

Berényi, Alexandra<sup>1</sup> – Pongrácz, Rita<sup>2</sup> – Bartholy, Judit<sup>3</sup>

# Csapadékszélsőségek változása Európa déli alföldi régióiban az 1951–2019 időszakban<sup>4</sup>

Changes in extreme precipitation patterns in the southern lowland regions of Europe during the 1951–2019 period

## ABSZTRAKT

Kutatásunk célja, hogy a kiválasztott alföldi területek átlagos és extrém csapadékmezőiben bekövetkezett múltbeli változásokat elemezzük az 1951-2019 időszakban. Az Alföld mellett kettő olyan, a kontinens déli részén elhelyezkedő alföldi területet (a Pó-síkságot és a Román-alföldet) választottunk ki, melyekkel az összehasonlítás révén a klímaváltozás gazdaságra, társadalomra és környezetre gyakorolt hatását átfogóan értékelhetjük. A célterületeket objektív módon választottuk ki, nevezetesen az alföldi régióknak a következő két kritériumnak kellett megfelelnie: (i) Az adott síkság egyetlen pontja sem éri el a 200 m tengerszint feletti magasságot, továbbá (ii) a területen belül a szomszédos rácsponatok magasságbeli különbsége nem haladhatja meg az 50 m-t. Az extrém csapadékos helyzetek elemzését éves időszakokra végeztük el 17 éghajlati index számításával. A múltra vonatkozó vizsgálataink alapján egyértelmű növekedés mutatható ki a szélsőséges csapadékos helyzetek gyakoriságában és intenzitásában, a száraz időszakok hosszában, valamint a szélsőséges időjárási viszonyok előfordulásában is.

*Kulcsszavak: klímaváltozás, extrém csapadék, Alföld, Pó-síkság, Román-alföld*

## ABSTRACT

The aim of our study is to analyse the spatial patterns and temporal trends of average and extreme precipitation events in a few selected plain regions between 1951 and 2019. Besides the Great Hungarian Plain we chose two plain regions located in the southern part of the continent (i.e. the Po Valley and the Romanian Plain) with the purpose of comparing similar geographical regions, and creating a scientific basis to comprehensively analyse the effects of climate change on economy, society, and nature. For choosing the plains, objective criteria were used, namely, (i) the elevation remains under 200 m throughout the defined area, and (ii) the difference between the neighbouring grid points within the plain region does not exceed 50 m. The analysis of extreme precipitation events was performed for annual periods by calculating 17 climate indices. Based on our research of the past, there is a clear increase in the frequency and intensity of extreme precipitation events, in the length of dry periods as well as in the occurrence of extreme weather events.

*Keywords: climate change, extreme precipitation, Pannonian Plains, Po Valley, Romanian Plains*

1 PhD-hallgató, ELTE, Földtudományi Doktori Iskola, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, +36307131253, berenyia@student.elte.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5985-0531>

2 Egyetemi adjunktus, ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, +36305171184, [prita@nimbus.elte.hu](mailto:prita@nimbus.elte.hu), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7591-7989>

3 Egyetemi tanár, ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, +36203989667, [bartholy.judit@tk.elte.hu](mailto:bartholy.judit@tk.elte.hu), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3911-7981>

4 Kutatásainkat támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap K-129162 és K-120605 számú projektje.

## BEVEZETÉS

A klímaváltozás napjaink egyik legnagyobb globális problémája, hiszen közvetlenül befolyásolja természetes és mesterséges környezetünket, hatással van a gazdaságra és a társadalomra is. A hatásait és következményeit éppen ezért számos oldalról kutatjuk, amely elengedhetetlen a megfelelő jövőbeli felkészüléshez és a fejlesztési stratégiák kidolgozásához (Darányi & Gálosi-Kovács, 2011; Glied & Barkóczi, 2013; Schmeller, 2021).

Az intenzív nagycsapadékos helyzetek általában gyakoribb extrém hidrológiai eseményekhez vezetnek: például áradásokhoz, illetve villámárvizekhez (Madsen et al., 2014). Ezek a szélsőséges viszonyok rendszeresen okoznak természeti és gazdasági károkat Európa-szerte (pl.: Bissolli et al., 2011; Grams et al., 2014). Ugyanakkor a csapadékhiány szintén jelentős hatással van a környezetre, az ezzel járó esetleges vízhiány a környezetet és a gazdaságot egyaránt károsítja, és a társadalom jólétét is veszélyezteti (Mishra & Singh, 2010; Fink et al., 2014; Ciais et al., 2015).

A Clausius-Clapeyron egyenlet értelmében a légköri hőmérséklet növekedésével növekszik a maximálisan tárolható vízgőz mennyisége is (Westra et al., 2014), ez pedig közvetlen hatással van a kihulló csapadék mértékére. Az így megnövekedett csapadék magával vonhatja a szélsőséges csapadékos időjárási helyzetek kialakulását globális szinten (Alexander et al., 2006; Donat et al., 2016), azonban a csapadék térbeli szerkezetét leíró csapadékmezők változása korántsem olyan homogén és egyirányú, mint a hőmérséklet esetében (Groisman et al., 2005). Például Európán belül is fellelhetők regionális különbségek, habár számos tanulmány összességében a szélsőséges események intenzívebbé válását mutatta ki a kontinensen (Klein Tank & Können, 2003; Moberg et al., 2006). Európa északi részén mind az átlagos csapadékmennyiség, mind a szélsőséges csapadékos helyzetek növekedtek (van den Besselaar, 2013), míg a déli térségben az átlagos csapadékmennyiség csökkenése kíséri az szélsőséges csapadékos helyzetek egyes térségbeli növekedését (pl. Bartholy & Pongrácz, 2007), vagy más térségbeli csökkenését (pl. Millán et al., 2004; Narrant & Douguédroit, 2016). A déli területeken a szélsőségesen száraz időszakok egyértelmű növekedése is megfigyelhető (Spinoni et al., 2015), ami mind mezőgazdasági, mind természetvédelmi szempontból kockázatot jelent.

Mindezeket figyelembe véve tanulmányunk középpontjába három dél-európai alföldi régiót helyeztünk, ám bizonyos esetekben további 11 európai régió (1. ábra) eredményeit is bemutatjuk, a kontinens különböző klimatológiai és geográfiai tulajdonságai miatt jellemző eltéréseket szemléltetendő. Elsődleges célunk az extrém csapadékos, valamint a száraz időszakok vizsgálata, azonban elvégeztük az átlagos csapadékmezők elemzését is. A vizsgálathoz éghajlati indexeket alkalmaztunk, amelyekkel a klímaváltozás hatását objektív módon számszerűsíthetjük. A felhasznált adatok a meteorológiai állomási mérésekből egy szabályos rácsra interpolált mezősorokat tartalmazó adatbázisból (E-OBS) származnak, és az eredményeinket az 1950–2019 időszakra mutatjuk be.

## MÓDSZEREK

### Adatok

Európában az egyik széles körben felhasznált mérési adatbázis az E-OBS (Cornes et al., 2018), amely szabályos rácsra interpolált napi meteorológiai adatokat tartalmaz összesen öt változóra vonatkozóan (nevezetesen: hőmérséklet, csapadék, légnyomás, relatív páratartalom és globálsugárzás) egész

Európára 1950-től kezdve egészen napjainkig. Az adatbázis alapjául szolgáló állomási mérési adatok az ECA&D (European Climate Assessment and Dataset) klímamonitoring projektből származnak (Haylock et al., 2008), amelynek keretében a nemzeti meteorológiai szolgálatok, kutatóintézetek által működtetett állomások mérési idősorait gyűjtötték egybe, összesen közel 9000 csapadékmérő állomásról. Az adatok a meteorológiai szolgálatok validációját követően átmennek még egy minőségellenőrzésen, ahol a hibás adatokat hiányzó adatként kezelik.

