

KÁRPÁT-HAZA

SZEMLE

A KÁRPÁT-MEDENCEI MAGYARSÁGKUTATÁS INTERDISZCIPLINÁRIS SZAKMAI FOLYÓIRATA

2025/ 2. szám

BORDI SÁRA – SIMON CSILLA – SZENTES OLIVÉR

Erdély térségében megfigyelt éghajlati trendek
és a jövőben várható változások a klímaváltozás tükrében

SÜTŐ ATTILA GERGELY

Klímaalkalmazkodás és területiség a Kárpát-medencében és Kelet-Közép-Európában.
A térségbeli országok klímaalkalmazkodási politikáinak klímaszemponturnak térérzékenysége

SÜTŐ ZSUZSANNA

Hallgatói immobilitás – a gazdasági megközelítésen túl

GÁSPÁR MILÁN

Többses kötődési módozatok nemzetek, országok és lokális-regionális terek láncolatában:
székelyföldi, partiumi és kárpátaljai hallgatói közösségek komparatív vizsgálata

KRISKA OLIVÉR – RIGÓCZKI GERGELY

A városi tér olvasatai: szimbolikus jelentések és nemzetiségi narratívák Szabadkán

KÁRPÁT-HAZA SZEMLE

A KÁRPÁT-MEDENCEI MAGYARSÁGKUTATÁS
INTERDISZCIPLINÁRIS SZAKMAI FOLYÓIRATA

2025/ 2. szám

KÁRPÁT-HAZA SZEMLE

A KÁRPÁT-MEDENCEI MAGYARSÁGKUTATÁS
INTERDISZCIPLINÁRIS SZAKMAI FOLYÓIRATA

2025/ 2 . szám

Nemzetstratégiai Kutatóintézet
Budapest, 2025

KÁRPÁT-HAZA SZEMLE 2025/ 2. szám

A Kárpát-medencei magyarságkutatás interdiszciplináris szakmai folyóirata

KIADJA A NEMZETSTRATÉGIAI KUTATÓINTÉZET

1054 Budapest, Nagysándor József utca 8.

Felelős kiadó: Szász Jenő

Szerkesztőbizottság

Bakk Miklós, Bali János, Benedek József, Csata Zsombor, Farkas György,
Hajdú Zoltán, Kovály Katalin, Lampl Zsuzsanna, Magyar Zoltán,
Nagy Benedek, Nagy Imre, Péntek János, Péti Márton, Pozsony Ferenc,
Rácz Szilárd, Salamin Géza, Schwarcz Gyöngyi, Szilágyi Ferenc,
Sztók Szilvia, Tóth Géza, Török Ibolya, Tózsér Anett

Szerkesztő

Ress Boglárka

A szerkesztő munkatársa

Bern Andrea, Borbándi Erik

Tördelőszerkesztő

Simon Andrea

Tipográfus

Nádas Zsófia

Nemzetstratégiai Kutatóintézet © 2025, Budapest

Minden jog fenntartva

A kötetben szereplő írások tartalma nem feltétlenül tükrözi a kiadó álláspontját.

ISSN 2732-1789

TARTALOM

TANULMÁNYOK 6

Bordi Sára – Simon Csilla – Szentes Olivér
Erdély térségében megfigyelt éghajlati trendek
és a jövőben várható változások a klímaváltozás tükrében 6

Sütő Attila Gergely
Klímaalkalmazkodás és területiség a Kárpát-medencében és Kelet-Közép-Európában.
A térségbeli országok klímaalkalmazkodási politikáinak klímaszemponjú térérzékenysége 17

Sütő Zsuzsanna
Hallgatói immobilitás – a gazdasági megközelítésen túl 49

Gáspár Milán
Többes kötődési módozatok nemzetek, országok és lokális-regionális terek láncolatában:
székelyföldi, partiumi és kárpátaljai hallgatói közösségek komparatív vizsgálata 64

Kriská Olivér – Rigóczki Gergely
A városi tér olvasatai: szimbolikus jelentések és nemzetiségi narratívák Szabadkán 82

RECENZÍÓ 99

Schwarcz Gyöngyi
A közbirtokossági vagyon és a közösségi szerep értelmezései Székelyföldön –
Recenzió Biró A. Zoltán és Tamás László (szerk.) *Közösségi vagyon – közösségi szerep.*
Székelyföldi erdőgazdálkodás – szempontok, tények, lehetőségek és
Biró A. Zoltán, Sárosi-Blága Ágnes és Tamás László *Elvárások, adottságok, kihívások.*
Erdészek, közbirtokossági vezetők a székelyföldi erdőgazdálkodásról c. műveiről 99

ABSZTRAKTOK 104

Bordi Sára

HungaroMet, Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt

Simon Csilla

HungaroMet, Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt

Szentes Olivér

HungaroMet, Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt

Erdély térségében megfigyelt éghajlati trendek

és a jövőben várható változások a klímaváltozás tükrében

Kárpát-haza Szemle, 2025 (2), pp. 6–16, 104.

DOI-azonosító: 10.64605/KHSZ.2025.2.01

Erdély térségében megfigyelt éghajlati trendek és a jövőben várható változások a klímaváltozás tükrében

Az éghajlatváltozás hatásaira való felkészüléshez elengedhetetlen a már bekövetkezett változások irányának és mértékének ismerete, valamint az éghajlat állapotának folyamatos nyomon követése, amihez reprezentatív, jó minőségű adatbázisokra van szükség. A jövőben valószínűsíthető változásokra a globális és a regionális klímamodell-szimulációk eredményei alapján számszerű becslések adhatók, amelyek fontos részét képezik a felkészülési stratégiák kidolgozásának. Tanulmányunkban ismertetjük az Erdély térségében megfigyelt éghajlati trendeket, amihez a CarpatClim adatbázist vettük alapul, valamint bemutatjuk a 21. század második felében várható változásokat a HungaroMet-nél előállított regionális klímamodell-szimulációk együttesének felhasználásával. A hőmérsékleti és csapadék szélsőségeket éghajlati indexek segítségével elemezzük.

Observed trends and future changes in the climate of Transylvania in light of climate change

To prepare effectively for the impacts of climate change, it is essential to be aware of both the direction and the extent of the changes already occurred as well as to monitor the current state of the climate, which requires representative, high-quality measurement-based databases. Numerical estimations of likely future changes can be made by analysing the results of global and regional climate model simulations, which play a key role in the development of adaptation strategies. In this study the observed climate trends are analysed over Transylvania based on the CarpatClim database, in addition, the expected future changes are shown for the second half of the 21st century based on a set of regional climate model simulations produced at HungaroMet. Temperature and precipitation extremes are analysed by climate indices.

