

SZAKDOLGOZAT

Hegedűs Csaba

Kaposvár

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Kaposvári Campus

Növénytermesztési-tudományok Intézet

Mezőgazdasági mérnöki alapképzési szak

Csapadékindexek vizsgálata hazai viszonylatban

Belső konzulens:

Dr. Somfalvi-Tóth Katalin

egyetemi adjunktus

Belső konzulens intézete/tanszéke:

Növénytermesztés-tudományok Intézet/ Agronómia Tanszék

Készítette:

Hegedűs Csaba

Kaposvári campus

2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés
 - 1.1. Célkitűzés
2. Szakirodalmi áttekintés
 - 2.1. Aszály- és árvíz stressz
 - 2.2. A csapadék vizsgálatok története
 - 2.3. Globális klímaváltozás
 - 2.4. Csapadékindex vizsgálatok Európában
 - 2.4.1. Csapadék vizsgálatok Lengyelországban és Németországban
 - 2.4.2. Csapadék vizsgálatok Szlovákiában
 - 2.5. Csapadék index vizsgálatok a Kárpát-medencében és Magyarországon
 - 2.5.1. Aszály vizsgálat Baján
 - 2.6. Csapadék előrejelzések
3. Saját vizsgálatok
 - 3.1. Anyag és módszer
 - 3.1.1. Használt csapadék indexek
 - 3.1.2. Térképek készítése
 - 3.2. Eredmények
 - 3.2.1. RR1 és RR5 indexek
 - 3.2.2. Csapadékos napok aránya
 - 3.2.3. Havi csapadékösszeg és RX1 index
 - 3.2.4. Nagycsapadékos napok számának (10 mm felett) alakulása
 - 3.2.4.1. Tavaszi hónapok nagycsapadékos napjainak száma
 - 3.2.4.2. Nyári hónapok nagycsapadékos napjainak száma
 - 3.2.4.3. Egy szélsőségesen aszályos év, 2022 elemzése
 - 3.2.5. Összehasonlítás
 - 3.3. Következtetések
 - 3.3.1. Javaslatok
4. Összefoglalás
5. Köszönetnyilvánítás

1. Bevezetés

A csapadék a vízkörforgás egy fontos tényezője, mely során a Föld felszínéről, különböző forrásokból (hidroszféra, litoszféra, bioszféra) a légkörbe kerülő víz területi és időbeli újraelosztását követően szilárd vagy folyékony halmazállapotú csapadékként ismét visszakerül a földfelszínre. Ennek következtében közvetlen hatással van az élő környezet vízellátására. A mezőgazdasági termelés szempontjából a csapadék kiemelt szerepet tölt be, mint vízbevételi forrás, hiszen a beszivárgás révén biztosítja a talaj megfelelő nedvességtartalmát, amely elengedhetetlen a növények optimális fejlődéséhez. Az utóbbi időben tapasztalt, főként a klímaváltozás következményeként fellépő változások, amelyek a csapadék mennyiségében, illetve területi és időbeli eloszlásában figyelhetők meg, jelentős hatással vannak a talaj vízháztartására, valamint a mezőgazdasági termelékenységre egyaránt. A felvehető víz mennyisége befolyásolja a kultúrnövények növekedését, ezáltal a termés mennyiséget is. A kevés és a túlzott csapadékmennyiség is stresszhatásokhoz vezet a növényekben, amely korlátozza azok fejlődését (Farooq és mtsai 2012; Jackson és mtsai 2005).

Hazánk természeti adottságai világviszonylatban kedvezőnek tekinthetők, ugyanakkor a napjainkban megfigyelhető változások az egyik legsérülékenyebb területté tették a Kárpát-medencét. 1850 óta, globális szinten megközelítőleg 1°C -al növekedett az átlaghőmérséklet (Lindsey és Dahlman 2020). Magyarország pedig e világátlag feletti ütemben melegszik. A hőmérséklet emelkedése a kutatások szerint magával vonja az aszályhajlam növekedését is. Ped (1979) szerint általános szabályként megfogalmazható, hogy melegebb éghajlati periódusban az érintett területen megnő az aszályhajlam (gyakoriság és intenzitás egyaránt), míg hűvösebb éghajlati periódusokban kiegyenlítettebb a terület csapadékelátottsága is. Bartholy és mtsai (2008) már korábban kimutatták, hogy a globális klímaváltozás egyik következménye az extrém csapadékindexek előfordulásának és a kilengés mértékének megváltozása, amely magába foglalja az aszályok, valamint a hirtelen lezúduló, nagy intenzitású csapadékesemények gyakoribbá válását Magyarországon. A mezőgazdaság számára ebből a vízmennyiségből kevés tud beszivárogni, raktározódni a talajban és hasznosulni. Ugyanakkor az utóbbi években nem születtek olyan vizsgálatok, amelyek Bartholy és mtsai. (2007) csapadékindexekkel kapcsolatos kutatásait folytatták volna, ezért a 2010-es és 2020-as évekről pontos adataink nincsenek.

Éppen ezen okokból kifolyólag fontosnak tartom azon nemzetközileg is alkalmazott csapadékindexek vizsgálatát, amelyek egyrészt időben napjainkig kiegészítenék, másrészt területileg nagyobb felbontásban fednék le Magyarországot, mint Bartholy és mtsai (2007) munkájában. Ezen kívül összekapcsolnák ezeket a friss eredményeket a kukorica egyes fejlődési szakaszaival.

1.1. Célkitűzés

Célkitűzésem volt (1) csapadékindexek segítségével megvizsgálni a hazai csapadék eseményeket a 2007 utáni időszakra kiegészítve Bartholy és munkatársai (2007) 1946 – 2001 közötti vizsgálatát, amely alapján (2) megállapíthatunk csapadéktrendeket Magyarország teljes területén a kukorica egyes fenológiai fázisaival egyeztetve.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Aszály- és árvíz stressz

Farooq és munkatársai (2012) szerint a szárazság az egyik legmeghatározóbb környezeti tényező, amely világszerte negatív hatással van a növénytermesztésre. Salehi-Lisar és munkatársai szerint (2016) az aszály általi stressz több tényezőből alakul ki. Ilyen a csapadékhiány, a túl magas és a túl alacsony hőmérséklet, a talaj sótartalma, valamint a magas intenzitású sugárzás (ultraviola sugárzás). A vízhiány korlátozza a növények növekedését, befolyásolja a hatékony vízfelhasználást (Farooq és mtsai 2012). A növények fiziológiai és biokémiai válasszal reagálnak erre a stresszhelyzetre. Ilyen jelenség a fotoszintetikus aktivitás csökkenése. Ezt a csökkenést a sztómák záródása, a membránkárosodás és az enzimek okozzák. Az enzimek közül is inkább azok, amelyek az ATP-szintézis folyamatában vesznek részt csökkent aktivitással. Farooq és munkatársai (2012) azt is megemlítik tanulmányukban, hogy egyes előrejelzések szerint az aszályval kapcsolatos problémák a jövőben csak fokozódni fognak.

Nem csak az aszály, de az árasztás által okozott stressz is befolyással van a növény fejlődésére, termelékenységére, kritikus esetben akár halálhoz vezethet (Jackson és mtsai 2005). Jackson és munkatársai (2005) szerint a növények növekedésének egyik legkomolyabb korlátja az árasztás által kiváltott abiotikus korlát. Ezen stresszhatás nagy hatással volt a növények evolúciójára is. Az aszályhoz hasonlóan az árasztással, árvízzel kapcsolatosan is rendelkeznek a növények védekező mechanizmussal. Az ellenállóság nagy részben függ a növény fajtától. Az árvízből származó egyik legnagyobb probléma az oxigén nem megfelelő ellátottsága a víz alatti növényi részekben. A talajban is történnek egyéb változások, melyek hatással vannak az etilén növényi hormon szintjeire. Felhalmozódnak a talajban található mikroorganizmusok anaerob anyagcseréje során létrejövő anyagok, mint a Mn^{2+} , Fe^{2+} , S^{2-} , H_2S valamint a karbonsavak (Ponnamperuma 1984).

2.2. A csapadék vizsgálatok története

A globális klímaváltozás egyik következménye az extrém hőmérséklet- és csapadékindexek előfordulásának és a kilengés mértékének megváltozása (Bartholy és mtsai. 2008). Az extrém időjárási események gyakoriságának növekedése előidézheti a jövőben az aszályok, az árvizek és egyéb természeti katasztrófák előfordulásának emelkedését. Bartholy és Pongrácz (2004) szerint az emberi társadalomra és a Föld ökoszisztémáira nem csak az átlaghőmérséklet növekedése, de az extrém értékek mértékének átalakulása is lényeges faktor.

Mezőgazdasági szempontból a termésbiztonság biztosítása, valamint a katasztrófák elleni védekezés okán nélkülözhetetlen az extrém időjárási adatok gyűjtése, elemzése valamint az adatokon alapuló előrejelzések készítése.

A trendek elemzése már az első mérésektől elindult. A Meteorológiai Világszervezet (WMO) feladata és célkitűzése a WMO tagországok méréseinek összegyűjtése, szinkronizálása, a mérőrendszerek karbantartása és fejlesztése, valamint az adattovábbítás. A mérések történhetnek szárazföldön, vízfelületen, légkörben, valamint a világűrben egyaránt, az erre a célra kialakított meteorológiai vagy környezetmegfigyelő műszerekkel (Bozó 2022). Hazánkban az Országos Meteorológiai Szolgálat éghajlati adatarchívuma tartalmazza a kezdetektől mért összes meteorológiai értéket (Hoffmann és Lakatos 2017). Az információgyűjtés fontosságát jól szemlélteti a folyamatosan bővülő adatbázis, valamint annak lefedettsége. Magyarországon - többek között Keszthelyen – a meteorológiai mérések már 1871 óta folyamatosak, ennek köszönhetően Keszthely 1871-2014-ig rendelkezik havi bontású csapadék-adatsorral is (Kocsis és mtsai. 2017).

Lényeges viszont azt is megemlíteni, hogy az európai adatok elemzéséhez, valamint az éghajlat jövőbeli változásának megállapításához a XX. század első felében, valamint ezt megelőző időszakból származó adatok jelentősen hiányosak az extrém éghajlati vizsgálatok elvégzéséhez (Bartholy és Pongrácz 2004)

2.3. Globális klímaváltozás

A csapadékkal kapcsolatos globális változásokat többek között Bozó László is vizsgálta. Bozó (2022) szerint az éghajlatváltozás hatásai meghatározzák és befolyásolják a globális vízkörforgalom fontos elemeit. Ilyen esemény például a tengerszint emelkedés, a légkörben megtalálható vízgőz mennyiségének változása, valamint a csapadék és az aszály időbeli és területi eloszlása.

A víz nem csak esőzés formájában befolyásolja a mezőgazdasági termelést, hanem a levegőben található vízgőz is meghatározza a növények szükségleteit (Bozó 2022). A Földön található víz legnagyobb mennyiségét az óceánok és a tengerek adják, mintegy 1400 millió km^3 -t, ezt követi a gleccserekben tárolt 29 millió km^3 , valamint a földfelszín alatt található 15 millió km^3 víztérfogó mennyiséggel. A légkörben található víz mennyisége elhanyagolható az előbb említett mennyiségekhez képest, mivel legmagasabb értéke megközelítőleg 13 ezer km^3 , ami a légkör tömegének csupán 2,5 ezreléke (Trenberth 2007). A globálisan melegedő légkör befolyásolja, valamint esetlegesen megváltoztathatja a vízkörforgalom elemeinek értékét. Ilyen esemény lehet, ha a jégtakarók elolvadnak. Ebben az esetben átlagosan 80 méterrel emelkedne a tengerszint. Becslések szerint csupán 1 °C-os globális léghőmérséklet növekedés 6-7%-kal emeli meg a légkörben tárolt vízgőztartalmat, amely a látens hőforgalom által hatással van a légkör dinamikai folyamataira is, mint például a globális légkörzés vagy a mérsékeltövi ciklonok pályája a mérsékelt övezet közepes szélességein (Bardin és mtsai. 2023), ahol a Kárpát-medence is található.

Ezen változások kihatnak a víz teljes globális ciklusára, amik olyan következményekkel járnának, mint csapadék és a párolgás időbeli és területi eloszlásának folyamatosan szélsőségesebbé válása, annak ellenére, hogy a csapadék adatok mennyiségileg csak 1-2%-os változást tennének ki. Átlagosan elmondhatóvá válna, hogy a száraz területek még szárazabb, a nedves területek még nedvesebb tendenciákat mutatnának (Held and Soden 2006).

A csapadék szélsőségesége befolyásolja aszályosságra érzékenyebb területek talajtakaróját, ezzel előidézve annak folyamatos nedvességsökkenését, valamint termőképességének elvesztése során sivatagossá válását. Ez a veszély már nem csak Európa egyes régióiban lép fel, de Magyarországon is felütötte már a fejét Duna–Tisza közti homok hátság (Bozó 2022). Ezeken a területeken nem csak a talajvízszint folyamatos süllyedése, de egyes negatív talajtani és ökológiai változások is megfigyelhetők. A talaj és a növényzet száradásával összefügg az erdőtüzek megjelenése. A folyamatosan fokozódó antropogén eredetű felmelegedés következtében az erdőtüzek régebben csak Európa déli területeit érintették elsősorban, napjainkban azonban már a kontinens középső, valamint északi területein is fel kell készülni az erdőtüzek rendszeres előfordulására (Bozó 2022). Mindezen adatok ismeretével kijelenthető a hőmérséklet és a csapadék szoros kapcsolata.

2.4.Csapadékindex vizsgálatok Európában

A szakirodalom nem csak rengeteg múltira vonatkozó tanulmánnyal rendelkezik, de napjainkban már egyre több jövőre vonatkozó tudományos alapú, rövid- és hosszútávú előrejelzés található különböző éghajlati forgatókönyvek, ún. éghajlati scenáriók mentén. A globális és regionális kutatások kisebb nagyobb eltéréssel, de hasonló eredménnyel rendelkeznek. Sok esetben csak a tanulmány elkészítéséhez használt módszerek különböznek egymástól.

2.4.1. Csapadékkal kapcsolatos kutatások Lengyelországban és Németországban

Csapadékindexek vizsgálatával foglalkozó tanulmány látott napvilágot Dél-Lengyelország és Közép-Kelet-Németország területére vetítve (Łupikasza és mtsai. 2011). A tanulmány célja csapadék trendek területi és időbeli eloszlásának vizsgálata 1951-2006 között mért adatok használatával. Nyolc index használatával számították ki az esőzések mennyiségét, gyakoriságát és intenzitását. A vizsgálat végeztével kapott eredményeket külön elemezték a téli és nyári évszakra, valamint az átmeneti évszakokra, a tavaszi és őszi hónapokra. A vizsgálataik szerint Németország közép-keleti részén növekedtek, Lengyelország déli részén viszont csökkentek a szélsőséges csapadékindexek értékei (Łupikasza és mtsai. 2011). Ezen változások a téli hónapok esetén erőteljesebben rajzolódtak ki. Összeségében a kapott eredmények alapján arra a következtetésre jutottak, hogy az általuk végzett vizsgálatok a csapadéktendenciák szélsőséges időbeli és területi eloszlását bizonyítja, továbbá a szezonális jelentősége is megfigyelhető volt.

Zolina és munkatársai (2008) vizsgálták a csapadékindexek változásait Németország egész területén, mintegy 2000 meteorológiai állomás adatainak segítségével. A vizsgálat 1950-2004 közötti időszakra terjedt ki. Minden évszak adatait külön-külön dolgozták fel. Az eredmények alapján, a heves esőzések tekintetében egy pozitív lineáris tendenciái volt kimutatható (kivéve a nyári évszak) Közép- és Dél-Németországban. Miközben, nyáron a heves csapadék többnyire negatív tendenciákat vett fel.

Zolina és munkatársai (2008) szerint a heves és szélsőséges csapadék évtizedenkénti gyakorisága is 30% és 60% közötti növekvő tendenciát mutat.

Cabral és munkatársai (2020) Németország északnyugati régióiban található 64 meteorológiai állomás adataival határozták meg a tér-idő trendek és a csapadékextrémítások kapcsolatát. A számításukat 1931 és 2014 közötti időszakon belül két részre bontották, az egyik a téli félévre (november - március), a másik a nyári félévre (május - szeptember) összpontosított. Az eredményeik megegyezők voltak Zolina és munkatársai (2008) által készített tanulmány eredményeivel.

2.4.2. Csapadék vizsgálatok Szlovákiában

Szlovákia területén is foglalkoztak a csapadék időbeli és térbeli trendjeinek elemzésével, többek között Zelenáková és munkatársai (2017). Vizsgálatuk során mintegy 487 mérőállomás adatait felhasználva kapták meg a csapadéktrendek alakulását 1981 és 2013 között. Az adatok elemzésére több statisztikai módszert is használtak. A kapott eredmények szerint összességében a csapadék adatok csak kis mértékben változtak a vizsgált 33 év során, miközben Szlovákia egész területén a havi csapadékmegoszlás szempontjából rendkívüli eltérés mutatkozott. Zelenáková és munkatársai (2017) négy különböző állomásra sikeresen elemezték a csapadékviszonyokban bekövetkező hirtelen változásokat. Megállapították, hogy a hirtelen változások csúcspontja 1988 és 1997 közé volt tehető. Egy „nedves ciklus” is megfigyelhető volt a 20. század utolsó évtizede és a 21. század első húsz éve között. Mivel ez a harminc éves időszak már lezárult Zelenáková és munkatársai (2017) szerint, ezt követően egy elhúzódó száraz időszakkal kell szembenézni.

2.5. Csapadék index vizsgálatok a Kárpát-medencében és Magyarországon

A klímaváltozás fokozódása és egyre ismertebbé válása okán, csapadékindexekkel kapcsolatos kutatások kezdődtek meg Európában, a Kárpát-medence térségében és Magyarországon is. Ezekben a kutatásokban a múlt adatainak kielemezése zajlott, vagy ezen információk alapján különböző módszerekkel végeztek előrejelzéseket. Leggyakrabban a XXI. század végére végeztek becsléseket.

Megközelítőleg minden tanulmány elkészítése során az 1. táblázatban feltüntetett csapadékindexek vizsgálata hangsúlyos (Berényi és mtsai 2022).