Sajnos a mérőállomások elhelyezkedése korántsem homogén, ami az adatok feldolgozásakor területi reprezentációs problémákat vethet fel. Ilyen probléma lehet a nem megfelelő állomássűrűség. Az intenzív, nagy csapadékkal járó események számos esetben csak egy kis területre koncentrálnak, így előfordulhat, hogy egy-egy ilyen csapadékos helyzet egy állomás területét sem éri el. Az állomássűrűség növelésével, az interpoláció pontossága is növekszik, azonban Európa számos térségében az állomások egymástól való távolsága meghaladja az interpolációnál használt  $0,1^\circ$ -os rács távolságot, így van olyan rácspontra, amelynek eredményét más rácsponthoz tartozó állomások adataiból számítják.

A jelenlegi tanulmányban az E-OBS 22. verzióját használtuk, amelyben az adatok  $0,1^\circ$ , illetve  $0,25^\circ$ -os rácsfelbontásban is rendelkezésre állnak. Mi a finomabb felbontású adatbázis alapján készítettük az elemzésünket, tekintve, hogy a csapadék egy térben és időben rendkívül változékony meteorológiai elem. A választást az is indokolja, hogy durvább felbontású rácsra történő interpolálás esetén bekövetkezhet egy túlsimítás, amelynek negatív hatása lehetne az általunk is vizsgált szélsőséges csapadékos helyzetek elemzésére.

## Vizsgálati területek

Mivel mezőgazdasági termelést elsősorban a sík területeken végeznek, illetve a világ lakosságának jelentős része alföldi területeken él, ezért az éghajlati elemzéshez viszonylag egyenletesen sík, alföldi területeket választottunk ki. A meteorológiai adatok mellett az E-OBS-ben elérhető egy felszíni topográfiai mező, szintén  $0,1^\circ$ -os felbontással. A tengerszint feletti magasságokat minden rácsponthoz a GTOPO30 globális digitális magasságmodell használatával állították elő (Earth Resources Observation and Science Center, 2017).

Az alföldeket egy általunk összeállított objektív feltételrendszer segítségével definiáltuk, nevezetesen az egyes régióknak két kritériumnak kellett megfelelnie:

A tengerszint feletti magasság nem haladhatja meg a 200 m-t. Tekintve, hogy a felföldek sajátos éghajlati viszonyokkal rendelkezhetnek, a csapadékmező mintázata, az extrémumok és az időbeli változások jelentősen eltérhetnek az alacsonyabban fekvő térségektől. Ezért a felföldek kizárása érdekében alkalmaztuk ezt a kritériumot.

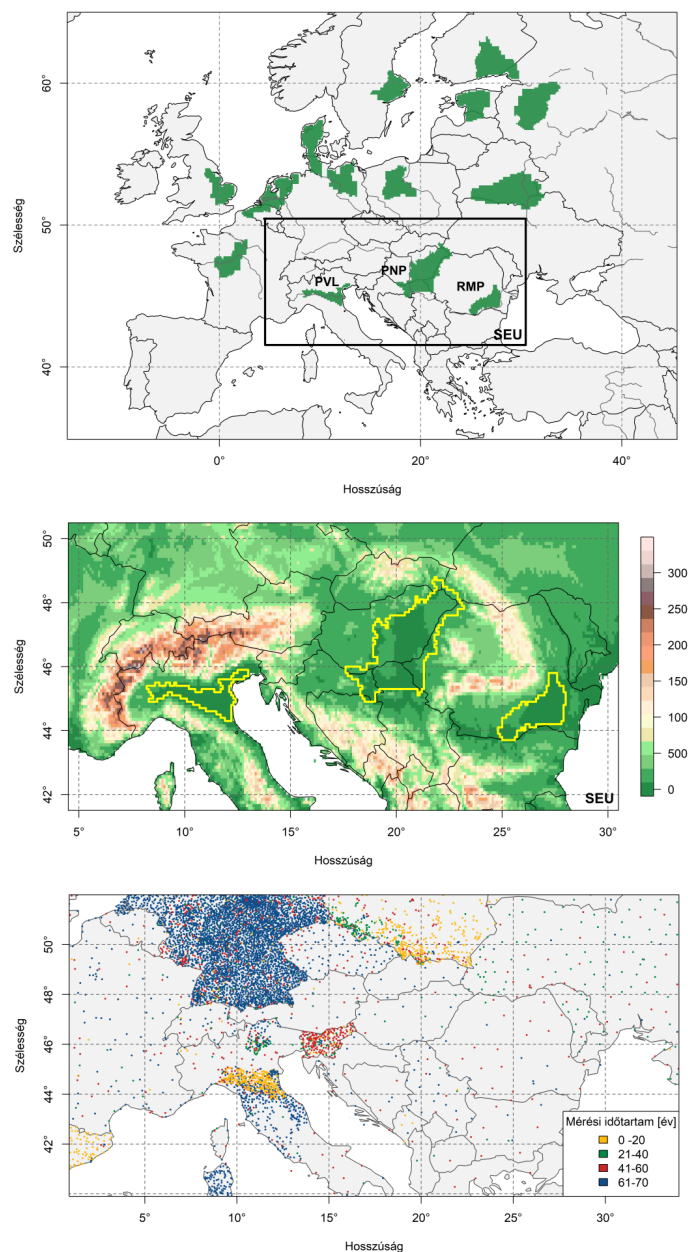
A tengerszint feletti magasság régióon belüli változásának mértéke nem haladhatja meg az 50 m-t. Ebben az esetben a közvetlen szomszédos cellákat vettük figyelembe a számítások során. Erre a kritériumra azért volt szükség, hogy kizárjuk a mezőgazdasági művelés szempontjából kedvezőtlenebbnek tekinthető területeket.

Az így kapott európai területeket nagyrészt a geográfiai határok figyelembevételével jelöltük ki. Az összesen 14 európai régió közül az ebben a tanulmányban részletesebb elemzésre kiválasztott három régió: a Pó-síkság (PVL), az Alföld (PNP) és a Román-alföld (RMP), melyek elhelyezkedése

és kiterjedése az 1. ábrán látható. A három régió közül az Alföldön és a Román-alföldön a Köpen-féle éghajlati osztályozás szerint nedves kontinentális éghajlat uralkodik, meleg nyári évszakkal. Az elmúlt 30 év adatai alapján az éves csapadékmennyiség az Alföld területén átlagosan 500 mm, a Román-alföld esetében 495 mm, a csapadékos napok száma pedig rendre 88, illetve 75 nap. A csapadék számottevő része mind a két alföldi terület esetében a nyári félévben hullik. A Pó-síkság éghajlata ezzel szemben nedves szubtrópusi, a csapadék éves menetének két maximuma van, tavasszal és ősszel. Az éves csapadékmennyiség itt a legmagasabb a három alföldi terület közül, 665 mm, ugyanakkor a csapadékos napok száma átlagosan csak 76 nap egy évben.

1. ábra: A 14 definiált sík régió, valamint az ezek közül kiemelt három dél-európai (SEU) régió domborzati viszonyai és elhelyezkedése Európán belül, illetve az E-OBS-en belül az interpolációhoz felhasznált állomáshálózat.

Figure 1. The 14 defined plain regions within Europe, and the terrain of the three southern (SEU) region selected for this study, and the density of stations used during the interpolation to create E-OBS.



## Éghajlati indexek

A csapadékmezők elemzéséhez és a szélsőségek vizsgálatához különböző éghajlati indexeket használunk. Ilyen éghajlati indexeket széleskörűen alkalmaznak általánosabb éghajlati vizsgálatokban (pl. Klein Tank & Können, 2003) és modellvalidációkra (pl. Pieczka et al., 2019) egyaránt. Az ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices, Peterson et al., 2001) 11 csapadékra vonatkozó indexéből hetet használtunk fel, illetve meghatároztunk további indexeket is, amelyek részletes leírása az 1. táblázatban található. A számított éghajlati indexeket több csoportba sorolhatjuk:

1. táblázat: Az elemzés során számított 15 éghajlati index és azok definíciója, mértékegysége.

