

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

A Kárpát-medence csapadékviszonyainak és aszályhajlamának jövőben várható tendenciái a PRECIS eredmények alapján



SZAKDOLGOZAT

Készítette: Hollósi Brigitta
III. éves földtudomány alapszakos,
meteorológia szakirányos hallgató

Témavezetők:
Dr. habil. Bartholy Judit
Dr. Pongrácz Rita
ELTE Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2010

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. A PRECIS modell	5
3. Az aszály fogalma, fajtái és befolyásoló tényezői	7
3.1. Az aszály fajtái.....	7
3.2. Az aszályt befolyásoló tényezők	8
3.3. A talaj szerepe.....	9
3.4. Magyarország aszályossági zónái	11
3.5. Aszálygyakoriság hazánkban.....	12
3.6. Az aszály mérőszámai	14
4. A csapadékviszonyok és az aszályhajlam vizsgálata	
a Kárpát-medence térségére	16
4.1. A csapadék index	18
4.2. A standardizált csapadékindex.....	21
4.3. A De Martonne-féle ariditási index	25
4.4. A Thornthwaite-féle agrometeorológiai index	29
4.5. A Lang-féle esőzési index	32
4.6. A Ped-féle talajnedvességi index	34
4.7. Foley-féle anomália index	37
4.8. Magyarországi változások.....	40
5. Aszálystratégia	43
6. Összegzés	46
Köszönetnyilvánítás	48
Irodalomjegyzék	49

1. Bevezetés

A Föld éghajlatának változása nem új jelenség, hiszen az éghajlat változása és ingadozása a múltban is előfordult már. A globális éghajlatváltozás folyamatai régióként különböző mértékben, de hatást gyakorolnak a természet rendszereire, az ember egészségére, a mezőgazdaságra, a vízháztartásra és az energiagazdálkodásra egyaránt. A változás nagymértékben befolyásolhatja egy térség csapadékjellemzőit, így előnytelen esetben fokozhatja a terület aszályosságát. A hosszútávon megfigyelhető emelkedő hőmérsékleti átlagok és az ezzel párhuzamosan csökkenő csapadékmennyiség hatására fokozódik az aszályos jelleg. Az aszály az emberiséget sújtó egyik legnagyobb természeti katasztrófa, mivel idő- és térbeli kiterjedését tekintve eltér más természeti csapásoktól (Bussay et al., 1999).

A Kárpát-medence természetföldrajzi adottságai kedvezőek, azonban fokozott kockázati tényező az aszályhajlam, mely mindig is hozzátartozott a térség éghajlati jellemzőihez. Ped (1979) szerint az aszály előfordulása és erőssége összefüggésben van az éghajlat-ingadozással és az éghajlatváltozással. Melegedési periódus esetén egyre gyakoribb az aszály, míg lehülési időszakokban csapadékos helyzetek alakulnak ki. Az éghajlatváltozás következményeit vizsgálva a jövőben várható szélsőségek meghatározása komoly nehézséget okoz a kutatást végző szakembereknek, viszont e témakör kitüntetett figyelmet érdemel, hiszen a mezőgazdasági és ebből kifolyólag a gazdasági károk jelentős hányadát a meteorológiai extrémumok okozzák.

Az éghajlatváltozás és az aszály összefüggésének témaköre közel húsz éve élénken foglalkoztatja a hazai tudományos köröket. A kutatók között jelentős eredményeket értek el: Mika (1988), Antal (1991), Czelnai (1994), Szász (1994), Dunkel (1998).

A várható globális éghajlatváltozás hazánk, legfőképp az Alföld éghajlatában komoly változásokat okozhat. A kutatások eredményeképp $+0,5^{\circ}\text{C}$ -os átlaghőmérséklet-változás prognosztizálható, mely következtében a csapadék közel 10%-kal csökken, az aszályos hónapok gyakorisága viszont akár 60%-kal nőhet (Pálfai, 2004).

E dolgozat célja, hogy a Kárpát-medence térségére becslést adjon a csapadék- és aszályjellemzők XXI. század végére várható változására a PRECIS regionális klímamodell szimulációi alapján. Eredményeink számos szakterület

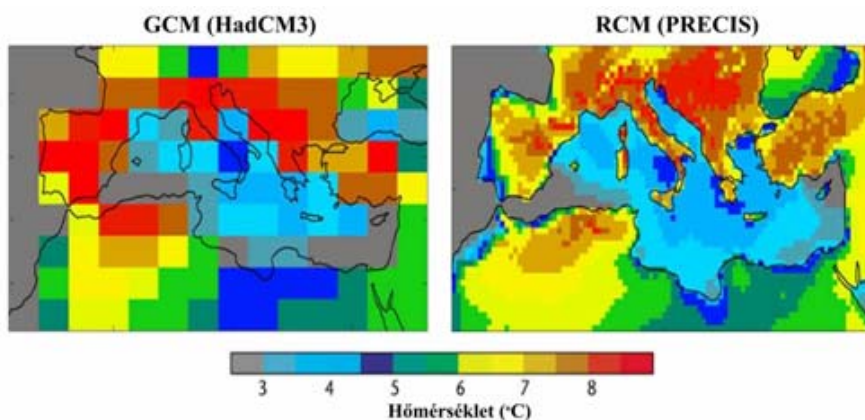
számára nyújtanak információt a potenciális aszályterületekről. Az aszályos periódusok hosszában és gyakoriságában várható változások ismerete a mezőgazdaság, a talajművelés és a vízgazdálkodás tervezhetősége szempontjából is elengedhetetlen.

Az éghajlat változásával kapcsolatban az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékén számos kutatást végeztek és végeznek a mai napig. Közel öt éve indult meg a PRECIS klímamodell adaptálása és futtatása a tanszéken. Az első, teljes Európára vonatkozó, átfogó 50 km-es felbontású modellfuttatású program az EU által támogatott PRUDENCE projekt volt (Christensen et al., 2007), melynek eredményei jelentős mértékű hőmérsékletemelkedést vetítenek előre a század végére. A globális eredményekhez hasonlóan a Kárpát-medence térségére is nagyobb melegedést mutat az A2 scenárió, mint a B2 scenárió. Magyarország területén a PRUDENCE modell szimulációi szerint a melegedés mindkettő scenárió esetén nyáron a legnagyobb mértékű (4,5°C-5,1°C, illetve 3,7°C-4,2°C). A csapadékösszegben való változás várható tendenciája nem minden évszakra mutat azonos előjelet. Nyáron erőteljes csapadékcsökkenésre (-27% körüli érték az A2 scenárió, illetve átlagosan -15% a B2 scenárió esetén), míg télen csapadéknövekedésre (átlagosan +30% az A2 scenárióra és +23% a B2 scenárióra vonatkozóan) számíthatunk (Bartholy et al., 2007). A PRECIS modell ennél is nagyobb felmelegedést prognosztizál (Piecicka et al., 2010).

A dolgozatban először röviden bemutatom a PRECIS regionális éghajlati modellt, melynek hőmérsékleti- és csapadékoutputjai szolgáltatták a vizsgálathoz szükséges bemeneti adatokat. A 3. fejezetben megismerkedhetünk az aszály fajtáival, befolyásoló tényezőivel, valamint magyarországi viszonylatban a veszélyeztetett területekkel és az aszály mértékének számszerűsítésére előállított mérőszámokkal. Ezután a vizsgálataink részleteit és eredményeit elemezzük a 4. fejezetben, majd végül, de nem utolsó sorban az 5. fejezetben betekintést nyerhetünk az aszály mérséklésére és megszüntetésére irányuló projektek tevékenységébe. A dolgozathoz kapcsolódó kutatási eredményeket a 6. fejezetben foglaljuk össze.

2. A PRECIS modell

A Föld klímájának jelenlegi helyzetét, a múltban történt változásait, valamint jövőben várható alakulását globális klímamodellekkel szimulálhatjuk. Ezen modellek segítségével megállapítható, hogy mily módon reagál az éghajlati rendszer a rá ható kényszerekre és azok változásaira. Az éghajlati modellek két fő típusát különböztethetjük meg: a globális légkör-óceán általános cirkulációs modelleket (AOGCM: Atmospheric-Ocean General Circulation Model), melyeknek horizontális felbontása 300 km körüli és a regionális klímamodelleket (RCM: Regional Climate Model), melyeknek felbontása akár 10-25 km is lehet, így lehetővé téve a kisebb területek pontosabb éghajlati leírását. A globális modellek adják a kezdeti- és peremfeltételeket, melyek felhasználásával a regionális modelleket futtathatjuk. Az 1. ábrán a globális és a regionális éghajlati modellek rácsfelbontásbeli különbségét tüntettük fel.



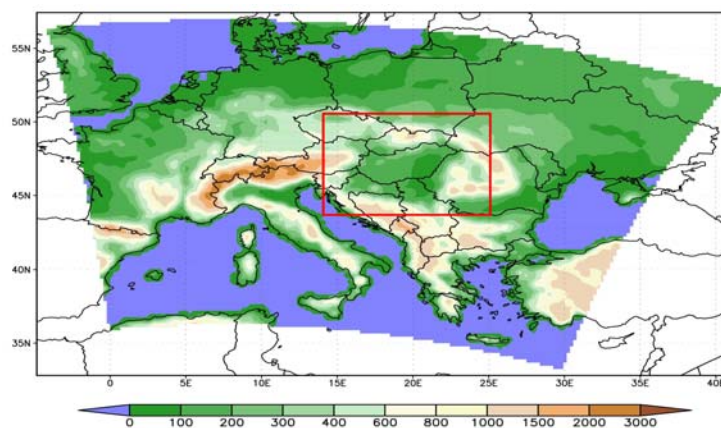
1. ábra. Globális és regionális éghajlati modellek rácsfelbontásbeli különbsége: Európa 2071-2100 nyári szimulált időszakra, A2 scenáriót feltételezve. A referencia időszak: 1961-1990. (Wilson et al., 2007)

A PRECIS (**P**roviding **R**egional **C**limates for **I**mpacts **S**tudies) regionális klímamodellt a brit Hadley Központban fejlesztették ki az 1990-es évek végén, s a HadCM3 (Gordon et al., 2000) globális modell outputjai szolgáltatták a kezdeti- és peremfeltételeket. A modell magában foglalja a légköri mozgásrendszerek dinamikai folyamatait, a talajhidrológiai folyamatokat, a sugárzási egyenleg komponenseit, a felhő- és csapadékképződést, valamint a kén körforgalmát (Jones et al., 2004). Peremfeltételként szükséges a potenciális hőmérséklet, a légkör nedvességtartalma, a felszíni légnyomás, valamint a horizontális szélesség-komponensek megadása. A modellbe iktatott felszínborítottsági tényező mérési eredmények adatsoraként szerepel, és a modellfuttatáshoz szükséges a

vízfelszínnek hőmérsékleti és jégkiterjedési idősora is. A PRECIS modell esetén a horizontális rácsfelbontás beállítására kétféle lehetőség áll rendelkezésre: $0,44^\circ \times 0,44^\circ$ (mely kb. 50 km-es rácshálózatot jelent) vagy a $0,22^\circ \times 0,22^\circ$ rácsfelbontás (mely hozzávetőlegesen egy 25 km-es rácshálózat). Az ELTE Meteorológiai Tanszékén a PRECIS modellfuttatásokat a finomabb térbeli felbontással végezték (Bartholy et al., 2009).

Az IPCC (2007) jelentésekben szereplő klímaváltozási elemzések négy fő emisszió scenáriót használnak fel: A2, B2, A1, B1 (Nakicenovic és Swart, 2000). Dolgozatomban ezek közül az A2 és a B2 scenáriók által szimulált változásokat mutatom be. A pesszimistább A2 scenárió folyamatosan emelkedő népességszámot és a helyi értékek megőrzését feltételezi. A B2 scenárió szerint a gazdasági, társadalmi és környezeti fenntarthatóság lokális megoldásain van a hangsúly. Eszerint a Föld népessége folyamatosan növekvő tendenciát mutat, de lassabb ütemben, mint az A2 scenárió esetén. A B2 forgatókönyv a környezetvédelemre és a társadalmi igazságosságra összpontosít helyi és regionális szinten egyaránt. Az A2 scenárió 2100-ra mintegy 856 ppm szén-dioxid koncentrációt feltételez, míg az optimistább B2 scenárió 621 ppm-et (Nakicenovic és Swart, 2000).

A havi szimulált adatok letöltése után összesen 1680 rácspont értékeit három 30 éves időszakra vizsgáljuk: a referencia-időszakra (1961-1990), valamint az A2 és a B2 scenáriót figyelembevevő jövőbeni időszakra (2071-2100). Vizsgálataink során a Kárpát-medencét reprezentáló területnek a $43,8^\circ$ - $50,2^\circ$ É.sz. és a $14,0^\circ$ - $26,1^\circ$ K.h. által kijelölt térséget választottuk. A vizsgált térség a 2. ábrán látható. Dolgozatom célja a Kárpát-medence térségére a jövőben várható változások elemzése.



2. ábra. A PRECIS modell szimulált adatainak alkalmazásával vizsgált térség

3. Az aszály fogalma, fajtái és befolyásoló tényezői

Az aszály jellemzésére számtalan definíció született, azonban az egzakt meghatározás rendkívül problematikus, hiszen számos tudományág foglalkozik az aszály tárgykörével, és mindegyik terület másként értelmezi.

Az aszály meglehetősen összetett, többféle módon jellemezhető természeti jelenség. Tulajdonképpen minden aszálydefiníció az átlagnál kevesebb csapadéknak a vízgazdálkodásra, mezőgazdaságra gyakorolt hatásával kapcsolatos. Mezőgazdasági szempönből nézve „az aszály egy adott szántöföldi, illetve erdöterületen levö növényállomány tartós és jelentös mértékü vízhiánya, ami nagymértékben behatárolja a növény életfolyamatait” (Pálfai, 2004). Egy általános, a Meteorológiai Világszervezet (WMO) által is jóváhagyott megfogalmazás szerint „az aszály az átlagos mértéket jelentösen és tartósan meghaladó vízhiány” (Bussay et al., 1999).

Szintügy nem kellően tisztázott a szárazság és az aszály közötti különbség. A szárazságon rövidebb, vagy hosszabb ideig tartó csapadékmentes időjárás értendő. Az aszály kifejezés használatakor mindig hosszabb ideig tartó és jelentös mértékü szárazságról beszélünk (Varga-Haszonits, 1985). E megközelítés szerint az aszály a meteorológiai tényezökre visszavezethető szárazság következményeként lép fel (Szász, 1988).

3.1. Az aszály fajtái

Meteorológiai aszály

A meteorológiai aszály esetén a csapadékmennyiség hosszabb időn át kevesebb, mint az adott területre vonatkozó átlagérték (Sadowski, 1984). A WMO (1986) állásfoglalása szerint egy adott térségben az átlag alatti csapadék (amely a mezőgazdaságra, vízierőforrásokra és különbözö társadalmi-gazdasági tevékenységekre hatással van) akkor vezet aszályhoz, ha annak az évi mennyisége mintegy két éven keresztül legalább az érintett terület felén a normál értéknek maximum 60%-a.

Mezőgazdasági aszály

Mezőgazdasági aszályon jobbára a növénytermesztést sújtó vízhiányt értjük, valamint akkor is mezőgazdasági aszály áll fenn, ha a talaj vízhiánya miatt a növények fejlődése, termésképzödése lelassul. A súlyosságának mértéke többek

között a következő tényezőktől függ: az aszály időtartamától és erősségétől, a talaj fizikai állapotától, a talajtakarótól, lejtőszögtől, öntözöttségtől, a csapadékhiány gyakoriságától, vegyi anyagok használatától. A mezőgazdasági aszály a meteorológiai aszály után, de a hidrológiai aszály előtt következik be (Urbán, 1993).

Hidrológiai aszály

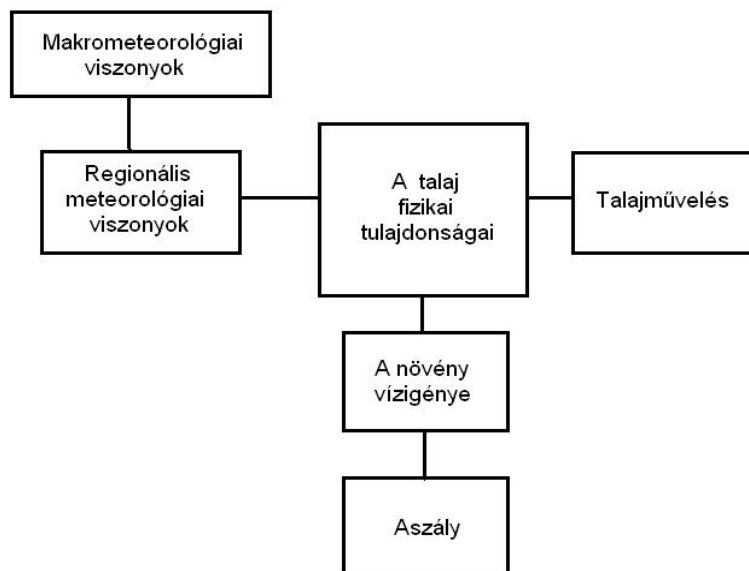
A WMO által 1989-ben alkotott definíció szerint hidrológiai aszálynak nevezzük a felszíni és a felszín alatti vízkészletek hosszantartó csapadékhiány miatti jelentős beszűkülését. Hatására a tavakban és víztározókban a vízállás, míg folyók esetén a vízhozam csökkenése figyelhető meg, valamint befolyásolhatja a vízierőművek áramtermelését is. A hidrológiai aszály általában meteorológiai aszály hatására következik be (Urbán, 1993).

Gazdasági aszály

Gazdasági aszályon általában a vízhiány következtében felmerülő károk pénzben kifejezett értékét értjük. Ez csak egy becsült érték, mivel az aszály hatásait nem lehet mindenre kiterjedően felmérni és a károk számszerűsítése is nehézségekbe ütközik (Bussay et al., 1999).