TANULMÁNYOK

BORDI SÁRA, SIMON CSILLA, SZENTES OLIVÉR

Erdély térségében megfigyelt éghajlati trendek és a jövőben várható változások a klímaváltozás tükrében

1. Bevezetés – az éghajlat modellezése

A légkörben zajló folyamatokat, és az éghajlati rendszer elemei közötti kölcsönhatásokat fizikai törvények kormányozzák. Az időjárásban vagy klímában történő változások modellezéséhez ezeket a fizikai törvényeket matematikai egyenletrendszerrel (az ún. hidro-termodinamikai egyenletrendszerrel) írjuk le, s a modellben az egyenletrendszer megoldását keressük. Analitikusan azonban a megoldás nem lehetséges, így olyan numerikus közelítéseket kell alkalmaznunk, amelyek egyszerűsítik a bonyolult egyenletrendszert. Ilyen például a tér és az idő folytonosságára alkalmazott közelítés: mivel nem tudjuk az egyenletrendszert a tér minden egyes pontjában és az idő minden pillanatában megoldani, a Földet lefedjük egy rácshálózattal, az időt pedig időlépésekre osztjuk, majd az egyenletrendszert az így létrejött rácspontokban és időlépcsőkben oldjuk meg. A modellezés még a közelítésekkel is hatalmas mennyiségű adat feldolgozását igényli, éppen ezért különböző célokra különböző tér- és időbeli felbontású, illetve különböző területi lefedettségű meteorológiai modelleket futtatnak.

Az időjárás-előrejelző modellek néhány hetes időtávra futnak, azzal a céllal, hogy a következő egy-két hét időjárását minél pontosabban, minél részletesebb

időbeli felbontással prognosztizálják. Ezek esetében kulcsfontosságú a bemenő kezdeti állapot, vagyis az, hogy milyen az időjárás helyzet a kezdeti időpontban, milyen nyomási mintázatok uralkodnak a légkörben, melyek az elkövetkező napok időjárását alakítják. A klímamodellek sokkal hosszabb távra, akár egy évszázadra futnak azért, hogy az éghajlatban bekövetkező lassú változásokat térképezzék fel. Esetükben a cél nem egy adott év adott napján várható időjárás viszonyok pontos leírása, hanem egy szokásos viselkedés megfelelő tükrözése – például éves, évszakos átlagokkal, melyek az éghajlat hosszú távú tendenciáját jellemzik. Éppen ezért a klímamodellekben – az időjárás modellekkel ellentétben – a rendszert kormányzó kényszerek a meghatározók a modellezés során, nem a kiindulási állapot. Ezek a kényszerek lehetnek természetes eredetűek (pl. olyan csillagászati tényezők, mint a Föld pályaelemeinek módosulása, vagy a bolygóról származó természetes kényszerek, mint vulkánkitörések), de származhatnak az emberi tevékenységből is (pl. szennyezőanyag kibocsátás iparból, közlekedésből, mezőgazdaság, építkezés környezet módosító hatása).

Területi lefedettség és térbeli felbontás szempontjából kétféle klímamodellet különböztethetünk meg. A globális modellek a teljes Földet lefedik, horizontális felbontásuk 100–200 km-es. Ezek a modellek alkalmasak arra, hogy a bolygó nagyobb méretskálájú

folyamatait, a különböző szférák közötti (pl. légkör-óceán, légkör-bioszféra) kölcsönhatásokat leírják, és egy általános képet adnak a teljes Földre vonatkozóan a bekövetkező változások irányáról, nagyságrendjéről. Ha azonban egy szűkebb terület, például egy ország klímaváltozására vagyunk kíváncsiak, a globális modellek rácsfelbontása már nem elég finom ahhoz, hogy az olyan kisebb méretskálájú folyamatokat, mint például a domborzat lokális hatásait megfelelő részletességgel le tudják írni. Ezért erre a célra regionális klímamodelleket alkalmazunk, melyek kisebb területet fednek le (például Európát, a mediterrán térséget, vagy akár a Kárpát-medencét), felbontásuk azonban jóval finomabb, 10–25 km-es, s így projekciójuk is részletesebb, pontosabb.

Ahogy minden jövőbeli előrejelzés, úgy az éghajlati modellezés is bizonytalansággal terhelt. Ez eredhet az éghajlati rendszer változékony sajátosságából, a modellben alkalmazott közelítésekből, és az emberi tevékenység jövőbeli alakulásának kiszámíthatatlanságából. Utóbbi, mivel kényszerként szerepel a rendszerben, különösen nagy hatással van a modellezett jövőbeli éghajlati projekcióra. Mivel nem tudjuk pontosan, hogy az emberi tevékenység hogyan fog alakulni a jövőben, a modellt többféle forgatókönyvvel hajtják meg, így többféle projekció készül annak függvényében, hogy milyen irányba változnak az antropogén hatások az idő folyamán. Egyik ilyen forgatókönyvcsalád a Representative Concentration Pathways (RCP), mely különböző üvegházhatású gázkibocsátási scénáriókat vázol fel, az alapján, hogy az évszázad végére milyen mértékben változik meg a sugárzási kényszer (Moss et al., 2010). Ide tartozik például a közepesen optimista RCP 4.5-ös (azt feltételezi, hogy a szennyezőanyag kibocsátást a század közepétől jelentősen csökkentjük) és a pesszimista RCP 8.5-ös (a jelenlegi kibocsátást egyáltalán nem csökkentjük a jövőben) forgatókönyv. Az eltérő eredmények miatt a modellezésből fakadó bizonytalanságot fontos figyelembe venni, éppen ezért célszerű nem egyetlen klímamodellel egyetlen szimulációjára támaszkodni egy jövőbeli projekció készítése során, hanem több modell és több forgatókönyv által létrehozott együttest, úgynevezett „ensemble”-t vizsgálni, és ez alapján a lehetséges változások intervallumait, valószínűségeit megadni.

A jövőbeli változások meghatározásához elengedhetetlen az éghajlat jelenlegi állapotának minél pontosabb

ismerete és a már bekövetkezett változások nyomon követése. Az éghajlat természetes belső változékony-sága miatt ehhez hosszabb időszakok átlagának vizsgálata szükséges, ami a Meteorológiai Világszervezet (World Meteorological Organization; WMO) ajánlása szerint 30 éves periódusok használatát jelenti (WMO, 2007). Ezek az úgynevezett éghajlati normál időszakok elég hosszúak ahhoz, hogy az éghajlat természetes változékony-ságát kisimítsák, az éghajlatváltozás jeleit azonban nem fedik el. A normál időszakok megújítása 10 évente történik, ezek alapján az 1991–2020-as időszakot tekintjük az éghajlat jelenlegi állapotát leíró 30 évnek (BIHARI és SZENTES, 2024). Az egymást követő normál időszakokra vonatkozó átlagok összehasonlításával lehetőség nyílik a bekövetkezett változások detektálására.

