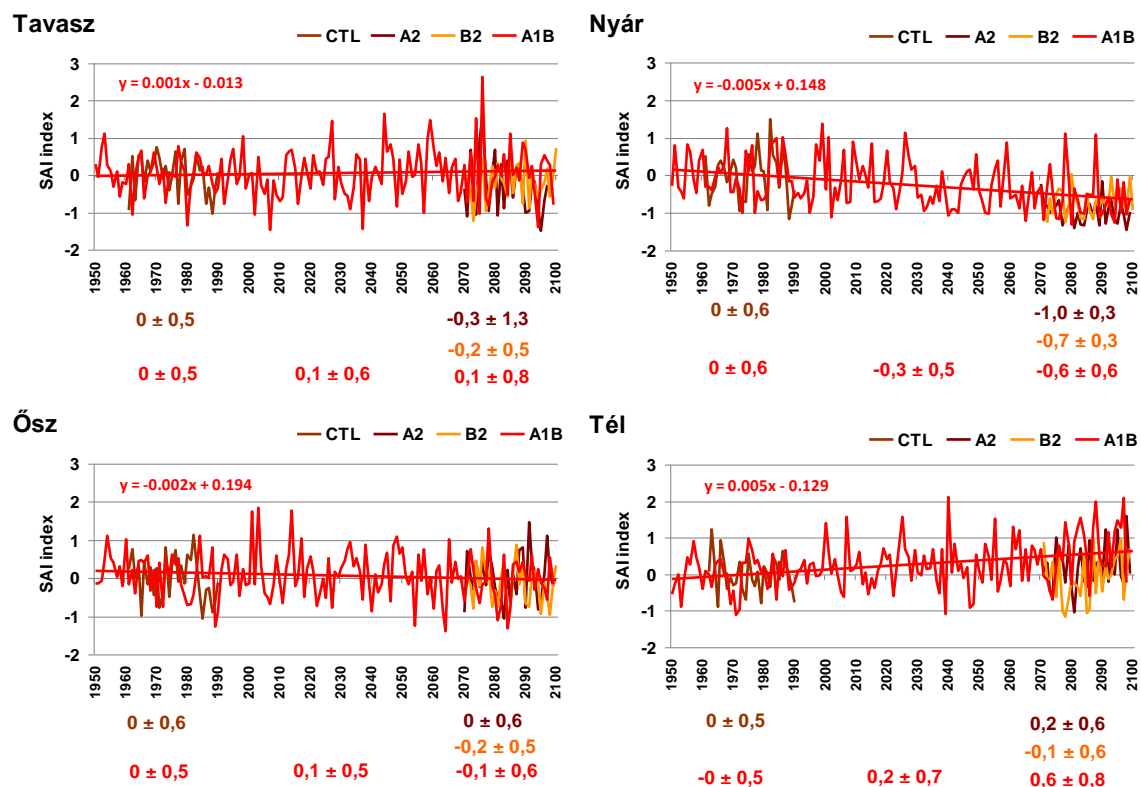
### 1. STANDARDIZÁLT CSAPADÉKANOMÁLIA INDEX

A SAI, azaz standardizált csapadékanomália index (Katz és Glantz 1986) számítása során a havi szimulált csapadékösszeg ( $P$  [mm]) és a referencia időszak csapadékatlagának ( $m(P)$  [mm]) különbségét vettük, majd a vizsgált időszak szórásával ( $d(P)$  [mm]) hányadost képeztünk:

