



Megfigyelt éghajlatváltozás 30 éves klímanormálok és egy készülő éghajlati atlasz tükrében

Bihari Zita, Szentés Olivér

HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt., bihari.z@met.hu

DOI: 10.56474/légkor.2024.K.2

Az éghajlat állapotát 30 éves átlagokkal, azaz a klímanormálokkal írjuk le az ajánlások szerint. Az egymást követő 30 éves időszakok normálértékeinek elemzésével az éghajlat változásáról is átfogó képet kapunk. Tanulmányunkban a középhőmérséklet és a csapadék normálértékeit vizsgáljuk a 20. század elejétől. Az éghajlati atlaszok jellemzően a legutóbbi normál időszak adataira épülnek, ugyanakkor az újabb atlaszok már a megfigyelt éghajlatváltozás nyomán követésére is vállalkoznak, például a klímanormálok változásának elemzésével. A HungaroMet is új éghajlati atlasz elkészítésére vállalkozott, az 1991–2020-as időszak adatai alapján. Az éghajlat jelen állapota mellett az atlasz az 1901–2100 időszak megfigyelt és várható éghajlatát is be fogja mutatni mérések és klímodell eredmények felhasználásával.

Examination of observed climate change based on 30 years climate normals and in the light of a forthcoming climate atlas

The suggested way to describe the state of the climate is in terms of 30-year averages, or climate normals. By analysing the normal values over successive 30-year periods, we can also get a comprehensive picture of climate change. In our study, we examine the mean temperature and precipitation normals since the beginning of the 20th century. Climate atlases are typically based on the most recent normal period, but nowadays they attempt to follow observed climate change also, for example by analysing changes in climate normals. HungaroMet has also undertaken to produce a new climate atlas based on data for the period 1991–2020. In addition to the current state of the climate, the atlas will present the observed and projected climate for the period 1901–2100 using measurements and climate model results.

Az éghajlati normál fogalma

Annak megállapítására, hogy időjárási szempontból egy adott napot, hetet, hónapot vagy évet az átlagosnál magasabb vagy alacsonyabb értékek jellemeznek, meg

kell határozni az éghajlati átlag fogalmát. Éghajlatunk természetes változékonysága miatt fontos a hosszú távú átlagok használata. Olyan időtartamot kell választani, ami elég hosszú ahhoz, hogy az éghajlat természetes változékonyságát kisimítsa, de nem túl hosszú, hogy

az éghajlatváltozás jelét elfedje. Az átlag meghatározására a gyakorlatban a Meteorológiai Világszervezet (World Meteorological Organization – WMO) ajánlására 30 éves periódusokat használunk (WMO, 2007, 2017) és ezeket a bázisidőszakokat normál időszaknak, a hozzájuk tartozó átlagokat éghajlati normáknak (Climatological Standard Normals – CLINO) nevezzük. A normálidőszakok teljes évtizedekből állnak, 10 évenként megújítják azokat, így jelenleg az 1991–2020-as időszakot tekintjük az éghajlat jelenlegi állapotát leíró 30 évnak. Az átlagolási időszak szabványosítása azért is fontos, mert így lehetővé válik a világ minden tájáról származó megfigyelések összehasonlítása.

Az éghajlati normálok a megfigyelt éghajlatváltozás nyomán követésének egyik eszközeként is felhasználhatók, ha egymást követő 30 éves időszakok átlag- és szélsőértékeit hasonlítjuk össze egymással.

Felhasznált adatsorok és módszerek

A megfigyelt éghajlatváltozás elemzéséhez homogénizált és interpolált rácsponti napi adatsorokat használunk. A homogénizálásra azért van szükség, mert a sok évtizedes adatsorokban gyakran vannak olyan törések, amik nem az éghajlatváltozás következményei, hanem a mérési körülmények megváltozásából fakadnak. Ilyen kiváltó ok lehet pl. az állomás áttelepítése, a mérőműszer vagy a mérési időpontok megváltozása. E problémák kiküszöbölésére, az adatsorok homogénizálására a MASH homogénizációs módszert (Szentimrey, 2023) használjuk. Ezekből a homogénizált állomási adatsorokból pedig a MISH interpolációs módszerrel (Szentimrey és Bihari, 2007) állítjuk elő az egyenletes térbeli felbontású rácshálózat pontjaira interpolált adatsorokat. A számításokat az alapvető éghajlati paraméterekre (maximum-, minimum- és átlaghőmérséklet, csapadék, relatív nedvesség, légnyomás, átlagos szélesebség, maximális széllelőés, globálsugárzás) végezzük el. A leghosszabb, ilyen módon kezelt adatsoraink 1870-ben kezdődnek. Meteorológiai elemektől és az időszaktól függően

11–500 állomás adatait vizsgáljuk. Az adatsorok nagy része a Meteorológiai Adattárban elérhető [1].