2. Felhasznált adatok és módszertan

Az Erdély térségében megfigyelt éghajlati trendek becsléséhez a CarpatClim adatbázist használtuk fel, amely a Kárpát-medence térségére szolgáltat jó minőségű napi adatsorokat különböző meteorológiai változókra és éghajlati indexekre az 1961–2010 közötti időszakra vonatkozóan, $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (10 km-es) horizontális felbontás mellett. A méréseken alapuló adatsorok ellenőrzése, homogenizálása és pótlása a nemzetközileg elismert, matematikailag megalapozott MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization; Szentimrey, 1999, 2008) szoftver felhasználásával valósult meg, ezzel kiszűrve a mérések módszerében történt változások és az állomások áthelyezése által keletkező inhomogenitásokat. Az egységes horizontális rácsra interpolálás a MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis; SZENTIMREY és BIHARI, 2007) szoftver segítségével történt, amely kifejezetten meteorológiai adatokra lett kifejlesztve, és a térbeli reprezentativitást biztosítja. Ehhez a tanulmányhoz a napi minimum- és maximumhőmérsékleti, valamint a napi csapadék adatsorokat használtuk fel a CarpatClimből. A napi középhőmérsékleti adatokat a minimum- és a maximumhőmérséklet átlagaként állítottuk elő. Az adatsorokat Erdély térségére a 2011–2023 közötti időszakra 174 állomás hőmérsékleti és 312 állomás csapadék méréseinek felhasználásával a fentebb

bemutatott módszerek alkalmazásával kibővítettük, ezáltal Erdély klimatikus viszonyait hosszabb időszakra, napjainkig tudjuk vizsgálni.

Az átlagos évi középhőmérséklet és az éves csapadékösszeg jellemzése mellett a szélsőségek leírásához bemutatjuk néhány éghajlati index (1. táblázat) megfigyelt és jövőben várható változásait is. Olyan indexeket választottunk, amelyek (1) a mezőgazdaság szempontjából fontos információt hordoznak, vagy (2) egészségügyi kockázatot jelentenek.

A jövőbeli változások vizsgálatához a HungaroMet-nél futtatott ALADIN5.2 és a REMO2015 10 km-es felbontású regionális klímamodellek RCP 4.5-ös és RCP 8.5-ös antropogén forgatókönyvvel meghajtott projekcióit használtuk fel (Megyeri-Korotaj et al., 2022). A vizsgálat során a múltban kijelölt 30 éves referencia időszak (1971–2000) éghajlati jellemzőivel vetettük össze jövőbeli 30 éves időszakok (2041–2070, 2071–2100) projekciós eredményeit. A modellezés bizonytalanságának figyelembevételére céljából a változás mértékére küszöbértékeket adtunk meg, s az eredmények fejezetben azt mutatjuk be, hogy a négy felhasznált szimulációból azok hány százaléka jelzi azt, hogy a vizsgált paraméter eléri, vagy meghaladja a rá vonatkozó változás küszöbértékét a megadott jövőbeli időszakban.

3. Eredmények

3.1. Megfigyelt éghajlati trendek

A meteorológiai adatsorok elemzésével lehetőség nyílik adott terület éghajlati jellemzőinek nyomon követésére, és az éghajlat hosszú távú, már bekövetkezett megváltozásának detektálására. Elsőként bemutatjuk Erdély térségének éghajlati karakterisztikáiban megfigyelt változásokat, amihez két éghajlati normál időszak (1971–2000 és 1991–2020) átlagait hasonlítjuk össze. Az átlagos középhőmérséklet és csapadékösszeg területi átlagának éves menetét klímadiagramok segítségével jelenítjük meg (1. ábra). A diagram x-tengelyén a hónapok vannak feltüntetve, a bal oldali y-tengely a középhőmérsékletet, míg a jobb oldali, másodlagos y-tengely a csapadékösszeget jelöli. Erdélyben a legtöbb (100 mm körüli) csapadék júniusban, a legkevesebb csapadék pedig februárban jellemző. A leghidegebb hónap a január, a legmelegebb a július és az augusztus. Az 1971–2000 időszakot tekintve az átlagos évi középhőmérséklet 8,2 °C-nak, az átlagos éves csapadékösszeg pedig 686 mm-nek adódott. A későbbi, 1991–2020 közötti időszakban az átlagos évi középhőmérséklet

1. táblázat:

A tanulmányban bemutatott,
(1) a mezőgazdaság szempontjából fontos információt hordozó és
(2) az egészségügyi kockázatot jelentő éghajlati indexek

Éghajlati index		
Jele	Megnevezése	Leírása
(1) CFD	Egymást követő fagyos napok számának maximuma	Az a leghosszabb időszak, amikor a napi minimumhőmérséklet 0 °C alatt marad
(1) GSL	Vegetációs időszak hossza	Az a leghosszabb időszak, amikor az átlaghőmérséklet legalább 6 egymást követő napon meghaladja az 5 °C-ot, majd (július után) 5 °C alá süllyed
(1) R20	Extrém csapadékú napok	A napi csapadékösszeg eléri a 20 mm-t
(2) SU	Nyári napok	A napi maximumhőmérséklet 25 °C fölé emelkedik
(2) TN20GE	Trópusi éjszakák	A napi minimumhőmérséklet 20 °C felett marad
(2) HWD	Hőhullámos napok	A napi középhőmérséklet eléri a 25 °C-ot

Forrás: saját szerkesztés (a https://gis01.met.hu/klimadat/Alkalmazas_segedlet.pdf alapján)

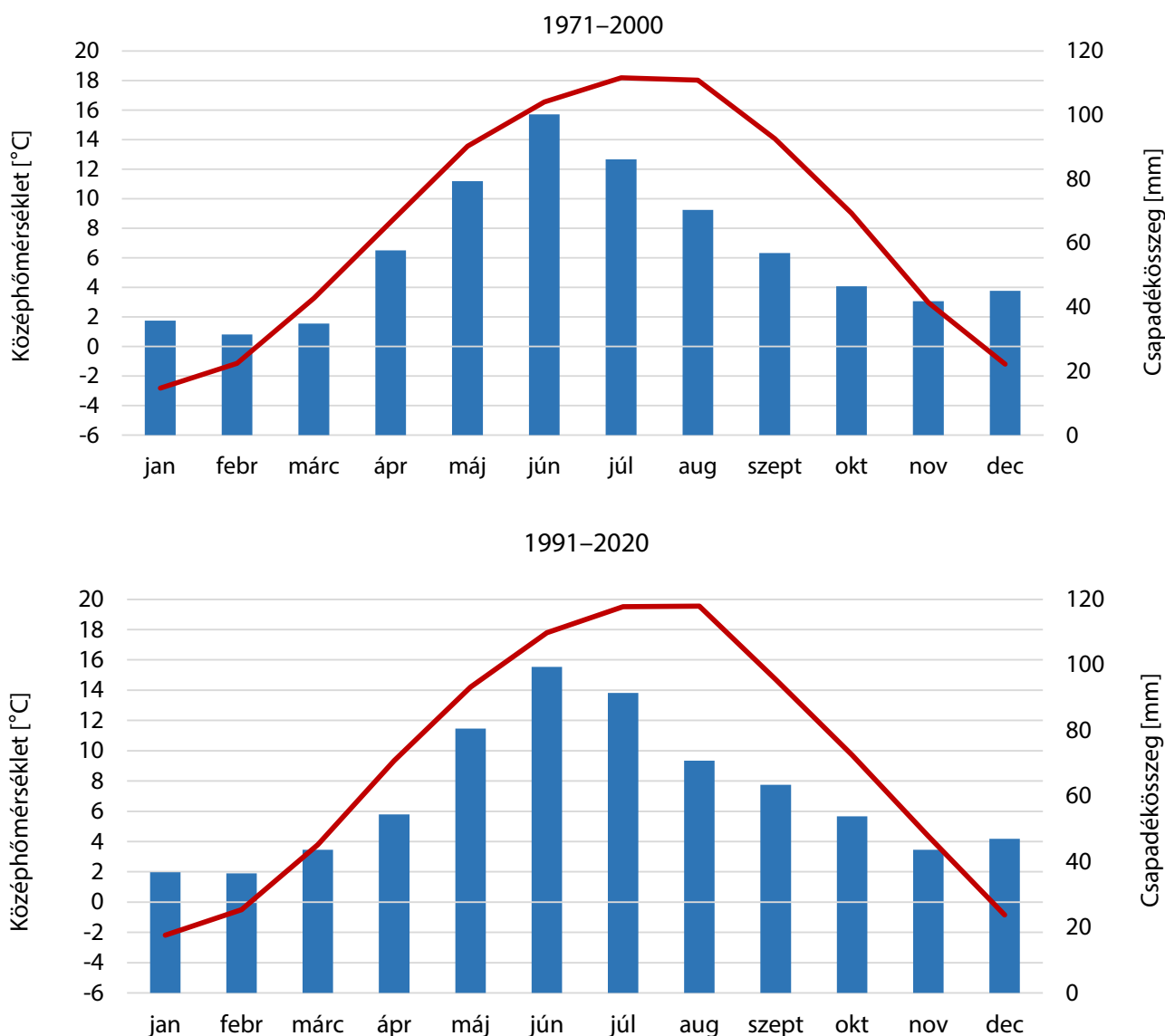
9,1 °C volt, ami 0,9 °C-kal magasabb, mint a korábbi 30-éves átlag. Az éves csapadékösszeg 30-éves átlaga is meghaladta az 1971–2000-es értéket; területi átlagban 721 mm-nek adódott. Az egyes hónapok középhőmérsékletét tekintve a legkisebb mértékű melegedés márciusban és decemberben figyelhető meg, míg a legnagyobb változás a nyári hónapokban következett be, amelyek esetén az átlagos középhőmérséklet több, mint 1 °C-kal volt magasabb az 1991–2020 közötti időszakban az 1971–2000-es időszakhoz képest. Az átlagos havi csapadékösszeg legnagyobb mértékben (25%-kal) márciusban növekedett, +16%-os változás

