

**A klimatológiai modellek eredményeinek Duna vízgyűjtőre történő
kiterjesztése a hidrológiai modell adatok harmonizációjához és a
felszíni vízfolyások sérülékenységeinek vizsgálatához**



Datakart Mérnöki Tanácsadó Kft.

2018. április 30.

Tartalom

Tartalom	2
Vezetői összefoglaló	3
A feladat rövid ismertetése	3
A kiválasztott indikátorok	4
Az éghajlati modelleredmények feldolgozásának folyamata	6
Az alkalmazott klímamodellek és scenáriók	6
Az alkalmazott globális- (GCM) és regionális (RCM) modellek	6
Az alkalmazott klímascenáriók	7
A vizsgálandó terület lehatárolása	7
Eredmények	11
Éves csapadékösszeg	11
Évszakos csapadékösszeg	26
Csapadékmentes napok száma	31
A 0°C feletti minimum hőmérsékletű napok száma	33
Irodalomjegyzék	36
A. Melléklet	37
B. Melléklet	39
C. Melléklet	Hiba! A könyvjelző nem létezik.

Vezetői összefoglaló

A feladat rövid ismertetése

A NATÉR projekben az éghajlatváltozás hatásait közül hiányzott a határon kívülről érkező nagyobb folyók vízjárási rezsimjének várható változásait vizsgáló kutatás. Ennek elsődleges oka, hogy a NATÉR korábbi vizsgálataihoz alkalmazott IPCC 4-es klímaforgatókönyvek alapján elkészített regionális klímamodellek (RCM-ek) eredményei (megfelelő felbontásban) nem voltak hozzáférhetőek a projekt számára. A NATÉR második szakaszának kezdetére, az EuroCordex adatbázis IPCC 5-ös forgatókönyvek alapján futtatott, egész Európát lefedő regionális klímamodell eredményei szabadon hozzáférhetővé váltak, így lehetőség nyílt, megfelelő felbontású, több fajta RCM csaknem összes klímascenáriója alapján számított klímaadatok feldolgozására. Ez egyrészt lehetővé tette a klímaváltozás várható hatásainak elemzésekor a modelleredmények bizonytalanságának számszerűsítését (ami minőségi előrelépést jelent a korábbi vizsgálatokhoz képest), valamint a vizsgálatok kiterjesztését határainkon túlra, ebben az esetben a Duna és jelentősebb mellékfolyóinak hidrológiai szempontból fontos vízgyűjtő területeire.

A feladat olyan adatbázis előállítás volt, ami alapján jellemezni tudjuk a Duna vízrendszeréhez tartozó, zömmel hegyvidéki vízgyűjtők jövőbeli klimatológiai viszonyait, amik meghatározzák nagyobb vízfolyásaink vízjárását. Ez az adatbázis számos további kutatáshoz adhat kiindulópontot, ami egy későbbi hidrológiai modellezés eredményeképp az ellátásbiztonság (ivóvíz), a hajózás, az ipari vízfogyasztás, valamint a katasztrófavédelem témakörében is jól hasznosítható.

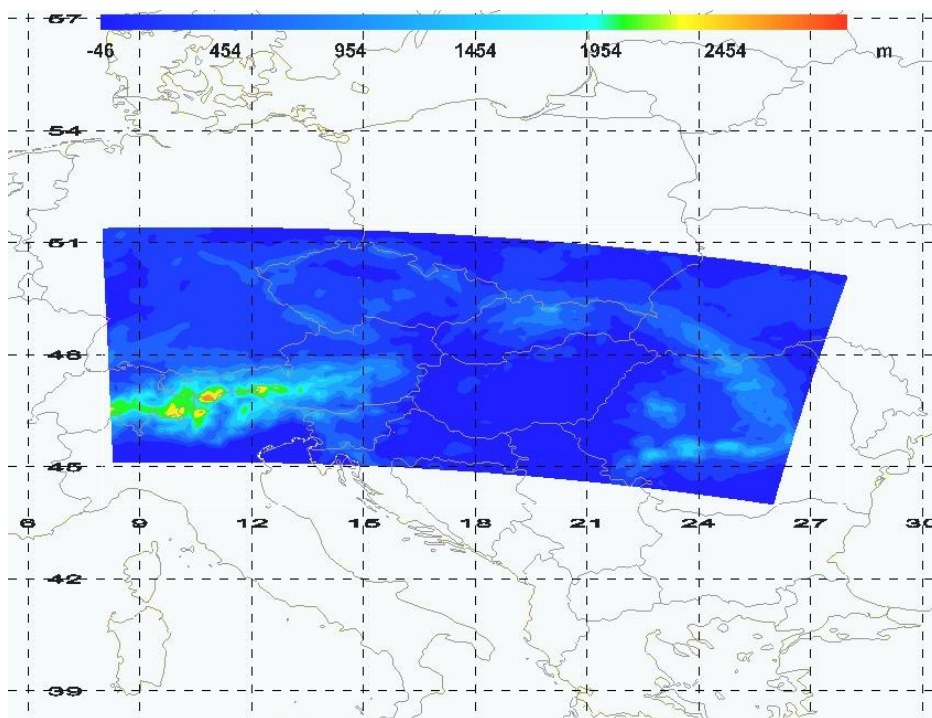
A vizsgálandó vízgyűjtők kiválasztásakor az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) szervezeti egységeként működő Országos Vízjelző Szolgálat (OVSZ) hidrológiai előrejelző modelljében használt vízgyűjtőket alkalmaztuk, mivel az OVSZ előrejelző rendszerét már korábban is alkalmazták ilyen típusú modellezési feladatokban [1], illetve jelenleg ez az egyetlen hazai, a Duna hazánk feletti vízgyűjtőjét lefedő, napi szinten használt, klimatológiai bemenő paramétereket használó hidrológiai modell.

Az adatbázis két részből tevődik össze:

- az EuroCordex adatbázisból levezetett, releváns klimatológiai indikátorok, szabályos rácsra kiszámolt adatpontjainak adatrétegei, valamint a hidrológiai modell bemenő adatainak előállításához szükséges egyéb térinformatikai adatrétegek. Ezek alapján lehet a későbbi hidrológiai modellezést elvégezni.
- az EuroCordex adatbázisból levezetett, releváns klimatológiai indikátorok vízgyűjtőkre aggregált adatrétegei, amelyek bekerülnek a NATÉR térinformatikai adatbázisába.

A kiválasztott indikátorok

Az EuroCordex adatbázisból letöltött és az elemzéshez előkészített klimatológiai adatok alapján elkészült Duna vízgyűjtő területének (1. ábra.) hidrológiai szempontú éghajlati elemzése.



1. ábra: A Duna felső vízgyűjtő területének befoglaló területe.

A vízszintes tengelyen a hosszúsági, a függőlegesen a szélességi körök jelölése látható.

Az OVSZ hidrológiai modelljének bemenő adatain túl elkészült a kiválasztott klimatológiai paraméterek adatbázisa, amelyekből hidrológiai elemzés nélkül is jól jellemzik a Duna vízgyűjtőjén várható a vízjárást befolyásoló klimatológiai folyamatokat:

- évi csapadékösszeg adatokból származtatott 30 éves mozgóátlag,
- évszakos csapadékösszeg adatokból származtatott 30 éves mozgóátlag,
- havi csapadékösszeg adatokból származtatott 30 éves mozgóátlag,
- évszakos csapadékmentes napok számának 30 éves,
- havi csapadékmentes napok számának 30 éves mozgóátlaga,
- havi 0°C alatti minimum hőmérsékletű napok számának 30 éves mozgóátlaga,
- havi 0°C feletti minimum hőmérsékletű napok számának 30 éves.

A klímamodellek az éghajlati rendszer válaszára adnak becslést adott sugárzási kényszert feltételezve, de ezek az eredmények csak statisztikai alapokon értelmezhetők. A klímamodell adatok kiértékelésekor ezért minden esetben hosszabb időszakra – a bevett gyakorlat szerint 30 évre – számított átlagokat adtunk meg. Az elemzésben egy RCM-et alkalmaztunk két különböző globális modellel meghajtva, illetve két IPCC 5-ös forgatókönyv alapján, tehát összesen négy párhuzamos adatszett készült minden klimatológiai paraméterhez:

- RCA4 regionális modell szimuláció, a CNRM-CM5 globális modell adataival meghajtva

- RCA4 regionális modell szimuláció, az EC-EARTH globális modell adataival meghajtva

IPCC 5 Forgatókönyvek: RCP 4.5 / RCP 8.5

A projekt során minden, a Műszaki leírásban rögzített tartalmi tematikák adattáblái, valamint az adatok értelmezését, használatát lehetővé tevő segéd file-ok térinformatikai megjelenítésre alkalmas formában elkészültek. A további feldolgozás lehetősége mind térinformatikai (B. és C. Melléklet), mind statisztikai szoftverkörnyezetben adott. Az elkészült adatbázis alapján széleskörű elemzéseket lehet végezni nemcsak hidroklimatológiai területen, hanem vizsgálni lehet a globális modellek (GCM), illetve a különböző scenáriók súlyát a modellezési eredményekben, ezáltal segítve az eredmények értelmezését, illetve számszerűsíteni a projekciók bizonytalanságát. A tanulmányban bemutatott eredmények alapján kijelenthető, hogy az elkészült adatbázis releváns információkat biztosít a további hidroklimatológiai elemzésekhez.

Az OVSZ modelljéhez szükséges bemenő adatok a szükséges segéd file-okkal elkészültek. Az EuroCordex modellrács és az OVSZ modellje által használt rács felbontási különbsége miatt a modellben való felhasználáshoz egy interpolációs eljárás alkalmazása szükséges, amit az OVSZ munkatársai egy korábbi projekt keretében fejlesztettek ki [1]. Az interpolációs eljárás alkalmazásához minden szükséges segédinformációt elállítottunk.

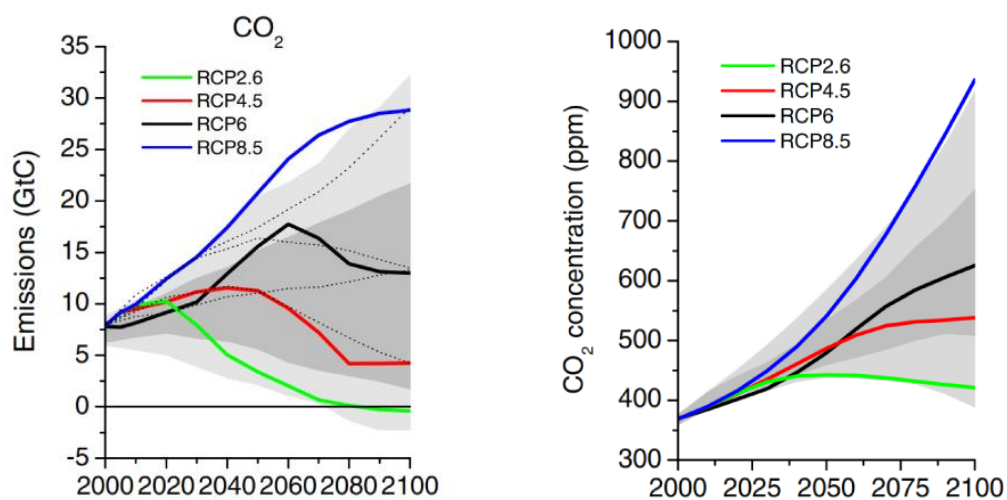
Az éghajlati modelleredmények feldolgozásának folyamata

Az alkalmazott klímamodellek és scenáriók

A várható éghajlatváltozás minél pontosabb ismerete alapvető fontosságú a felszíni vízfolyások érzékenységeinek vizsgálatához. Az éghajlati rendszer fizikai törvényszerűségeire alapozva készülnek a klímamodellek, melyekkel vizsgálható a Föld-légkör rendszer állapotának múltbéli és a jövőben valószínűsíthető alakulása.

Egy klímamodell a valós éghajlati rendszer folyamatait nem tudja tökéletesen leírni, így csak közelítő jelleggel írhatók le. További bizonytalanságot jelentenek azok a társadalmi-gazdasági folyamatok, amelyek meghatározóak az üvegházgáz kibocsátás szempontjából. A várható antropogén hatást kibocsátási forgatókönyvekkel (scenáriókkal) írják le [2]. A különböző scenáriók alapján paraméterezett klímamodellekkel végzett számítások arra adnak becslést, hogy adott kibocsátási scenáriónak megfelelően sugárzási kényszer milyen változást idéz elő az éghajlati rendszerben.

Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Éghajlat-változási Kormányközi Testület) ötödik étékelő jelentése (AR5) a legújabb generációs, az RCP (Representative Concentration Pathways) forgatókönyveket veszi a jövőbeli klíma vizsgálatának alapjául, amelyek a kutatói közösség által kifejlesztett scenáriók közül kerültek ki. A szakmabeliek és a felhasználók által támasztott igényeknek megfelelően négyféle forgatókönyv típus került meghatározásra – RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 és RCP 8.5 –, melyek reprezentatívak az irodalomban fellelhető kibocsátási pályák összességére nézve. Az új forgatókönyvekhez kapcsolódó szén-dioxid kibocsátási pályákat és az ezekhez tartozó légköri szén-dioxid koncentrációk az 2. ábrán láthatók.



2. ábra: Az RCP forgatókönyvek CO₂ kibocsátási pályái Gt szén egységben (bal oldal), valamint a hozzájuk kapcsolódó légköri CO₂ koncentrációk ppm egységben (jobb oldal) [2].

Az alkalmazott globális- (GCM) és regionális (RCM) modellek

A klímaváltozás vizsgálata globális, cirkulációs modellekre alapozva történik. Az utóbbi évtizedben légköri és a felszíni folyamatok reprezentációjának javulásával és a számítási kapacitás növekedésével ezek a globális modellek számottevő fejlődésen mentek keresztül, legtöbbjük horizontális térbeli felbontása még mindig legfeljebb néhány száz kilométeresre tehető. Ilyen felbontás mellett a lokális

szintű kényszerek – mint a komplex topográfia vagy a felszínminőség – hatásait nem tudják érzékelni [4].

A globális klímamodellekből származó eredmények felbontásának növelésére számos regionalizációs és leskálázó módszert két csoportba: a dinamikus és a statisztikai módszerekre bontja a szakirodalom. A dinamikai leskálázás fizikai alapú modellekkel dolgozik. Vagy a meglévő globális légköri modelleket futtatja nagy-, vagy változó-felbontással, kisebb időtartamokra, vagy korlátozott tartományú regionális klímamodelleket használ. A statisztikai leskálázás során a nagyobb és a regionális vagy lokális skálájú változók közti összefüggéseket definiálják és ezek szerint módosítják a globális modellek kimeneteit.

A Világ Klímakutató Program (World Climate Research Programme, WCRP) koordinálásában a CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) kezdeményezés eredményként előálló CORDEX adatbázis a szárazföldi területek egészét lefedő, nagyfelbontású, többféle globális és regionális klímamodell felhasználásával készült, leskálázott klíma projekciók adatait tartalmazza, melyek input adatként felhasználhatók az adaptációt célzó hatástanulmányokban és az IPCC AR5-ös kiértékelő jelentésében.

A modellek felépítéséből adódó bizonytalanság a klíma projekciók összes bizonytalanságának nagy részét képezi, és a globális klíma szimulációkból áttevődik a regionális szintekre is, amihez hozzájárulnak az üvegházgáz kibocsátás leírásából, az éghajlati rendszer belső változékonyságából és nem-lineáris jellegéből, valamint a leskálázási módszerből származó bizonytalanságok.

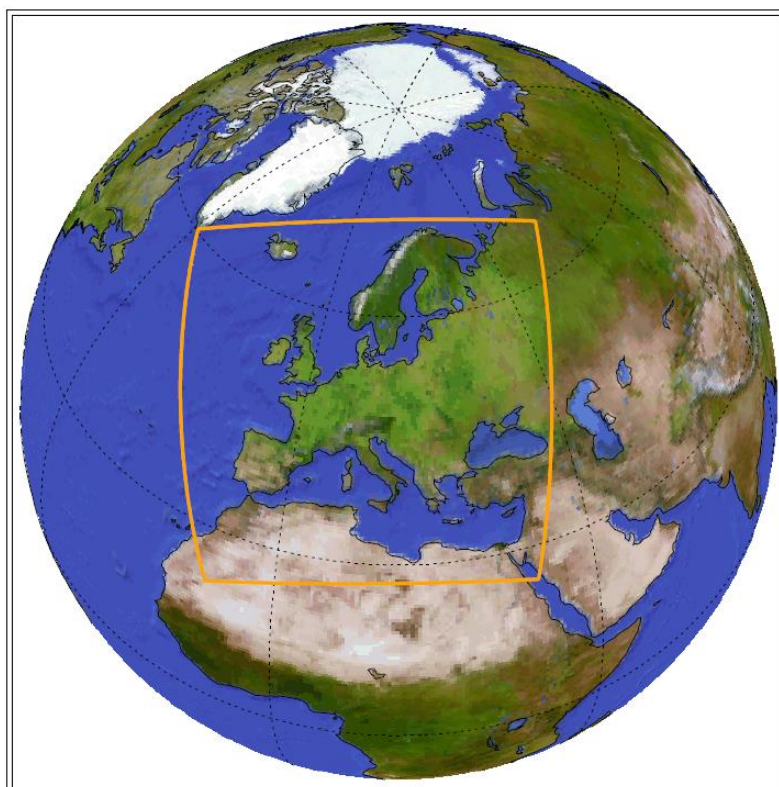
A regionális klíma projekciók bizonytalanságának meghatározásához az ensemble technika alkalmazása – szimulációk sorozata – nyújt megoldást. Azzal, hogy számos, egymással összehasonlítható éghajlati szimuláció adatait tartalmazza, a CORDEX adatbázis alkalmas a klíma várható alakulásának valószínűségi alapokon történő kiértékelésére. A Megbízó a NATÉR projekt keretében elvégezte a fentiekben röviden vázolt ensemble elemzést, aminek eredményeképp az EuroCordex adatbázisban szereplő klímamodellek közül a **RCA4** regionális modell szimuláció két különböző globális modellel (**CNRM-CM5** és **EC-EARTH**) meghajtott változatát választotta a hidroklimatológiai elemzésekhez.

Az alkalmazott klímaszcenáriók

A CORDEX adatbázisban szereplő éghajlati projekciók modellenként legalább kétféle kibocsátási forgatókönyvre alapoznak [5]. A Duna vízgyűjtő éghajlatának elemzésekor a múltbeli időszak, valamint a jövőre vonatkozó modell projekciók együttes felhasználása a cél. Az éghajlati forgatókönyveket tekintve a legnagyobb számban rendelkezésre álló **RCP 4.5** és **RCP 8.5** scenáriók kerültek fókuszba. A felhasznált CORDEX adatsorok túlnyomó többsége 1971-től 2100-ig tartó folyamatos idősor, amely az időtartományon belüli bármekkora időszakra vonatkozó vizsgálatot lehetővé tesz. Ennek megfelelően a Megbízó a fenti két scenárió alapján futtatott modelleredményeket – tehát összesen négyet – adta át feldolgozásra.

A vizsgálandó terület lehatárolása

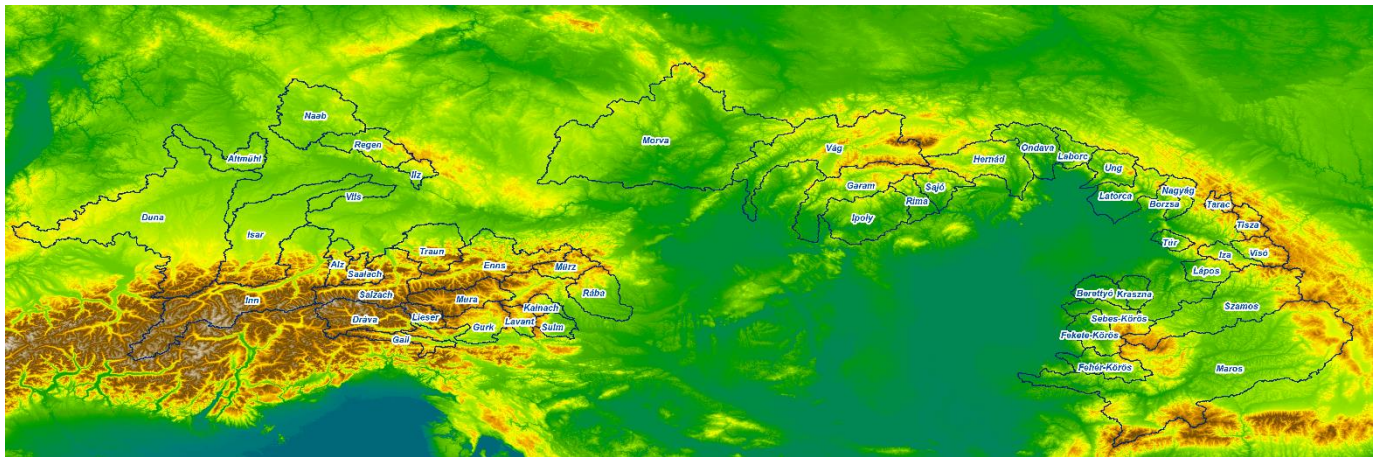
A Duna felső vízgyűjtője az EURO-CORDEX domain közepén helyezkedik el, így ebből a szempontból ideális a feladat végrehajtásához (3. ábra).



3. ábra: Az EURO-CORDEX domain.

Az EURO-CORDEX régió egy elforgatott pólusú koordinátarendszerben definiált téglalap. Az adatsorok 0,44°-os, 0,22°-os, és/vagy 0,11°-os felbontással érhetők el. Mivel az OVSZ hidrológia modelljének bemenő klimatológiai adatai 0,1°-os rácsra készülnek, így a klimatológiai paraméterek előállításához a 0,11°-os felbontású adatok kerültek feldolgozásra.

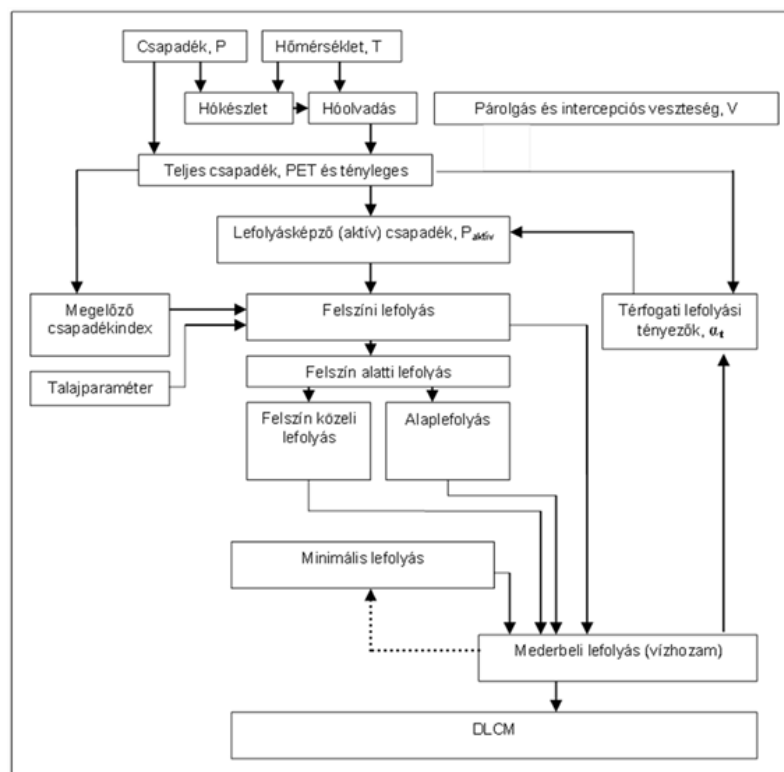
Az OVSZ hidrológiai modellező és előrejelző rendszere egy elemekből felépített modellrendszer, amelyben a különböző részfolyamatok modelljei az ún. funkcionális modulok. Ezek a hidrológiai részfolyamatok (pl. a *hófelhalmozódás és hóolvadás*, vagy a *lefolyási komponensek*) számítására alkalmasak. A *kvázi osztott paraméterű modell* a csapadékból származó lefolyásszámítás bemenő adatainak előállításakor figyelembe veszi a térbeli különbségeket, viszont az összegyűjtési folyamatot az egész vízgyűjtőre nézve egyetlen paramétervektor jellemzi. Ez azt jelenti minden a modellbe beépített mederszelvény feletti vízgyűjtő területre eső minden 0,1°-os felbontású rácpontjának klimatológiai bemenő adatát figyelembe veszi a modellszámításnál, de eredményként a vízgyűjtő területet egyetlen paraméterrel írja le. Az OVSZ modellező rendszerében jelenleg 51 hegyvidéki vízgyűjtő van beépítve (4. ábra).