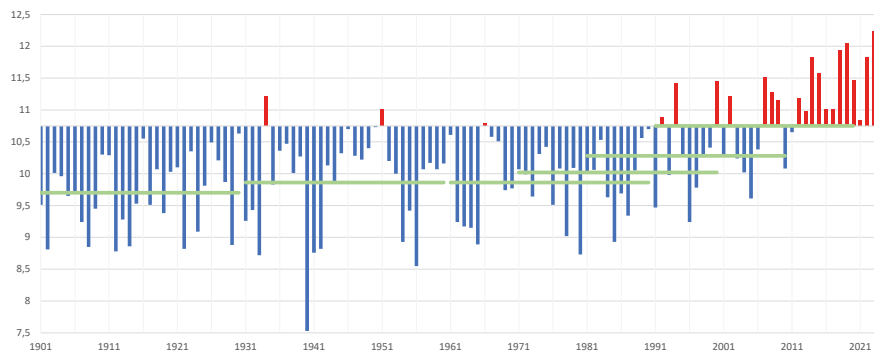
Az adatsorok előállításáról részletes leírás olvasható *Izsák és mtsai* (2024) cikkében.

Éghajlati normálok a 20. század elejétől

A megfigyelt éghajlatváltozást leggyakrabban a hőmérséklet és csapadék adatsorok elemzésével vizsgáljuk, részben azért, mert ezekre a meteorológiai elemekre vannak a leghosszabb adatsoraink, részben azért, mert az éghajlati hatásvizsgálatokban is ennek a két paraméternek van a legjelentősebb szerepe. Az adatsorokra most nem a lineáris trendet, hanem a 30 éves klímanormálokot fektettük rá. A század első kétharmadában az egymást követő időszakokat ábrázoltuk, míg 1971-től, az intenzív melegedés kezdetétől 10 évenként csúsztatott időszakokat.

Az 1. ábrán és az 1. táblázatban jól látható, hogy az 1961-gyel kezdődő 30 éves időszakig az évi középhőmérséklet változása nem jelentős, ezt követően azonban a 10 évenként csúsztatott átlagok között is nagyobb a különbség, mint az első három ábrázolt periódus értékei között. A csúsztatott időszakok közül a legnagyobb melegedés 1981–2010 és 1991–2020 között következett be (0,47 °C), az egymást követő időszakokban pedig 1961–1990 és 1991–2020 között (0,89 °C).

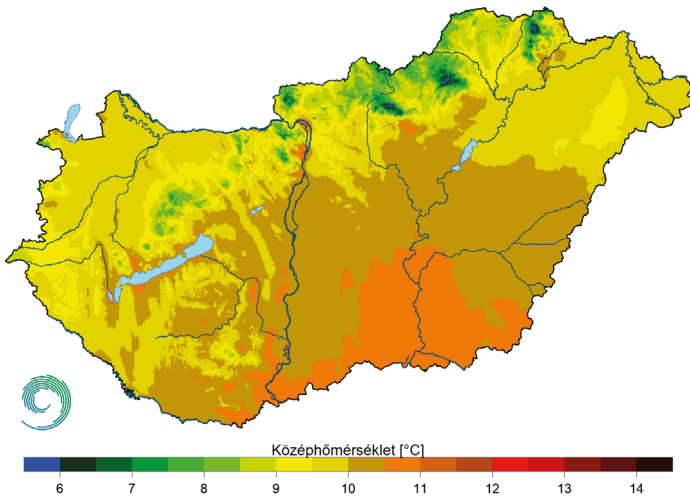
A 2. és 3. ábrákon a területi különbségeket mutatjuk be az 1961–1990 és az 1991–2020 közötti normál időszakokra. A két periódusban a térbeli eloszlás hasonló képet mutat. A domborzat mellett az éves hőmérséklet