Table 1. The 15 calculated climatological indices, their definitions and units.

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
RRX1	Legnagyobb 1 napi csapadék (Max ( $R_{nap}$ ))	mm
RRX5	Legnagyobb 5 napos csapadék (Max ( $R_{nap}: i, i+1, i+2, i+3, i+4$ ))	mm
R90p	Napi csapadékösszeg 90. percentilise	mm
R95p	Napi csapadékösszeg 95. percentilise	mm
R95N	Csapadékos napok csapadékösszegének 95. percentilisének meghaladó napok száma	nap
PRCPTOT	Éves csapadékösszeg	mm
SDII	Éves csapadékintenzitás index (PRCPTOT/RR1)	mm/nap
DD	Száraz napok száma, vagyis amikor a csapadék nem haladja meg az 1 mm-t ( $R_{nap} < 1 \text{ mm}$ )	nap
DS5	Az 5 napot meghaladó hosszúságú száraz időszakok száma	-
DS10	A 10 napot meghaladó hosszúságú száraz időszakok száma	-
DS5N	Napok száma az 5 napot meghaladó száraz időszakok során	nap
RR1	1 mm-t meghaladó csapadékú napok száma ( $R_{nap} \geq 1 \text{ mm}$ )	nap

*Rögzített küszöbérték indexek:* Ide tartoznak azok az indexek, amelyek egy rögzített érték meghaladását veszik alapul. Ezek az indexek jelentősen eltérhetnek az egyes területek esetében, mivel az adott térség klimatológiai jellemzőitől nagymértékben függenek. Ezek az indexek főképpen a területen belüli vagy azonos éghajlati viszonyokkal rendelkező térségek vizsgálatára alkalmasak, tekintve, hogy az a csapadékmennyiség, amely egy területen átlagosnak számít, az más esetben már szélsőséges lehet. Vizsgálataink során négy rögzített küszöbérték indexet határoztunk meg: RR1 (csapadékos napok száma), RR5, RR10, RR20, valamint DD (száraz napok száma). (A számérték értelemszerűen az alkalmazott rögzített küszöbértéket jelzi mm-ben kifejezve és a napi csapadékösszegre vonatkozik.)

*Percentilis alapú indexek:* Azokat az indexeket soroljuk ebbe a kategóriába, amelyek valamelyik percentiliséhez tartozó értéket adnak meg, illetve meghaladnak egy adott időtartamot tekintő percentilis alapú küszöbértéket. Az előző csoporttal szemben a percentilis alapú indexek alkalmasak

különböző éghajlati viszonyokkal rendelkező területek összehasonlítására, ugyanis a teljes minta eloszlásából egy kiválasztott hányadot tekintenek, és ennek értéket adják eredményül. Kutatásaink során ilyen indexek: R90p és R95p, amelyek a napi csapadék idősorok 90., illetve 95. percentilisét adják meg; R95N – azon napok számát adja meg, amelyek meghaladják a napi csapadékmennyiség 95. percentilisét a teljes idősorra vonatkoztatva. Ugyancsak ebbe a csoportba tartozik a DS95p, ami az öt napot meghaladó száraz időszakok hosszának 95. percentilisének értéke.

*Abszolút értékeken alapuló indexek:* Ilyenek az egyes időszakok – éves vagy évszakos – során előforduló maximális értékek. A csapadékos napokhoz tartozó indexek az egynapos maximum lehullott csapadék (RX1), illetve az öt nap alatt lehullott csapadékösszeg maximum értéke (RX5), míg a száraz időszakokhoz kapcsolódik az egybefüggő száraz napok maximális hossza (CDD).

*Egyéb indexek:* A vizsgálat során felhasználtuk a csapadékos napok éves csapadékösszegét (PRCPTOT), illetve az ebből számított ún. egyszerű napi csapadékontenzitási indexet (SDII), amely az adott időszakban – itt éves időtartamban – a csapadékösszeg (PRCPTOT) és a csapadékos napok (RR1) hányadosa, vagyis a csapadékos napok átlagos csapadékát adja meg. Kiszámítottuk továbbá az öt, illetve tíz napnál hosszabb száraz időszakok előfordulásának számát az egyes időszakokra (DS5 és DS10), illetve az öt napnál hosszabb száraz időszakok során előforduló napok számát (DS5N) is.

A használt csapadékindexeket éves időskálára számítottuk, és mind a térbeli változékonyságot, mind pedig az indexek időbeli megváltozását vizsgáltuk a teljes 70 éves időtartamra. A területi változékonyság vizsgálatához minden rácspont idősorából a medián értéket vettük.

Minden egyes rácspont idősorára lineáris trendet illesztettünk a legkisebb négyzetek módszerével. A kapott trendegyütthatókra a statisztikai t-próbát alkalmaztuk 0,05-ös szignifikancia szint mellett. Az indexek időbeli változásait évtizedes trendegyütthatókkal mutatjuk be.

## EREDMÉNYEK

### Átlagos csapadékindexek térbeli és időbeli változékonysága

Bár kutatásunk végső célja a szélsőséges csapadékos helyzetek vizsgálata, ezt megelőzően mindenképpen szükséges az átlagos csapadékindexek mintázatának vizsgálata, valamint a különböző elhelyezkedésű és alapklimájú alföldek közötti lehetséges kapcsolatok feltárása. Ehhez összesen négy indexet használtunk: az RR1-et, a DD-t, a PRCPTOT-ot és az SDII-t. Ebben a fejezetben csak a csapadék meglétével kapcsolatos indexeket tárgyaljuk lévén, hogy minden olyan nap, ami nem RR1 nap, az DD napnak minősül, és ez utóbbi index időbeli trendjeiben nem találtunk szignifikáns változásokat.

A tanulmányunk középpontjában lévő három déli terület közül az Alföld és a Román-alföld éghajlati besorolása kontinentális hosszabb meleg évszakkal, míg a Pó-síkság a mediterrán térségben szubtrópusi éghajlattal rendelkezik. Ezen éghajlati jellemzők eredményezik azt, hogy Európa más térségeiben elhelyezkedő alföldi területekhez képest alacsonyabb a csapadékos napok (RR1) átlagos éves száma, míg az éves csapadékmennyiség (PRCPTOT) nem tér el szignifikánsan az európai átlagtól (2. ábra). Így az e két indexből származtatott SDII az európai átlagnál összességében magasabb

értékeket vesz fel, amiből arra következtethetünk, hogy az extrém csapadékos helyzetek intenzitása vagy előfordulásának gyakorisága ezeken a területeken magasabb, mint a többi térségben.

A csapadék jelentős része inkább nagytérségű ciklonális helyzetekhez köthető, mintsem a lokálisabb konvektív jelenségekhez. A Van Bebber (1891) által meghatározott ciklonpályák közül az Izland térségében keletkező mérsékeltövi ciklonok érinthetik az Alföldet és a Román-alföldet, azonban a kontinentális hatás miatt a csapadék mennyisége a ciklon élettartamának növekedésével és a nedveség-utánpótlás megszűnésével egyre csökken.