figyelhető meg februárban és októberben; a többi hónap esetén csupán csekély mértékű, néhány %-os eltérés adódott a két vizsgált 30-éves időszak átlagos csapadékösszege között.

Az éghajlati indexekre vonatkozó éves adatokat a teljes vizsgált időszakra (1961–2023), területi átlagokra jelenítjük meg, az ezekre illesztett trendegyenest által kifejezve a 63 év alatt bekövetkezett változás irányát és mértékét (2. ábra). Az éghajlatváltozás hatással van az olyan időszakok hosszára, ami jelentősen befolyásolja a mezőgazdasági tevékenységet és a természetközeli növények körét. Ilyen például a

1. ábra:

Erdély klímadiagramja az 1971–2000 és az 1991–2020 közötti 30 éves időszakokra



Forrás: saját szerkesztés a CarpatClim és állomási mérési adatok felhasználásával

fagyos időszak és a vegetációs időszak hossza. Az egymást követő fagyos napok számának maximuma az a leghosszabb időszak egy adott évben, amíg a napi minimumhőmérséklet 0°C alá esik. Ennek értéke területi átlagban 30–40 nap között mozgott a vizsgált időszakban. Előfordultak olyan évek, amikor az 50 napot is meghaladta, azonban az utóbbi évtizedben többször is 30 nap alatt maradt a leghosszabb fagyos időszak hossza. Az 1971–2000 közötti 30 éves átlaghoz képest 4 nappal lett rövidebb ez az időszak a jelenlegi, 1991–2020-as klímanormált tekintve.

A vegetációs időszak hossza azért kulcsfontosságú, mert meghatározza, hogy egy adott területen milyen növényfajok természetük sikeresen. Azt az időtartamot jelenti, ameddig a növények aktív növekedése lehetséges, ezt a napi középhőmérséklet alapján határozzák meg (lásd: 1. táblázat). A vegetációs időszak hossza az 1971–2000 közötti 30 évben átlagosan 229 napnak adódott, az 1991–2020 közötti normál értéke ennél 12-vel több, területi átlagban véve 241 nap, tehát majdnem két héttel hosszabbodott meg az az időszak Erdélyben, ami a növények aktív növekedéséhez alkalmas.

Az éghajlatváltozás kapcsán az extrém csapadék események gyakorisága is növekszik. A rövid idő alatt lehulló, nagy mennyiségű csapadék nem tud megfelelő gyorsasággal beszívárogni a talajba, ami villámárvizek kialakulásához vezethet, ezáltal jelentős károkat okozva a mezőgazdaságnak. A 20 mm-t meghaladó csapadéku napok átlagos éves gyakorisága 1 és 7 nap között alakult a vizsgált időszakban, látható, hogy nagy az egyes évek közötti változékonyság. A lineáris trendet tekintve 63 év alatt közel 1 napos emelkedés figyelhető meg.

Az átlaghőmérsékletben fellelhető növekvő trend a hőséggel kapcsolatos éghajlati indexekben is megmutatkozik. Nyári napnak tekintjük azokat a napokat az évben, amikor a maximumhőmérséklet meghaladja a 25°C -ot. Ezek a napok általában a nyári időszakot fedik le. Az átlaghőmérséklet növekedésével a napi maximumhőmérsékletek is növekednek, így egyre gyakrabban fordultak elő a feltételt teljesítő napok is a vizsgált időszakban. Az 1971–2000-es időszakhoz képest ugyanis az 1991–2020-as időszakban a nyári napok éves átlagos száma 15 nappal emelkedett, mely így 62 nap lett.