1. táblázat Éghajlati indexek és azok definíciója Berényi és mtsai (2022) nyomán saját szerkesztés

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	Nagycsapadékos napok száma ($R_{nap} \geq 10 \text{ mm}$)	nap
RR20	Extrém csapadékú napok száma ($R_{nap} \geq 20 \text{ mm}$)	nap
RX1	Legnagyobb 1 napi csapadék összeg ($\text{Max}(R_{nap})$)	mm
RX5	Legnagyobb 1 napi csapadék összeg ($\text{Max}(R_{nap_i, i+1, i+2, i+3, i+4})$)	mm
R90p	Napi csapadékösszeg 90. percentilise	mm
R95p	Napi csapadékösszeg 95. percentilise	mm
R95N	Csapadékos napok csapadékösszegének 90. percentilisét meghaladó napok száma	nap
PRCPTOT	Éves csapadékösszeg	mm
SDII	Csapadékintenzitás index: a csapadékos napokon hulló átlagos csapadék	mm/nap

Bartholy és Pongrácz (2007) is tanulmányozta az extrém csapadékindexeket a Kárpát-medence térségében a XX. század tendenciáit alapul véve. Saját vizsgálataim eredményeit is ezen tanulmány kiegészítéseként készítettem el. Az adatgyűjtés során Bartholy és Pongrácz (2007) a következő indexekre fektettek hangsúlyt:

- a csapadékos napok száma (azon belül különböző szélsőértékeket határoztak meg, mind például a 1mm és a 20 mm),
- az egymást követő száraz napok száma,
- a napi legnagyobb mennyiségű csapadék mértéke,
- a napi csapadékintenzitás,
- az 5 nap alatti legnagyobb csapadékmennyiség (mm),
- és a szélsőséges csapadékesemények éves aránya.

Továbbá nem csak a csapadékkal kapcsolatos indexeket vizsgálták, hanem az olyan hőmérséklettel kapcsolatos mutatószámokat is, mint:

- a fagyos napok éves mennyisége, ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$)
- hideg napok éves mennyisége, ($T_{max} < \text{napi maximum hőmérséklet adatok alsó } 10\%-a$)
- a meleg napok éves mennyisége, ($T_{max} > \text{napi maximum hőmérséklet adatok felső } 10\%-a$)
- a forró napok éves mennyisége, ($T_{max} \geq 35^{\circ}\text{C}$)
- a hideg éjszakák éves mennyisége, ($T_{min} < \text{napi minimumhőmérséklet adatok alsó } 10\%-a$)
- a meleg éjszakák éves mennyisége, ($T_{min} > \text{napi minimumhőmérséklet adatok felső } 10\%-a$)

Végezetül pedig külön kezelték a téli időszakban és a nyár időszakban kapott mérési adatokat.

A tanulmány során 31 adatfelvételezési állomást használtak, ebből 20 állomás Magyarországon belüli, 11 állomás a szomszédos országokban helyezkedett el, de még a Kárpát-medencén belül. A vizsgálatokhoz beszerzett mérési adatok közül elsősorban a XX. század második felét vették figyelembe, mivel ezt megelőzően az adathiány miatt nem lehetett egyértelmű tendenciákat felmutatni.

Két alidőszak került meghatározásra, az 1946-2001 és 1976-2001 közötti időszakok. Bartholy és Pongrácz (2004) szerint 1946-2001 közötti időszakban a csapadékok évi aránya a Dunántúlon gyengén csökkenő, míg a többi területen közepes mértékben növekvő tendenciát mutatott, valamint ebben az időszakban már megfigyelhető volt az éves csapadékösszeg és a nagy esőzések során lehulló csapadék arányának növekedése.

1976-2001 között figyelhető meg a legtöbb vizsgált meteorológiai állomáson csapadékmennyiség-növekedés, valamint a Dunántúli területeken a növekedés mértéke meghaladta az Alföldön mért növekedési rátát. A változás elsősorban a RR20 index adatai között szembetűnő, amely a 20mm csapadékot meghaladó napok számát jelenti. A 0,1mm meghaladó csapadékos napok számát is figyelembe vették, ami RR0,1 indexként ismert. Az RR0,1 vizsgálata esetén szintén kimutatható a közepes vagy nagy erősségű negatív trend. A legerősebb évtizedenkénti trend 1976 és 2001 közé tehető, de a Dunántúl térségében mértek pozitív és negatív trendeket is, tehát ez a térség igen megosztott volt.

Ebben az időszakban összehasonlították a nyári és a téli mérések adatait, amely alapján kimondható, hogy a téli negatív trend felülmúlja a nyári trendek mértékét.

A XX. század negyedik negyedében egyértelműen kimutatható, hogy kevesebb napon hullott a csapadék, míg a nagycsapadékos napok aránya pozitív trendet vett fel (Bartholy és Pongrácz 2004).

A Kárpát-medencében a legtöbb szélsőséges csapadékindex a legszembetűnőbben a XX. század végére növekedett. Bartholy és Pongrácz (2007) szerint ez a növekedés inkább a 80-as évektől jelentősebb.

Az európai kontinens tendenciaelemzése alapján a heves csapadékos napok a 80-as és 90-es évektől gyakrabban fordultak elő az északi területeken, mint a mediterrán térségekben.

Bartholy és Pongrácz (2004 és 2007) által megfogalmazott következtetéseket megerősítette Hoffmann és Lakatos (2017) tanulmánya, amiben az éghajlatváltozás hatását vizsgálták az intenzív csapadékok alakulására. A vizsgált időszak 1901–2015. Az adatokat a HungaroMet Zrt. (jogelőd intézmény: Országos Meteorológiai Szolgálat) adatarchívuma biztosította a vizsgált időszak interpolált, homogenizált napi rácsponti csapadék adatait. Az OMSZ által használt, rácspontokra vetített MISH interpolációs eljárás révén a mérésekkel kevésbé lefedett területek tulajdonságai is érvényesülhetnek az országos átlagban.

A többi kutatáshoz hasonlóan megfigyelhető az évenként mért csapadékos napok számának csökkenése, valamint az erősen csapadékos napok arányának növekedése. Számokkal magyarázva, a meghatározott időszakban, országos átlagban a csapadékos napok csökkenése meghaladja a két hetet, 4%-os növekedés határozható meg az erősen csapadékos napok számát illetően, valamint a 20 mm csapadékot meghaladó napok száma is enyhe pozitív tendenciát mutat, megközelítőleg országos átlagban 1 napos eltérést.

Hoffmann és Lakatos (2017) azt is kiemelte az előbb említett változások esetén, hogy a nagy mértékű eltérés csupán a 90-es évektől volt megfigyelhető. A napi csapadékintenzitás növekedése a téli és a nyári évszakban a legmeghatározóbb, pontosabban nyáron 1,1 mm/nap, télen pedig 0,8 mm/nap a növekedés mértéke. Az átlagos napi intenzitás pozitív mértéke pedig arra enged következtetni, hogy a csapadékok aránya egyre inkább a rövid idejű, intenzív záporok, zivatarok felé tolódik.

A kutatás kitért egyes csapadékindexek esetében a területi eloszlás ábrázolására is 1961-től 2015-ig, viszont a mért tendenciák csak szűk területen szignifikánsak.

Ellenben elmondható a csapadékos napok számának ábrázolása során észrevehető kontinentális hatás, ami miatt a Tiszától nyugatra csökkenő, míg keletre növekvő tendencia a domináns.

A Bakony térségben és a Viharsarokban a csapadékos napok száma magasabb, míg az ország középső területein egyaránt megfigyelhető a csökkenés és a növekedés is.

A legnagyobb változást az egynapos összeg esetében az Alpokalján és a Somogyi dombság területén mérték, amely 10 mm körüli csökkenést mutat, szemben az északkelet-magyarországi és az alföldi részeken kapott megközelítőleg 8mm-es növekedéssel.

Megvizsgálták Budapest belterület automata mérései alapján, az özvényszerű esőzést okozó 2015. augusztusi eseményeket, melynek következtében több helyen megfigyelhető volt a rövid idő alatt hulló kiadós csapadékmennyiség. A legnagyobb óras összeg 83,3 mm volt, amit mérni lehetett az esőzést ideje alatt. A budapesti átlagos, augusztusi csapadékösszegének több mint másfélszerese hullott egy óra leforgása alatt. A napi összeg 115,4 mm-t tett ki, ami még így is csak a 25. legnagyobb mért adat 1901 és 2015 között.

A rövidülő visszatérési idők kiszámításához két periódust vett figyelembe Hoffmann és Lakatos, az egyik a 1901- 2014 közötti időszak, a 2015-ös események nélkül, míg a másik időszak 1901-2015 a már említett 2015-ös intenzív esőzéssel.

A visszatérési értéket GEV (General Extreme Value) függvényvel, vagyis általánosított szélsőérték eloszlás függvényvel számították ki. Alig több mint 20 év alatt az intenzív események figyelembe vételével a korábban 50 évente átlagosan egyszer mérhető 79 mm körüli csapadékmennyiség visszatérési periódusa megfeleződött (Hoffmann és Lakatos 2017).

Hoffman és Lakatos (2017) szerint az utóbbi három évtizedben megfigyelt hazai és globális változások indokolják az éghajlati állapot folyamatos vizsgálatát a jövőben is reprezentatív, ellenőrzött, homogenizált, mérésekre alapozva.

2.5.1. Aszály vizsgálat Baján

A csapadékvizsgálatok nem csak globálisan, de kisebb területekre bontva is lényegesek lehetnek a mezőgazdaság szempontjából. Erre remek példa Fekete és Keve (2020) esettanulmánya, mely során Baja térségében vizsgálták a csapadékösszegek és az aszályos időszakok összefüggését.

Aszályos időszaknak azt az időszakot vették a számítások során, mely időszakban az egymást követő csapadékhiányos napok száma eléri a huszonötöt. Minden szükséges adatot az HungaroMet Zrt. adatbázisa szolgáltatott. A vizsgálat a 1990 és 2020 közötti időszakra terjed ki, mialatt a vegetációs időszakhoz tartozó hat hónap csapadékadatát vették figyelembe, SPI6 csapadékindex alapján, ami 6 havi csapadékösszeget jelenti.

Ez az a fél év, amely a mezőgazdaság számára lényeges vegetációs időszakot tartalmazza. Az SPI egy rövidítése a Standardized Precipitation Index-nek, ami a nemzetközi aszálykutatások során gyakran alkalmazott mutató, amely számszerűsíti az adott időszak pozitív, vagyis a nedves, illetve negatív, vagyis a száraz hidrológiai anomáliáit (McKee és mtsai 1993).

A mért adatok alapján egyes évek különböző osztályokra lettek osztva. Ez alapján előrejelzés készíthető egyes kategóriák valószínűségeiről a jövőre vonatkozóan. Azonban a vegetációs időszak során nem csak a csapadékösszegek adatait kell figyelembe venni. Ha teljes képet szeretnénk kapni, a csapadékmentes napok száma, valamint az aszályos időszakba eső napok is elengedhetetlen tényezők. Ezen adatok alapján Markov-láncok használatával hosszú távon kiszámítható, hogy a jövőben egyes vegetációs időszakok során mi a valószínűsége annak, hogy egy nap aszályos lesz-e.

A Markov-láncok módszerét az elmúlt időszakban gyakran alkalmazták hidrológiai folyamatok vizsgálata érdekében. A Markov-lánc egy olyan matematikai módszer, mely biztosítja, hogy a vizsgálat a múlttól feltételesen függetlenül menjen végbe. Fekete és Keve (2020) szerint az 1960-as évektől kezdve külföldön is használták a Markov-láncokat különböző időszakok csapadékmentes és csapadékos napjainak egymás után következő folyamatának modellezése érdekében (Gabriel és Neumann 1962, Haan és mtsai 1976). Továbbá az elmúlt években is a Markov-láncok segítségével számítottak ki egyes területek éves csapadékösszegeit, melyek eredményi publikálva lettek (Selvi és Selvaraj 2011, Yusuf és mtsai 2014). Ezen tanulmányok adtak ihletet a bajai területek Markov-lánccal történő vizsgálatára.

A vizsgálat eredményei hasonlóan alakultak a már korábban is végzett, globális és területi tanulmányok következtetéseivel. Fekete és Keve (2020) szerint az általuk kapott eredmények is bizonyítékként szolgálnak arra, hogy az utóbbi évtizedekben az aszály és a vízhiány jelentős veszély forrássá vált.

Az előrejelzések, megfigyelések és modellek alapján, várhatóan hazánk érintettsége is hangsúlyosabb lesz, mind az aszály, mind a vízkészletek mennyiségi és minőségi változásának vonatkozásában.

A Markov-láncok használatával végzet számítások szerint kb. 4,78 évente fordulhat elő kisebb-nagyobb mértékben a 6 hónapos száraz időszak Baja területein, egy vegetációs időszakon belül.

Azonban még a vizsgálat eredményei sem tökéletesen pontosak, mivel a használt számítási módszer nem veszi figyelembe a vizsgálat idejét megelőző 30 év adatait, amelyek egyértelműen a csapadékhiány irányába mutatnak. A félrevezető előrejelzések oka lehet az is, hogy a csapadék jellemzően rövid ideig tartó, intenzív esőzések formájában hullik, ami által nő a csapadékmentes időszakok száma.

A kutatás kitért annak a valószínűségnek a kiszámítására is, hogy Baja térségében a vegetációs időszak (április 1-től október 31-ig) egyik napja, aszályos időszakba fog-e esni. A számítások elvégzéséhez a 2010 és 2019 között mért adatokat használták. Az eredmény pedig meghökkentően magas, mivel 35,75% valószínűséggel lesz aszályos egy véletlenszerűen kiválasztott nap a tenyészidőszak során.

A további számítások alapján - melyek során szintén alkalmazásba kerültek a Markov-láncok -, biztossá vált, hogy a jövőben az aszályos időszakba eső napok száma növekedő tendenciát fog felvenni.

Mindezen eredmények következtében Fekete és Keve (2020) szerint az általuk végzet vizsgálatok alapjául szolgálhatnak más területekre vonatkozó hasonló számításoknak is. Illetve szükséges lenne Magyarország területét lefedve, több állomásra is elvégezni ezen számításokat, amely segítségével a jövőre vonatkozó, országos aszályossági térkép is elkészítésre kerülhet.

2.6. Csapadékmennyiséggel kapcsolatos éghajlati modelleredmények

A múlt csapadék adatainak tanulmányozása, elemzése lehetővé teszi, hogy különböző módszerekkel előrejelzéseket készítsünk a jövőre vonatkozóan. Ezek a kísérletek a felhasznált adatokból adódóan lehetnek globális és kisebb területre vetíthetőek.

Huo és munkatársai (2021) készítettek egy tanulmányt, melynek egyik célja az extrém csapadék események előrejelzése a XXI. század végére. Az vizsgálat során CMIP5 archívum két különböző forgatókönyvét vetítették előre az egyik a RCP8.5, amely magas CO₂-koncentrációt feltételez. A másik a RCP2.6 forgatókönyv, amely pedig XXI. század végére egy erősen csökkenő CO₂ kibocsátást feltételez. Vagyis az RCP2.6 szerint a huszonegyedik század közepe környékén üvegházhatású gázok levegőszennyezése eléri a maximumot, majd a huszonegyedik század végére egy erős csökkenés lesz megfigyelhető. A két forgatókönyv 2006-2099 közötti időszakra vonatkozik.

A vizsgálat befejeztével a globális éghajlati modellek (Global Climate Models, GCM) eredményei szerint, éves szinten az extrém csapadékindexek Európa nagy részén növekedni fognak. Fontos megemlíteni, hogy a RCP8.5 forgatókönyv esetén a növekedés sokkal drasztikusabb, mint amire RCP2.6 eredményei alapján majd számítani lehet. Dél-Európában az extrém csapadékesemények gyakoriságának növekedése csak igen enyhén fog alakulni, addig az éves csapadékmennyiség esetén csökkenés feltételezhető. Huo és munkatársai (2021) szerint a hosszú visszatérési idejű csapadékok (100 és 200 éves) jelentős növekedése, valamint a rövid

időtartamú szélsőséges csapadék események gyakoriságának emelkedése, szélsőségebb árvizek megjelenését okozza majd Európában.

Kárpát-medence térségére Bartholy és munkatársai (2008) végeztek előrejelzéseket. A vizsgálat célja egy becslés elkészítése volt 2071-2100 közötti időszakra vonatkozóan. Kutatásuk során a szélsőséges hőmérsékleti és csapadék események, illetve az extrém indexek várható változását elemezték az A2 és a B2 globális IPCC scenáriók tekintetében, melynek referencia időszaka 1961-1990.

Az extrém csapadék indexekkel kapcsolatos előrejelzések kiszámításához a Dán Meteorológiai Intézet (DMI) DMI-HIRLAM modellszimulációit alkalmazták. Bartholy és munkatársai (2008) szerint az extrém csapadék események gyakorisága éves viszonylatban, országos szinten csak kis mértékben fog változni, viszont a csapadék éven belüli eloszlásának jelentős átrendezése várható. A szimulációk szerint az átrendeződés olyan formában jelenik majd meg, hogy az 5mm csapadékot meghaladó napok éves száma a XXI. század végére várhatóan 2% és 9% közé lesz majd tehető. Habár januárban (A2 scenárió) 58%-os, illetve (B2 scenárió) 40%-os növekedés, ezzel ellentétben júliusban (A2 scenárió) 32%-os, illetve (B2 scenárió) 25%-os csökkenés lesz megfigyelhető. Összeségében megállapítható a szimulációk XXI. század utolsó három évtizedére vonatkozó eredményinek megfigyelése során, hogy a nagy csapadékú események gyakoriságának növekedése elsősorban a téli hónapnak lesz az ismertetőjegye.

A tanulmány kitért a nagycsapadékos napok számának változására, amelynek kiszámításához a szimulációk során kapott, a referencia időszak során mért adatoknál nagyobb értéket felvevő napok számát vették figyelembe 95%-os percentilis értéknél. Az éves változások ebben az esetben sem haladták meg a 9%-os, illetve 18%-os átlagot, viszont januárban (A2 scenárió) 59%-os, valamint (B2 scenárió) 41%-os átlag növekedést, míg júliusban (A2 scenárió) 28%-os, illetve (B2 scenárió) 23%-os átlag csökkenést jeleznek előre a szimulációk.

Összegezve a kapott eredményeket Bartholy és munkatársai (2008) szerint, a csapadék extrémindexek országos, éves szinten viszonylag kis mértékű változáson fognak keresztül esni 2071-2100 között, viszont ezen indexek éves eloszlása már nagyobb problémákat idézhet elő, a már részletesen taglalt januári és júliusi változásoknak köszönhetően.