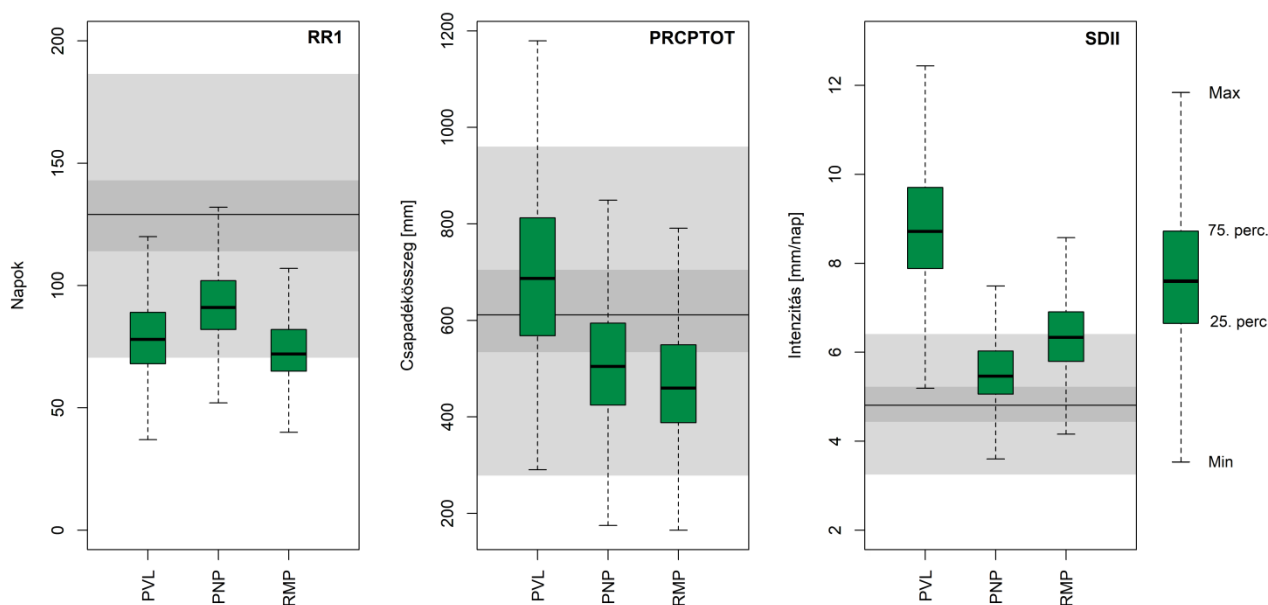
A kontinens déli területeinek időjárását jelentősen befolyásoló ciklogenezis egyik fő helye a Genovai-öböl. Az itt keletkezett mediterrán ciklonok jellemzően a Van Bebber-féle VI. ciklonpályát követik: ez a Pó-síkságot is érinti, amely jelentősen hozzájárul a térség átlagosan 700 mm fölötti éves csapadékmennyiségéhez. Tovább haladva ezek a mediterrán ciklonok hatással lehetnek a másik két térségre is (Messmer et al., 2015).

A környező területek domborzata szintén befolyásoló tényező mind a ciklonális, mind a konvektív folyamatok vezérelte csapadék kialakulásában. A Pó-síkságot észak, északnyugat felől az Alpok, dél felől pedig az Appennin-hegység határolja, ez pedig kedvez az orografikus csapadék kialakulásának. Mivel a területet és környezetét tenger határolja, a már említett nagytérségű rendszerek (elsősorban mediterrán ciklonok) és a hegyek emelő hatása együttesen rendkívül heves, nagy intenzitású csapadékos helyzetet tud eredményezni.

2. ábra: A kiválasztott három régió átlagos csapadékindexének területi eloszlása

Box-Whisker diagramon. Szürkével a kontinens északi részén elhelyezkedő 11 régió területi eloszlása jelenik meg (a fekete vonal a mediánt jelzi, a sötétebb szürke terület az alsó és felső kvartilis közötti ún. interkvartilis tartományt jelöli, a világosabb szürke terület fedi le szimmetrikusan az interkvartilis négyszeres tartományát).

Figure 2. Spatial variability of mean precipitation indices for the three selected regions. The values of the other 11 regions located in the northern part of the continent are indicated by gray (the black line represents the median value, darker gray represents interquartile range between the lower and higher quartiles, while lighter gray represents the quadruple interquartile range symmetrically).



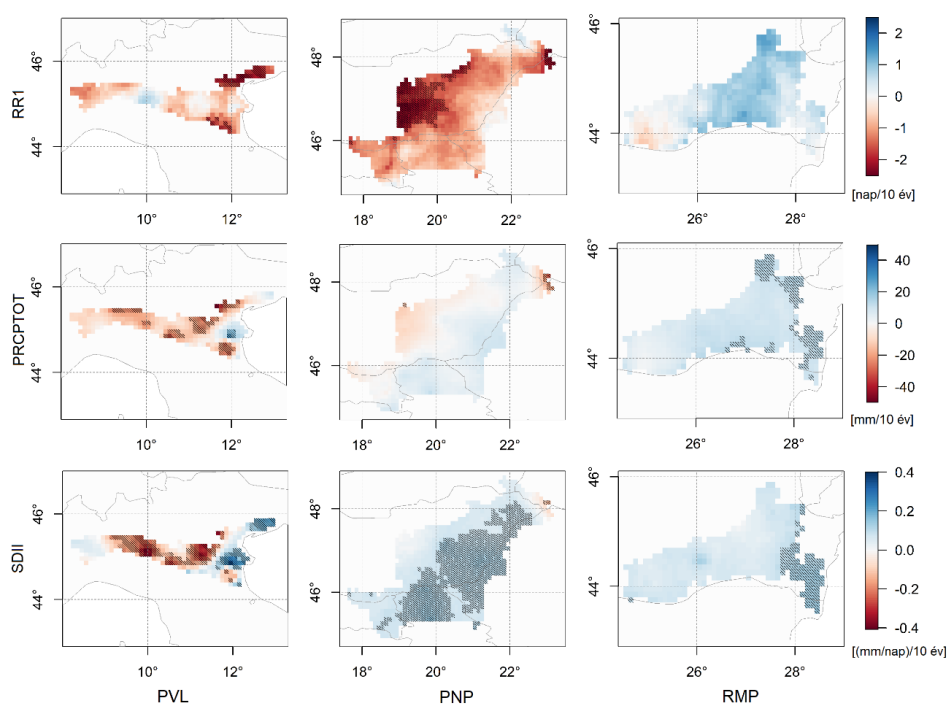
A nyugatról érkező és a vizsgált területeket elérő ciklonok először az Alpokon, majd a Román-alföld esetében a Kárpátokon is átkelnek, amely ezen nagytérségi rendszerek gyengüléséhez vezet, és ezáltal már kevesebb csapadékhoz is. Mindez magyarázatul szolgál az európai átlaghoz képest alacsonyabb éves csapadékmennyiségre, és a kevesebb számú csapadékos napra a Román-alföldön és valamelyest az Alföldön is.

Bár Európa általánosan csapadékosabbá vált az elmúlt néhány évtized során, a kontinensen belül ellentétes előjelű változások figyelhetők meg. Míg az észak- és nyugat-európai területek esetében egyértelműen növekedett a csapadékösszegek és a csapadékos napok száma, addig a kontinens déli részén szárazodás figyelhető meg (pl. Millán et al., 2004; Spinoni et al., 2015; Norrant & Douguédroit, 2016). Ennek megfelelően szignifikáns csökkenés figyelhető meg a csapadékos napok számában a Pó-síkság és az Alföld esetében, amit a Pó-síkságon az éves csapadékmennyiség csökkenése is kísér. A másik két alföldi területtel valamelyest ellentétes irányú változás figyelhető meg a Román-alföld esetében, ahol mind a csapadékos napok száma, mind pedig az éves csapadékösszeg is növekvő tendenciát mutat (3. ábra).

Az SDII ennek megfelelően szignifikáns csökkenő tendenciát mutat a Pó-síkság esetében, míg szignifikáns növekedés figyelhető meg az Alföldön és a Román-alföldön. Ez előrevetíti az Alföld és az Román-alföld esetében a csapadékos helyzetek intenzitásának növekedését, a Pó-síkság esetében pedig a csapadékos helyzetek gyakoriságának csökkenését, ami pedig a jövőben mind környezeti, mind mezőgazdasági szempontból kockázatot jelenthet.