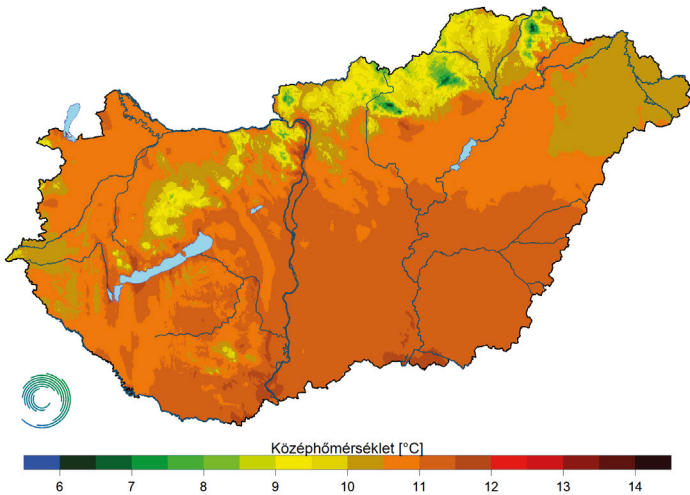
1. ábra. Az éves középhőmérséklet országos átlagai (°C) az 1991–2020-as klímanormálhoz viszonyítva. A zöld színű egyenesek a 30 éves időszakok klímanormáljait mutatják.

1901–1930	1931–1960	1961–1990	1971–2000	1981–2010	1991–2020
9,67	9,862	9,861	10,02	10,28	10,75

1. táblázat. Az éves országos középhőmérséklet normálértékei (°C) a 20. század elejétől.



2. ábra. Az éves középhőmérséklet 30 éves átlaga (1961–1990).



3. ábra. Az éves középhőmérséklet 30 éves átlaga (1991–2020).

1901-1930	1931-1960	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
620	627	593	583	600	616

2. táblázat. Az éves országos csapadékösszeg normalértékei (mm) a 20. század elejétől.

eloszlását a nagyobb hegységektől (Kárpátok, Alpok, Dinári-hegység) való távolság határozza meg alapvetően. A legalacsonyabb értékek a magasabban fekvő területeken jelennek meg, míg Szeged környéke a legmelegebb. Jelentős viszont a különbség az értékekben. Az országos átlagértékeknek megfelelően (9,86 °C, illetve 10,75 °C) nagyjából egy fokkal melegebbek az egyes országrészek is, megjelnt a 11, sőt a 11,5 fok fölötti kategória is, viszont a hegységekben is eltűntek a 6 fok alatti körzetek.

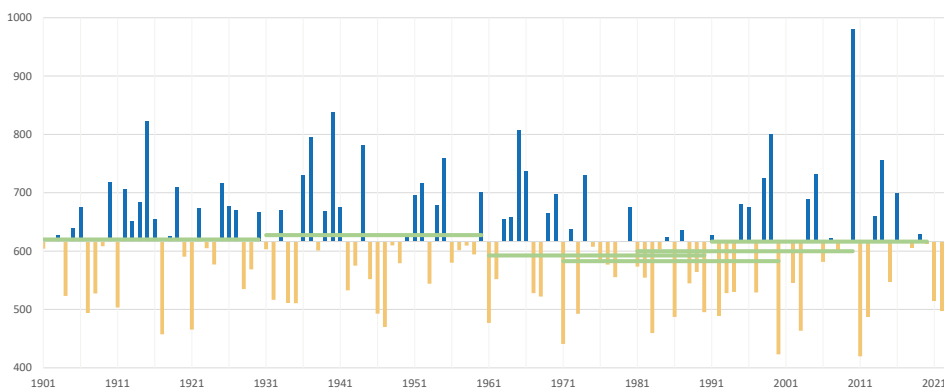
A csapadék alakulása a 20. század elejétől sokkal kevésbé egyértelmű, mint a középhőmérsékleté (4. ábra, 2. táblázat), sokkal inkább a változékonyság és nem az egyirányú változás jellemzi. Bár az 1971-től kezdődő, 10 évenként csúsztatott normalértékek egy növekvő tendenciát jeleznek, 30 éves átlagban a legcsapadékosabb periódus az 1931–1960 közötti, a legszárazabb pedig az 1971–2000 közötti.