3. Saját vizsgálatok

3.1. Anyag és módszer

A vizsgálat elkészítéséhez szükséges adatokat a HungaroMet Zrt. meteorológiai adatarchívuma biztosította (www.odp.met.hu). A HungaroMet adattárából a rácspontokra vetített, homogenizált napi felbontású csapadékösszeg adatok és különböző, a hazai és nemzetközi szakirodalomban elterjedt csapadékindexek segítségével végeztem vizsgálatokat. Számításaimhoz az adatsorokból 2007. január 1.-től 2022. december 31.-ig, 1233 rácsponton rögzített napi csapadék összegekre (mm) volt szükségem, amelynek adatainak száma meghaladta a vizsgálati időszakra vetítve a 7 milliót. Az adatok minden esetben rácspontra interpolált, homogenizált adatsorokat takarnak, ami azt jelenti, hogy az adatbázis előállítása érdekében mind a meteorológiai állomásokról származó in-situ adatok, mind távérzékelési adatok (radar, műhold) bevonásra kerültek. A homogenizációs eljárás során az adathibákat és inhomogenitásokat kiszűrjük és javítjuk, ezzel növelve az adatsor megbízhatóságát.

A számítások elvégzéséhez az MS Office Excel programot használtam, majd az eredmények térképes szemléltetéséhez az R szabadfelhasználású program (R Core Team 2023) nyújtott segítséget.

3.1.1. Felhasznált csapadék indexek

A vizsgálataimhoz szükséges információk megszerzésének első lépése az adatok rendszerezése és áttekinthetővé tétele volt. Ehhez egyes csapadékindexek kiszámítására volt szükség, ezeket az indexeket a 2. táblázat tartalmazza. A csapadékindexek kiválasztásához Berényi és munkatársai (2022) tanulmánya szolgált alapul. Az indexek kiszámítása az Excel program képletei segítségével valósult meg. Az számítások lefedik mind 1233 rácspont 2007. január 1.-től 2022. december 31.-ig számított összes, vagyis 7.205.652 adatát.

2. táblázat: Csapadékindexek és jelentésük

Indexek	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	Nagycsapadékos napok száma ($R_{nap} \geq 10 \text{ mm}$)	nap
RR20	Extrém csapadékú napok száma ($R_{nap} \geq 20 \text{ mm}$)	nap
RX1	Legnagyobb 1 napi csapadék összeg ($\text{Max}(R_{nap})$)	mm
PRCPTOT	Éves csapadékösszeg	mm

Az RR1, az RR5, az RR10, az RR20 indexek kiszámítása az MS Office Excel program „darabhatöbb” függvénye, az RX1 a „max” függvénye, valamint a PRCPTOT csapadékindex esetén, a „szum” függvénye használatával valósult meg. A változások tendenciáinak szemléltetését minden index (kivéve RR10 index) esetén pedig a „meredekség” függvény biztosította.

3.1.2. Matematikai elemzés

A csapadékindexek által szolgáltatott eredményeket az R szabadfelhasználású program (R Core Team 2023) segítségével szemléltetem.

A vizsgálat során az idősorok elemzésekor lineáris trendfüggvényt illesztettem a rácsponthoz található adatsorokra, amelynek matematikai egyenlete a következő:

$$y = mx + b \quad (1)$$

ahol y jelenti a prediktandusz értéket, azaz a becsült értéket, az m az egyenes meredeksége, b pedig az y -tengellyel vett metszéspont. Ezen adatokból számomra a meredekségnek volt jelentősége. A 2007 és 2022 közötti csapadékadatokra, illetve az RR1 és RR5 csapadékindexek értékeire kiszámítottam minden rácspontra a meredekség értéket, amelyhez az Excel meredekség elnevezésű beépített függvényét használtam fel. Ha a meredekség értéke pozitív, akkor emelkedő trendet, ha negatív, akkor csökkenő trendet állapíthatunk meg. A vizsgálatom azonban nem tért ki arra, hogy ez a trend szignifikánsnak tekinthető-e vagy sem.

Napjainkban a kukorica az egyik legfontosabb gabonanövénné vált. Mi sem bizonyítja ezt jobban, minthogy globális szinten a termesztésbe bevont területek nagysága folyamatosan növekszik (Máró 2024). A kukorica termesztése a klímaváltozás miatt egyre nagyobb kihívást jelent a hazai gazdálkodóknak (Tóth 2024), ezért is választottam a kukoricát a gabonanövények közül. Annak érdekében, hogy a kukorica és a csapadék kapcsolatát 2007 és 2022 között szemléltetni tudjam a vizsgálatokat több időintervallumra is elkészítettem, annak függvényében, hogy mely, a kukorica fejlődésére kritikus időszakot akartam elemezni. A vizsgálatom során csak a mezőgazdasági szempontból legmeghatározóbb hónapokat (márciustól szeptemberig) ábrázoltam térképek formájában. Továbbá a térképeken feltüntettem a kukorica fenológiai fázisait, amelyek az adott hónapra vonatkoznak. Az eredményeim szemléltetéséhez az április közepe, vége körüli vetést vettem figyelembe, a fenológiai fázisokat ehhez igazítottam.

Az RR1 index nem csak az 1 mm-t meghaladó csapadékú napok számára utal, hanem ezen adatokból lehet következtetni a csapadékos és a csapadékmentes napok számára. Ezeket külön tavaszi és nyári felosztásban ábrázoltam. Az ezt bemutatni szánt diagramokon a csapadékos és a csapadékmentes napok arányát látjuk 2007 és 2022 között százalékos értékben, évszakos bontásban.

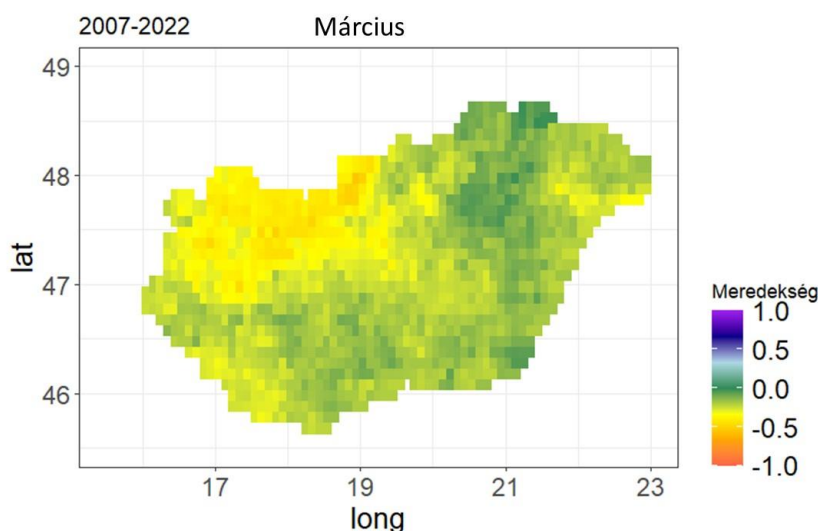
Az RR10 csapadékindex esetében nem a meredekséget számítottam ki, hanem bélyegdiagramok készítése valósult meg. A bélyegdiagrammok azoknak a napoknak a számát tartalmazzák, amelyek elérik, vagy meghaladják a 10 mm-es határértéket. Ennél az indexnél, 2007 és 2022 között minden év, minden hónapjáról lehetett volna térképeket készíteni, amely 192 térképet jelentene, ezért ezekből választottam párat. Azokat a hónapokat választottam ki amelyek esetében a legtöbb volt a 10 mm-t meghaladó napok és rácsponatok száma, vagy amelyek esetében minimum volt ezen napok száma. Ezt követően átlag számításra is sor került annak érdekében, hogy az előbb említett térképek jól ábrázolhatóak legyenek. A választott hónapok három különböző csoportra bontottam. Ezek a tavaszi hónapok, nyári hónapok és 2022 hónapjai, amely nem tartalmazza a szeptember hónapot. A 2022-es évet választottam külön, mert ennek az évnek a csapadékadatok nagymértékű eltérést mutattak a többi év hónapjaitól.

3.2. Eredmények

3.2.1. RR1 és RR5 indexek

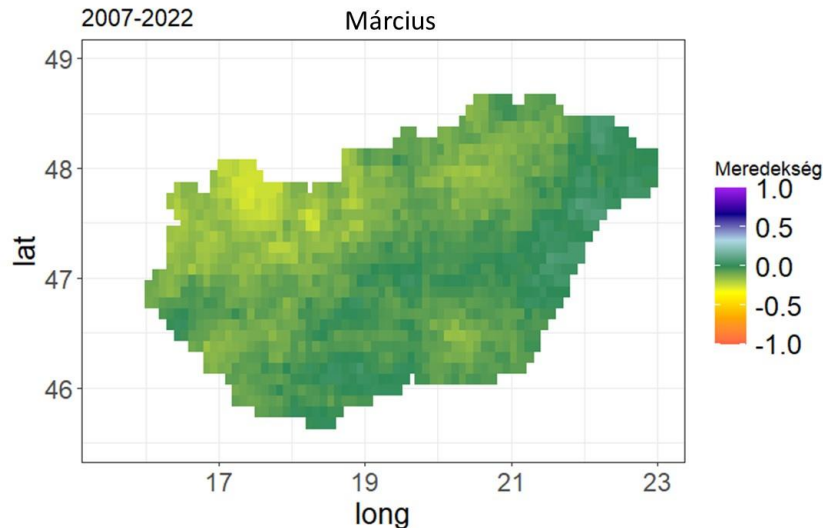
Az RR1 (1 mm-t meghaladó csapadéku napok száma), és az RR5 (5 mm-t meghaladó csapadéku napok száma) indexek esetén az összes rácspontra vetítve a meredekség kiszámítása tette lehetővé a változás intenzitásának ábrázolását térképes formában. Az előbbi index kiszámítása a csapadékos napok meghatározásához volt elengedhetetlen, míg az utóbbi a mezőgazdaság szempontjából hasznos csapadékos napok számát mutatja.

Az 1. ábrán az RR1 index márciusra vonatkozó eredményei láthatók. A vizsgált 16 éves időszakon belül országos szinten egy negatív meredekség figyelhető meg. A csökkenés elsősorban az ország északnyugati területein jelent meg erőteljesebben, míg az észak-keleti régiókban a meredekség nem mutatott a csapadékos napok számában jelentős változást, hiszen a meredekség nulla körüli értéket vett fel.



1. ábra: RR1 index márciusi meredeksége 2007 és 2022 között

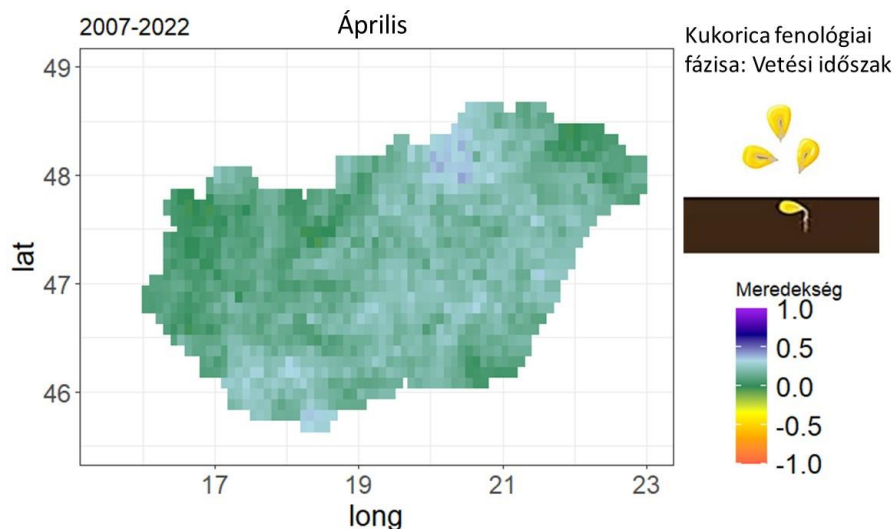
A 2. ábra az RR5 index márciusi adatainak meredekségét szemlélteti, amelyen jól látható, hogy az ország egész területén nem történt számottevő eltérés az évek között. Az északnyugati régióban azonban néhány rácsponton eléri a meredekség a -0,5 nap/év értéket, ami azt jelenti, hogy 10 évente 5 nappal csökkenhet a márciusi csapadékos napok száma, amivel már számolnia kell a gazdáknak. Ezzel szemben a keleti, északkeleti országrészben minimális emelkedés látható, de ez nem éri el a +0,5 értéket.



2. ábra: RR5 index márciusi meredeksége 2007 és 2022 között

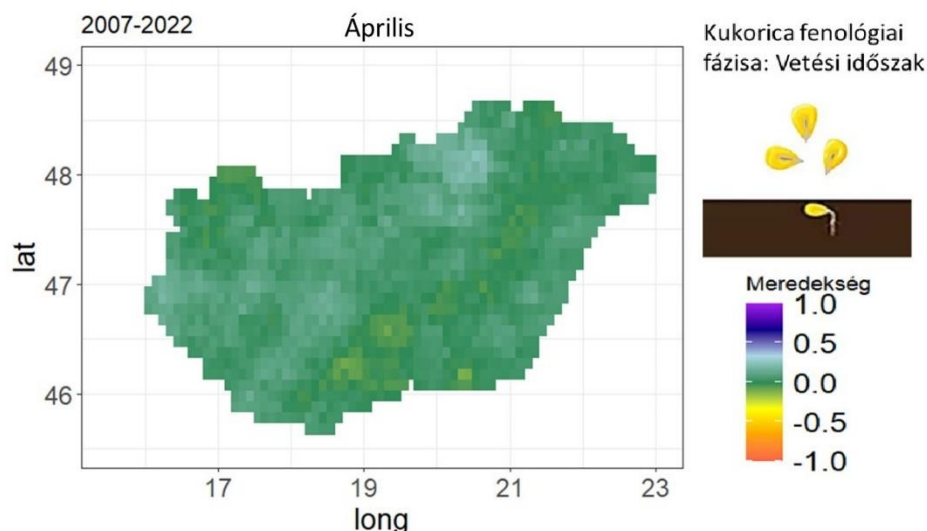
A két index adatainak meredeksége tehát arra enged következtetni, hogy 2007 és 2022 közötti évek 3. hónapjai között, országos szinten a csapadékos napok száma csökkenést mutat, míg az 5 mm-t meghaladó csapadékos napok száma, vagyis a mezőgazdaság szempontjából hasznos csapadékmennyiséggel rendelkező napok száma döntően változatlan maradt, kivéve a Kisalföld térségét. A kukorica esetében márciusi vetés nem szokványos hazánkban, ezért nem tüntettem fel erre vonatkozóan fenológiai fázist, ugyanakkor a talajállapot és nedvességtartalom végett fontos időszaka az évben mezőgazdasági szempontból.

A 3. ábra szerint áprilisban az RR1 meredeksége az ország legtöbb területén enyhén pozitív. A kukorica vonatkozásában az eredményeim szemléltetéséhez az április közepe, vége körüli vetést vettem figyelembe, a továbbiakban a fenológiai fázisokat ehhez igazítottam.



3. ábra: RR1 index áprilisi meredeksége 2007 és 2022 között

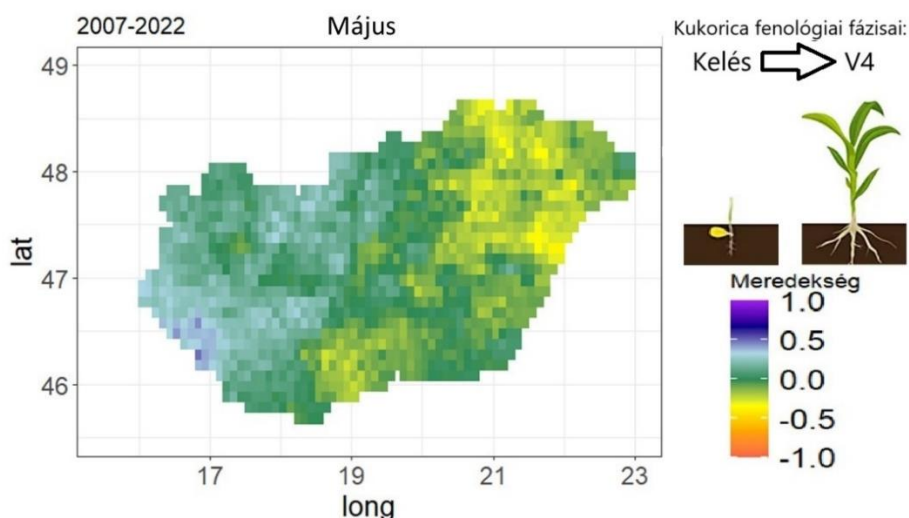
A 4. ábra esetén az RR5 index meredeksége hasonlóan alakult, mint az RR1 index esetén. Az ország nagy részén a meredekség 0 és 0,25 közötti értéket vett fel.



4. ábra: RR5 index áprilisi meredeksége 2007 és 2022 között

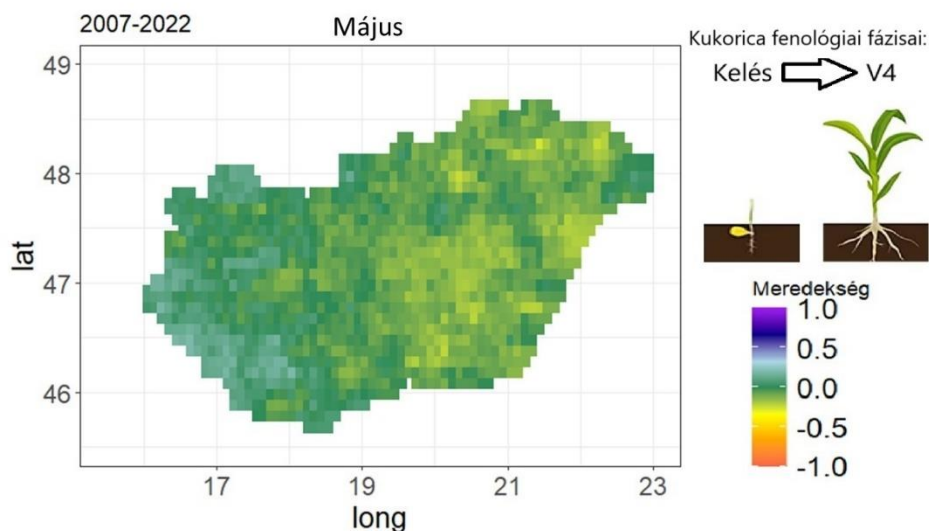
A 3. és a 4. ábra figyelembevételével kijelenthető, hogy áprilisban a csapadékos napok száma változatlan maradt, vagy csak kis mértékben növekedett a vizsgált időszakon belül.

A 5. ábra a májusi változásokat szemlélteti. Ebben a hónapban jól látható, hogy az ország két részre bomlik. A nyugati régiókban egy egyértelmű pozitív meredekség figyelhető meg, ezzel szemben a keleti régiók RR1 index adatai csökkenő tendenciát vettek fel. A délnyugati országrészben a legjelentősebb a változás, egy-egy rácspontban eléri a növekmény az 1 nap/év tendenciát, ami a vizsgált 16 év alatt 16 nap havi növekményt jelent. Ez egy hónapra vetítve jelentős változásnak mondható már, főleg azért, mert trendszerű változásról van szó.