$$SAI = (P - m(P))/d(P)$$

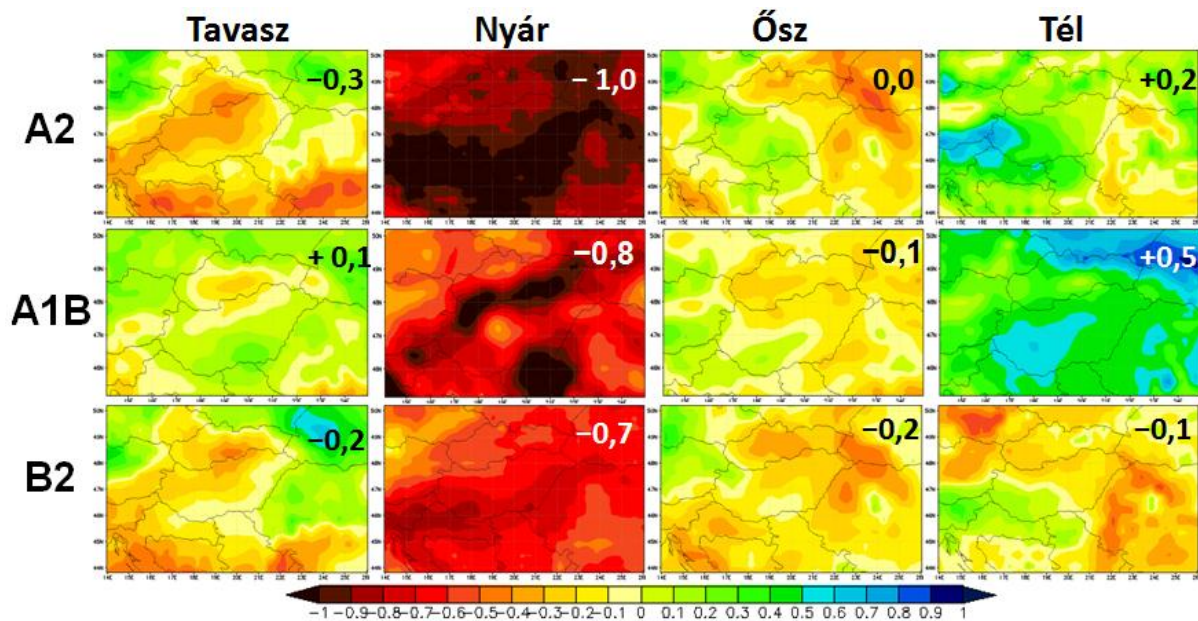
Az index esetén az értékek növekedése (pozitív változási értékek) nedvesebb jövőbeli klímát jelent, míg a csökkenő (negatív) tendenciák potenciális szárazodásra utalnak.

A SAI évszakos idősorait a 2. ábra mutatja. A grafikonokon a 229 magyarországi rácspontból számított területi átlagos értékek láthatók. Az A1B forgatókönyv esetén a szimuláció az 1951–2100-as időszakra történt, és lineáris regressziót használtunk a szezonális trend becslésére. Télen növekvő tendenciát figyelhetünk meg (1,3 mm/évtized), nyáron pedig csökkenő tendenciát (–1,5 mm/évtized), ami a jövőbeni téli nedvesebb, illetve nyári szárazabb időjárási viszonyokra utal. Mindenképpen felhívjuk a figyelmet arra, hogy az éves változékonyság amplitúdója sokkal nagyobb, mint az évtizedes becsült változási tendenciák. A nyári változékonyságban jelentős csökkenés valószínűsíthető, míg télen inkább növekedés figyelhető meg. Tavasszal és ősszel nem látható szignifikáns trend az országban.



2. ábra: A magyarországi átlagos SAI értékek évszakos idősorai a PRECIS modellszimulációk alapján. A grafikonokon látható egyenlet az 1951–2100 időszakra az A1B scenárió figyelembevételével készült idősorra illesztett lineáris trend egyenes egyenlete. A grafikonok alatt látható számok az 1961–1990, a 2021–2050 és a 2071–2100 időszakokra vonatkozó harmincéves átlag- és szórásértékeket jelzik.

A SAI becsült évszakos változásait mutatjuk be a 3. ábrán térképes formában. A nyár az előrejelzések szerint szignifikánsan szárazabb lesz egész Magyarország területén mindhárom forgatókönyv alapján. A szárazodás mértéke az A2 esetén nagyobb, mint a B2, illetve az A1B scenárió esetén. Tavasszal és ősszel némileg szárazabb éghajlat várható az országban, kivéve az A1B scenárióét, amikor is a tavasz kissé csapadékosabb is lehet. Abszolút értékben véve a jövőben ősszel várható a legkisebb mértékű változás. A tél valószínűleg nedvesebb lesz Magyarországon az A2 és a A1B forgatókönyvek esetén, és kissé szárazabb a B2 scenárió alapján. Mindhárom scenárió a délnyugati országrészt jelzi a legnedvesebbnek.