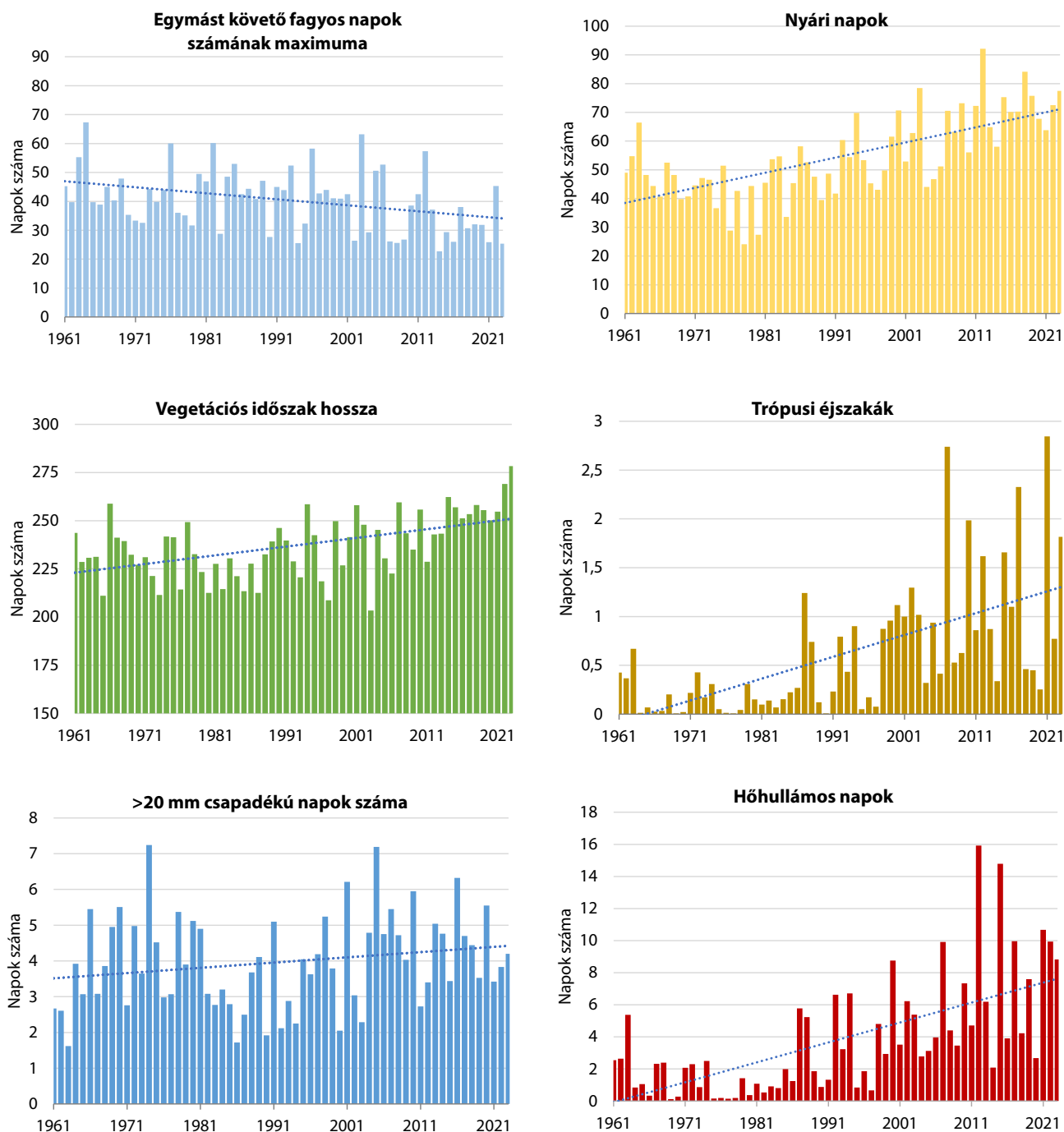
A napi minimumhőmérsékletek is emelkednek, amely a szintén nyáron előforduló trópusi éjszakák számában tükröződik. Ezek az éjszakák a hőmérséklet nem süllyed 20°C alá, ami különösen megterhelő az emberi szervezetre. Mivel éves átlagos számuk a területi átlagot tekintve Erdély térségében kicsi (általában 1–2 nap), ezért a két időszak átlaga közötti különbség is csupán 1 nap. A trendvonal azonban egyértelműen növekedést rajzol ki, egyre több olyan évvel, amikor a távolabbi múlthoz képest többszörözött a trópusi éjszakák száma. Mivel a hegyvidéki területeken csak nagyon ritkán fordulnak elő ilyen éjszakák, a területi átlagértéke nem reprezentálja teljes mértékben az alacsonyabban fekvő térségeket, ahol mind az éves előfordulási szám, mind a növekedésének mértéke magasabb lehet.

Szintén rendkívül veszélyesek az egészségre a hóhullámos napok, melyek gyakran nem is elszórtan jelentkeznek, hanem egymást követve, hóhullámos időszakot kialakítva. Ezek olyan napok, amikor az átlaghőmérséklet meghaladja a 25°C -ot, s minél hosszabb az időszak, ami alatt a feltétel fennáll, annál megterhelőbb az emberi szervezetre. A két múltbeli időszak között ezek éves átlagos száma 3 nappal nőtt, évente átlagosan 5 hóhullámos napra. (2. ábra)

3.2. Jövőben várható változások

Ebben a fejezetben bemutatjuk, hogy milyen mértékű változások várhatók Erdély éghajlati jellemzőiben a vizsgált regionális klímamodellek együttese szerint. A változásokat az 1971–2000 időszak adataihoz viszonyítva adjuk meg két jövőbeli időszakra (2041–2070 és 2071–2100) vonatkozóan. A 3. ábrán bemutatjuk Erdély térségének átlagos évi középhőmérsékletében és éves csapadékösszegében valószínűsített változásokat a fent említett két jövőbeli időszakra a regionális éghajlati modelleredmények átlaga alapján. Az évi középhőmérséklet a 2041–2070 időszakra átlagosan $1,9\text{--}2,5^{\circ}\text{C}$ -kal, míg a 21. század végére átlagosan $2,5\text{--}3,5^{\circ}\text{C}$ -kal emelkedhet Erdélyben. A legnagyobb mértékű melegedést az Erdélyi-medence és a Mezőség területén, a Beszterce, Kolozsvár, Gyulafehérvár, Marosvásárhely által határolt térségben valószínűsítik a klímamodellek. Az éves csapadékösszeg a 21. század folyamán jellemzően

2. ábra:
A bemutatott éghajlati indexekre vonatkozó éves értékek és lineáris trendek az 1961–2023 időszakban a CarpatClim adatok alapján



Forrás: saját szerkesztés a CarpatClim és állomási mérési adatok felhasználásával

2–16%-kal növekedhet, amely leginkább a Keleti-Kárpátok és Érmellék térségében mutatkozik meg. (3. ábra, lásd következő oldal)

Következő lépésként a mezőgazdaság számára fontos információt közvetítő éghajlati indexek jövőbeli várható változását mutatjuk be valószínűségi térképek