3.2. Az aszályt befolyásoló tényezők

Az aszály kialakulásában voltaképpen meteorológiai tényezők játszanak szerepet. Legfőképp a csapadékmennyiség és ennek időbeli eloszlása a meghatározó. Szükséges ezen felül megemlíteni, hogy a csapadék mellett fontos paraméter a levegő párologtató képessége, mely főként a hőmérséklettől, a napfénytartamtól és a szélesebségtől függ. Gyakrabban alakul ki aszály olyan területeken, ahol a domborzati viszonyoknak köszönhetően lejtős terep a jellemző, hiszen ebben az esetben a csapadék jelentős része lefolyik, nem szivárog be a talajba (Varga-Haszonits et al., 2005). A természeti befolyásoló tényezők mellett nem megfelelő emberi tevékenység hatására is alakulhat ki aszály (pl.: földhasználat, talajművelés, vetésforgó rendje, tápanyagellátás, talajvíz túlzott kitermelése, folyószabályozás). A tartós vízhiány kialakulásának folyamatát a 3. ábrán szemléltetjük.



3. ábra. A vízhiány kialakulásának folyamata (Varga-Haszonits et al., 2005)

3.3. A talaj szerepe

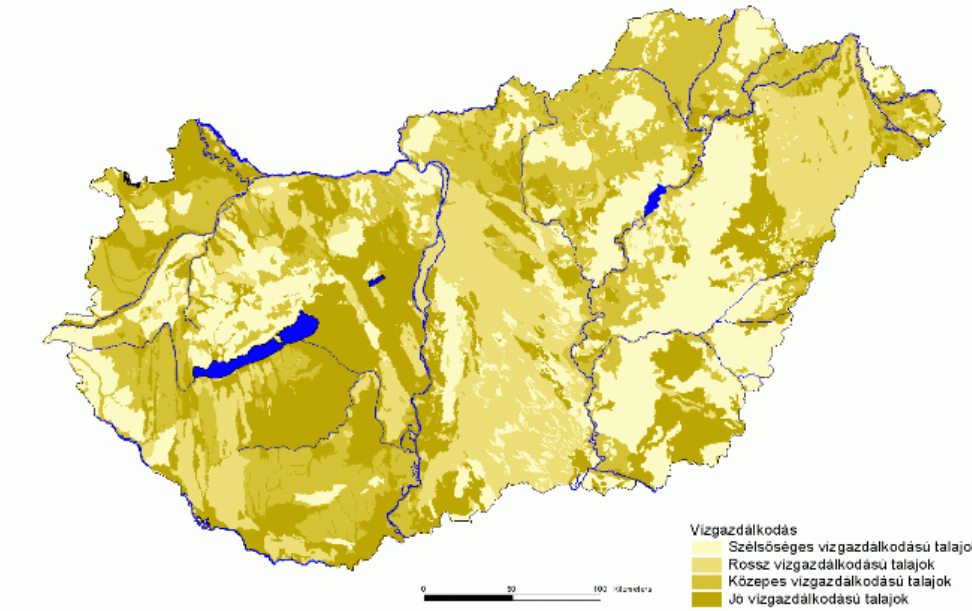
A változó csapadékviszonyok, a szélsőséges vízháztartás, a geográfiai jellemzők, a mezőgazdaság és a környezetvédelem szempontjából is kitüntetett jelentősége van a talaj vízraktározó képességének. A talaj vízháztartása meghatározza a talaj levegőgazdálkodását, a biológiai tevékenységet, a tápanyagforgalmat és a talajtakaró minőségét.

A talaj nedvességtartalma a fentről érkező csapadékból valamint az alulról felemelkedő talajvízből származik, és párolgás hatására távozik el onnan (Kovács, 1978). A talajvíz helyzetét két fontos meteorológiai tényező – a csapadék és a párolgás befolyásolja. A természetes hatások mellett fontos megemlíteni, hogy a fejlődő technika és az egyre inkább növekvő igények okán az emberi tevékenység (vízkitermelés, öntözés, vegyi anyag használat, fakitermelés, terület-beépítettség) is fontos tényezőként említendő (Liptai et al., 1985).

Magyarország klimatológiai jellemzője, hogy az év két részre különíthető el: az egyik időszakban több csapadék hullik, mint amit a levegő el tud párologtatni (nedves időszak, pozitív vízmérleg), a másik időszakban a levegő sokkal több nedvességet lenne képes elpárologtatni, mint amennyi ténylegesen hullik (száraz időszak, negatív vízmérleg). Ennek megfelelően alakul a talajok vízháztartása is, vagyis nedves időszakban magas a talaj nedvességtartalma, száraz időszakban azonban jelentős mértékben lecsökken (Varga-Haszonits, 2005). A téli hónapokban

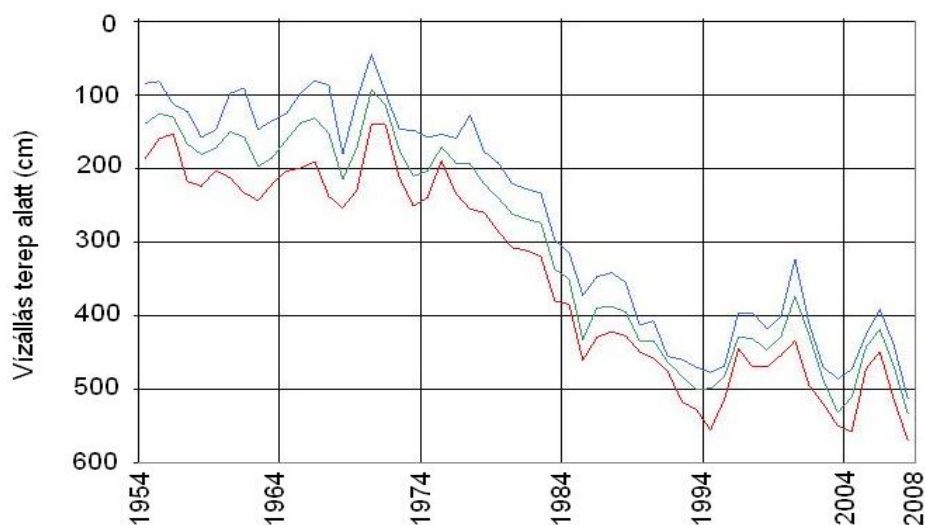
az Alföldön a talaj közel 100%-ig telítődik. A telítődés után a talaj a vizet már nem képes megtartani, így a talajvíz-szintig szívárog, növelve ennek mennyiségét. Március környékén megindul a talajvíz fokozatos csökkenése, majd az őszi hónapokra eléri minimumát, mely átlagos időjárási helyzet esetén 35-40%-os nedvességtartalmat jelent. Száraz időszakban a nedvesség 10% alá is eshet (Dunay et al., 1992).

Felmérések alapján elmondható, hogy Magyarország talajainak 43%-a kedvezőtlen, 26%-a közepes és 31%-a jó vízgazdálkodású (4. ábra). A kedvezőtlen vízháztartás okai közé tartoznak: a nagy homoktartalom, a szikesedés, a sekély termőréteg, stb. (Várallyay, 2008). A térképen látható, hogy Magyarország „rossz vízgazdálkodású” zónái egybeesnek a klímaváltozás során az aszályosodás szempontjából fokozottan veszélyes területekkel.



4. ábra. Magyarország talajainak potenciális vízraktározó képessége (Forrás: Várallyay, 2008)

Az utóbbi évtizedben a fogyatkozó csapadékmennyiség és a növekvő párolgás következtében a talaj felső 1 m-es rétegének relatív nedvességtartalma csökkenő tendenciát mutat (Nemes, 1993), azonban ez a jelenség már az 1970-es évek eleje óta megfigyelhető a Duna-Tisza közén, illetve az 1980-as évek eleje óta a Tiszántúlon is. Az 5. ábrán a talajvízszint terep alatti mélységének éves szélsőségs és középértékeit láthatjuk a szanki észlelőkútban. Szank község az Alföld Duna-Tisza közti részén, a Kiskunságban található, Kecskeméttől délre kb. 50 km-es távolságban.



5. ábra. A talajvízszint terep alatti mélysége a szanki észlelőkútban 1954-2008
(Forrás: Pálfai, 2009)

A természetes ingadozás és az emberi tevékenységből származó hatás következményeként a Duna-Tisza közén a talajvíz legmagasabb és legalacsonyabb állása között 5-6 m különbség is előfordulhat.

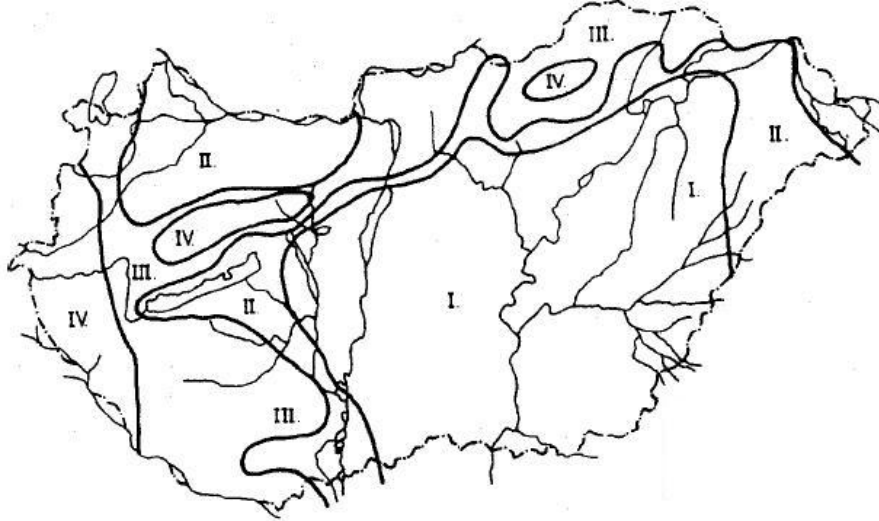
Süllyedő talajvízszint esetén a lefolyás erősen csökkenhet, a vízfelületek párologása fokozatosan növekedhet, mely leginkább a tavaknál jelent problémát. A nagyobb folyóknál nem várható drasztikus változás, a Duna esetén (melynek legkisebb vízhozama is kb. 600 m³/s) a vízszint csökkenése során is bőven marad hasznosítható vízmennyiség, azonban gondot okozhat az ennek következtében kialakuló vízminőségromlás (Pálfai, 2007).

3.4. Magyarország aszályossági zónái

Magyarországon az aszály területi eloszlása és erőssége évről-évre jelentős eltéréseket mutat, azonban hosszabb időszakot vizsgálva elkülöníthetők olyan zónák, melyeken belül az effajta éghajlati-hidrológiai kockázati tényező számszerűsített értékei közel megegyeznek. Hazánk aszályossági és csapadékviszonyairól területi áttekintést nyújtanak a vízhiány, valamint a különböző aszálymutatók előfordulási valószínűségi értékeinek területi eloszlását bemutató térképek (Pálfai, 2004).

Az évi országos átlagos csapadékmennyiség lényeges térbeli változatosságot mutat: az Alföld középső térségének 500 mm/év alatti értékétől kezdődően az Alpokalja 850 mm/év feletti értékéig. Ennek megfelelően készült el a '80-as

években az 5/1976. OVH sz. rendelkezés szerint az ország éghajlati, öntözési körzeteit szemléltető térkép, melyet a 6. ábrán mutatunk be.



6. ábra. Magyarország ariditási tényezői szerint kijelölt 4 körzete (Kereszturszky et al., 1998)

A térképen látható zónák ábrázolása I.-IV. terjed, mely növekvő irányban az egyre csökkenő aszályosságot jelzi. Az I. zóna az aszályosság szempontjából leginkább veszélyeztetett területeket, a II. és III. zóna a közepesen, míg a IV. zóna a legkevésbé kockázatos térségeket jelöli. Ebből megállapítható, hogy az aszály hazánk szinte mindegyik területén felléphet, de az aszályhajlam esetén jelentősek a területi eltérések. Magyarország legaszályosabb nagytája az Alföld, mely főleg mezőgazdasági művelés alatt áll. Az Alföld Tisza-völgyi része kétszeresen is hátrányos térség, hiszen belvízi szempontból is meglehetősen veszélyeztetett területnek számít. Az ország északi, nyugati része és a Dunántúl a legkevésbé aszályos zónába tartoznak. Az I. zóna (nagyon erősen aszályos térség) az ország területének kb. a 40%-át teszi ki, és ez a mezőgazdasági terület arányát tekintve az összterület 75%-a, vagyis kb. 28 000 km²-t tesz ki (Pálfai, 2004).

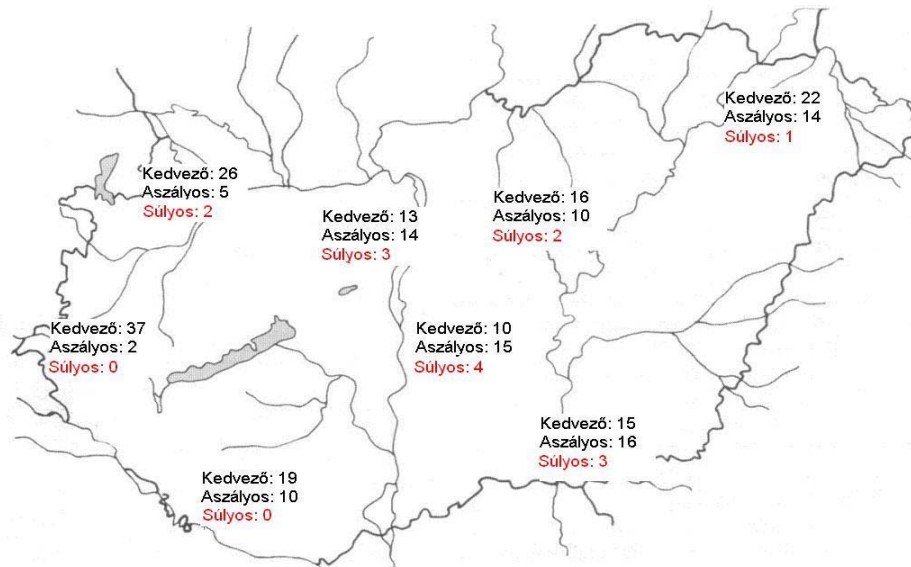
3.5. Aszálygyakoriság hazánkban

Az aszály kialakulásában kétséget kizáróan a legfontosabb szerepe a csapadéknak van, melyről tudjuk, hogy térben és időben is a legjelentősebb ingadozást mutató klimatológiai elem. Ebből következik, hogy teljesen csapadékmentes időszakok és viszonylag rövid idő alatt lehulló nagy csapadékok is előfordulhatnak hazánkban. A csapadék időbeli eloszlására jellemző, hogy az Alföldön, s a Duna-Tisza közén az egyes évek csapadékösszegeiben két-

háromszoros eltérés is előfordulhat, mely a tenyészidőszakok havi csapadékösszegeire vonatkozóan még ennél nagyobb is lehet (Bussay, 1999).

Az aszály időben hosszabb folyamat, melynek kezdete és vége nehezen meghatározható. Hazánkban legjellemzőbb időszaka a nyár, de előfordul, hogy a tavasz a legszárazabb. Az egymást követő évek aszályerőssége meglehetősen eltérő lehet. Ha a csapadékhiány már ősszel, illetve télen is jellemző, akkor az egy lehetséges tavaszi aszályra is figyelmeztethet (Pálfai, 2004). A legerősebb aszály akkor alakul ki, ha a csapadékhiányos ősz és tél után a tenyészidőszakban kevés a csapadék, a nyár folyamán nincs számottevő eső és ha nagy a hőség. Az adott helyzetet súlyosbítja, ha előző évek szárazsága miatt a talajvíz szintje mélyebben helyezkedik el (Pálfai, 2004).

Az aszály egyaránt érinti az ország csapadékosabb nyugati részét, mint a lényegesen szárazabb keleti felét. Az aszály fellépését Dunay és Tölgyesi (1992) a talaj relatív nedvességének határértékéhez köti, vagyis amennyiben a talaj vízkészlete nem süllyed a szántó föld hasznos vízkapacitásának 40%-a alá, azt az évet kedvező vízellátottságúnak nevezik. Aszályosak azok az évek, melyekben 20% alá csökkent a talajnedvesség, de nem érte el a súlyos aszály fokozatát, melyet 10% alatti érték jellemez. A 7. ábrán az 1951 és 1992 közötti aszálygyakoriságok láthatók.



7. ábra. Az aszályok gyakorisága hazánkban 1951 és 1992 között (Dunay és Tölgyesi, 1992)

A térképről leolvasható, hogy a vizsgált 42 év alapján hazánk nyugati részén az aszály rendkívül ritka jelenség. Az északnyugati országrészben a Kisalföld

területén súlyos aszály csupán kétszer, míg aszály öt esetben fordult elő. Ezzel párhuzamosan a megfelelő vízellátottságú időszakok nagy számban (26 év) jelentkeznek. Hazánk keleti része felé haladva az aszály gyakorisága számottevően nő, így az Alföldön súlyos vízhiány átlagosan tízévente, míg aszályos év átlagosan megközelítőleg háromévente következik be.

3.6. Az aszály mérőszámai

A tömérdek aszálydefinícióból adódóan az aszály mérőszámainra is sokféle javaslat született, és a gyakorlatban is különféle mérőszámokat használnak. A számszerűsítésre az egyik legegyszerűbb eszközként az aszályindex használata terjedt el (Farágó et al., 1988), melynek segítségével leírható az aszály időbeli és térbeli kiterjedése, valamint a súlyossága is meghatározható. Egy másik módszer a műholdas eljárás, melynek alapja, hogy a műhold a vizsgált terület fotoszintetizáló képességének spektrális azonosítását (Bussay et al., 1999) végzi el.

Az aszályindexek elemzése lehetővé teszi, hogy különböző években és helyeken az aszályok mértékét összehasonlítsuk, valamint alkalmasak területi különbségek kimutatására, kölcsönhatás-vizsgálatra és előrejelzésre egyaránt. Használatuk kellő óvatosságot és körültekintést igényel, hiszen különböző klímájú területek közti összehasonlításhoz az anomáliák normalizálása elengedhetetlen. Az aszályindexek kiszámítása és térképre vitele után a mezőgazdasági, vízügyi és társadalmi hatások is nyomon követhetők.