4. ábra. Az OVSZ hidrológiai modelljének vízgyűjtő területei.

A lefolyás számításához két klimatológiai bemenő paraméter szükséges (5. ábra):

- felszínközeli (2m) hőmérséklet,
- csapadék.



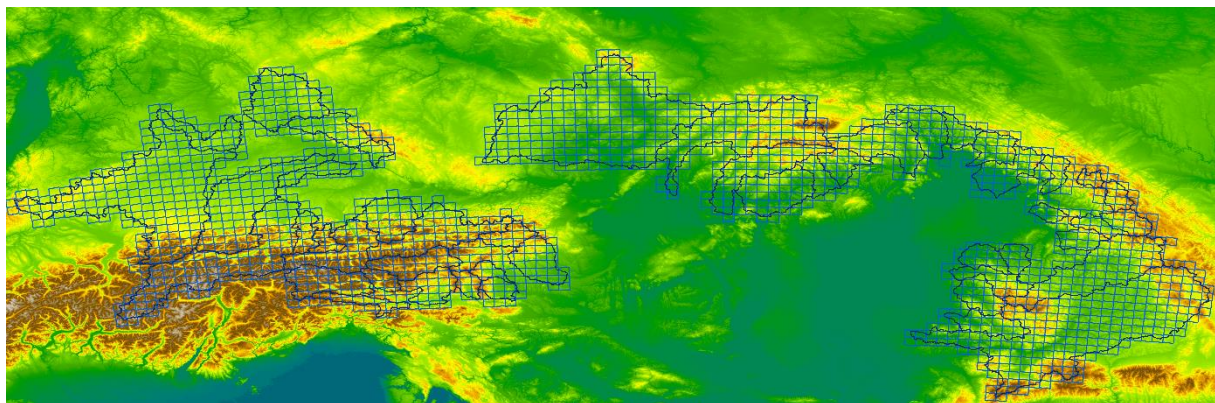
5. ábra. A OVSZ hidrológiai modelljének logikai felépítése.

Mindkét meteorológiai bemenő adat esetén napinál részletesebb, 3 órás időlépcsőben kerültek az adatok kigyűjtésre (hőmérséklet esetén átlagot, csapadék esetén összeget) használni, annak érdekében, hogy az OVSZ modelljében való feldolgozás előtt ne legyen szükség az adatsorok időbeli interpolációjára.

Az OVSZ modelljéhez szükséges bemenő adatok a szükséges segéd file-okkal elkészültek. Az EuroCordex modellrács és az OVSZ modellje által használt rács felbontási különbsége miatt a modellben való felhasználáshoz egy térbeli interpolációs eljárás alkalmazása szükséges, amit az OVSZ

munkatársai egy korábbi projekt keretében fejlesztettek ki [1]. Az interpolációs eljárás alkalmazásához minden szükséges segédinformáció rendelkezésre áll.

A szükséges klímaadatok kigyűjtésének első lépéseként a Megbízótól kapott vízgyűjtő adatréteg és az EuroCordex-ből származó adatok térinformatikai rendszerbe transzformált ponthalmazának felhasználásával elkészült a klímamodell rácspontok egyes vízgyűjtőkhöz rendelése. Mivel a klímamodellrácsok lefedik a modellezett területet, és a rácspontok valójában a körülöttük lévő területet reprezentálják, így a kézenfekvő megoldás térinformatikai rendszerben való megjelenítésre a Thiessen poligonok alkalmazása (6. ábra).



6. ábra. Az OVSZ által modellezett vízgyűjtő területek, illetve az azokra eső klímamodell rácspontok Thiessen poligonjai.

Miután egyszerű térbeli megfeleltetéssel (SelectbyLocation) az egyes részvízgyűjtőkhöz hozzárendeltük az klímamodell pontokat, a Műszaki leírásban megadott klímaműködési paraméterek előállítására (A. Melléklet) került sor:

- évi csapadékösszeg adatokból származtatott 30 éves mozgóátlag,
- évszakos csapadékösszeg adatokból származtatott 30 éves mozgóátlag,
- havi csapadékösszeg adatokból származtatott 30 éves mozgóátlag,
- évszakos csapadékmentes napok számának 30 éves,
- havi csapadékmentes napok számának 30 éves mozgóátlaga,
- havi 0°C alatti minimum hőmérsékletű napok számának 30 éves mozgóátlaga,
- havi 0°C feletti minimum hőmérsékletű napok számának 30 éves.

Mivel az egyes részvízgyűjtőket minden paraméterre és minden 30 éves periódusra egy értékkel jellemezzük, a klímamodell rácsponti értékeit minden 30 éves ablakra vízgyűjtőnként átlagolva adtuk meg. Ezek alapján az egyes folyók jövőbeli várható vízjárási rezsimjét meghatározó klimatológiai folyamatok jól elemezhetők. A vízgyűjtőket három csoportba (Duna, Tisza, Dráva vízrendszere) lehet csoportosítani, így külön vizsgálva a klímaváltozás várható hatásait a három folyórendszerre.

Eredmények

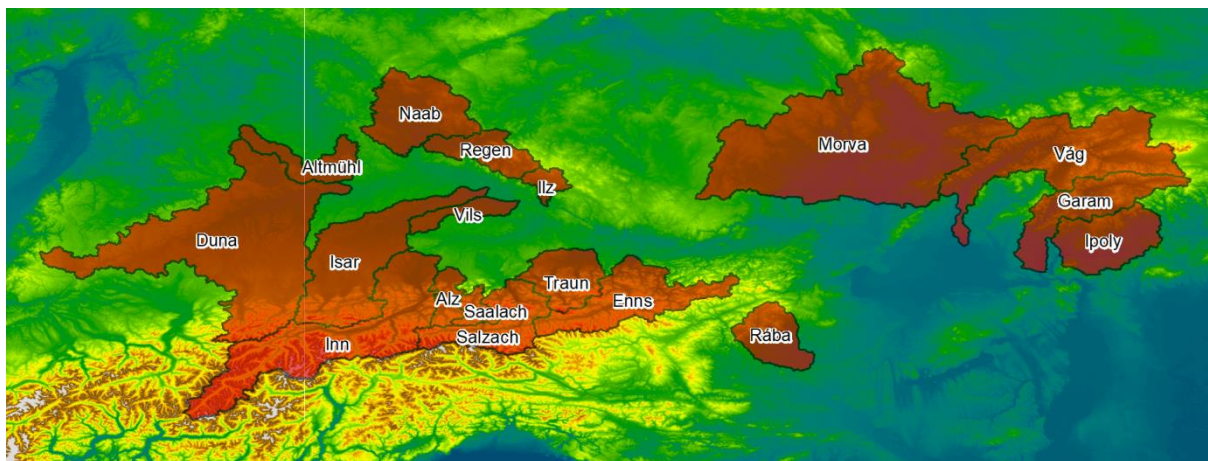
A Műszaki leírásban megadott klímáparaméterek alapján elemeztük a három nagy vízrendszer (Duna, Tisza, Dráva) kitettségét a klímaváltozás várható hatásaival szemben. A csapadék mennyiségi és időbeli eloszlás vizsgálatának szükségessége nem szorul bővebb magyarázatra. A csapadégmentes időszakok hosszának elemzése az extrém kisvízes időszakok kialakulásának várható gyakoriságát és tartósságát jellemzi, ami – sok más mellett – a parti szűrésű kutakból származó lakossági vízellátás, az ipari vízfelhasználás (pl. hűtővíz), a folyami hajózás és a folyókhoz kapcsolódó természetes élőhelyek ökológiai állapotának szempontjából fontos. A 0°C feletti minimum hőmérsékletű napok számának változása alapján a téli félév során, a hegyvidéki területeken felhalmozódó hó mennyiség várható alakulásáról, illetve a hóolvadásból kialakuló nagyobb árvizek méretéről és gyakoriságáról vonhatók le következtetések.

Az elemzések eredményeit hat paraméter teljes idősort lefedő grafikonjain keresztül mutatjuk be a három folyórendszert külön-külön vizsgálva. Az időbeli változások mellett így képet kaphatunk az RCA4-es RCM-et meghajtó két különböző globális modell (GCM) okozta különbségekről és azok mértékéről. A grafikonok a 1971-2000-es referencia időszak értékéhez (vízszintes vonallal jelezve) képesti változást jelenítik meg. A grafikonok x tengelyén a vizsgált 30 éves időszakok középső évét tüntettük fel.

Éves csapadékösszeg

A Duna vízrendszere

A Duna nagymarosi szelvénye feletti vízgyűjtő területén az OVSZ hidrológiai modellje 18 részvízgyűjtő (7. ábra) kilépési szelvényére számít vízhozamot klimatológiai paraméterek alapján. Ezek a részvízgyűjtők földrajzi helyzetük, topográfiájuk alapján jól elkülöníthetők. Az Alpok északi oldalának vízgyűjtőit (Isar, Inn, Alz, Saalach, Salzach, Traun, Enns) nagy átlagmagasság, ennél fogva magas csapadéértékek, illetve a téli időszakban jelentős hófelhalmozódás jellemzi.



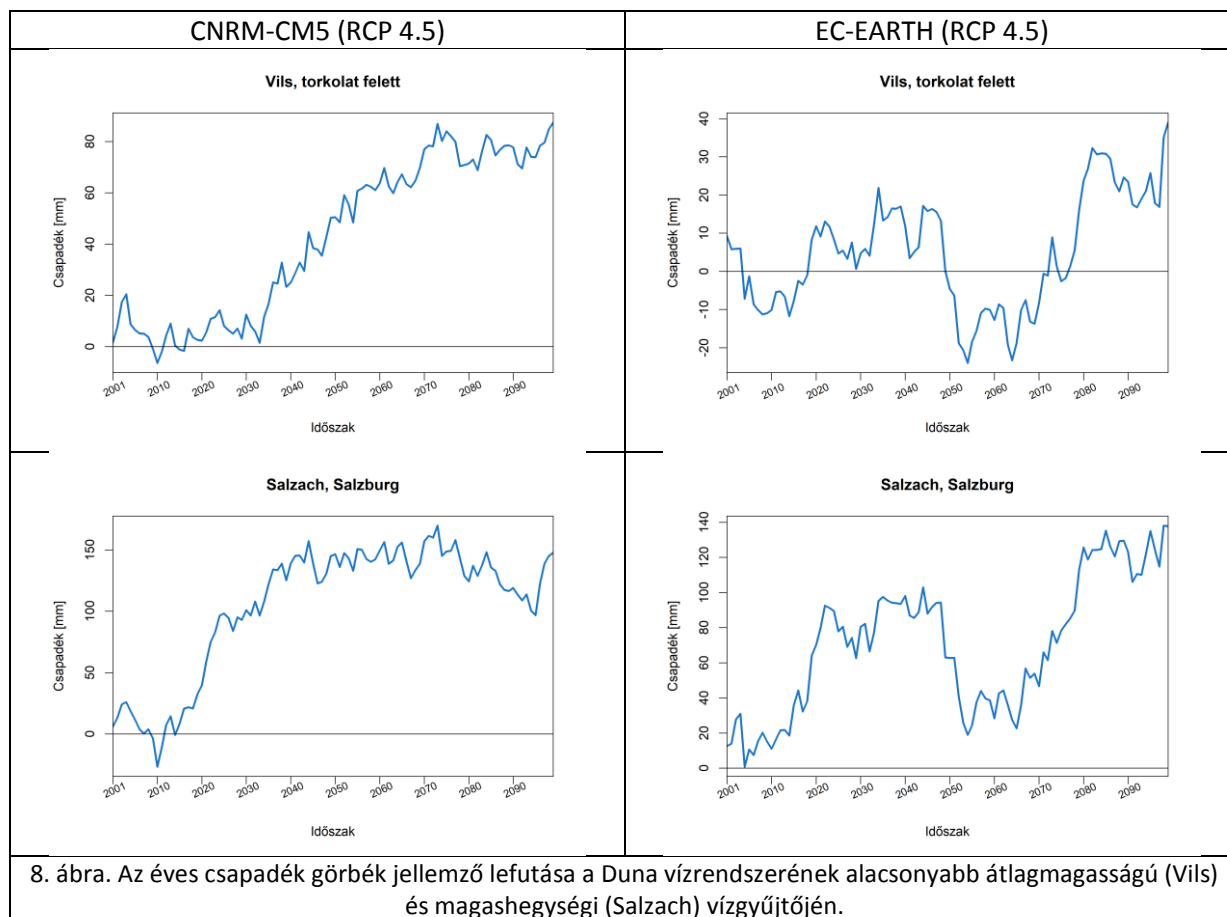
7. ábra. Az OVSZ által modellezett dunai vízgyűjtők a nagymarosi szelvény fölött.

Ezek a vízgyűjtők adják a Duna felső szakaszán mért vízhozamok meghatározó részét. Ehhez a csoporthoz hasonlít némileg a Duna felső vízgyűjtője, mivel egy kisebb része az Alpok északi, magasabb részén helyezkedik el. Az Alpoktól északra elhelyezkedő, alacsonyabb tengerszint feletti magasságon elterülő, általában kisebb kiterjedésű vízgyűjtők (Duna, Altmühl, Naab, Vils, Regen, Ilz)

képezik a második csoportot. Ezek a vízgyűjtők kisebb súllyal jelennek meg általában a Duna vízhozamában. A harmadik csoportot az Északi-Kárpátok, illetve a Cseh-medence vízgyűjtői képezik, amelyeknél a hegyvidéki jelleg ugyan jelen van (a Morva esetében kevésbé), de az átlagmagasság jóval alacsonyabb az Alpok vízgyűjtőjéhez viszonyítva, és jóval keletebbre terülnek el. A Rába egyik csoportba sem sorolható, mivel a többi vízgyűjtőtől térben és/vagy topográfiai jellemzőiben – így klimatológiai karakterisztikájában is – elkülönül.

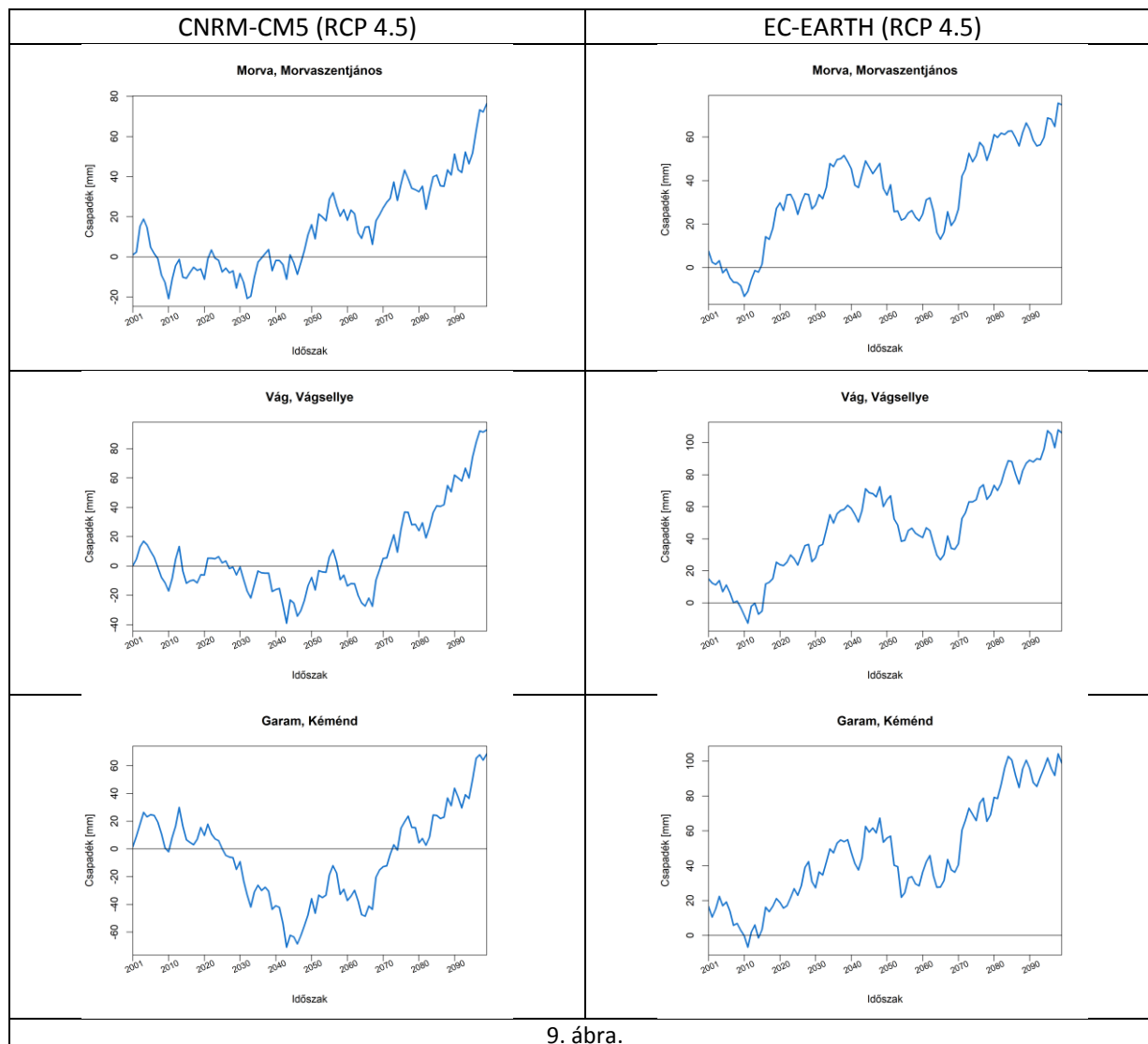
RCP4.5

Az éves csapadékösszeg időbeli változását vizsgálva szembevetendő a két felhasznált RCP4.5-ös modelleredmény közti különbség. A CNRM-CM5 modell csapadék értékei az Alpok és attól északra elhelyezkedő térség vízgyűjtői (8. ábra) esetében a 2010-es évektől folyamatosan emelkedő tendenciát mutatnak a 2070-es évekig, ami után stagnálás, illetve több vízgyűjtőnél kisebb mértékű csökkenés következik. A referencia időszakhoz viszonyítva a növekmény maximuma a 4-8%-os sávban mozog. A csapadék várható mennyisége a 2020-as évek után minden esetben a referencia érték felett van.



Az EC-EARTH modell esetében a grafikonok lefutása teljesen más képet mutat az említett két térségben, annak ellenére, hogy az éves csapadékmennyiség összességében itt is növekvő tendenciát jelez. Az egyes időszakok értékei sokkal nagyobb szórást mutatnak. A 2050-2080-as időszakban jelentős csökkenés figyelhető meg, olyannyira, hogy több, főleg alacsonyabb átlagmagasságú vízgyűjtő esetében a bázisérték alá csökkennek a csapadéértékek (8. ábra). A vizsgált időszak végén újabb erőteljes emelkedés látszik, de a görbék maximuma jóval kisebb, mint a CNRM-CM5 modellnél.

Az Északi-Kárpátok és a Cseh-medence vízgyűjtői (Vág, Garam, Ipoly, Morva) esetében a CNRM-CM5 eredményei teljesen más képet mutatnak (9. ábra), mint az Alpok és az attól északra elhelyezkedő vízgyűjtők csapadékviszonyai.

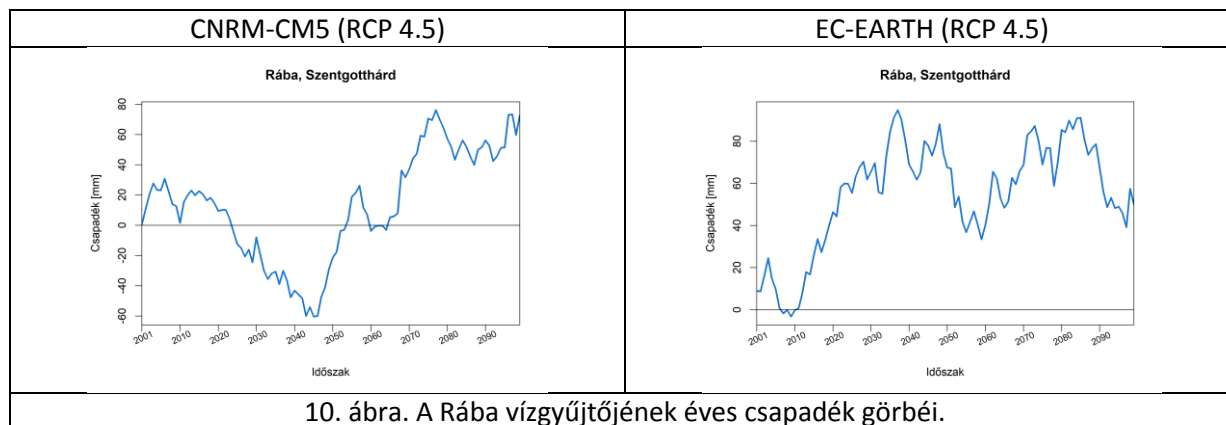


9. ábra.

A teljes időszakot figyelembe véve itt is látszik a növekvő tendencia, de a növekedés nem egyenletes, sőt a 2070-es évekig az éves csapadék értékek több helyen, néhol jelentősen a bázisérték alatt maradnak. A Garam és az Ipoly vízgyűjtőjén a 2020-2070-es időszakban markáns visszaesés mutatkozik, míg a Vág esetében ez kisebb mértékű. A Morva grafikonja ezektől eltérően a 2050-es évekig stagnálást mutat. A vizsgált időszak utolsó harmadában azonban, mind a négy vízgyűjtőre jelentős csapadékösszeg emelkedést prognosztizál a modell.

Az EC-EARTH modell esetében a görbék lefutása nagyon hasonló az első két csoportéhoz. Mind a négy vízgyűjtő esetében megfigyelhető a 2050-2080-as időszakban a visszaesés, de itt minden esetben a referencia időszak értéke felett marad. Egységes a kép abban a tekintetben is, hogy a vizsgált időszak végén minden esetben jelentős csapadék többlet mutatkozik a kiinduló értékhez képest.

A Rába vízgyűjtőjére (10. ábra) a CNRM-CM5 modell az Északi-Kárpátok vízgyűjtőjéhez hasonló képet mutat. A 2020-2050-es időszakban az éves csapadékösszeg jelentősen elmarad a referenciaértékhez képest, 2050-es évek után viszont végig emelkedő tendenciát mutat, és a 2080-as évekre jelentősen meghaladja a bázisértéket. Az EC-EARTH esetében is hasonló a kép a Vág, Garam, Ipoly hármassal összehasonlítva, de itt a vizsgált időszak végén csökkenés látszik, bár még mindig magasabb értékekkel, mint a 1971-2000 átlag.