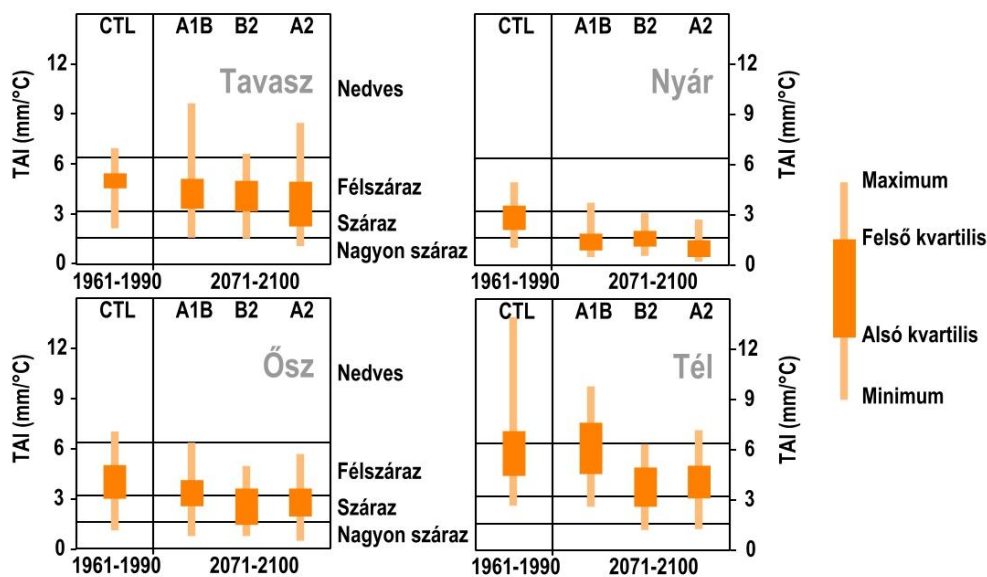
3. ábra: A SAI várható évszaki változásai 2071–2100 időszakra a PRECIS modellszimulációk alapján az A2, A1B és B2 scenárióra, referencia-időszak: 1961–1990. A térképek jobb felső sarkában a várható változások magyarországi rácspontokra leválasztott átlagértékei láthatók.

## 2. THORNTHWAITTE-FÉLE AGROMETEOROLÓGIAI INDEX

A havi csapadékösszeg ( $P$  [mm]) és a havi átlaghőmérséklet ( $T$  [°C]) korigált hányadosaként állítható elő a TAI, azaz Thornthwaite-féle agrometeorológiai index (Kemp, 1990):

$$TAI = 1,65 \cdot (P/(T+12,2))^{10/9}$$

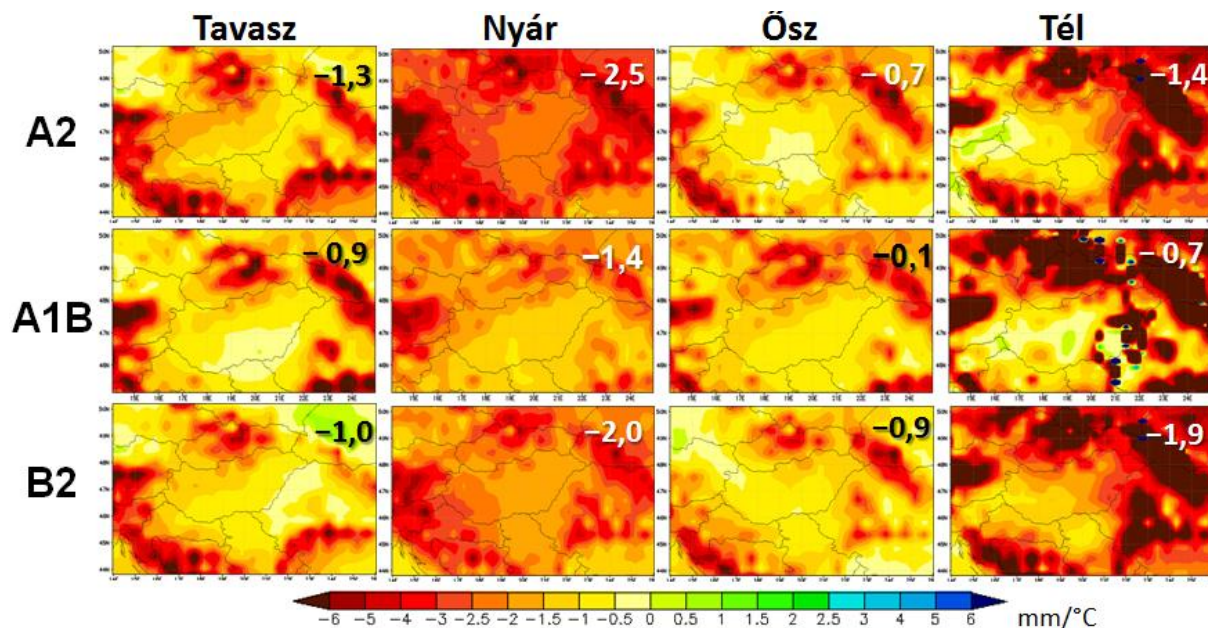
A definíció alapján minél kisebb az index értéke, annál erősebb a szárazság. Ebből adódik, hogy a negatív irányú változások az aszályhajlam erősödésére utalnak, míg a pozitívak a csapadékosabbá válást jelzik.