Bussay et al. (1999) csoportosítását figyelembe véve a következő indexfajták különíthetők el:

- **Csapadék indexek**

Jellemzőjük, hogy alkalmasak a száraz-nedves időszakok éghajlati elkülönítésére, valamint a csapadék adott területre vonatkozó éghajlati változékonyságának meghatározására. Előnyük, hogy kis adatigényű és egyszerű indexek, hátrányuk azonban, hogy nem mindig tükrözik megfelelően az aszályhelyzetet. Ilyen típusú index például a csapadékindex (Kane és Trivedi, 1986), a relatív csapadékmennyiség, a relatív anomália index (Bunting et al, 1976), a standardizált csapadék anomália index – SAI (Katz és Glantz, 1986; McKee et al., 1993) és a standardizált csapadékindex (Farágó et al., 1988), valamint a csapadék anomália index (Bhalme és Mooley, 1980).

- Mérleg indexek

A mérleg indexek a csapadék indexeknél jelentősen kifinomultabb, precízebb mutatószámok. A vízgyeenleg bevételi oldalán (csapadék) kívül a kiadási oldalt (párolgás) is figyelembe veszik és a csapadék indextől eltérően itt már hőmérsékleti adatsorokra is szükség van. Mérleg indexek közé tartozik a potenciális vízhiány, a vízellátottsági index, a nedvességi vagy szárazsági index, a Lang-féle esőzési index (Lang et al., 1999), a De Martonne-féle ariditási index (De Martonne, 1926; WMO, 1975) és a Thornthwaite-féle agrometeorológiai index (David, 1990).

- Rekurzív indexek

A rekurzív indexek az aszályindexek egy külön, speciális csoportját alkotják, mivel számításuk során a megelőző időszak adatait is felhasználják, és az indexek egy hosszabb időszakot jellemző értéként állnak elő (Bella, 2003). Ilyen index például a Foley-féle anomália index (FAI) (Foley, 1957) és a Palmer-féle aszály index (Palmer, 1965).

- Talajnedvességi indexek

Ezen indexek leginkább termés kiesés és vízhiány vizsgálatára, hidrológiai aszály becslésére, illetve előrejelzési célra alkalmasak. Lényegesen összetettebbek és számos információt tartalmaznak, ezen felül előnyük, hogy rövidebb időszakok leírására is alkalmasak. Talajnedvességi index például a Ped-féle aszályindex (Bagrov, 1983) és a relatív talajnedvességi index (Nemes, 1993).

4. A csapadékviszonyok és az aszályhajlam vizsgálata a Kárpát-medence térségére

E dolgozatban a jövőben (2071-2100) várható csapadék- és aszályviszonyok elemzését végezzük el az 1961-1990 közötti referencia-időszakhoz viszonyítva. A jövőbeli éghajlat jellemzése a PRECIS modell A2 és B2 scenáriók figyelembevételével készült.

A megannyi aszályindex (Dunkel, 2009) közül a szimulált napi hőmérsékleti és csapadék idősorokból hétre végeztük el vizsgálatainkat. A vizsgált indexek nevét, értelmezését, kiszámítási módját és kiinduló adatait az 1. táblázatban foglaltam össze.

Index neve [egysége]	Definíció	Index-számításhoz alkalmazott képlet	Szükséges kiinduló adatok
Csapadék index [mm]	az adott időszak tényleges csapadékösszegének, valamint az adott időszakra vonatkozó csapadékösszeg sokévi átlagának különbsége	$P - m(P)$	<ul style="list-style-type: none"> csapadékösszeg (P) csapadékátlag (m(P))
SAI index	előző formula normalizálása a csapadék szórásával	$\frac{P - m(P)}{d(P)}$	<ul style="list-style-type: none"> csapadékösszeg (P) csapadékátlag (m(P)) csapadék szórása (d(P))
De Martonne index [mm/°C]	a csapadékösszeg és a hőmérséklet korrigált hányadosa	$\frac{12P}{T + 10}$	<ul style="list-style-type: none"> csapadékösszeg (P) hőmérséklet (T)
Thornthwaite index [mm/°C]	a csapadékösszeg és a hőmérséklet korrigált hányadosának segítségével	$1,65 \left[\frac{P}{T+12,2} \right]^{\frac{10}{9}}$	<ul style="list-style-type: none"> csapadékösszeg (P) hőmérséklet (T)
Lang esőzési index [mm/°C]	a vizsgált időszak csapadékösszegének és átlaghőmérsékletének hányadosa	$\frac{P}{T}$	<ul style="list-style-type: none"> csapadékösszeg (P) hőmérséklet (T)
Ped (1) megközelítés	az átlaghőmérséklet és a hőmérséklet szórásának hányadosának valamint az átlagos csapadékmennyiség és a csapadék szórásának hányadosának különbsége	$\frac{\Delta T}{d(T)} - \frac{\Delta P}{d(P)}$	<ul style="list-style-type: none"> csapadékösszeg (P) hőmérséklet (T) csapadék szórása (d(P)) hőmérséklet szórása (d(T))
Foley anomália index [mm]	a „k.” hónap FAI indexe megegyezik az előző havi FAI index és a „k.” havi csapadékösszeg összegével	$FAI_1 = \Delta P_1$ $FAI_k = FAI_{k-1} + \Delta P_k$	<ul style="list-style-type: none"> csapadékösszeg (P)

1. táblázat: A vizsgálatba vont indexek definíciója, kiszámítási módja és kiindulási adatai

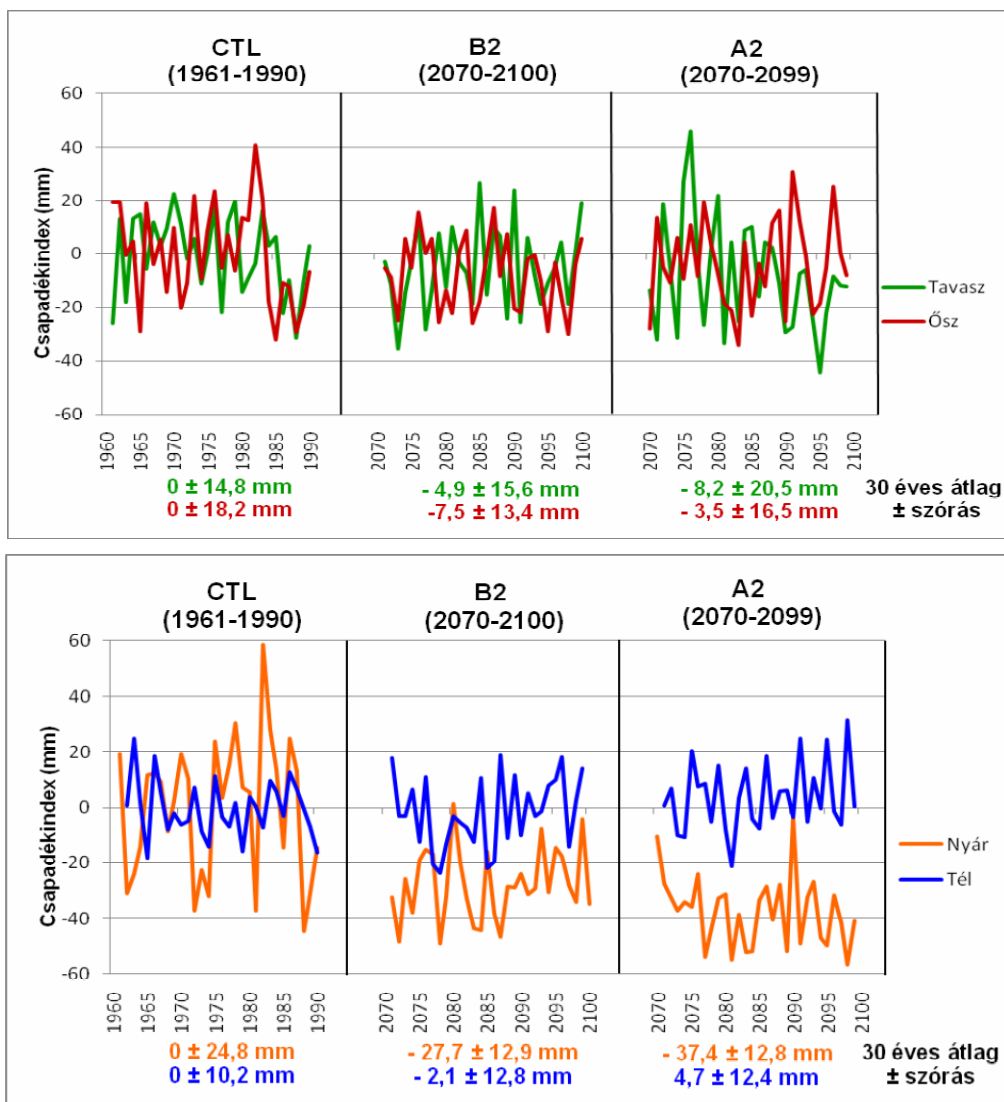
A regionális éghajlatváltozás elemzésekor minden vizsgált index esetén egyrészt a magyarországi rácspontok évszakos átlagértékeiből képeztünk területi

átlagot, s ezeket az idősorokat ábrázoltuk a referencia időszakra, valamint a 2071-2100-as jövőbeli időszakra, mindkét scenárióra. A grafikonok jól szemléltetik a szimulált indexértékek eloszlásában várható változásokat. Másrészt a várható változások területi eloszlását évszakonként külön térképeken jelenítettük meg, melyek lehetővé teszik, hogy az éghajlati viszonyokban valószínűsíthető változások elemzésekor a Kárpát-medence térségén belül meghatározzuk a régiónkénti különbségeket.

4.1. A csapadék index

A havi szimulált csapadékösszeg és a referencia időszak csapadékátlag különbségének várható alakulását vizsgáltuk a 2071-2100-as időszak A2 és B2 scenárióira az 1961-1990-es referencia-időszakhoz viszonyítva, melyek évenkénti évszakai átlagértékeit az 8. ábrán mutatom be. Az átlagszámítás során a Magyarország határain belül eső rácspontokat vettük figyelembe.

A csapadék index változásának megjelenített értékei a következő módon értelmezendők: a negatív változások az éghajlat várható szárazodását, míg a pozitív változások a csapadékosabbá válását jelzik.



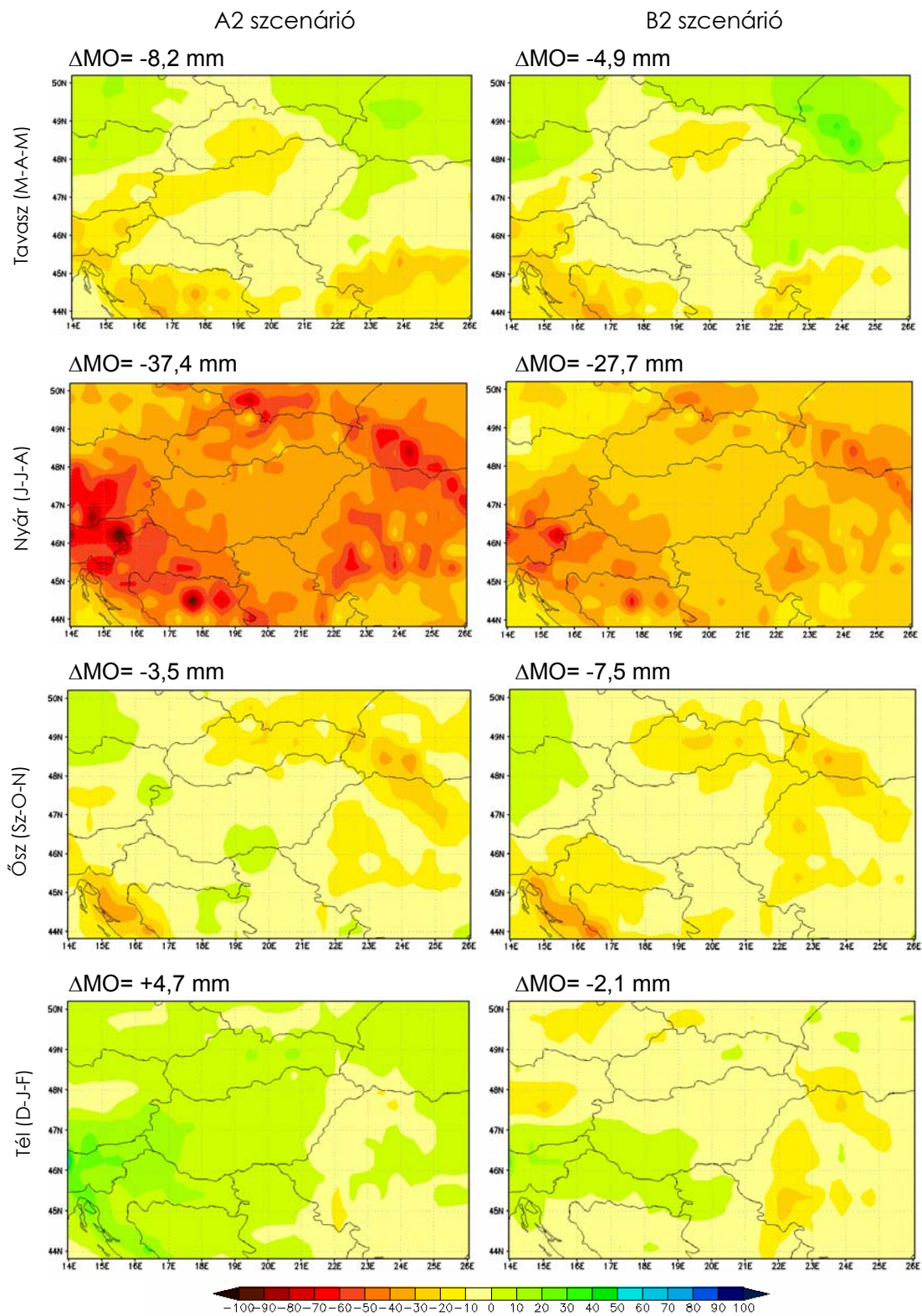
8. ábra: Az évszakai csapadékindex (mm) szimulált idősorai a magyarországi rácspontok alapján

Az idősorokon kívül az adott időszakok alatt a magyarországi területre vonatkozó 30 éves átlagokat és szórásokat is megjelenítettük. A diagramon látható,

hogy a legjelentősebb változás a nyári évszakban várható. Ekkor a csapadékmennyiség csökkenése prognosztizálható, az évszaki átlagokban a B2 forgatókönyv esetén 28 mm, illetve az A2 forgatókönyv esetén 37 mm hiány is valószínűsíthető, azonban a csapadék változékonyságának kisebb mértékűvé válása feltételezhető. A XXI. század végére az A2 scenárió alapján a referencia időszakhoz képest, az ország nyugati részében akár 50 mm csapadékhiánnyal is számolhatunk. Tavasszal az A2 scenárió szerint nagy változékonyságú ($\pm 20,5$ mm) csapadékviszonyok várhatók a prognosztizált időszakban, melyek a B2 scenárió esetén kevésbé jelentős mértékűek.

A 9. ábra térképei a várható évszaki csapadékváltozás területi eloszlását mutatják be. A bal oldali oszlopban a pesszimistább A2, a jobb oldali oszlopban pedig az optimistább B2 scenárióra vonatkozó változás látható. A térképek fölé a magyarországi rácspontokra leválasztott indexek adott scenárióra és évszakra vonatkozó változását tüntettem fel. Mind az A2, mind a B2 scenárió esetén az éves csapadékösszegekben nem várható jelentős mértékű változás (Bartholy et al., 2007), de ez nem mondható el az évszaki csapadékösszegekről.