A fentiek ellenére az 1961–1990 és az 1991–2020 közötti normálidőszakok térképeit vizsgálva a hőmérséklethez hasonló jellemzőket figyelhetünk meg, vagyis a térbeli eloszlás hasonló jellegű a két időszakban a domborzat, a nagyobb hegységektől való távolság (medence hatás) a meghatározó (5. és 6. ábra). A legcsapadékosabb az ország délnyugati része, valamint a magasabban fekvő területek, az évi csapadékösszeg DNy-ról ÉK felé csökken. A két periódus közötti különbség az értékekben mutatkozik meg, bár a lecsapadékosabb, 700 mm fölötti csapadéku területek kiterjedése nem változott jelentősen, a század végére eltűnt az 500 mm alatti terület, és nagymértékben csökkent az 500–550 mm közötti régió.

Éven belüli változások

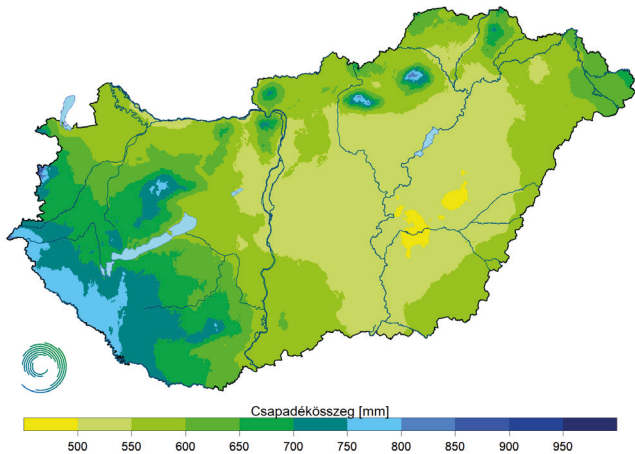
Az éves értékek változása mellett érdemes megvizsgálni a havi normalértékeket is, mert ezek alakulása nem minden esetben követi az éveseket.

Középhőmérséklet esetén az éves értékekhez hasonlóan a havi értékek is szinte minden

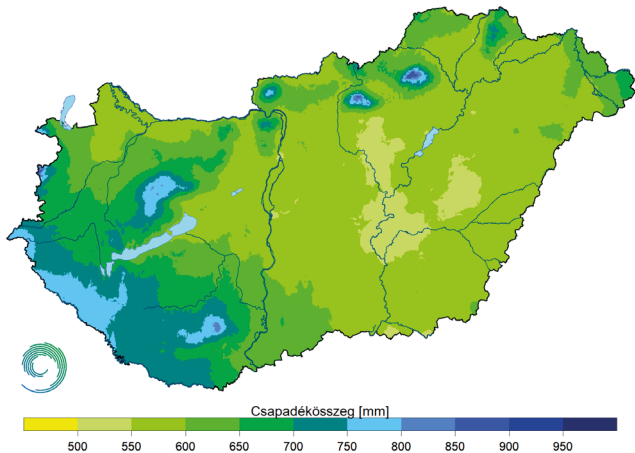


4. ábra. Az éves csapadékösszeg országos átlagai (mm) az 1991–2020-as klímanormálhoz viszonyítva. A zöld színű egyenesek a 30 éves időszakok klímanormáljait mutatják.

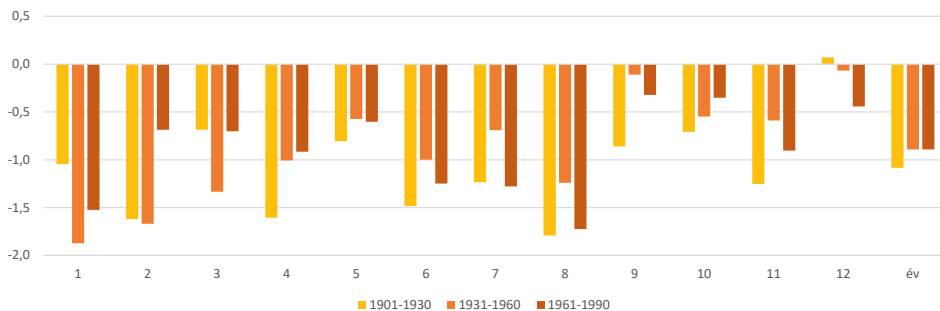
esetben alacsonyabbak az 1991–2020 normálnál (7. ábra). Mind a négy normálidőszakban január a leghidegebb, és július a legmelegebb hónap (3. táblázat), de az 1991–2020-as időszakra az augusztusi érték a korábbi időszakokénál sokkal jobban megközelíti