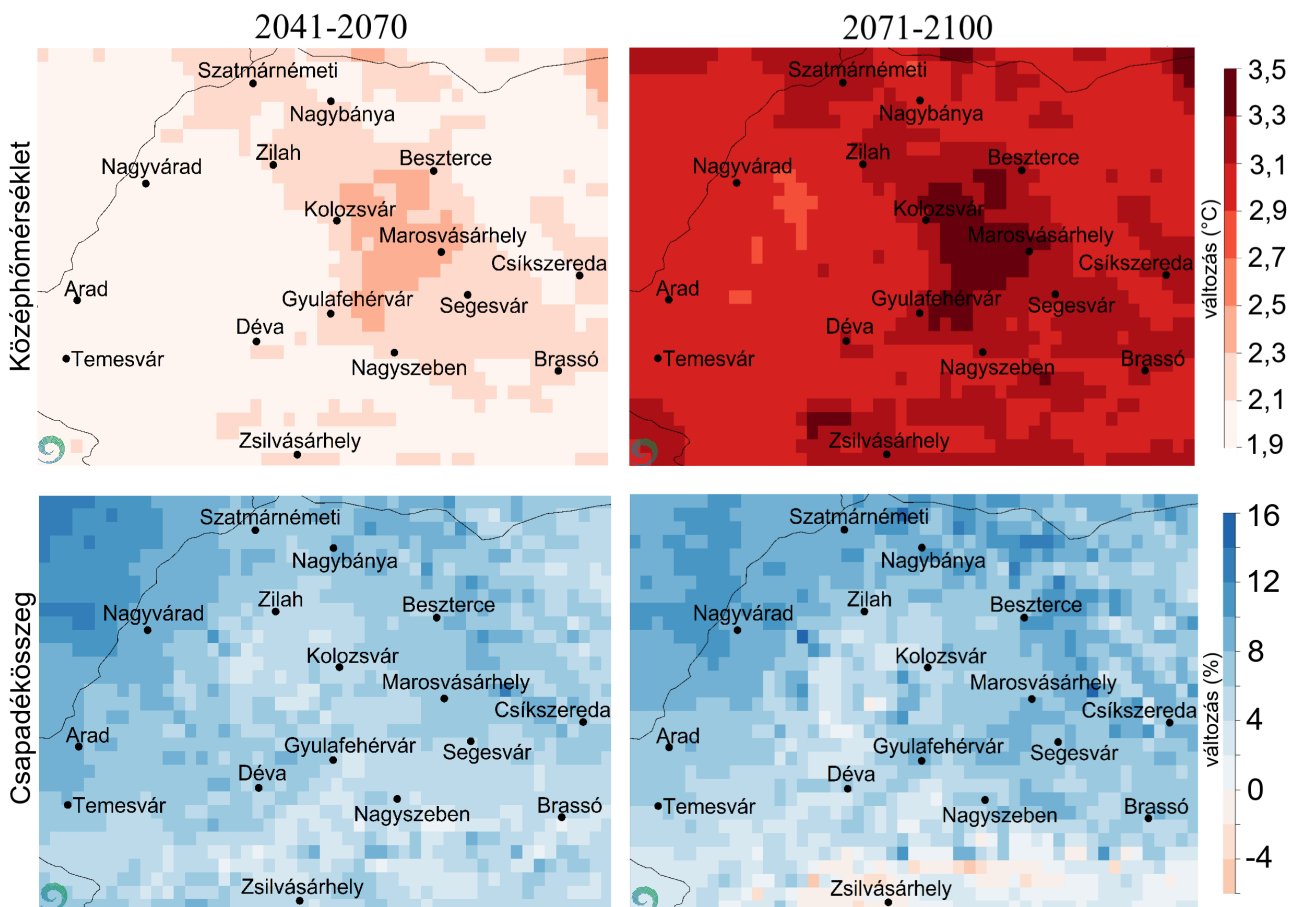
segítségével (4. ábra). Az egymást követő fagyos napok számának maximumában (amely a múltban 30–60 nap között mozgott) történő, legalább 10 napos csökkenés valószínűsége a Keleti- és a Déli-Kárpátok magasabb térszínein már a közelebbi jövőben (2041–2070) eléri a 100%-ot, míg Érmellék és a Bánság térségében kisebb mértékű, 5–10 napos csökkenés várható a modell-szimulációk szerint. A távolabbi jövőben azonban már a klímamodellek fele előrevetíti azt, hogy a fagyos időszak maximális hossza legalább 10 nappal fog rövidülni Erdély területén, de a legmagasabb térszíneken a csökkenés a 15 napot is meghaladhatja.

A vegetációs időszak hossza a megfigyelési időszakban 208 és 278 nap között alakult, tehát az év nagyjából kétharmadát jelentette területi átlagot

tekintve. Ezen időszak legalább 30 napos növekedésére a 2041–2070 időszakban Nagyvárad és Arad környékén, valamint a Körösvidék területén néhány rácspontban 75–100% közötti valószínűségek is megjelennek, míg az Erdélyi-medencében és a hegyvidékeken egyetlen modellkísérlet sem jelzi ezt a mértékű változást. A 21. század végére a vizsgált térség nyugati részén (Érmellék, Bánság) a modellek háromnegyede prognosztizálja a 30 napot meghaladó növekedést, míg az Erdélyi-középhegységben és attól keletre 10–30 nappal hosszabbodhat meg a vegetációs időszak.

A 20 mm-t meghaladó csapadéku napok száma területi átlagban 1–7 nap között mozgott a múltbeli időszakban. Az ilyen extrém csapadékos napok számának növekedésére vonatkozó valószínűségek térbeli

3. ábra:
Az átlagos évi középhőmérséklet és a csapadékösszeg változása Erdélyben
a regionális klímamodellek átlaga alapján a 2041–2070, valamint a 2071–2100 időszakokban
(referencia időszak: 1971–2000)



Forrás: saját szerkesztés a HungaroMet-nél futtatott klímamodell szimulációk eredményei alapján

eloszlása mindkét jövőbeli időszakban nagyon hasonló: az alacsonyabban fekvő területeken (kiemelten a Bánság, Mezőség, Erdélyi-medence) maximum egy modell-kísérlet eredményében jelenik meg a legalább 1 napos növekedés, ezzel szemben a dombvidékeken és a Kárpátokban már a szimulációk fele valószínűsíti ezt, a legmagasabb hegyvidékeken akár átlagosan 2 nappal is növekedhet a 20 mm-t meghaladó csapadékú napok éves száma. (4. ábra, lásd következő oldal)

A jövőben a globális átlaghőmérséklet növekedése a hőséggel kapcsolatos klimatológiai indexekben mutatkozik meg a leginkább – például a nyári napok, a trópusi éjszakák vagy a hóhullámos napok számában (5. ábra, lásd következő oldal). A megfigyelési időszakban Erdély területén a nyári napok száma évente általában 40 és 70 nap között mozgott, mely nagyjából lefedi a megszokott három hónapos nyári időszakot. A klímaváltozás hatására azonban a feltételt teljesítő napok jelentősen gyarapodhatnak, ezzel meghosszabbítva a nyarat. A 2041 és 2070 közötti időszakban a modellszimulációk jellemzően 10–20 napos emelkedést várnak a nyári napok számában, 20 napot meghaladó változás inkább csak a magasabban fekvő területeken és a Bánságban valószínű. Az évszázad végére viszont a vizsgált terület nagy részén – a legmagasabb hegységek kivételével – legalább a modellszimulációk fele már 20 napot meghaladó emelkedést prognosztizál.

Míg a múltban általában egy-két trópusi éjszaka fordult elő évente, az évszázad közepére a Kőrösmentén és a Bánságban már legalább 20 nappal nőni fog éves átlagos számuk, a század végére pedig a változás értéke a modellszimulációk fele szerint akár a 30 napot is meghaladhatja. A Mezőségen a 2041–2070-es időszakban még csak a szimulációk fele vár 20 napos emelkedést, 2071–2100-ra azonban már a szimulációk háromnegyede jelzi ezt. A Kárpátokban inkább a 10 és 20 nap közötti növekedés esélyes, a magasabb hegyvonulatokon viszont nem várható jelentős változás.