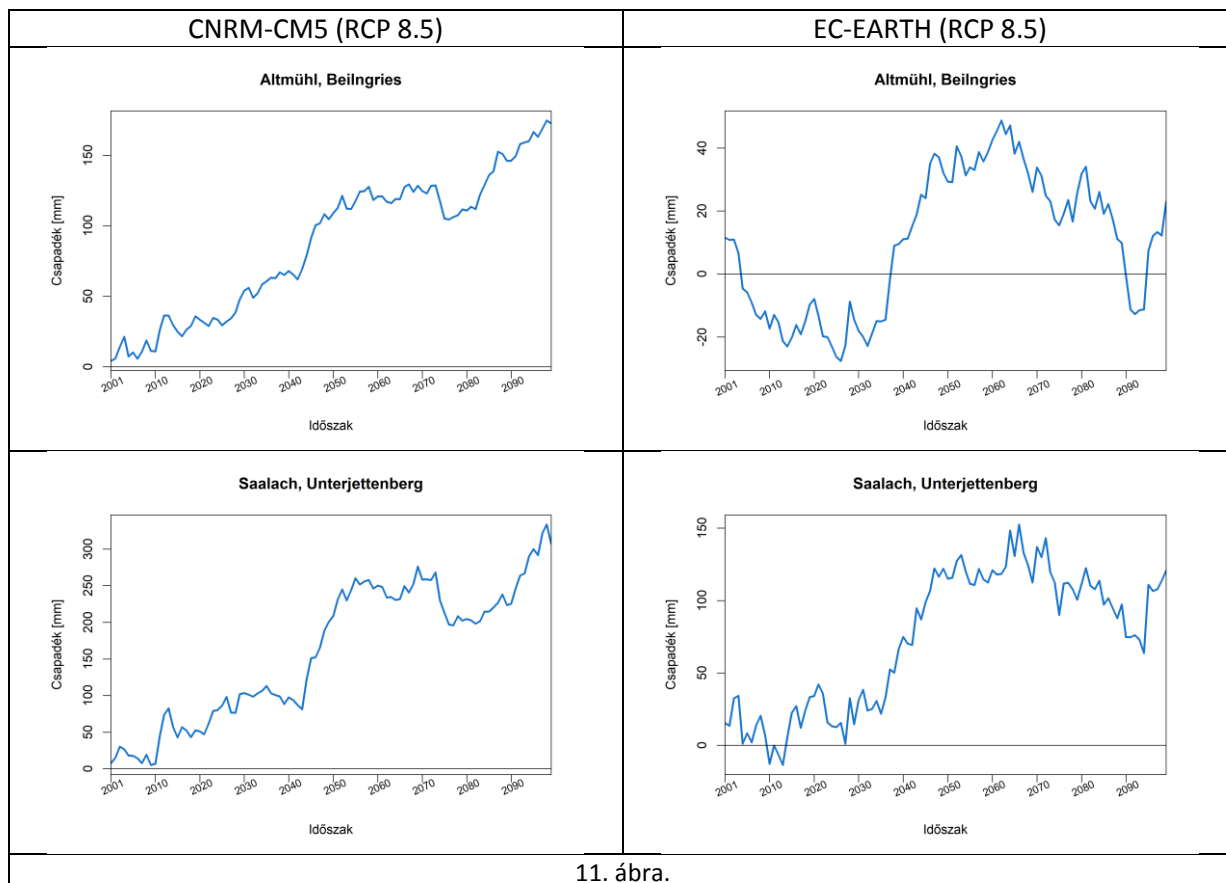


RCP8.5

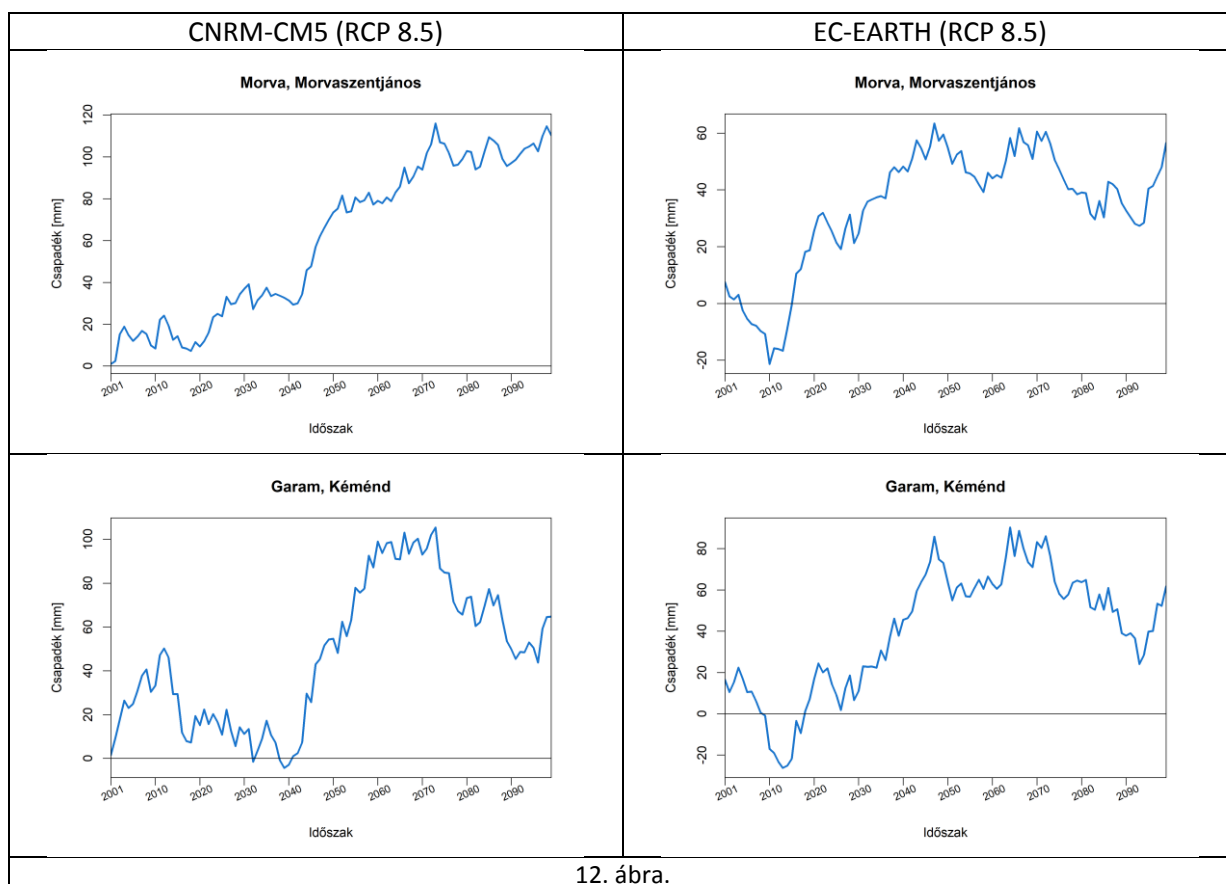
Az RCP8.5-ös Szenárió alapján futtatott modellek eredményei a Duna német-osztrák területen lévő vízgyűjtői tekintetében (11. ábra) egységes képet mutatnak CNRM-CM5 modellnél. Minden vízgyűjtőn az éves csapadék mennyisége növekvő tendenciájú, lokális csúccsal a 2050-2080-as években, ami után egy kisebb visszaesés után újra emelkedő szakasz következik. Az abszolút maximum minden esetben a vizsgált periódus végén jelentkezik.

Az EC-EARTH esetében nem ennyire egységes a kép, bár a görbék lefutása hasonló. A 2040-es évekig a csapadék értékek a referencia érték közelében mozognak, az alacsonyabb fekvésű vízgyűjtőkön jellemzően ez alatt. Ezután erőteljes emelkedés látszik, ami azonban a 2060-as évek közepén éri el maximumát, ami után visszaesés következik. Ez a visszaesés az alacsonyabb fekvésű vízgyűjtők esetében jelentős. Ezeknél a vízgyűjtőknél az éves csapadékösszeg 2090-es években, a bázisérték alatt éri el lokális minimumát.

További jelentős különbség a két modell eredményei közt, hogy a CNRM-CM5 modell esetében a referencia értékhez képesti növekedés maximuma jóval nagyobb (~10%), mint az EC-EARTH esetében (2-4%).

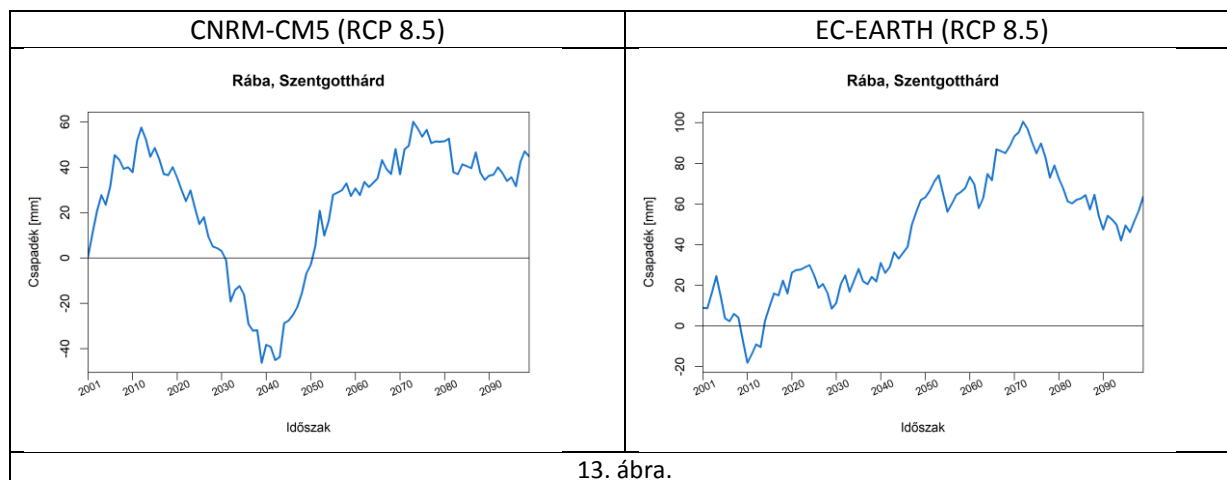


11. ábra.



12. ábra.

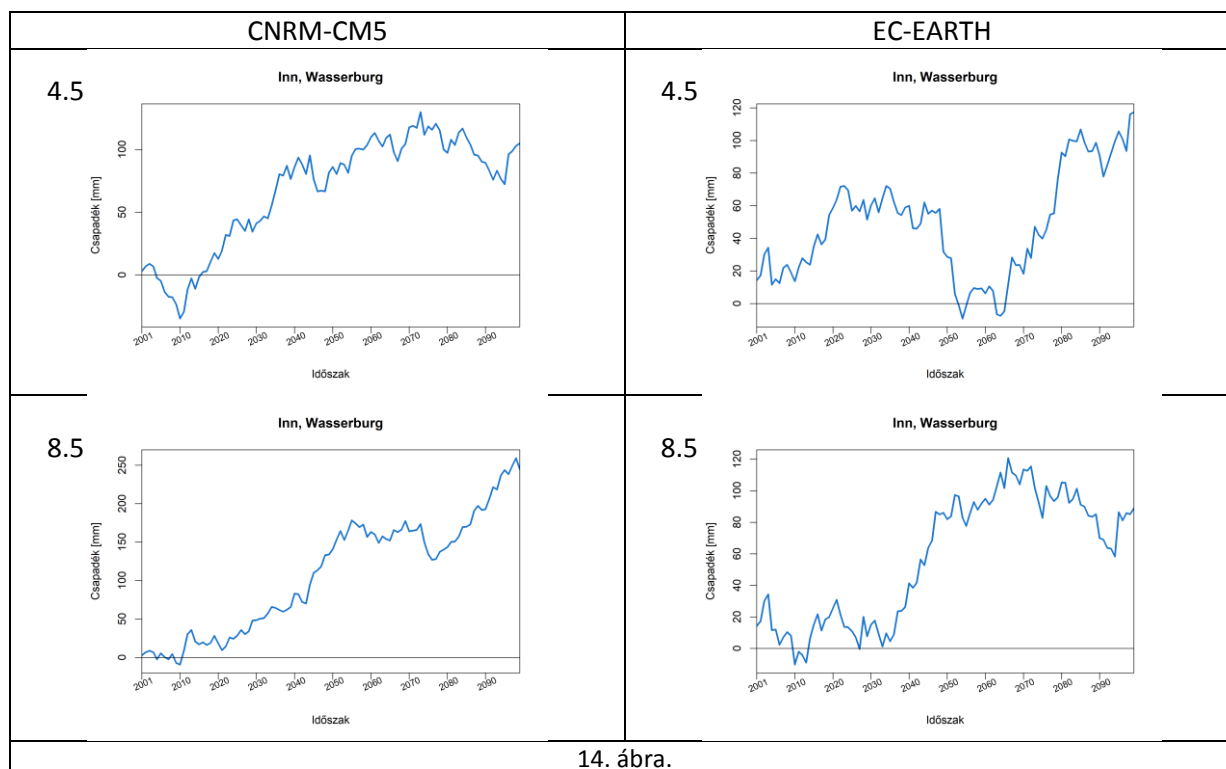
A cseh és szlovák területek vízgyűjtői közül a CNRM-CM5 modell eredményei alapján a Morva az első két csoporttal nagymértékű hasonlóságot mutat, azzal a különbséggel, hogy a 2070-es abszolút csúcs után nem következik érdemi elmozdulás egyik irányban sem. A Vág, Garam, Ipoly hármasnál is hasonló (a vizsgált időszak utolsó harmadát leszámítva) a görbék futása az első két csoporttal összehasonlítva, de itt – különösen a Garam és az Ipoly esetében – sokkal nagyobb kilengések láthatók, mind a 2050-2070-es évek növekvő trendje, mind az utána következő visszaesés nagyon markáns.



A Rába vízgyűjtőjén az éves csapadékmennyiség a CNRM-CM5 modell alapján a kezdeti emelkedés után jelentős csökkenést prognosztizál. A csökkenés 2040-es évek elején éri el a minimumát, 3-4%-kal a bázisérték alatt, majd ezután jelentős emelkedést mutat. Az idősor a maximumát a 2070-es évekre éri el (5-6%-kal a referencia periódus értéke felett), ami a vizsgált időszak végéig csupán jelentéktelen mértékben csökken.

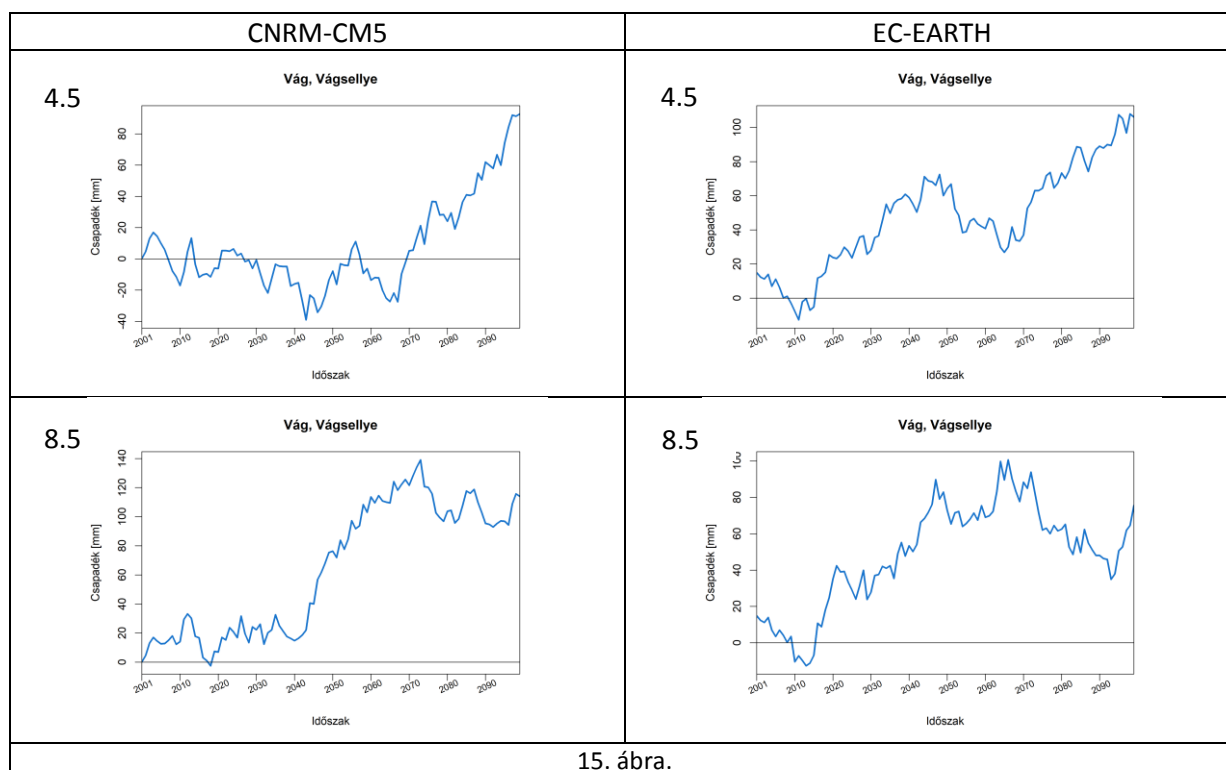
Az EC-EARTH modell alapján a Rába vízgyűjtőjén a csapadékviszonyok a Vág, Garam, Ipoly hármassal egyezően alakulnak. A görbe a maximumát a 2070-es évek elején éri el ~10%-os pozitív változást mutatva a bázisértékhez képest.

A négy különböző modelleredményt összehasonlítva a német és osztrák vízgyűjtők esetében (14. ábra) jól látszik a különbség a két globális modell között. A CNRM-CM5 esetében a 4.5-ös és 8.5-ös scenáriók között a várható változás mértékét tekintve, mintegy kétszeres különbség látszik az utóbbi javára, viszont mindkét esetben folyamatos növekedés tapasztalható gyakorlatilag a teljes modellezett időszakban. Az EC-EARTH modell 4.5-ös scenárión alapuló futtatásánál az időszak harmadik negyedében látható jelentős visszaesés nem látszik a 8.5-ös scenáriónál. Ez utóbbi, mind trendjében, mind a változás mértékében a CNRM-CM5 4.5-ös eredményeihez hasonlít.

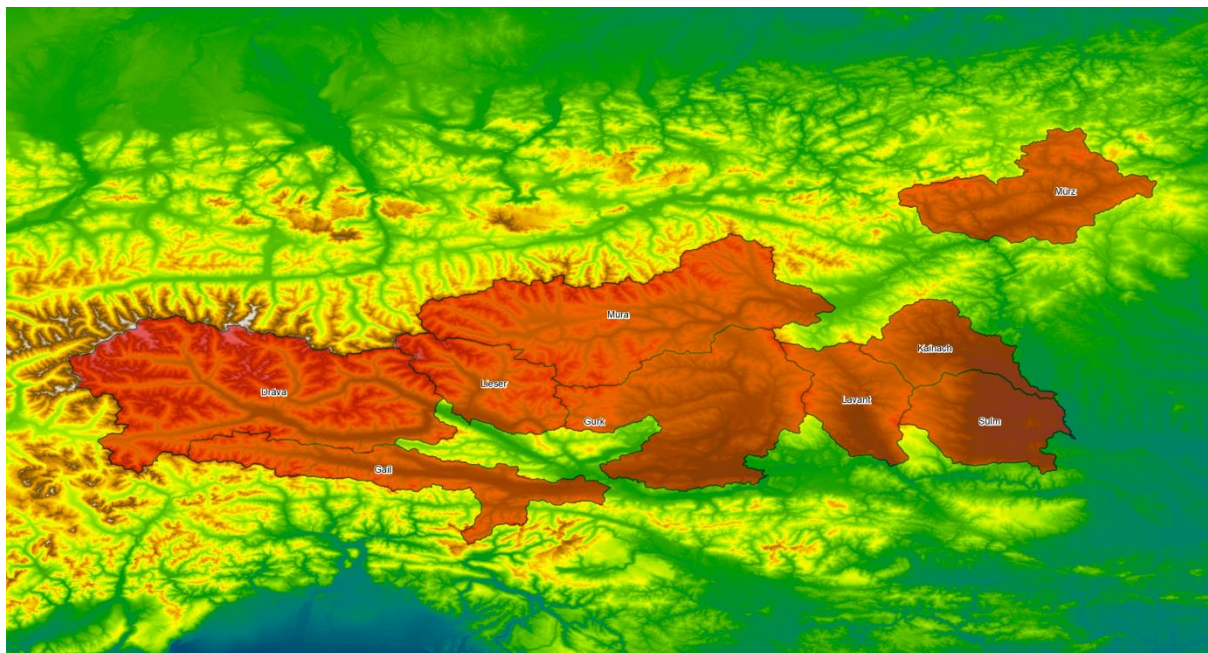


14. ábra.

Az Északi-Kárpátok vízgyűjtőin is (15. ábra) mind a négy modelledmény növekvő trendet mutat a teljes időszakra vonatkozóan, de itt is jelentős különbségek mutatkoznak. Itt is a CNMR-CM5 8.5-ös változata adja a legnagyobb mértékű növekedést. A 4.5-ös esetében viszont a 2070-es évekig nem tapasztalható jelentős elmozdulás a referencia értékhez képest. Az EC-EARTH két szcenáriója trendje sokkal inkább hasonlít. Itt a változás nagysága is nagyjából egyenlő.



15. ábra.