5. ábra. Az éves csapadékösszeg 30 éves átlaga (1961–1990).



6. ábra. Az éves csapadékösszeg 30 éves átlaga (1991–2020).



7. ábra. Havi és éves középhőmérsékletek eltérése az 1991–2020 normáltól (°C).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1901–1930	-1,6	-0,4	5,2	9,8	15,3	18,3	20,3	19,3	15,2	10,0	4,2	0,5
1931–1960	-2,4	-0,4	4,5	10,4	15,5	18,8	20,8	19,9	15,9	10,1	4,8	0,4
1961–1990	-2,1	0,5	5,1	10,5	15,5	18,5	20,2	19,4	15,7	10,3	4,5	0,0
1991–2020	-0,5	1,2	5,8	11,4	16,1	19,8	21,5	21,1	16,0	10,7	5,4	0,5

3. táblázat. Havi középhőmérsékletek (°C) különböző normál időszakokban. (A legmelegebb hónapot piros, a leghidegebbet kék színnel jelöltük.)

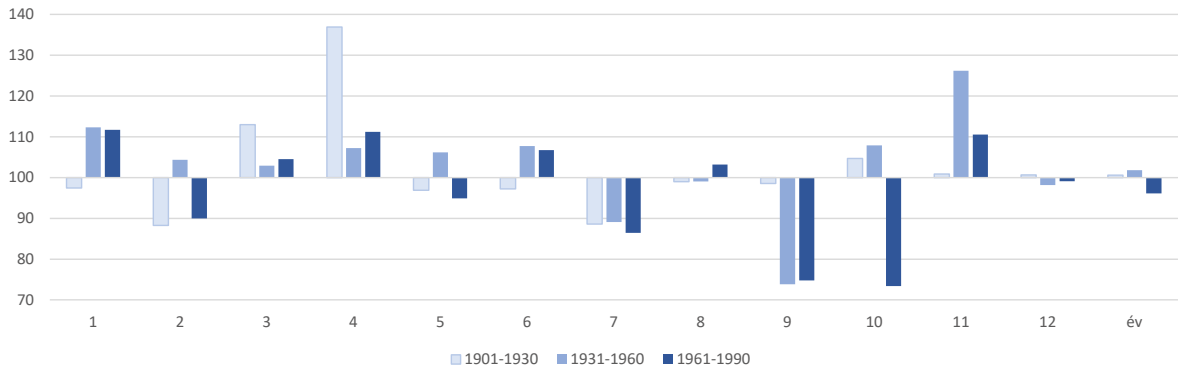
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1901–1930	32	33	39	55	62	70	64	59	58	53	49	46
1931–1960	37	39	35	43	68	77	64	59	44	55	61	45
1961–1990	37	33	36	45	61	77	62	61	44	37	54	45
1991–2020	33	37	34	40	64	72	72	60	59	51	49	46

4. táblázat. Havi csapadékösszegek (mm) különböző normál időszakokban. (A legcsapadékosabb hónapokat sötétkék színnel, a másodmaximumot világos kékkel, a legszárazabbakat pedig sárgával jelöltük.)

az előző hónapét, a különbség csupán 0,4 °C (maximumhőmérsékletek esetében pedig mindkét hónapban 28,0 °C az átlag). Azt is érdemes megfigyelni, hogy bár éves szinten az 1931–1960 és 1961–1990 időszakok középhőmérséklete megegyezik (1. táblázat), havi skálán ez nem mondható el (3. táblázat).