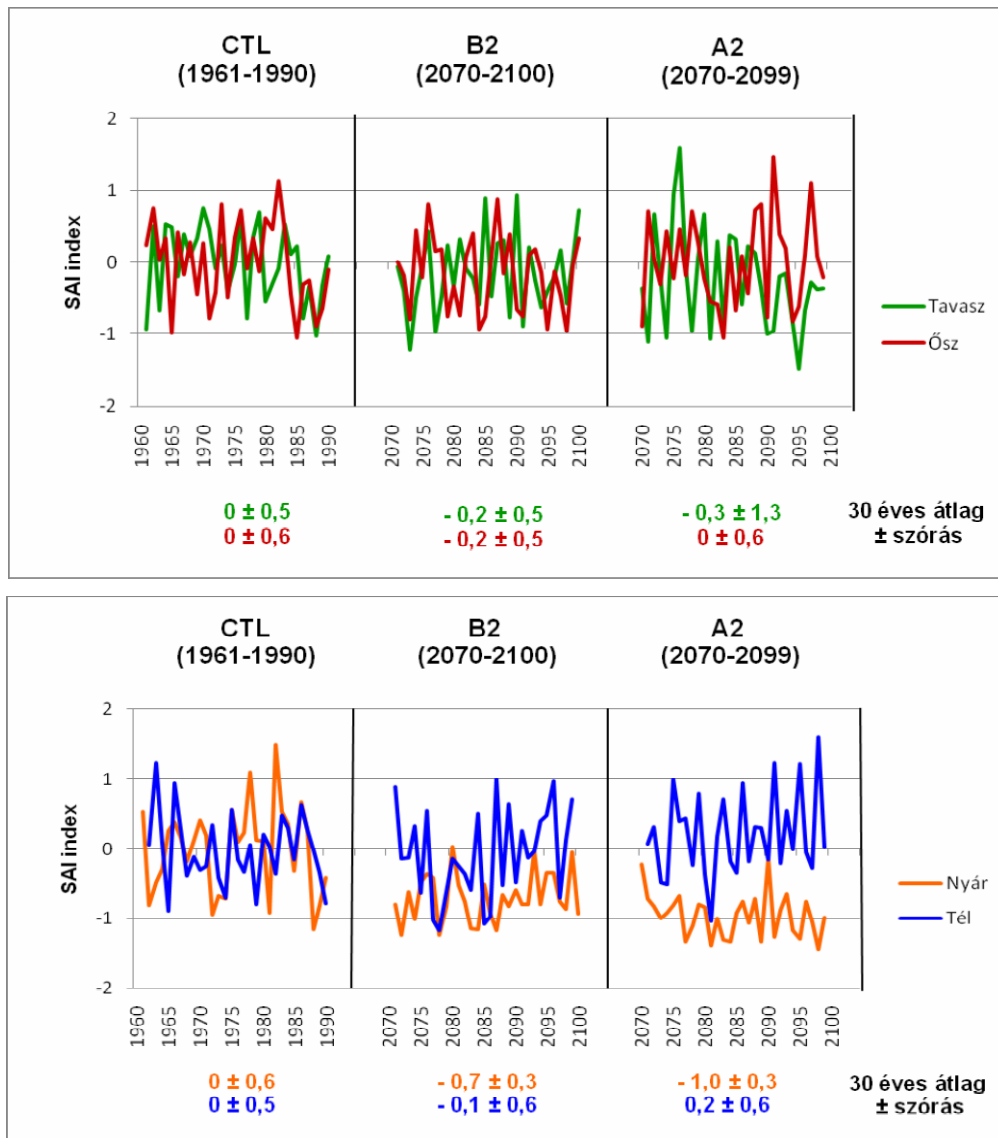
A térképekről leolvasható, hogy a csapadékösszegek változásának várható tendenciája nem minden évszakban azonos előjelű. Tavasszal az A2 scenárió esetén az ország nagy részére nem várható különösebb változás, azonban a Dunántúli-középhegység és az Északi-középhegység területére kismértékű csapadékcsökkenés feltételezhető. A B2 scenárióra vonatkozó futtatások eredményei alapján a tavaszi évszak csapadékváltozása az egész ország területére homogén eloszlást mutat, a változás általában nem haladja meg a 10 mm-t. A nyári időszakra mindkettő scenárió jelentős mértékű csapadékcsökkenést jelez, mely akár az 50 mm-t is elérheti. Ősszel az A2 scenárió esetén a dél-alföldi térség 10 mm-es csapadéknövekedésén és a B2 forgatókönyv esetén az északkeleti országrész 20 mm-es csapadékcsökkenésén kívül nem várható számottevő változás. A téli hónapokra a pesszimistább A2 scenárió jelentősebb mértékű csapadéknövekedést valószínűsít a Dunántúl nyugati részén, míg a B2 scenárió esetén az ország délnyugati részén a várható csapadéknövekedés nem haladja meg a 10 mm-t.



9. ábra: A 2071-2100-ra várható csapadékindex változásának évszakos mértéke (mm) a Kárpát-medence térségére (Referencia időszak: 1961-1990)

4.2. A standardizált csapadékindex (SAI)

A standardizált csapadékindex számítása során a havi szimulált csapadékösszeg és a referencia időszak csapadékátlagának különbségét vettük, majd a referencia-időszak szórásával hányadost képeztünk. A 10. ábrán a standardizált csapadékindex évszakos idősorait mutatom be mind a három vizsgált szimulációs időszakra vonatkozóan.



10. ábra: Az évszakos standardizált csapadékindex szimulált idősorai a magyarországi rácspontok alapján

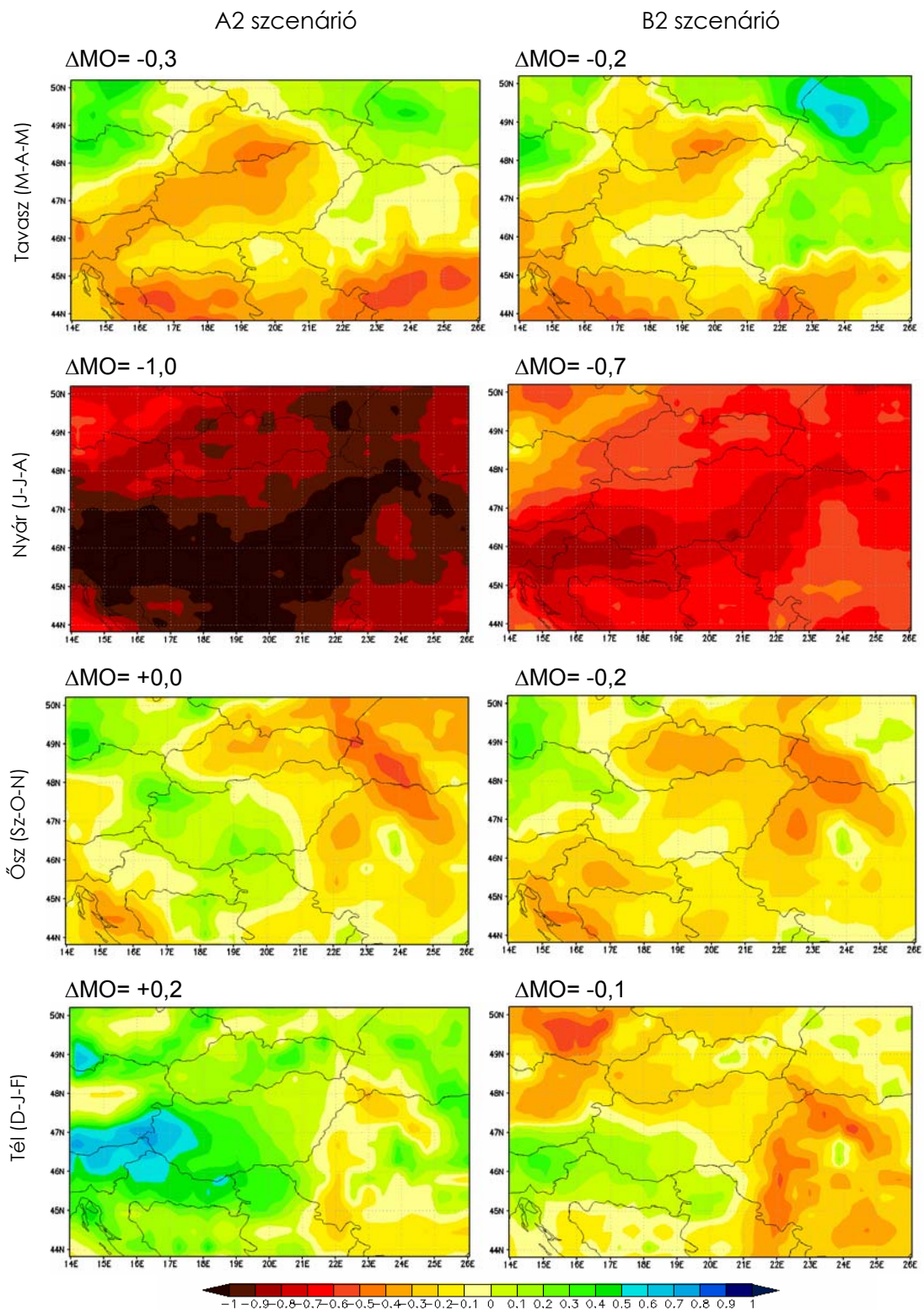
A 10. ábrán feltüntetett értékek esetén az értelmezéshez szükséges annak figyelembevétele, hogy a SAI index a változás mértékét adja meg (Katz és Glantz, 1986). A 2. táblázatban a standardizált csapadékindex értékeit és az ahhoz tartozó változásra utaló jelzőket tüntettem fel.

SAI index értéke	SAI érték jelentése
$2,0 < \text{SAI index}$	extrém nedvesség
$1,5 \leq \text{SAI index} < 2,0$	komoly nedvesség
$1,0 \leq \text{SAI index} < 1,5$	mérsékelt nedvesség
$0 \leq \text{SAI index} < 1,0$	enyhe nedvesség
$\text{SAI index} \approx 0$	normál állapot
$-1,0 \leq \text{SAI index} < 0$	enyhe szárazság
$-1,5 \leq \text{SAI index} < -1,0$	mérsékelt szárazság
$-2,0 \leq \text{SAI index} < -1,5$	komoly szárazság
$\text{SAI index} < -2,0$	extrém szárazság

2. táblázat: A SAI index értékeinek jelentése McKee et al. (1993) alapján

A PRECIS szimulációk a SAI index értékében a B2 scenárió esetén tavasszal, ősszel és télen közel azonos, kis mértékű (maximum -0,2) csapadékcsökkenést jeleznek, míg nyáron ez a csökkenés jelentősebb mértékű (-0,7). A pesszimistább A2 scenárió nyárra számottevő (-1,0) csapadékcsökkenést mutat a XXI. század végére, valamint tavasszal a referencia időszakhoz képest valamelyest nagyobb csökkenést prognosztizál, mint a B2 scenárió, de ennek évek közötti változékonysága rendkívül nagy ($\pm 1,3$). Az A2 scenárió alapján télen enyhe (+0,2) csapadéknövekedés valószínűsíthető, vagyis ebben az időszakban a többi évszakkal ellentétben, pozitív változás feltételezhető. Nyárra mindkettő scenárió szignifikáns szárazodást jelez a Kárpát-medence teljes területére.

A 11. ábrán a SAI index várható évszakos változásának területi eloszlását mutatom be. A térképek fölött a magyarországi változás területi átlagát jelöltem az A2 és a B2 scenárió esetén a referencia időszakhoz viszonyítva. Jól látható, hogy a SAI index évszakos változása nem minden évszakban mutat azonos tendenciát. Az A2 scenárió alapján tavasszal az Alpok és a Kárpátok területein enyhe csapadéknövekedés várható, míg a Kárpát-medencében enyhe szárazság valószínűsíthető. Az aszályosodás szempontjából tavasszal az ország északi része a leginkább fenyegetett térség. A B2 scenárió szerint ugyanerre az évszakra jelentéktelenebb szárazosodás várható hazánk területére. Ukrajna délnyugati területeire ezzel ellenben enyhe csapadéknövekedés lehetséges.



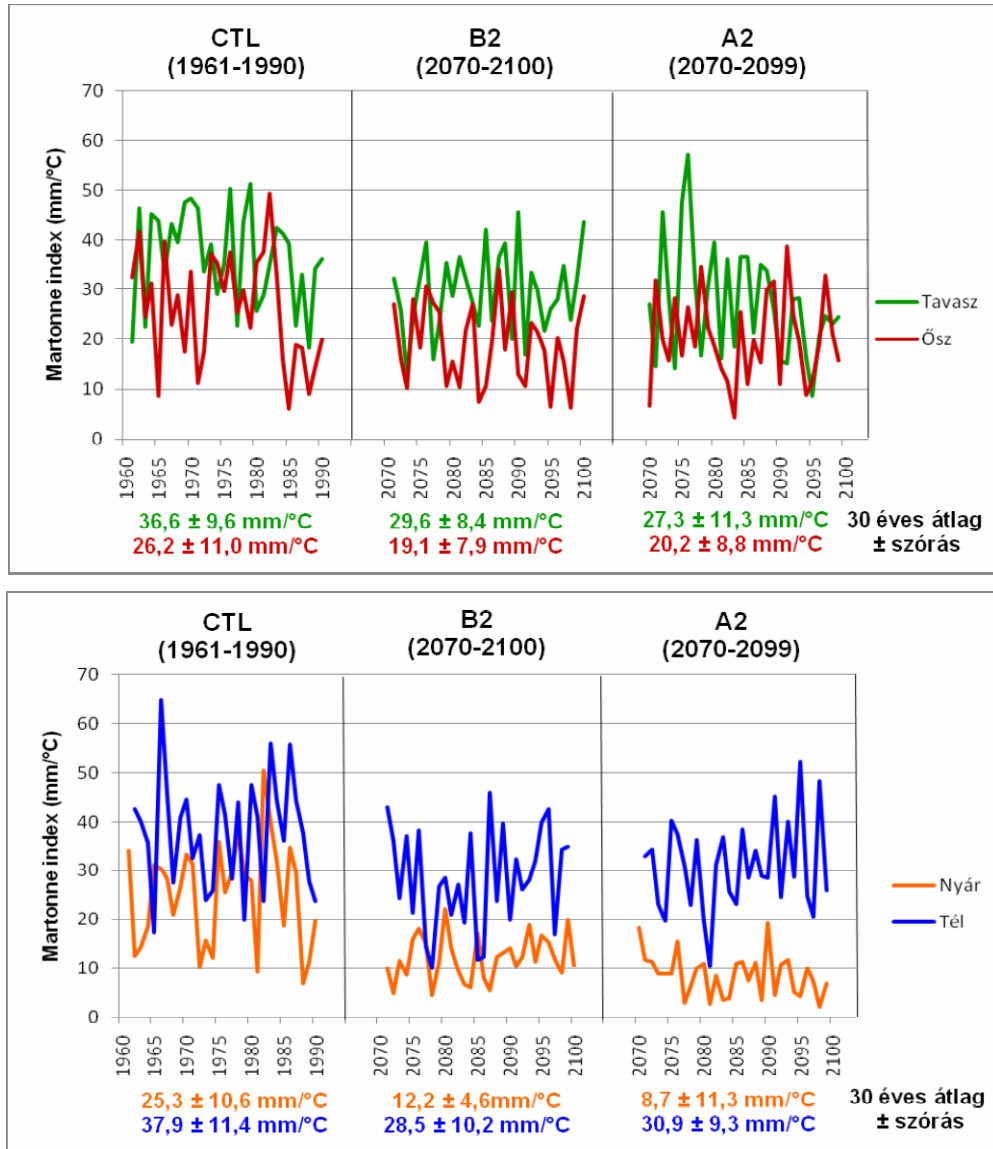
11. ábra: A 2071-2100-ra várható SAI index évszakos változásának mértéke a Kárpát-medence térségére (Referencia időszak: 1961-1990)

Nyáron az A2 és a B2 scenárió szerint is egyértelműen csapadékhiány várható, különbség csak az aszályosodás mértékében van. Míg az optimistább B2 scenárió mérsékelt szárazodást jelez előre a vizsgált terület középső részén, addig az A2 scenárió komoly illetve extrém aszályosodást prognosztizál a Kárpát-medence teljes területére. Ősszel az A2 scenárió alapján elmondható, hogy jelentős változás nem valószínű, az ország keleti részére enyhe szárazodás, a nyugati részére enyhe csapadéknövekedés várható. Jelentősebb aszályosodás előrejelezhető az északkeleti térségben, ahol tavasszal enyhe csapadéknövekedés volt várható. Ezáltal az évszakok közötti szórás nagy értéket mutat. A B2 scenárió az ország nagy hányadára jelez enyhe szárazosodást, kivételt az ország nyugati része képez. Télen a referencia időszakhoz képest az A2 scenárió alapján az ország egészére enyhe csapadéknövekedés várható, kiváltképpen az ország nyugati területein. Jelentéktelen szárazodás az ország keleti határán kívül, Románia egyes területein feltételezhető. A B2 scenárió esetén hazánk egy északnyugat-délkelet irányú egyenes mentén két részre osztható, hiszen a délnyugati területeken enyhe csapadéknövekedés várható, míg az északkeleti térségekben enyhe szárazosodás valószínűsíthető.

A SAI index elemzése alapján összegezve elmondható, hogy hazánk területére a B2 scenárió esetén (a tél kivételével) minden évszakban aszályosodás prognosztizálható, míg ezzel ellentétben az A2 scenárió alapján ősszel és télen enyhe csapadéknövekedés is elképzelhető. A legjelentősebb mértékű változásra mindkét scenárió esetén nyáron számíthatunk.

4.3. A De Martonne-féle ariditási index

A havi csapadékösszeg és a hőmérséklet korrigált hányadosaként előállítható a De Martonne index (De Martonne, 1926). A 12. ábrán az ariditási index évszakos idősorait láthatjuk az A2 és B2 szcenáriókra, valamint a kontroll-időszakra (1961-1990).



12. ábra: Az évszakos De Martonne index (mm/°C) szimulált idősorai a magyarországi rácspontok alapján

Az idősorok és térképek értelmezéséhez a 3. táblázat segít. A 12. ábráról leolvasható, hogy a PRECIS szimulációk alapján a referencia időszakban a magyarországi rácspontok esetén tavasszal, nyáron és ősszel átlagosan kissé nedves időszakok voltak, míg télen nedves periódus volt jellemző.