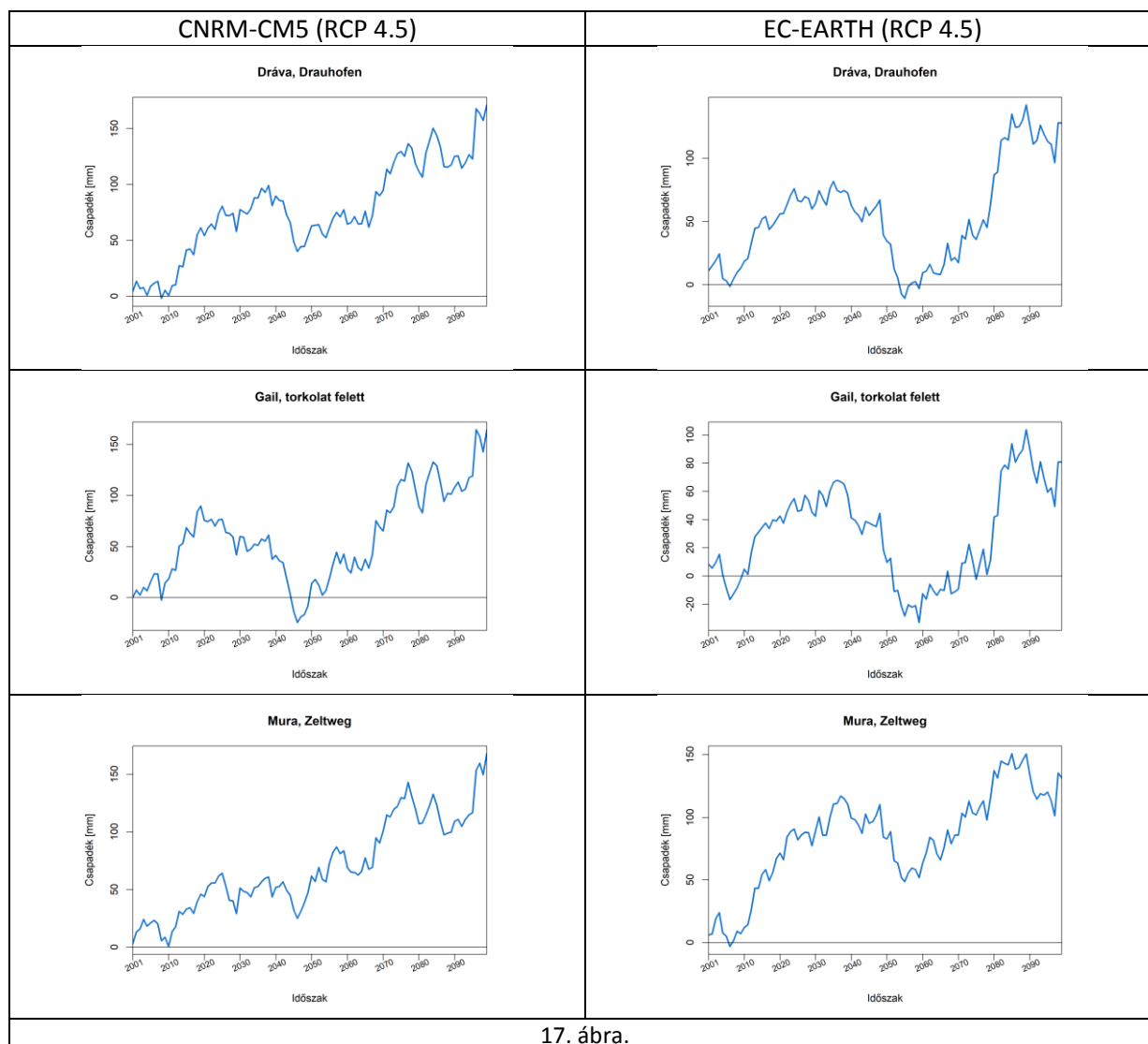


16. ábra. Az OVSZ által modellezett dunai vízgyűjtők a nagymarosi szelvény fölött.

A Dráva Mura-torkolat feletti vízgyűjtő területén az OVSZ hidrológiai modellje 9 részvízgyűjtő (16. ábra) kilépési szelvényére számít vízhozamot klimatológiai paraméterek alapján. Ezek a részvízgyűjtők a Keleti-Alpok ausztriai részének déli és keleti oldalán terülnek el, és a Sulm vízgyűjtőjét leszámítva teljes területükkel magashegységi régiókban vannak. Erre a területre esnek a Keleti-Alpok legmagasabb részei (pl. Magas-Tauern) is. Ennek megfelelően ezeken a vízgyűjtőkön sok csapadék és jelentős hófelhalmozódás jellemző. Ezek a vízgyűjtők adják a Dráva, illetve a Mura vízhozamának túlnyomó részét, így a magyarországi folyószakaszok vízjárásának szempontjából is meghatározó jelentőségűek.

RCP4.5

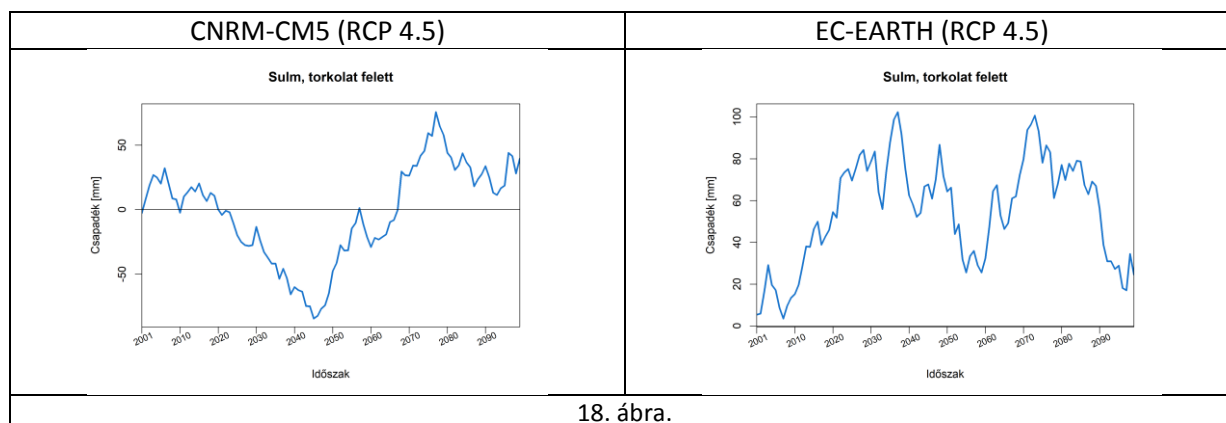
Dráva vízrendszerén a csapadékviszonyok alakulása a két 4.5-ös scenárión alapuló modell esetében hasonlóan alakul. A teljes időszakot figyelembe véve mindkét modellnél növekvő tendencia figyelhető meg, amit egy markáns visszaesés szakít meg a 2040-2070-es időszakban. A visszaesés mértéke különböző, de az esetek jelentős részében a csapadék értékek végig a referencia értékek felett maradnak (17. ábra).



17. ábra.

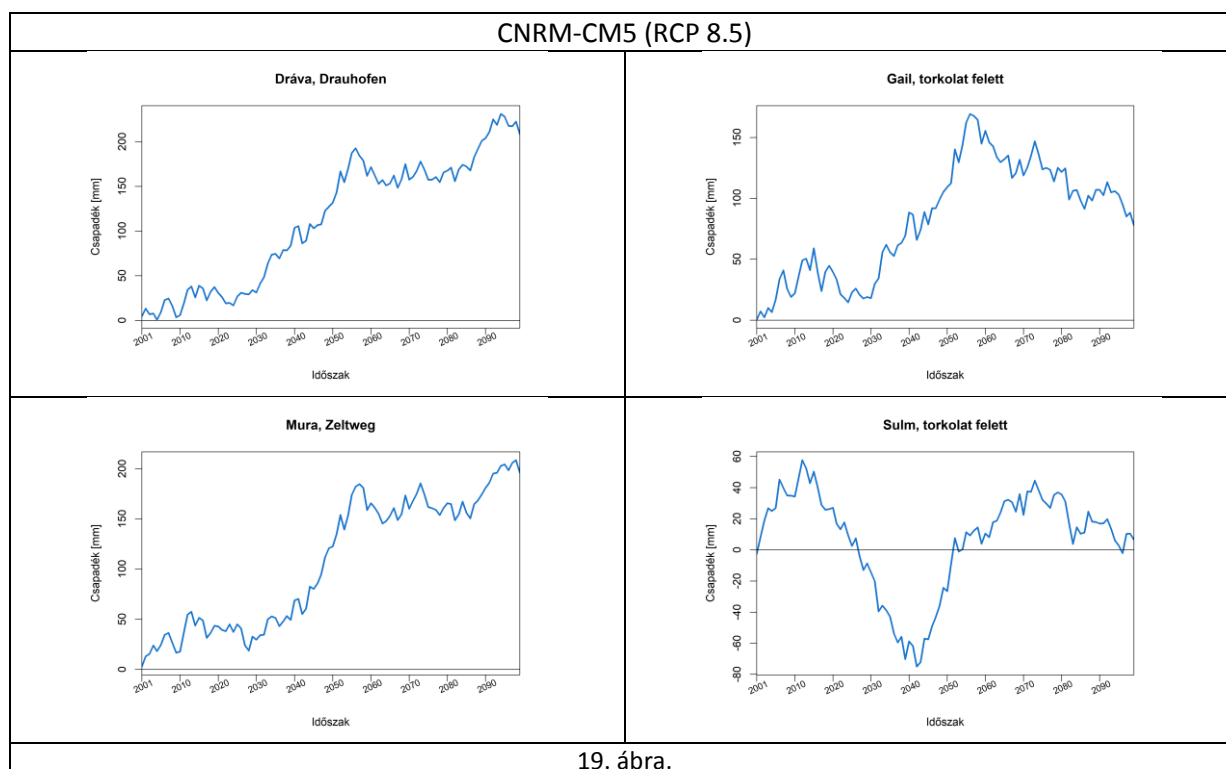
Megfigyelhető egy nyugat – keleti irányú trend a vízgyűjtők csapadéértékeiben. A vízrendszer észak-nyugati részén a CNRM-CM5 modell nagyobb arányú növekedést, illetve az időszak közepén kisebb visszaesést prognosztizál, míg a keleti vízgyűjtőkön az EC-EARTH adja a nagyobb növekedést. Az alacsonyabb átlagmagasságú vízgyűjtőkön (18. ábra) a CNRM-CM5 esetében a modellezett időszak jelentős részében a referencia időszakhoz képest jelentős csökkenés tapasztalható.

A példaként bemutatott Sulm vízgyűjtőjén az éves csapadéértékek lefutása mindkét modellben – földrajzi közelsége, hasonló karakterisztikája miatt – hasonlít a Rába vízgyűjtőjén tapasztaltnak.

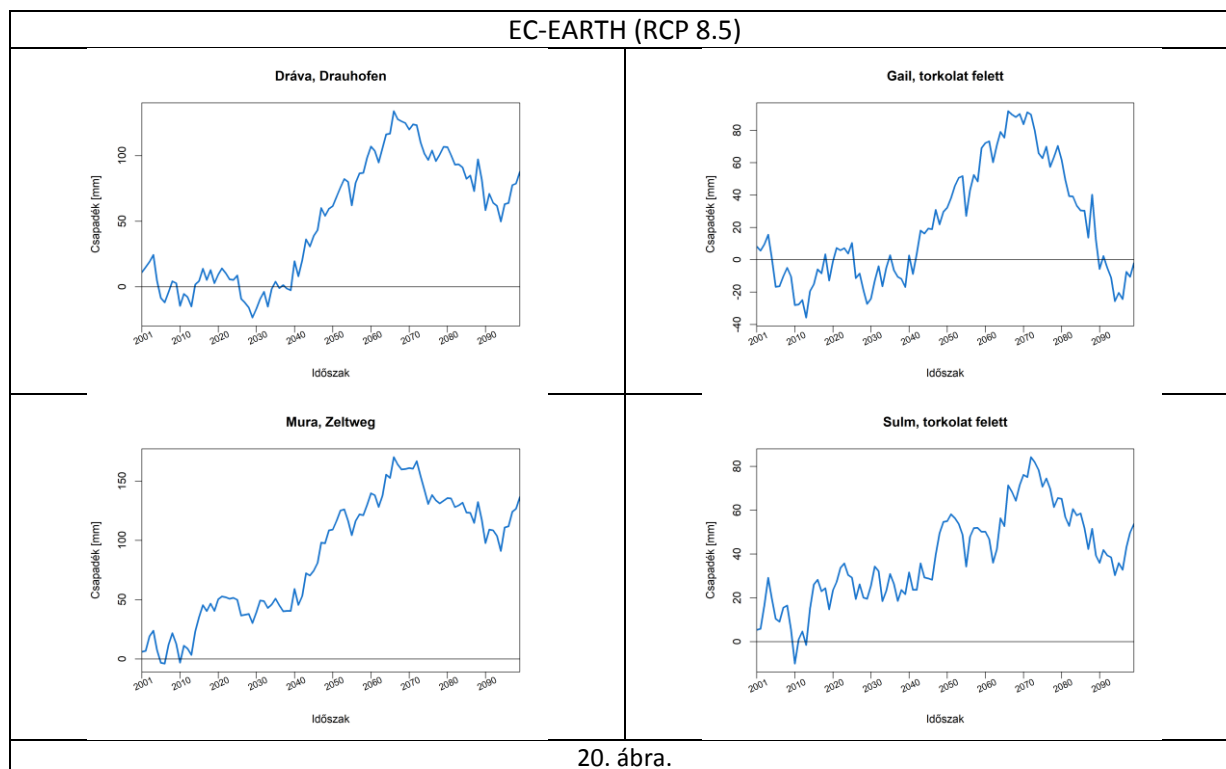


RCP8.5

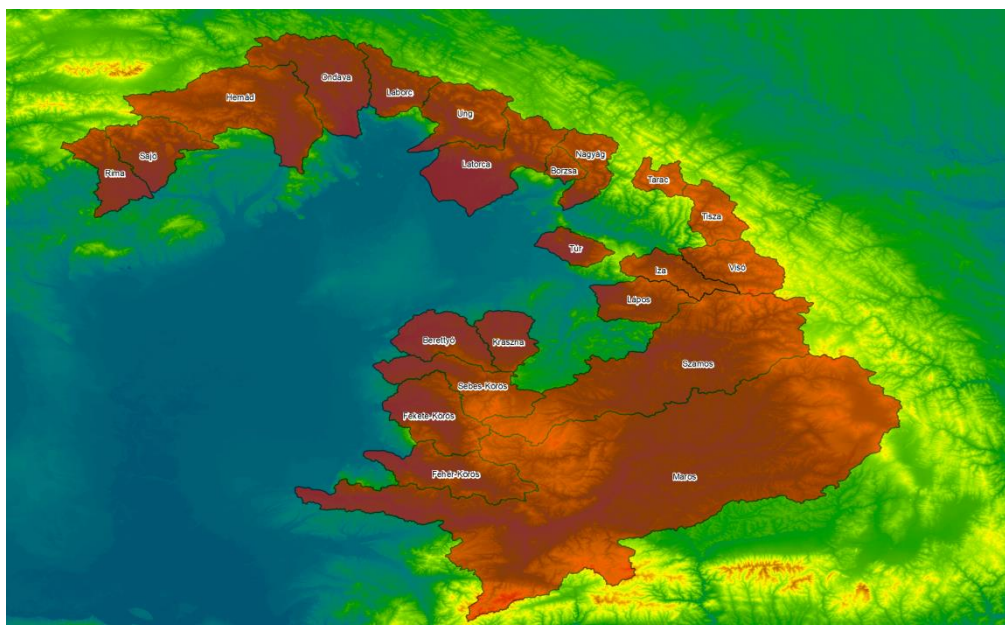
A 8.5-ös scenárión alapuló eredmények a CNRM-CM5 modellnél (19. ábra) nagyobb növekedést jeleznek a teljes időszakot figyelembe véve. A növekedés üteme nem egyenletes, a 2040-es években látható egy erőteljes növekedés, ami néhány esetben csökkenésbe vált át az időszak második felében. A Sulm esetében nagyon hasonló lefutást látunk, mint a 4.5-ös scenáriónál, de a változások némileg nagyobb mértékűek, mind pozitív, mind negatív irányban.



Az EC-EARTH csapadék értékei (20. ábra) a délebbre fekvő vízgyűjtőkön a 204-es évekig stagnálást, illetve kisebb csökkenést mutatnak, míg az időszak második felében erőteljes növekedés tapasztalható 2060-70 közötti csúccsal, ami után a tendencia megint csökkenésbe – egyes esetekben a referencia érték alá – fordul.



A Tisza vízrendszere

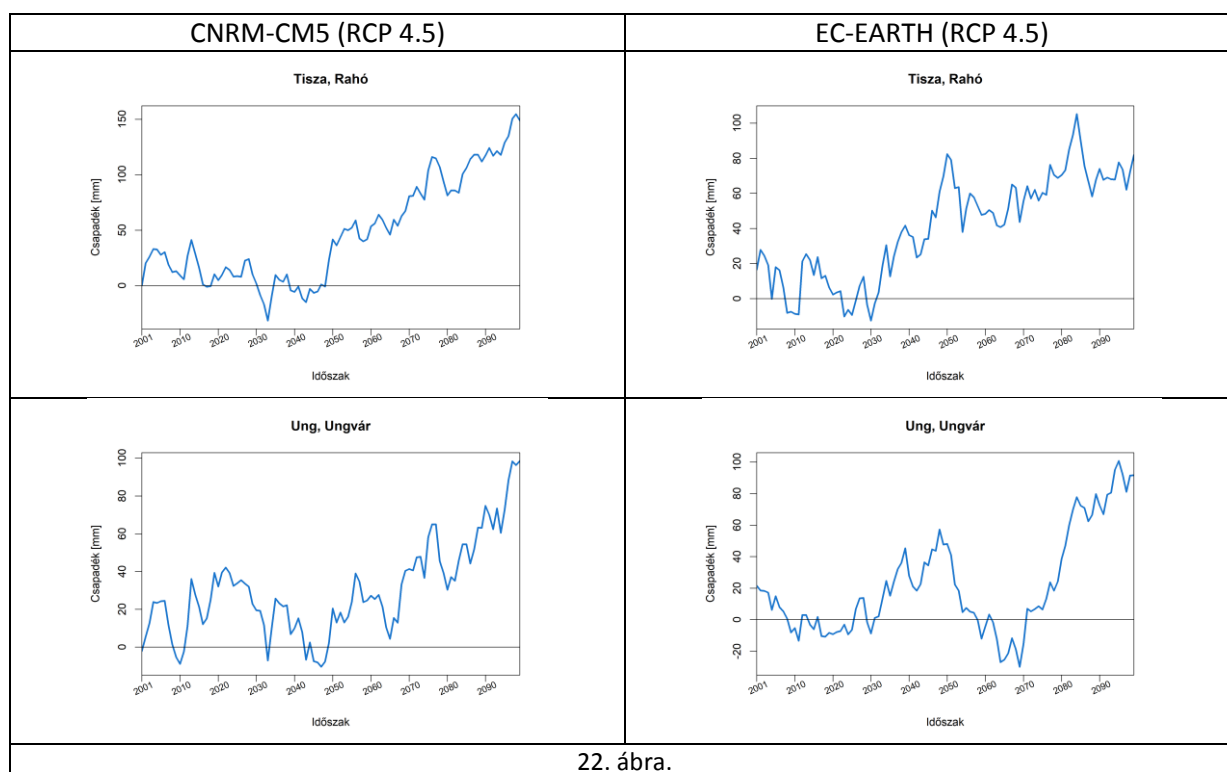


21. ábra. A Tisza modellezett vízgyűjtői.

RCP4.5

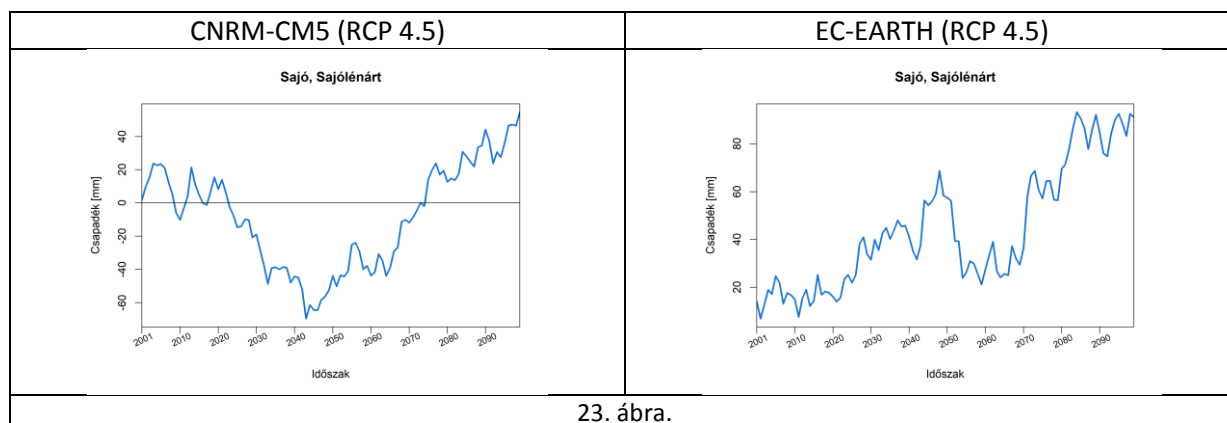
A Tisza vízgyűjtő területén (21. ábra) is szembevető a modell közötti különbség, annak ellenére, hogy itt is mindkét esetben emelkedő tendencia figyelhető meg.

A felső-tiszai vízgyűjtők (A Bodrog torkolati szelvénye feletti vízgyűjtők) modellenként egységes képet (22. ábra) mutatnak. A CNRM-CM5 modellnél a 2050-es évekig a referencia érték körül – néha meglehetősen nagy kilengésekkel – szórnak az éve csapadék értékek, ami után az időszak végéig erőteljes emelkedés figyelhető meg. Az EC-EARTH esetében az időszak hasonlóan hektikus, de tendenciáját tekintve érdemben nem változó értékei után kisebb növekedés figyelhető meg, aminek csúcsa 2050 környékén van, utána azonban jelentős – több esetben jóval a referencia érték alá süllyedő – csökkenés figyelhető meg. Az időszak utolsó 20 évére ismét meredeken emelkedő trend jellemző.



22. ábra.

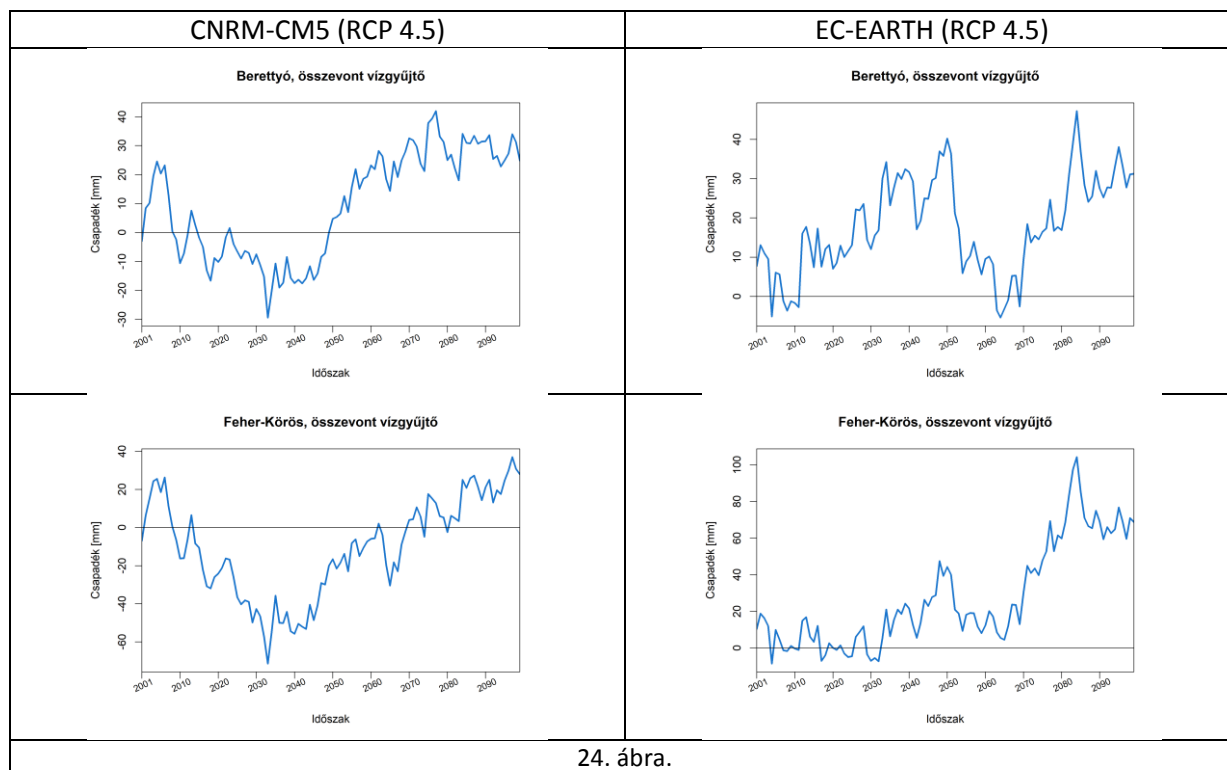
A Sajó-Hernád vízrendszer (23. ábra) szintén egységes, de a felső-tiszai vízgyűjtőktől markánsan eltérő képet mutat a CNRM-CM5 modell esetében. Ezen a három vízgyűjtőn (Hernád, Sajó, Rima) a 2020-as évektől a 2070-es évekig az éves csapadék értékek nem érik el a referencia értéket, sőt az időszak közepén a különbség mértéke jelentős. Az EC-EARTH modell esetében azonban az eredmények nagyjából megegyeznek a felső-tiszai vízgyűjtőkével.