A hóhullámos napok száma évről évre nagy ingadozást mutat: a megfigyelési időszakban átlagosan 2–8 nap fordult elő egy év alatt, de voltak évek, amikor csupán 1–2 nap teljesítette a feltételt, máskor, például a különösen forró 2012-es nyáron, amikor 16 hóhullámos nap volt, az átlagnál jóval többször ilyen nap is volt. A század végére a legtöbb szimuláció szerint Erdély nagy részén – különösen a Bánságban, a Kőrösmentén

és a Mezőségen – legalább 30 nappal növekedhet a hóhullámos napok száma, a kiemelt térségekben pedig a változás már akár a 2041–2070 időszakra is bekövetkezhet. A magasabban fekvő területeken a növekedés mérsékeltebb lesz, a Kárpátokban inkább 10 napos növekedés valószínű, de a legmagasabb hegyvonulatokon ennél is kisebb mértékű változás várható.

4. Összegzés

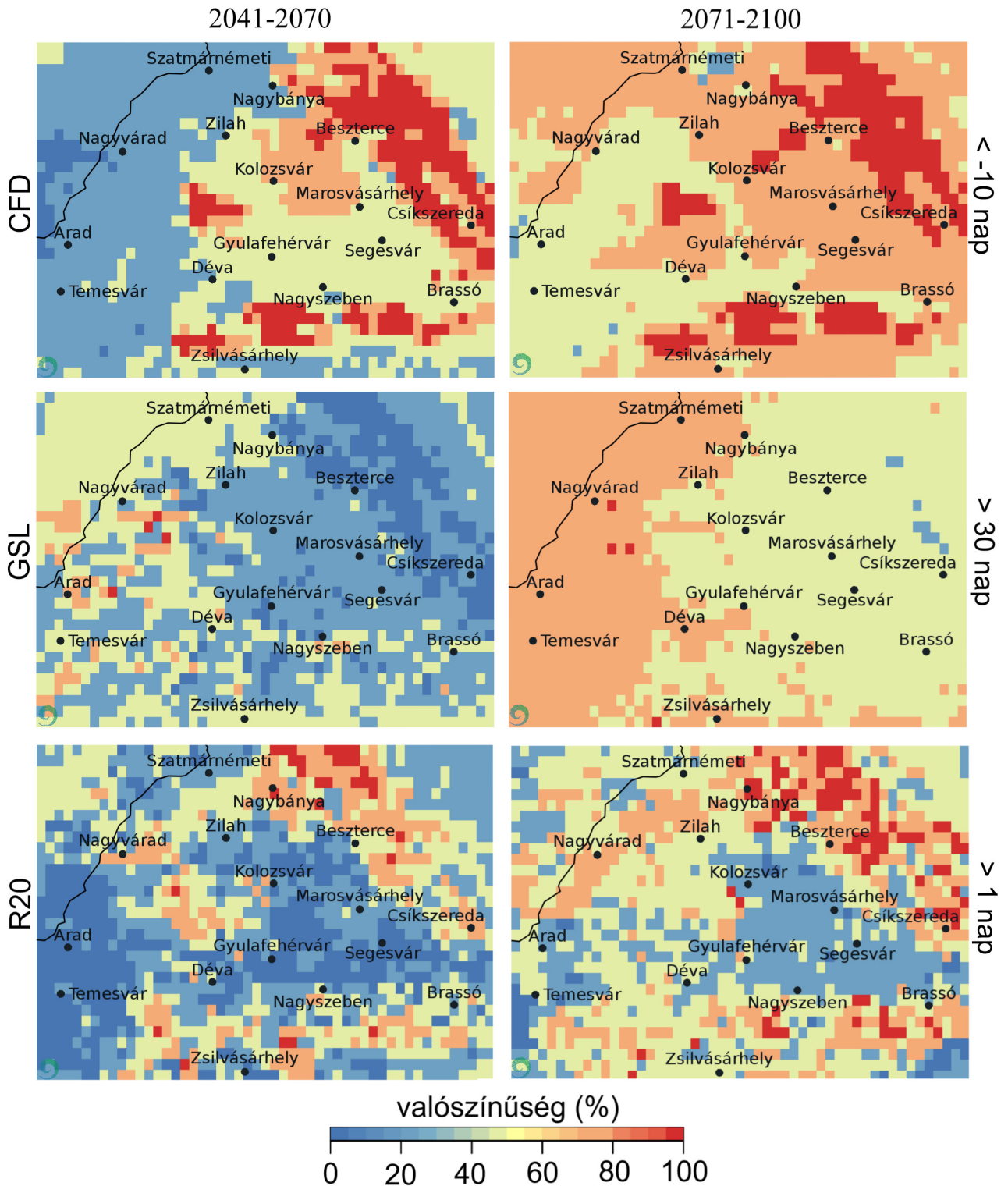
Tanulmányunkban azt vizsgáltuk, hogy milyen változások voltak detektálhatók az elmúlt néhány évtized során Erdély éghajlatának általános jellemzőiben és néhány fontosabb éghajlati indexben, majd bemutattuk, hogy a globális klímaváltozás milyen hatással lehet ezekre a jövőben, regionális éghajlati modellek projekciói alapján.

A globális átlaghőmérséklet emelkedésének hatása már az elmúlt időszakban is érzékelhető volt Erdély területén, az 1991–2020-as időszakban ugyanis az átlagos évi középhőmérséklet 0,9°C-kal volt magasabb, mint az 1971–2000-es időszakban. A melegedés a jövőben tovább folytatódik, a 2041–2070-es időszakra akár 2,5°C-kal, az évszázad végére pedig akár 3,5°C-kal lehet magasabb az értéke. Az átlagos csapadékmennyiségben a változás inkább évszakosan mutatkozik meg: a múltban a tavaszi és őszi időszakban az átlagos csapadékmennyiség növekedett, mely az éves átlagos csapadékmennyiséget is növelte. Ez a növekedés tovább fog folytatódni 21. század folyamán.

Bemutattunk néhány, a mezőgazdaság szempontjából fontos éghajlati mutatót, melyek közül a fagyos időszak hossza már a múltban is rövidült, az évszázad végére pedig további, akár 10 napot meghaladó csökkenés várható. Ezzel párhuzamosan a vegetációs időszak hossza növekedett, és 2100-ra már akár 30 nappal hosszabbodhat éves átlagban. Az extrém csapadékos napok számában nagy a változékonyság az egyes évek között, így éves átlagos előfordulásukban csak kisebb növekvő trend mutatkozik meg mind a múlt, mind a jövőre nézve. A változékonyság miatt azonban a gyenge trend ellenére is számítani kell a jövőben olyan évek előfordulására, amikor az extrém csapadékos események szélsőségesen nagy számban fordulnak elő,

4. ábra:

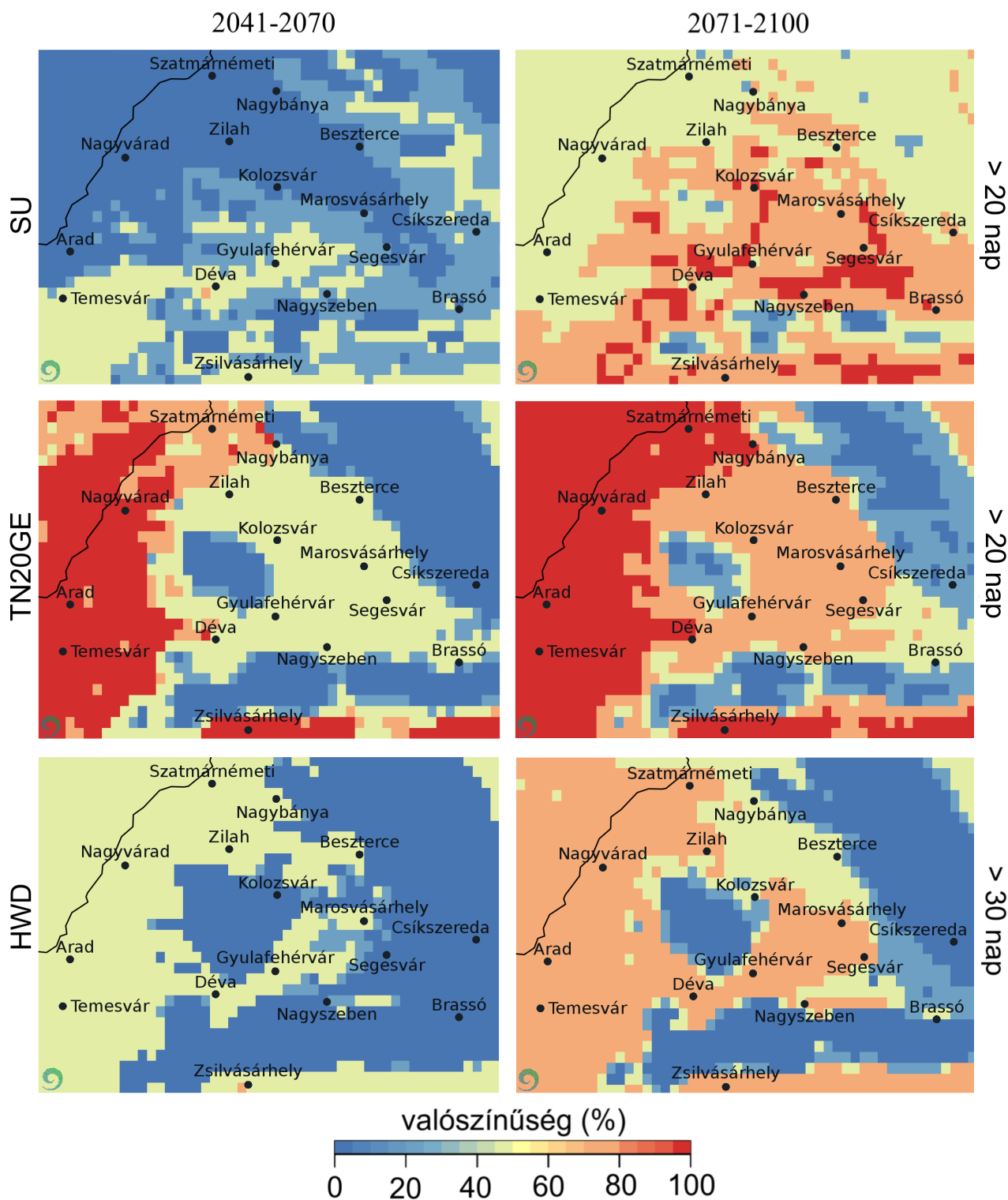
Az egymást követő fagyos napok számának maximumában (CFD), a vegetációs időszak hosszában (GSL) és az extrém csapadékú napok (R20) átlagos éves számában várható változás valószínűsége a négy klímamodell-szimuláció eredményei alapján a 2041–2070 és 2071–2100 időszakokban (referencia időszak: 1971–2000), a jobb oldalon feltüntetett küszöbérték szerint.



Forrás: saját szerkesztés a HungaroMet-nél futtatott klímamodell szimulációk eredményei alapján

5. ábra:

A nyári napok (SU), a trópusi éjszakák (TR) és a hóhullámos napok (HWD) átlagos éves számában várható változás valószínűsége a négy klímamodell-szimuláció eredményei alapján a 2041–2070 és 2071–2100 időszakokban (referencia időszak: 1971–2000), a jobb oldalon feltüntetett küszöbérték szerint



Forrás: saját szerkesztés a HungaroMet-nél futtatott klímamodell szimulációk eredményei alapján

fokozva az áradás veszélyét. Olyan klimatológiai indexeket is bemutatunk, melyek leginkább az egészséget veszélyeztető időjárási helyzeteket tükrözik. Ezek hőséggel kapcsolatosak. A nyári napok, trópusi éjszakák és hóhullámos napok száma is emelkedő trendet rajzolt ki a múltban, a jövőben pedig számuk egyre inkább nőni fog. Így a nyár az évszázad végére akár egy hónappal is meghosszabbodhat, a túlságosan meleg trópusi éjszakák száma sokszorozódhat, akár

csak a hóhullámos napok száma, mely 2100-ra akár 30 nappal is megnőhet.

Az éghajlatváltozás hatása tehát Erdélyben is megfigyelhető, és a jövőben a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoribbá válása valószínűsíthető. A változások jelentős kihívás elé állítják a térség gazdasági ágazatait és lakosságát egyaránt, aminek ismerete tükrében nagyon fontos a megfelelő alkalmazkodási stratégiák kidolgozása és a klímaváltozás mérséklésére vonatkozó törekvés.

Irodalom

- Bihari Zita és Szentes Olivér (2024). Megfigyelt éghajlatváltozás 30 éves klímanormálok és egy készülő éghajlati atlasz tükrében. *Légkör különszám*, 69, pp. 12–17. • <https://doi.org/10.56474/legkor.2024.K.2>
- Megyeri-Korotaj Otília, Bán Beatrix és Suga Réka (2022). A REMO2015 és az ALADIN5.2 regionális klímamodellek projekciós eredményeinek közös kiértékelése. *KlimAdat projekt beszámoló*. • https://www.met.hu/klimadat/doc/reports/KLIMADAT_beszamolo_Megyeri-Korotaj_etal_202203.pdf/ • Letöltés: 2025. 01. 02.
- Moss, Richard H., Edmonds, Jae A., Hibbard, Kathy A., Manning, Martin R., Rose, Steven K., van Vuuren, Detlef P., Carter, Timothy R., Emori, Seita, Kainuma, Mikiko, Kram, Tom, Meehl, Gerald A., Mitchell, John .F.B., Nakicenovic, Nebojsa, Riahi, Keywan, Smith, Steven J., Stouffer, Ronald J., Thomson, Allison M., Weyant, John P., and Wilbanks, Thomas J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, pp. 747–756. • <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Szentimrey Tamás (1999). Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). In *Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*, Budapest, Hungary. WMO, WCDMP (41), pp. 27–46.
- Szentimrey Tamás és Bihari Zita (2007). Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). In *Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology*, Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, COST Office, pp. 17–27.
- Szentimrey Tamás (2008). Development of MASH homogenization procedure for daily data. In: *Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases*, Budapest, 2006; WCDMP-No. 71, WMO/TD (1493), pp. 123–130.
- WMO (2007). WCDMP-No. 61 The role of climatological normals in a changing climate WMO/TD-No. 1377, Geneva

Források

- Segédlet a Klimadat térinformatikai rendszerhez https://gis01.met.hu/klimadat/Alkalmazas_segedlet.pdf • Elérés: <http://www.carpatclim-eu.org> Letöltés: 2024. 09. 09.