De Martonne index értéke	De Martonne index jelentése
60 > Martonne index	igen nedves
60 > Martonne index > 30	nedves
30 > Martonne index > 20	kissé nedves
20 > Martonne index > 15	félszáraz
15 > Martonne index > 5	száraz
5 > Martonne index > 0	extrém száraz

3. táblázat: A De Martonne-féle ariditási index értékeinek jelentése De Martonne (1926) alapján

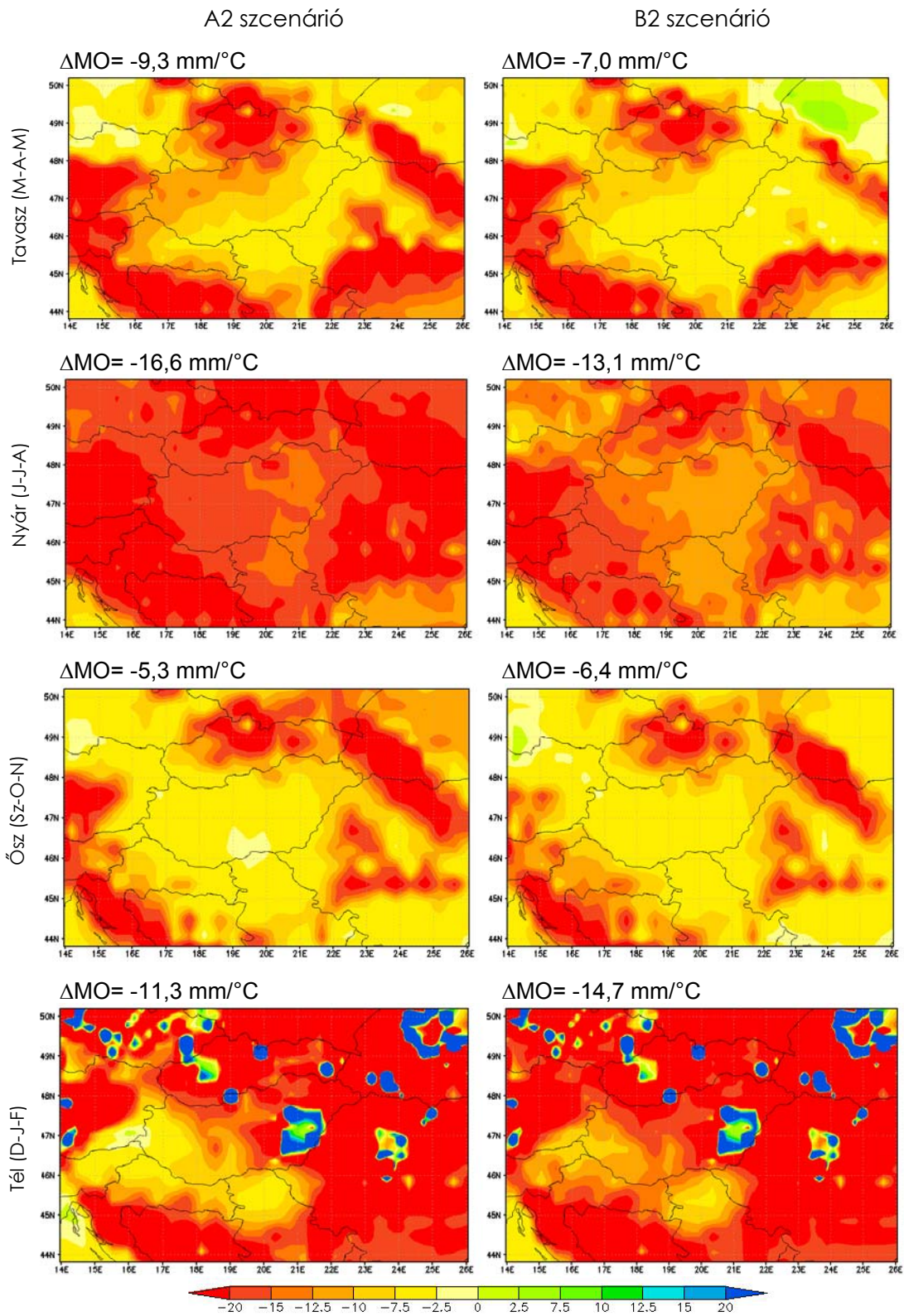
Általánosságban elmondható, hogy a De Martonne index értékei mind a négy évszakra vonatkozóan az A2 és a B2 forgatókönyv alapján egyaránt a teljes vizsgált területre szárazabb éghajlatot jeleznek előre.

Tavasszal és ősszel a várható csökkenés a vizsgált területre kisebb mértékű, mint télen és nyáron. Tavasszal az A2 scenáriót figyelembe véve jelentősebb szárazodásra számíthatunk, mint a B2 scenárió esetén. Az A2 scenárió nagyobb mértékű csapadékcsökkenéséhez tavasszal és nyáron is nagy változékonyság párosul ($\pm 11,3$ mm/°C). Nyáron az A2 scenárió esetén a De Martonne index értékében átlagosan 65%-os csökkenés várható a referencia időszakhoz képest.

A 13. ábrán mutatom be a 2071-2100-ra várható De Martonne indexek értékeinek változását a Kárpát-medence térségére a kontroll időszakhoz viszonyítva. Az index kiszámítási képletéből adódóan a negatív értékek előfordulása minimális, hiszen ritka a -10°C alatti havi átlaghőmérséklet, azonban akadnak olyan évek (főként a referencia időszak adataiban), amikor télen a havi átlaghőmérséklet néhány ezreddel kisebb, mint a „kritikus” -10°C , és ebben az esetben a definíció alapján meglehetősen szélsőséges értékek adódnak. Emiatt jelennek meg a kék színárnyalatok egy-egy rácspont körzetében a téli térképeken.

A térképek alapján elmondható, hogy a század végére a vizsgált terület teljes egészére mind a négy évszakra szárazabb éghajlat válik jellemzővé. Részletesebben az alábbiakban foglalhatjuk össze az évszakonként várható változásokat.

1. Tavasszal az A2 scenárió esetén Magyarországon a Dunántúl és az Északi-középhegység területei lehetnek a szárazodás szempontjából leginkább veszélyeztetett térségek, míg a B2 scenárió szimulációi alapján a Mátra vidéke válik szárazabbá.



13. ábra: A 2071-2100-ra várható De Martonne index változásának évszakos mértéke (mm/°C) a Kárpát-medence térségére (Referencia időszak: 1961-1990)

2. Nyárra a B2 scenárió az ország nyugati részére valószínűsít nagyobb szárazságot, míg az A2 scenárió esetén az Alföld középső részének kivételével az ország egésze érintett, különösen a nyugati határ térségei.
3. Az őszi évszakra mindkettő scenárió alapján csak enyhe szárazodás várható az ország területére, mely alól csupán Bács-Kiskun megye déli területe képez kivételt.
4. Télen az A2 és a B2 scenárió esetén is az aszályosodás szempontjából legkevésbé veszélyeztetett területté az ország nyugati része válik.

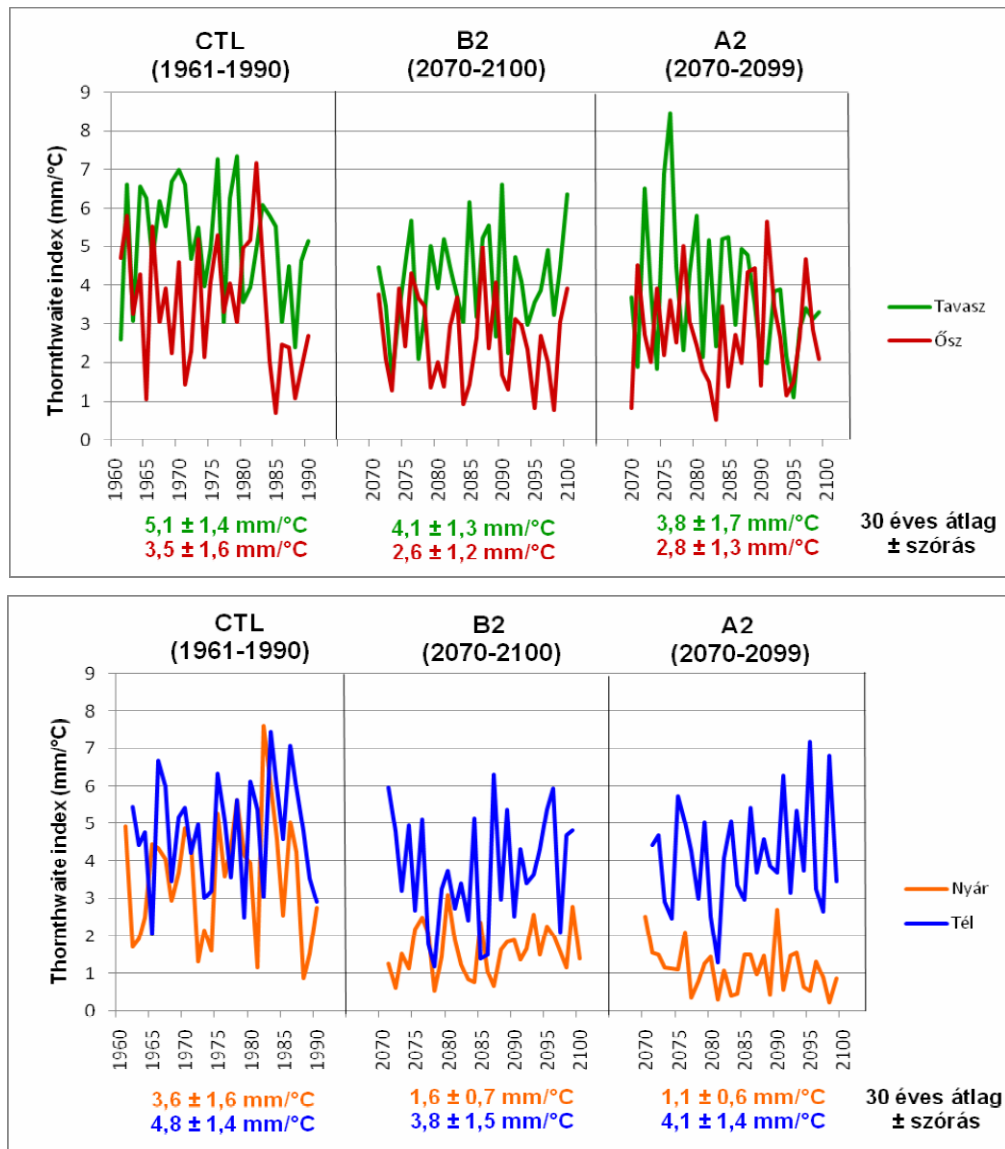
A De Martonne indexet tekintve elmondható, hogy a B2 scenárió mind a négy évszakra a változékonyság csökkenését valószínűsíti, míg az A2 scenárió esetén tavasszal és nyáron a szórás növekedése várható.

4.4. A Thornthwaite-féle agrometeorológiai index

A havi csapadékösszeg és a havi átlaghőmérséklet korigált hányadosaként előállítható a Thornthwaite-féle agrometeorológiai index (David, 1990). Az index értékeit a 4. táblázatban értelmezzük.

Thornthwaite index értéke	Thornthwaite index jelentése
$6,4 < \text{Thornthwaite index}$	nedves
$3,2 < \text{Thornthwaite index} < 6,4$	félszáraz
$1,6 < \text{Thornthwaite index} < 3,2$	száraz
$\text{Thornthwaite index} < 1,6$	igen száraz

4. táblázat: A Thornthwaite-féle ariditási index értékeinek jelentése David (1990) alapján



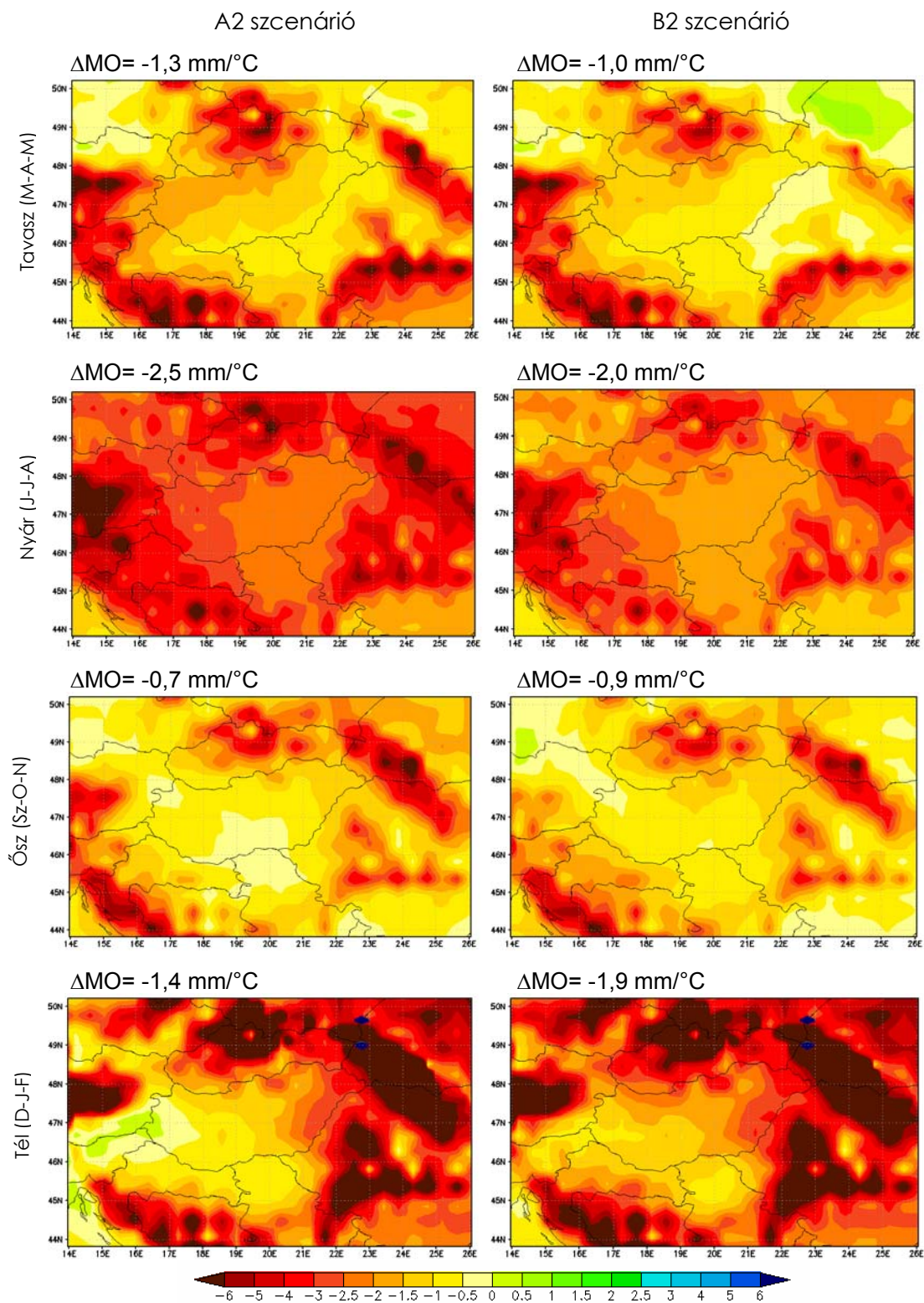
14. ábra: Az évszakos Thornthwaite-féle agrometeorológiai index (mm/°C) szimulált idősorai a magyarországi rácspontok alapján

A 14. ábrán a Thornthwaite index idősorait láthatjuk a jövő scenárióira és a referencia időszakra vonatkozóan. Az ábráról leolvasható, hogy az 1961-1990 közötti időszakban a Thornthwaite index alapján Magyarország területe mind a négy évszakban félszárazként jellemezhető. A XXI. század végére az A2 és a B2 scenárió alapján is egyaránt szárazodó tendenciát figyelhetünk meg.

Tavasszal és ősszel a Thornthwaite index értékében a változás mindkettő scenárió esetén kb. 20-25%-os csökkenést mutat a század végére. A legnagyobb változás nyárra várható, amikor már az optimistább B2 scenárió esetén is a Thornthwaite index fele akkora értéket ($1,6 \text{ mm}/^\circ\text{C}$) vesz fel a kontroll időszakhoz képest ($3,6 \text{ mm}/^\circ\text{C}$), valamint az A2 scenárió esetén ez az érték ($1,1 \text{ mm}/^\circ\text{C}$) szinte harmadára csökken. A legnagyobb szórás az A2 scenárió esetén tavasszal ($1,7 \text{ mm}/^\circ\text{C}$), míg a B2 scenárió esetén télen várható ($1,5 \text{ mm}/^\circ\text{C}$). A változékonyság alakulását figyelembe véve megállapítható, hogy nyáron várható a legjelentősebb csökkenés mind a két scenárió esetén.

A 15. ábrán a Thornthwaite index évszakai változásának területi eloszlását láthatjuk. Mindkettő scenárió egyaránt szárazodást prognosztizál a XXI. század végére az vizsgált térség teljes egészére.

Tavasszal az A2 scenárió hazánk északnyugati területére és az Északi-középhegység egyes részeire igen száraz éghajlatot valószínűsít. Az ország északnyugati részétől délkelet felé haladva ez a szárazodó hatás egyre kevésbé érvényesül. A legjelentősebb aszályosodást mindkét scenárió nyárra mutatja, melynek értéke az A2 scenárió esetén $-2,5 \text{ mm}/^\circ\text{C}$ és a B2 scenárió esetén $-2,0 \text{ mm}/^\circ\text{C}$. Ezzel ellentétben a legkisebb változás ősszel várható, ahol a változás mértéke nem haladja meg a $-0,9 \text{ mm}/^\circ\text{C}$ -ot. Télen, a nyárihoz hasonló mértékű aszályosodás prognosztizálható az ország keleti részében az A2 és a B2 scenárió esetén egyaránt, míg az A2 scenárió előrejelzése alapján átlagosan minimális mértékű csapadéknövekedés is elképzelhető a Kőszegi-hegység vidékén.

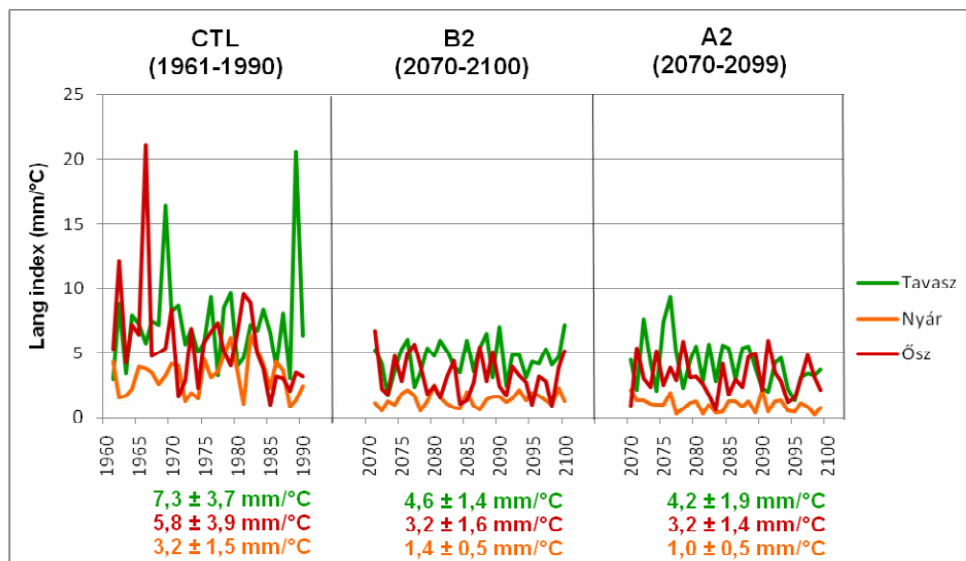


15. ábra: A 2071-2100-ra várható Thornthwaite index változásának évszakos mértéke (mm/°C) a Kárpát-medence térségére (Referencia időszak: 1961-1990)

4.5. Lang-féle esőzési index

A havi szimulált csapadékösszeg és átlaghőmérséklet korigíratlan hányadosaként képezzük a Lang-féle esőzési indexet (Lang et al., 1999). Vizsgálataink során az adott index értékelését mindkettő scenárióra és mind a négy évszakra elvégeztük, azonban a téli évszak értékei a Lang-index definíciója miatt értelmezhetetlenné váltak. Ennek oka a télen előforduló nagyobb mennyiségű csapadék és a fagypont alatti hőmérséklet hányadosából adódik, melynek következtében egymás melletti rácspontokon is óriási eltérések mutatkoztak. A probléma azonban a magashegységek esetén a tavaszi és az őszi értékeken is megmutatkozik.