23. ábra.

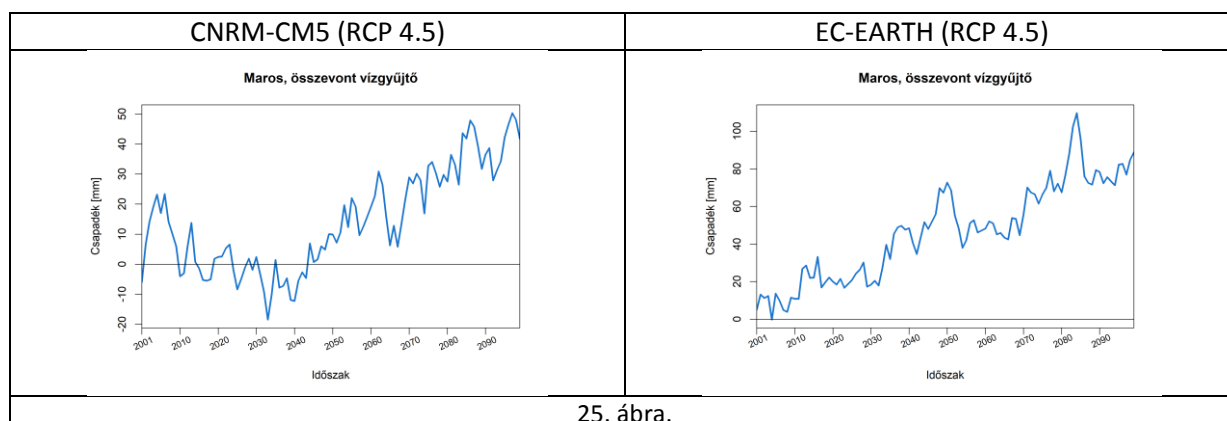
A Berettyó és a Körösök vízgyűjtő területén a CNRM-CM5 modell a 2020-2050-es években mindenhol egységesen jelentős csökkenést mutat (24. ábra). A csapadéértékek csak az időszak második felében haladják meg (<5%) a referencia időszak értékeit.

Az EC-EARTH modell hasonlóan egységes képet mutató, de a másik modelltől eltérő lefutású görbék láthatóak. A teljes időszakot figyelembe véve egy növekvő, de nem túl meredek (<5%) trend rajzolódik ki, amit a 2050-2070-es időszakban egy visszaesés tör meg.



24. ábra.

A Maros vízgyűjtőjén (25. ábra) a CNRM-CM5 modell a 2040-es évekig kisebb mértékű csökkenést jelez, ezután növekedésbe fordul a modellezett időszak végéig. Az EC-EARTH a teljes időszakban nagyobb mértékű és egyenletes növekedést mutat.



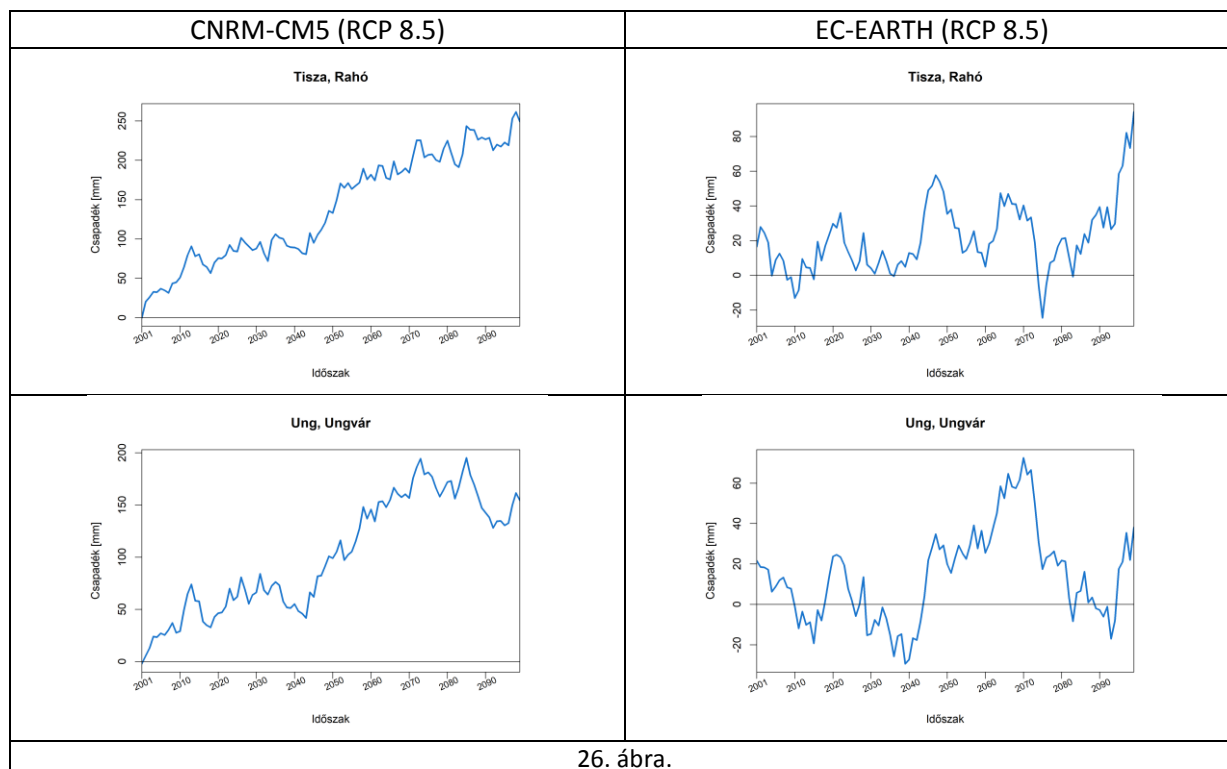
25. ábra.

RCP8.5

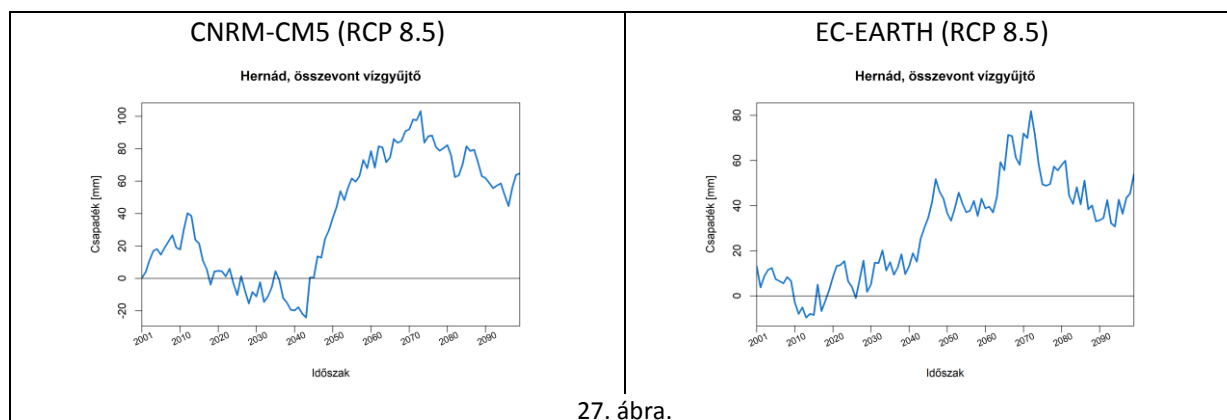
A Tisza összes modellezett vízgyűjtőjét figyelembe véve kijelenthető, hogy a 8.5-ös scenárió esetében a legnagyobb a különbség a két feldogozott modell között az éves csapadékösszeg

tekintetében. Sem a változás mértékében, sem tendenciájában nem mutatkozik hasonlóság a két modell eredményeit összevetve.

A felső-tiszai vízgyűjtőkön (26. ábra) a CNRM-CM5 modell nagymértékű – a teljes időszak végére 10%-nál nagyobb – egyenletes növekedést mutat, míg az EC-EARTH esetében a referencia érték körül nagy amplitúdóval szóró, egyértelmű tendencia nélküli lefutást láthatunk.

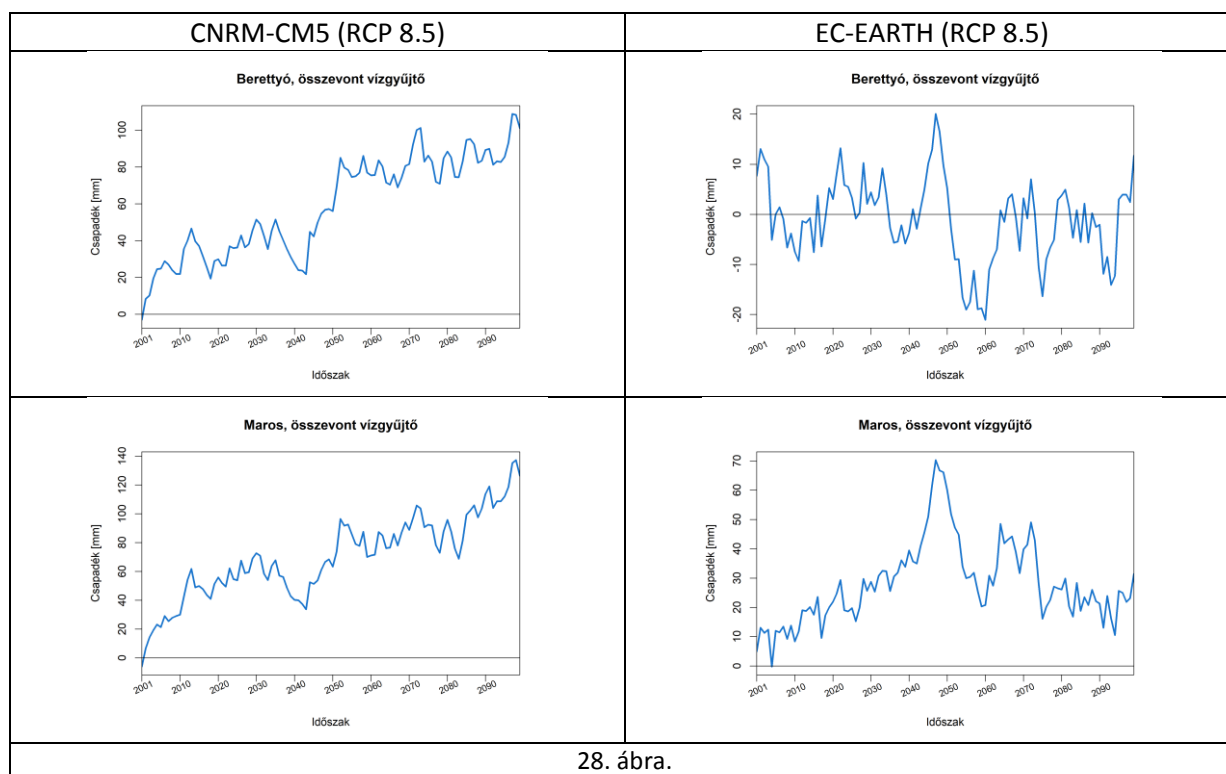


A Sajó-Hernád vízgyűjtőn (27. ábra) a CNRM-CM5 modell mindhárom részvízgyűjtőn (Sajó, Rima, Hernád) a 2040-es évekig enyhén csökkenő tendenciát mutat, de ez után erőteljes növekedés következik 2070 körül elérve a csúcst. Az EC-EARTH modell által mutatott kép leginkább a változás mértékében (~20%-kal kisebb a görbe maximum és minimum értékeinél) tér el, illetve az időszak első felében inkább stagnálás jellemző, így nincs meg a trendváltás sem a 2040-es években.



A Berettyó-Körösös vízrendszeren, valamint a Maros vízgyűjtőjén (28. ábra) a CNRM-CM5 egységesen viszonylag nagyarányú, egyenletesen növekvő csapadéértékeket ad a teljes időszakra. Az EC-EARTH-

nél ezzel szemben nem egységes a kép. A Berettyó és a Körösök esetében a referencia érték körül szóró csapadék értékek láthatók, egyértelmű tendenciák nem jellemzik a vizsgált időszakot. A Maros esetében annyiban más a kép, hogy a teljes időszakban pozitív tartományban mozog a csapadéérték, ami a maximumát a 2040-es évek végén éri el.



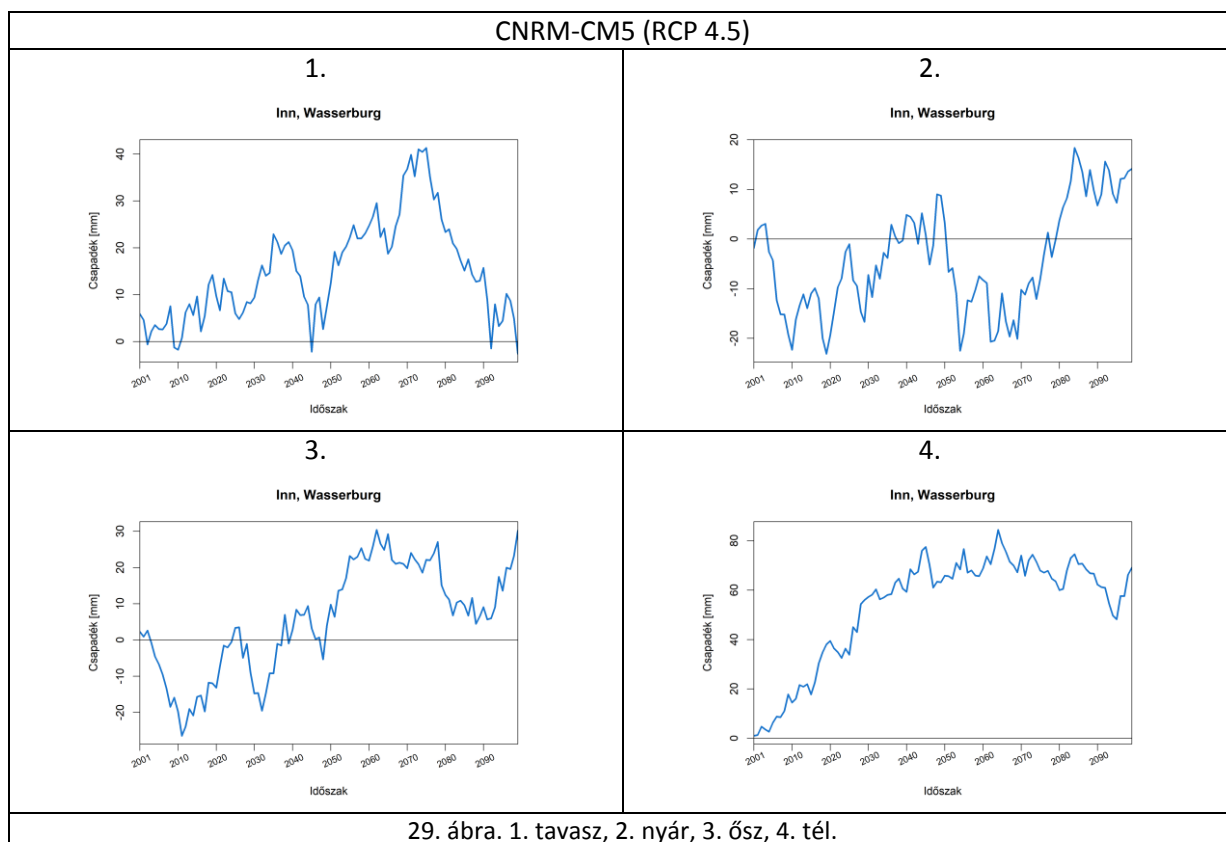
28. ábra.

Az éves csapadékösszeg modelleredményeinek elemzése alapján levonható következtetések az alábbiakban foglalhatók össze:

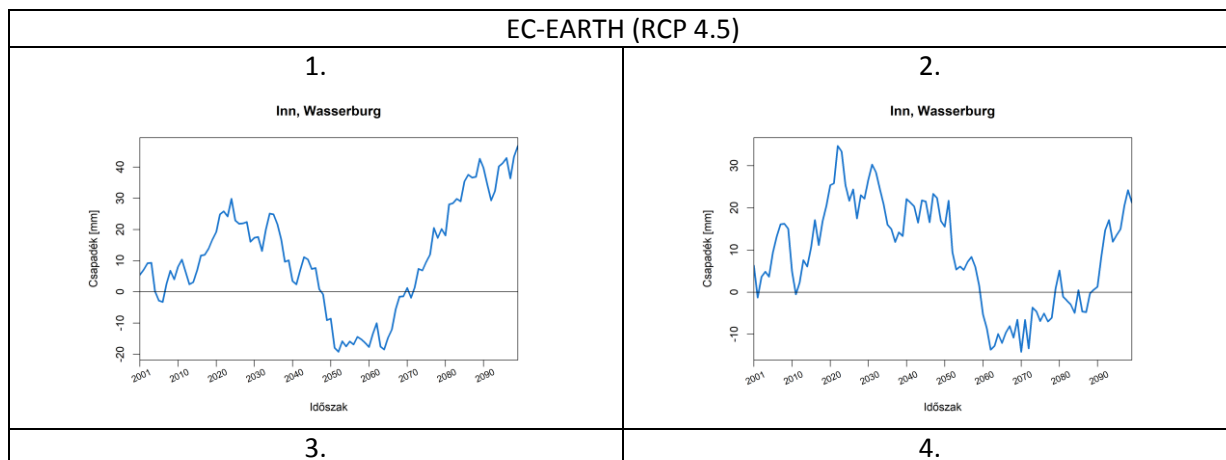
- A két modell eredményei azonos scénáriót figyelembe véve, a vízgyűjtők többségében teljesen más eredményt mutatnak, annak ellenére, hogy a teljes modellezett időszakot vizsgálva – különösen az időszak második felében – jóval gyakoribb a pozitív eltérés a referencia értéktől.
- A vizsgált Duna részvízgyűjtőkön – különösen a nyugati részen – az éves csapadék összege növekvő tendenciát mutat. A tengerszint feletti magasság növekedésével is megfigyelhető ez a tendencia.
- A 8.5-ös scénárión alapuló modelleredmények általában magasabb csapadékösszeget prognosztizálnak az azonos modellel futtatott 4.5-ös scénárióhoz viszonyítva.
- Az vízgyűjtők jelentős részénél megfigyelhető, hogy az azonos scénáriót használó modellek eredményei között adódó különbség nagyobb, mint az azonos modellel futtatott scénáriók között, különös tekintettel a csapadékösszeg időbeli változásának tendenciájára.

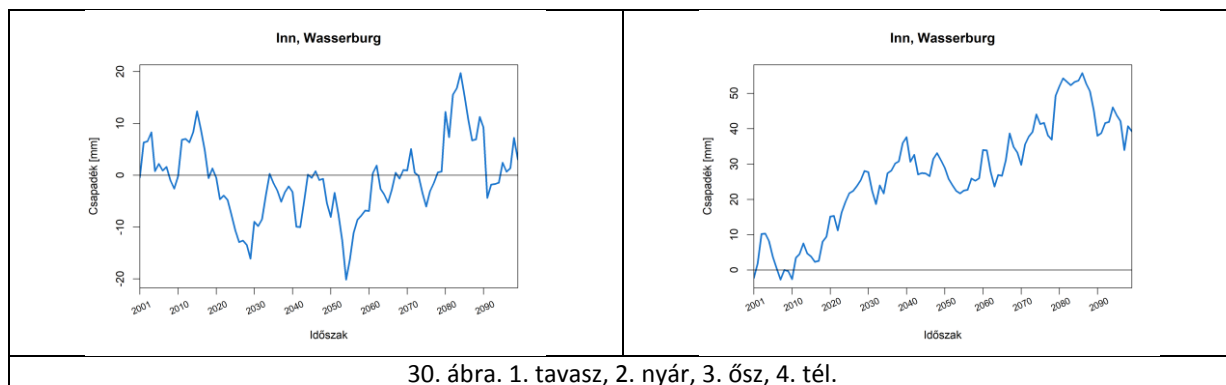
Évszakos csapadékösszeg

Az évszakos csapadékösszegeket a Duna felső vízgyűjtőterületének egy-egy nyugati (Inn; 29-32. ábra) és keleti (Maros; 33-36. ábra), jelentős vízhozamú vízgyűjtőjén keresztül mutatjuk be.

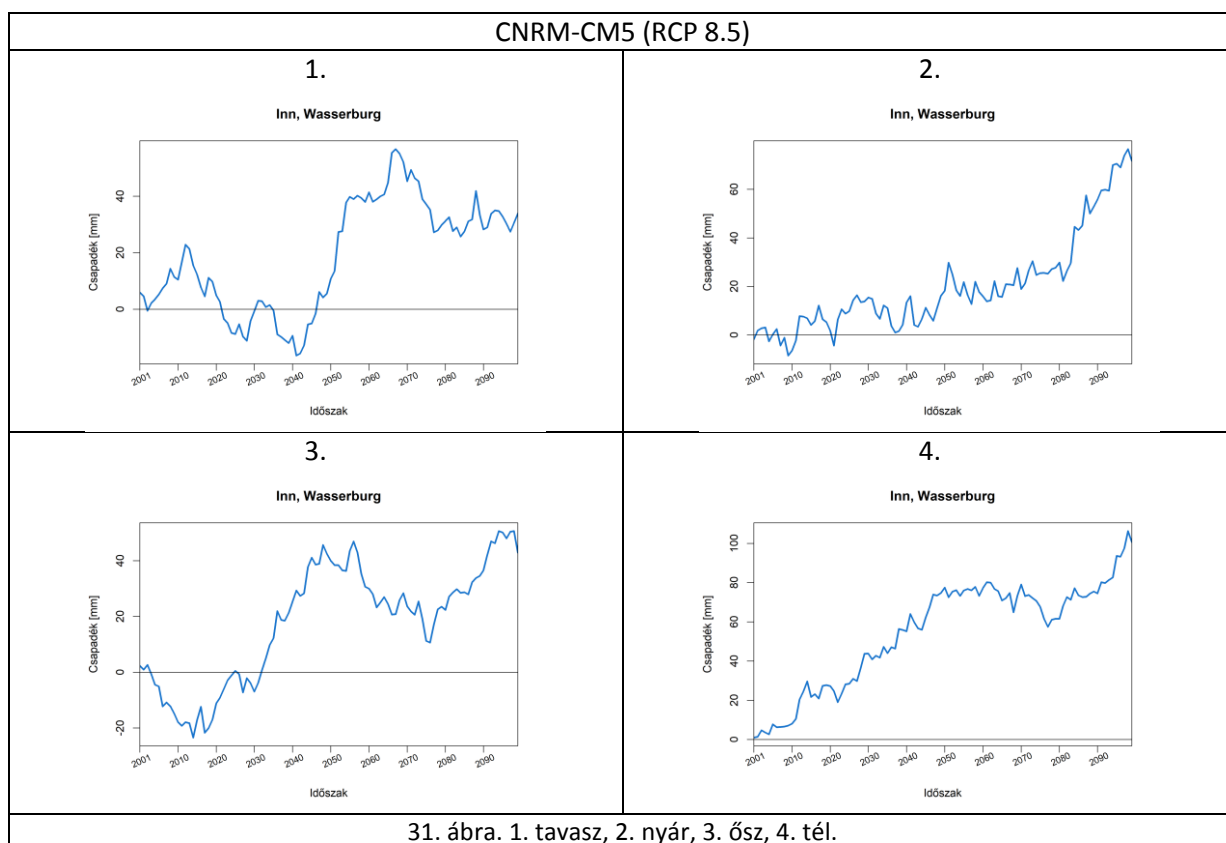


A CNRM-CM5 modell a 4.5-ös scenárión a nyári és őszi időszakban viszonylag kismértékű változást jelez a referencia értékhez képest, az időszak első felében inkább negatív, utána inkább pozitív irányban. A tavaszi periódusban egy erőteljesebb növekedési periódus után, az időszak végére ismét a referencia érték közelébe csökken a csapadékmennyiség értéke. A téli időszakban látszik egyedül jelentős, pozitív irányú növekedés.