3. ábra: Az RR1, PRCPTOT és SDII index évtizedes trendjei az egyes rácspontokban. Az árnyékolt területek szignifikáns változást jeleznek.

Figure 3. Decadal trends of the RR1, PRCPTOT and SDII indices in the individual gridpoints. Hatched areas indicate grid cells with significant change.





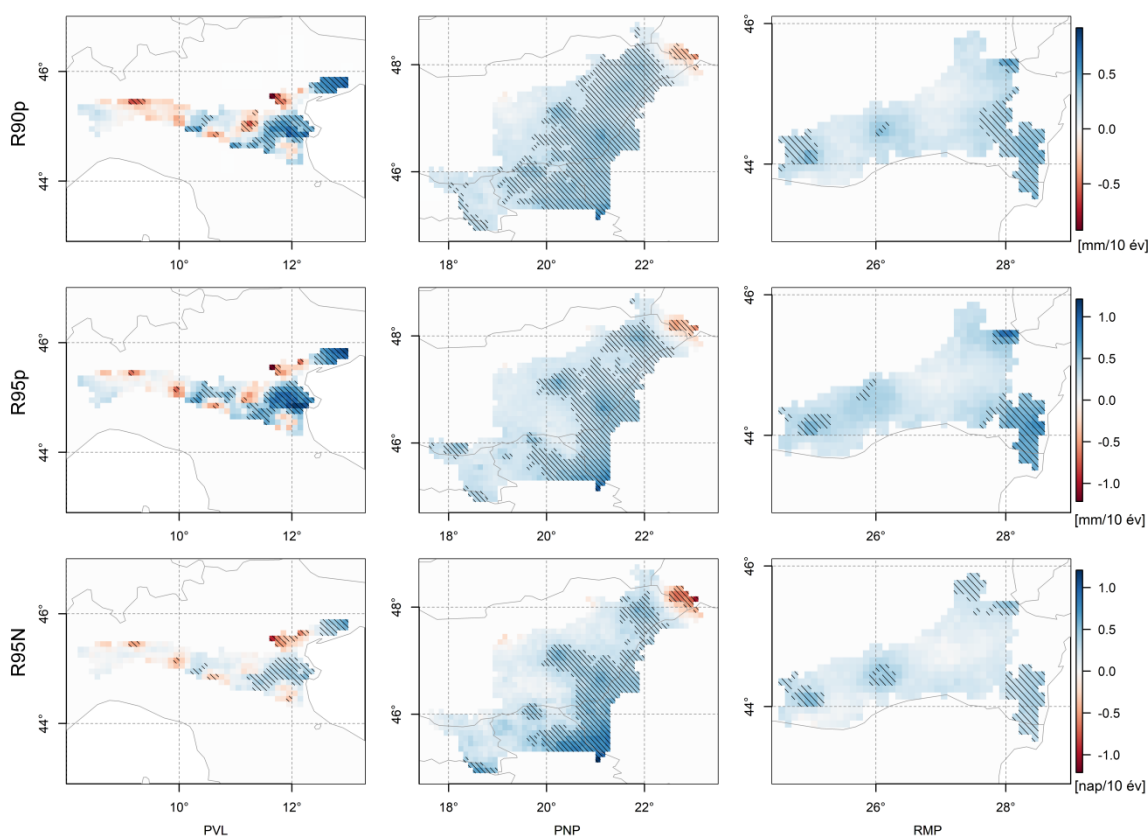
## Extrém csapadékindexek időbeli és térbeli változékonysága

A heves, nagy csapadékkal járó helyzetek általában csak a területek egy kis részét érintik, és a csapadék nagy térbeli és időbeli változékonyságából eredően nem feltétlenül tudjuk az összes extrém csapadékos helyzetet detektálni, ha ezek nem érintenek mérőállomást. Különösen igaz ez a konvektív eredetű eseményekre, amelyeket a lokális légköri helyzetek vezérelnek.

Ezen események alapvetően lokális jellege ellenére felismerhetünk különböző mintázatokat az egyes indexek vizsgálatakor. Hasonlóan az átlagos csapadékindexekhez, az extrém indexek esetében is a Pó-síkságon fordulnak elő a legmagasabb értékek mind az intenzitás, mind pedig a gyakoriság tekintetében, amely szintén visszavezethető az előző fejezetben említett klimatológiai és geográfiai okokra.

4. ábra: Az R90p, R95p és R95N index évtizedes trendjei az egyes rácspontokban.  
 Az árnyékolt területek szignifikáns változást jeleznek.

Figure 4. Decadal trends of the R90p, R95p and R95N indices in the individual gridpoints.  
 Hatched areas indicate grid cells with significant change.



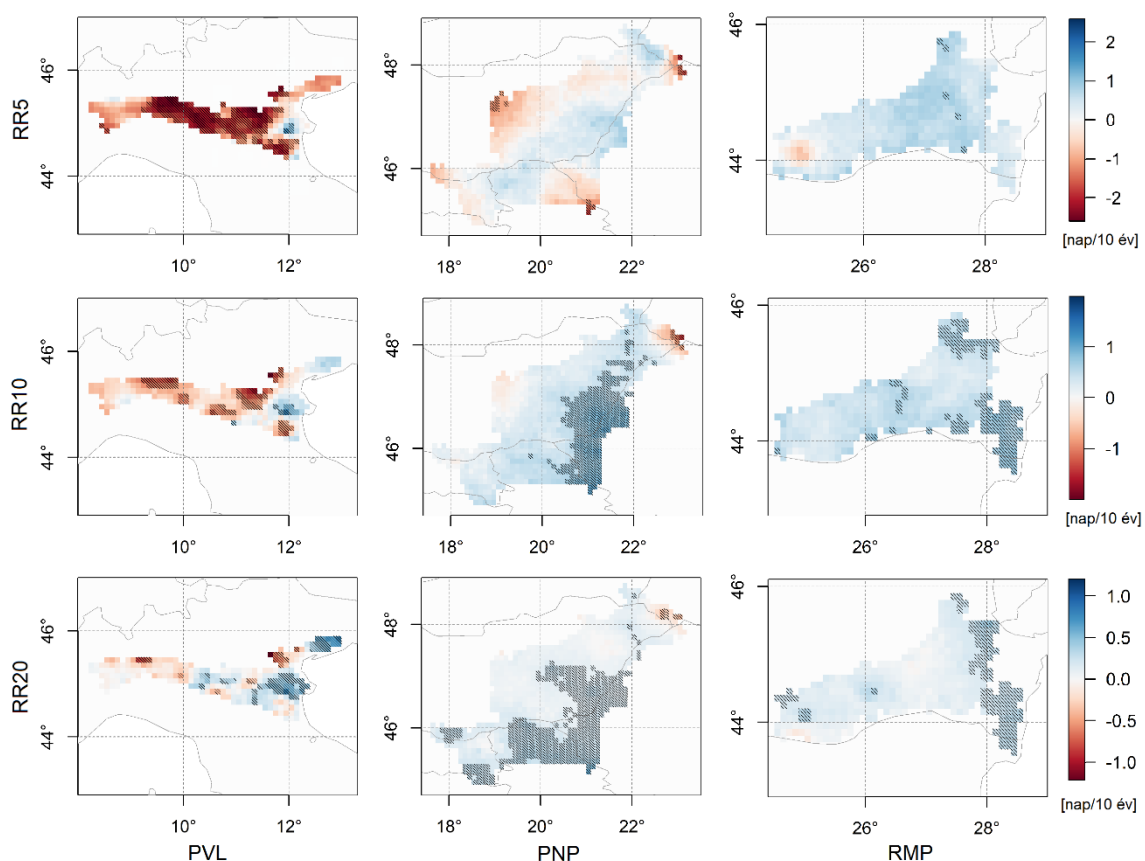
A másik két alföldi régió esetében az SDII-hez hasonlóan a Román-alföldön magasabb értékek fordulnak elő mind a gyakoriságot kifejező indexek, mind pedig az intenzitásra vonatkozó indexek esetében. A percentilis alapú indexek a minta eloszlásának ugyanazon részét vizsgálják, az R95p és R90p indexek esetében a medián értékek rendre 10,11 mm, illetve 12,57 mm az Alföld esetében, 12,22