A 16. ábrán a Lang-féle esőzési index magyarországi rácspontokra vonatkozó területi átlag idősorait tüntettem fel a B2 (2070-2100) és az A2 (2070-2099) scenáriókra, valamint a kontroll időszakra (1961-1990) vonatkozóan.

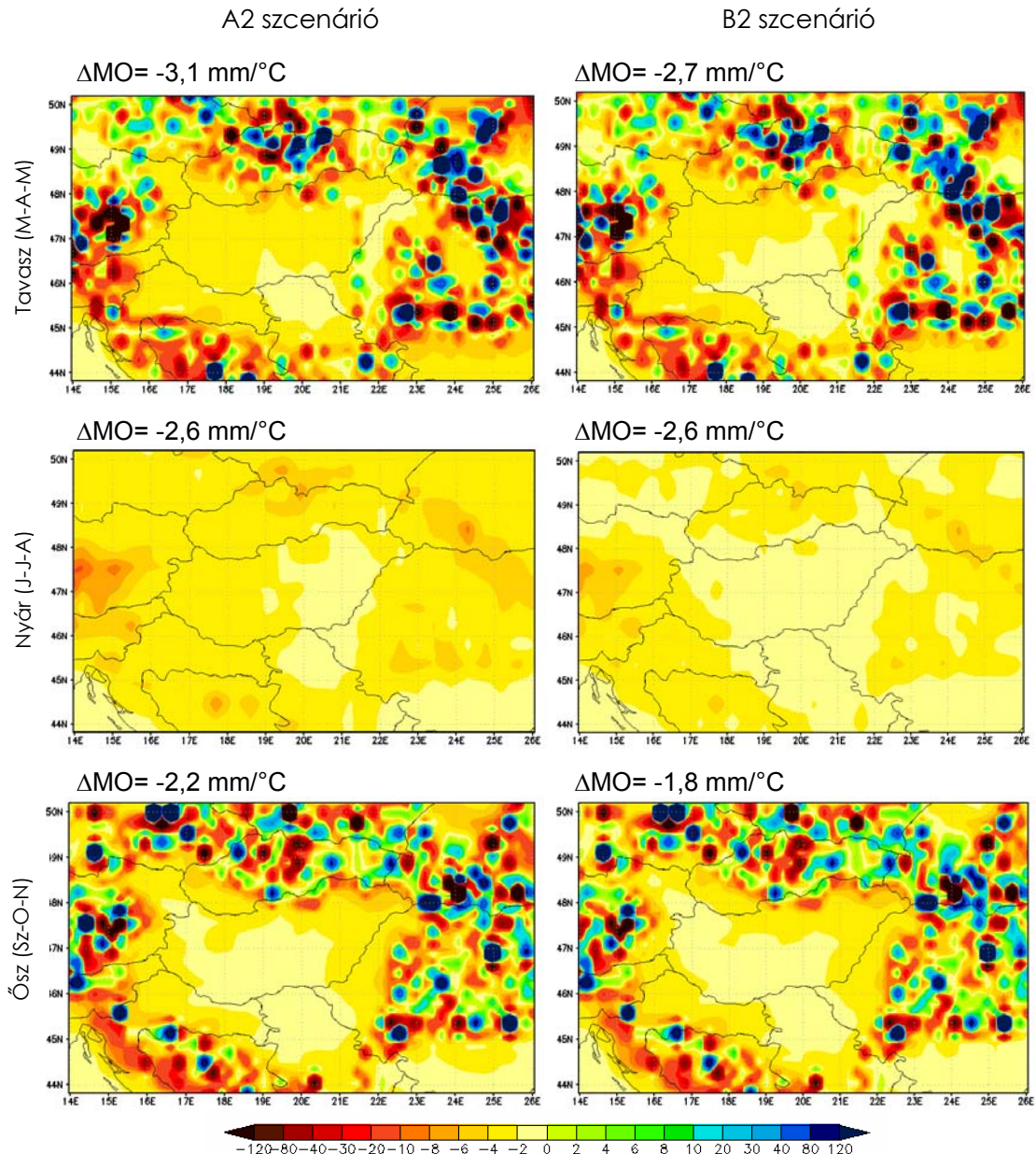


16. ábra: Az évszakos Lang-féle csapadékindex (mm/°C) szimulált idősorai a magyarországi rácspontok alapján

Az ábrán láthatjuk, hogy a Lang-féle esőzési index értékei az A2 és a B2 scenárió esetén is, a referencia időszak értékeihez viszonyítva jelentős mértékben csökkentek. A kontroll időszakhoz képest a legnagyobb változás az A2 és a B2 scenáriók alapján egyaránt nyáron várható (az A2 scenárió esetén mintegy 69%-os, a B2 scenárió esetén 56%-os a csökkenés mértéke). A század végére a legnagyobb változékonyság az A2 scenárió esetén tavasszal várható ($\pm 1,9$ mm/°C), míg a legkisebb mindkettő forgatókönyv szerint nyáron

($\pm 0,5 \text{ mm}/^\circ\text{C}$). Mind a három évszakban az évek közötti változékonyság csökkenése (harmadára való visszaesése) valószínűsíthető.

A 17. ábrán a Lang-féle esőzési index évszakos változásának területi eloszlását láthatjuk. A térképek fölé a magyarországi rácspontokra leválasztott indexek változásának mértékét jelöltem az adott scenárióra vonatkozóan a referencia időszakhoz képest. A térképeken jól látható, hogy Magyarország területére mind a három évszaktot figyelembe véve szárazodás valószínűsíthető. A két scenárió közötti különbség minimális, mindkettő az aszályhajlam növekedését prognosztizálja.



17. ábra: A 2071-2100-ra várható Lang-féle esőzési index változásának évszakos mértéke ($\text{mm}/^\circ\text{C}$) a Kárpát-medence térségére (Referencia időszak: 1961-1990)

4.6. Ped-féle talajnedvességi index

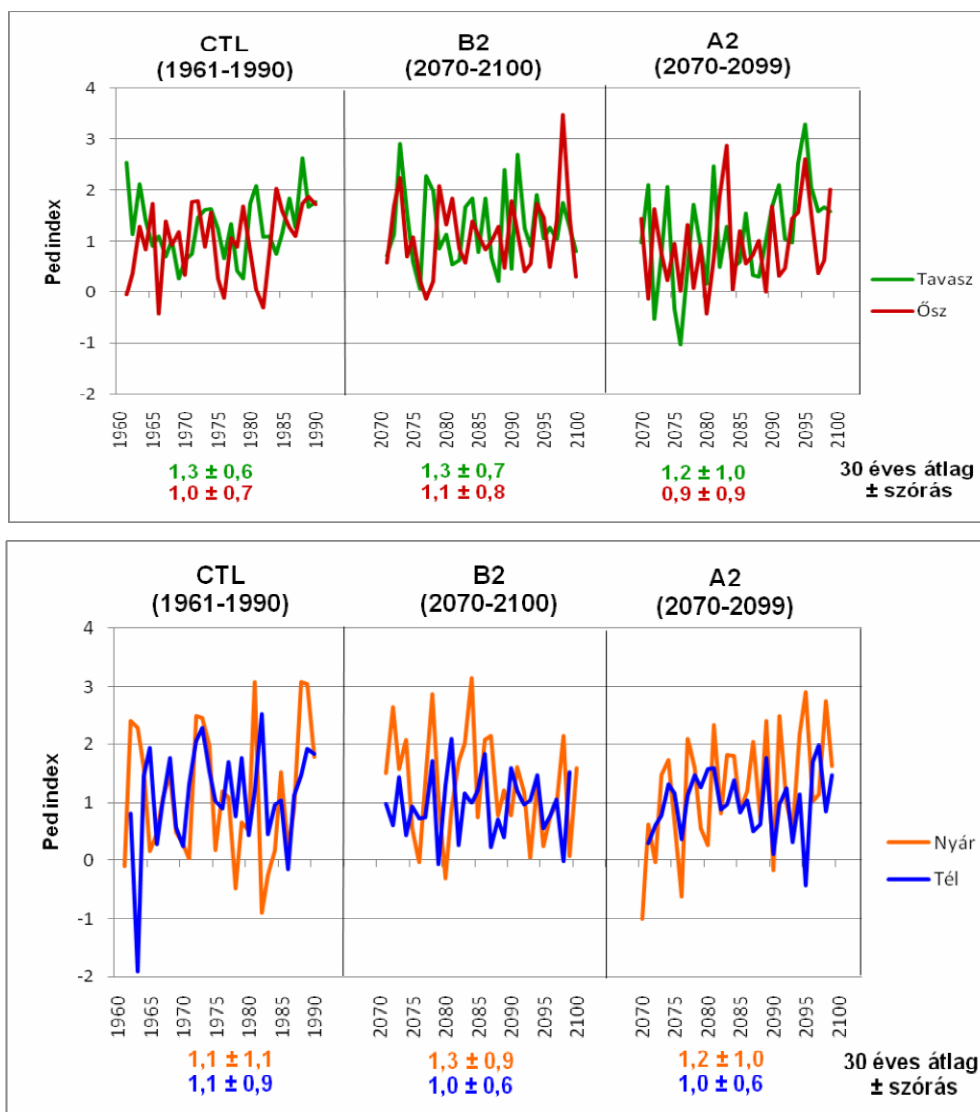
A Ped-féle talajnedvességi index az átlaghőmérséklet és annak szórással vett hányadosának, valamint az átlagos csapadékmennyiség és annak szórással vett hányadosának különbségeként állítható elő (Bagrov, 1983). Az index változásának diagramon és térképen megjelenített értékei az 5. táblázat alapján értelmezendők. Az eddigi indexekkel ellentétben a Ped index pozitív irányú változása a szárazodásra utal, a negatív előjelű változások pedig az éghajlat csapadékosabbá válását jelzik.

Ped index értéke	Ped index jelentése
$-3 \geq \text{Ped index}$	komoly csapadéknövekedés
$-3 \leq \text{Ped index} < -2$	közepes mértékű csapadéknövekedés
$-2 \leq \text{Ped index} < -1$	jelentéktelen csapadéknövekedés
$1 \leq \text{Ped index} < 2$	jelentéktelen aszályosodás
$2 \leq \text{Ped index} < 3$	közepes mértékű aszályosodás
$3 \leq \text{Ped index}$	komoly aszályosodás

5. táblázat. A Ped index értékeinek jelentése Bagrov (1983) alapján

A 18. ábrán a Ped index évszakos idősorait láthatjuk az A2 és B2 scenárióra, valamint a referencia időszakra vonatkozóan. A diagramokon jól látható, hogy a Ped index változásának átlagértékei tavasszal, ősszel és télen nem haladják meg a 0,1 értéket. A B2 scenárió esetén a legnagyobb változékonyság nyárra várható ($\pm 0,9$), míg az A2 scenárió esetén tavaszra és nyárra (mindkét évszak esetén egyaránt $\pm 1,0$).

A 19. ábrán a Ped index 2071-2100-ra várható évszakos változását láthatjuk az 1961-1990-es referencia-időszakhoz viszonyítva, a Kárpát-medence térségére. A térképekről leolvasható, hogy tavasszal a PRECIS modell az A2 scenárió esetén csapadéknövekedést prognosztizál hazánk teljes területére, azonban nagyobb változás az ország délnyugati, valamint az északkeleti területeire várható. A B2 scenárió esetén tavasszal a változás előjele nem azonos az országban. Ha hazánkat képzeletben egy délnyugat-északkelet irányban húzódó egyenessel két részre osztanánk, akkor elmondhatjuk, hogy a délkeleti területen csapadéknövekedés, míg az északnyugati térségben szárazodás valószínűsíthető.

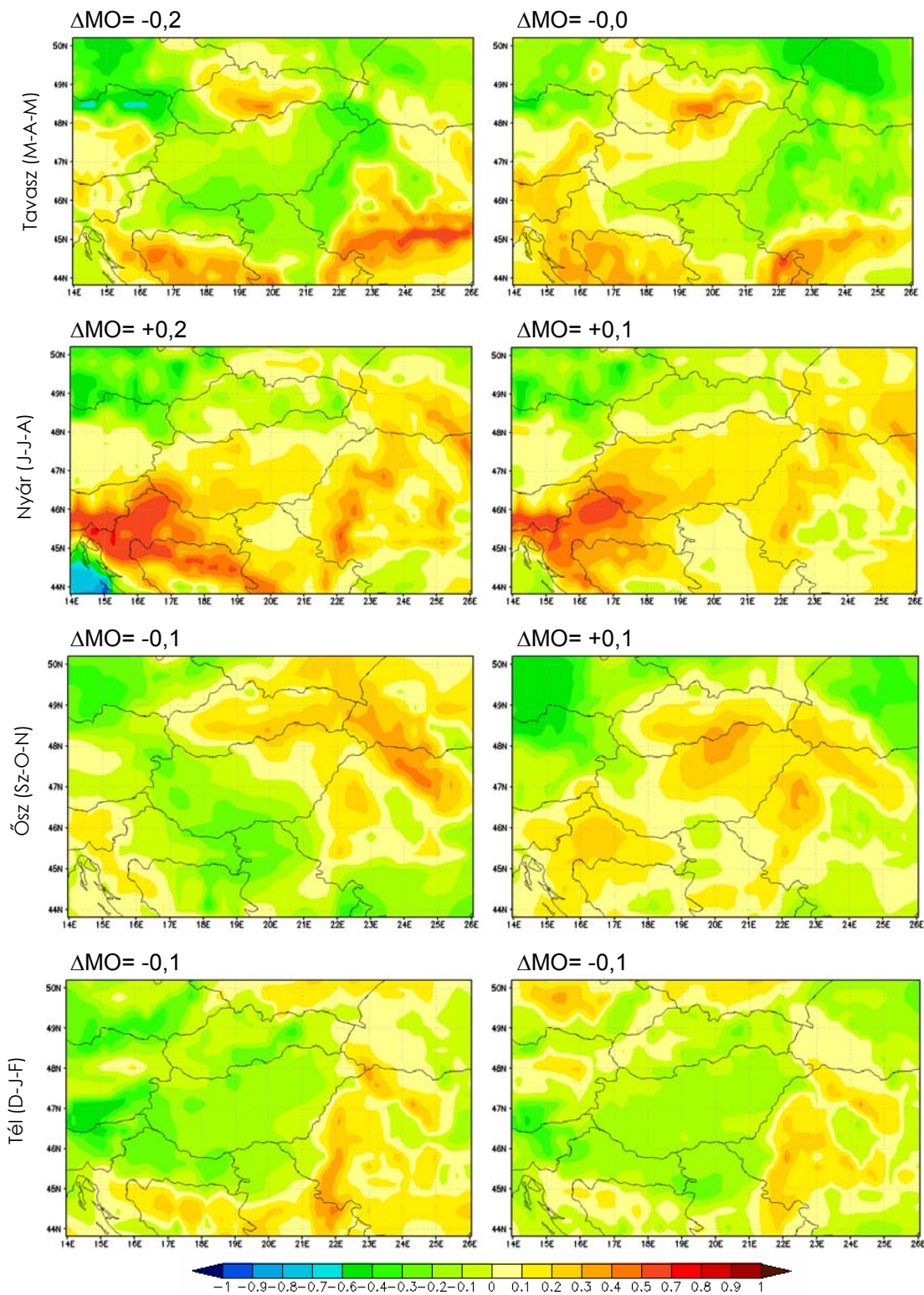


18. ábra: Az évszakos Ped index szimulált idősorai a magyarországi rácspontok alapján

Nyárra mindkét scenárió szárazodást prognosztizál, különbség csak az érintett területekben mutatkozik. Az A2 szimulációi szerint az ország északi területein nem várható jelentősebb változás, míg a szárazodás szempontjából leginkább veszélyeztetettebb területté a délnyugati országrész válhat. Ősszel az A2 scenárió az ország nyugati felére csapadéknövekedést, míg a keleti felére szárazodást prognosztizál. A B2 scenárió ugyanerre az időszakra az ország jelentős részére szárazodást valószínűsít, ez alól csak a Kisalföld és a Kiskunság déli része kivétel. Téltre mindkét scenárió szerint csapadéknövekedésre számíthatunk, melynek leginkább érintett területei az A2 scenárió esetén hazánk nyugati peremterülete, a Bakony és a Börzsöny, illetve a B2 scenárió esetén kisebb mértékben, de Magyarország teljes területe érintett.