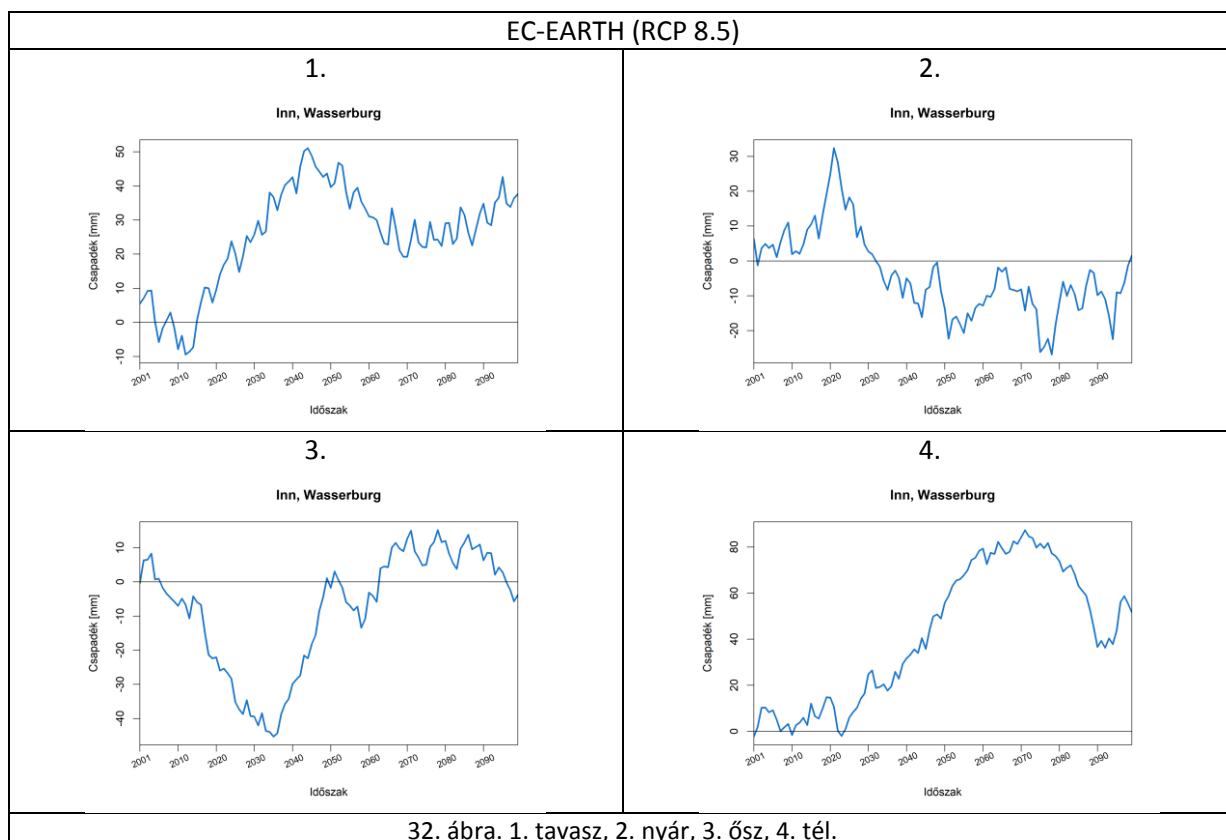




Az EC-EARTH esetében a tavaszi időszak csapadékösszegeinek időbeli változása szinte teljesen ellentétes a CNRM-CM5 modellével, de a nyári és őszi periódusok mind lefutásukban, mind a változás mértékét tekintve hasonlóak. A téli időszakban a tendencia megegyezik a két modellnél, de a változás mértéke az EC-EARTH esetében jóval kisebb.

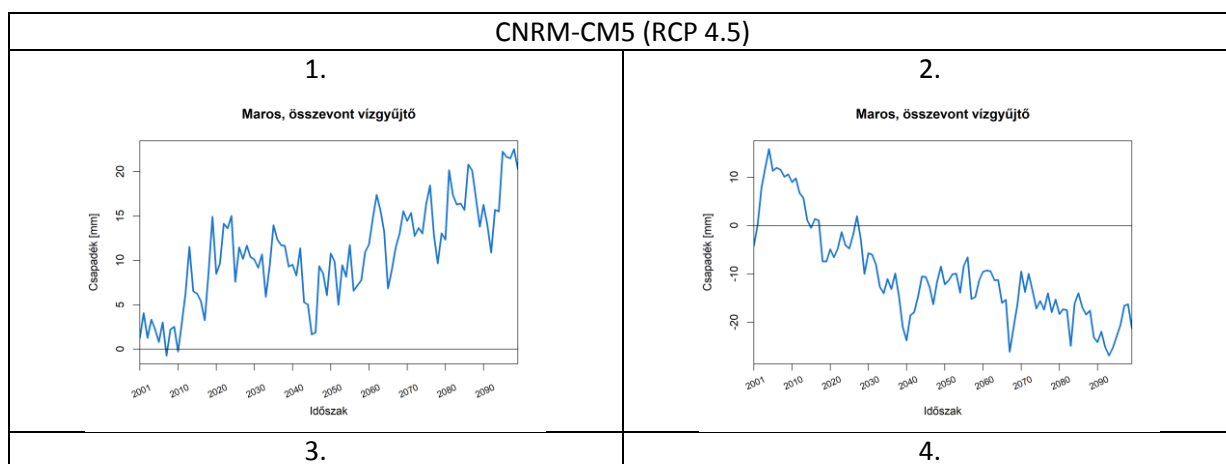


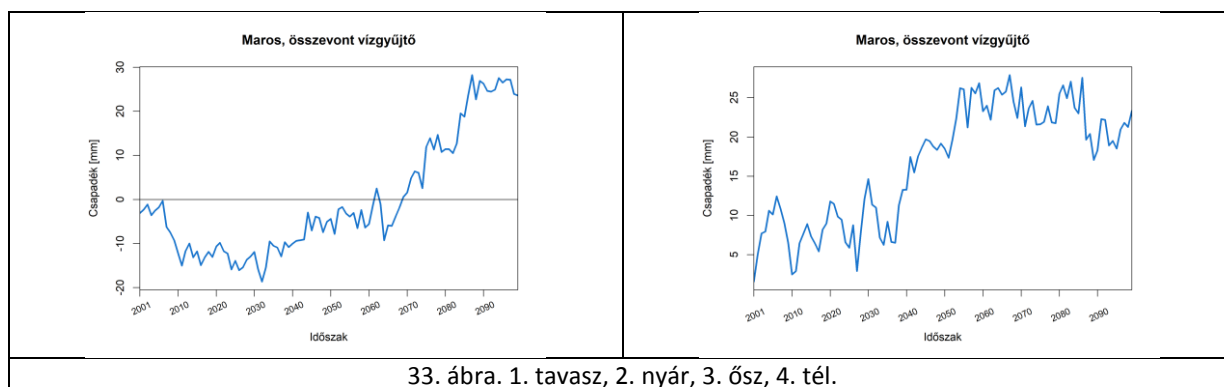
A CNRM-CM5 modell a 8.5-ös scenárion a nyári időszakban viszonylag kismértékű növekedést jelez a 2080-as évekig, ezután azonban meredekebb emelkedés látszik. A tavaszi és őszi periódusban egy kisebb csökkenés után, az időszak második felében kisebb növekedés mutatkozik a csapadékmennyiség értékekben. A téli időszakban itt is jelentős, pozitív irányú növekedés tapasztalható.



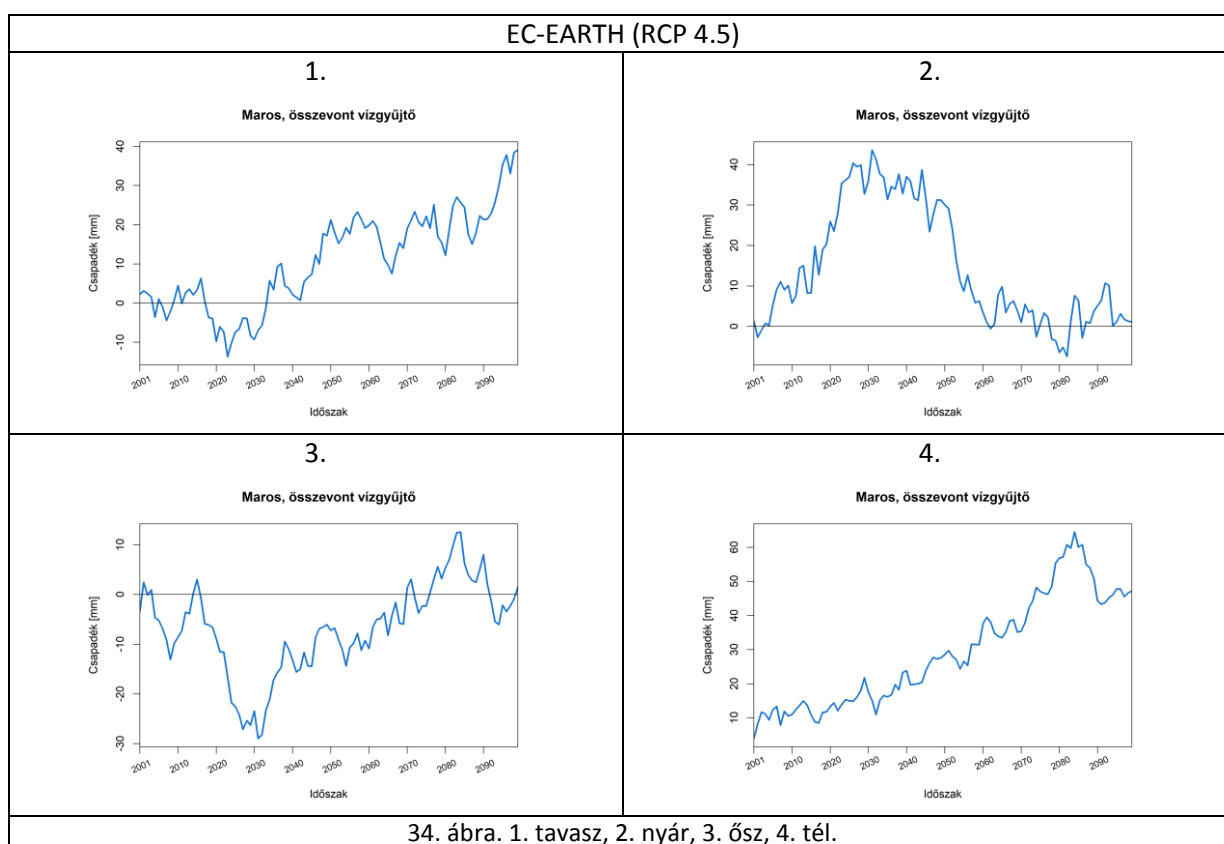
32. ábra. 1. tavasz, 2. nyár, 3. ősz, 4. tél.

Az EC-EARTH esetében a tavaszi időszak csapadékösszegeinek időbeli változása meglepő hasonlóságot mutat a CNRM-CM5 modellével, viszont itt a nyári és őszi periódusok térnek el mind lefutásukban, mind a változás mértékét tekintve. A téli időszakban a 8.5-ös scenáriónál is megegyezik a tendencia a két modellnél, de itt az időszak utolsó harmadában kisebb visszaesés tapasztalható.

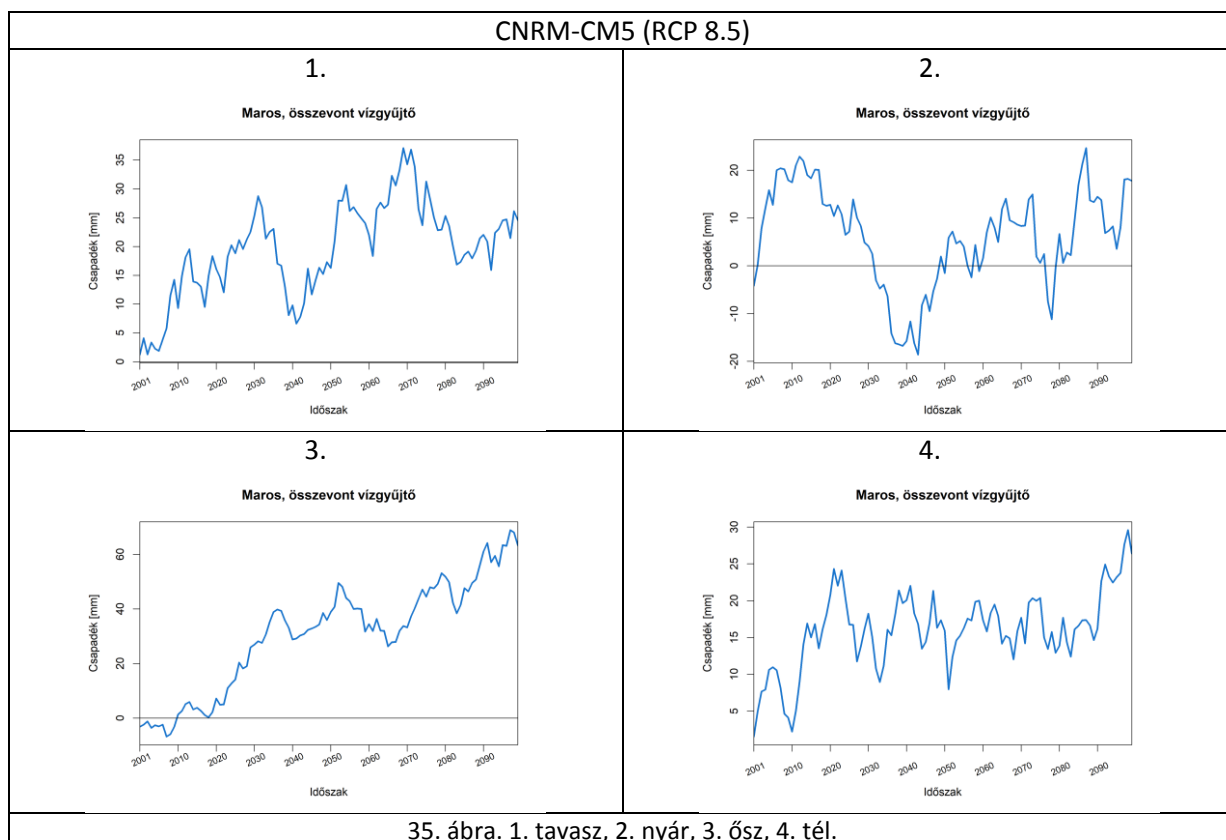




A CNRM-CM5 modell a 4.5-ös scenárión mind a négy évszakra kismértékű változást jelez. A nyári időszakban csökkenő trend jellemző, míg a másik három évszakra növekedést jelez.

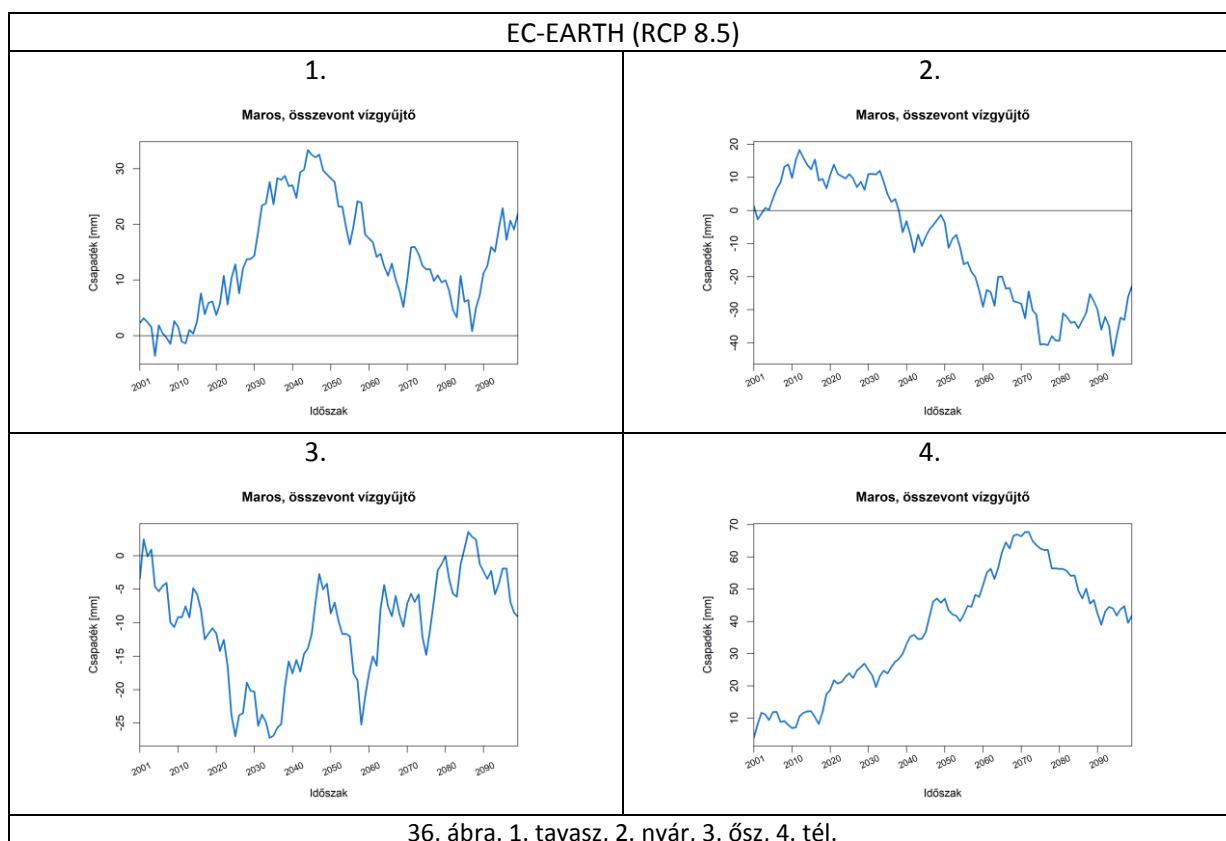


Az EC-EARTH esetében a tavaszi és téli évszakoknál a trend megegyezik a CNRM-CM5-tel, de ebben az esetben a változás mértéke nagyjából kétszerese. A nyári évszakban az időszak első felében jelentős növekedés tapasztalható, ami a második periódusban csökkenésbe fordul és a referencia érték közelébe csökken. Az őszi időszak csökkenést mutat az időszak első felében, ami később visszaerősödik a kiinduló értékre.



35. ábra. 1. tavasz, 2. nyár, 3. ősz, 4. tél.

A CNRM-CM5 modell a 8.5-ös scenárió alapján a tavasz kivételével minden évszakban – ősszel jelentős – növekedést mutat. A tavaszi időszakban a referencia érték körül mozognak a csapadék értékek.



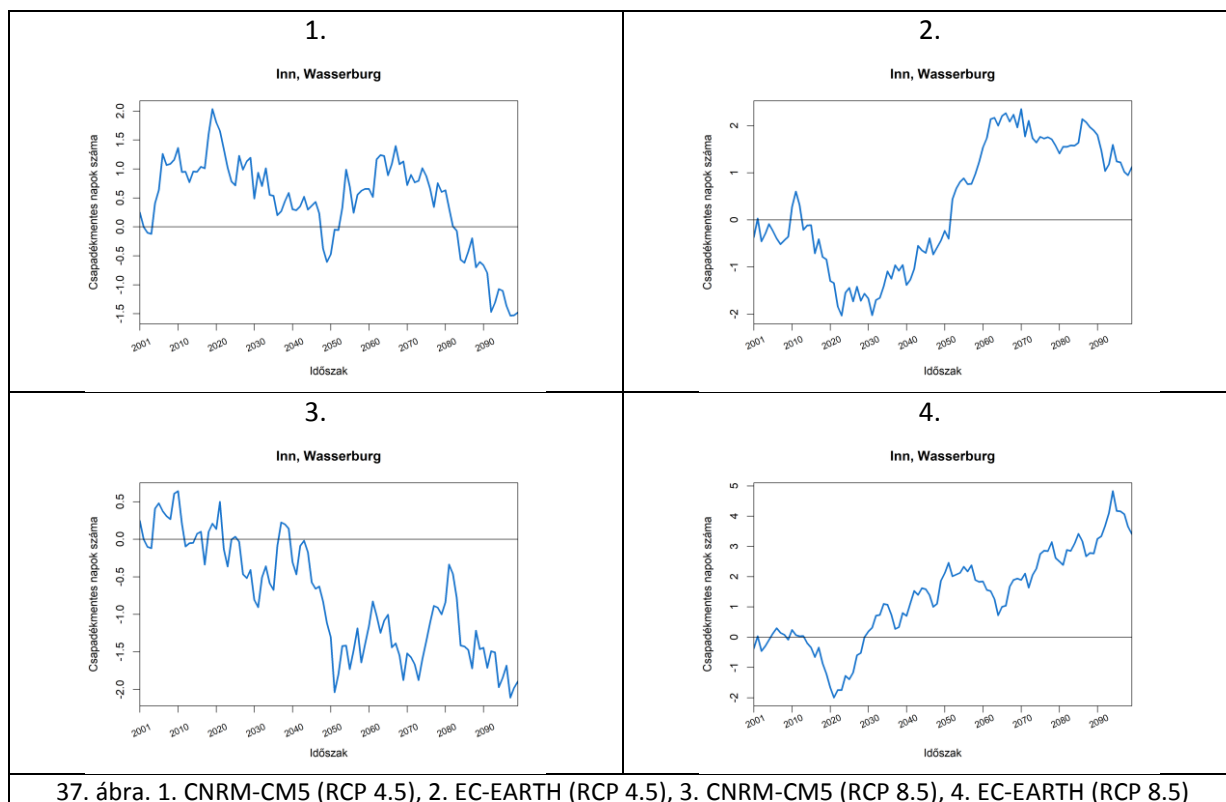
36. ábra. 1. tavasz, 2. nyár, 3. ősz, 4. tél.

Az EC-EARTH modellnél a téli időszakban mutatkozik ismét egy erőteljes növekedés végig növekvő trend mellett, míg nyáron és ősszel jobbra a kiinduló érték alatt marad a görbe. Tavasszal az időszak közepéig erőteljes növekedés tapasztalható, ami a 2050-es évektől csökkenésbe fordul.

Az összes vizsgált vízgyűjtő modelleredményeit tekintve kijelenthető, hogy a téli időszakra mindenhol csapadéknövekedés prognosztizálható mindkét scenáriónál, így az éves csapadéktöbblet jelentős része a téli időszakban várható. A többi évszakban nem ennyire egyértelmű a kép, így további következtetéseket hidrológiai modellezés nélkül nem lehet levonni.