Csapadék esetén a helyzet már sokkal változókéonyabb. A havi értékek az 1991–2020-as normáltól

pozitív és negatív irányban is eltérnek, az eltérések aránya az évesnél sokkal nagyobb (8. ábra). A legcsapadékosabb hónap mind a négy időszakban június, de az utolsóban július is felzárkózik mellé (4. táblázat). A két középső periódusban megjelenik egy novemberi másodmaximum is, ami



8. ábra. Havi és éves csapadékösszegek az 1991–2020 normál százalékában (%).

azonban sem előtte sem utána nem alakul ki. A legszárabb hónapok pedig január és március között figyelhetők meg (ami amiatt is érdekes, mert február 3 nappal rövidebb szomszédainál).

Hőmérséklet- és csapadékindexek normálértékei

A különböző éghajlati indexek – az átlagértékek mellett – szemléletesen mutatják az éghajlat alakulását. Az alábbiakban néhány alapvető hőmérsékleti és csapadékindex normálértékeit mutatjuk be (5. táblázat), kiemelve a szomszédos időszakok közötti leg-

nagyobb változást. A fagyos és hóhullámos napok számának változása jól tükrözi a 20. század utolsó harmadában megkezdődött erőteljes melegedést. A hóhullámos napok minimuma az 1961–1990 időszakra esik, amit a nyári hónapok középhőmérsékletének alakulása is alátámaszt (3. táblázat). A csapadék indexek közül a csapadékos napok száma majdnem folyamatosan csökken, viszont a 20 mm-nél nagyobb csapadékos napok számának változása irányt vált minden időszak váltásánál. A száraz időszakok maximális hossza az 1961–1990-es években a legmagasabb, a nyári napi csapadékin-tenzitás értékek pedig folyamatosan növekednek.

	1901-1930	1931-1960	1961-1990	1991-2020
Fagyos napok ($t_{\min} < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$) száma	102,4	102,5	98,9	89,9
Hóhullámos napok ($t_a \geq 25 \text{ } ^\circ\text{C}$) száma	15,8	19,5	14,5	28,5
Csapadékos napok ($r \geq 1 \text{ mm}$) száma	105,2	98,7	92,5	92,9
20 mm-nél nagyobb csapadékos napok száma	3,3	4,0	3,7	4,4
Száraz időszakok ($r < 1 \text{ mm}$ egymást követő napokon) maximális hossza	25,9	25,8	29,3	27,8
Nyári napi csapadékin-tenzitás (mm/nap)	6,4	7,0	7,1	7,5

5. táblázat. Hőmérséklet és csapadék indexek normálértékei a 20. század elejétől. (A szomszédos időszakok közötti legnagyobb változást színezéssel jelöltük, a növekedést zölddel, a csökkenést sárgával.)

Szerző, cím	Feldolgozott időszakok
Kakas József (szerk.): Magyarország éghajlati atlasza, Akadémiai Kiadó, 1960	1901-1950
Pécsi Márton (szerkesztőbizottsági elnök): Magyarország Nemzeti Atlasza - National Atlas of Hungary. Kartográfiai Vállalat, Budapest. (1989)	1951-1980
Mersich Iván et al.: Magyarország éghajlati atlasza, Országos Meteorológiai Szolgálat, 2003	1961-1990
Bihari Zita (fejezet szerk.): Éghajlat In: Kocsis K. (főszerkesztő): Magyarország Nemzeti Atlasza: Természeti környezet. Magyar Tudományos Akadémia, 2018	1901-2016, 1981-2010, 2021-2050, 2071-2100
Készülő digitális éghajlati atlasz (HungaroMet, 2026)	1901-2020, 1961-1990, 1991-2020, 2041-2070, 2071-2100

6. táblázat. Önálló éghajlati atlaszok és éghajlat fejezetet tartalmazó atlaszok Magyarországon, a feldolgozott időszakokkal.

Éghajlati atlaszok

Egy ország éghajlatának jellemzői hozzátartoznak az alapvető földrajzi ismeretekhez. Éppen ezért az éghajlati térképek állandó részei a földrajzi atlaszoknak, és időnként készülnek speciális, csak éghajlati információt tartalmazó atlaszok is.