A2 szcenárió

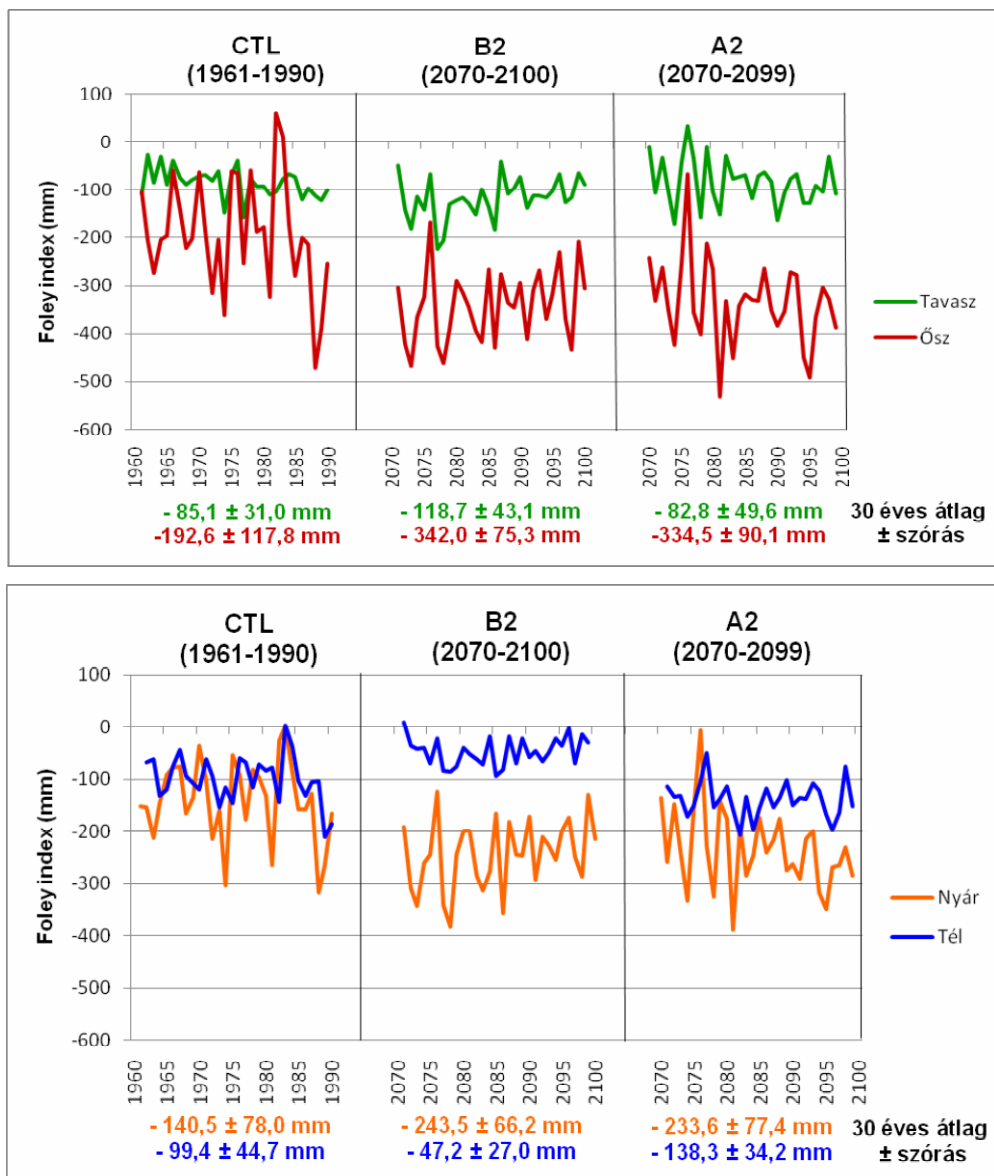
B2 szcenárió



19. ábra: A Ped index 2071-2100-ra várható változásának évszaki mértéke a Kárpát-medence térségére (Referencia időszak: 1961-1990)

4.7. Foley-féle anomália index

A Foley-féle anomália index az egyetlen általunk vizsgált rekurzív index, vagyis ennek számítása során a megelőző időszak adatait is felhasználjuk. Ez az index a havi szimulált csapadékadatokból állítható elő (Foley, 1957).



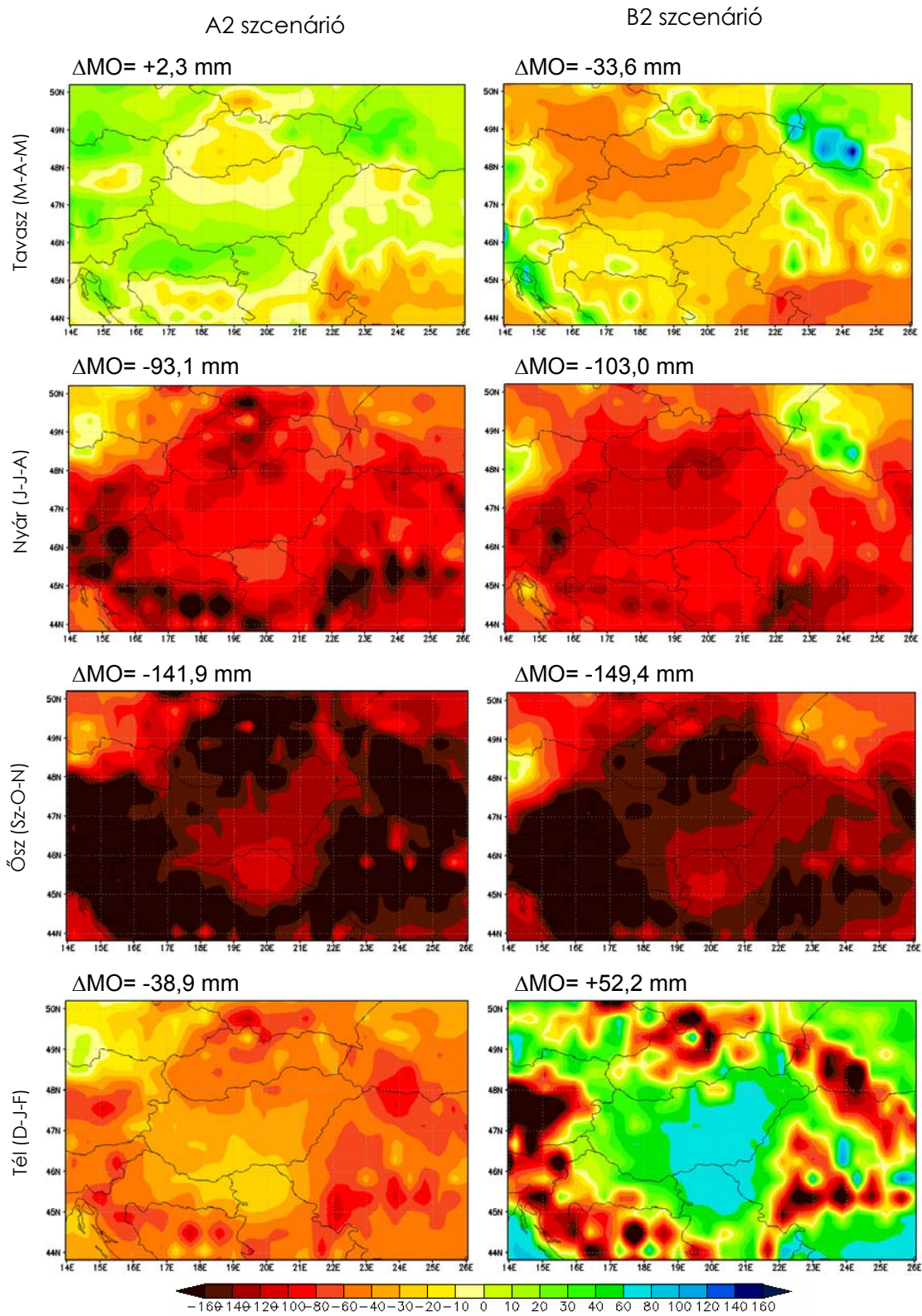
20. ábra: Az évszakos Foley index (mm) szimulált idősorai a magyarországi rácspontok alapján

A Foley-féle index területi átlagainak évszakonkénti idősorait láthatjuk a 20. ábrán. Jól látható, hogy az A2 és a B2 scenárió esetén várható évszakos változások előjelei nem minden évszakban egyeznek meg. Míg az A2 scenárió tavasszal az éghajlati viszonyok kis mértékű nedvesebbé válását prognosztizálja, addig a B2 scenárió jelentősebb szárazodást jelez a XXI. század végére.

Télen fordítva, vagyis a B2 scenárió az éghajlat nagymértékű nedvesedését, míg az A2 scenárió az éghajlat szárazodását jelzi. A legkisebb változás az A2 és a B2 szimulációk alapján egyaránt tavasszal várható. Az A2 és a B2 forgatókönyv esetén is a legnagyobb változékonyság ősssel valószínűsíthető, melynek értéke az A2 scenárió esetén $\pm 90,1$ mm, a B2 scenárió szerint pedig $\pm 75,3$ mm. Ezen felül elmondható, hogy a tavasz kivételével mindegyik évszakban a változékonyság csökkenése figyelhető meg, melynek mértéke minimum 23% (A2 scenárió esetén ősssel), viszont a B2 scenárió téle akár 40%-os szórásnövekedéssel is számol.

A 21. ábrán a Foley index várható évszakai változásának mértékét láthatjuk az A2 (2070-2099) és a B2 (2070-2100) scenárióra a referencia (1961-1990) időszakhoz viszonyítva. A térképek fölötti sorban a magyarországi rácspontokra leválasztott indexek változásának mértékét jelöltem az adott scenárióra vonatkozóan a referencia időszakhoz képest.

Tavasszal az A2 scenárió esetén az éghajlat enyhe nedvesedésére számíthatunk hazánk területének nagy részén, míg a B2 scenárió a Foley index csökkenését prognosztizálja (területi átlagban mintegy 34 mm-rel). Nyáron a szárazodás szempontjából a leginkább veszélyeztetett térség a Dunántúl, valamint az Északi-középhegység egyes területei. Az eddigi indexektől eltérően a Foley index értékei alapján az A2 és a B2 scenárió is a legnagyobb szárazodás nem nyárra, hanem ősze valószínűsíti. A legnagyobb változás az ország nyugati részén várható, míg a legkevésbé szárazodó vidék az A2 scenáriót tekintve a Kiskunság déli része. Télen a két scenárió ellentétes előjelű változást prognosztizál. Az A2 scenárió a vizsgált terület egészére aszályosodást jelez előre, ezen belül Magyarország térsége esetén az északkeleti régióban várható a legnagyobb mértékű szárazodás. A B2 scenárió esetén a Kárpát-medence területét vizsgálva a magashegységekben csökkenő csapadékhajlam jellemezheti a térséget a XXI. század végére, míg Magyarország területére nedvesedést valószínűsít, kiváltképp az Alföld vidékére, ahol a Foley indexben történő változás mértéke meghaladhatja a 60 mm-t.



21. ábra: A Foley index 2071-2100-ra várható változásának évszakos mértéke (mm) a Kárpát-medence térségére (Referencia időszak: 1961-1990)

4.3. Magyarországi változások

Elemzéseink során a teljes vizsgált kivágtából a magyarországi rácsponthoz leválasztottuk, s az indexek területi átlagaiból képeztük a várható országos változásokat az A2 és B2 scenáriókra a referencia időszakhoz viszonyítva. Az eredményeket egyrészt az egyes indexekre vonatkozó külön fejezetekben a térképek fölött jelenítettem meg az index mértékegységében kifejezve, másrészt a könnyebb összehasonlíthatóság érdekében százalékos formában a 6. táblázatban foglaltam össze.

	B2				A2			
	Tavaszi	Nyári	Őszi	Téli	Tavaszi	Nyári	Őszi	Téli
Csapadék index	-4,9	-27,7	-7,5	-1,7	-8,2	-37,4	-3,2	-4,0
SAI index	-0,2	-0,7	-0,2	-0,1	-0,3	-1,0	0	+0,2
De Martonne index	-19,1	-51,8	-27,1	-24,8	-25,4	-65,6	-22,9	-18,5
Thornthwaite index	-19,6	-55,6	-25,7	-20,8	-25,5	-69,4	-20,0	-14,6
Lang index	-37,0	-56,3	-44,8	-	-42,5	-68,8	-44,8	-
Ped index	0	+ 18,2	+30,0	-9,1	-15,4	+9,1	0	-9,1
Foley index	-39,5	-73,3	-77,6	+52,5	+2,7	-66,3	-73,7	-39,1

6. táblázat. A vizsgált indexek magyarországi területre vonatkozó várható változásának értékei (%) a referencia időszakhoz viszonyítva (Referencia időszak: 1961-1990)

A PRECIS szimulációk szerint a 6. táblázatban felsorolt indexek alapján elmondható, hogy értelmezésüktől és értékhatáraiktól függően Magyarország területére nagyobb mértékű aszályosodás várható. Az éghajlat szárazodására főként a nyári évszakban számíthatunk, az egyöntetű negatív érték ebben az évszakban a legnagyobb – egyedül a Ped index esetén láthatunk pozitív előjelű változásokat, melyek ugyancsak a szárazodásra utalnak. Országos átlagban nagyobb mértékű az éghajlat várható szárazabbá válása az A2 scenárió esetén, mint a B2 scenárió esetén. Tavasszal és ősszel nagyjából hasonló, a nyárihoz

képest kisebb mértékű a hazánk területén a XXI. század végére várható szárazodás. A két évszakra várható változásokban jelentős eltérést csak a Ped index és a Foley index esetén kaptunk, ez utóbbi a rekurzív számítási módszerrel magyarázható. A legkisebb mértékű változások tére valószínűsíthetőek, bár nem mindegyik index értelmezhető a referencia időszak téli hónapjaira (pl.: a Lang index egyáltalán nem, de a De Martonne index esetén sem minden rácspontra kaptunk értelmes eredményt). A rekurzív típusú Foley index ez esetben is eltérően viselkedik a többi indexhez viszonyítva.

A 6. táblázatból leolvasható eredményeink összhangban vannak a PRECIS szimulációk alapján végzett korábbi elemzésekkel (Bartholy et al., 2007, 2009).

A havi csapadékösszegek és középhőmérsékletek referencia időszakra szimulált mezőit egy független méréseken alapuló adatbázishoz viszonyítottuk. Az említett adatbázist a Kelet-Angliai Egyetem Éghajlatkutató Osztályán (CRU) (Mitchell et al., 2003; New et al., 2000) állították össze. Ez az adatgyűjtemény 0,5°-os horizontális felbontással rendelkezik és tartalmaz hőmérsékleti (Jones és Moberg, 2003) és csapadékértékeket (New et al., 2002). A kontroll-szimuláció és a CRU adatbázis felhasználásával kapott magyarországi rácspontokra vonatkozó átlagértékek különbsége adja a modell hibáját, melyek értékeit a 7. táblázatban tüntettem fel.

	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
Csapadékindex (mm)	0	0	0	0
SAI index	0	0	0	0
De Martonne index (mm/°C)	+8,99	-1,98	-2,04	-4,22
Thornthwaite index (mm/°C)	+1,70	+0,08	+0,15	+0,55
Lang index (mm/°C)	+2,74	-0,31	+0,10	+0,03
Ped index	+0,17	+0,09	-0,06	+0,09
Foley index (mm)	-28,24	-41,46	-42,64	-25,48

7. táblázat. A kontroll-futások (1961-1990) évszacos átlagos hibái Magyarország területére a különböző aszályindexek esetén

A táblázat értékei alapján megállapítható, hogy a De Martonne index esetén tavasszal 25%-os felülbecslést figyelhetünk meg, míg a többi évszakban kisebb (8%-ot nem meghaladó) alulbecslés tapasztalható, mely nyáron a legcsekélyebb

mértékű. A Thornthwaite-féle agrometeorológiai index esetén mind a négy évszakban felülbecsléseket láthatunk, melynek legnagyobb (33%-ot is meghaladó) mértéke tavasszal fordul elő. A legkisebb felülbecslés nyárra tehető, ahol ennek mértéke 2% körüli. A Lang index értékeit vizsgálva elmondható, hogy a nyári évszak alulbecslésének (~10%) kivételével, a többi évszakban felülbecslés vehető észre, melynek legkisebb mértéke télre (kevesebb, mint 1%) és legnagyobb mértéke (33%) tavaszra tehető. A modell a Ped index értékeit az ősz kivételével (kb. 6%-os alábecslés) mindegyik évszak esetén felülbecsli, melynek értéke nem nagyobb 12%-nál. A Foley indexnél mindenhol alulbecslést (a legalacsonyabb alulbecslés ősszel 21%-os, míg a legnagyobb tavasszal 35%-os) figyelhetünk meg.

5. Aszálystratégia

Az éghajlatváltozással kapcsolatos kutatások előrejelzései a kutatók körében számos kérdésben eltérnek. Vajon rövid vagy hosszú távú ingadozással állunk szemben, szárazodás vagy nedvesedés várható, illetve a változás idő- és térbeli eloszlására is nehéz megadni a pontos választ. Ennek ellenére az elemzések egyet értenek abban, hogy: „A szélsőséges időjárási helyzetek valószínűsége, gyakorisága, mértéke, tartama egyaránt növekedni fog.” (Nováky, 2007). Ezzel párhuzamosan erősödhetnek a kedvezőtlen, egyes esetekben végzetes környezeti, gazdasági, ökológiai és társadalmi következmények is. Ez a téma különösen lényeges hangsúlyt kapott a Nemzeti Aszály Stratégia (Vermes, 2006), valamint a Nemzeti Éghajlat-változási Stratégia (KvVM, 2006) kidolgozása során. Mindkét stratégia azt a célt szolgálja, hogy felkészítse az ország lakosságát és a gazdaságot a várható melegebb és szárazabb időszakokra. Az alábbiakban néhány intézkedési tervet ismerhetünk meg, melyekkel az aszály hatásai mérsékelhetők.

Talajjavítás

Az 1980-as években indult a talajjavítási program, melynek legfőbb célkitűzései között szerepeltek a következők: a talaj termőképességének korrigálása és a vízrendszerezés. Ez a program az Alföld térségére terjedt ki, különös tekintettel a belvízzel leginkább veszélyeztetett területekre. A projekt eredményeként 9000 km²-t javítottak ki részben vagy teljes egészében (Pálfai, 2007).