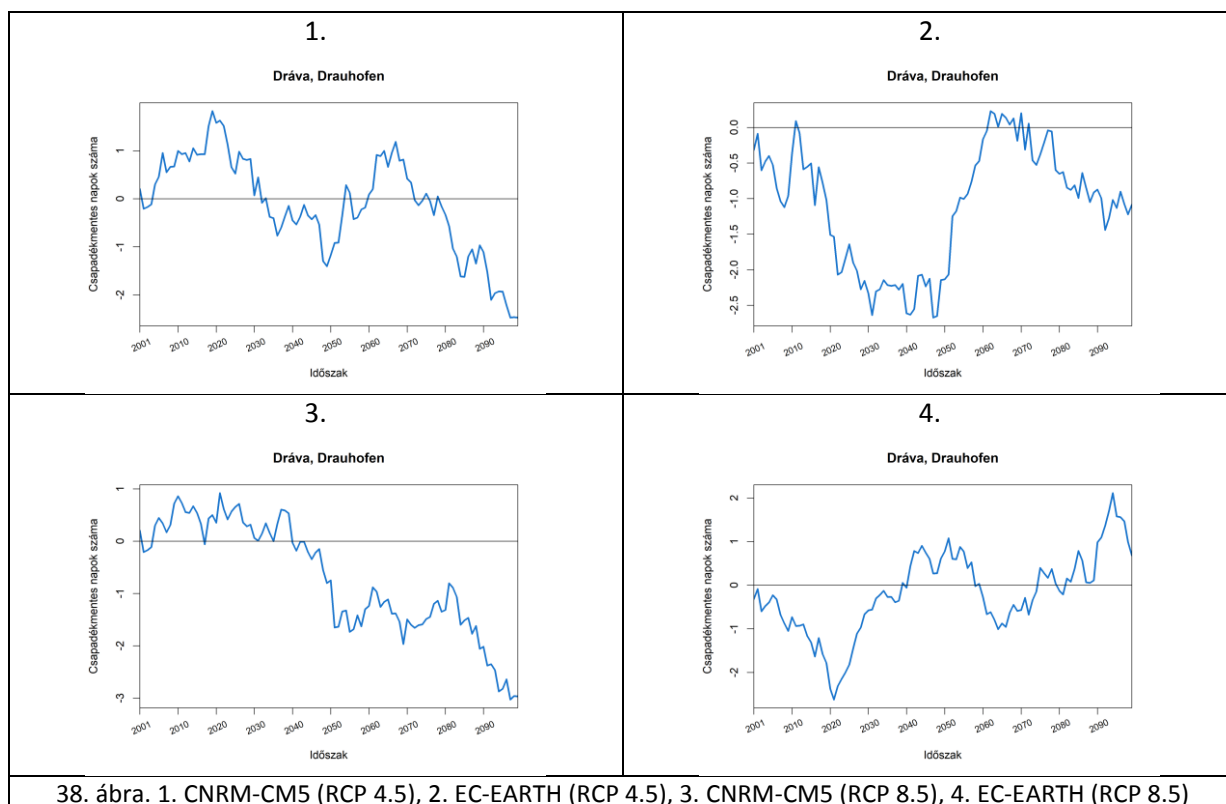
Csapadékmentes napok száma

A csapadékmentes napok számának alakulása hidrológiai szempontból a tavaszi-nyári időszakban releváns, különös tekintettel a csapadékösszeg eredményekre, mivel a téli időszakban jelzett csapadéknövekedés mellett a magasabb, hidrológiai szempontból meghatározó vízgyűjtőkön a hófelhalmozódás miatt a lehullott csapadék amúgy sem jelenik meg azonnal a lefolyás értékekben. A csapadékmentes napok számának várható változását három vízgyűjtőn (Inn, Dráva, Maros) mutatjuk be a nyári időszakra vonatkozóan.



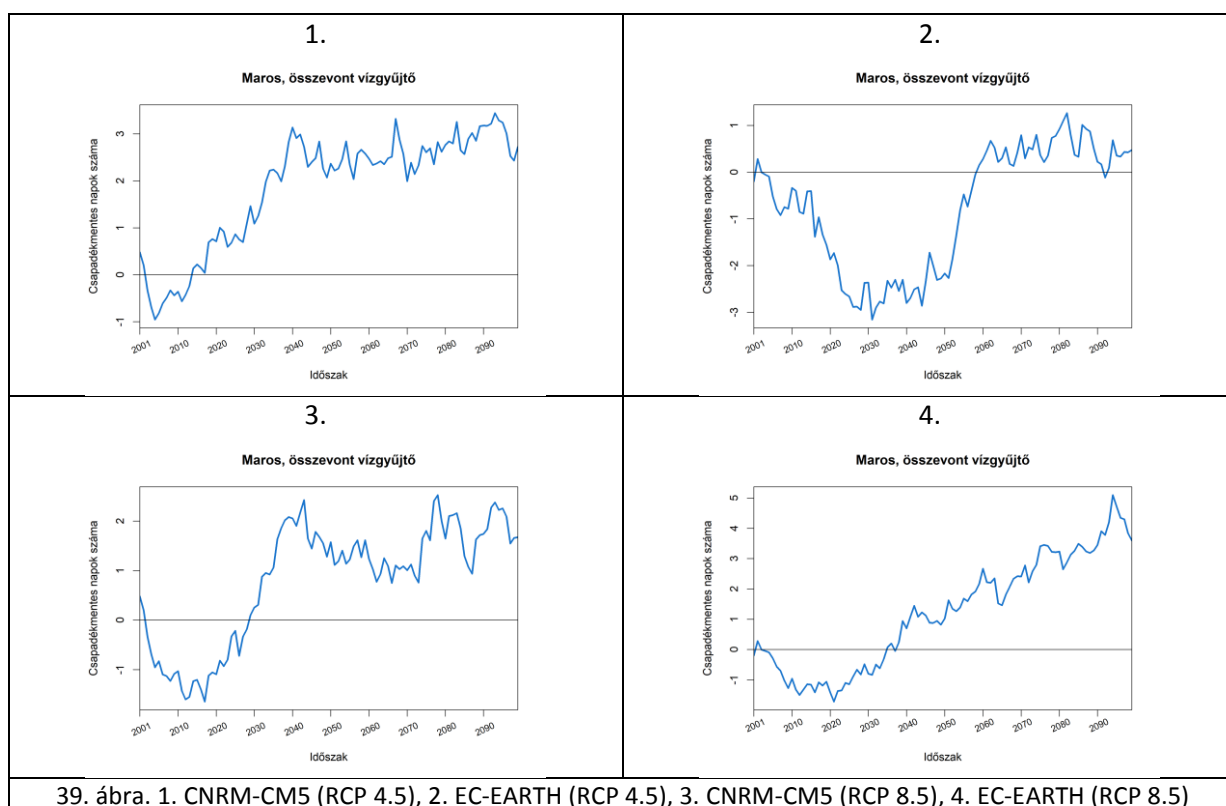
37. ábra. 1. CNRM-CM5 (RCP 4.5), 2. EC-EARTH (RCP 4.5), 3. CNRM-CM5 (RCP 8.5), 4. EC-EARTH (RCP 8.5)

Az Inn vízgyűjtőjén csak az EC-EARTH RCP 8.5 mutat jelentős növekedést csapadékmentes napok számában. A CNRM-CM5 RCP 4.5 és 8.5 kis mértékű csökkenést prognosztizál.



38. ábra. 1. CNRM-CM5 (RCP 4.5), 2. EC-EARTH (RCP 4.5), 3. CNRM-CM5 (RCP 8.5), 4. EC-EARTH (RCP 8.5)

A Dráva vízgyűjtőjén a négy modelleredmény közül egy sem mutat számottevő növekedést a csapadéktmentes napok számában, sőt a CNRM-CM5 modell mindkét szcenárióban csökkenést jelez.



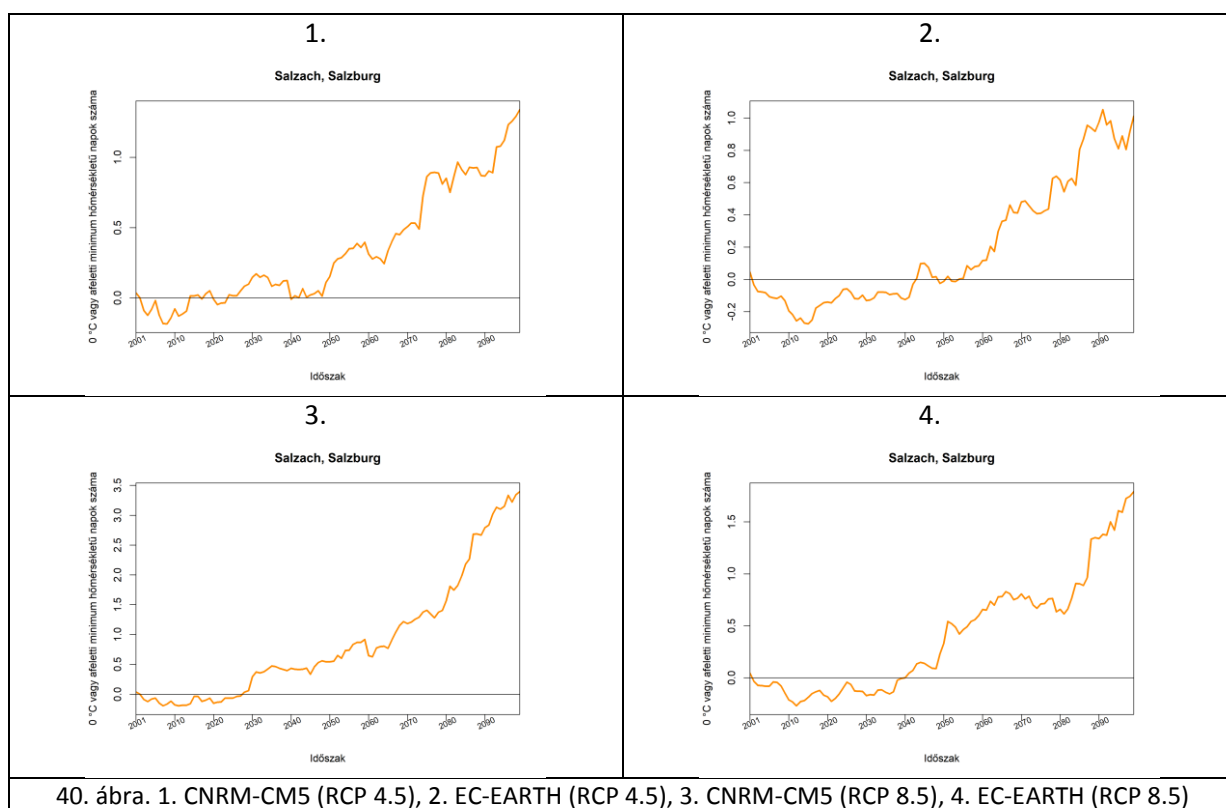
39. ábra. 1. CNRM-CM5 (RCP 4.5), 2. EC-EARTH (RCP 4.5), 3. CNRM-CM5 (RCP 8.5), 4. EC-EARTH (RCP 8.5)

A Maros vízgyűjtő területén már inkább jellemző a növekvő tendencia. Három modell is növekedést mutat a teljes időszakot figyelembe véve, de jelentősnek csak az EC-EARTH RCP 8.5 mondható.

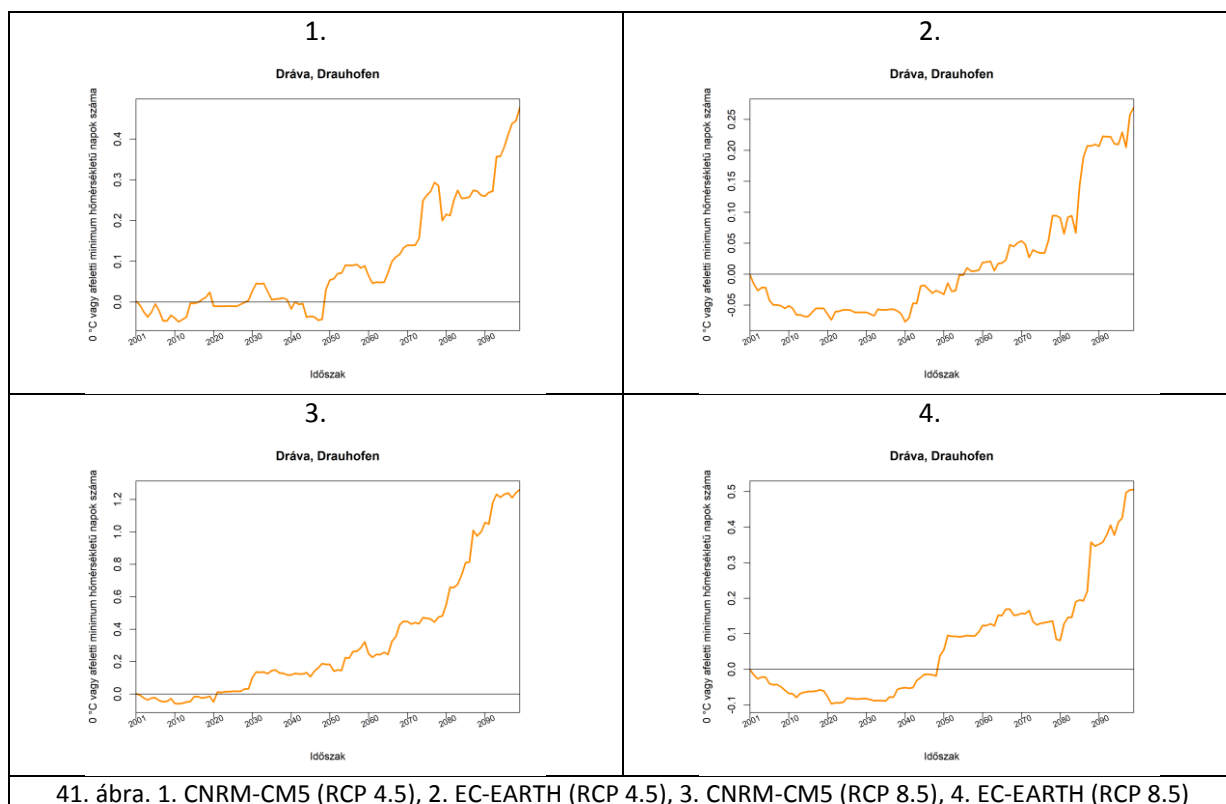
Az összes vízgyűjtőt figyelembe véve általánosságban elmondható, hogy – az évszaksos csapadékösszeg eredményekkel összhangban – télen a csapadékmentes napok száma csökkenő tendenciát mutat. Emellett, a vizsgált vízgyűjtő többségénél megfigyelhető őszen a csapadékmentes napok számának növekedése. A tavaszi-nyári időszakban egyértelmű trend nem látszik, illetve prognosztizált a változások mértéke sem számottevő.

A 0°C feletti minimum hőmérsékletű napok száma

A fagymentes napok számának változása hidrológiai szempontból a hófelhalmozódási periódus hosszáról és ezzel összefüggésben a hóhatár magasságának változásáról ad információt. A modell eredmények bemutatására a három nagy vízrendszer (Duna, Dráva, Tisza) legnagyobb átlagmagasságú vízgyűjtőinek (Salzach, Dráva, Tisza) február havi értékeit választottuk, mivel a téli időszakban a hóban tárolt vízkészlet alakulására itt lehet a legnagyobb hatással egy-egy melegedési periódus.

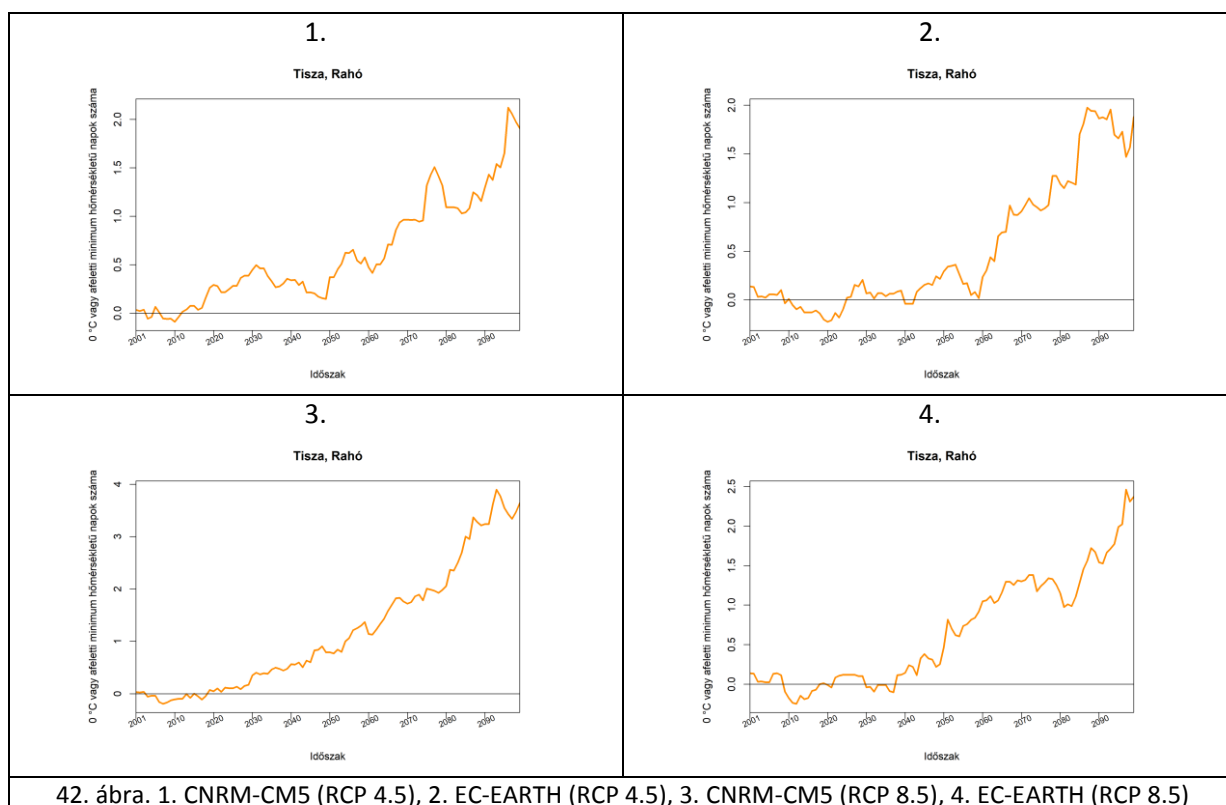


A Salzach vízgyűjtőjén (40. ábra) mind a négy modell növekvő trendet mutat. A 2050-es évektől minden érték pozitív tartományban van a referencia értékhez képest, illetve ebben az időszakban a növekedés üteme is jelentősen nő. A legnagyobb változást a CNRM-CM5 8.5-ös modell adja.



41. ábra. 1. CNRM-CM5 (RCP 4.5), 2. EC-EARTH (RCP 4.5), 3. CNRM-CM5 (RCP 8.5), 4. EC-EARTH (RCP 8.5)

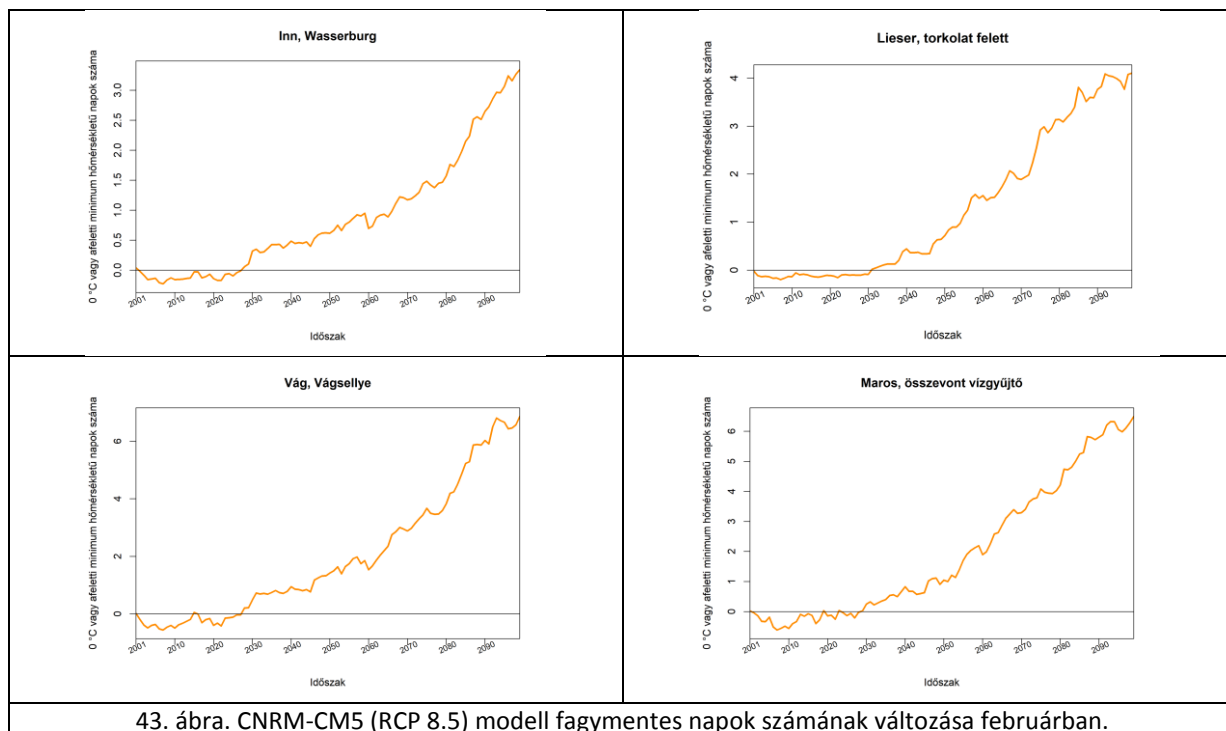
A Salzach vízgyűjtőjéhez hasonlóan a Dráva (41. ábra) is mind a négy modellnél emelkedő tendenciát ad, bár a két EC-EARTH modell esetében a 2050-es évekig a kiinduló érték alatt marad fagymentes napok száma. A Dráva esetében is megfigyelhető, hogy az időszak második felében gyorsul föl a fagymentes napok számának növekedése, ami itt is a CNMR-CM5 8.5-ös modellnél a legnagyobb.



42. ábra. 1. CNRM-CM5 (RCP 4.5), 2. EC-EARTH (RCP 4.5), 3. CNRM-CM5 (RCP 8.5), 4. EC-EARTH (RCP 8.5)

A Tisza (42. ábra) is az előző két vízgyűjtővel egyező képet mutat minden tekintetben. Az egyetlen különbség – a növekedés mértéke – minden bizonnyal a vízgyűjtő alacsonyabb átlagmagasságából fakad. Ennek megfelelően a fagymentes napok száma nagyobb mértékben növekszik.

A három bemutatott vízgyűjtőn látható tendencia az összes modellezett vízgyűjtő esetében megfigyelhető. Mindkét modell mindkét scenárión a fagymentes napok számának növekedését prognosztizálja. Az alacsonyabb átlagmagasságú vízgyűjtőkön értelemszerűen a változás abszolút értékben kifejezve nagyobb mértékben nő. A legnagyobb növekedést a CNRM-CM5 8.5-ös modell adja (43. ábra), ahol a növekedés mértéke az alacsonyabb vízgyűjtőkön a hónap teljes hosszára vetítve is számottevő.