5. ábra: RR1 index májusi meredeksége 2007 és 2022 között

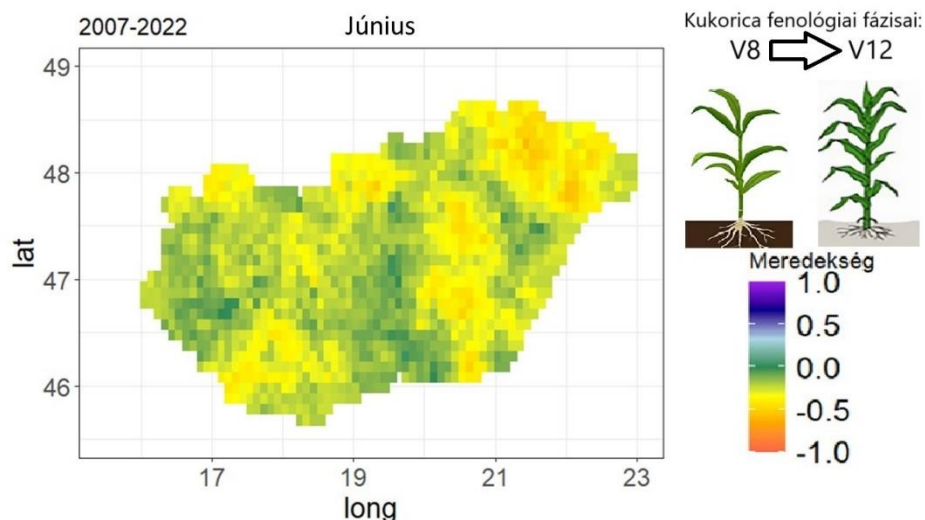
A 6. ábrán a májusi hónapok RR5 index adatainak meredekségét ábrázoltam. Hasonlóan az 5. ábrához az ország két csoportra bomlása itt is megfigyelhető, azonban az eltérések már nem olyan nagy mértékűek.



6. ábra: RR5 index májusi meredeksége 2007 és 2022 között

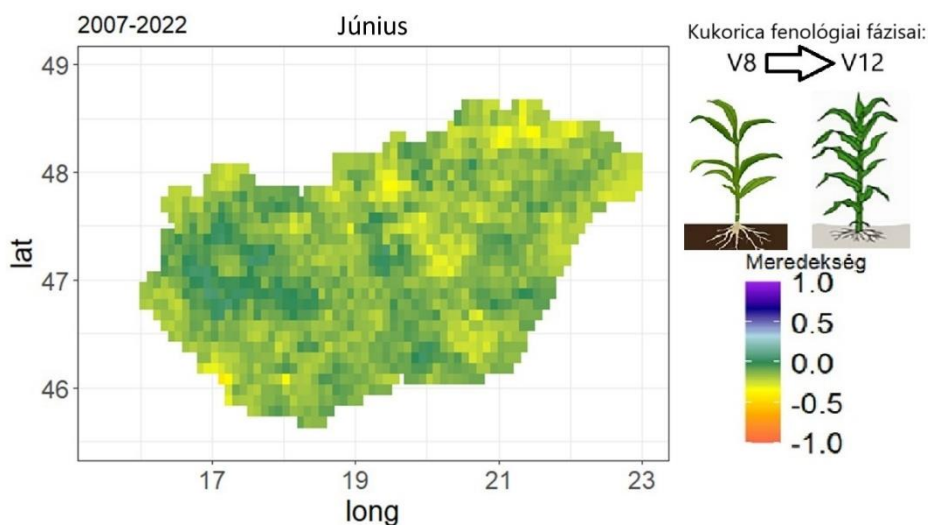
Összegezve a májusi ábrákat elmondható, hogy mindkét index esetében az ország nyugati felében növekedés, a keleti felében pedig a csökkenés volt a jellemző. A kukorica április közepe, vége körüli vetése esetén - ha a klimatikus tényezők is megfelelőek - májusban megkezdődik a kelés, és a hónap végére a négyleveles állapotot is elérheti, ahogy azt az 5. és a 6. ábra mutatja.

A júniusi, 1 mm-t meghaladó csapadékú napok számának meredekségének változásai a 7. ábrán láthatóak. Ebben az esetben egy erőteljesebb negatív változás volt jellemző, elsősorban az északkeleti országrészben. Nagy területen elmondható, hogy a negatív trend eléri a 0,5 nap/évet, ami a 16 év alatt már számottevő, 7-8 napos változást jelent, azaz ennyivel kevesebb napon hullik csapadék, mint a vizsgálatot megelőző években.



7. ábra: RR1 index júniusi meredksége 2007 és 2022 között

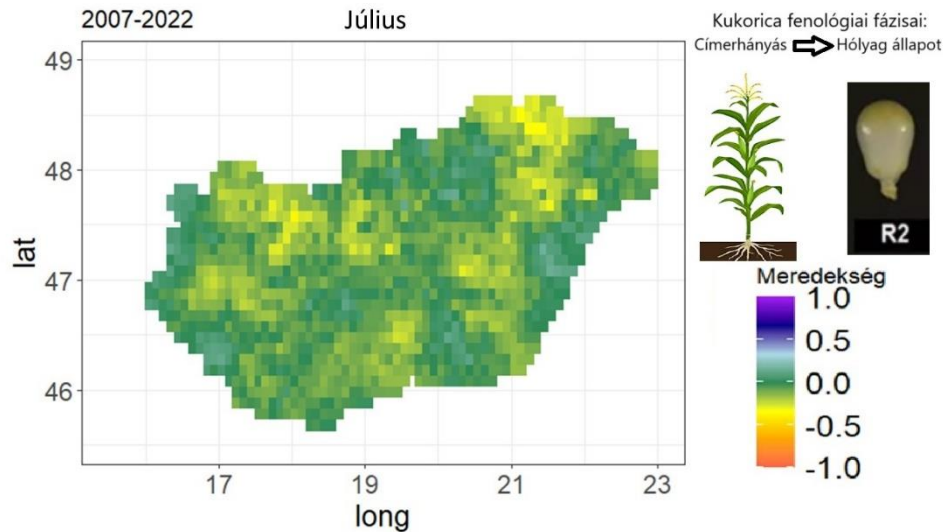
A júniusi hónapok RR5 meredkségének ábrázolása a 8. ábrán látható. Az ország szinte egész területén a kisebb mértékű negatív meredkség, és a 0-s érték váltakozása látható, amely egy sűrű „foltosság”-ként jelenik meg a térképen.



8. ábra: RR5 index júniusi meredksége 2007 és 2022 között

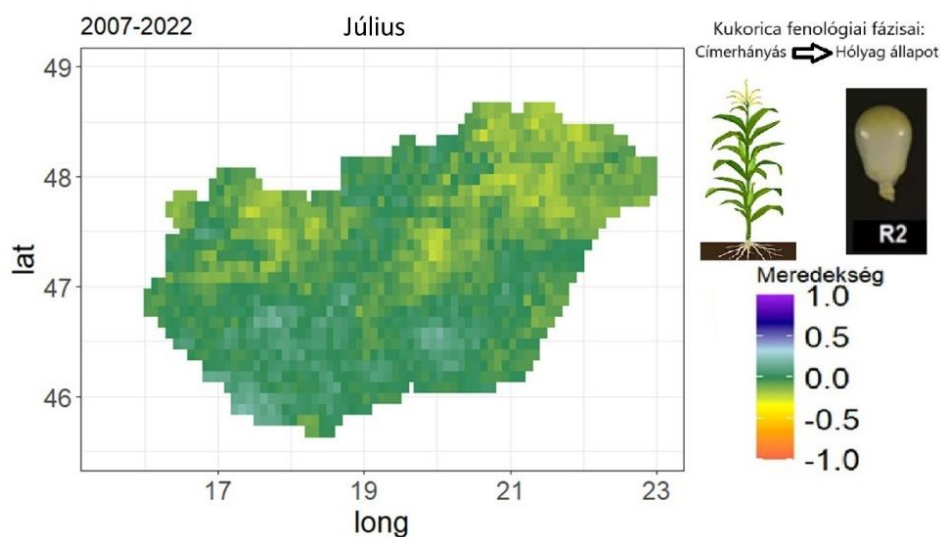
Összehasonlítva a két júniusi ábrát, az látható, hogy a csapadékos napok száma nagyobb mértékű csökkenést mutat a vizsgált időszakon belül, mint az 5 mm csapadékot meghaladó napok számának csökkenése. Az általam választott növény, vagyis a kukorica fejlődésének szempontjából június végére már a 8 leveles állapoton túl, a 12 leveles állapotot is elérheti.

A júliusi RR1 adatokra vonatkozó meredekségeket az 9. ábra mutatja be. Ebben a hónapban országsszerte jellemzőbb volt a negatív meredekség, ennek ellenére néhol foltszerűen jelentek meg a növekedő RR1 index adatok.



9. ábra: RR1 index júliusi meredeksége 2007 és 2022 között

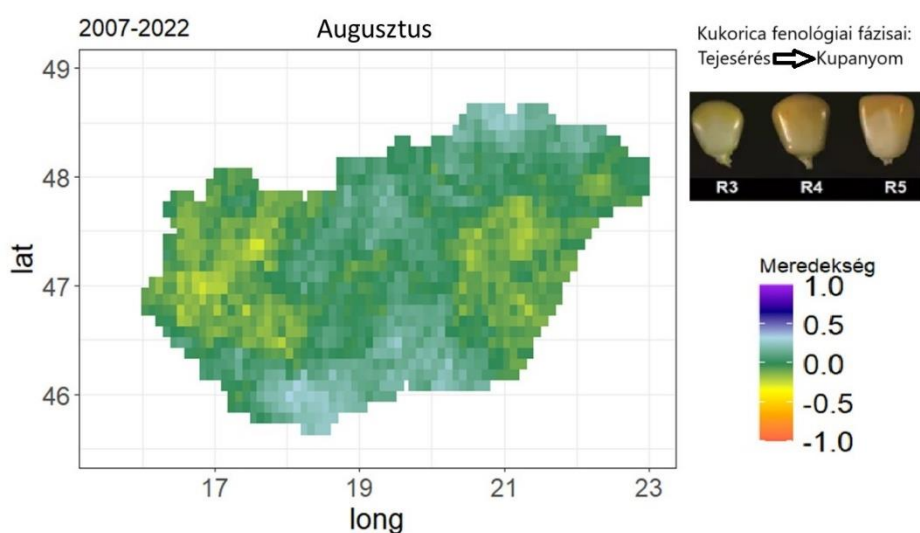
Az RR5 júliusi indexek esetén, ahogy azt a 10. ábra mutatja, egyértelműen látszik, hogy az ország északi régióiban a negatív tendencia uralkodott, ellentétben a déli országgrésszel, ahol a pozitív meredekség volt a meghatározó.



10. ábra: RR5 index júliusi meredeksége 2007 és 2022 között

Ha figyelembe vesszük mindkét index júliusi meredekségét, jól látszik, hogy a csapadékos napok száma országsszerte változó tendenciát mutatott a vizsgált időszakban. Azonban az 5 mm-t meghaladó csapadéku napok számának tekintetében a déli országrészben nem volt mérhető semmilyen tendencia, ellenben az északi területeken enyhe csökkenés volt a jellemző. A kukorica fenológiai fejlődése ebben az időszakban eléri a címerhányás vegetatív, valamint a bibevirágzáson (R1) túl a hólyagállapotot (R2), melyek generatív fejlődési állapotok.

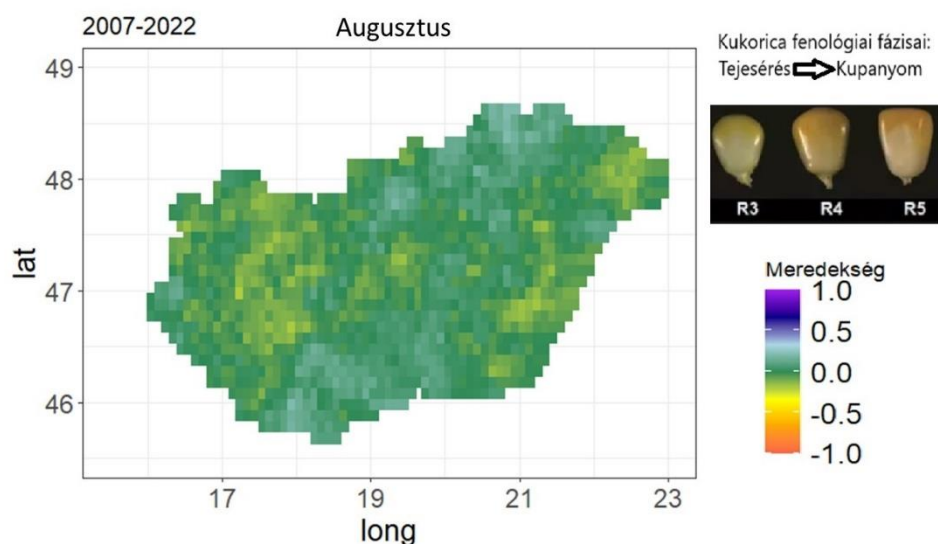
A 11. ábrán 1 mm-t meghaladó csapadéku napok számának meredeksége látható augusztusban. A Dunántúl nyugati és északnyugati, valamint a Tiszántúl keleti régióiban egy enyhe negatív meredekség volt megfigyelhető, de országos szinten számottevő változások nem történtek.



11. ábra: RR1 index augusztusi meredeksége 2007 és 2022 között

A 12. ábrán országos szinten ugyan az a tendencia volt megfigyelhető, mint a 11. ábra esetében. Ebben az esetben sem voltak olyan nagy mértékű változások, amelyek kiemelhetők lennének.

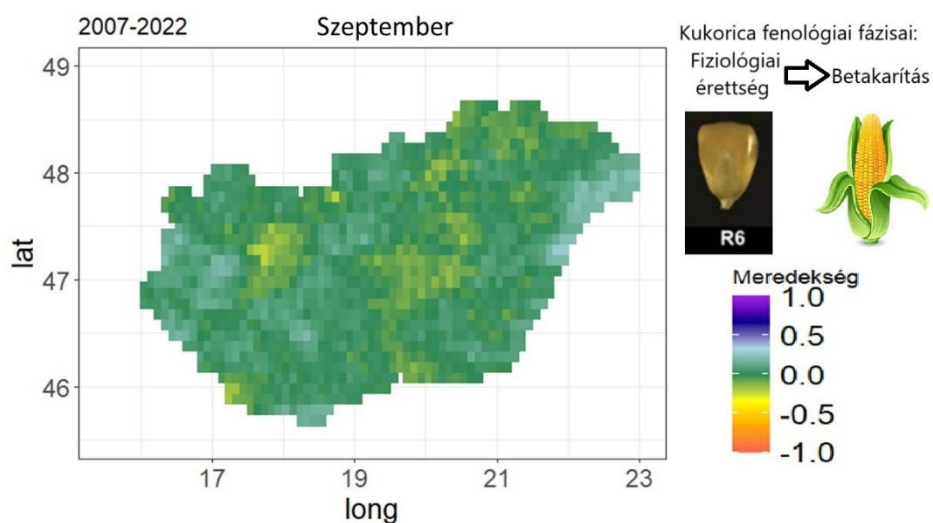
A vizsgálat során a kukorica generatív fejlődésének legnagyobb része az augusztusi hónapra esik. Ez a teljesérés (R3), a viaszérés (R4) és a kupanyom megjelenésének fázisa (R5) is, de a fiziológiai érettséget még nem éri el.



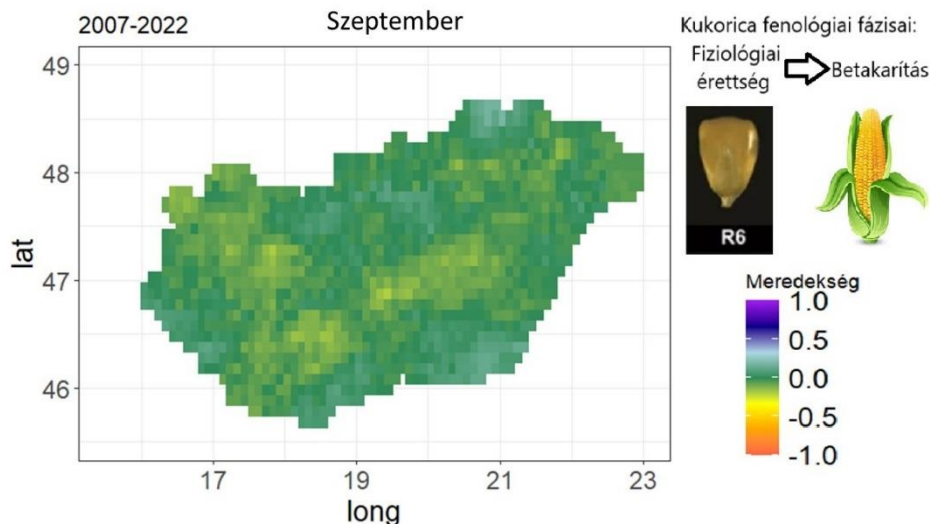
12. ábra: RR5 index augusztusi meredeksége 2007 és 2022 között

Az RR1 és az RR5 indexek meredeksége a 13. és a 14. ábrán látható. Mindkét esetben az egész ország területén megfigyelhető a negatív és a pozitív tendencia egyaránt.

Az áprilisba elvetett kukorica szeptemberben eléri a teljes fiziológiai érettséget, és a betakarításra alkalmas állapotot is.