A 6. táblázatban felsoroljuk azokat a jelentősebb kiadványokat, melyek valamilyen szempontból mérföldkövet jelentettek az éghajlati tematikájú atlaszokban. Az első átfogó éghajlati atlasz Kakas József szerkesztésében jelent meg 1960-ban. A térképes megjelenítés mellett egy adattár is tartozott hozzá, amit évtizedeken keresztül használtak éghajlati elemzésekhez. Az 1989-ben megjelent nemzeti atlasz elsőként használt a Meteorológiai Világszervezet ajánlása szerinti 30 éves időszakot az éghajlat jellemzésére. Újabb önálló éghajlati atlasz már csak az ezredforduló után, 2003-ban jelent meg Mersich Iván szerkesztésében. Ebben először használtunk statisztikus klimatológiai alapokon nyugvó interpolációt a korábbi, kézzel készült izovonalak helyett. A 2018-as nemzeti atlasz újdonsága, hogy már nem csak a jelen időszakokkal, hanem a múlttal (1901-től) és a jövővel (2100-ig) is foglalkozik.

Az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium keretében a HungaroMet egyik feladata, hogy egy új éghajlati atlaszt készítsen. Korunk technikai eszközeivel az atlasz digitális formában készül el, melyben interaktív eszközökkel lehet majd lekérdezni az éghajlati információkat: térképeket, grafikonokat és táblázatokat. A mérések alapján a jelent legjobban leíró 1991–2020-a klímanormál időszakot és az ezt megelőző 1961–1990-es 30 éves periódust mutatjuk be, a klímamodell eredmények alapján pedig a 21. század közepén és végén várható éghajlati jellemzőkkel ismerkedhetünk meg. Az idősorok 1901-től lesznek elérhetőek.

A tervek szerint az éghajlati vizsgálatokban általában használt paraméterek teljes körét bemutatjuk (hőmérséklet, csapadék, napsugárzás, szél, relatív nedvesség, légnyomás, talajnedvesség stb.). Az átlagos értékek mellett a szélsőségeket, rekordértékeket is feltüntetjük. Nem csak az alapváltozók lesznek elérhetőek, hanem a belőlük származtatott éghajlati indexek is, melyek a különböző szektorokat képviselő felhasználóknak célzottan szemléltetik az éghajlat jellemzőit. A felszíni mérőhálózat adatai mellett bizonyos esetekben figyelembe vesszük a EUMETSAT műholdak adatait is.

A közölt adatok időbeli felbontása éves, évszakos és havi szintű lesz, az idősorokat és éves meneteket bemutató grafikonok országos és megyei szinten készülnek el. Ezáltal mintegy 1500 térképet, 1000 idősort, 1200 éves menetet bemutató grafikont és 100 táblázatot fogunk előállítani.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1 21-2022-00014 számú projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Bihari Z. (fejezet szerk.), 2018: Éghajlat. In: *Kocsis K.* (főszerkesztő): Magyarország Nemzeti Atlasza: Természeti környezet. Magyar Tudományos Akadémia.
- Izsák B., Szentes O., Bihari Z., Bokros K., és Lakatos M., 2024: Reprezentatív meteorológiai adatok biztosítása a múlt és a jelen éghajlatának megismerésére, *Légekör különszám*, től-ig. DOI
- Kakas J. (szerk.), 1960: Magyarország éghajlati atlasza, Akadémiai Kiadó.
- Pécsi M. (szerkesztőbizottsági elnök) 1989: Magyarország Nemzeti Atlasza – National Atlas of Hungary. Kartográfiai Vállalat, Budapest.
- Mersich I. et al. 2003: Magyarország éghajlati atlasza. Országos Meteorológiai Szolgálat, 2003.
- Szentimrey, T., 2023: Overview of mathematical background of homogenization, summary of method MASH and comments on benchmark validation. *Int. J. Climatol.* 43, 6314–6329. <https://doi.org/10.1002/joc.8207>
- Szentimrey, T. and Bihari, Z., 2007: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, COST Office, 17–27.
- WMO, 2007: WCDMP-No. 61 The role of climatological normals in a changing climate WMO/TD-No. 1377, Geneva.
- WMO, 2017: Guidelines on the Calculation of Climate Normals, WMO-No. 1203.

Internetes hivatkozások

- [1] [https:// odp.met.hu](https://odp.met.hu)