Vízraktározási program

Száraz időszakok esetén a víz pótlására a legkézenfekvőbb módszer a víztározók létesítése. Az országban korlátozott a hegyvidéki víztározók építésének lehetősége, hiszen a folyók vízgyűjtő területének hegyvidéki részei hazánkon kívül esnek. Ennek okán kiemelt lett a sík- és dombvidéki tározás. A program keretén belül közel 400 tározó épült, melynek összkapacitása kb. 400 millió m³ (Pálfai, 2007). Az éghajlatváltozás kétségkívül kikényszeríti a víztakarékos öntözési eljárások nagyobb arányú terjedését. Azonban nemcsak az aszályos időszakok, hanem a hirtelen lezúduló eső is komoly veszélyt jelenthet. A nagymértékű csapadék megnövelheti a szennyvíz- és csatornarendszerek terhelését, amely túlfolyásokhoz és szélsőséges esetben szennyezések kialakulásához is vezethet.

Kettős működésű rendszerek

Az Alföld két szempontból is veszélyeztetett, hiszen hazánkban a jelentős mértékű aszály és az árvíz színtere is. Ennek következtében szükségesek olyan vízelvezető és öntözőrendszerek építése, melyek kisebb-nagyobb kiegészítéssel egymásba átalakíthatók, egymással kiegészíthetők. A kutatók szerint a víztöbblet és a vízhiány megoldása csak egységében hajtható végre. Ez a program lehet a legnagyobb feladat az aszály elleni küzdelemben (KvVM, 2006).

Vízbázis-védelem

Magyarország ivóvízellátása több mint 90%-ban felszín alatti vizekből történik. Ezek nagy része nem védett a szennyeződésekkel szemben. Száraz időszakok esetén a felszín alatti vízkészletek mennyisége csökken, melynek következtében kitüntetett figyelmet kell fordítani a minőségük megőrzésére. Emellett a lakossági és ipari vízhasználat is növekszik, amely a felszín alatti vizek túlterheléséhez járul hozzá. Az 1995-ben kezdődő projekt az ivóvízbázisok védelmét tűzte ki célul.

A Duna hajózhatósága

A folyó hajózhatósági problémái az 1990-es évek után váltak súlyossá és gyakorivá a vízhozam csökkenésének és a folyó elterelésének következtében. A hajózhatóság fenntartása nem csupán hazai, hanem nemzetközi érdek is. A probléma megoldására a kormány határozatot (2087/1996.) hozott arra, hogy a hajózhatóság szempontjából leginkább kritikus szakaszt a lehetőségekhez mérten minél előbb biztonságossá tegyék (Pálfai, 2007).

Tavaink kiszáradása

A hőmérséklet növekedése és a csapadékcsökkenés növeli a párolgást, így a folyók apadásának következtében változhat a tavak vízháztartása. A növekvő párolgás miatt számos, immár ma is kisméretű tó területe nagymértékben csökkenhet, az Alföldön található tavaink közül több kiszáradhat. A három legnagyobb természetes tó - a Balaton, a Velencei-tó, és a Fertő-tó - vízforgalma lelassulhat, a víz kicserélődésének ideje megnövekedhet. Ezzel együtt nőhet átlagos sótartalmuk, szikes jellegük. Emellett feldúsulnak tápanyagban, ami kedvezőtlenül befolyásolja az oxigénviszonyokat, így javíthatnak a kórokozó baktériumok túlélési esélyein (KvVM, 2006). A Velencei-tó vizének pótlására a kormány a 3060/1993. számú határozatával hozott döntést, melynek értelmében

más vízgyűjtő területről mesterségesen pótolták a tó hiányzó vízkészletét. Ez a program 1993-1995 között valósult meg, melynek eredményeként 11 millió m³ vízzel növelték a tó vízmennyiségét (Pálfai, 2006).

Aszálykezelés az Európai Unióban

Az Európai Unió tagállamaiban az elmúlt évtizedekben az aszályos időszakok száma és intenzitása a dél-európai országokban számottevően nőtt, melynek következtében a gazdasági károk mértéke jelentős. Ebből kifolyólag az EU nagy hangsúlyt fektetett egy vízhiány és aszály-kockázat kezelési stratégia kidolgozására. Az Európai Bizottság 2006-tól kezdődően kutatást végzett az aszály szempontjából veszélyeztetett térségek felméréséről. A COM(2007)414 számú közlemény az aszály kezelésére vonatkozó európai és regionális szintű szakpolitikai eshetőségeket mutatja be, valamint a Bizottság elkötelezettségét fejezi ki a probléma kezelése mellett (Collins et al., 2009; VAHAVA, 2007).

VAHAVA - projekt

A globális klímaváltozás következtében az egyre növekvő kockázati tényezőket figyelembe véve, a hazai klímapolitika megalapozásának érdekében, a Magyar Tudományos Akadémia és a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium 2003-ban a klímaváltozás hazai változásainak és hatásainak vizsgálatára irányuló kutatási projektet indított el (KvVM, 2006). A munkaprogram fő célja, hogy átfogó nemzeti klíma-stratégiát alakítsanak ki, valamint hogy felkészítse a társadalmat az esetleges pozitív és negatív hatásokra (Czelnai, 2005).

6. Összegzés

A dolgozatban áttekintettük az aszályal kapcsolatos lényeges tudnivalókat, az aszály befolyásoló tényezőit, a magyarországi veszélyeztetett területeket, valamint a jellemzésre használatos indexeket. Vizsgálataink során a Kárpát-medence területére számítottunk aszályindexeket, melyek segítségével a térségben 2071-2100-ra várható változásokat elemeztük a brit PRECIS modell A2 és B2 scenáriójának figyelembevételével az 1961-1990-es referencia-időszakhoz viszonyítva. Az alkalmazott regionális klímamodell horizontális rácsfelbontása 25 km-es.

Az elemzések alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le a csapadékösszeg és az aszályhajlam várható változására vonatkozóan:

- A csapadékindex esetén mind az A2, mind a B2 szimuláció alapján az éves csapadékösszegben nem várható jelentős mértékű változás, azonban az évszakos változások már jelentősebbek lehetnek. Tavasszal és ősszel a várható változás mértéke nem haladja meg a 10 mm-t. A téli hónapokra enyhe csapadéknövekedés várható, míg a nyári hónapokra jelentős, az ország egyes területein akár 50 mm-t is meghaladó csapadékcsökkenés valószínűsíthető.
- A SAI index évszakos változása nem minden évszakban mutat azonos tendenciát. Elmondható, hogy hazánk területére a B2 scenárió esetén (a tél kivételével) minden évszakban aszályosodás prognosztizálható, míg ezzel ellentétben az A2 scenárió alapján ősszel és télen enyhe csapadéknövekedés is elképzelhető.
- A De Martonne index értékei mindkét scenárió esetén szárazodást mutatnak. Megállapítható, hogy a legnagyobb változékonyság az A2 scenárió szerint tavasszal és nyáron valószínű, míg a B2 scenárió a legnagyobb ingadozás télen várható. Az aszályosodás szempontjából az ország nyugati térsége válhat a leginkább veszélyeztetetté a XXI. század végére.
- A Thornthwaite-féle agrometeorológiai index vizsgálata során megállapítható, hogy nyáron az index értékében a referencia időszakhoz viszonyítva az A2 és a B2 scenárió esetén egyaránt 50%-ot meghaladó értékbeli csökkenés várható. A magyarországi változást vizsgálva

elmondható, hogy nyáron a szárazodás kockázatának leginkább kitett térség az ország nyugati része, míg télen a keleti országrész.

- A Ped index vizsgálata alapján Magyarország területére az A2 scenárió a nyár kivételével minden évszakban enyhe csapadéknövekedést prognosztizál. A legnagyobb változékonyságot a B2 scenárió nyárra, míg az A2 scenárió tavaszra és nyárra valószínűsíti.
- A Foley-féle anomália index a legnagyobb szárazodást nem nyárra, hanem őszre valószínűsíti, mely esetben az index értékének csökkenése a -149,4 mm-t is eléri. A legnagyobb szórás az A2 és a B2 scenárió szimulációi szerint is ősszel várható. Télen a két scenárió ellentétes előjelű változást prognosztizál.

A kutatási eredményeink bizonyítják, hogy az éghajlatváltozás hatásaként hazánkban is komoly következményekkel kell számolni, ezáltal szükségszerű stratégiát készíteni a várható változásokról. A mezőgazdaság, a vízgazdálkodás és a talajművelés szempontjából is elengedhetetlen a változások ismerete, a potenciális aszályterületek behatárolása.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, az MTA TKI Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz című (2006/TKI/246) programja és az OTKA T-049824, K-78125, K-67626, K-69164 számú pályázatai. További segítséget nyújtott az EU VI. keretprogram CECILIA projektje (GOCE-037005).

Ezúton szeretném megköszönni a dolgozat elkészítéséhez kapott segítséget és hasznos tanácsokat témavezetőimnek: Dr. Bartholy Juditnak és Dr. Pongrácz Ritának. Emellett szeretnék köszönetet mondani Törék Orsolyának a programozásban és a GrADS használatában nyújtott segítségéért, valamint Pieczka Ildikónak a PRECIS hőmérsékleti- és csapadékoutputok leválasztásáért.

Köszönöm családomnak és barátaimnak a biztatásukat és támogatásukat, mellyel végigkísérték e dolgozat elkészülését.

Irodalomjegyzék

- Antal E. (1991): Az éghajlatváltozás hatása a magyarországi aszályokra. *Acta Geographica Debrecina*, 28-29., 17-18.
- Bagrov, N. A. (1983): Ont he meteorological index of yields. *Meteor. Hidrol.* 11, 92-99.
- Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó Gy. (2007): A 21. század végén várható regionális éghajlatváltozás Magyarországon. *Földrajzi Értesítő LVI./3-4.*, 147-168.
- Bartholy J., Pongrácz R., Pieczka I., Kardos P., Hunyady A. (2009): Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using a dynamical climate model. *Lecture Notes in Computer Science* 5434. 176-183.
- Bella Sz. (2003): Magyarország egyes tájainak aszályérzékenysége. Szakdolgozat, ELTE, Budapest, 63p.
- Bhalme, H. N. et al. (1983): Fluctuations int he drought/flood are over India and relationship with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* 111, 86-94.
- Bunting, A. Z. et al. (1976): Rainfall trend sin the West African Sahel. *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 59-64.
- Bussay A., Szinell Cs., Szentimrey T. (1999): Az aszály magyarországi előfordulásainak vizsgálata és mérhetősége. Éghajlati és agrometeorológiai tanulmányok 7. Országos Meteorológiai Szolgálat, 91p.
- Christensen, J.H., Carter, T.R., Rummukainen, M., Amanatidis, G. (2007): Evaluating the performance and utility of regional climate models: The PRUDENCE project. *Climatic Change* 81, 1-6.
- Collins R., Kristensen P., Thyssen N. (2009): Water resources across Europe — confronting water scarcity and drought. European Environment Agency. EEA Riport. 2009/2. 60p.
- Czelnai R. (1994): Éghajlatváltozás és aszály. In: Éghajlat, időjárás, aszály. I. Az időjárás változékonysága és hidrológiai vonatkozásai. MTA Aszály Bizottság, Budapest, 7-21.
- Czelnai R. (2005): Mi változik, ha a klíma változik? „Agro-21” Füzetek, 40.
- David K. (1990): *Global environmental issues: a climatological approach*, 41p.
- de Martonne, E. (1926): Une nouvelle fonction climatologique: L'Indece d'aridite. *La Meteorologie* 2: 449–458.

- Dunay S., Tölgyesi L. (1992): Aszály – agrometeorológus szemmel. „Az 1992 évi aszály értékelése” c. kiadvány Eds. Pálfai I., Vermes L., FM, MAE, MHT, Budapest, 17-24.
- Dunkel Z. (1998): Az éghajlatváltozás és következményei. Meteorológiai Tudományos Napok '97. OMSz, 289p.
- Dunkel Z. (2009): Brief surveying and discussing of drought indices used in agricultural meteorology. *Időjárás* 113, 23-37.
- Faragó T., Kozma E., Nemes Cs. (1988): Quantifying droughts in „Identifying and coping with extreme meteorological events.” Eds. Antal E., Glantz, M., OMSz, Budapest, 62-111.
- Faragó T., Kozma E., Nemes Cs. (1989): Drought indices in meteorology. *Időjárás* 93. 45-60.
- Foley, J.C. (1957): Droughts in Australia: Review of Records from Earliest Years of Settlement to 1955. Australian Bureau of Meteorology, Bull. 43, 281p.
- Gordon, C., C. Cooper, C. A. Senior, H. Banks, J. M. Gregory, T. C. Johns, J. F. B. Mitchell, R. A. Wood (2000): The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate. Dyn.* 16, 147-168.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller. Cambridge, UK and New York, NY, Cambridge University Press. 996p.
- Jones, P. D. és Moberg, A. (2003): Hemispheric and Large-Scale Surface Air Temperature Variations: An Extensive Revision and an Update to 2001. *J Climate* 16: 206–223
- Jones, R. G., Noguer, M., Hassell, D. C., Hudson, D., Wilson, S. S., Jenkins, G. J., Mitchell, J. F. B. (2004): Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. UK Met Office Hadley Centre, Exeter. 40p.
- Kane, R. P., N. B. Trivedi (1986): Are droughts predictable? *Climate Change* 8. 209-223.
- Katz, R. W., M. H. Glantz (1986): Anatomy of a rainfall index. *Mon. Wea. Rev.* 114, 764-777.

- Kereszturszky J., Pálfai I., Szilárd Gy., Thyll Sz., Vermes L. (1998): Mezőgazdasági vízhasznosítás. „Az oktatás és a gazdaság kapcsolatainak erősítése” – Phare program 94.5.
- Kovács Gy. (1978): A talajnedvesség zónájának hidrológiai vizsgálata. Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató. 98. sz. Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet. Budapest
- KvVM (2006): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. KvVM-MTA „VAHAVA” projekt összefoglalása. A magyarországi klímapolitika alapjai. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest, 66p.
- Lang, M., Ouardab, T. B. M. J., and Bobee, B. (1999): Review: Towards operational guidelines for over-threshold modeling, J. Hydrol., 225, 103–117.
- Liptai E., Sajgó Zs., Szilágyi G. (1985): A talajvízháztartás módosulásai változatos terület beépítésekor. Hidrológiai Közlöny 5.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, 17–22 January 1993.
- Mika J. (1988): A globális felmelegedés regionális sajátosságai a Kárpát-medencében. Időjárás, 92. 2-3., 178-189.
- Mitchell, T. D., Carter, T. R., Jones, P. D., Hulme, M., New, M. (2003): A comprehensive set of climate scenarios for Europe and the globe. Tyndall Centre Working Paper., 55p.
- Nakicenovic, N., Swart, R. (Eds.) (2000): Emissions Scenarios. A Special Reports of IPCC Working Group III, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Nemes Cs. (1993): A kukorica terméseredménye és az aszály. Egyetemi doktori értekezés. ELTE TTK, Budapest, 54p.
- Nemes Cs. (1993): Éghajlati elemzés az 1992. évi szárazságról. In: Az 1992. évi aszály értékelése (szerk.: Pálfai I. és Vermes L.). Budapest
- New, M., Hulme, M., Jones, P.D. (2000): Representing twentieth century space-time climate variability. Part 2: development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate. Journal of Climate 13, 2217-2238
- New, M., Lister, D., Hulme, M., Makin, I. (2002): A high-resolution data set of surface climate over global land areas. Climate Research 21: 1–25
- Nováky B. (2007): Az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testületének jelentése az éghajlatváltozás várható következményeiről. „Klíma-21” Füzetek. 50. 6-11.

- Pálfai I. (2004): Belvizek és aszályok Magyarországon. In: Hidrológiai tanulmányok. Szerkesztette: Dr. Szilávik Lajos. 253-409.
- Pálfai I. (2007): Éghajlatváltozás és aszály. „Klíma-21” Füzetek. 49., 59-65.
- Pálfai I. (2009): A Duna-Tisza közti Homokhátság vízgazdálkodási problémái. Kezünkben a jövőnk – A víz minden cseppje érték Konferencia. Budapest
- Palmer, W.C. (1965): Meteorological Drought. Research Paper, no. 45, US Weather Bureau, Washington, DC. 58p
- 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.*
- Pieczka I., Bartholy J., Pongrácz R., Hunyady A. (2010): Climate change scenarios for Hungary based on numerical simulations with a dynamical climate model. In: *Proceedings of LSSC 2009, (Eds.: Lirkov, I., Margenov, S., and Wasniewski, J.). Lecture Notes in Computer Science 5910. Springer, Berlin Heidelberg NewYork., 613-620.*
- Sadowski, M. J. (1984): Climatological premises of soil drought forecasting. *J. Climate, Vol. 4., 637-643.*
- Szász G. (1988): *Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 123-366.*
- Szász G. (1994): Magyarország éghajlata és annak változékonysága. In: *Éghajlat, időjárás, aszály. I. Az időjárás változékonysága és hidrológiai tanulmányok., 492p.*
- Urbán L. (1993): Az aszály fogalma és jelentősége. *Beszámoló 1989., OMSz., Budapest, 113-135.*
- VAHAVA (2007): *Aszály és vízhiány kezelés az Európai Unióban. Összeállította: Ijjas István és Kolossváry Gábor*
- Várallyay Gy. (2008): A talaj szerepe a csapadék-szélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. „Klíma-21” Füzetek., 52., 57-71.
- Varga-Haszonits Z. (1985): Az 1983. Évi szárazság agrometeorológiai értékelése. *Növénytermesztés 34, 61-67.*
- Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., Gerencsér E. (2005): Az 1951-2000 közötti időszak szélsőséges nedvességi értékeinek agroklimatológiai elemzése. „Agro-21” Füzetek., 46., 26-37.
- Vermes L. (2006): A Nemzeti Aszály Stratégia. „Agro-21” Füzetek, 48., 30-33.

- Wilson, S., Hassell, D., Hein, D., Jones, R., Taylor, R. (2007): Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system, PRECIS. Version 1.5.1. UK Met Office Hadley Centre, Exeter. 157p.
- WMO (1975): Drought and agriculture. WMO Techn. Note. No. 138.
- WMO (1986): Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts. WMO-No. 661, Geneva
- WMO (1989): The Changing Atmosphere. Implications for Global Security. WMO-No. 710, Geneva