13. ábra: RR1 index szeptemberi meredeksége 2007 és 2022 között



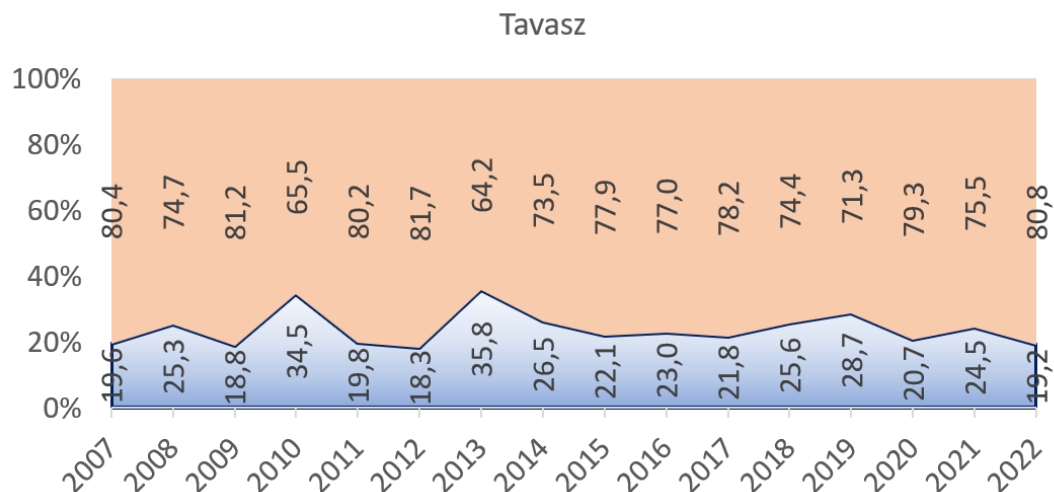
14. ábra: RR5 index szeptemberi meredeksége 2007 és 2022 között

3.2.2. Csapadékos és csapadékmentes napok aránya

Mivel az RR1 index az 1 mm-t meghaladó napokat veszi figyelembe, ezért ezen adatok alapján meghatározható a csapadékos napok és a csapadékmentes napok aránya. Számításaim elvégzéséhez tehát, azokat a napokat vettem csapadékos napnak, amely napokon a csapadék mennyisége elérte, vagy meghaladta az 1 mm-ert. Azok a napok, amelyek esetén nem teljesült ez a feltétel, száraz, vagyis csapadékmentes napokként kerültek be a vizsgálatomba. A 2007 és 2022 közötti évek csapadékos, és száraz napjainak arányát tavaszi és nyári bontásban ábrázoltam a 15. és a 16. ábrán.

3.2.2.1. Csapadékos napok arányának változása a tavaszi időszakban

A vizsgált időszak tavaszi időszakra vonatkozó eredményei a 15. ábrán láthatóak. Szembetűnő, hogy a tavaszi csapadékos napok százalékos aránya átlagosan 20-30%, miközben a száraz napoké 70-80% között alakult. A tavaszi csapadékos napok aránya a 2010-es és a 2013-as években volt a legmagasabb, előbbi esetén 34,5%, utóbbi esetén 25,8%-al.

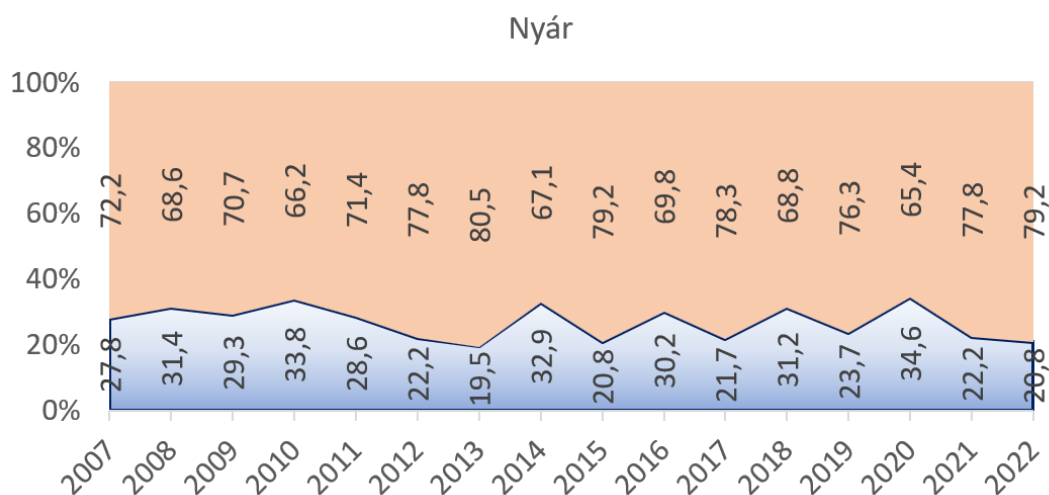


15. ábra: Csapadékos és csapadékmentes tavaszi napok aránya 2007 és 2022 között. A barna szín jelöli a csapadékmentes, a kék színezés a csapadékos napok arányát (%)

3.2.2.2. Csapadékos napok arányának változása a nyári időszakban

A 2007 és 2022 közötti évek nyári időszakában megfigyelt csapadékos és száraz napok arányai a 16. ábrán láthatóak. Akárcsak a tavaszi napok arányának esetében, ebben az esetben is átlagosan 20-30%-os a csapadékos napok aránya. Az esős napok szempontjából a legkiemelkedőbb év a 2010-es (33,8%), a 2014-es (32,9%) és a 2020-as (34,6%) év volt. Megfigyelhető azonban 2007 és 2011 között, hogy az arányok a későbbi évekhez képest csak kis mértékben ingadoztak. Ennek a trendnek 2012 és 2013 között végé szakadt, amikor egy drasztikusabb csökkenés történt az esős napok tekintetében.

A legnagyobb mértékű változás az egymást követő évek nyarai között a 2013-as és a 2014-es évben történt. 2013-ban figyelhető meg a vizsgált időszak során mért legalacsonyabb arány, míg az egyik legmagasabb arány 2014-ben fordult elő. A két év között pontosan 13,4%-os különbség figyelhető meg.



16. ábra: Csapadékos és csapadékmentes nyári napok aránya 2007 és 2022 között A barna szín jelöli a csapadékmentes, a kék színezés a csapadékos napok arányát (%)

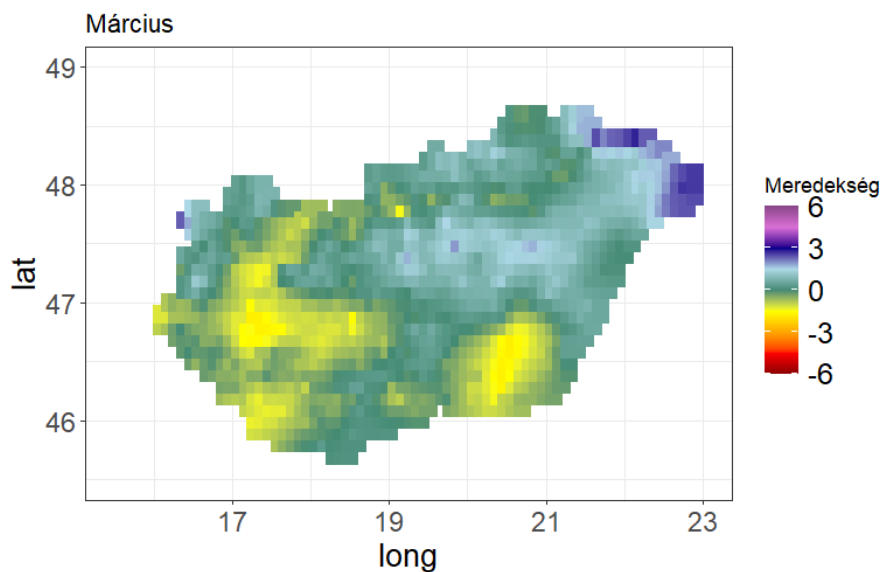
3.2.3. Havi csapadékösszeg és RX1 index

A havi csapadékösszeg az adott hónapban lehulló összes csapadékot figyelembe veszi, függetlenül annak időbeli eloszlásától. Az RX1 index a legnagyobb 1 napi csapadékösszeg mértékét jelöli. Ahogy azt a legtöbb index esetén, ebben az esetben is a meredekség segítségével állapíthatóak meg a vizsgált 16 év tendenciái.

Ha a havi csapadékösszeg meredeksége pozitív, és az RX1 index meredeksége is pozitív akkor valószínűsíthető, hogy ezen területeken több csapadék esett, kevesebb idő alatt, vagyis feltehetően a hevesebb esőzések aránya vált gyakoribbá. Ha a havi csapadékösszeg meredeksége pozitív, de az RX1 index meredeksége negatív, akkor a nagyobb mennyiségű csapadék, hosszabb idő alatt hullott le, vagyis a csendes esős időszak felé tolódott az esőzések aránya.

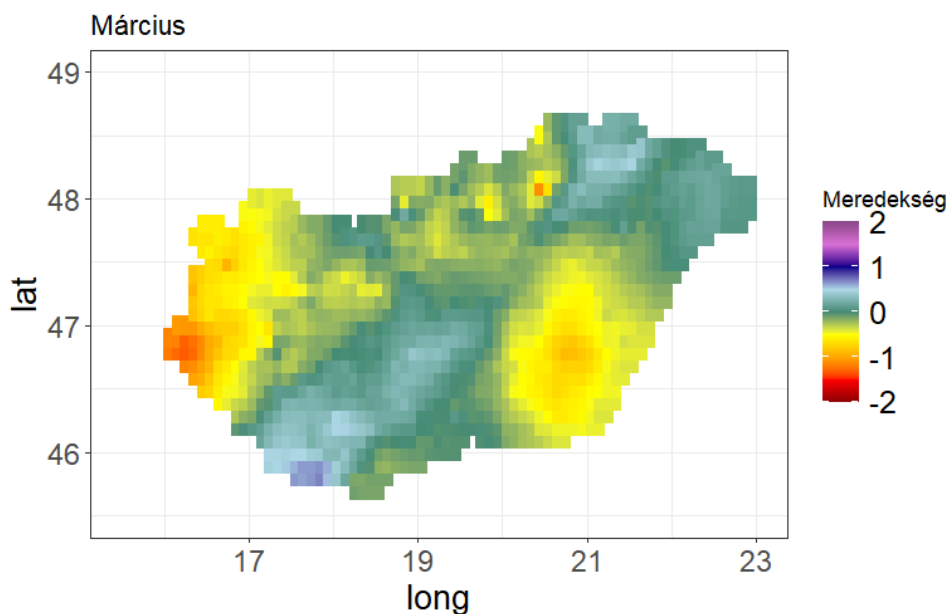
Abban az esetben, ha a havi csapadékösszeg meredeksége negatív, de az RX1 index meredeksége pozitív, akkor kevesebb csapadékmennyiség, hosszabb idő alatt hullott le (mindezek mellett, valószínűleg emelkedett a magasabb csapadékú napok aránya is). Ha a havi csapadékösszeg meredeksége negatív, és az RX1 index meredeksége is negatív, akkor a kevesebb csapadék, kevesebb idő alatt esett, illetve előfordulhat, hogy az alacsonyabb csapadékú napok aránya megnövekedett.

A március havi csapadékindex változásait a 17. ábra szemlélteti. Az ábrán megfigyelhető, hogy nagy mértékű növekedés csak az észak-keleti határ környékén volt megfigyelhető, míg csökkenés a Dunántúlon és a déli területeken is gyakran előfordult.



17. ábra: Havi csapadékösszeg márciusi meredeksége 2007 és 2022 között

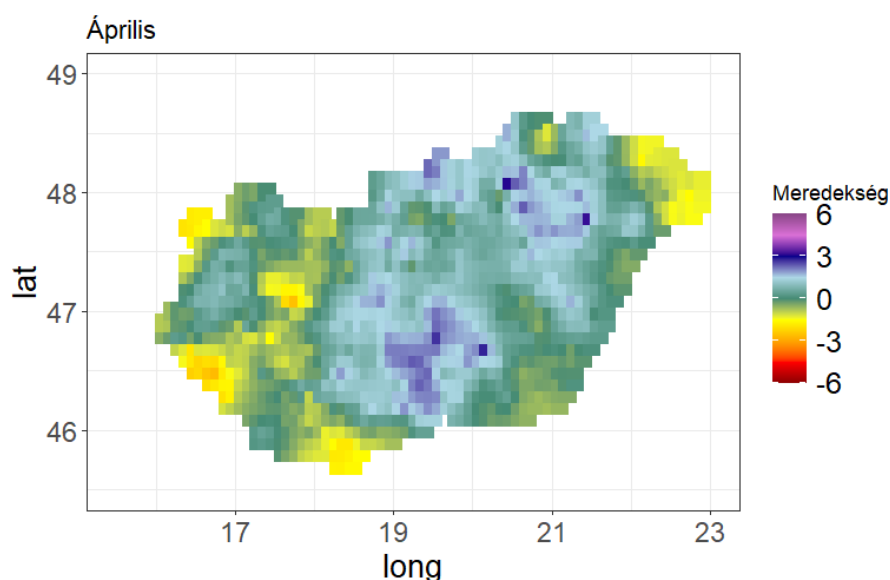
A 18. ábrán az RX1 index változásának alakulása látható. A negatív tendencia több régióban is előfordult, jellemzően az észak-nyugaton, az északon és a dél-keleten.



18. ábra: RX1 index márciusi meredeksége 2007 és 2022 között

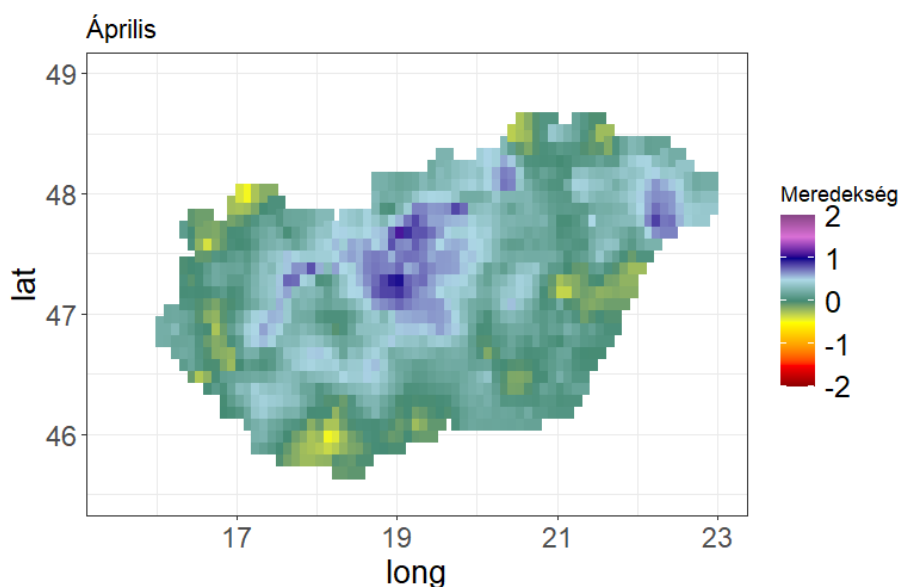
Az előbb említett két ábra alapján a Dunántúlon jellemzően kevesebb csapadék hullott, miközben az RX1 értékek is csökkenő tendenciát mutatnak, ellenben észak-keleten, ahol a havi csapadékösszeg nagy mértékben növekedett, ott a legnagyobb 1 napi csapadékösszeg értéke változatlan maradt a vizsgált időszak során.

A 19. ábrán az áprilisi hónap havi csapadékösszegének tendenciái figyelhetőek meg. A Duna-Tisza közén, valamint a Tiszántúl nyugati felén a növekvő csapadékmennyiség egyértelműen kijelenthető, miközben a Dunántúlon negatív meredekség is foltszerűen megjelenik.



19. ábra: Havi csapadékösszeg áprilisi meredeksége 2007 és 2022 között

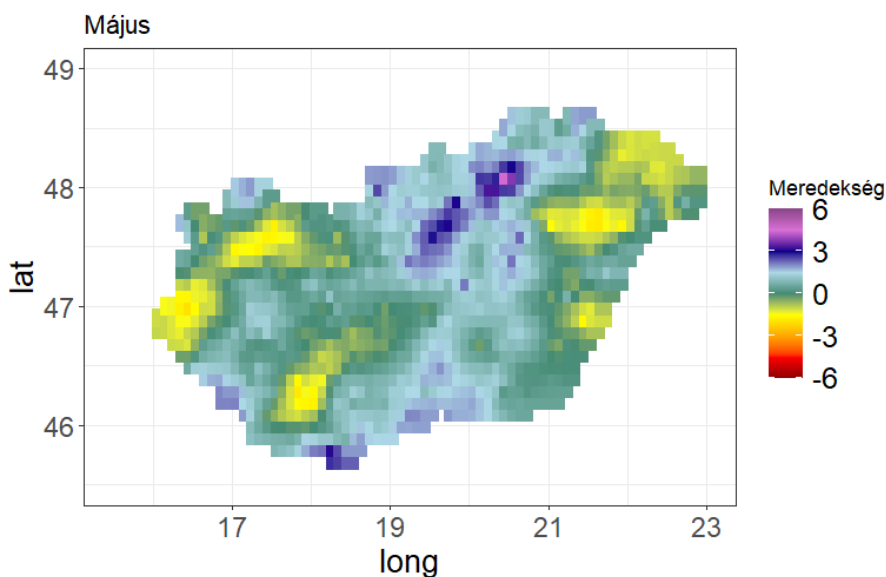
Az RX1 indexek áprilisi meredeksége a 20. ábrán szerepel. Ebben a hónapban Pest megye környékén volt megfigyelhető a legnagyobb pozitív tendencia.



20. ábra: RX1 index áprilisi meredeksége 2007 és 2022 között

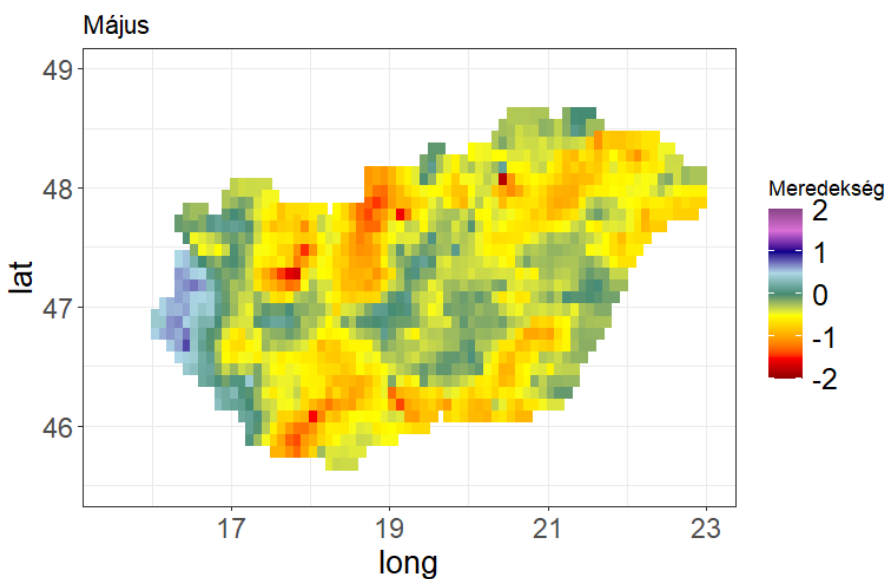
Összeségében áprilisban, főleg az ország keleti felén a havi csapadékmennyiség mértéke és az RX1 index tendenciái is egyaránt növekedtek. Ebben a hónapban egy csendes esős időszak felé tolódás volt megfigyelhető.

Májusban a havi csapadékösszeg növekedés jellemzően északon, Pest megye területein és keletebbre volt megfigyelhető, ahogy az a 21. ábrán látható.