mm, illetve 15,53 mm a Román-alföldön, végül 17,59 mm, illetve 22,81 mm a Pó-síkságon. Mivel a csapadékos napok száma viszont alacsonyabb a Román-alföldön (73 nap), mint az Alföld esetében (90 nap), ebből arra következtethetünk, hogy kevesebb csapadékos nap fordul elő a Román-alföldön, de azok intenzívebbek, mint az Alföldön. Igaz ez a Pó-síkságra is, ahol a csapadékos napok száma szintén alacsonyabb (77 nap), mint az Alföld esetében, de az extrém indexek értékei a legmagasabbak európai viszonylatban is.

A szélsőséges csapadékos indexekkel kapcsolatos eredményeink összhangban vannak más tanulmányok eredményeivel (pl. Klein Tank et al., 2002; Łupikasza, 2017); az extrém csapadékos helyzetek intenzitása és gyakorisága egy általános növekedő tendenciát mutat.

5. ábra: Az RR5, RR10 és RR20 index évtizedes trendjei az egyes rácspontokban. Az árnyékoló területek szignifikáns változást jeleznek.

Figure 5. Decadal trends of the RR5, RR10 and RR20 indices in the individual gridpoints. Hatched areas indicate grid cells with significant change.

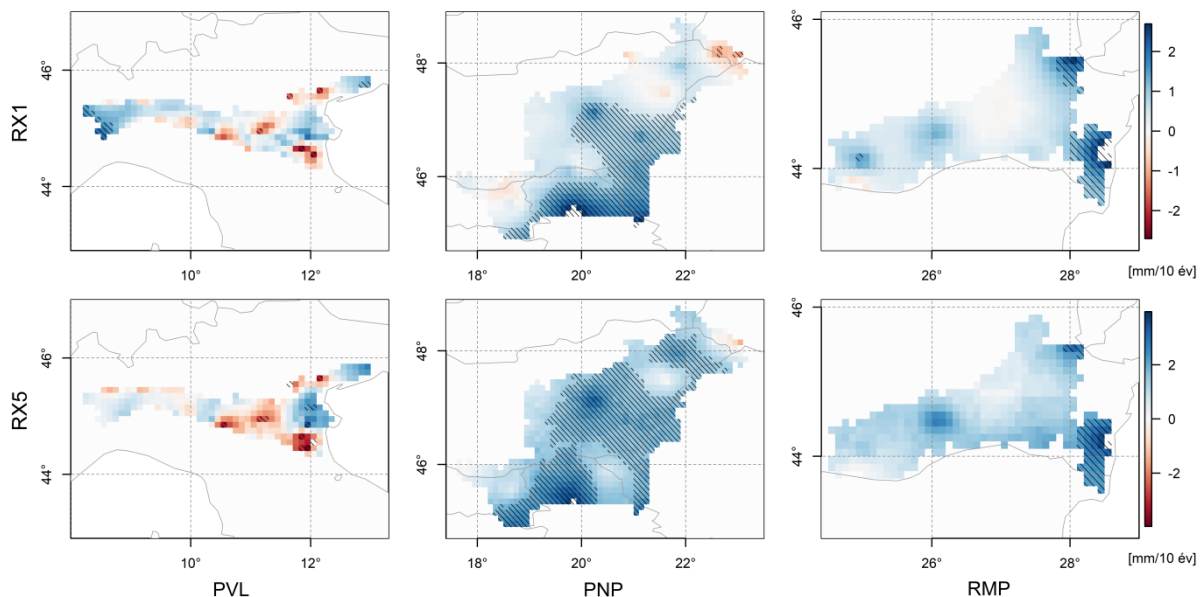


A csapadék gyakoriságával összefüggő indexek (RR5, RR10, RR20) mintázata egyértelműen mutatja az intenzívebb csapadékos napok gyakoriságának növekedését mind a három régióban (5. ábra), ugyanakkor észrevehető ellenkező irányú változás is. Mind a Pó-síkság, mind az Alföld esetében kimutatható szignifikáns csökkenés mind a három index esetében, azonban a szélsőségesebb csapadékos helyzetek felé haladva a változás mértéke egyre nagyobb területen válik szignifikánsan pozitívvá. Így azt feltételezhetjük, hogy a már említett szignifikáns RR1 csökkenés főleg a nem vagy kevésbé extrém csapadékos napokat érinti. Ezzel szemben az RR1 indexszel együtt a gyakorisági indexek növekvő tendenciát mutatnak a Román-alföld teljes területén, amely azonban csak pár rácspontban szignifikáns.

A percentilis alapú indexek vizsgálata azt mutatja, hogy a Pó-síkság és az Alföld bizonyos részein a negatív RR1- és PRCPTOT-tendenciákhoz az extrém csapadékos helyzetek intenzitásának csökkenése is társul, a területek jelentős részén azonban továbbra is szignifikáns pozitív trend figyelhető meg, mint ahogy a Román-alföld egész területén. Némiképp eltérő mintát mutat az RX1 és RX5 index változása, ugyanis míg az Alföld és a Román-alföld esetén egyértelmű, és a terület nagy részén szignifikáns növekedés figyelhető meg, addig a Pó-síkság területén néhány rácspontban szignifikáns növekedés, más rácspontokban pedig csökkenés is kimutatható.

6. ábra: Az RX1- és RX5-index évtizedes trendjei az egyes rácspontokban.  
 Az árnyékolt területek szignifikáns változást jeleznek.

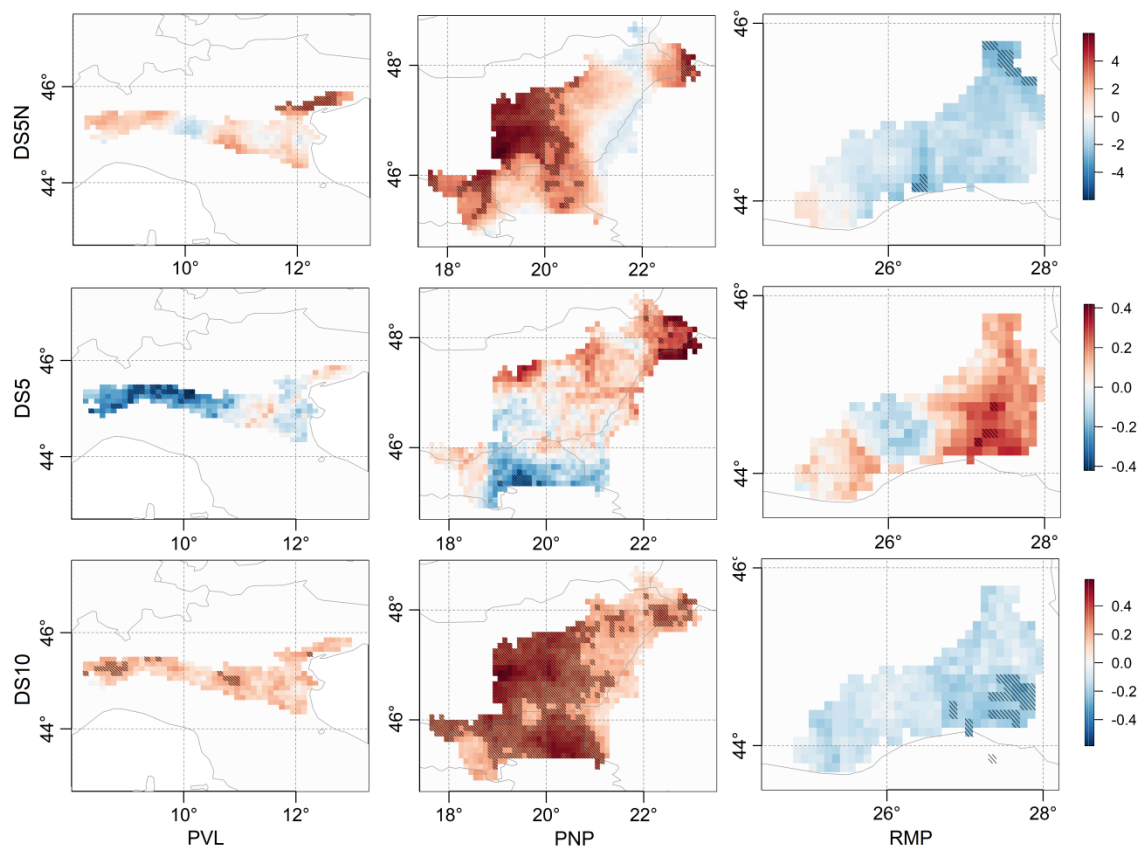
Figure 6. Decadal trends of the RX1 and RX5 indices in the individual gridpoints.  
 Hatched areas indicate grid cells with significant change.