A téli csapadék várható növekedésével, illetve a 2050-es évektől várható markáns melegedés következményeként alapvetően megváltozhat a Duna éves vízjárása, hiszen a növekvő csapadékmennyiség ellenére feltehetően csökkenni fog a tél során felhalmozódó hó mennyisége – a felhalmozódást megszakító olvadási periódusok miatt – ezáltal csökken a nagy tavaszi árvizek bekövetkezésének valószínűsége is (egy-egy hidegebb évben viszont nagyobb hófelhalmozódással kell számolni). A téli lefolyás az időszakos oladás miatt általában nőhet, viszont a hóban tárolt vízkészlet várható csökkenése csökkentheti a tavaszi-nyár eleji vízhozamokat szárazabb periódusokban.

Irodalomjegyzék

- [1] Bálint, G. (2009): Hydrological Impacts of Climate Change. – <http://www.clavier-eu.org>
- [2] Szépszó, G., Sábitz, J., Zsebeházi, G., Szabó, P., Illy, T., Bartholy, J., Pieczka, I., Pongrác, R. (2015): A klímamodellekből levezethető indikátorok alkalmazási lehetőségei. — Kézirat, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
- [3] van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K. (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, 5–31.
- [4] Cubasch, U., Wuebbles, D., Chen, D., Facchini, M.C., Frame, D., Mahowald, N., Winther, J.G. (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- [5] Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G.R. (2009): Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin* 58 (3).
- [6] EURO-CORDEX simulations: <http://www.euro-cordex.net/060376/index.php.en>
- [7] General Instructions for CORDEX integrations:
http://www.cordex.org/images/pdf/cordex_general_instructions.pdf
- [8] CORDEX terms of use:
http://cordex.dmi.dk/joomla/images/CORDEX/cordex_terms_of_use.pdf
- [9] IPCC Expert Meeting Report: Towards New Scenarios
Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, R., van Vuuren, D., Weyant, J., Wilbanks, T., van Ypersele, J.P., Zurek, M. (2008): *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies.* Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp.
- [10] EURO-CORDEX: <http://www.euro-cordex.net/060378/index.php.en>
- [11] Földi, L., Halász, L. (2014): OVSZ hidrológiai modellező és előrejelző rendszer. in: *Környezetmérnökök katasztrófavédelmi feladatai.* Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet.

https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/20110089_09_katasztrofavedelmifeladatok/c_h02s02.html

A. Melléklet

Az OVSZ hidrológiai modelljében használt vízgyűjtőkre előállított klimatológiai paraméterek ASCII és ESRI shape állományainak listája. Az ASCII állományok Excel kompatibilis struktúrában készültek el.

CATCHMENT_RCA.C_rcp45_pr_1971-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp45_pr_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp45_pr_SEA_1971-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp45_RRO_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp45_RRO_SEA_1971-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp45_tnGE0_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp45_tnLT0_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp85_pr_1971-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp85_pr_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp85_pr_SEA_1971-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp85_RRO_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp85_RRO_SEA_1971-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp85_tnGE0_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.C_rcp85_tnLT0_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp45_pr_1971-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp45_pr_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp45_pr_SEA_1971-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp45_RRO_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp45_RRO_SEA_1971-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp45_tnGE0_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp45_tnLT0_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp85_pr_1971-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp85_pr_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp85_pr_SEA_1971-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp85_RRO_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp85_RRO_SEA_1971-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp85_tnGE0_MON_1970-2100
CATCHMENT_RCA.E_rcp85_tnLT0_MON_1970-2100

Fájlok elnevezése: „CATCHMENT”_modell_forgatókönyv_változó_(időbeli) felbontás_időszak

modell:

- **RCA.C** - az RCA4 regionális modell szimulációja, a CNRM-CM5 globális modell adataival meghajtva
- **RCA.E** - az RCA4 regionális modell szimulációja, az EC-EARTH globális modell adataival meghajtva

forgatókönyv:

- **RCP 4.5**
- **RCP 8.5**

változó:

- **pr** - csapadék
- **RR0** - csapadékmentes napok száma
- **tnLT0** - a 0 celsius fok alatti minimum hőmérsékletű napok száma ($T_n < 0$)
- **tnGE0** - a 0 celsius fok vagy afeletti minimum hőmérsékletű napok száma ($T_n \geq 0$)

Időbeli felbontás:

- **MON** - havi adatok
- **SEA** - évszakos adatok
- Ahol nincs, ott éves adatokról van szó.

időszak:

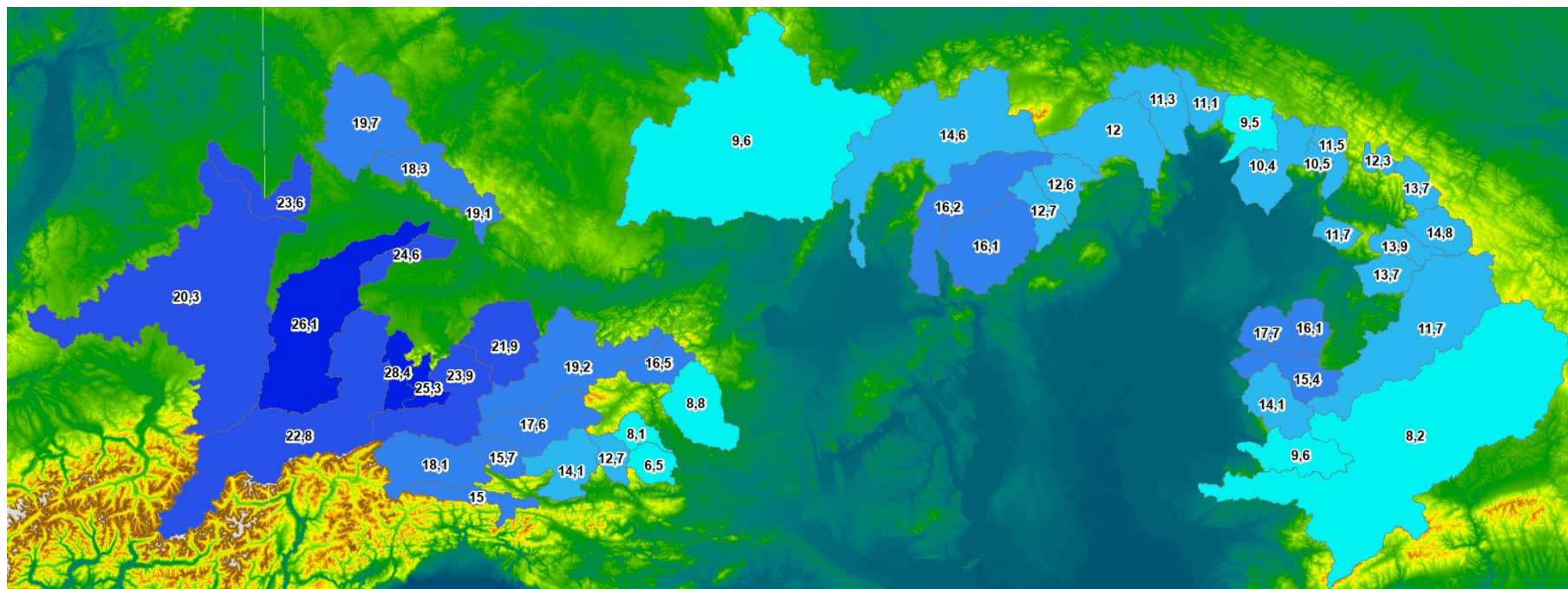
a lefedett időszak.

B. Melléklet.

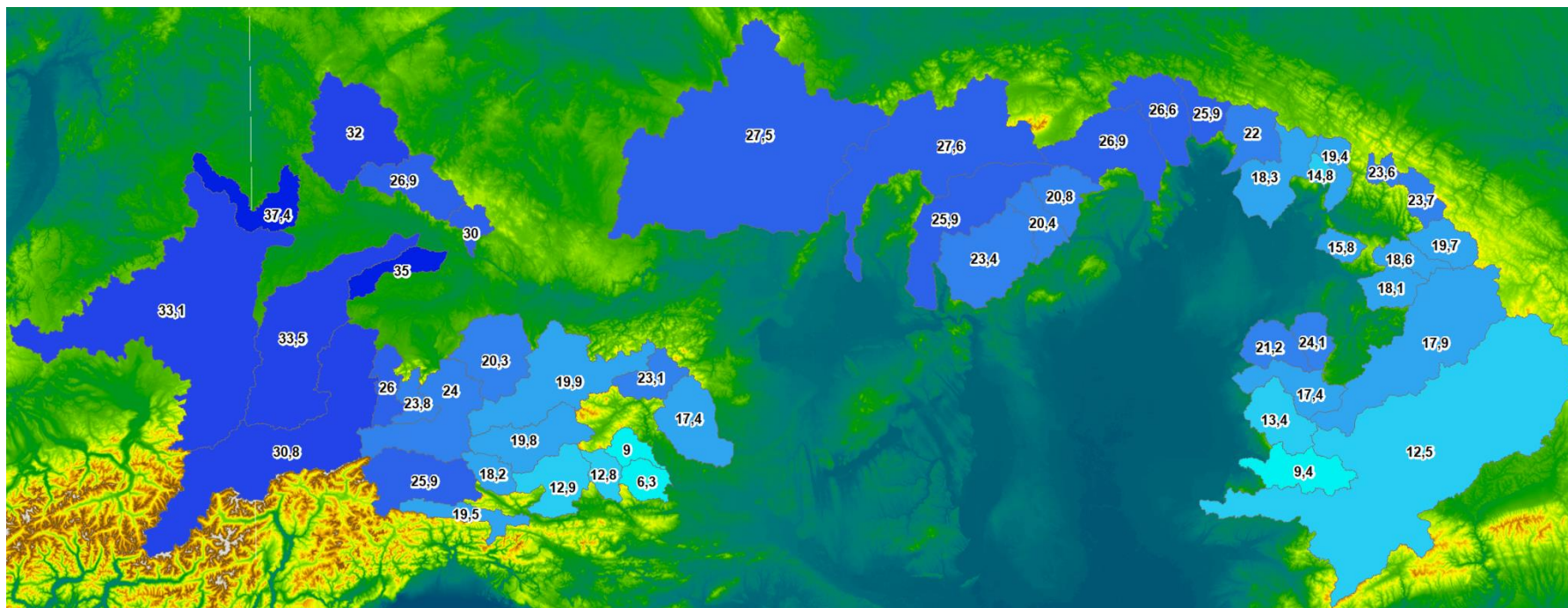
VÍZGYŰJTŐ KÓDOK		vízfolyás	vízmérce
CATCHMENT	1	Altmühl	Beilngries
CATCHMENT	2	Alz	Seebruck
CATCHMENT	3	Berettyó	Márkaszék
CATCHMENT	4	Berettyó	Szalárd
CATCHMENT	5	Borzsa	Dolha
CATCHMENT	6	Dráva	Villach
CATCHMENT	7	Duna	Ingolstadt
CATCHMENT	8	Enns	Steyr
CATCHMENT	9	Fehér-Körös	Borosjenő
CATCHMENT	10	Fehér-Körös	Honctő
CATCHMENT	11	Fekete-Körös	Tenke
CATCHMENT	12	Gail	torkolat
CATCHMENT	13	Garam	Kéménd
CATCHMENT	14	Gurk	torkolat
CATCHMENT	15	Hernád	Hidasnémeti
CATCHMENT	16	Hernád	Aboskőszeg
CATCHMENT	17	Ilz	torkolat
CATCHMENT	18	Inn	Wasserburg
CATCHMENT	19	Ipoly	Szalka
CATCHMENT	20	Isar	Plattling
CATCHMENT	21	Iza	Farkasrév
CATCHMENT	22	Kainach	torkolat
CATCHMENT	23	Kraszna	Alsószopor
CATCHMENT	24	Laborc	Homonna
CATCHMENT	25	Lápos	Hagymáslápos
CATCHMENT	26	Latorca	Munkács
CATCHMENT	27	Lavant	torkolat
CATCHMENT	28	Lieser	torkolat
CATCHMENT	29	Maros	Arad
CATCHMENT	30	Maros	Branyicska
CATCHMENT	31	Maros	Gyulafehérvár
CATCHMENT	32	Maros	Soborsin
CATCHMENT	33	Morva	Morvaszentjános
CATCHMENT	34	Mürz	torkolat
CATCHMENT	35	Naab	Heitzenhofen
CATCHMENT	36	Nagy-ág	Huszt
CATCHMENT	37	Ondava	Hór
CATCHMENT	38	Rába	Szentgotthárd
CATCHMENT	39	Regen	Marienthal
CATCHMENT	40	Rima	Velkenye
CATCHMENT	41	Saalach	Unterjettenberg

CATCHMENT	42	Sajó	Sajólénártfalva
CATCHMENT	43	Salzach	Salzburg
CATCHMENT	44	Sebes-Körös	Csucsá
CATCHMENT	45	Sebes-Körös	Nagyvárad
CATCHMENT	46	Sulm	torkolat
CATCHMENT	47	Szamos	Dés
CATCHMENT	48	Tarac	Királymező
CATCHMENT	49	Tisza	Rahó
CATCHMENT	50	Traun	Wels-Lichtenegg
CATCHMENT	51	Túr	Túrterebes
CATCHMENT	52	Ung	Ungvár
CATCHMENT	53	Vág	Vágsellye
CATCHMENT	54	Vils	torkolat
CATCHMENT	55	Visó	Beszterce
CATCHMENT	56	Berettyó	összevont
CATCHMENT	57	Fehér-Körös	összevont
CATCHMENT	58	Hernád	összevont
CATCHMENT	59	Maros	összevont
CATCHMENT	60	Sebes-Körös	összevont
CATCHMENT	61	Mura	Zeltweg

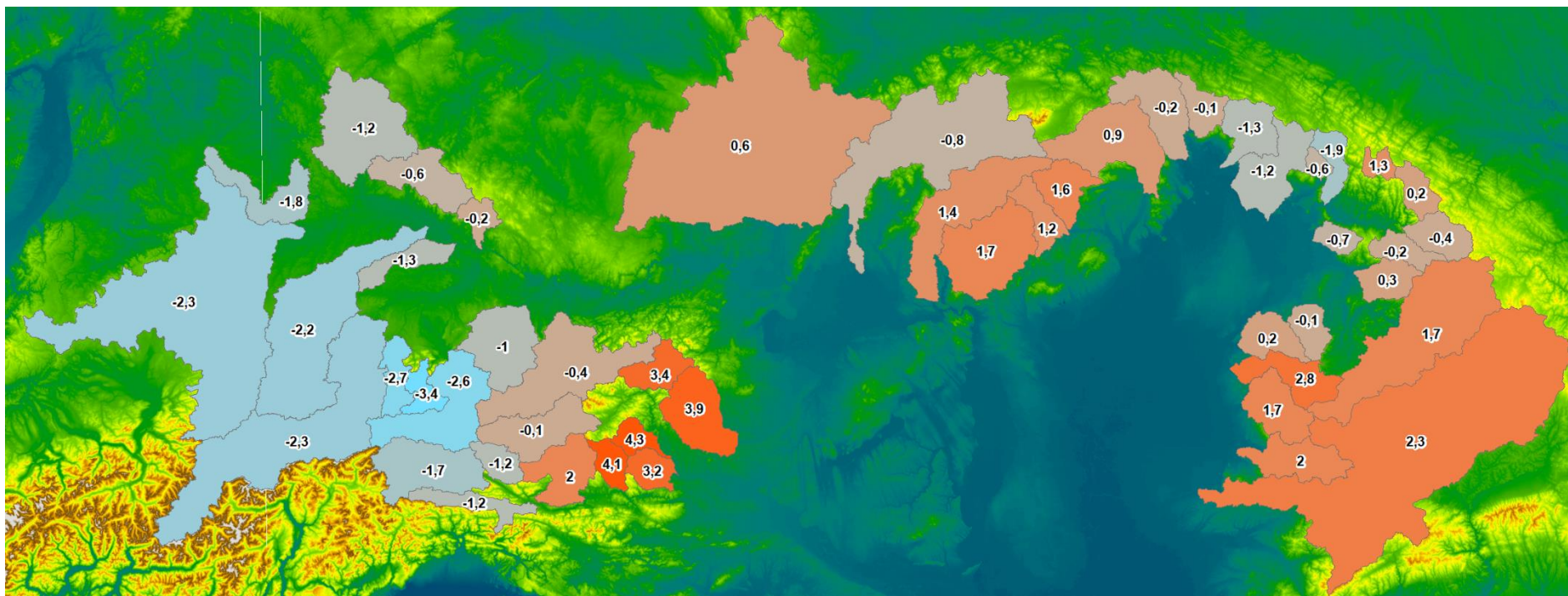
C. Melléklet.



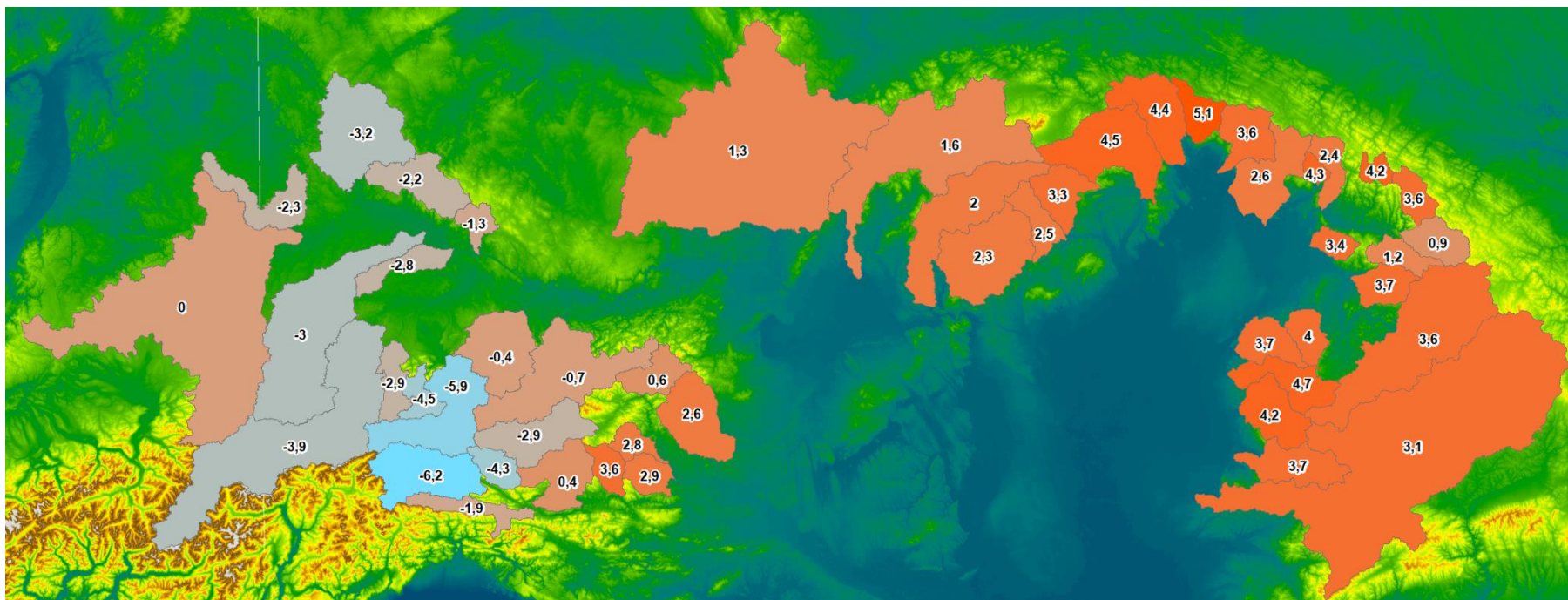
A téli csapadék mennyiségének változása a %-ban kifejezve 2021-2050-es harminc éves időszakra vonatkozóan a referencia időszakhoz képest (CNMR-CM5 modell, 8.5-ös scenárió).



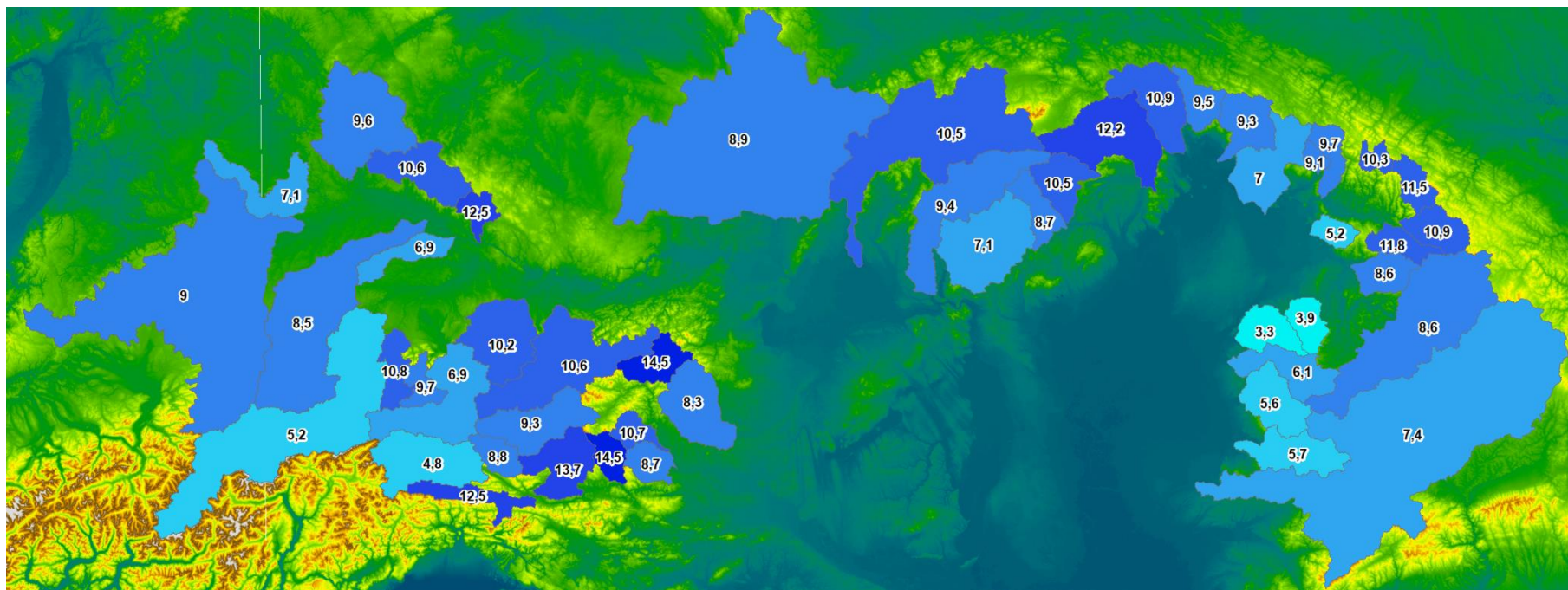
A téli csapadék mennyiségének változása a %-ban kifejezve 2071-2100-es harminc éves időszakra vonatkozóan a referencia időszakhoz képest (CNMR-CM5 modell, 8.5-ös scenárió).



A nyári csapadékmentes napok számának változása a 2021-2050-es harminc éves időszakra vonatkozóan a referencia időszakhoz képest (CNMR-CM5 modell, 8.5-ös scenárió).



A nyári csapadékmentes napok számának változása a 2071-2100-es harminc éves időszakra vonatkozóan a referencia időszakhoz képest (CNMR-CM5 modell, 8.5-ös scenárió).



Az áprilisi fagymentes napok számának változása a 2071-2100-es harminc éves időszakra vonatkozóan a referencia időszakhoz képest (CNMR-CM5 modell, 8.5-ös scenárió).