21. ábra: Havi csapadékösszeg májusi meredeksége 2007 és 2022 között

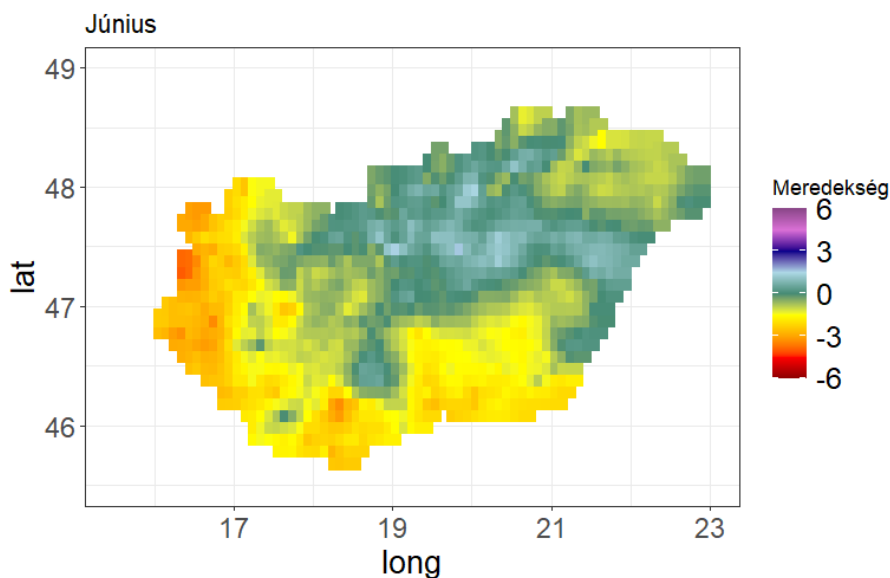
A májusi hónapban volt a legnagyobb mértékű és elterjedtségű az RX1 index negatív meredeksége, amelyet a 22. ábra ábrázol.



22. ábra: RX1 index májusi meredeksége 2007 és 2022 között

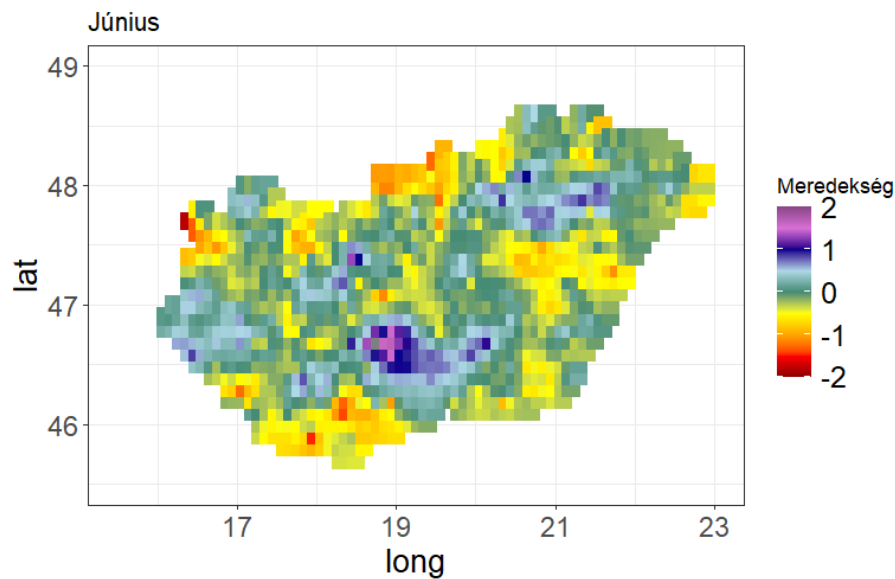
Májusban a legtöbb területen a növekedő csapadékösszeg ellenére a legnagyobb 1 napi csapadékösszeg értékei jelentősen csökkentek, vagyis ebben az időszakban feltételezhetően a hevesebb esőzések aránya megnövekedett.

A 23. ábra a havi csapadékösszeg változásait mutatja be a júniusi hónap tekintetében. Az ország nyugati és déli területein egy erősebb negatív tendencia volt megfigyelhető, vagyis ezekben a régiókban a júniusi csapadékmennyiség nagy mértékben csökkent.



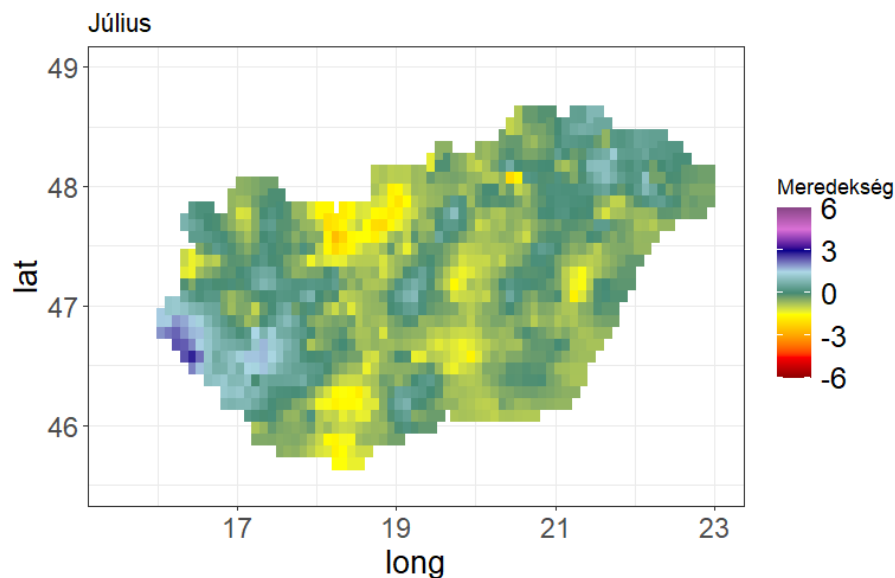
23. ábra: Havi csapadékösszeg júniusi meredeksége 2007 és 2022 között

A 24. ábra szemlélteti az RX1 index júniusi meredekségét. Az ország egészére vetített, egyöntetű tendenciát nem lehet megállapítani. Égtájtól függetlenül, rendkívül különböző meredekségek láthatóak.



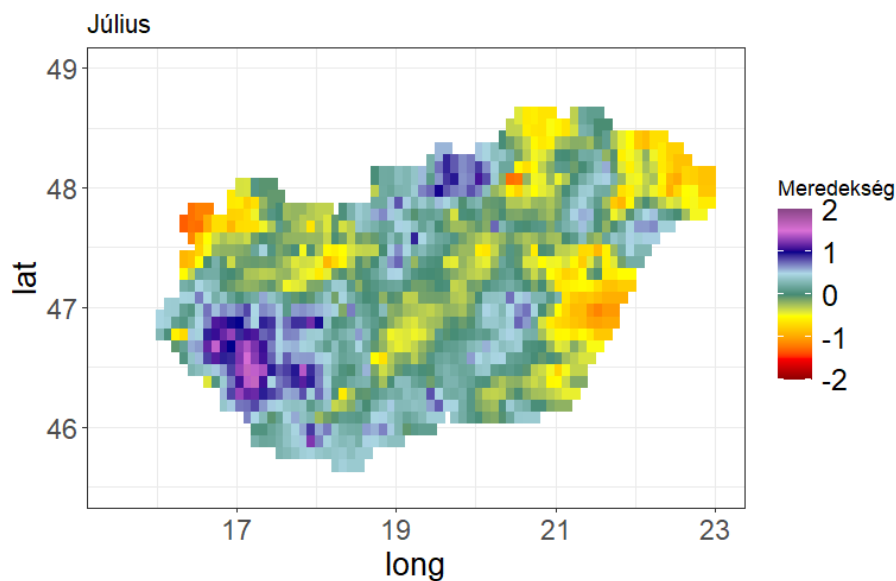
24. ábra: RX1 index júniusi meredeksége 2007 és 2022 között

A 25. ábra a havi csapadékösszeg júliusi meredekségét mutatja be. Az év 7. hónapjában a havi csapadékösszegek változásai olyan nagymértékű eltéréseket nem mutatnak, mint az előző hónap nyugati területei. Azonban Budapest környékén figyelhető meg a legnagyobb csökkenés.



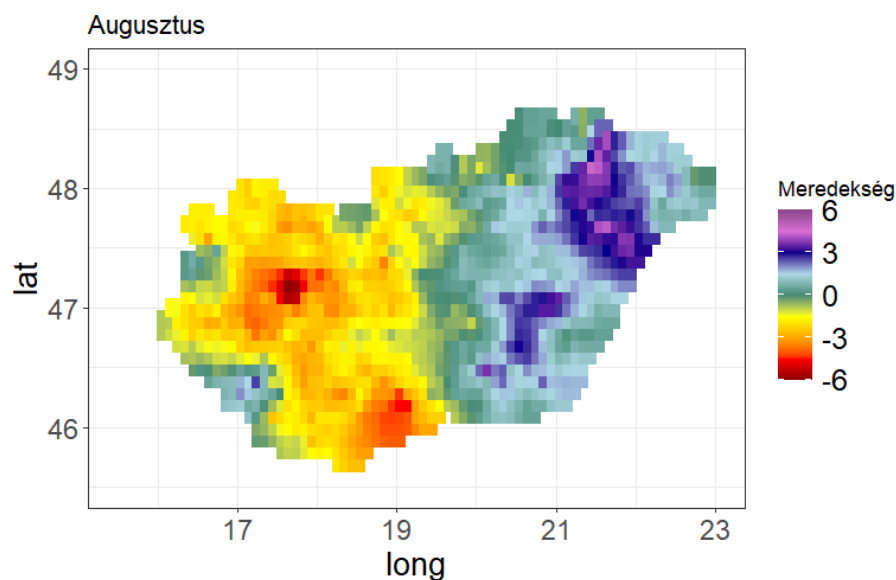
25. ábra: Havi csapadékösszeg júliusi meredeksége 2007 és 2022 között

A 26. ábra szerint júliusban, ahogy júniusban is az RX1 indexek értékeinek meredeksége igen változó volt, viszont a dél-nyugati régiókban egy erőteljesebb pozitív meredekség jelent meg.



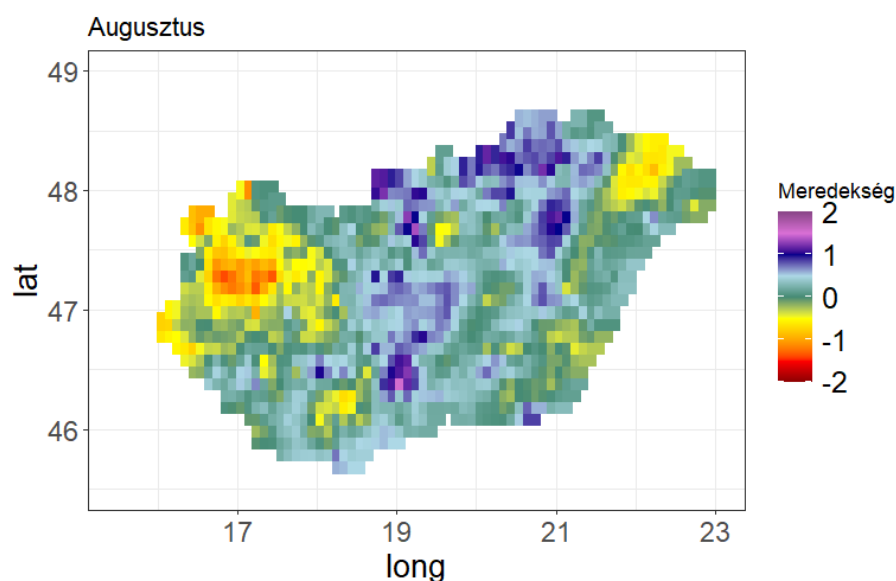
26. ábra: RX1 index júliusi meredeksége 2007 és 2022 között

A 27. ábra augusztusi hónap csapadékösszeg változásainak alakulását ábrázolja. Ebben a hónapban figyelhetők meg a legnagyobb mértékű pozitív és negatív meredekségek egyaránt. Magyarország külön két részre szakadt az ország nyugati területei jelentősen szárazabbá váltak, miközben az ország keleti fele csapadékosabbá vált.



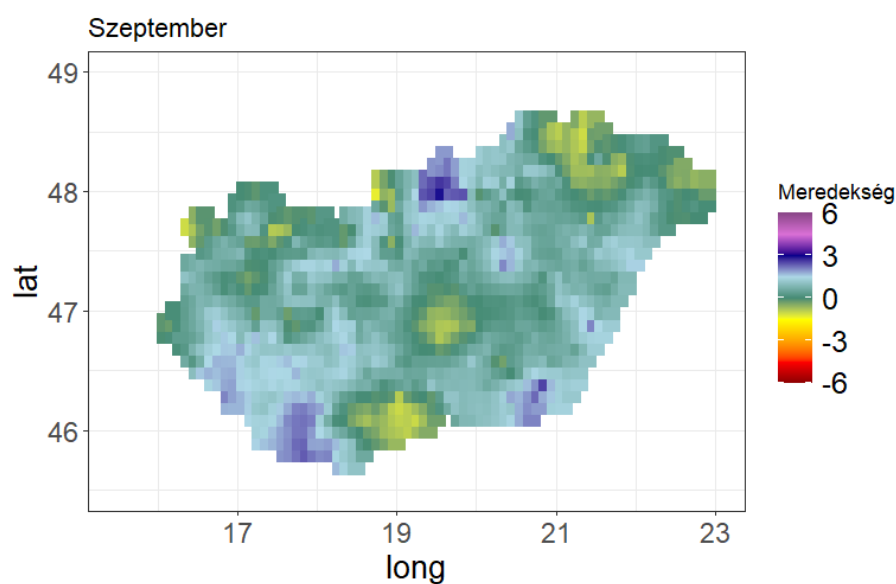
27. ábra: Havi csapadékösszeg augusztusi meredeksége 2007 és 2022 között

A 28. ábrán megfigyelhető az RX1 augusztusi indexek tekintetében egy országszerte erősen változó tendencia, akár csak az összes nyári hónapban.



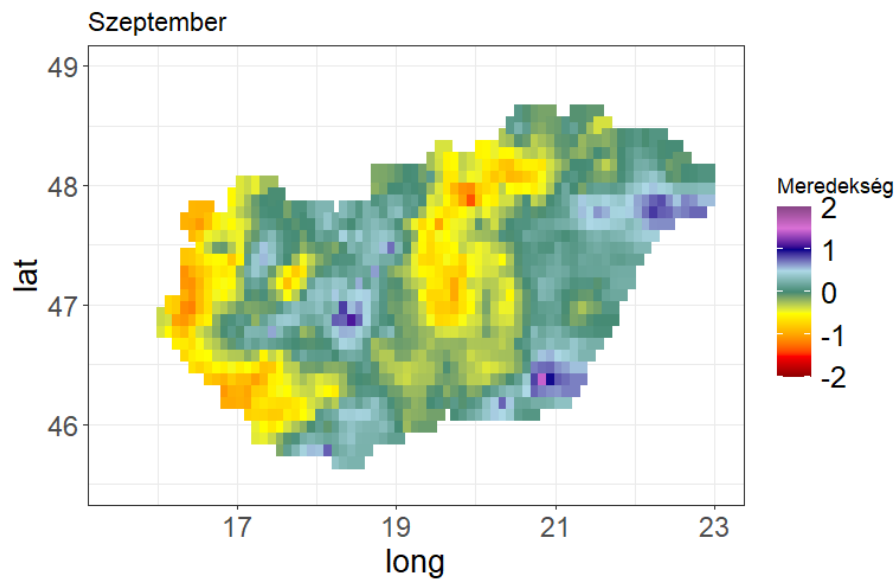
28. ábra: RX1 index augusztusi meredeksége 2007 és 2022 között

A havi csapadékösszeg szeptemberi meredeksége átlagosan a pozitív tendencia felé tolódott el, amely a 29. ábrán is látható.



29. ábra: Havi csapadékösszeg szeptemberi meredeksége 2007 és 2022 között

A 30. ábra szemlélteti az RX1 indexek értékeinek változását. Ezen az ábrán két nagyobb foltban jelennek meg az erőteljesebb érték csökkenések, míg a többi területen leggyakrabban nem volt megfigyelhető egyértelmű változás.



30. ábra: RX1 index szeptemberi meredeksége 2007 és 2022 között

A havi csapadékösszegek változásainak, valamint az RX1 index meredekségének kapcsolatát megvizsgálva szeretnék kiemelni pár hónapot. A tavaszi hónapok közül a május emelkedik ki, mivel az RX1 index országszerte nagy mértékben csökkent, mialatt a havi csapadékösszeg néhol pozitív tendenciát mutat. Ezeken a területeken a növekvő csapadékmennyiség feltehetően hosszabb idő alatt esett, amely a nagycsapadékos napok számának csökkenését is jelentheti. A nyári hónapok esetén az RX1 indexek országszerte rendkívül változó értékeket mutattak, ezért egy egyértelmű, egész Magyarországot jellemző tendenciát nem lehetett megállapítani. A havi csapadékösszegek tekintetében a nyári hónapok közül az augusztusi hónapot emelném ki, amikor is az ország nyugati fele nagy mértékben szárazabbá, mialatt a keleti fele nagy mértékben csapadékosabbá vált.