Mindenképpen érdemes megjegyezni a trendek területen belül megmutatkozó változékonyságát. A Pó-síkság esetében a trendek iránya a területen belül jelentősen eltérhet, és pontszerűen ellentétes irányú, esetenként szignifikáns változások is előfordulhatnak. Mint ahogyan az 1. ábrán is látható, az állomássűrűség a Pó-síkság esetében a legmagasabb, 5,13 állomás/1000 km<sup>2</sup>, míg az Alföld és a Román-alföld esetében ez rendre 0,25, illetve 0,13 állomás/1000 km<sup>2</sup>. Az interpolációból adódóan kevesebb állomás esetén a rendelkezésre álló adatok nagyobb területet reprezentálnak, ami azt eredményezi, hogy a trendek is jóval homogénebb képet mutatnak, míg a Pó-síkság esetében az állomások méréseinek hatása kisebb területre korlátozódik. A szignifikáns növekedések és csökkenések térben nem különíthetők el egyértelműen, viszont az állomások mérési időtartamának ismeretében feltételezhetjük, hogy a nem teljes, 70 évnél rövidebb időtartamú mérési adatsorok használata az interpolációban a vizsgált trendekre is hatással lehet.

7. ábra: A DS5N-, DS5- és DS10-index évtizedes trendjei az egyes rácspontokban.  
Az árnyékolt területek szignifikáns változást jeleznek.

Figure 7. Decadal trends of the DS5N, DS5 and DS10 indices in the individual gridpoints.  
Hatched areas indicate grid cells with significant change.



Az öt és tíz napot meghaladó száraz időszakok száma a három déli régióban meghaladja a kontinens északi részén elhelyezkedő területek átlagát, ami rendre 17, illetve 6 alkalom évente. A legmagasabb értékek a Román-alföld esetében fordulnak elő, ahol az öt napot meghaladó száraz időszakok száma átlagosan 21, míg a tíz napot meghaladó száraz időszakok száma 10. Az Alföldet tekintve ezek az értékek rendre 20, illetve 9, míg a Pó-síkság esetén rendre 19, illetve 10 alkalom évente. A szárazsággal kapcsolatos indexek időbeli megváltozásánál már korántsem látható olyan szignifikáns változás, mint az extrém csapadékos indexek esetén, a DS5-, DS10- és DS5N-index azonban érdekes mintázatot mutat (7. ábra).

A DS5N szignifikáns növekedő tendenciát mutat a Pó-síkságon és az Alföldön, míg csökkenőt a Román-alföld esetében. Ezzel párhuzamosan a Pó-síkság teljes területén növekszik a DS10 értéke, és jórészt csökken a DS5 értéke. Hasonló tendenciát mutat az Alföld, azzal a különbséggel, hogy a terület bizonyos részein a DS5 növekvő tendenciát mutat. Ezzel teljesen ellentétes irányú a változás a Román-alföld esetében, ahol a DS5N csökkenését a DS5 növekedése és a DS10 csökkenése kíséri. Ennek oka, hogy az indexeket éves időtartamra számítottuk, és az egy éven belül előforduló, öt napnál száraz időszakok száma korlátos.

A tíz napot meghaladó száraz időszakok számának növekedése magával vonhatja az öt napot meghaladó száraz időszakok számának csökkenését (pl. Alföld vagy Pó-síkság esetében), tekintve, hogy minél hosszabb egy száraz időszak, annál kevesebb fordulhat elő belőle egy évben. A két index közötti ilyen jellegű kapcsolat azért nem teljesen egyértelmű, mert a DS10-index a DS5-index egy részhalmazát képezi. Ugyanakkor a DS5N változása mégis azt jelzi, hogy az Alföldön és a Pó-síkságon az egybefüggő száraz időszakok egyre hosszabbak lesznek.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Tanulmányunkban három alföldi régióra koncentráltunk, amelyeket a klímaváltozás a jelenben és a jövőben is hátrányosan érinthet. Mivel az alföldek kiemelt szerepet játszanak a mezőgazdaság szempontjából, továbbá a Föld lakosságának 80%-a 200 m tengerszint alatt él (Cohen & Small, 1998), a jövőbeli felkészülés és megelőzés szempontjából tisztában kell lennünk a klímaváltozás ezen régiókra gyakorolt hatásával.

A megfigyelt változások jórészt visszavezethetők a nagytérségi oszcillációs rendszerekre, amelyek közvetlen hatással vannak a kontinens időjárására hosszabb időszakon keresztül is. Az európai téli időjárást leginkább befolyásoló NAO (North Atlantic Oscillation: Észak-atlanti oszcilláció) rendszer pozitív fázisa során a kontinens északi területein csapadékosabb telet észlelhetünk, míg a déli területeken az időjárás szárazabb, mint a sokéves átlag. A NAO-index az elmúlt évtizedek során növekvő trendet mutat (Visbeck et al., 2001), ami köthető a kontinensen megfigyelt szélsőséges csapadék-helyzetek gyakoriságának és intenzitásának növekedéséhez és esetlegesen a száraz időszakokban bekövetkező változásokhoz is (Haylock & Goodess, 2004; Boccolari & Malmusi, 2013).

Az eredményeink összhangban vannak más tanulmányok következtetésével. (1) A Pó-síkságon Brunetti et al. (2000) vizsgálta a csapadékmezők megváltozását, ami alapján mind az RR1, mind

a PRCPTOT csökkenése mutatható ki, főleg a téli és tavaszi időszakban, ami az SDII évszakfüggő megváltozásához vezet. (2) Az Alföld esetében Bartholy és Pongrácz (2007) vizsgálata szintén az RR1 csökkenését mutatta ki, az RR20 növekedése mellett az 1946–2001 időszakban. Eredményeik szerint a csapadékos helyzetek gyakorisága csökkent, így a szélsőséges csapadékos helyzetek aránya növekedett a régióban. (3) A Román-alföldön Croitoru et al. (2016) az extrém csapadékos helyzetek növekedését mutatta ki, a CDD-index szignifikáns csökkenésével együtt, aminek esetében nekünk nem sikerült szignifikáns változást kimutatnunk.