4. ábra: A magyarországi átlagos TAI értékek évszaki jellemző tartományai az 1961–1990 és a 2071–2100 időszakban a PRECIS modellszimulációk alapján

A TAI esetén az egyes évek közötti változékonyságot és az átlagos értékeket is reprezentáló ún. Box-Whisker diagramokat mutatjuk be a 4. ábrán, melyeken a vastagabb téglalap jelöli ki az évenkénti indexértékek középső 50%-át (a téglalap teteje a felső kvartilis, míg az alja az alsó kvartilis értékének magasságában jelenik meg), a minimumtól a maximumig húzott függőleges vonal pedig a 30 év alatt előforduló országos átlagértékek teljes intervallumát jelzi. Az évszakonkénti grafikonok jól szemléltetik a szimulációk alapján az indexértékek eloszlásában várható eltolódásokat. A PRECIS-outputok azt jelzik, hogy a referencia időszakban nyáron jellemzően száraz volt a magyarországi éghajlat, a többi három évszakban pedig félszáraz. A telek mintegy negyede nedves éghajlati tartományba esett a TAI értékek alapján. A XXI. század végére mindez várhatóan a szárazodás irányába tolódik el. A nyarak többségében nagyon szárazak lesznek, s félszáraz viszonyokban már nem reménykedhetünk. Az ősök nagyrészt szárazak lesznek, de egyes években akár nagyon száraz viszonyokra is fel kell készülnünk. Tavasszal és télen is előfordulhat a jövőben egy-egy nagyon száraz viszonyokkal jellemezhető év.

A definícióból adódóan a negatív TAI értékek előfordulása minimális, hiszen hazánk térségében ritka a  $-12,2$  °C alatti havi átlaghőmérséklet, azonban akadnak olyan évek (főként a referencia időszak során), amikor néhány rácspont esetén télen a havi átlaghőmérséklet néhány ezreddel kisebb, mint a „kritikus”  $-12,2$  °C, és ebben az esetben a definíció alapján meglehetősen szélsőséges indexértékek adódnak. Ez leginkább a hegységekben figyelhető meg és emiatt jelennek meg a kék színárnyalatok a piros mellett egy-egy rácspont körzetében a téli térképeken. Ebből az okból kifolyólag a téli időszakra vonatkozó eredményekből egzakt következtetések nem vonhatók le, így az elemzés során csupán a három évszak jellemzésére szorítkozunk.



5. ábra: A TAI várható évszakos változásai 2071–2100 időszakra a PRECIS modellszimulációk alapján az A2, A1B és B2 scenárióra, referencia-időszak: 1961–1990. A térképek jobb felső sarkában a várható változások magyarországi rácspontokra leválasztott átlagértékei láthatók.