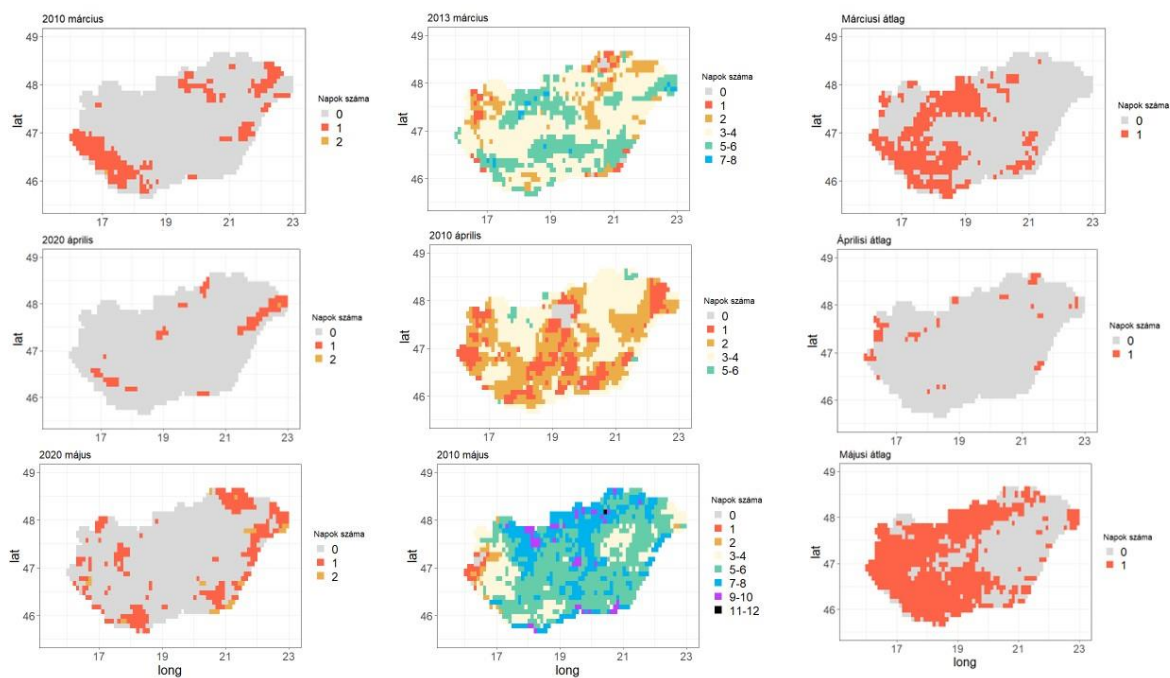
3.2.4. Nagycsapadékos napok számának (10 mm felett) alakulása

Ahogy azt már korábban említettem, az RR10 index kiszámítása során nem használtam a meredekségen alapuló térképkészítés módszerét, nem úgy, ahogy azt az RR1 és RR5 indexek esetében tettem. Célravezetőbbnek találtam kiemelni ebben az esetben azokat az éveket és hónapokat, amikor kiugró értékekkel találkoztam, hiszen a vizsgált 16 évben csak néhány hónapban voltak kiemelkedően csapadékos hónapok. Emiatt kiválogattam az adatbázisból azokat a hónapokat, amelyek esetében a legtöbb volt a 10 mm-t meghaladó csapadékmennyiségű napok és rácspontok száma. Illetve azokat a hónapokat is, amelyek esetében minimum volt ezen napok száma. Ezt követően mind a 16 év adatából átlagot számoltam, amelyhez az általam választott hónapokat hasonlítottam.

3.2.4.1. Tavaszi hónapok nagycsapadékos napjainak száma

A vizsgált 16 év (2007-2022) távlatában a fentebb említett elvek alapján kiválasztottam 6 hónapot, amelyeket a 31. és a 32. ábrán ábrázoltam.

Az ábra legfelső sorában a márciusi minimum és maximum, valamint az összes év márciusának átlaga látható. A vizsgált időszakban a legkevesebb RR10 index értékkel rendelkező március a 2010-es évben volt, amikor a legnagyobb érték csupán 2 nap volt a 31-ből. Az ország legnagyobb részében nem volt olyan nap, amikor a napi csapadék mennyisége meghaladta a 10 mm-t, továbbá a dél-nyugati régióban, valamint a észak-keleti területeken is csak 1 ilyen nap látható.



31. ábra RR10 tavaszi indexeinek eredményei bélyegdiagramon szemlélítve

A legtöbb nagycsapadékos nappal rendelkező év a 2013-as volt. A 3. hónapban jól látható, hogy az ország RR10 indexeinek mértéke igen változatosan alakult, ámde az ország legtöbb területén 3 és 6 napra tehető a nagycsapadékos napok száma.

A márciusi átlagot ábrázoló térkép szerint jellemzően az ország nyugati felén csak 1, a keleti felén viszont a legtöbb helyen nem volt olyan nap márciusban, amikor a napi csapadékösszeg meghaladta, vagy elérte volna 10 mm-t.

A középső sorban az áprilisi hónap minimuma és maximuma, valamint az összes április RR10 index értékeinek átlaga látható. 2020 áprilisában volt a legkevesebb azoknak a napoknak a száma, melyeken a csapadékösszeg meghaladta a 10 mm-t (alig pár területen volt 1 ilyen nap a hónapban).

A legtöbb nagycsapadékos nappal az április hónapok tekintetében a 2010-es év rendelkezett a vizsgált időszakban. Ebben az évben az ország legtöbb táján 2-4, az északi területeken pedig 5-6 ilyen nap volt. Megfigyelhető azon tendencia is, amely szerint Magyarország déli részén kevesebb, az északi részén több nagycsapadékmennyiségű nap volt a gyakoribb.

Az áprilisi átlagot ábrázoló térképen jól látszik, hogy az ország nagy részében átlagosan nem volt olyan nap, amely meghaladta volna a 10 mm napi csapadék mennyiségét.

A 31. ábra legalsó sorában az RR10 indexek májusi értékeit láthatjuk. A minimum értéket a bal szélső térképen ábrázolt 2020 májusa adta, amely időszak során a leggyakrabban csak a 0-s érték figyelhető meg, de előfordult az 1-es indexérték is.

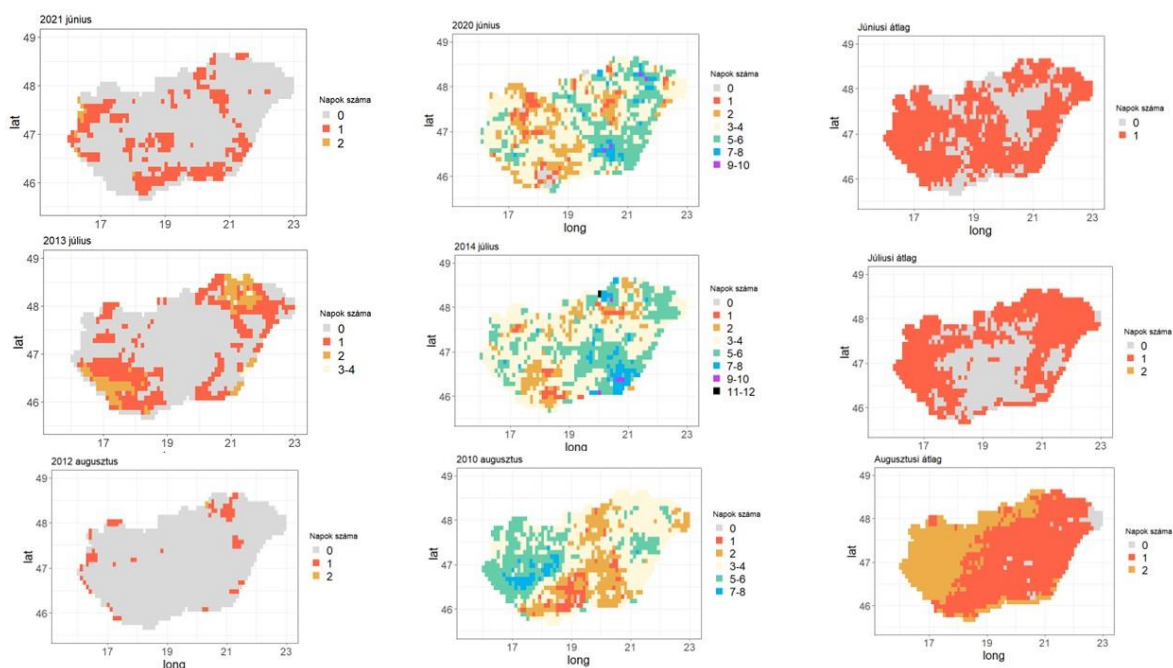
A legalsó sor, középső térképe 2010 májusát ábrázolja, amely a májusi hónapok közül a legtöbb nagycsapadékmennyiségű nappal rendelkezett. A 31 naptól az ország legnagyobb részében 5-8 nagycsapadékmennyiségű nap volt megfigyelhető, de néhány területen előfordult 10, valamint 12 ilyen nap is.

Az alsó sor, jobb szélső térképén a májusi átlag látszik, amely a többi tavaszi hónaphoz hasonlóan a 0-s és az 1-es értékeket veszi fel, viszont a többi hónappal ellentétben, május esetén több volt az 1-es értéket felvevő rácspontok száma, mint a 0-s.

3.2.4.2. Nyári hónapok nagycsapadékú napjainak száma

A nyári hónapok RR10 indexeinek változásait a 32. ábra szemlélteti. Akárcsak a 31. ábrán itt is balról jobbra haladva először az adott hónap minimuma, maximuma, majd 2007 és 2022 közötti összes év adott hónapjainak átlaga látható.

A júniusi hónapok tekintetében a minimumot a 2021-es év adta, amely során leggyakrabban a 0-s és az 1-es érték volt megfigyelhető.



32. ábra RR10 nyári indexeinek eredményei

A vizsgált 16 év júniusi közül a 2020-as évben volt a legtöbb nap, vagy rácspont, amely meghaladta a 10 mm-es napi csapadékmennyiséget. A 31 nap során az ország nyugati felében kevesebb volt a nagycsapadékos napok száma, átlagosan 3-4, miközben Magyarország keleti felében az ilyen napok száma több volt, átlagosan 5-6.

A vizsgált időszak összes évének 6. hónapjainak átlagát ábrázoló térkép szerint az ország nagy részében csupán 1 nagy csapadékmennyiségű nap fordult elő.

A júliusi minimum a 2013-as évre esett. Ebben az évben az ország középső területein alig volt megfigyelhető nagycsapadékos nap. A dél-nyugati területeken jellemzően 1-2 nap, valamint az észak-keleti régióban 2-4 ilyen nap fordult elő csupán.

2014 júliusában volt a legtöbb olyan nap, amely meghaladta 10 mm-es csapadékösszeg határértéket. Ebben az időszakban az ország legtöbb része 2-es és 6-os közötti RR10 index értéket vett fel, de dél-keleten, valamint észak-keleten 7 és 12 közötti értékek is előfordultak.

A 7. hónapok átlaga szerint Magyarország középső területein a legtöbb esetben nem volt nagy csapadékmennyiségű nap, miközben az ország többi részén átlagosan 1 ilyen nap volt csupán.

A 8. hónapok tekintetében a 2012-es augusztus bizonyult a legkevesebb nagycsapadékos nappal rendelkező augusztusnak. Ez az az év, melyben az ország egész területét figyelembe véve alig-alig fordult elő nagycsapadékos nap.

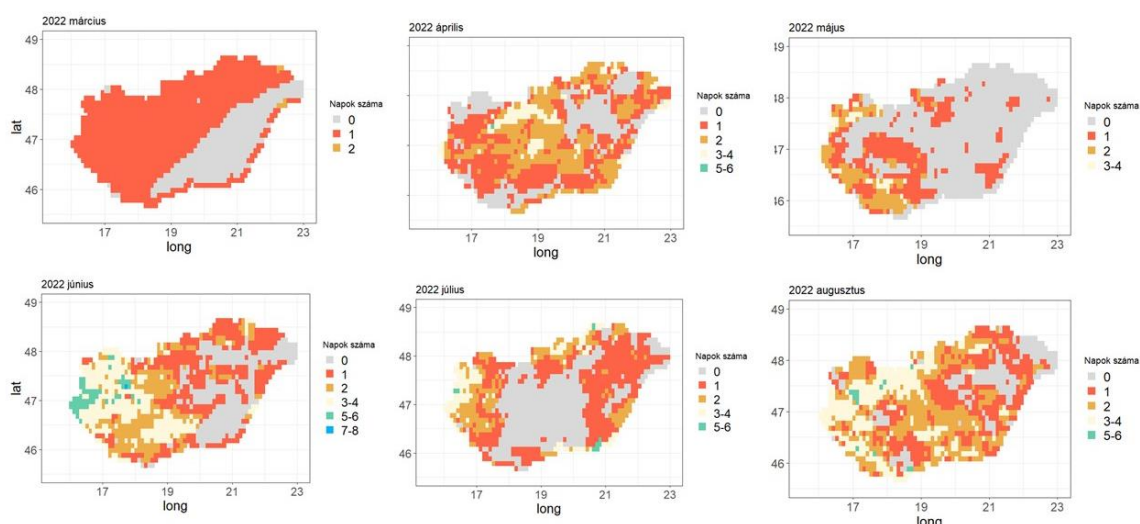
Az augusztusok maximuma a 2010-es évben volt megfigyelhető. Az ezt ábrázoló térképen jól látszik, hogy a legtöbb nagy csapadékmennyiségű nap a Balaton környékén volt látható (7-8 nap). A legalacsonyabb RR10 index értékkel az ország déli területei rendelkeztek (1-4 nap).

Az augusztusi átlagot szemléltető térkép szerint, átlagosan az ország nyugati felében 2, a keleti felében pedig 1 olyan nap volt megfigyelhető, amely során a napi csapadékösszeg meghaladta a 10 mm-t.

3.2.4.3. Egy szélsőségesen aszályos év, 2022 elemzése

A 2022-es évet külön szerettem volna ábrázolni, mivel ennek az évnek a csapadékadatok nagy eltérést mutatnak a többi vizsgált évhez képest. Ezen év 3. hónapjától a 8. hónapjáig az RR10 indexek alakulását a 33. ábra mutatja be.

Ha a 2022 márciusi hónapot összehasonlítjuk a 31. ábrán látható márciusi átlagot ábrázoló térképpel, akkor szembetűnő, hogy az átlaghoz képest több rácsponton megfigyelhető a nagy csapadékmennyiségű nap (jellemzően az ország nyugati és északi régióiban).



33. ábra RR10 2022-es indexeinek eredményei

Az 2022-es április, jóval több helyen vett fel magasabb értéket, mint ahogy az átlag alakult. Sőt Pest megye környékén 3-4 nagycsapadékos nap is megfigyelhető.

A május tekintetében a 2022-es évben az átlaghoz viszonyítva az ország nyugati, dél nyugati területein az átlagtól nagyobb értéket mutattak, miközben az ország többi területe többnyire az átlag értéket vette fel.

A júniusi hónap érdekes mintázatot mutat, mivel az átlaghoz mérve (amely a 18. ábrán látható) az ország nyugati fele nagy mértékben meghaladta RR10 júniusi indexek átlagát, miközben a keleti országrész többé-kevésbé megegyezően alakult az átlaggal.

A július során számos területen volt megfigyelhető több nagycsapadékos nap, mint amit az átlag feltételezne. A növekedés jellemzően a határ környékén látható, azon belül is elsősorban a nyugati határ közelébe. Az ország középső régióiban egyáltalán nem volt olyan nap, amelynek napi csapadékmennyisége meghaladta volna a 10 mm-t.

A 2022-es év 8. hónapjára is elmondható, hogy az ország nyugati területei lényegesen több nagycsapadékos nappal rendelkeztek, mint az átlag, miközben a keleti országrész elmaradt az átlagtól.

Összehasonlítva az átlagokat a 2022 általam bemutatott 6 hónapjával (3.-tól a 8.-ig), összeségében elmondható, hogy az ebben az évben mért nagycsapadékos napok száma túlszárnyalta az átlagértékeket. Az eltérés a nyugati országrészben hangsúlyosabban alakult. Ez a tendencia a nyári hónapok tekintetében jobban kirajzolódik.

Ha az adatokat összehasonlítjuk a 2022-ben mért csapadékos napok és a száraz napok arányával, érdekes következtetést lehet levonni. A csapadékos napok aránya 2022 tavaszán 19,2%, 2022 nyarán 20,8% volt. A tavasz és a nyár esetén is jóval kevesebb volt a csapadékos napok aránya, mint a vizsgált időszak átlaga. Tehát megállapíthatjuk, hogy 2022 tavaszán és nyarán egyaránt a nagycsapadékos napok aránya a csapadékos napokhoz viszonyítva jelentősen nagyobb százalékban jelent meg. Ez az állítás az ország keleti tájain fokozottan igaznak bizonyult.

3.2.5. Összehasonlítás

A célkitűzések fejezetbe már megemlítettem, hogy saját vizsgálatomat és egy másik korábbi vizsgálat eredményeit szeretném összehasonlítani, és ebből majd következtetéseket levonni. A korábbi vizsgálatot Bartholy és munkatársai készítették el és publikálták 2007-ben, amelynek célja az extrém csapadékesemények vizsgálata volt 1946 és 2001 között a Kárpát-medence területén.

A vizsgálat tartalmazza mind az extrém, mind a nem szélsőséges csapadékindexeket, akárcsak a saját tanulmányom. A két vizsgálat között nagy különbség, hogy saját vizsgálatom egész Magyarországot lefed, mintegy 1233 rácsponttal, míg Bartholy és munkatársai 31 állomás adatait dolgozták fel, melyből csak 21 volt hazánk területén, és ezek is nagyrészt a Dunántúlon voltak megtalálhatóak. Továbbá, a két kutatás közötti különbség a vizsgált időszakok hosszában is megfigyelhető, mivel én 16 év adatait vizsgáltam ellenben az 55 éves időtartammal. Ennek megfelelően az én munkám az előző munka időbeli kiegészítése és térbeli kiterjesztése volt, ha ezalatt a sűrűbb rácshálót értjük.

Bartholy és munkatársai az általuk kapott csapadékindexek tendenciái alapján arra a következtetésre jutottak, hogy az extrém csapadékindexek (RR10, RR20) tendenciái erős pozitivitást mutattak, miközben a nem szélsőséges paraméterek negatív irányba változtak a vizsgált 55 év alatt. Ezt az állítást nagy átlagban, a saját tanulmányom is megerősíti, de mivel 1233 rácspontot vizsgáltam, ezért jóval árnyaltabb képet kapva nem minden tájegységen jelenek meg egyértelműen az előbb említett tendenciák.

3. táblázat: Csapadékindexek tendenciáinak összehasonlítása

Csapadékindexek	Leírás	Bartholy és mtsai. (2007)	Saját vizsgálatom	
			TAVASZ	NYÁR
RR1	Rnapi > 1 mm	—	—	—
RR5	Rnapi > 5 mm	—	—	—
RX1	Rnapi max	—	—	0

A 3. táblázat tartalmazza azon csapadékindexek összehasonlítását, amelyek esetén mindkét vizsgálat a tendenciák elemzésére tért ki. Látható, hogy a táblázat is megerősíti a nem szélsőséges csapadékindexek csökkenő tendenciáját. Mivel saját vizsgálatomban külön figyeltem meg minden március és szeptember közötti hónapot, ezért ebben a táblázatban a tavasz és a nyár változásait külön feltüntettem. Az RR1 és az RR5 indexek esetén mindkét vizsgálat eredménye a negatív tendencia irányába mutat, viszont saját vizsgálataim tekintetében mindkét index esetén az áprilisi hónapban növekedés volt megfigyelhető a vizsgált időszakban. Az RX1 index tavasszal mindkét tanulmány esetén csökkenő tendenciát mutatott, ám vizsgálatomban nyáron országrésztől és hónaptól függetlenül erősen változó tendenciák voltak megfigyelhetőek, ezért a nyári évszakban, országos szinten egyértelmű tendenciát nem lehet megállapítani.