Kutatásunk alapján elmondható, hogy mind a három részletesebben vizsgált térségben növekedett a szélsőséges csapadékos helyzetek gyakorisága és intenzitása is, amelyet a Pó-síkság és az Alföld esetében a csapadékos napok csökkenése kísér. Szintén ennél a két alföldnél mutattuk ki a szélsőségesen hosszú száraz időszakok növekedését is. Mindezek alapján általánosságban azt mondhatjuk, hogy bizonyos régiókban a csapadékos helyzetek egyre kevesebbszer fordultak elő, és mindinkább a szélsőséges események felé való eltolódás észlelhető.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., ... Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, *111*, D05109. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- Bartholy, J., Pongrácz, R. (2007). Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946–2001. *Global and Planetary Change*, *57*, 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.002>
- Bissolli, P., Friedrich, K., Rapp, J., Ziese, M. (2011). Flooding in eastern central Europe in May 2010. *Weather*, *66*, 147–153. <https://doi.org/10.1002/wea.759>
- Boccolari, M., & Malmusi, S. (2013). Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy. *Atmospheric Research*, *122*, 16–31. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.10.022>
- Brunetti, M., Colacino, M., Maugeri, M., & Nanni, T. (2001). Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996. *International Journal of Climatology*, *21*(3), 299–316. <https://doi.org/10.1002/joc.613>
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., C., Bernhoffer, C., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A. D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., ... Valentini, R. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, *437*, 529–533. <https://doi.org/10.1038/nature03972>
- Cohen, J. E., & Small, C. (1998). Hypsographic demography: The distribution of human population by altitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*(24), 14009–14014. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.24.14009>

- Cornes, R. C., van den 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>
- Croitoru, A. E., Piticar, A., Burada, D. C. (2016). Changes in precipitation extremes in Romania. *Quaternary International*, 415, 325–335. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.028>
- Darányi, V., & Gálosi-Kovács, B. (2011). A környezettudatos településfejlesztés, mint az élhetőbb települési környezet megteremtésének eszköze. *Modern Geográfia*, 6(3), 1–28.
- Donat, M. G., Lowry A. L., Alexander, L. V., O’Gorman, P., & Maher, N. (2016). More extreme precipitation in the world’s dry and wet regions. *Nature Climate Change*, 6, 508–513. <https://doi.org/10.1038/nclimate2941>
- Fink, A. H., Brücher, T., Krüger, A., Leckebusch, G. C., Pinto, J. C., & Ulbrich, U. (2004). The 2003 European summer heatwaves and drought – synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, 59, 209–216. <https://doi.org/10.1256/wea.73.04>
- Glied, V., & Barkóczi, Cs. (2013). A fenntartható fejlődés elemeinek megjelenése a városfejlesztési stratégiákban a Dél-Dunántúlon. *Modern Geográfia*, 8(2), 1–46.
- Grams, C. M., Binder, H., Pfahl, S., Piaget, N., & Wernli, H. (2014). Atmospheric processes triggering the central European floods in June 2013. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 1691–1702. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1691-2014>
- Groisman, P. Y., Knight, R. W., Easterling, D. R., Karl, T. R., Hegerl, G. C., & Razuvaev, V. N. (2005). Trends in intense precipitation in climate record. *Journal of Climate*, 18, 1326–1350. <https://doi.org/10.1175/JCLI3339.1>
- Haylock, M. R., & Goodess, C. M. (2004). Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(6), 759–776. <https://doi.org/10.1002/joc.1033>
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M., G., Klok, E. J., Jones, P. D., New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical*, 113, D20119. <https://doi.org/10.1029/2008JD010201>
- Klein Tank, A. M. G., Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Mileta, M., Pashiardis, S., Hejkrlik, L., Kern-Hansen, C., Heino, R., Bessemoulin, P., Müller-Westermeier, G., Tzanakou, M., Szalai, S., Pálsdóttir, T., Fitzgerald, D., Rubin, S., Capaldo, ..., Petrovic, P. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(12), 1441–1453. <https://doi.org/10.1002/joc.773>
- Klein Tank, A. M. G., & Können, G. P. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate*, 16(22), 3665–3680. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<3665:TIIODT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIIODT>2.0.CO;2)
- Łupikasza, E. B. (2017). Seasonal patterns and consistency of extreme precipitation trends in Europe, December 1950 to February 2008. *Climate Research*, 72(3), 217–237. <https://doi.org/10.3354/cr01467>

- Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M., Kjeldsen, T. R. (2014). Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of Hydrology*, 519, 3634–3650. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.003>
- Messmer, M., Gómez-Navarro, J. J., and Raible, C. C. (2015). Climatology of Vb cyclones, physical mechanisms and their impact on extreme precipitation over Central Europe, *Earth System Dynamics*, 6(2), 541–553. <https://doi.org/10.5194/esd-6-541-2015>, 2015.
- Millán, M. M., Estrela, M. J., & Miró, J. (2005). Rainfall components: variability and spatial distribution in a Mediterranean Area (Valencia Region). *Journal of Climate*, 18(14), 2682–2705. <https://doi.org/10.1175/JCLI3426.1>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Moberg, A., Jones, P. D., Lister, D., Walther, A., Brunet, M., Jacobeit, J., Alexander, L. V., Della-Marta, P. M., Luterbacher, J., Yiou, P., Chen, D., Klein Tank, A. M. G., Saladié, O., Sigró, J., Aguilar, E., Alexandersson, H., Almarza, C., Auer, I., Barriendos, M., ... Xoplaki, E. (2006), Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analysed for the period 1901–2000. *Journal of Geophysical Research*, 111, D22106 <https://doi.org/10.1029/2006JD007103>
- Norrant, C., & Douguédroit, A. (2006). Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000). *Theoretical and Applied Climatology*, 83(1), 89–106. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0163-y>
- Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). *Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs*. World Meteorological Organization.
- Pieczka, I., Bartholy, J., Pongrácz, R., & Szabóné, A. K. (2019). Validation of RegCM regional and HadGEM global climate models using mean and extreme climatic variables. *Időjárás*, 123(4), 409–433. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2019.4.1>
- Schmeller, D., (2021). Taktikai városfejlesztés – Új gyakorlat megjelenése a városi zöldfelületek létrehozásában. *Modern Geográfia*, 16(1), 81–106. <https://doi.org/10.15170/MG.2021.16.01.05>
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., Barbosa, P., (2015). European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach, *Global and Planetary Change*, 127, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.01.012>
- Van Bebber, W., (1981). Die Zugstrassen der barometrischen Minima nach den Bahnenkarten der deutschen Seewarte für den Zeitraum 1875-1890, *Meteorologische Zeitschrift*, 8, 361–366
- Van den Besselaar, E. J. M., Klein Tank, A. M. G., & Buishand, T. A. (2013). Trends in European precipitation extremes over 1951–2010. *International Journal of Climatology*, 33(12), 2682–2689. <https://doi.org/10.1002/joc.3619>
- Visbeck, M. H., Hurrell, J. W., Polvani, L., Cullen, H. M. (2001). The North Atlantic Oscillation: past, present, and future. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(23), 12876–12877. <https://doi.org/10.1073/pnas.231391598>



Westra, S., Fowler, H. J., Evans, P., Alexander, L. V., Berg, P., Johnson, F., Kendon, E. J., Lenderink, G., & Roberts, N. M. (2014). Future changes to intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 52, 522–555. <https://doi.org/10.1002/2014RG000464>  
Earth Resources Observation and Science Center. (2017). [https://prdwrts3.s3.uswest2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fspublic/atoms/files/GTOPO30\\_Readme.pdf](https://prdwrts3.s3.uswest2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fspublic/atoms/files/GTOPO30_Readme.pdf)

*Ez a mű a Creative Commons Nevezd meg! – Ne add el! – Ne változtasd! 4.0 nemzetközi licence-feltételeinek megfelelően felhasználható. (CC BY-NC-ND 4.0)*

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

*This open access article may be used under the international license terms of Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0)*

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