A Thornthwaite-féle agrometeorológiai index 2071–2100-ra becsült évszakos változásának területi eloszlása az 1961–1990 időszakhoz viszonyítva az 5. ábra térképein látható. Általánosságban megállapíthatjuk, hogy az index értékek várhatóan csökkenni fognak minden évszakban Magyarország területén, illetve a környező térségben egyaránt, amely a

referencia időszakhoz képest szárazabb éghajlati viszonyokat jelez előre. A legnagyobb csökkenés Magyarországon nyáron valószínű. Az A2 scenárió által prognosztizált változások 1,8-szor nagyobb mértékűek hazánk területén nyáron, mint az A1B scenárió alapján. A várható csökkenés ősszel a legkisebb az ország területén. A térkép-sorozatból leolvasható továbbá, hogy az alacsonyabban fekvő régiókkal összehasonlítva nagyobb csökkenés várható a magasabb, hegyvidéki részekben.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben különböző aszályindexek várható jövőbeni tendenciáit elemeztük a PRECIS regionális éghajlati modell futtatásainak felhasználásával. A bemutatott eredmények arra utalnak, hogy a Kárpát-medence éghajlata télen nedvesebbé is válhat, míg a többi évszakban szárazabb éghajlati viszonyok várhatóak. A XXI. században a legnagyobb mértékű szárazodás nyáron valószínűsíthető. A kutatási eredményeink arra utalnak, hogy az éghajlatváltozás hatásaként hazánkban is komoly következményekkel kell számolni, mely szükségesszerűvé teszi egy nemzeti alkalmazkodási stratégia készítését. A mezőgazdaság, a vízgazdálkodás és a talajművelés szempontjából is elengedhetetlen a változások ismerete, a potenciális aszályterületek behatárolása.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- BARTHOLY J, PONGRÁCZ R, PIECZKA I, KARDOS P, HUNYADY A. 2009. Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using a dynamical climate model. *Lecture Notes in Computer Science* 5434: 176–183.
- BARTHOLY J, PONGRÁCZ R, PIECZKA I, TORMA Cs. 2011. Dynamical downscaling of projected 21st century climate for the Carpathian Basin (chapter 1). In: *Climate Change – Research and Technology for Adaptation and Mitigation*. Eds. Blanco J, Kheradmand H. InTech, Rijeka, Slovenia. 3–22.
- BUSSAY A, SZINELL Cs, SZENTIMREY T. 1999. Az aszály magyarországi előfordulásainak vizsgálata és mérhetősége. *Éghajlati és agrometeorológiai tanulmányok 7*, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 91p.
- DUNKEL Z. 2009. Brief surveying and discussing of drought indices used in agricultural meteorology. *Időjárás* 113: 23–37.
- FARAGÓ T, KOZMA E, NEMES Cs. 1988. Quantifying droughts. In: *Identifying and coping with extreme meteorological events*. Eds. Antal E, Glantz M. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 62–111.
- GORDON C, COOPER C, SENIOR CA, BANKS H, GREGORY JM, JOHNS TC, MITCHELL JFB, WOOD RA. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16: 147–168.
- KATZ RW, GLANTZ MH. 1986. Anatomy of a rainfall index. *Monthly Weather Review*, 114, 764–777.
- KEMP D. 1990. *Global environmental issues: a climatological approach.*, Routledge, London, New York, 241p.
- NAKICENOVIC N, SWART R (ed). 2000. *Emissions Scenarios. A Special Reports of IPCC Working Group III*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 570p.
- NEMES Cs. 1993. Éghajlati elemzés az 1992. évi szárazságról. In: *Az 1992. évi aszály értékelése* (szerk.: Pálfai, I. és Vermes, L.), Budapest, 104p.
- ÖCSÖDI GY. 1993. Az 1992. évi aszálykárok és az enyhítésükre tett kormányzati intézkedések. Az 1992. évi aszály értékelése. A Földművelésügyi Minisztériumban 1992. november 18-án tartott konferencia anyaga Pálfai Imre és Vermes László (szerk.), Budapest, 1993

- PÁLFAI I. 2004. Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok. Közlekedési dokumentációs Kft., Budapest, 492p.
- PIECZKA I, BARTHOLY J, PONGRÁCZ R, HUNYADY A. 2010. Climate change scenarios for Hungary based on numerical simulations with a dynamical climate model. *Lecture Notes in Computer Science* 5910: 613–620.
- PIECZKA I, PONGRÁCZ R, BARTHOLY J. 2011. Comparison of Simulated Trends of Regional Climate Change in the Carpathian Basin for the 21st Century Using Three Different Emission Scenarios. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 7: 9–22.
- WILSON S, HASSELL D, HEIN D, MORRELL C, JONES R, TAYLOR R. 2010. Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system, PRECIS. Version 1.9.2. UK MetOffice Hadley Centre, Exeter, 157p.