Bartholy és munkatársai (2007) állítása szerint az extrém csapadékindexek pozitív tendenciát mutatnak. Saját vizsgálatom is igazolja az extrém csapadékesemények szélsőségessé válását, elég csupán az általam külön bemutatott 2022-es év RR10 index értékeinek átlagtól való eltérésére gondolni. Az RR10 index tekintetében ők a tendenciákat vizsgálták, viszont saját vizsgálataim a minimum és a maximum értékekre tértek ki, ezért ezen indexek eredményeit nem lehet párhuzamba állítani. Viszont saját vizsgálatom kitér a havi csapadékösszegek és az RX1 index tendenciáinak kapcsolatára, amely alapján a csapadékesemények szélsőségessé válását lehet megvizsgálni.

A havi csapadékösszegek tekintetében a változások nem évszak szerint voltak a legeltérőbbek, hanem égtáj szerint. Az ország nyugati felén átlagosan a csökkenés volt megfigyelhető, amely a nyári hónapokban jelentősebben kirajzolódott, főleg augusztusban. Az ország középső és keleti területein tavasszal a változások vagy nem voltak jelentősek, vagy pedig enyhe növekedést mutattak. Nyáron ezekben a régiókban az enyhe csökkenő tendencia vagy az elhanyagolható eltérés volt megfigyelhető, ez alól kivételt képez az augusztusi hónap, amikor is egy erős növekedés látható az ország keleti felén.

Összeségébe tehát a saját vizsgálatom is igazolta Bartholy és munkatársai (2007) feljebb említett állítását, amely a csapadék egyre szélsőségesebbé válását feltételezi.

3.2.6. Csapadékváltozások és a kukorica fenológiai fázisainak kapcsolata

A 4. táblázatban foglaltam össze az eredményeket a kukorica fenológiai fázisaival összefüggésben. A kukorica vetési időszakában a csapadék változások szerint a havi csapadékösszeg és a RR5 index meredeksége nem mutatott számottevő eltérést, miközben a legnagyobb 1 napi csapadékösszeg, és a csapadékos napok száma országos átlagban növekedett.

4. táblázat: A csapadékindexek tendenciái a kukorica egyes fenológiai fázisaira vetítve

Fenológiai fázis	Csapadék váltoások			
	Havi csapadékösszeg	RX1	RR1	RR5
Vetés	0	+	+	0
Kelés – V4	+, 0	–	+, –	0, –
V8 – V12	–	Erősen változó	–	–
Címerhányás – R2	0	Erősen változó	–	0
R3 – R5	–, +	Erősen változó	0	0
R6 – Betakarítás	0	–, +	0	0

A kelés és a négyleveles állapot közötti fenológiai fázis idején a havi csapadékösszeg az ország középső részén növekedett, máshol nem mutatott lényeges változásokat. Az RX1 index pedig jellemzően csökkent. Az ország nyugati felén a csapadékos napok száma nőtt, miközben a mezőgazdaság szempontjából hasznos csapadékösszeggel ($\geq 5\text{mm}$) rendelkező napok száma nem változott, keleten pedig az RR1 és RR5 indexek meredeksége is negatív volt.

A nyolc és a tizenkét leveles fejlődési fázisok során tapasztalt változások alapján a havi csapadékösszeg csökkenést mutatott, miközben az RX1 index értékek országszerte rendkívül változatosan alakultak. Ebben az időszakban mind az RR1 és az RR5 tekintetében csökkenés volt megfigyelhető.

A címerhányás vegetatív, valamint a hólyagállapot generatív fenológiai változások során a havi csapadékösszeg mennyisége jellemzően változatlan maradt a vizsgált időszak során, mialatt az RX1 értékek erősen változóak voltak. A csapadékos napok számának csökkenése a rácsponatok jelentős részén előfordult, amíg az 5 mm-t meghaladó napi csapadékösszeggel rendelkező napok száma nem mutatott releváns eltérést.

A tejesérés, a viaszérés és a kupanyom jelenésének fejlődési fázisai során a havi csapadékösszeg nyugaton nagy mértékben csökkent, keleten nagy mértékben nőtt, miközben az RX1 indexek tendenciái országszerte igen változékonyságban alakultak. Az RR1 és az RR5 indexek nem mutattak olyan változásokat, amelyek hatással lehetnének a mezőgazdaságra.

A fiziológiai érettség elérésekor, valamint a betakarítás időszakában a legtöbb csapadékindeks tendenciáinak változásai nem voltak számottevőek. Összegezve a változások hatását, elmondható, hogy pozitív változások elsősorban az áprilisi vetési időszakban voltak megfigyelhetőek. Negatív változások a kukoricát a virágzás, illetve több generatív fenológiai fázis idején érték. Ebben az időszakban a Dunántúl területei nagy mértékben szárazabbá váltak.

Összességében a kukoricát érő pozitív változások az április végi vetési időszakban figyelhetőek meg, amikor a csapadékos napok, valamint a mezőgazdaság szempontjából hasznos napi csapadékösszeggel ($R_{napi} > 5\text{mm}$) rendelkező napok arány egyaránt növekedett.

A negatív változások a virágzás, illetve a legtöbb generatív fejlődési fázisban jelentek meg a vizsgált időszak során. A virágzás idején a havi csapadékösszeg mennyisége csökkent, a Dunántúl nyugati és déli területein, mialatt a csapadékos napok, valamint a napi 5mm csapadékösszeget meghaladó napok száma is csökkent. A legtöbb generatív fenológiai fázis esetén erőteljes negatív hatások voltak megfigyelhetőek a Dunántúl egész területén. Ezen hónapok során a havi csapadékösszegek nagy mértékben csökkentek az ország nyugati felén, vagyis ezek a tájak egyre szárazabbá váltak.

3.3.Következtetések

A vizsgálataim eredményei alapján megállapítható a szezonális hatás, amely minden tavaszi és nyári hónapokban is egyaránt megjelenik. A csapadékindexek változásai területi elhelyezkedéstől és hónaptól függően változóan alakultak. Ezen okokból országos szinten egyértelmű tendenciákat nem minden esetben lehet kijelenteni, viszont az eredményeimben a globális klímaváltozás csapadéokra gyakorolt hatása, ezáltal annak szélsőségesebbé válása is erősen kirajzolódik.

A kukorica tekintetében a csapadékesemények változása alapján elmondható, hogy pozitív változások elsősorban az áprilisi vetési időszakban voltak megfigyelhetőek. A negatív változások a kukoricát a virágzása, illetve több generatív fenológiai fázis idején érték. Ebben az időszakban a Dunántúl területei nagy mértékben szárazabbá váltak, főleg az augusztusi hónap esetén.

A nagycsapadékú napok számának alakulásában nagyon heterogén kép alakult ki az országban, azaz kis területen belül is nagy különbségek adódtak a tendenciákban, látszólag rendszertelenül. Ez annak köszönhető, hogy a nagycsapadékú napok területi lefedettsége erősen függ a zivataroktól, amelyek sokszor lokális hatásra alakulnak ki. Kis térséget érintenek a hozzájuk tartozó károkozó jelenségek, mint például a jégeső, szélkár, vagy akár a hirtelen lezúduló nagy mennyiségű csapadék. Ezzel szemben az RR1 és RR5 indexek jobban mutatják a nagy térségű folyamatokat, mint egy frontátvonulás, amelyből tartósabb, csendesebb eső valószínű.

3.3.1. Javaslatok:

A korábbi gondolatot folytatva azt javaslom, hogy alaposabban meg kellene vizsgálni a mezoléptékű (pl. zivatarok) és makroléptékű (pl. frontátvonulások) időjárás jelenségek évtizedes előfordulásaiban megjelenő változásokat, azaz eltolódott-e valamelyik javára a gyakoriság. Továbbá azt is vizsgálni lehetne, hogy a globális folyamatokba, a globális légkörzés változásaiba ez hogyan illeszthető be, és a jövőre vonatkozóan milyen további változásokra lehet számítani.

Javaslom továbbá, hogy a különböző éréscsoportú kukoricahibridek esetén is vizsgálni kellene, hogy az egyes fenológiai fázisokban milyen változások figyelhetők meg a csapadékmintázatokban.

4. Összefoglalás

Dolgozatomban a csapadékindexeket vizsgáltam Magyarország területén 2007 és 2022 között. Minden egyes Magyarországot lefedő 1233 rácspont rendelkezik a napi csapadékösszeg adataival 2007. első napjától 2022. utolsó napjáig. Ezen adatokkal meghatározásra kerültek a vizsgálatom során felhasznált csapadékindexek, ezek az RR1, az RR5, az RR10, az RX1 indexek, valamint a havi csapadékösszeg.

Az RR1 és RR5 tekintetében elmondható, hogy a változások az RR1 indexek esetében nagyobb rendűek voltak, mint az RR5 indexek esetén. Továbbá mindkét esetben országos átlag tekintetbe vételével egy negatív tendencia mutatható ki, vagyis csökkent az 1 mm, valamint az 5mm napi csapadékösszeget meghaladó napok száma.

Az RR1 index a csapadékos napok számát is meghatározza. A tavaszi hónapok esetén átlagosan 24%-os, míg a nyári hónapok esetén átlagosan 27%-os volt a csapadékos napok aránya, vagyis a száraz napok aránya tavasszal átlagban 76%, nyáron 73% volt.

Az RX1 és a havi csapadékösszeg kapcsolata mutatja be a legjobban a csapadékesemények szélsőségessé válását. Az emelkedő, vagy éppen csökkenő havi csapadékösszeg lehullhat hosszabb és rövidebb idő alatt, amelyet az RX1 indexek határoznak meg. A változások a vizsgált hónaptól és területi fekvéstől igen változóak voltak, főleg a nyári hónapok esetén, köszönhetően a rendkívül változatos RX1 index értékeknek.

Az extrém csapadékindexek közé tartozik az RR10 index, amely a 10 mm-t meghaladó napi csapadékösszeggel rendelkező napok számát veszi figyelembe. Összeségében az RR10 index eredményei alapján arra lehet következtetni, hogy a 10 mm napi csapadékösszeget meghaladó napok száma (nagycsapadékos) ha negatív irányba változott, akkor kisebb mértékben tért el az átlagtól, mint amikor pozitív irányba történt a változás. Vagyis, ha az RR10 indexek maximum értékét összehasonlítjuk az átlaggal, akkor megállapíthatjuk, hogy az átlagtól való eltérés sokkal jelentősebb volt, mint a minimum értékek esetén.

A 2022-es év is külön elemzésre került, mivel ezen év csapadék adatai nagy mértékű eltérést mutattak a többi évhez képest. A 2022-es év RR10 indexei minden általam vizsgált hónapban (március-augusztus) jelentős eltérést mutattak az adott hónap átlagától. Az összes tavaszi és nyári hónapban az átlagostól eltérően több volt a nagycsapadékos napok száma.

Ha eredményeimet összehasonlítom Bartholy és munkatársai (2007) vizsgálatának eredményeivel, sok hasonló tendenciát lehet felfedezni. A szélsőséges csapadékindexek tekintetében pozitív, a nem szélsőséges paraméterek tekintetében negatív tendencia volt megfigyelhető. Tehát mindkét vizsgálat bizonyítja a csapadékok egyre szélsőségesebbé válását, amelyet a globális klímaváltozás okoz, annak ellenére, hogy a vizsgált időszakok és a vizsgált terület lefedettsége eltér egymástól.

A csapadékindex tendenciák változásának hatása a hazai kukorica termesztésre elsősorban negatív irányba változott 2007 és 2022 között. A legjelentősebb negatív hatás a generatív fenológiai fázisok idején volt megfigyelhető. A kukoricát pozitív változások az április végi vetés idején érték.

5. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni Dr. Somfalvi-Tóth Katalinnak a segítségét és a sok munkáját, amivel hozzájárult a dolgozat elkészítéséhez.

A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal „A körforgásos gazdaság megvalósíthatósága a honvédelmi tevékenységek során” című, TKP2021-NVA-22 azonosítószámú Tématerületi Kiválósági Program támogatásával valósult meg, a Körforgásos Gazdaság Elemző Központ (KGEK) vezetésével.

6. Irodalomjegyzék

1. Bardin, M. Y., Platova, T. V., Samokhina, O. F. (2023): Long-Period Changes in the Frequency of Cyclones in the Northern Hemisphere Temperate Latitudes. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 59.2, S141-S152.
2. Bartholy, J., Pongrácz, R. (2007): "Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001." *Global and planetary change* 57.1-2: 83-95.
3. Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy., Szabó, P. (2008): Milyen mértékű változás várható a Kárpát-medence éghajlati szélsőségeiben a XXI. század végére? In: *Légkör*. 2008. 53. 3.sz. p.19- 23.
4. Bartholy, J., Pongrácz, R. (2004): Extrém csapadékindexek XX. századi tendenciái a Kárpát-medence térségében. In: *Földtani kutatás*, (41. évf.) 3-4. sz. p.60.
5. Benita, K. L. (2023): Az öntözés jelentősége a magyar mezőgazdasági vállalkozások működésében." *TIME FOR CHANGE*: 101.
6. Berényi, A., Pongrácz, R., Bartholy, J. (2022): EURO-CORDEX múltra vonatkozó szimulációinak vizsgálata extrém csapadékindexek felhasználásával. In: *Aktuális meteorológiai kutatások: Az éghajlatváltozás és hatásainak vizsgálata, levegőminőségi elemzések* /szerk. Pongrácz, R.; Mészáros, R.; Kis, A.- Budapest : ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, 2022. p.6-12.
7. Bozó L. (2022): Globális és regionális változások, szélsőséges jelenségek a Föld-rendszer vízkörforgalmában. In: *Tudományos Közlemény*, 2022. 3.évf. 2.szám. p.103-104
8. Cabral, R., Ferreira, A., Friederichs, P. (2020): "Space–time trends and dependence of precipitation extremes in North-Western Germany." *Environmetrics* 31.3 (2020): e2605.
9. Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., Siddique, K.H.M. (2012). Drought Stress in Plants: An Overview. In: Aroca, R. (eds) *Plant Responses to Drought Stress*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_1
10. Fekete, Á., Keve, G. (2020): A csapadékösszegek és az aszályos időszakok vizsgálata Markov-láncokkal. In: *Hidrológiai Közlöny*. 2020. 100. 4.sz. p.60-69. ö:hun,eng. b:p.68-69.
11. Gabriel, K. R., Neumann, J. (1962): A Markov Chain Model for Daily Rainfall Occurrence at Tel Aviv. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 88, 90-95.
12. Haan, C. T., Allen, D. M., Street, J. O. (1976): A Markov chain model for daily rainfall. *Wat. Resour. Res.* 12 (3), 443-449.

13. Held, I. M., Soden, B. J. (2006): Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *Journal of Climate*, Vol. 19. pp. 5686-5699.
14. Hoffmann, L., Lakatos, M. (2017): Az éghajlatváltozás hatása az intenzív csapadékok alakulására. In: *Légkör*. 2017. 62. évf. 3. sz. p.136-138
15. Huo, R., Li, L., Chen, H., Xu, C. Y., Chen, J., Guo, S. (2021): Extreme precipitation changes in Europe from the last millennium to the end of the twenty-first century. *Journal of Climate*, 34(2), 567-588.
16. Hyndman, R., Booth, H., Tickle, L., Maindonald, J., Wood, S., Team, R. C., Hyndman, M. R. (2023): Package 'demography'. (TÉRKÉPES PROGRAMOZÁSHOZ-ANYAG MÓDSZER)
17. Jackson, M. B., Colmer, T. (2005): Response and adaptation by plants to flooding stress. *Annals of botany*, 96(4), 501-505.
18. Kocsis T., Töröcsvári Zs., és Anda A. (2017): Különböző idősor-elemzési vizsgálatok eredményeinek összehasonlítása egy meteorológiai adatsorban In: *Légkör*. 2017. 62. évf. 3. sz. p.119
19. Lindsey, R., Dahlman, L. (2020): Climate change: Global temperature. Climate. gov, 16.
20. Łupikasza, Ewa B., Hänsel, S. and Matschullat, J. (2011): "Regional and seasonal variability of extreme precipitation trends in southern Poland and central-eastern Germany." *Int. J. Climatol* 31: 2249-2271.
21. Máró, Á. (2024): A kukoricatermesztés komplex vizsgálata a Tedej Zrt.-nél. (KUKORICA)
22. McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the IX Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society: Boston, MA; 179–184.
23. Ped, D. A. (1979): Temporal fluctuations of atmospheric aridity and excess moisture in May-August in the European USSR, *Gidrometizdat*, Leningrad, Trudy., No. 213., 82-103.
24. Ped, D. A. (1979): Temporal fluctuations of atmospheric aridity and excess moisture in May-August in the European USSR, *Gidrometizdat*, Leningrad, Trudy., No. 213., 82-103.
25. Ponnamperna, F. N. (1984): Effects of flooding on soils. In: Kozlowski T.T. (ed) *Flooding and plant growth*. Academic Press, London, 10(45), 1454-1458. ISBN: 0-12-424120-4
26. Salehi-Lisar, S. Y., & Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016): Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. *Drought stress tolerance in plants*, 1: physiology and biochemistry, 1-16.
27. Selvi S. T., Selvaraj R. S. (2011): Stochastic Modeling of Annual Rainfall at Tamil Nadu. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 1(4): 566-570.

28. Tóth, J. (2024): Az eltérő éréscsoportok hatása a termésparaméterek és vegetációs indexek alakulására intenzív csepegtető öntözéses tartamkísérletben.
29. Trenberth, K. E., Smith, L., Qian, T., Dai, A., Fasullo, J. T. (2007) Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data. *Journal of Hydrometeorology*, 8 :758–769.
30. Yusuf A. U., Adamu L., Abdullahi M. (2014): Markov chain model and its application to annual rainfall distribution for crop production. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 3(2): 39-43
31. Zeleňáková, Martina, et al. (2017): "Precipitation trends over Slovakia in the period 1981–2013." *Water* 9(12): 922.
32. Zolina, O., C. Simmer, A. Kapala, S. Bachner, S. Gulev, and H. Maechel (2008): Seasonally dependent changes of precipitation extremes over Germany since 1950 from a very dense observational network, *J. Geophys. Res.*, 113:D06110, doi:10.1029/ 2007JD008393.

Online forrás:

33. <https://www.corteva.hu/agronomiai-kozpont/A-kukorica-fejlodesi-fazisainak-meghatarozasa.html>

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és
eredetiségéről

A hallgató neve: HEGEDŰS CSABA
A Hallgató Neptun kódja: D93Z72
A dolgozat címe: CSAPADEKINDEXEK VIZSGÁLATA HAZAI VISZONYLATBAN
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: NÖVÉNYTERMESZTÉSI-TUDOMÁNYOK INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: AGRONÓMIA TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024 év 11 hó 04 nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

HEGEDŰS CSABA (név) (hallgató Neptun azonosítója: D93Z 72)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2024 év 11 hó 04 nap

Souy
belső konzulens